สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง โดยใช้ค่าเก็บประจุร่วมเพื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝง

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF DIFFERENTIAL MODE FILTER USING MUTUAL CAPACITANCE FOR PARASITIC CAPACITANCE CANCELLATION





กฤษณะพันธุ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ

KRISANAPUN PIBOONWATTANAKIT

จพ.
ก286ก
2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....87115.....
วัน,เดือน,ปี..30 ส.ค. 2552

b 12038933
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-020-203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF DIFFERENTIAL MODE FILTER USING MUTUAL CAPACITANCE FOR PARASITIC CAPACITANCE CANCELLATION

KRISANAPUN PIBOONWATTANAKIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-020-203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง โดยใช้ค่าเก็บประจุร่วมเพื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝง

Thesis Title Performance Improvement of Differential Mode Filter Using Mutual Capacitance for Parasitic Capacitance Cancellation

นักศึกษา นายกฤษณะพันธุ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ

รหัสประจำตัว 49060201

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2008-EN-M-020-203

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล	
รศ.ดร.ชนินทร์	บุญลักษณ์วนสรณ์	
ดร.ไกรสร	อัญชลีวีรพันธุ์	
รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์	ขันเงิน	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2551 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Performance Improvement of Differential Mode Filter Using Mutual Capacitance for Parasitic Capacitance Cancellation
Student	Mr. Krisanapun Piboonwattanakit
Student ID	49060201
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2551
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Werachet Khan-ngern

ABSTRACT

This research presents the parasitic capacitance cancellation technique of inductor at high frequency using mutual capacitance. The impedance of inductor is increased while the frequency increased, which makes an inductor changing to a capacitor at high frequency. Therefore, the efficiency of EMI filter is decreased. The technique is mutualize capacitance from two capacitors at differential mode filter. The mutual capacitance can be emulated with the extra small capacitors which cancel parasitic capacitances. This research consists of 2 main parts: the simulations and the experiments. The simulations used PSpice to simulate the effects of self-parasitic capacitance on inductors. The experiments used power supply and boost converter circuit to test this technique that the performance of EMI filters can be improved and can be increased the attenuation at high frequency range. The differential mode filter assembled with common mode filter to perform the better performance of EMI filter. This technique can improve total efficiency of EMI filter. In the best case of EMI Filter can be improved its filter attenuation along frequency range 150 kHz - 30 MHz up to 25-30 dB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญของวิทยานิพนธ์

วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

การหักล้างพาราซิติก

พาราซิติก

Keyword

Electromagnetic Filter: EMI Filter

Electromagnetic Compatibility: EMC

Parasitic Cancellation

Parasitic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี จากการอบรม สอนสั่ง ให้คำแนะนำ และเป็นที่ปรึกษาที่ดี จาก รศ. ดร. วีระเชษฐ์ ขันเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ทั้งโอกาสและความรู้ รวมถึงประสบการณ์ในหลายๆ ด้านที่ไม่สามารถหาได้จากการศึกษาอย่างเดียว แต่รวมถึงประสบการณ์ที่ได้จากโลกภายนอกด้วย ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิต และการนำไปใช้กับการทำงานได้ด้วย สำหรับอาจารย์ที่ปรึกษา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ การประสิทธ์ประสาทวิชา และจักขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่เอื้อเฟื้อด้านเงินทุนสำหรับเป็นทุนค่าใช้จ่ายด้านการศึกษา ค่าใช้จ่ายในชีวิตประจำวัน และด้านประสบการณ์ที่ได้จากความรู้ด้านเซลล์เชื้อเพลิงครับ (Fuel Cell) ทั้งนี้ต้องขอขอบคุณ ดร.สุมิตรา จรสโรจน์กุล เป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสในการทำงานและความเข้าใจเสมอมาแก่ข้าพเจ้า รวมทั้งอาจารย์ท่านต่างๆ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่ได้ร่วมงานในโครงการเฉลิมพระเกียรติฯ ทุกท่าน

ขอขอบคุณ อาจารย์วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์ เป็นอย่างสูงยิ่ง ที่คอยให้คำแนะนำและแนวความคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเสมอมา และขอขอบคุณตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องวิจัยความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทุกๆ คน ที่เคยร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมา โดยเฉพาะพี่ๆ ทั้งหลาย ที่ให้ประสบการณ์ผมในการดำรงชีวิต แง่คิดต่างๆ รวมถึงแนวคิดในกระบวนการทำงาน ทำให้ผมได้เรียนรู้อะไรต่างๆ มากมายจากพี่ๆ ที่นำมาแบ่งปันกัน

ขอขอบคุณผู้หญิงผู้อยู่เบื้องหลัง ซึ่งคอยดูแลเอาใจใส่ ช่วยตรวจทานงานในบางส่วน และช่วยแก้ไขให้ถูกต้อง ทั้งยังเป็นผู้กระตุ้นให้เกิดการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ซึ่งอาจไม่ได้กล่าวถึงได้หมดในที่นี้

สุดท้ายนี้ผมขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ผู้ล่วงลับไปแล้ว ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิด ผู้สั่งสอน อบรม และให้การศึกษา รวมทั้งบุคคลในครอบครัวของผมทุกคน ที่คอยสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ให้ความรัก ความเชื่อใจ เอาใจใส่ รวมทั้งการศึกษาของผมตลอดมา

กฤษณะพันธุ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
คำสำคัญของวิทยานิพนธ์		III
กิตติกรรมประกาศ		IV
สารบัญ		V
สารบัญตาราง		X
สารบัญรูป		XI
บทที่ 1	**บทนำ**	1
	1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
	1.2 เพราะเหตุใดปัญหานี้ถึงน่าสนใจ	2
	1.3 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม	2
	1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
	1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	5
	1.6 ขั้นตอนการวิจัย	7
บทที่ 2	**ทฤษฎีพื้นฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า**	9
	2.1 ความหมายของสัญญาณรบกวน และชนิดของสัญญาณรบกวน	9
	2.2 นิยามความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า	10
	2.3 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Characteristic) และย่านความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Frequencies)	12
	2.3.1 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	12
	2.3.2 ย่านความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	14
	2.4 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ	16
	2.4.1 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างทางสายตัวนำ (Conducted Differential Mode)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมทางสายตัวนำ (Conducted Common Mode)..... 20

2.5 มาตรฐานและการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ..... 22

2.6 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย..... 24

2.6.1 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน..... 28

2.6.2 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแสไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน..... 29

2.6.3 การจัดวางอุปกรณ์ตามมาตราฐาน มอก. 1956-2542 ข้อ 8.4..... 33

สรุปบทที่ 2..... 35

บทที่ 3 ตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)..... 36

3.1 องค์ประกอบของตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ..... 37

3.1.1 ตัวเก็บประจุ (Conductor)..... 38

3.1.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)..... 43

3.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter Circuit)..... 47

3.2.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วม (Common Mode Filter)... 49

3.2.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง (Differential Mode Filter)..... 51

3.3 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ..... 53

3.4 การคำนวณค่าการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ..... 57

3.4.1 การคำนวณเพื่อออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเพาเวอร์ซัพพลาย..... 59

3.4.2 การคำนวณเพื่อออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับบู้สต์คอนเวอร์เตอร์..... 68

สรุปบทที่ 3..... 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	เทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม	77
	4.1 ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (Parasitic)	77
	4.2 แนวคิดการเกิดค่าเก็บประจุร่วม (Mutual Capacitance)	80
	4.3 การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม	87
	สรุปบทที่ 4	98
บทที่ 5	การจำลองเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วมโดยใช้โปรแกรม PSpice	100
	5.1 แนวคิดการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice	100
	5.2 การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice	106
	5.2.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	107
	5.2.1.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น (Only Two Inductors)	108
	5.2.1.2 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง (Differential Mode Filter)	111
	5.2.1.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)	115
	5.2.2 วงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์	119
	5.2.2.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น	120
	5.2.2.2 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง	123
	5.2.2.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ	127
	สรุปบทที่ 5	132
บทที่ 6	การทดสอบเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม	134
	6.1 การออกแบบลายวงจร (Print Circuit Board Layout)	140
	6.2 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)	166
	6.2.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2.1.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not Coupled)..... 167

6.2.1.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)..... 173

6.2.1.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน..... 180

6.2.2 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง..... 184

6.2.2.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน..... 185

6.2.2.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน..... 191

6.2.2.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน..... 198

6.2.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ..... 202

6.2.3.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วม..... 203

6.2.3.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน..... 204

6.2.3.3 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน..... 211

6.2.3.4 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน..... 217

6.3 วงจรบู๊ตคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)..... 221

6.3.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น..... 221

6.3.1.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน..... 222

6.3.1.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน..... 229

6.3.1.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน..... 236

6.3.2 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง..... 240

6.3.2.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน..... 241

6.3.2.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน..... 246

6.3.2.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน..... 253

6.3.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ..... 256

6.3.3.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วม..... 257

6.3.3.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน..... 258

6.3.3.3 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน..... 264

6.3.3.4 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน..... 269

สรุปบทที่ 6..... 272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 7	**สรุปผลการวิจัย**	276
	7.1 การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice	276
	7.2 การทดสอบด้วยวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	277
	7.3 การทดสอบด้วยวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์	278
	7.4 เปรียบเทียบการเลือกใช้ชนิดของตัวเก็บประจุ	279
	7.5 สรุปภาพรวมของงานวิจัยทั้งหมด	280
	7.6 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย	281
	7.7 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย	281
บรรณานุกรม		283
ภาคผนวก		286
	ภาคผนวก ก เอกสารสำหรับแกนเฟอร์ไรท์และแกนผงโลหะ	287
	ภาคผนวก ข กราฟค่าอิมพีแดนซ์และวงจรค่าแฝงของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุแบบต่างๆ ที่วัดจากเครื่อง Impedance Analyzer	295
	ภาคผนวก ค ชนิดและคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ	316
	ภาคผนวก ง รายละเอียดของวงจรเพาเวอร์ซัพพลายและบู้สต์คอนเวอร์เตอร์	321
	ภาคผนวก จ ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	324
ประวัติผู้เขียน		340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เปรียบเทียบหลักการเดิมกับหลักการใหม่	5
1.2	คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบ	5
1.3	รายละเอียดการทดสอบโดยแบ่งออกเป็นการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริงด้วยเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	6
2.1	มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า	24
3.1	การต่ออิมพีแดนซ์ภายในของแหล่งจ่ายและโหลดที่เหมาะสมสำหรับวงจรกรองสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ	47
4.1	ค่าต่างๆ ที่วัดจากตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน	99
4.2	ค่าต่างๆ ที่วัดจากตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน	99
5.1	จุดเรโซแนนซ์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนก่อนหักล้างและหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	132
6.1	คุณสมบัติของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้เลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมแต่ละชนิด	136
6.2	เงื่อนไขการทดสอบของกำลังไฟฟ้า	136
6.3	การทดสอบทั้งการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริง	138
6.4	การทดสอบจริงด้วยเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	139
6.5	การเปรียบเทียบทั้งค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB ในโหมด DM ทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 2	152
6.6	สรุปภาพรวมทั้งหมดของการทดสอบเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม	274
7.1	จุดเรโซแนนซ์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนก่อนหักล้างและหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	276
7.2	สรุปคุณสมบัติการเลือกใช้ชนิดของตัวเก็บประจุต่างๆ	280
7.3	สรุปข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม	281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	บทความที่นำมาอ้างอิง	4
1.2	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	9
2.1	ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ	11
2.2	ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกระบบ	11
2.3	ความสัมพันธ์ของนิยามความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.4	องค์ประกอบและรูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	13
2.5	ย่านความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	14
2.6	หลักการเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	15
2.7	แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณีวงจรไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย	17
2.8	เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	18
2.9	ตัวอย่างเส้นขีดจำกัด ย่านความถี่ของข้อกำหนดและมาตรฐานที่มาตามสายตัวนำ	24
2.10	Line Impedance Stabilization Network	25
2.11	ตัวอย่าง EUT	26
2.12	เครื่อง Spectrum Analyzer	26
2.13	การตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่อง Spectrum Analyzer	27
2.14	วงจร Noise Separator	28
2.15	การทดสอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน	28
2.16	Current Probe	29
2.17	การวัดสัญญาณรบกวนด้วยโพรบกระแส (Current Probe)	29
2.18	ตัวอย่างการวัดสัญญาณด้วยโพรบกระแสกับ Spectrum Analyzer	30
2.19	การวัดโดยใช้โพรบกระแส	30
2.20	การวัดกระไฟฟ้าโหมดต่างๆ โดยใช้โพรบกระแส	31
2.21	โครงแบบทดสอบอุปกรณ์วางบนโต๊ะ (การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ)	34
3.1	วงจรสมมูลย์ของ EMI Filter	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	การหาค่า Insertion Loss	38
3.3	วงจรขณะที่ยังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน	39
3.4	วงจรขณะใส่ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณรบกวน	39
3.5	ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเก็บประจุ	41
3.6	ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนเมื่อนำตัวเก็บประจุขนาด 0.3 uF ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน	42
3.7	การลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรกรองด้วยตัวเก็บประจุเทียบกับความถี่และ Z_p	42
3.8	อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเก็บประจุตามความถี่	42
3.9	วงจรขณะได้ทำการต่อวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวเหนี่ยวนำ	43
3.10	ประสิทธิภาพการลดทอนสัญญาณรบกวน เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำขนาดต่างๆ ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน	44
3.11	ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญารบกวน เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำขนาด 1 uH มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน	45
3.12	ผลของการลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำเทียบกับความถี่และ Z_{sum}	45
3.13	อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเหนี่ยวนำตามความถี่	46
3.14	วงจรสมมูลย์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ	48
3.15	วงจรสมมูลย์ของคอนเวอร์เตอร์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนที่โหมดต่างๆ	49
3.16	การหาค่าการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม	51
3.17	การหาค่าการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง	53
3.18	ตัวอย่างการหาจุดเปลี่ยนความถี่ที่จะนำไปใช้งาน (Corner Frequency)	56
3.19	การออกแบบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	58
3.20	สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	59
3.21	สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	60
3.22	การหาความถี่คัดออฟของสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม	61
3.23	การหาความถี่คัดออฟของสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง	62
3.24	กราฟ B-H จริงจากผู้ผลิตแกนเหล็กใน	66
3.25	กราฟ B-H เมื่อใส่ช่องว่างอากาศ	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.26	สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจากวงจรบู้ตส์คอนเตอร์	69
3.27	สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างจากวงจรบู้ตส์คอนเตอร์	69
3.28	การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมสำหรับวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	71
3.29	การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างสำหรับวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	71
3.30	วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	76
3.31	วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสำหรับวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์	76
4.1	ค่าแฝงที่เกิดภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน	78
4.2	ค่าการเชื่อมโยงภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง	78
4.3	ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่ออกแบบไว้สำหรับเพาเวอร์ซัพพลาย	79
4.4	ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่ออกแบบไว้สำหรับบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	80
4.5	ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ	81
4.6	ตัวอย่างค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว	81
4.7	วงจรของ Differential Mode: DM	82
4.8	ค่าเก็บประจุร่วมระหว่างแผ่นตัวนำสองแผ่นที่วางขนานกันของตัวเก็บประจุ	83
4.9	วงจรสมมูลของค่าเก็บประจุร่วมระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองตัว	85
4.10	การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำโดยการใช้ค่าเก็บประจุร่วมระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองตัว	86
4.11	ตัวเก็บประจุขนาดเล็กสองตัว C_E เพื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝง	86
4.12	เปรียบเทียบแนวคิดระหว่างตัวเก็บประจุแผ่นเพลส 2 ตัววางขนานกันกับ DM filter	87
4.13	ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)	88
4.14	ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)	88
4.15	วงจรสมมูลย์ของค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน	89
4.16	วงจรสมมูลย์ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน	89
4.17	การพิจารณาจากวงจรสมมูลย์เพื่อหาค่าเก็บประจุร่วม	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	การต่อตัวเก็บประจุพิเศษเพิ่มเข้าไปในวงจรกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน	92
4.19	การต่อตัวเก็บประจุพิเศษเพิ่มเข้าไปในวงจรกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน	92
4.20	ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างทั้งแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	93
4.21	ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างทั้งแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกันของวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	93
4.22	ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำแยกกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	94
4.23	ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำร่วมกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	96
4.24	ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำแยกกันของวงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์	96
4.25	ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำร่วมกันของวงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์	98
5.1	เครื่อง Network Analyzer	101
5.2	วงจรจำลองการทดสอบของเครื่อง Network Impedance	102
5.3	เครื่อง Network Analyzer ที่นำมาใช้ในการจำลองและทดสอบ	102
5.4	การเซ็ตค่าเพื่อการจำลองในโปรแกรม PSpice	103
5.5	แสดงการต่อค่าเก็บประจุแฝงเข้าไปในวงจร	104
5.6	วงจรของตัวเหนี่ยวนำกรณีที่ไม่มีค่าเก็บประจุแฝงเกิดขึ้น	104
5.7	วงจรของตัวเหนี่ยวนำกรณีที่มีค่าเก็บประจุแฝงเกิดขึ้น	105
5.8	ตัวอย่างผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice	105
5.9	แผนผังการจำลอง	106
5.10	แผนผังย่อยสำหรับการจำลอง	107
5.11	แผนผังย่อยสำหรับการเปรียบเทียบ	107
5.12	ค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	107
5.13	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	108
5.14	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.15	ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของเพาเวอร์ซัพพลาย.....	109
5.16	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง.....	110
5.17	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว.....	110
5.18	ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของเพาเวอร์ซัพพลาย.....	111
5.19	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง.....	112
5.20	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว.....	112
5.21	ผลการจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของเพาเวอร์ซัพพลาย.....	113
5.22	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง.....	114
5.23	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว.....	114
5.24	ผลการจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของเพาเวอร์ซัพพลาย.....	115
5.25	แบบจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบโหมดผลร่วม.....	116
5.26	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง.....	116
5.27	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว.....	117
5.28	ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของเพาเวอร์ซัพพลาย.....	117
5.29	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง.....	118
5.30	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.31	ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของเพาเวอร์ซัพพลาย	119
5.32	ค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	120
5.33	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	120
5.34	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	121
5.35	ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	121
5.36	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	122
5.37	รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	122
5.38	ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	123
5.39	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	124
5.40	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	124
5.41	ผลการจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	125
5.42	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	125
5.43	รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	126
5.44	ผลการจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	126
5.45	แบบจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบโหมดผลร่วม	127
5.46	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	128
5.47	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	128
5.48	ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.49	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง	130
5.50	รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว	130
5.51	ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของบู๊ตส์ดอนเวอร์เตอร์	131
6.1	แผนผังการทดสอบจริง	134
6.2	แผนผังย่อยสำหรับการจำลอง	135
6.3	แผนผังย่อยสำหรับการเปรียบเทียบ	135
6.4	ตัวเก็บประจุที่นำมาเลียนค่าเก็บประจุร่วมแต่ละชนิด	135
6.5	วงจรที่นำมาทดสอบ	136
6.6	แผนผังการทดสอบทั้งการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริง	137
6.7	ขนาดของแผ่น PCB ที่นำมาใช้ทดสอบ	140
6.8	ค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB ขณะที่ยังไม่ได้กัดลายทองแดง	141
6.9	แผ่น PCB สำหรับโหมดผลร่วม CM	142
6.10	แผ่น PCB สำหรับโหมดผลต่าง DM ด้านล่าง	142
6.11	แผ่น PCB สำหรับโหมดผลต่าง DM ด้านบน แบบที่ 1	143
6.12	แผ่น PCB สำหรับโหมดผลต่าง DM ด้านบน แบบที่ 2	143
6.13	ค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB แบบที่ 1	144
6.14	ค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB แบบที่ 2	144
6.15	รูที่ทำการเจาะในแผ่น PCB เพื่อทำการเชื่อมต่อระหว่างลายทองแดง	145
6.16	แผ่นทองแดงที่นำมาใส่ในรูของ PCB	146
6.17	แผ่น PCB แบบที่ 1	147
6.18	แผ่น PCB แบบที่ 2	148
6.19	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงแผ่น PCB แบบที่ 1	149
6.20	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงแผ่น PCB แบบที่ 2	151
6.21	ค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค	154
6.22	ค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของตัวเก็บประจุชนิดไมก้า	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.23	แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 2 pF.....	156
6.24	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 2 pF.....	157
6.25	แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 5 pF.....	158
6.26	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 5 pF.....	159
6.27	แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 2 pF.....	160
6.28	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 2 pF...	160
6.29	แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 5 pF.....	161
6.30	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 5 pF...	162
6.31	แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 2 pF.....	163
6.32	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 2 pF..	164
6.33	แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 5 pF.....	165
6.34	อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 5 pF..	165
6.35	วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น.....	167
6.36	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	167
6.37	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	168
6.38	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	169
6.39	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	170
6.40	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	171
6.41	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.42	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	173
6.43	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	174
6.44	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	175
6.45	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	176
6.46	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	177
6.47	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	178
6.48	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	179
6.49	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	180
6.50	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	181
6.51	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	182
6.52	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	183
6.53	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	184
6.54	วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง.....	185
6.55	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบโหมดผลต่างกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.56	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load	186
6.57	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load	187
6.58	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load	188
6.59	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load	189
6.60	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load	190
6.61	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load	191
6.62	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบโหมดผลต่างกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง	192
6.63	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load	193
6.64	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load	194
6.65	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load	195
6.66	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load	196
6.67	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load	197
6.68	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load	198
6.69	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load	199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.70	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	200
6.71	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	201
6.72	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	202
6.73	วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ.....	203
6.74	ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ no load.....	203
6.75	ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ full load.....	204
6.76	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	205
6.77	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกที่no load.....	206
6.78	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่full load.....	207
6.79	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	208
6.80	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	209
6.81	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	210
6.82	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	210
6.83	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	211
6.84	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.85	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	213
6.86	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	214
6.87	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	215
6.88	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	216
6.89	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	217
6.90	ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	218
6.91	ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	219
6.92	ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	220
6.93	ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	221
6.94	วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น.....	222
6.95	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	223
6.96	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	224
6.97	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.98	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	226
6.99	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	227
6.100	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	228
6.101	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	229
6.102	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	230
6.103	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	231
6.104	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	232
6.105	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	233
6.106	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	234
6.107	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	235
6.108	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	236
6.109	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	237
6.110	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.111	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	239
6.112	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	240
6.113	วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง.....	241
6.114	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	241
6.115	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	242
6.116	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	243
6.117	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	244
6.118	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	244
6.119	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	245
6.120	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	246
6.121	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	247
6.122	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผสต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	248
6.123	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	249
6.124	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.125	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	251
6.126	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	252
6.127	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	252
6.128	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	253
6.129	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	254
6.130	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	255
6.131	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	256
6.132	วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ.....	257
6.133	ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ no load.....	257
6.134	ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ full load.....	258
6.135	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	259
6.136	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	260
6.137	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	260
6.138	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	261
6.139	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	262

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.140	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	263
6.141	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	263
6.142	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง.....	264
6.143	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load.....	265
6.144	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load.....	265
6.145	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load.....	266
6.146	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load.....	267
6.147	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load.....	268
6.148	ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load.....	268
6.149	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	269
6.150	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	270
6.151	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load.....	271
6.152	ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load.....	272
7.1	สรุปผลการทดสอบจริงในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย.....	278
7.2	สรุปผลการทดสอบจริงในวงจรบู๊ตสต์คอนเวอร์เตอร์.....	279

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญและสามารถพบได้มากขึ้น ทั้งจากวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย วงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีการสวิตชิ่งที่ความถี่สูง ส่งผลให้เกิดการรบกวนอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีการต่อเชื่อมหรืออยู่ใกล้เคียง ให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาด หรือเสียหายได้ ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำก็คือ การใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนหรือ EMI Filter เข้าไปในวงจรที่สร้างสัญญาณรบกวน แต่ทว่าส่วนประกอบสำคัญที่อยู่ภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ (inductor) และตัวเก็บประจุ (capacitor) โดยที่ความถี่สูงจะประพฤติตัวของมันให้เกิดผลในทางตรงกันข้าม ดังนี้ ตัวเก็บประจุที่ความถี่สูงจะเกิดความเหนี่ยวนำแฝง (parasitic inductance) ขึ้นบริเวณขาของตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่สูง จะเกิดการสะสมของประจุระหว่างขดลวดในแต่ละรอบ เกิดเป็นค่าเก็บประจุแฝงขึ้น (parasitic capacitance) ส่งผลให้ตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่สูงเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปเป็นตัวเก็บประจุ ทำให้อัตราการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงลดลงจากเดิม เมื่อเทียบกับตัวเหนี่ยวนำแบบอุดมคติ เพื่อให้ประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนสูงขึ้น จึงต้องทำการปรับปรุงค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงให้มีค่าลดลงไป และทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพในการลดทอนที่ดีขึ้นจากเดิม

เพราะเหตุใดปัญหานี้ถึงน่าสนใจ

การแก้ปัญหาของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำมีความสำคัญมาก เพื่อป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ไม่ให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาด หรือก่อความเสียหายแก่อุปกรณ์เหล่านั้น จึงต้องใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนเหล่านั้นให้มีค่าน้อยลง จนไม่สามารถก่อให้เกิดการรบกวนต่างๆ กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น และเพื่อให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อนำไปใช้งานที่ความถี่สูง จึงต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพของวงจรกรองกรองสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคต่างๆ เทคนิคการปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีการตีพิมพ์บทความเป็นจำนวนมาก และในวิธีการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านั้น มีทั้งข้อดี และข้อเสีย เช่น เพิ่มขนาดของตัวเหนี่ยวนำ เพื่อสามารถกรองสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น แต่ข้อเสียก็คือ มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น น้ำหนักมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเทคนิคต่างๆ จากบทความทั้งในและต่างประเทศจำนวนหลายบทความด้วยกัน เพื่อค้นหาแนวทางที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้และทำการปรับปรุงเทคนิคเหล่านั้นให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม โดยเทคนิคที่นำมาเสนอจะมีขนาดที่เล็ก น้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก และใช้งบประมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงให้ดีขึ้นจากเดิมได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังที่จะนำเสนอเทคนิคในการปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงให้ดีขึ้น โดยเทคนิคนี้จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเหนี่ยวนำในวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง (DM Filter) และเมื่อนำไปใช้งานร่วมกับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วมจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้งสองโหมดมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาก็คือ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง อุปกรณ์ประเภทตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ มีการเรโซแนนซ์เกิดขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกรองลดลง ดังนั้นเทคนิคนี้จึงทำการเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ของตัวเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นไกลออกไปจากจุดเดิม ทำให้สามารถใช้งานที่ความถี่สูงกว่านั้นได้ โดยทำการทดสอบกับอุปกรณ์ที่สร้างสัญญาณรบกวน ซึ่งมีการใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ได้แก่ วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย และวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วงจรกรองสัญญาณรบกวนในปัจจุบันมีการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกประเภท และการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนในปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพในการออกแบบเพื่อกรองสัญญาณรบกวนได้ตลอดช่วงย่านความถี่ที่ใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีต่างๆ เพื่อออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ทว่าก็ยังไม่มีวิธีใดที่สมบูรณ์แบบ ในปัจจุบันจึงมีการเลือกใช้ในบางวิธีที่สะดวก ประหยัด และเกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ทว่าก็ยังเกิดข้อจำกัดอยู่ เช่น ในเรื่องของการเกิดเรโซแนนซ์ของอุปกรณ์ เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคนี้จึงได้ทำการแก้ปัญหาเรโซแนนซ์เหล่านี้ให้เลื่อนออกไปจากจุดเดิม ซึ่งจะทำให้การกรองของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงยังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำนั้น จะใช้ค่าเก็บประจุร่วม (mutual capacitance) ซึ่งเกิดขึ้นตามแนวคิดที่ว่า ค่าเก็บประจุร่วมจะเกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลสบน (upper plate) ระหว่างตัวเก็บประจุ 2 ตัว และเกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลสล่าง (lower plate) ระหว่างตัวเก็บประจุ 2 ตัว ซึ่งค่าเก็บประจุร่วมนี้จะทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง (parasitic capacitance) ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำในวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง โดยค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเพียงแนวคิด ในการใช้งานจริงอาจจะเกิดขึ้นน้อยมาก หรือไม่เกิดขึ้นเลยก็ได้ ดังนั้นจึงทำการประยุกต์แนวคิดนี้โดยใช้ตัวเก็บประจุพิเศษ ซึ่งเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วม โดยเลือกใช้ค่าที่มีขนาดเท่ากับค่าเก็บประจุแฝง ทำการต่อเพิ่มเข้าไปในวงจร โดยมีการต่อทั้งแบบไขว้ และแบบขนาน ซึ่งขึ้นอยู่กับการเชื่อมโยงของตัวเก็บประจุร่วม [1]

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย [1]

การนำเสนอหลักการใหม่

จากบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นจำนวนมาก มีการนำเสนอเทคนิคหลายวิธีด้วยกัน แต่ส่วนใหญ่จะมุ่งไปที่การลดผลจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการเชื่อมโยงกัน หรือลดพาราซิติกด้วยการจัดวางอุปกรณ์ใหม่ และมีบางบทความที่ทำการแก้ปัญหาด้วยการดัดแปลงอุปกรณ์ใหม่ แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไป โดยใช้หลักการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม ซึ่งเกิดจากแนวคิดที่ว่าถ้าในวงจรประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุจำนวนสองตัว มีการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่อยู่ในทิศทางตรงกันข้าม จะก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันขึ้นระหว่างแผ่นเพลสด้านบนของแต่ละตัวเก็บประจุ และแผ่นเพลสด้านล่างของแต่ละตัวเก็บประจุ ซึ่งค่าเก็บประจุร่วมนี้จะทำหน้าที่หักล้างค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำได้

การเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

หลักการเดิมอ้างอิงมาจาก "Inductor Winding Capacitance Cancellation Using Mutual Capacitance Concept for Noise Reduction Application" ซึ่งตีพิมพ์โดย S. Wang, F. C. Lee, และ J. D. van Wyk ในปี 2007 [1] ซึ่งในงานวิจัยนี้นำหลักการมาประยุกต์ใช้ด้วยแนวคิดของผู้วิจัยเอง โดยมีการเพิ่มเติมการออกแบบและขั้นตอนในการวิจัยด้วยตัวเองผู้วิจัยเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 48, NO. 2, MAY 2006 311

Inductor Winding Capacitance Cancellation Using Mutual Capacitance Concept for Noise Reduction Application

Shuo Wang, *Member, IEEE*, Fred. C. Lee, *Fellow, IEEE*, and Jacobus Daniel van Wyk, *Fellow, IEEE*

***Abstract*—In this paper, the properties of mutual capacitance between two capacitors are first discussed. It is found that the effects of mutual capacitance can be represented by two positive or negative capacitors across the two capacitors. These two equivalent capacitors can be used to cancel the parasitic capacitance of inductors. Because the mutual capacitance can be emulated using two small capacitors, the proposed method can easily be implemented in practical components. The prototypes are then built and the cancellation is verified using a network analyzer. Further EMI measurements in a practical power circuit prove that there is a significant improvement in the inductor's filtering performance.**

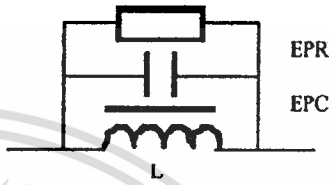


Fig. 1. Equivalent circuit for a practical inductor.

รูปที่ 1.1 บทความที่นำมาอ้างอิง [1]

จากหลักเดิมที่มีการใช้ตัวเก็บประจุแบบชนิดแผ่นเพลสซึ่งใช้งานที่ความถี่สูง ซึ่งไม่ได้ทำการทดสอบด้วยตัวเก็บประจุอื่นๆ ซึ่งอาจจะให้ผลที่ต่างกัน และยังทำการทดสอบด้วยวงจรฟลายแบล็กคอนเวอร์เตอร์ที่กระแสไม่สูงมากนัก ทำให้เห็นผลของสัญญาณรบกวนยังไม่ชัดเจน ซึ่งถ้าทำการทดสอบที่กระแสสูง จะเห็นผลของสัญญาณรบกวนได้ชัดเจนกว่านี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบ โดยมีการเลือกใช้ตัวเก็บประจุหลายๆ ชนิดทำการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง นอกจากนี้จะทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งจะช่วยในการออกแบบค่าของตัวเก็บประจุพิเศษที่นำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วม เนื่องจากการคำนวณบางครั้งค่าที่ได้เมื่อนำไปใช้จริงไม่สามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงได้ ทำให้เสียเวลาในการออกแบบ ดังนั้นแล้วจึงได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาในการออกแบบเบื้องต้น โดยสามารถเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุพิเศษจนหาค่าที่เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบหลักการเดิมกับหลักการใหม่

หลักการเดิม	วิทยานิพนธ์
ทำการทดสอบเฉพาะ AC-DC เท่านั้น	ทำการทดสอบทั้ง AC-DC และ DC-DC**
ไม่มีผลการจำลองสนับสนุน	มีผลการจำลองสนับสนุนด้วยโปรแกรม PSpice
ทดสอบกับตัวเก็บประจุเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ที่นำมาใช้เป็นตัวเก็บประจุร่วมเพื่อใช้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง (ไม่ได้ระบุชนิด)	ทดสอบกับตัวเก็บประจุ 3 ชนิด ที่นำมาใช้เป็นตัวเก็บประจุร่วมเพื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝง ได้แก่ เซรามิค, ไมก้า และแบบ SMD
ไม่ได้ระบุรูปแบบหรือขั้นตอนของลายวงจร	มีขั้นตอนและทำการออกแบบลายวงจรเอง

หมายเหตุ ** ดูรายละเอียดวงจรของเพาเวอร์ซัพพลายและบู้สต์คอนเวอร์เตอร์ได้ที่ภาคผนวก จ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย และวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบ

พารามิเตอร์	Power supply	Boost converter
Power	300 W	70 W
V input	220 Vac	24 Vdc
I input	1.4 A	2.9 A
V output	5, 12 Vdc	46 Vdc
I output	22, 12 A	1.5 A
Switching frequency	80 Hz	150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองสัญญาณกวนแบบ DM Filter และวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter : LC Filter + Pi Filter) นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ โดยทำการเปรียบเทียบ 2 แบบด้วยกัน

3. ทำการทดสอบเพื่อพิสูจน์เทคนิคนี้เมื่อมีการนำไปใช้จริง โดยทำการทดสอบในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย และวงจรบูสต์ โดยตัวเก็บประจุที่นำมาต่อเพิ่มเข้าไปเพื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงนั้นจะใช้ตัวเก็บประจุ 3 ชนิดด้วยกันมาทดสอบ ได้แก่ เซรามิก (ceramic), ไมก้า (mica) และแบบ Surface mount device :SMD) และทำการตรวจจับค่าสัญญาณรบกวนด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer และนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ โดยทำการเปรียบเทียบ 3 แบบด้วยกัน

โดยในหัวข้อที่ 2 และ 3 จะสามารถแสดงตารางเพื่อเปรียบเทียบกรณีการทดสอบได้ดังตารางที่ 1.3 ดังนี้

ตารางที่ 1.3 รายละเอียดการทดสอบโดยแบ่งออกเป็นการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริงด้วยเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

เงื่อนไข	Simulation ด้วยโปรแกรม PSpice	ทดสอบจริงกับวงจรเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์
1. กรณีไม่ได้ใส่ตัวกรองสัญญาณรบกวน	ไม่ได้ทำ	ทำ
2. กรณีใส่ตัวกรองสัญญาณรบกวนแต่ยังไม่ได้ประยุกต์เทคนิคที่นำเสนอเข้าไป	ทำ	ทำ
3. กรณีใส่ตัวกรองสัญญาณรบกวนและทำการนำเทคนิคที่นำเสนอมาประยุกต์ใช้	ทำ	ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดสอบตัวเก็บประจุที่จะนำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมจำนวน 3 ชนิด โดยศึกษาว่าตัวเก็บประจุแต่ละชนิดให้ผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแตกต่างกันอย่างไร
   - เซรามิค (Ceramic)
   - ไมก้า (Mica)
   - Surface mount device (SMD)
5. ทำการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ค่ากำลังไฟฟ้า 2 เงื่อนไข เพื่อดูผลการทดสอบขณะมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยและมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก
   - No load
   - Full load

1.6 ขั้นตอนการวิจัย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งเป็นหลายขั้นตอนด้วยกัน โดยจะมีการดำเนินเนื้อหาเป็นลำดับขั้นตอนจนถึงบทสรุปและคำแนะนำ โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งประกอบไปด้วยทั้งหมด 7 บท ดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วย ความเป็นมาของงานวิจัย เหตุผลของงานวิจัยว่าทำไมงานนี้ถึงน่าสนใจ ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษาว่ามีหลักกำหนดแนวคิดไว้อย่างไร และพิสูจน์แล้วเป็นดังที่กล่าวไว้หรือไม่ ต่อไปจะเป็นส่วนของทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การนำเสนอหลักการใหม่ และ การเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม ส่วนต่อไปคือ ขอบเขตของการวิจัย และส่วนสุดท้ายคือขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 จะกล่าวถึงนิยามและความหมายของคำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย การกำเนิดของสัญญาณรบกวน เส้นทางการแผ่ของสัญญาณรบกวน โหมดของสัญญาณรบกวนต่างๆ มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งขั้นตอนการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย

บทที่ 3 จะกล่าวถึงตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยจะกล่าวถึงองค์ประกอบเบื้องต้นที่ประกอบอยู่ภายในตัวกรองสัญญาณรบกวน กล่าวถึงวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดต่างๆ สุดท้ายจะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยมีการแสดงเป็นลำดับขั้นตอน รวมทั้งสูตรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

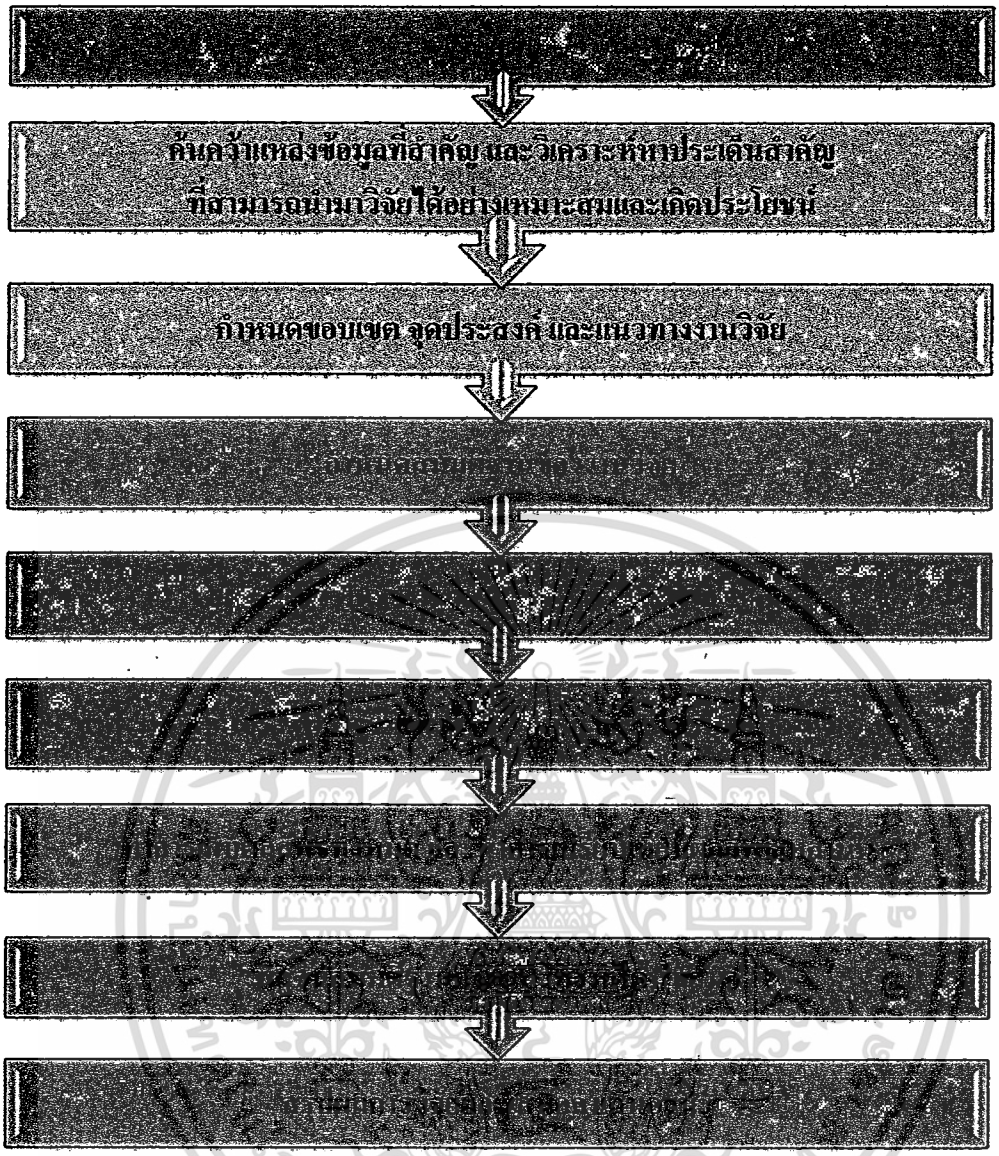
บทที่ 4 จะกล่าวถึงเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม ซึ่งประกอบไปด้วยค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน แนวคิดการเกิดค่าเก็บประจุร่วม และหลักการในการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

บทที่ 5 จะกล่าวถึงการจำลองเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วมโดยใช้โปรแกรม PSpice ในการจำลอง ซึ่งมีการจำลองในหลายกรณีด้วยกัน ได้แก่ วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น วงจรกรองชนิด L-Type EMI Filter วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง และวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบใช้งานจริง

บทที่ 6 จะกล่าวถึงการทดสอบจริงในวงจรที่มีการใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ได้แก่ วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย และวงจรบู้สต์ โดยทำการทดสอบด้วยวิธีการตามขั้นตอนการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ให้วงจรที่นำมาทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทำการจ่ายพลังงานให้กับโหลดที่ค่าต่างๆ ตั้งแต่ไม่มีการจ่ายโหลด จนถึงจ่ายโหมดสูงสุด ทำการทดสอบในหลายกรณีด้วยกัน ได้แก่ วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น วงจรกรองชนิด L-Type EMI Filter วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง และวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบใช้งานจริง ทั้งนี้ยังทำการเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคนี้ พร้อมกับการแบ่งชนิดของแกน ทั้งแบบตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน และตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน สุดท้ายก็คือการเปรียบเทียบให้เห็นถึงการเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ กัน ว่าผลลัพธ์ที่ได้ต่างกันหรือไม่ และตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ประสิทธิที่ดีที่สุด

บทที่ 7 จะกล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและคำแนะนำ ซึ่งการสรุปจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ เพื่อง่ายต่อความเข้าใจ และจะกล่าวสรุปรวมอีกครั้งเพื่อสรุปภาพโดยรวมของงานวิจัยทั้งหมด สุดท้ายจะกล่าวถึงคำแนะนำและปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยรวมถึงอุปสรรคที่เกิดขึ้น เพื่อสามารถนำไปพัฒนาหลักการนี้สำหรับผู้ที่สนใจจะนำหลักการนี้ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงนิยามและคำจำกัดความของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility: EMC) รวมถึงรูปแบบการเกิดสัญญาณรบกวน เส้นทางการเดินทางของสัญญาณรบกวน ซึ่งมีการแผ่ไปได้ทั้งในอากาศและทางสายตัวนำ โดยจะเน้นอธิบายถึงหลักการการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ รวมทั้งวิธีและขั้นตอนการวัดสัญญาณรบกวนดังกล่าว โดยแบ่งหัวข้อที่จะอธิบายในหัวนี้ออกเป็น 6 หัวข้อ ได้แก่ ความหมายของสัญญาณรบกวน และชนิดของสัญญาณรบกวน, นิยามความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า, รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Characteristic), สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ, มาตรฐาน และการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ และการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ความหมายของสัญญาณรบกวน และชนิดของสัญญาณรบกวน

ความหมายของสัญญาณรบกวน

ความหมายของสัญญาณรบกวน (Noise) คือ สัญญาณไฟฟ้าในวงจรที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากสัญญาณที่ได้ออกแบบไว้ แต่ต้องเข้าใจว่าสัญญาณเอ้าพุต (Output Signal) ที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) กับอินพุต (Input) นั้นไม่ใช่สัญญาณรบกวนแต่เป็นปัญหาที่เกิดจากการออกแบบเว้นแต่ว่าสัญญาณดังกล่าวนี้ไปรบกวนวงจรอื่น ซึ่งเราจะเรียกสัญญาณนี้ว่าสัญญาณรบกวน

การรบกวน (Interference) คือ ผลของสัญญาณรบกวนที่ทำให้วงจรทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควรทำงานผิดพลาด หรือเสียหายได้ โดยมากแล้วไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปให้หมดสิ้นได้ แต่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนเหล่านั้นให้น้อยลง จนกระทั่งไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบหรือเครื่องมือเหล่านั้น

ความไวต่อสัญญาณรบกวน (Susceptibility) แสดงให้เห็นถึงความสามารถของอุปกรณ์หรือวงจรในการตอบสนองสัญญาณรบกวน โดยที่วงจรยังสามารถทำงานได้อย่างปกติ และไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย

ชนิดของสัญญาณรบกวน

เราสามารถแบ่งสัญญาณรบกวนออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่สร้างโดยมนุษย์ (Man-made noise source) มนุษย์ได้คิดสร้างเครื่องทุ่นแรงระบบเครื่องยนต์กลไก เช่น มอเตอร์ หรือสวิตซ์ เป็นต้น ปัจจุบันมีการคิดค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ประเภทสวิตซิ่งซึ่งมีความถี่ในการทำงานสูงขึ้น ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับในสมัยแรกๆ วิวัฒนาการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมยังมีน้อย สัญญาณรบกวนไม่มากเท่ากับปัจจุบัน ทำให้การแก้ปัญหาในอดีตไม่ยุ่งยากเท่าปัจจุบัน

2. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากธรรมชาติ (Natural noise source) เช่น ฟ้าผ่า, ฟ้าร้อง และฟ้าแลบ เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจำนวนมหาศาลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่มีศักดาไฟฟ้าสูงกว่า เพื่อทำให้เกิดความสมดุลย์ทางไฟฟ้า การเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้จะทำให้เกิดแสงเสียง และที่สำคัญคือ สนามแม่เหล็กความเข้มสูงจะแผ่กระจายไปทั่วทุกทิศทุกทาง

2.2 นิยามความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า [3]

Electromagnetic Compatibility: EMC

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้นได้ถูกนิยามโดย International Electrotechnical Commission (IEC) ฉบับที่ 50 หรือ International Electrotechnical Vocabulary (IEV) ว่าเป็นความสามารถของอุปกรณ์ใดๆ หรือระบบใดๆ ที่ทำงานในสภาวะแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้าเดียวกัน โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย หรือทำงานผิดพลาดซึ่งกันและกัน

Electromagnetic Disturbance: EMD

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง ปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าใดๆ ที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อ อุปกรณ์ (Device) เครื่องมือ (Equipment) หรือระบบ (Systems) ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ก่อให้เกิดสาเหตุของการแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า

Electromagnetic Interference: EMI

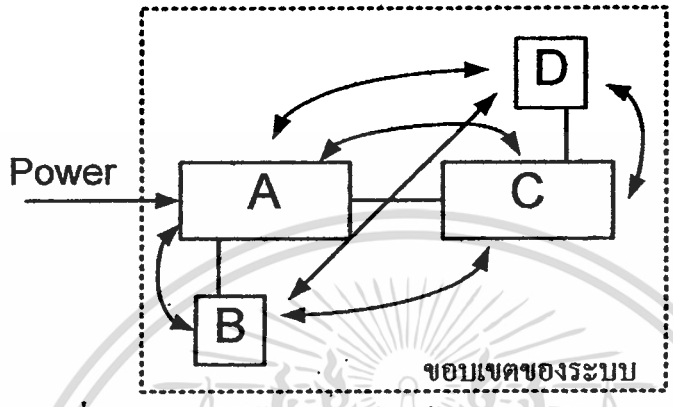
การแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง การที่อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือ ระบบ เกิดการทำงานที่ผิดพลาดหรือได้รับความเสียหาย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMD) เช่น การเกิดภาพสั่นไหวของจอคอมพิวเตอร์ขณะโทรศัพท์ที่วางไว้ใกล้จอคอมพิวเตอร์มีสายเรียกเข้า โดยภาพสั่นไหว คือ EMI ส่วนสัญญาณความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าของโทรศัพท์มือถือ คือ EMD

Emission หมายถึง ระดับของการแผ่สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบต่างๆ ทั้งทางสายตัวนำ (Conducted Emission: CE) และทางอากาศ (Radiated Emission: RE)

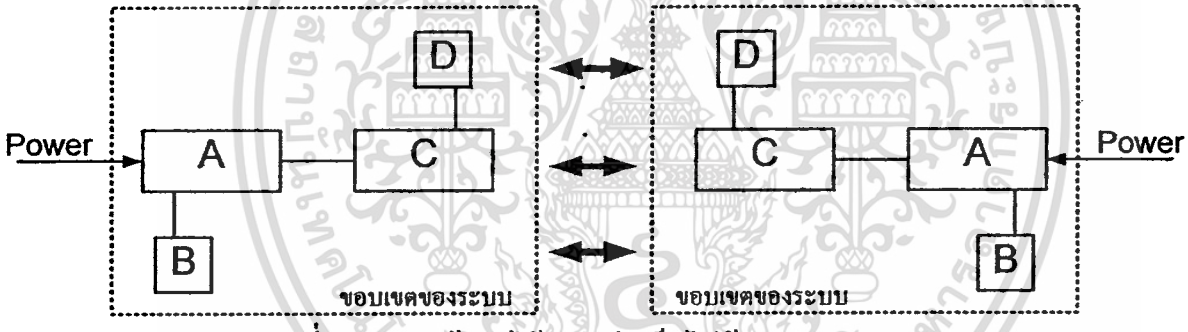
Immunity หมายถึง ระดับความสามารถของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบต่างๆ ที่สามารถทำงานภายใต้สภาวะการถูกรบกวน ทั้งทางสายตัวนำ (Conducted Immunity: CI) และทางอากาศ (Radiated Immunity: RI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งที่มาจากระบบเดียวกันเอง และจากระบบภายนอก ดังนั้น EMC จึงได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบเดียวกัน (Intra-system EMC) และความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบภายนอก (Inter-system EMC) ซึ่งนิยามของทั้งสองประเภทนี้แสดงได้ดังนี้ [3]



รูปที่ 2.1 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ



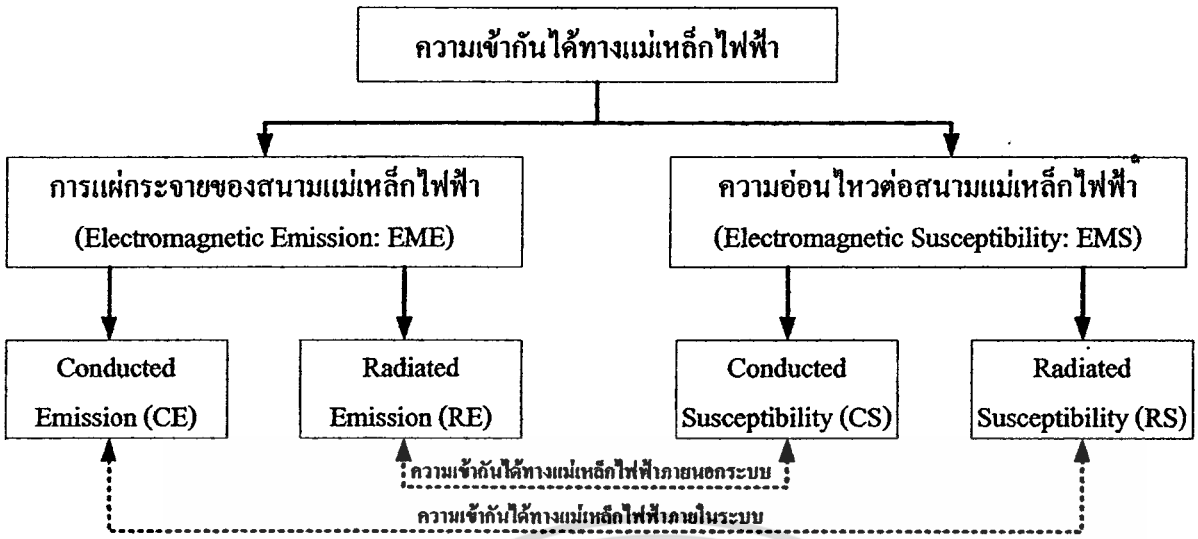
รูปที่ 2.2 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกระบบ

เมื่อ A, B, C และ D คือระบบต่างๆ ที่มีการทำงานเหมือนหรือแตกต่างกันก็ได้

1) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ คือ ความสามารถของส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในระบบเดียวกัน ซึ่งสามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ภายในระบบเดียวกัน และไม่สร้างสัญญาณรบกวนใดๆ ในระดับที่อุปกรณ์อื่นๆ ภายในระบบเดียวกันทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย ดังรูปที่ 2.1
2) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบภายนอก คือ ความสามารถในการทำงานของระบบรวมทั้งระบบที่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ถูกสร้างขึ้นมาจากภายนอกระบบ และภายในตัวระบบเองนั้นไม่สร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับที่ก่อให้เกิดการรบกวนแก่ระบบอื่นๆ ภายนอก จนไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ แสดงดังรูปที่ 2.2

สามารถสรุปความสัมพันธ์ของนิยามต่างๆ ของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.3 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของนิยามความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Characteristic) และย่านความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Frequencies) [3-5, 7, 28, 30]

2.3.1 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Characteristic)

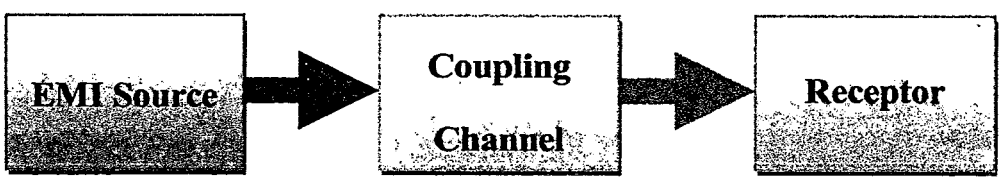
โดยมีรูปแบบและความสัมพันธ์กันแต่ละส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก) EMC ประกอบไปด้วยองค์ประกอบสามส่วนคือ

ส่วนแรก คือ **แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน** (EMI source) เช่น เครื่องส่งวิทยุ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า วงจรจุดระเบิด คอมพิวเตอร์และระบบต่อพ่วง ฟ้าผ่า เป็นต้น

ส่วนที่สอง คือ **ส่วนที่ได้รับผลการรบกวน** (Receptor หรือ victim) เช่น เครื่องรับวิทยุ วงจรตรวจจับสัญญาณ คอมพิวเตอร์ สิ่งมีชีวิต เป็นต้น

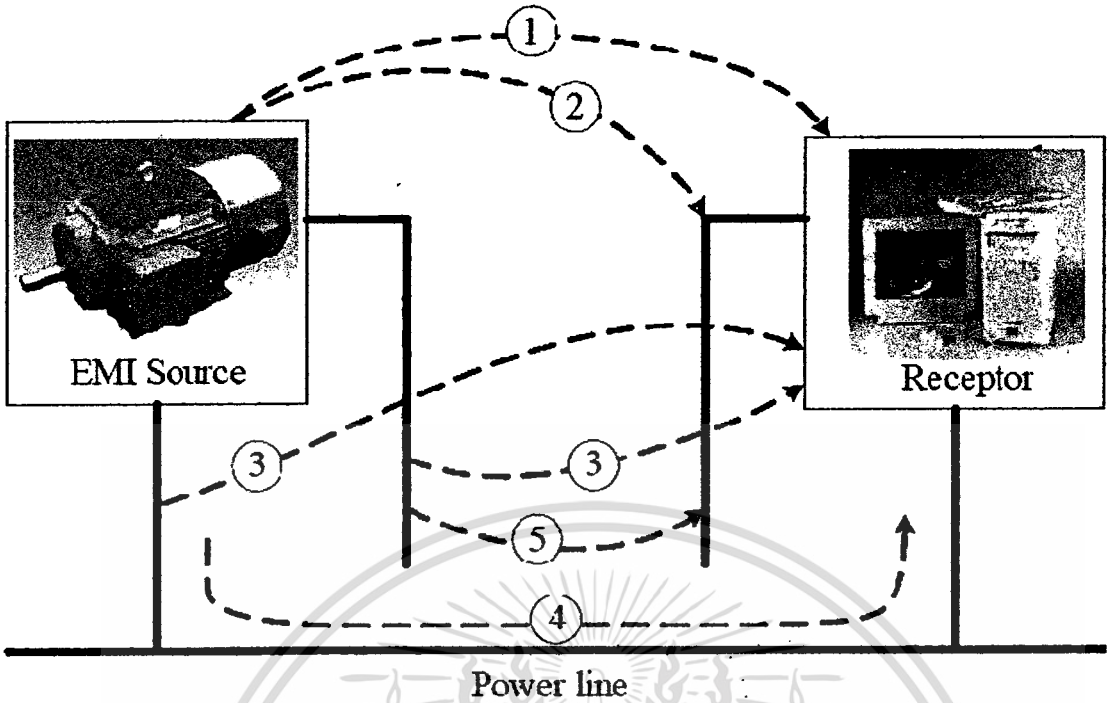
และส่วนที่สาม คือ **ส่วนเชื่อมต่อ** (Coupling) สัญญาณรบกวนระหว่างสองส่วนแรก เช่น โดยการแผ่กระจายไปทางอากาศ การเหนี่ยวนำหรือทางตัวนำ ดังเส้นทางที่ 1, 2, 3, 4 และ5 ดังรูปที่ 2.4 (ข)

โดยปกติส่วนที่กำเนิดสัญญาณมักจะสร้างสัญญาณไปรบกวนส่วนอื่นๆ แต่ในทางปฏิบัติส่วนที่กำเนิดสัญญาณอาจจะได้รับสัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่นก็ได้ จึงอาจเรียกได้ว่าเป็นทั้งตัวกำเนิดสัญญาณรบกวนและตัวได้รับสัญญาณรบกวนในเวลาเดียวกันก็ได้



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.4 องค์ประกอบและรูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในรูปที่ 2.4(ข) ส่วนที่กำเนิดสัญญาณมักจะสร้างสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับผลกระทบมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน โดยสรุปได้ดังนี้

รูปแบบที่ 1 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยผ่านทางอากาศไปยังตัวรับผลกระทบโดยตรง (Radiated emission)

รูปแบบที่ 2 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยผ่านทางอากาศไปยังสายตัวนำกำลัง/สัญญาณ/ควบคุมที่เชื่อมต่อกับตัวรับผลกระทบ โดยที่สายตัวนำดังกล่าวจะเป็นตัวนำสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไปยังตัวรับผลกระทบ (Indirect-conducted emission)

รูปแบบที่ 3 สายตัวนำกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเป็นตัวแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัวรับผลกระทบ (Indirect-radiated emission)

รูปแบบที่ 4 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนส่งผลกระทบไปยังตัวรับผลกระทบโดยผ่านทางสายตัวนำกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่เชื่อมต่อถึงกันกับตัวรับผลกระทบ (Conducted emission)

รูปแบบที่ 5 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในสายตัวนำกำลัง/สัญญาณ/ควบคุมที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน เหนี่ยวนำไปยังสายตัวนำกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่ต่ออยู่กับตัวรับผลกระทบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสายดังกล่าวอยู่ใกล้ชิดกันมากเท่าไหร่ก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวรับผลกระทบมากขึ้นเท่านั้น (Semi-conducted emission)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

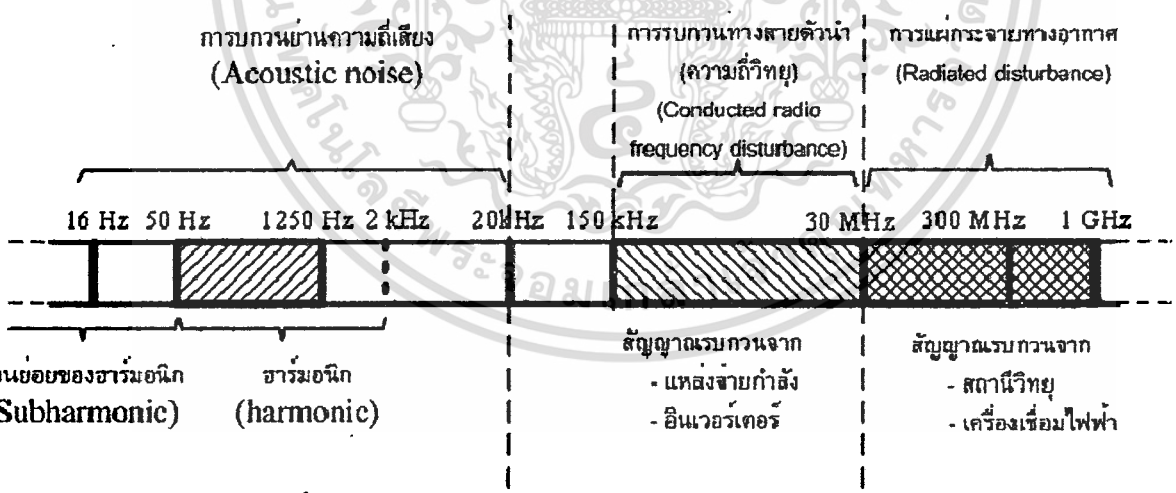
สัญญาณรบกวนที่เชื่อมต่อในรูปที่ 2.4 สามารถจำแนกตามลักษณะสัญญาณได้ดังนี้คือ

ก). หากวัดสัญญาณที่มาตามสายตัวนำจะวัดสัญญาณรบกวนในรูปของแรงดัน (V) หรือกระแสไฟฟ้า (A)

ข). หากวัดสัญญาณที่มาทางอากาศจะวัดสัญญาณรบกวนในรูปสนามไฟฟ้า(V/m) หรือสนามแม่เหล็ก (A/m) หรือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (plane wave: W/m^2) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างระยะห่างต่อความยาวคลื่น (r/λ)

2.3.2 ย่านความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Frequencies)

โดยทั่วไปการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบตามย่านความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ในย่าน 0 Hz ถึงประมาณ 2 kHz จะจัดอยู่ในย่านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำหรือที่นิยมเรียกกันว่า "ฮาร์มอนิก" (Harmonics) ซึ่งจะมีผลทำให้สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลังมีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์และนอกจากนั้นยังเพิ่มความสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังอีกด้วย สำหรับความถี่ในย่าน 1.25 kHz ถึง 150 kHz ในปัจจุบันยังไม่จัดว่าเป็นปัญหาที่จะต้องแก้ไขด้วยวิศวกรทางด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC engineers) แต่อย่างไรก็ตามมาตรฐานนานาชาติหลายฉบับได้ขยายย่านความถี่ฮาร์มอนิก ให้ครอบคลุมถึงย่านความถี่ดังกล่าวบ้างแล้ว



รูปที่ 2.5 ย่านความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ส่วนย่านความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าหรือบางครั้งจะเรียกแทนว่าการรบกวนความถี่วิทยุ (Radio frequency disturbance) จะจัดอยู่ในการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงโดยเริ่มพิจารณาความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 1GHz สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ ที่ความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (Conducted EMI) และย่านความถี่ตั้งแต่ 30 MHz ถึง 1 GHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ

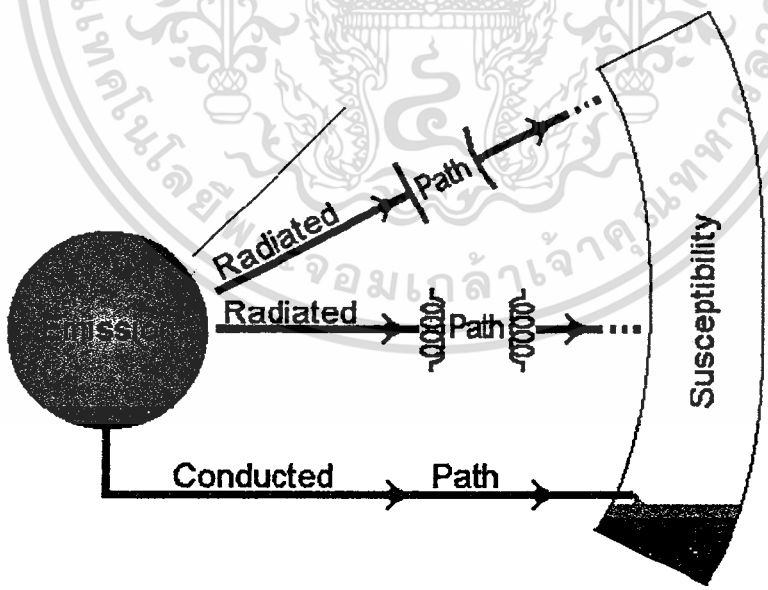
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Radiated EMI) ซึ่งทั้งสองแบบจะมีรูปแบบในการรบกวนและวิธีในการตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามโดยแท้จริงแล้วคำว่า "การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า" กับ "การรบกวนความถี่วิทยุ" จะไม่สามารถนำมาใช้แทนกันได้ เพราะการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเพียงส่วนหนึ่งในย่านความถี่วิทยุเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

กล่าวในทำนองเดียวกัน สำหรับการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกของวงจรหนึ่ง จะนับว่าเป็นการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่ความถี่ถึง 2 kHz เท่านั้น ยังไม่ถือว่าเป็นการป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ อีกกรณีหนึ่ง คือ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบ ไม่ถือว่าเป็นการป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์เช่นกัน เพราะเป็นการแก้ปัญหาในย่านความถี่ 50 Hz ถึงประมาณ 2 kHz (ย่านความถี่ฮาร์มอนิก) ซึ่งเป็นรูปแบบของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ต่ำ ซึ่งจะไม่คลอบคลุมถึงการแก้ไขสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูง (150 kHz ถึงประมาณ 30 MHz)

เครื่องมือหรือระบบบางแบบจะเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและตัวรับ ผลกระทบดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยเส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับผลกระทบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบด้วยกันคือ

1. การแผ่กระจาย (Radiation) หรือการเชื่อมต่อโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศหรือวัตถุอื่นๆ
2. การเชื่อมต่อผ่านทางสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



รูปที่ 2.6 หลักการเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

การเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปที่ 2.6 สามารถแทนให้อยู่ในรูปของไฟฟ้า (Electrically) ซึ่งสามารถแทนในอยู่ในรูปของตัวเก็บประจุ (Capacitor) หรืออยู่ในรูปของแม่เหล็ก (Magnetically) ก็สามารถแทนในรูปของตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ได้ ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ตัวเก็บประจุ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตัวเหนี่ยวนำเหล่านี้เป็นตัวเชื่อมต่อในการนำสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากสายตัวนำที่มีสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าให้สามารถส่งผ่านสัญญาณรบกวนดังกล่าวไปยังสายตัวนำอื่น

2.4 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ [4, 5, 7]

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งที่เป็นการแพร่ทางสายตัวนำและทางอากาศนั้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้สองรูปแบบ คือ

- สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม (Common-Mode Interference: CM)
- สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (Differential-Mode Interference: DM)

แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะโหมดผลร่วมและผลต่างในทางการแพร่ทางสายตัวนำเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยมีความหมายดังต่อไปนี้

สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม คือ ความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในสายตัวนำเทียบกับสายกราวด์

สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง คือ ความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำ

ดังนั้นในกรณีวงจรไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่งประกอบด้วยสายไลน์ (L) สายนิวทรอล (N) และสายกราวด์หรือสายดิน (G) จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าโหมดผลร่วม (V_c) และค่าแรงดันไฟฟ้าโหมดผลต่าง (V_d) ดังต่อไปนี้

$$V_C = \frac{V_{LG} + V_{NG}}{2} \tag{2.1}$$

$$V_d = \frac{V_{LG} - V_{NG}}{2} = \frac{V_{LN}}{2} \tag{2.2}$$

โดยที่ V_{LG} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับกราวด์

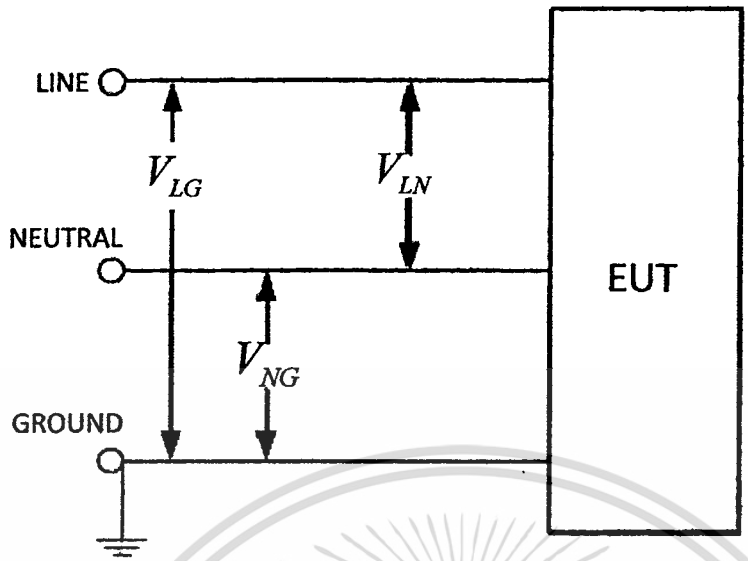
V_{NG} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวทรอลกับกราวด์

V_{LN} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับนิวทรอล

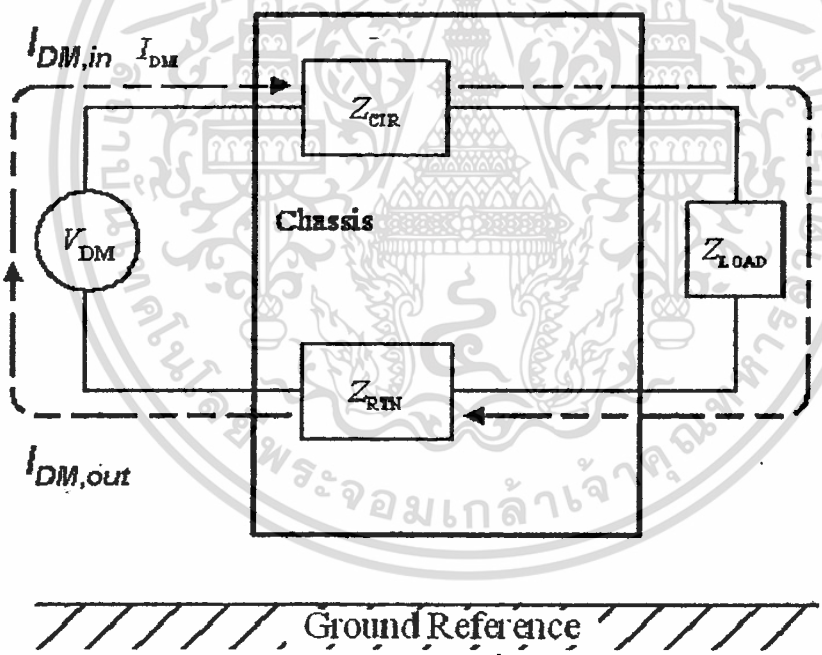
ซึ่งทางเดินของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลต่างและโหมดผลร่วม ที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.8(ก) และ (ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

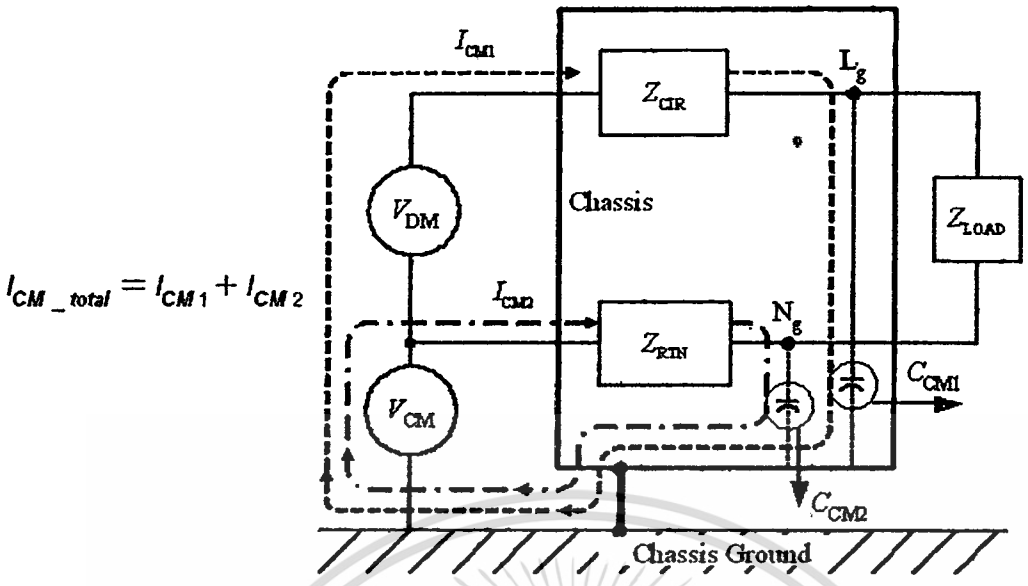


รูปที่ 2.7 แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณีวงจรไฟฟ้า 1 เฟส 3 สาย



(ก) เส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดต่าง

87115
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) เส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดร่วม

รูปที่ 2.8 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4.1 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างทางสายตัวนำ (Conducted Differential Mode)

ในการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดผลต่าง เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณในลักษณะของการเหนี่ยวนำนั้น เกิดขึ้นในวงจรปิดของเส้นการเดินทางของสัญญาณกระแสไฟฟ้า สัญญาณกระแสไฟฟ้ารบกวนแบบโหมดผลต่าง I_{DM} ในวงจรไฟฟ้าหนึ่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5(ก) เส้นทางเดินวงจรปิดของกระแสไฟฟ้าของระบบเฟสเดี่ยว-สองสาย กระแสไฟฟ้าสัญญาณโหมดผลต่าง I_{DM} จะเดินทางผ่านจากจุดส่งกำลังด้านเข้าจุดหนึ่ง ผ่านสายไฟ ผ่านส่วนต่อของวงจรที่ถูกแทนค่าโดย Z_{CIR} ไปยังตัวภาระ Z_{LOAD} หลังจากนั้นก็จะไหลกลับเส้นทางเดินวงจรปิดของกระแสไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งที่ถูกแทนค่าโดย I_{RTN} ผ่านไปยังจุดส่งกำลังด้านเข้าอีกจุดหนึ่ง การเดินทางครบรอบนี้จะก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าโหมดผลต่าง V_{DM} ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ก) นัยสำคัญของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดผลต่าง แสดงโดยสมการที่ (2.3) คือ

$$I_{DM,in} = -I_{DM,out} \tag{2.3}$$

ความแตกต่างของการพิจารณาคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าทั่วไป กับคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าที่พิจารณาการตอบสนองตามความถี่ร่วมด้วย จะพบว่าคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจรมีคุณสมบัติที่แปรค่าตามความถี่ เช่น ค่าความต้านทานทางกระแสไฟฟ้าสลับของลวดทองแดง หาได้จากสมการที่ (2.4) คือ

$$R_{ac} = (0.244d\sqrt{f} + 0.26) \cdot R_{dc} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด (cm)

f คือ ความถี่ (Hz)

R_{dc} คือ ค่าความต้านทานทางกระแสไฟฟ้าตรง (Ω)

จากสมการที่ (2.4) จะเห็นได้ว่า ค่าความต้านทานทางกระแสไฟฟ้าสลับของเส้นลวดทองแดงที่ปกติถูกใช้เป็นทางเดินสัญญาณในวงจร จะมีค่าแปรค่าตามความถี่ค่าความเหนี่ยวนำ L ที่สามารถแสดงได้โดยสมการที่ (2.5) เป็นสัดส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กรวม ϕ ของตัวกลางแม่เหล็กเชิงเส้นที่เกี่ยวประสานกับกระแสไฟฟ้า I ที่ไหลผ่านไปในขดลวดที่มีจำนวนรอบ N ที่เกี่ยวประสานกันอยู่หรือ

$$L=\frac{N\phi}{I} \tag{2.5}$$

เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ อธิบายได้โดยสมการที่ (2.6) คือ

$$\phi=\int_{s} B\cdot ds \tag{2.6}$$

โดย B คือความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก และ ds คือพื้นที่ปิดใดๆ

ข้อสังเกตจากสมการที่ (2.6) จะเห็นได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำที่แสดงดังสมการที่ (2.5) จะเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับรูปทรงทางกายภาพ รูปทรงที่เปลี่ยนไปหรือรูปทรงที่ต่างกันย่อมส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงไป ค่าความเหนี่ยวนำของสายไฟเส้นหนึ่งที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลมวางอยู่สูงกว่าโครงสร้างที่เป็นกราวด์อย่างน้อย 15 ซม. สามารถหาได้จากสมการที่ (2.7) คือ

$$L=0.002w\left(2.303\log\left(\frac{4w}{d}\right)-1+\frac{\mu_r}{4}\right)(\mu H) \tag{2.7}$$

โดยที่ w คือ ความยาวของสายไฟ (cm)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)

μ_r คือ ค่าความซึมซับได้สัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.7) จะเห็นได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำของสายไฟ จะมีค่าแปรผันโดยตรงกับความยาวของสายไฟ w สายไฟที่ยาวมากขึ้นค่าความเหนี่ยวนำของสายไฟจะเพิ่มมากขึ้นหลักการของการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดต่าง ถูกกำหนดขึ้นจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าต่อเวลา *di/dt* และค่ารีแอ็คแตนซ์แบบเหนี่ยวนำ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ตัวเหนี่ยวนำ คำนวณได้จาก

$$V_L = -L \cdot \left(\frac{di}{dt} \right) \tag{2.8}$$

เมื่อ L คือค่าความเหนี่ยวนำในวงจรปิด

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำ V_L ในสมการที่ (2.8) จะก่อให้เกิดเป็นสัญญาณโหมดต่างซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะการสวิตช์ของวงจรไฟฟ้า ถ้าจะทำให้สัญญาณที่ไม่ต้องการนี้มีค่าต่ำที่สุด พิจารณาจากสมการที่ (2.8) สามารถที่จะทำได้โดยการควบคุมให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ นั่นหมายความว่าสายไฟหรือส่วนต่อเชื่อมสัญญาณทั้งหลาย ที่อยู่ภายใต้อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าต่อเวลา จำเป็นต้องจำกัดให้มีระยะทางสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยสมการที่ (2.7) เป็นตัวอย่างหนึ่งเพื่อให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ในการดำเนินการทั่วไปสายไฟหรือส่วนต่อเชื่อมสัญญาณทั้งหลาย เส้นสัญญาณบนแผ่นวงจรพิมพ์ การต่อสายสัญญาณ และการเดินสายสัญญาณต่างๆ จะต้องทำให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ จะเห็นได้ว่าการควบคุมการแพร่สัญญาณทางสายตัวนำที่ดี ต้องมีพื้นฐานความรู้ความเข้าใจหลักการต่อเชื่อมสัญญาณ และจำเป็นต้องพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

2.4.2 สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมทางสายตัวนำ (Conducted Common Mode)

การต่อพ่วงสัญญาณแบบโหมดผลร่วมนั้น เกิดจากการอัดประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุแฝง โดยที่ตัวนำ (Conductor) แต่ละตัวมีค่าความเก็บประจุแฝงเมื่อเทียบกับตัวนำหรือวัสดุที่เป็นตัวนำอื่นๆ ค่าความเก็บประจุในส่วนของระนาบอนันต์ที่มีพื้นที่ผิว S ที่มีขนาดพื้นที่ผิวเชิงเส้น มีค่ามากกว่า ระยะห่างระหว่างระนาบ d มากๆ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.9) คือ

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} \tag{2.9}$$

โดยที่ C คือ ค่าความเก็บประจุที่ต้องการ

ε คือ ค่าที่ยอมให้ผ่านได้ของฉนวนไฟฟ้า ระหว่างระนาบทั้งสอง (F/m)

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S คือ พื้นที่ผิวหน้าตัดของแผ่นตัวนำ (m^2)

สัญญาณรบกวนแบบโหมดร่วมจะแสดงผลเมื่อมีการพิจารณาระบบกราวด์หรือระบบดินเข้ามาด้วย พิจารณาจุด L_g และ N_g ที่ต่ออ้างอิงถึงจุดกราวด์ของตัวถังดังแสดงในรูปที่ 2.8(ข) ตำแหน่งทั้งสองอาจจะประกอบขึ้นเป็นตัวเก็บประจุแฝง C_{CM1} และ C_{CM2} ตามลำดับ

สมการพื้นฐานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวเก็บประจุคือ

$$i_c = C \cdot \left(\frac{dv}{dt} \right) \tag{2.10}$$

จากสมการที่ (2.10) ส่วนของพื้นผิวใดๆที่เทียบกับกราวด์ตัวถังอาจจะถือได้ว่าประกอบกันเป็นตัวเก็บประจุ ดังนั้นตัวเก็บประจุนี้จะเชื่อมต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าต่อเวลาดังแสดงในสมการที่ (2.10) ไปยังกราวด์ตัวถัง ตัวเก็บประจุนี้ปกติจะถูกเรียกว่าตัวเก็บประจุแฝง ดังนั้นในวงจรทำงานจริงเมื่อมีการต่อถึงกันระหว่างวงจรและกราวด์ตัวถัง กระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วม I_{CM1} และ I_{CM2} ก็จะปรากฏขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.8(ข) โดยที่กระแสไฟฟ้าโหมดร่วมรวมกันได้เท่ากับ

$$I_{CM_total} = I_{CM1} + I_{CM2} \tag{2.11}$$

พิจารณาจากเส้นทางที่สัญญาณทั้งสองไหลผ่าน สำหรับกรณีทั่วไปจะพบว่า

$$I_{CM1} \neq I_{CM2} \tag{2.12}$$

ในการทำให้ผลของการเชื่อมต่อสัญญาณแบบโหมดร่วม ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อสัญญาณในลักษณะของความเก็บประจุมีผลต่ำที่สุด จำเป็นที่จะต้องทำให้พื้นที่ผิวที่อาจจะประกอบขึ้นเป็นตัวเก็บประจุแฝงมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือเพิ่มระยะห่างระหว่างพื้นที่ผิว d เนื่องจากแผ่นระบายความร้อนของตัวสวิตช์หลักจำเป็นจะต้องต่อลงกราวด์ตัวถัง ค่าการยอมให้ผ่านได้สัมพัทธ์ ε_r ของตัวฉนวนทางไฟฟ้าที่วางกั้นระหว่างตัวถังของตัวสวิตช์กับแผ่นระบายความร้อน จำเป็นจะต้องถูกเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดค่าความเก็บประจุแฝงที่มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรัฐบาลของแต่ละประเทศให้เป็นมาตรฐานบังคับใช้ภายในประเทศ จึงกลายเป็นมาตรฐานสากลไป โดยปริยาย โดยมาตรฐาน CISPR Publication 22 ประกาศออกมาเพื่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจากกรณีของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment) ซึ่งก็หมายถึงอุปกรณ์ดิจิตอล (Digital electronics) ซึ่งได้ประกาศขึ้นในปี ค.ศ.1985 และหลังจากนั้นอีกในหลายๆ ประเทศทางยุโรป หรืออาจจะกล่าวได้ว่าทั่วโลกได้นำมาตรฐานดังกล่าวออกบังคับใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติของตน (National standard) เช่น ประเทศญี่ปุ่นได้ออกมาตรฐาน VCCI โดยใช้เส้นขีดจำกัดตาม CISPR Publication 22 เว้นเพียงแต่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแก่ตัวถูกทดสอบ (EUT) จะแตกต่างกัน โดยที่ VCCI จะทดสอบที่แรงดันด้านเข้าของตัวถูกทดสอบเท่ากับ 100 โวลต์เป็นต้น

2.5.3 มาตรฐานทางการทหาร (Military Standards)

MIL-STD-461B และ MIL-STD-462 เป็นมาตรฐานที่ออกโดยการทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยที่ MIL-STD-461B กำหนดเส้นขีดจำกัดระดับของสัญญาณรบกวน (limit) และ MIL-STD-462 จะกำหนดขั้นตอนและวิธีการทดสอบ โดยที่มาตรฐานดังกล่าวจะมีรายละเอียดและเข้มงวดกว่า FCC เพราะมาตรฐานดังกล่าวพิจารณาถึง "ความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (susceptibility)" และย่านความถี่ที่พิจารณายังกว้างกว่าอีกด้วย (30 Hz – 40 GHz)

2.5.4 VDE

VDE ย่อมาจาก Verband Deutscher Elektrotechniker ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศเยอรมัน ซึ่งในประเทศเยอรมันได้กำหนดไว้ว่าอุปกรณ์ที่มีความถี่ในการทำงานสูงกว่า 10 kHz จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ถ้าไม่มีใบอนุญาต ทำให้โรงงานในประเทศเยอรมันทั้งหมดต้องมีการทดสอบสินค้าตามมาตรฐานดังกล่าว โดย VDE 0875 ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่มีย่านความถี่รบกวนที่กว้าง (Broadband Interference) เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านเป็นต้น ในขณะที่ VDE 0871 ใช้สำหรับย่านความถี่รบกวนที่กว้างและแคบ (Broad-band and Narrow-band) ซึ่งได้แก่อุปกรณ์สารสนเทศ (Information Technology Equipments) เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานของประเทศเยอรมันดังกล่าวจะมีภาพรวมคล้ายกับมาตรฐานของยุโรป EN 55014 และ EN 55022 ตามลำดับยกเว้นเพียงแต่ย่านความถี่ที่พิจารณาจะมีความแตกต่างกัน

2.5.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยเพิ่งได้มีการเริ่มต้นนำมาตรฐานนานาชาติ (IEC) มาปรับใช้เป็นมาตรฐานภายในประเทศอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 โดยได้มีการนำมาปรับปรุงแก้ไข CISPR 15 และ CISPR 22 เป็นมาตรฐานไทยแล้วได้แก่ มอก. 1955-2542 (บริภัณฑ์ส่องสว่างและบริภัณฑ์ที่คล้ายกัน: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) ซึ่งเป็นมาตรฐานบังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ และ มอก. 1956-2542 (บริภัณฑ์เทคโนโลยีสารสนเทศ: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) ซึ่งอยู่ในระหว่างดำเนินการให้มีการบังคับใช้

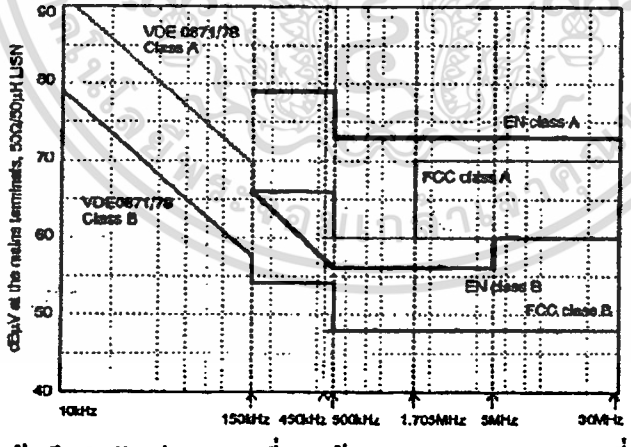
อนึ่งมาตรฐานด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย มีแนวทางและได้นำมาตรฐานด้าน EMC ของ IEC เช่นเทคนิคการทดสอบ ด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้โดยออกเป็นประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ)

ตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.14 ตารางสรุปมาตรฐานนานาชาติ ภูมิภาคและเส้นขีดจำกัดตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

International Regulations Summary (Emissions)

CISPR	FCC	EN's	Description
11	Part 18	EN 55011	Industrial, Scientific and Medical
12	(SAE)		Automotives
13	Part 15	EN 55013	Broadcast Receivers
14		EN 55014	Household Appliances/tools
15		En 55015	Fluorescent lights/luminaries
16			Measurement apparatus/methods
22	Part 15	EN 55022	Information technology equipment
		EN 50081-1, 2	Generic emissions standards



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเส้นขีดจำกัด ย่านความถี่ของข้อกำหนดและมาตรฐานที่มาตามสายตัวนำ

2.6 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำและเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย [7,]

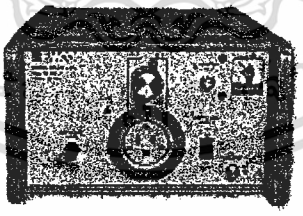
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอน และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำจำนวน 2 แบบ ได้แก่ การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดัน และการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแส ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การวัด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแส เนื่องจากสะดวกในการแยกสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างออกจากกัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนทางสายตัวนำทั้งการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดัน และการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแส จะต่างกันเพียงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ โดยการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดันจะใช้การวัดแรงดันของสัญญาณรบกวนเหมือนการวัดแรงดันไฟฟ้าทั่วไป โดยส่งแรงดันไปยัง LISN และส่งต่อไปยัง Spectrum Analyzer อีกทีหนึ่ง ส่วนการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแสจะใช้ตัวจับกระแสหรือ Current Probe เป็นตัวตรวจจับและส่งข้อมูลไปให้ Spectrum Analyzer ทำการวิเคราะห์ โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแสดงได้ดังนี้

- LISN (Line Impedance Stabilization Network) เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้ใช้เพื่อให้การทดสอบนั้นเชื่อถือได้ และถูกต้อง ซึ่งหน้าที่หลักๆ ของ LISN มีอยู่ 3 ประการด้วยกันคือ ป้องกันสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ภายนอกเข้าไปรบกวน EUT, ป้องกันสัญญาณรบกวนจาก EUT ไปรบกวนอุปกรณ์ภายนอก และทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม เพื่อให้เกิดการเข้ากันได้หรือทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องวัดและระบบมีค่าเท่ากัน (Matching Impedance) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานสูงสุด (Power Maximum Transfer) ทำให้ผลที่ได้จากการวัดมีความถูกต้องและเป็นค่าจริงที่ควรวัดได้ โดย LISN แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Line Impedance Stabilization Network

- EUT หรือ DUT (Equipment Under Test หรือ Device Under Test) คือ วงจร อุปกรณ์ หรือระบบที่นำมาทำการทดสอบหาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดย EUT จะหมายถึงวงจรหรืออุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก กำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก หรือเป็นวงจรเดี่ยว เช่น สวิตซ์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย, วงจรหรี่แสงหลอดอินแคนเดสเซนต์, บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ส่วน DUT หมายถึง อุปกรณ์ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีกำลังไฟฟ้าสูง หรือเป็นวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มาตรฐานและการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ [3]

สาเหตุสำคัญที่ต้องมีการกำหนดขีดจำกัด และมาตรฐานสำหรับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำก็เพราะว่าต้องการจำกัดกระแสสัญญาณรบกวน (Noise current) ที่เกิดจากตัวผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าที่ผ่านออกมาทางสายไฟฟ้า (AC power cord) ผ่านเต้ารับ และจากนั้นจะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มที่จุดรวมสายไฟฟ้า (Common power distribution system) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวจะเปรียบเสมือนกับเป็นสายอากาศขนาดใหญ่ (Antenna) เป็นผลทำให้กระแสสัญญาณรบกวนดังกล่าวสามารถแผ่กระจายและเกิดการรบกวนต่อระบบโดยรวมได้ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การผ่านการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว มิได้เป็นการรับประกันว่าสินค้าที่ผ่านการทดสอบนั้นจะไม่ก่อให้เกิดการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เพียงแค่เป็นการยอมรับหรือจำกัดการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของสินค้าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.5.1 FCC REGULATIONS

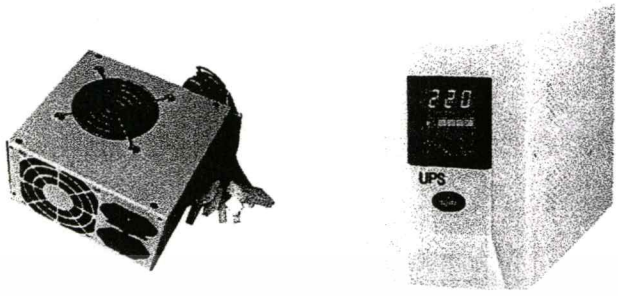
FCC ย่อมาจาก Federal Communications Commission ซึ่งเป็นของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ทำการออกกฎข้อบังคับสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร (Wire and radio communications) ซึ่งก่อตั้งในปีค.ศ. 1927 และสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันกล่าวคือ Part 15 สำหรับอุปกรณ์ความถี่วิทยุ (Radio-frequency devices) Part 18 สำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ (ISM) และ Part 68 สำหรับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบโทรศัพท์ (Telephone network) สำหรับ Part 15 จะแบ่งมาตรฐานออกเป็น 4 ฉบับ และยังได้นิยามความหมายของอุปกรณ์ความถี่วิทยุว่าคือ อุปกรณ์ใดๆ ก็ตามที่การทำงานทำให้เกิดการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่วิทยุ (Radio-frequency energy) ไม่ว่าจะเป็นทางสาย (Conduction) หรือทางอากาศ (Radiation) ก็ตาม โดย FCC ได้นิยามพลังงานที่ความถี่วิทยุ (Energy in the radio frequency range) ว่าคือพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุ (9 kHz – 3000 GHz) โดยมีจุดประสงค์ในการออกมาตรฐานเพื่อกำหนดการทำงานของตัวส่งสัญญาณ (Transmitters) ที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำซึ่งไม่ได้มีใบอนุญาตในการติดตั้ง (Radio station license) และเพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวสินค้าที่จะส่งผลกระทบต่อการติดต่อสื่อสารด้วยความถี่วิทยุ (Radio communications) โดยอุปกรณ์ดิจิตอล (Digital electronics) ก็จัดอยู่ในหมวดดังกล่าว

2.5.2 CISPR

CISPR ย่อมาจาก International Special Committee on Radio Interference (โดยย่อมาจากคำเต็มซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศส คือ Comite International Special des Perturbations Radioelectrique) ก่อตั้งเมื่อปีค.ศ. 1933 เพื่อหาวิธีการวัดและขีดจำกัดของการรบกวนในย่านความถี่วิทยุสำหรับนานาชาติ นอกจากนั้นตัว CISPR ไม่ได้เป็นกฎข้อบังคับหรือมาตรฐานบังคับใช้แต่อย่างใด แต่มาตรฐานดังกล่าวจะถูกคัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

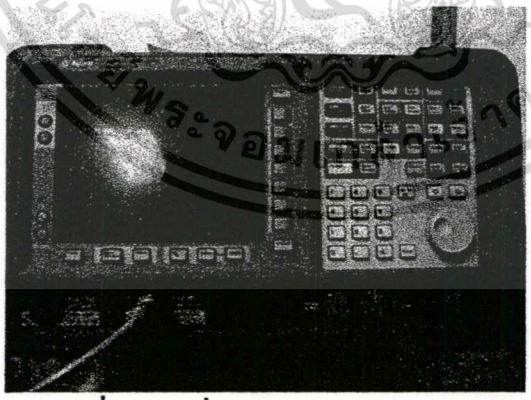
แบบรวม (Integrate circuit) เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, เครื่องสำรองไฟ UPS, ไมโครเวฟ เป็นต้น โดยตัวอย่างของ EUT แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง EUT

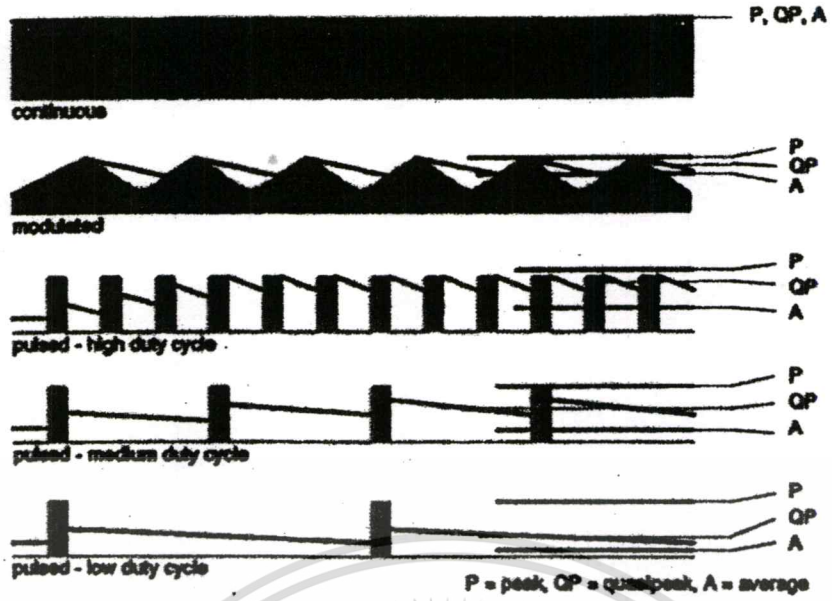
- Spectrum Analyzer หรือ Measuring Receiver คือ เครื่องมือที่ใช้วัดและแสดงผลแอมปลิจูดของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่างๆ โดยทำการเลือกวัดค่าสัญญาณรบกวนในรูปของแรงดันและกระแสได้ ซึ่ง Spectrum Analyzer สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ได้ เพื่อแสดงผลเทียบกับมาตรฐานต่างๆ ได้ โดย Spectrum Analyzer แสดงดังรูปที่ 2.12

ในการวัดสัญญาณรบกวนด้วยเครื่องวัด Spectrum Analyzer จะมีการตรวจจับสัญญาณเพื่อทำการวัด (Detector function) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ Peak detector (P), Quasi Peak (QP) และ Average detector (A) ซึ่งแต่ละแบบจะตรวจจับสัญญาณในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 เครื่อง Spectrum Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



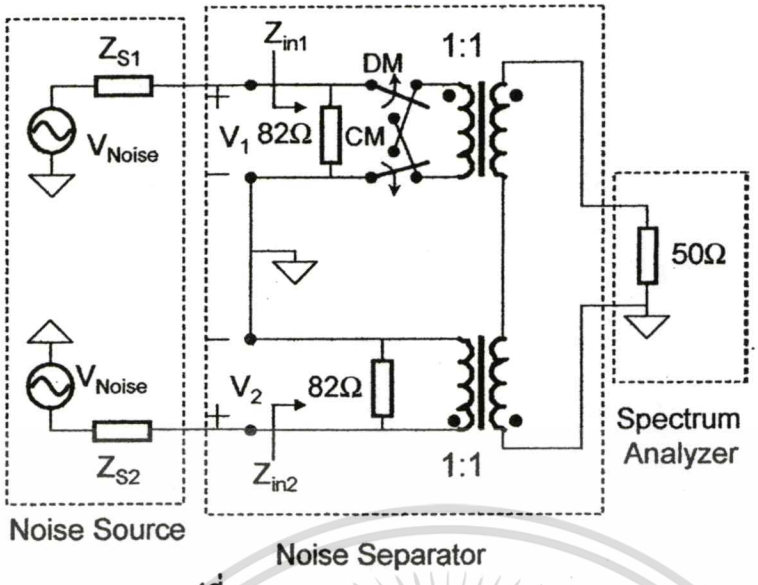
รูปที่ 2.13 การตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่อง Spectrum Analyzer

จากรูปที่ 2.13 การตรวจจับสัญญาณแบบ P เป็นการตรวจจับค่าสูงสุดของสัญญาณ ซึ่งการตรวจจับแบบ P นั้นจะมีค่าของสัญญาณสูงกว่าการตรวจแบบ QP และ A ยกเว้นแต่ในกรณีที่สัญญาณนั้นมีลักษณะค่าคงที่ สม่ำเสมอ เมื่อเครื่องทำการตรวจจับแบบ P เครื่องวัดจะทำการปล่อยสัญญาณออกไปอย่างรวดเร็ว แล้วทำการตรวจจับใหม่อีกครั้ง ทำให้การวัดแบบ P มีความรวดเร็วในการตรวจวัดมากกว่าแบบ QP และ A ในขณะที่แบบ A จะเป็นการวัดค่าสัญญาณแบบเฉลี่ย ส่วนแบบ QP จะตรวจจับสัญญาณโดยมีการชั่งน้ำหนักช่วงเวลาที่สัญญาณมีการ charge และ discharge หรือนำช่วงเวลาที่สัญญาณเพิ่มขึ้นและลดลงมาพิจารณาด้วยทำให้การวัดแบบ A และ QP ใช้เวลาในการตรวจจับสัญญาณมากกว่าแบบ P จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่า ยิ่งสัญญาณมี duty cycle มาก การวัดแบบ A และ QP ก็จะสูงขึ้นและใกล้เคียงกับการวัดแบบ P มากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าสัญญาณมี duty cycle ต่ำ การวัดแบบ A และ QP จะมีค่าต่ำกว่า P อย่างชัดเจน

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวัดเฉพาะแบบ P เท่านั้น เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว และยังเป็นค่าสูงสุดอีกด้วย ทำการวัดในช่วงย่านความถี่ 150 kHz - 30 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

- Noise Separator คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำผลรวมให้สามารถแยกออกมาเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างได้ โดยวงจร Noise Separator แสดงได้ดังรูปที่ 2.14

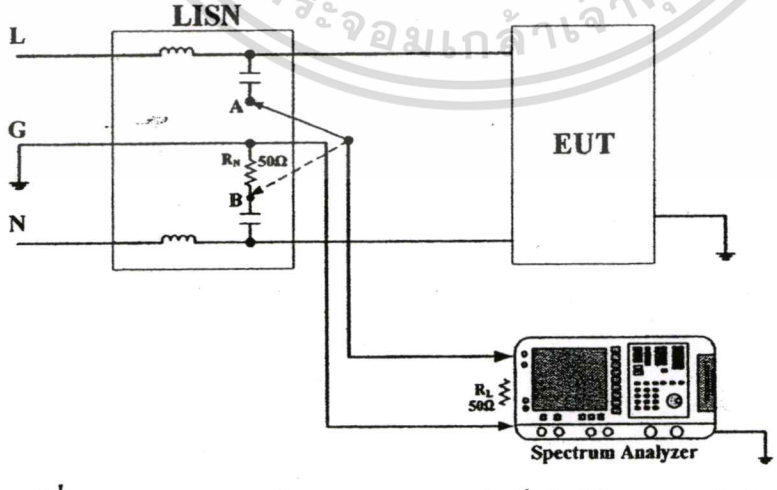
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 วงจร Noise Separator [6]

2.6.1 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน

การวัดในรูปแบบนี้จะเป็นการวัดแบบสากลที่นิยมใช้มากที่สุดโดยมีอุปกรณ์ในการวัดที่สำคัญคือ LISN, Spectrum Analyzer, Noise Separator และ EUT (Equipment Under Test) มีการต่อวงจรดังรูปที่ 2.15 ซึ่งในการทดสอบจะทำการวัดสัญญาณรบกวนในรูปของแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น โดยการวัดนั้นสามารถหาค่าได้เฉพาะค่าแรงดันสัญญาณรบกวนรวมทั้งหมด (รวมสัญญาณรบกวนในสายไลน์และสายนิวทรอล) ดังนั้นจึงได้นำอุปกรณ์ Noise Separator ซึ่งรวมอยู่ภายใน LISN แล้ว ทำการแยกสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างและในโหมดผลร่วมออกจากกัน [5]



รูปที่ 2.15 การทดสอบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน

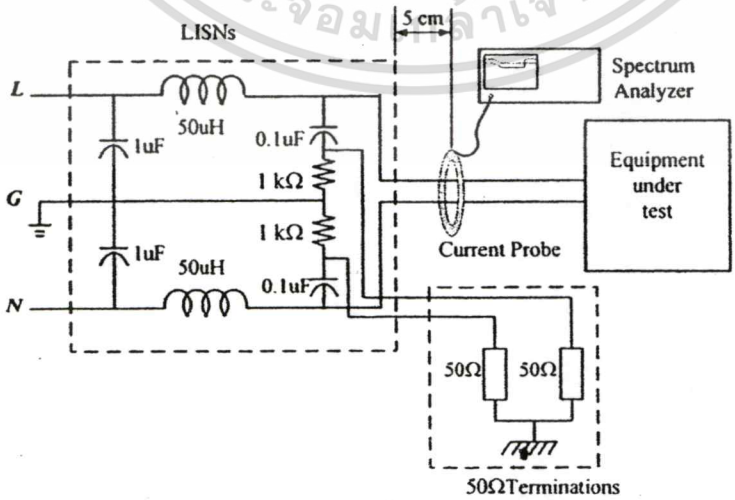
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแสไฟฟ้าของสัญญาณรบกวน

วิธีการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของกระแสไฟฟ้าจะใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นมา คือ ตัวตรวจจับกระแส หรือ Current Probe โดยแสดงดังภาพที่ 2.16 โดยโพรปกระแสนี้สามารถใช้งานที่ความถี่สูง นอกจากนี้ยังสามารถวัดแยกสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง และโหมดผลร่วมได้เลย โดยไม่ต้องมี Noise Separator ซึ่งจะสะดวกต่อการวัดและวิเคราะห์สัญญาณรบกวน จากมาตรฐาน MIL STD 462 การวัดสัญญาณรบกวนโดยใช้โพรปกระแสนั้น จะต้องวางโพรปกระแสให้ห่างจาก LISN ประมาณ 5 cm และที่ขั้วของการวัดจะทำการต่อตัวต้านทาน 50 โอห์ม จำนวน 2 ตัวที่ขั้วทั้งสองเพื่อให้เกิดการรักษาค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสายตัวนำกับกราวนด์ ซึ่งโดยปกติเครื่องวัด Spectrum Analyzer จะมีการรักษาค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์มไว้แล้ว นอกจากนี้การวัดสัญญาณรบกวนด้วยโพรปกระแส ต้องทำการชดเชยค่าการสูญเสียของโพรปกระแสนั้นๆ ด้วย เข้าที่เครื่องวัด Spectrum Analyzer หรือคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่อง Spectrum Analyzer ซึ่งมีรูปแบบการต่อดังรูปที่ 2.17 และ รูปที่ 2.18

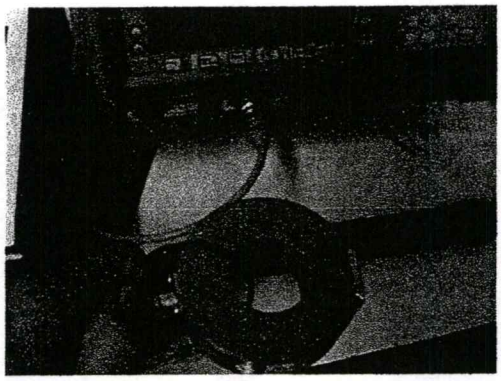


รูปที่ 2.16 Current Probe



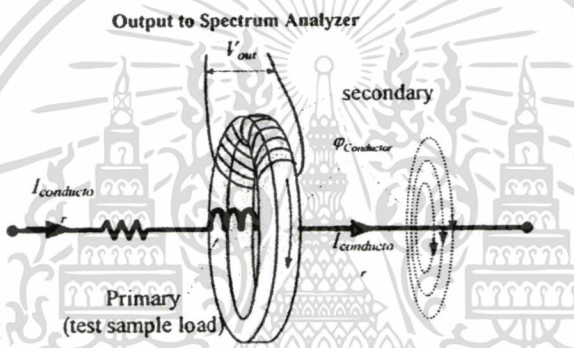
รูปที่ 2.17 การวัดสัญญาณรบกวนด้วยโพรปกระแส (Current Probe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการวัดสัญญาณด้วยโพรบกระแสกับ Spectrum Analyzer

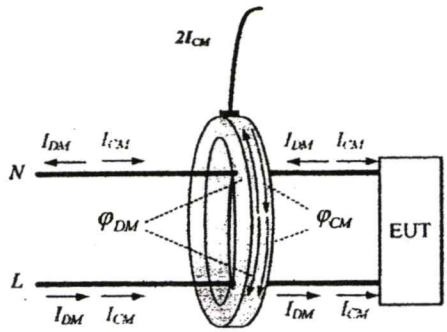
การวัดสัญญาณด้วยโพรบกระแสจะอธิบายได้ดังรูปที่ 2.19



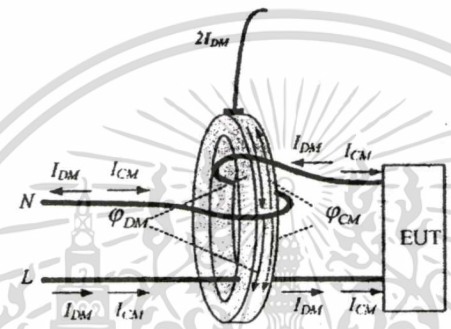
รูปที่ 2.19 การวัดโดยใช้โพรบกระแส

จากรูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างการทำงานและวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้โพรบกระแส กล่าวคือ ขณะที่สายตัวนำมีกระแสไฟฟ้าไหล $I_{conductor}$ จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก $\varphi_{conductor}$ ที่สายตัวนำที่มีทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก ดังในรูปที่ 2.19 ตามกฎมือขวา ทำให้สายตัวนำที่ถูกคล้องเปรียบเสมือนเป็นขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และเมื่อนำโพรบกระแสไปคล้อง ตัวโพรบกระแสจะเปรียบเสมือนขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ซึ่งเมื่อนำโพรบไปคล้องที่สายตัวนำจะทำให้เกิดการเกี่ยวคล้องของฟลั๊กแม่เหล็กระหว่างสายตัวนำกับโพรบกระแส ทำให้เกิดสัญญาณในรูปของแรงดันไฟฟ้า V_{out} ที่ขั้วด้านออกของขดลวดทุติยภูมิ แล้วส่งแรงดันดังกล่าวไปที่เครื่องวัด Spectrum Analyzer ซึ่งในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างโดยใช้โพรบกระแส แสดงดังรูปที่ 2.20

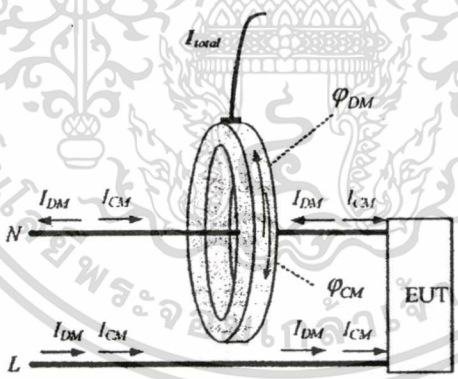
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วม



(ข) วัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลต่าง



(ค) วัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลรวม

รูปที่ 2.20 การวัดกระไฟฟ้าโหมดต่างๆ โดยใช้โพรบกระแส

2.6.2.1 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วม

จากรูปที่ 2.20 (ก) แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วมโดยใช้โพรบกระแส โดยที่โพรบกระแสจะคล้องทั้งสายตัวนำและสายนิวตรอล จากรูปทิศทางของกระแสโหมดผลร่วม i_{CM} และโหมดผลต่าง i_{DM} ซึ่งการคล้องดังในรูปจะเห็นได้ว่าทิศทางของกระแสโหมดผลต่าง i_{DM} ที่ไหลในสายตัวนำและสายนิวทรอลจะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก φ_{DM} มีทิศทางหักล้างกันดังรูป และเมื่อพิจารณาทิศทางของกระแสโหมดผลร่วม i_{CM} ที่ไหลในสายตัวนำและนิวตรอล จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก φ_{CM} จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางกระแสไฟฟ้าทั้งสองจะเสริมกัน ทำให้ผลรวมของฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็น $2\varphi_{CM}$ ทำให้แรงดันไฟฟ้า V_{out} ที่วัดได้จะเป็นค่าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ทำการวัด $I_{conductor}=2i_{CM}$ ดังนั้นผลจากการวัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วมโดยใช้โพรบกระแสที่ส่งไปยังเครื่อง Spectrum Analyzer คือ ผลรวมของกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วมที่ไหลในสายตัวนำกับสายนิวทรอลเท่ากับ $2i_{CM}$ ที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า V_{out}

2.6.2.2 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าโหมดผลต่าง

จากรูปที่ 2.20 (ข) แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลต่างโดยใช้โพรบกระแส โดยที่โพรบกระแสจะคล้องทั้งสายตัวนำและสายนิวทรอลดังรูป และจากรูปทิศทางของกระแสโหมดผลร่วม i_{CM} ที่ไหลสายตัวนำและสายนิวทรอล จะทำให้เกิดฟลั๊กซ์แม่เหล็ก φ_{CM} มีทิศทางหักล้างกันดังรูป และเมื่อพิจารณาทิศทางของกระแสโหมดผลต่าง i_{DM} ที่ไหลในสายตัวนำและสายนิวทรอล จะทำให้เกิดฟลั๊กซ์แม่เหล็ก φ_{DM} จากทิศทางกระแสไฟฟ้าทั้งสองจะเสริมกัน ทำให้ผลรวมของฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็น $2\varphi_{DM}$ ทำให้แรงดันไฟฟ้า V_{out} ที่วัดได้จะเป็นค่าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ทำการวัด $I_{conductor}=2i_{DM}$ ดังนั้นผลจากการวัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลต่างโดยใช้โพรบกระแสที่ส่งไปยังเครื่อง Spectrum Analyzer คือ ผลรวมของกระแสไฟฟ้าโหมดผลต่างที่ไหลในสายตัวนำกับสายนิวทรอลเท่ากับ $2i_{DM}$ ที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า V_{out}

2.6.2.3 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าโหมดผลรวม

ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโหมดผลรวม จะทำการวัดที่สายตัวนำหรือสายนิวทรอลก็ได้ และตามมาตราฐาน MIL STD 462 จะต้องทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโหมดผลรวมทั้งสายตัวนำและสายนิวทรอล จากรูปเมื่อทำการวัดกระแสไฟฟ้าโหดผลรวมที่ไหลในสายนิวทรอล $\left(i_{total,N}\right)$ ทำได้โดยนำโพรบกระแสไปคล้องเฉพาะสายนิวทรอลเพียงสายเดียวเท่านั้นดังรูปที่ 2.20 (ค) จากการคล้องลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่หักล้างกัน $\left(-\varphi_{CM}+\varphi_{DM}\right)$ โดยฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เหลือ จะไปเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิ ดังนั้นผลการวัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลรวมที่ไหลในสายนิวทรอล ที่ส่งไปยังเครื่อง Spectrum Analyzer คือ ผลรวมของกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่ไหลในสายนิวทรอลเท่านั้น $\left(i_{total,N}=-i_{CM}+i_{DM}\right)$ หรือกระแสไฟฟ้าโหมดผลรวมที่ไหลในสายนิวทรอลในรูปของแรงดันไฟฟ้า V_{out}

ในขณะที่การวัดกระแสไฟฟ้าในโหมดผลรวมที่ไหลในสายตัวนำ (Line) สามารถทำได้เช่นเดียวกับการวัดกระแสไฟฟ้าโหมดผลรวมในสายนิวทรอล แต่ต่างกันที่การคล้องโพรบวัดกระแสไฟฟ้าในสายตัวนำแทนที่จะคล้องสายนิวทรอล และแรงดันที่ส่งไปยังเครื่อง Spectrum Analyzer คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่ไหลในสายตัวนำ $\left(i_{total,L} = -i_{CM} - i_{DM}\right)$ หรือกระแสไฟฟ้าโหมดผลรวมที่ไหลในสายตัวนำในรูปของแรงดันไฟฟ้า V_{out}

2.6.3 การจัดวางอุปกรณ์ตามมาตรฐาน มอก. 1956-2542 ข้อ 8.4 [3, 7, 27]

ในการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำนั้นจำเป็นต้องมีการจัดวางอุปกรณ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานการวัด ซึ่งในที่นี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 1956-2542 ข้อ 8.4 ที่ว่าด้วยเรื่องการจัดวางอุปกรณ์ดังนี้

(ก) ระนาบพื้น

สำหรับระนาบพื้น (Ground Plane) สำหรับการวัดสัญญาณรบกวนนั้นตามมาตรฐาน มอก. 1956-2542 ได้กำหนดไว้ดังนี้คือ

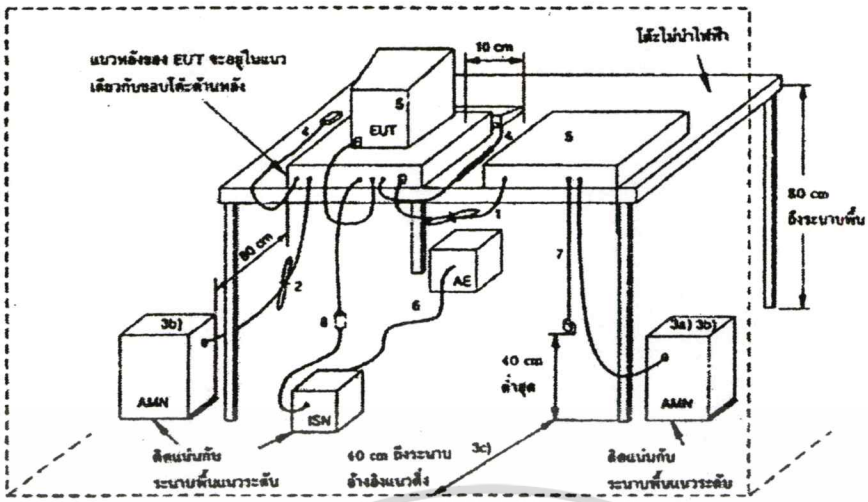
การวางอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ (Equipment Under Test: EUT) ซึ่งประสงค์ให้ใช้งานบนโต๊ะ 0.4 เมตร ห่างจากระนาบอ้างอิงโลหะในแนวดิ่งที่มีขนาดอย่างน้อย 2 เมตรคูณ 2 เมตร และต้องรักษาระยะห่างอย่างน้อย 0.8 เมตรจากพื้นผิวโลหะอื่นๆ หรือระนาบอื่นที่ไม่ได้เป็นส่วนของ EUT

อุปกรณ์ทดสอบตั้งพื้นต้องวางระนาบพื้นโลหะในแนวระดับ จุดสัมผัสต้องสอดคล้องกับการใช้งานตามปกติ แต่ต้องไม่สัมผัสทางโลหะกับระนาบพื้น อาจแทนที่โลหะด้วยระนาบพื้นอ้างอิง ระนาบพื้นอ้างอิงต้องยื่นพ้นเส้นของของ EUT อย่างน้อย 0.5 เมตร และต้องมีขนาดอย่างน้อย 2 เมตรคูณ 2 เมตร และจุดอ้างอิงของ LISN ต้องต่อเข้ากับระนาบพื้นอ้างอิงด้วยตัวนำที่สั้นสุดเท่าที่จะทำได้

(ข) โครงแบบทดสอบตามาตรฐาน มอก. 1956-2542

อุปกรณ์ที่ออกแบบสำหรับการทำงานทั้งที่วางบนโต๊ะหรือวางบนพื้น โดยถ้าอุปกรณ์ที่ออกแบบสำหรับติดตั้งบนฝาผนัง ต้องทดสอบในลักษณะเหมือนแบบวางบนโต๊ะ และหันเหทิศทางของอุปกรณ์ต้องสอดคล้องกับการใช้งานปกติ โดยการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบจะเป็นไปตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 โครงแบบทดสอบอุปกรณ์วางบนโต๊ะ (การวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ)

เมื่อ AE คือ อุปกรณ์การวัดที่เกี่ยวข้อง

EUT คือ อุปกรณ์ที่นำมาทำการทดสอบ

ISN (LISN) คือ โครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์

1. ถ้าสายเคเบิ้ลที่ห้อยอยู่ใกล้ระนาบกับพื้นโลหะแนวระดับในระยะต่ำกว่า 40 cm และไม่สามารถทำให้สั้นลงจนมีความยาวที่เหมาะสมได้ ส่วนที่เกินต้องม้วนทบให้เป็นมัดที่ยาว 30 ถึง 40 cm
2. สายอ่อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธานที่ยาวเกินต้องม้วนทบให้เป็นมัดที่กลางสาย หรือทำให้สั้นลงจนมีความยาวเหมาะสม
3. ให้ต่อ EUT เข้ากับ AMN เครื่องหนึ่ง AMN และ LISN ทุกเครื่องอาจเลือกติดตั้งกับระนาบอ้างอิงแนวดิ่ง หรือผนังโลหะ
   ก. หน่วยอื่นทั้งหมดของระบบได้รับกำลังไฟฟ้าจาก AMN เครื่องที่ 2 อาจใช้เต้ารับชุดสำหรับสายอ่อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธานหลายเส้น
   ข. AMN และ LISN ห่างจาก EUT ประมาณ 80 cm และห่างจากหน่วยอื่นและระนาบโลหะอื่นอย่างน้อย 80 cm
   ค. ต้องจัดตำแหน่งสายอ่อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประธานและสายเคเบิลสัญญาณตลอดความยาวของสายเท่าที่จะทำได้ ที่ระยะ 40 cm ห่างจากระนาบอ้างอิงแนวดิ่ง
4. สายเคเบิ้ลของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยมือ เช่น แผงแป้นอักขระ เม้าส์ เป็นต้น ต้องวางในลักษณะใช้งานปกติ
5. อุปกรณ์รอบข้างต้องวางที่ระยะ 10 cm จากเครื่องมืออื่นๆ และจากตัวควบคุม ยกเว้นจอภาพซึ่งถ้ายอมรับได้ในทางปฏิบัติเกี่ยวกับติดตั้งก็ให้วางบนตัวควบคุมโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สายเคเบิ้ลสัญญาณเข้า/ออก มีไว้สำหรับการต่อภายนอกเท่านั้น
7. ปลายของสายเคเบิ้ลสัญญาณเข้า/ออก ซึ่งถ้าไม่ได้ต่อเข้ากับ AE อาจทำการปิดปลายสายได้ โดยทำการต่ออิมพีแดนซ์ 50 โอห์มเข้าไปที่ปลายสาย
8. ถ้าใช้โพรปกระแส ต้องวางอยู่ที่ระยะ 0.1 เมตร จาก LISN

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นคือขั้นตอนและมาตรฐานในการทดสอบการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำตามมาตรฐาน มอก. 1956-2542 ข้อ 8.4

สรุปบทที่ 2

ในบทที่ 2 นี้ จะกล่าวถึงความหมาย และนิยามของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า การเกิดสัญญาณรบกวน รูปแบบการเกิดสัญญาณรบกวน โดยเนื้อหาส่วนหลังจะกล่าวถึงสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง และโหมดผลร่วม รวมทั้งมาตรฐาน ขั้นตอนการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ และเครื่องมือวัดที่ใช้

ในส่วนของบทต่อไปจะกล่าวถึงตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำหรือ EMI Filter โดยกล่าวถึงองค์ประกอบภายในของตัวกรองสัญญาณรบกวนทางสายตัวนำ การออกแบบและคำนวณอุปกรณ์ต่างๆ การเลือกใช้ชนิดของแกนตัวเหนี่ยวนำ และการเลือกใช้ตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)

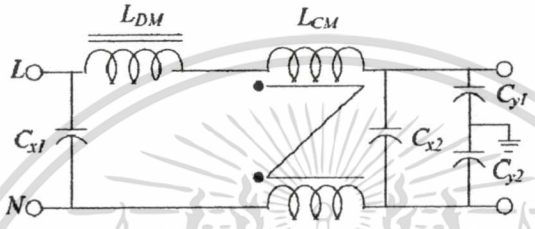
ตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในปัจจุบันมีการออกแบบที่พัฒนาไปมากขึ้น มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ขนาดที่เล็กลง แต่โครงสร้างโดยทั่วไปของ EMI Filter ก็ยังคงมีรูปแบบเดิมอยู่ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักแค่ 2 ตัวเท่านั้น ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ตามมาตรฐาน CISPR 22 และ FCC 15 จะแบ่ง EMI Filter ออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ แบบ Active Type ซึ่งจะใช้งานที่กำลังไฟฟ้าต่ำ และแบบ Passive Type ซึ่งจะใช้งานที่กำลังไฟฟ้าสูง ในงานวิจัยนี้จะทำการวิจัยเฉพาะ EMI Filter แบบ Passive Type เท่านั้น การทำงานของ EMI Filter นี้จะทำการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่คัดออฟที่ได้ออกแบบไว้ และยอมให้สัญญาณที่อนุญาติผ่านไปได้ที่ความถี่อื่นๆ โดยสามารถลดทอนได้เนื่องจากคุณสมบัติขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีผลเนื่องจากความถี่ กฎหลักของการกรองสัญญาณรบกวนก็คือ การทำให้เกิดการมิสแมทอิมพีแดนซ์ (Mismatch Impedance) หรือการทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ความต้านทานของโหลดกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย**มีค่าไม่เท่ากัน** ในความถี่ที่ไม่ต้องการ และทำให้เกิดการแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (Matching Impedance) หรือการทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ความต้านทานของโหลดกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย**มีค่าเท่ากัน**ในความถี่ที่เราต้องการและยอมให้สัญญาณที่ต้องการผ่านไปได้

ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ตั้งแต่องค์ประกอบของ EMI Filter ได้แก่อะไรบ้าง มีคุณสมบัติอย่างไร หลังจากนั้นจะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบเป็นลำดับขั้น โดยแบ่งขั้นตอนการออกแบบเป็นแบบตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลต่าง และในโหมดผลร่วม โดยในขั้นตอนจะประกอบไปด้วยการคำนวณการพันตัวเหนี่ยวนำ การคำนวณค่าตัวเก็บประจุ การตรวจสอบการทำงานของแกนเหล็กที่นำมาใช้ และยังกล่าวถึงการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำว่าเกิดขึ้นอย่างไร สุดท้ายจะเป็นการออกแบบ EMI Filter สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 องค์ประกอบของตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ [7-9, 11]

องค์ประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ตัวหลัก ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 3.1 โดยแต่ละองค์ประกอบจะมีคุณสมบัติการใช้งานที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ และเมื่อนำองค์ประกอบเหล่านี้ไปใช้งานองค์ประกอบแต่ละตัวจะทำหน้าที่ในการลดทอนสัญญาณรบกวน ณ ความถี่ที่ได้ทำการออกแบบไว้



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลย์ของ EMI Filter

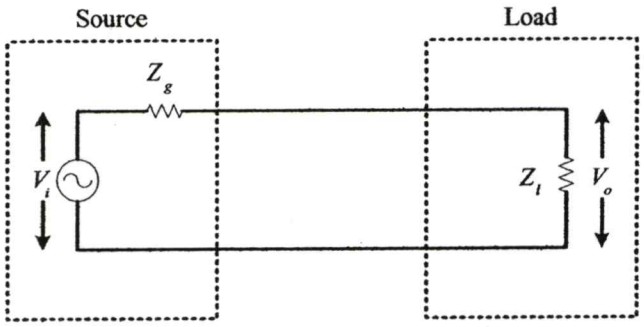
ค่าการสูญเสียเนื่องจากการแทรกสอด (Insertion Loss: IL_{dB}) หมายถึง อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถลดไปได้เมื่อทำการใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไป จะแสดงค่าในรูปของ dB ซึ่งอยู่ในรูปของ log เนื่องจากค่าการสูญเสียเนื่องจากการแทรกสอดมีค่าน้อยมาก ซึ่งไม่สามารถจะแสดงให้อยู่ในรูปกราฟทั่วไปได้ โดยค่าการสูญเสียเนื่องจากการแทรกสอดเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอ้าพุตของวงจรที่ยังไม่ได้ใส่ตัวกรองสัญญาณรบกวนเทียบกับแรงดันเอ้าพุตวงจรที่ใส่ตัวกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปแล้ว ณ ความถี่ที่สนใจ แสดงได้ดังสมการที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ดังนี้

$$IL_{dB} = 20\log_{10}\left[\frac{V_{L,wo}}{V_{L,w}}\right] \tag{3.1}$$

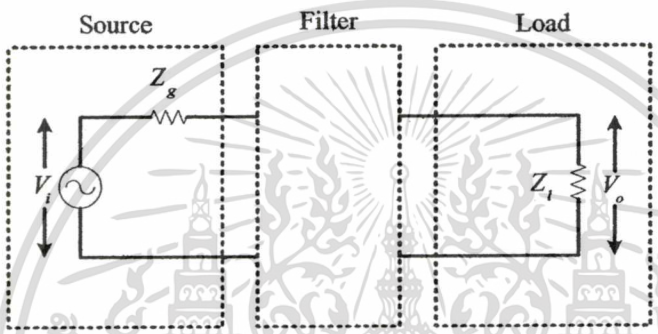
โดย $V_{L,wo}$ คือ แรงดันเอ้าพุตของสัญญาณจากวงจรในกรณีที่ไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไป

$V_{L,w}$ คือ แรงดันเอ้าพุตของสัญญาณที่ด้านออกของตัวกรองสัญญาณรบกวนในกรณีที่ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนเข้าไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรแสดงแรงดันเอ้าพุตกรณีที่ยังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน



(ข) วงจรแสดงแรงดันเอ้าพุตกรณีที่ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

รูปที่ 3.2 การหาค่า Insertion Loss

โดย V_i คือ แรงดันทางด้านแหล่งจ่าย

V_o คือ แรงดันทางด้านโหลด

Z_g คือ อิมพีแดนซ์ทางด้านแหล่งจ่าย

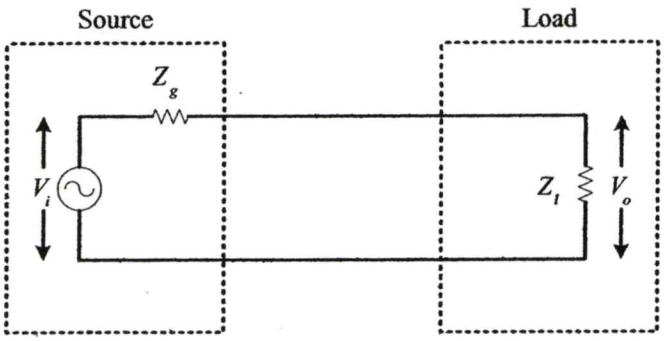
Z_l คือ อิมพีแดนซ์ทางด้านโหลด

3.1.1 ตัวเก็บประจุ (Conductor)

การหาค่าอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุที่อยู่ในวงจรจะสามารถหาได้ ดังนี้

1. หาแรงดันไฟฟ้าด้านโหลดในกรณียังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

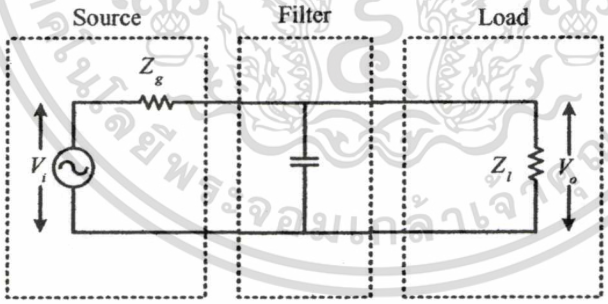


รูปที่ 3.3 วงจรขณะที่ยังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 3.3 สามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าด้านโหลดต่อแรงดันไฟฟ้าด้านแหล่งจ่าย Voltage Transfer) ขณะที่ไม่ได้ใส่ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณรบกวนได้เท่ากับ

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_l}{Z_l + Z_g} \tag{3.2}$$

2. หาแรงดันไฟฟ้าด้านโหลดต่อแรงดันไฟฟ้าด้านแหล่งจ่าย (Voltage Transfer) ขณะที่ใส่ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณรบกวนดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรขณะใส่ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณรบกวน

จากรูปจะได้ว่า

กำหนดให้ $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$

$$Z_C // Z_l = \frac{Z_C Z_l}{Z_C + Z_l}$$

$$= \frac{1}{1 + j\omega C \times Z_l} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันกับสมการที่ 3.2 จะได้

$$\frac{V_C}{V_i} = \frac{Z_l}{(1+j\omega C \times Z_l)} \times \frac{1}{Z_g + \frac{Z_l}{\left(1+j\omega C \times Z_l\right)}}$$

$$\frac{V_C}{V_i} = \frac{Z_l}{(Z_l + Z_l + j\omega C \times Z_g \times Z_l)}$$

จากสมการที่ 3.1 สามารถหาค่าอัตราการลดทอนได้ดังนี้

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[\frac{\frac{V_o}{V_i}}{\frac{V_C}{V_i}}\right]$$

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[\frac{Z_l}{Z_g + Z_l} \times \frac{Z_l + Z_l + j\omega C \times Z_g \times Z_l}{Z_l}\right]$$

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[1 + \frac{j\omega C \times Z_g \times Z_l}{Z_g + Z_l}\right]$$

กำหนดให้ $Z_P = Z_l // Z_g = \frac{Z_l \times Z_g}{Z_l + Z_g}$ จะได้ว่า

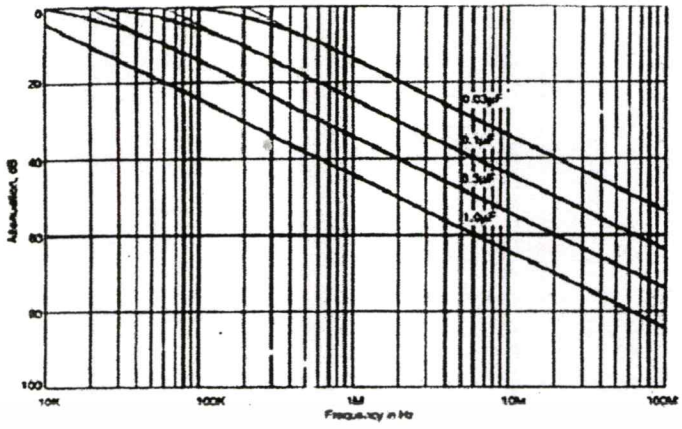
$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[1 + \frac{Z_p}{Z_c}\right] \qquad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า Capacitive Reactance มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดที่นำมาขนานกัน ก็จะทำให้ตัวเก็บประจุมีประสิทธิภาพในการกรองสัญญาณรบกวนสูง

$$Z_c << Z_p$$

ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวน (Attenuation) เมื่อนำตัวเก็บประจุขนาดต่างๆ มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน ในขณะที่อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดเท่ากันเท่ากับ 50 โอห์ม แสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

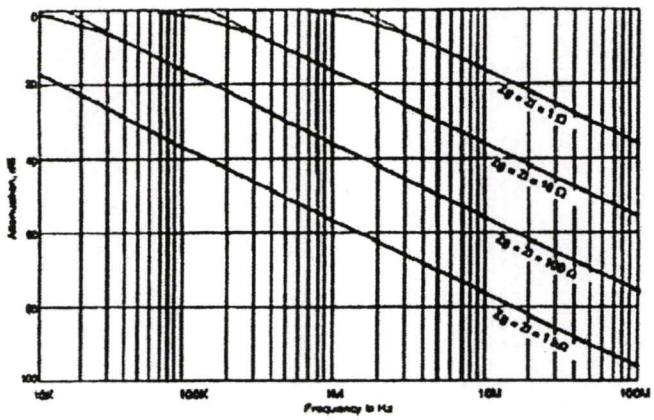


รูปที่ 3.5 ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเก็บประจุ

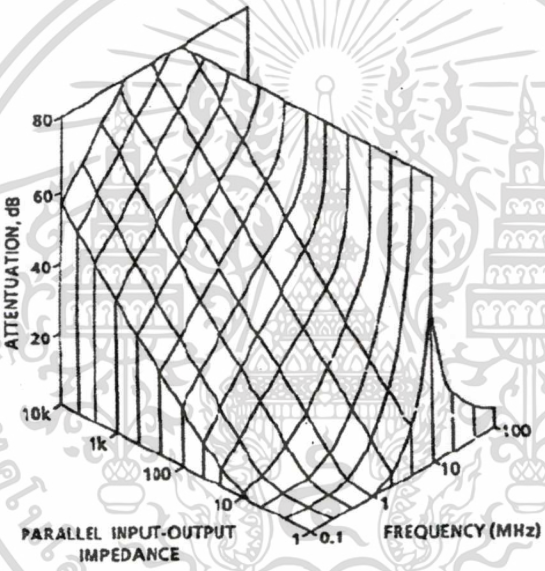
จากรูปที่ 3.5 แสดงประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เมื่อนำตัวเก็บประจุขนาดต่างๆ มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน ในขณะที่อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดเท่ากันเท่ากับ 50 โอห์ม จะเห็นได้ว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลการลดทอนสัญญาณสูงขึ้น เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุลดลง ในขณะที่อิมพีแดนซ์ของโหลดและแหล่งจ่ายคงที่นั่นเอง ซึ่งเมื่อนำมาพิจาณาจากสมการที่ 3.4 ก็จะเห็นได้ว่าผลการลดทอนสัญญาณจะสูงขึ้น และในทำนองเดียวกันถ้าเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุก็จะมีผลทำให้การลดทอนสัญญาณสูงขึ้นเช่นกัน

จากรูปที่ 3.6 แสดงประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เมื่อนำตัวเก็บประจุขนาด 0.3 μF มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน ในขณะที่อิมพีแดนซ์ที่นำมาขนานกันระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดเปลี่ยนแปลงไป ก็จะเห็นได้ว่าที่ความถี่เดียวกันค่าอิมพีแดนซ์ที่นำมาขนานกันระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดค่าสูง จะให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนสูงที่สุด แต่เมื่อคำนึงถึงผลของค่าพารามิเตอร์แฝง (Parasitic) ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณ จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 โดยสมมุติให้จุด Self Resonant Frequency หรือเรียกย่อๆว่า จุด SRF มีค่าเท่ากับ 10 MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความถี่มากกว่า ความถี่ SRF (10 MHz) จะทำให้การลดทอนสัญญาณรบกวนลดน้อยลง ที่เป็นดังนี้ก็เพราะค่าความเหนี่ยวนำแฝงในตัวตัวเก็บประจุนั่นเอง ที่ความถี่มากกว่า SRF ผลของตัวเหนี่ยวนำแฝงจะมากกว่าผลของตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Z_C มีค่าสูงขึ้น) ทำให้ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเก็บประจุลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

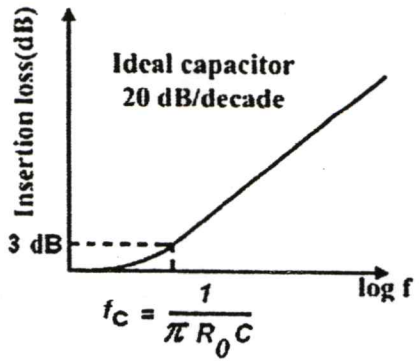


รูปที่ 3.6 ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนเมื่อนำตัวเก็บประจุขนาด 0.3 uF ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน [8]



รูปที่ 3.7 การลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรกรองด้วยตัวเก็บประจุเทียบกับความถี่และ Z_p [8]

โดย Insertion Loss Level ของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 20 dB/decade หรือ 6 dB/octave ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเก็บประจุตามความถี่ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

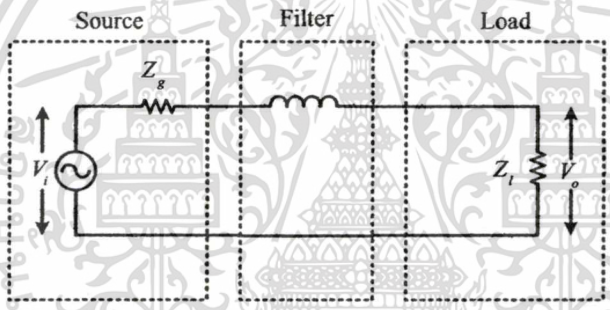
3.1.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

การหาค่าอัตราการลดทอนของตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในวงจรจะสามารถหาได้ ดังนี้

1. หาแรงดันไฟฟ้าด้านโหลดในกรณียังไม่ได้ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวเหนี่ยวนำ (จากรูปที่ 3.3 และสมการที่ 3.2)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_l}{Z_l + Z_g}$$

2. หาแรงดันไฟฟ้าด้านโหลดในกรณีใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวเหนี่ยวนำ หาค่าแรงดันไฟฟ้าด้านโหลดต่อแรงดันไฟฟ้าด้านแหล่งจ่าย (Voltage transfer) ขณะที่ใส่ตัวเหนี่ยวนำกรองสัญญาณรบกวนดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรขณะได้ทำการต่อวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยตัวเหนี่ยวนำ

$$\frac{V_{ind}}{V_i} = \frac{Z_l}{Z_l + Z_g + j\omega L} \tag{3.6}$$

จากสมการที่ 3.1 สามารถหาค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดังนี้

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[\frac{\frac{V_o}{V_i}}{\frac{V_{ind}}{V_i}}\right]$$

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[\frac{Z_l}{Z_g + Z_l} \times \frac{Z_g + Z_l + j\omega L}{Z_l}\right]$$

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[\frac{Z_g + Z_l + j\omega L}{Z_g + Z_l}\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

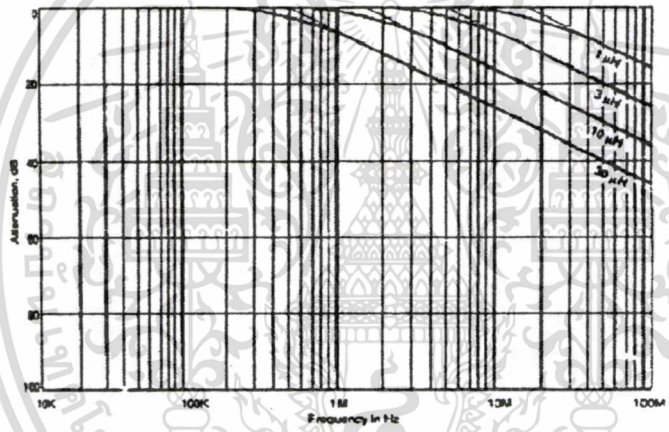
$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[1+\frac{j\omega L}{Z_g + Z_l}\right]$$

กำหนดให้ $Z_{sum} = Z_g + Z_l$ และ $Z_{ind} = j\omega L$ จะได้

$$A_{dB} = 20\log_{10}\left[1+\frac{Z_{ind}}{Z_{sum}}\right] \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.7 จะเห็นได้ว่า ถ้าค่าอินดัคตีฟรีแอคแตนซ์ (Inductive reactance) มีค่ามากกว่าค่าอิมพีแดนซ์ภายในของแหล่งจ่าย และโหลดที่นำมาต่ออนุกรมรวมกัน ก็จะทำให้ตัวเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพในการกรองสัญญาณรบกวนได้สูง

$$Z_{ind} >> Z_{sum}$$

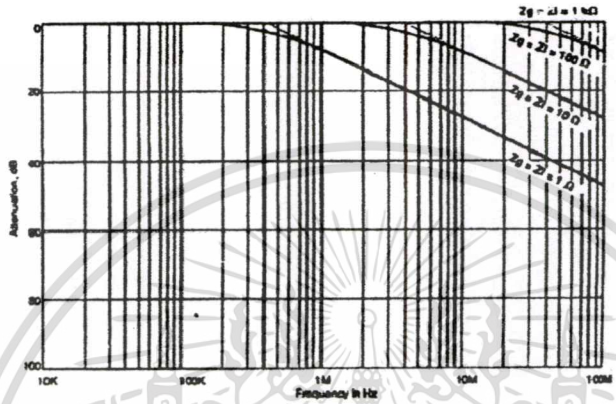


รูปที่ 3.10 ประสิทธิภาพการลดทอนสัญญาณรบกวน เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำขนาดต่างๆ ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน [8]

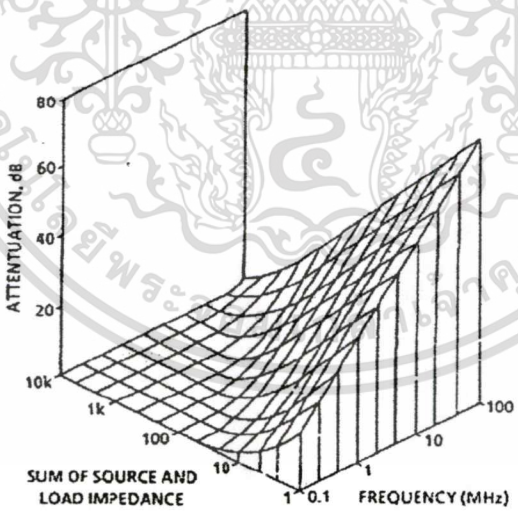
จากรูปที่ 3.10 แสดงประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำขนาดต่างๆ มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน ในขณะที่อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดเท่ากันเท่ากับ 50 โอห์ม จะเห็นได้ว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลการลดทอนสัญญาณสูงขึ้น เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อิมพีแดนซ์ของโหลดและแหล่งจ่ายคงที่นั่นเอง ซึ่งเมื่อนำมาพิจาณาจากสมการที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าผลการลดทอนสัญญาณจะสูงขึ้น และในทำนองเดียวกันถ้าเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำก็จะมีผลทำให้การลดทอนสัญญาณสูงขึ้นเช่นกันดังรูปที่ 3.11 แสดงประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำขนาด 1 μH มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน ในขณะที่อิมพิแดนซ์ที่นำมาอนุกรมกันระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดเปลี่ยนแปลงไป ก็จะเห็นได้ว่าที่ความถี่เดียวกันค่าอิมพีแดนซ์ที่นำมาอนุกรมกันระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดค่าต่ำๆ จะให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนสูงที่สุดแต่เมื่อคำนึงถึงผลของค่าพารามิเตอร์แฝง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Parasitic) ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความถี่มากกว่า ความถี่ SRF จะทำให้การลดทอนสัญญาณรบกวนลดน้อยลงที่เป็นดังนี้ก็เพราะค่าตัวเก็บประจุที่แฝงต่อขนานอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำนั่นเอง ที่ความถี่มากกว่า SRF ผลของตัวเก็บประจุแฝงจะมากกว่าผลของตัวเหนี่ยวนำ (Z_{ind} ลดลง) ทำให้ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเหนี่ยวนำลดลง



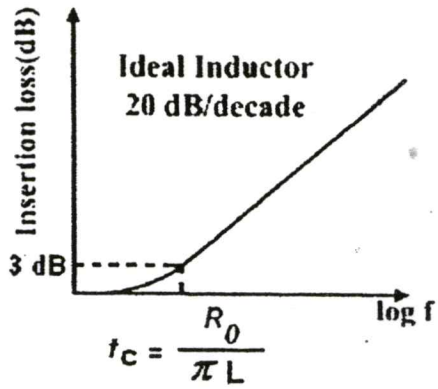
รูปที่ 3.11 ประสิทธิภาพของการลดทอนสัญญารบกวน เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำขนาด 1 uH มาทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.12 ผลของการลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำเทียบกับความถี่และ Z_{sum} [8]

โดย Insertion Loss Level ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ 20 dB/decade หรือ 6 dB/octave ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

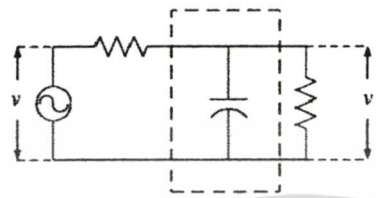
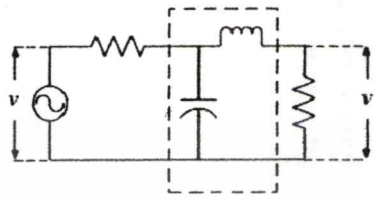
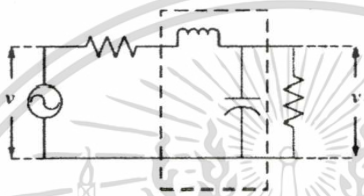
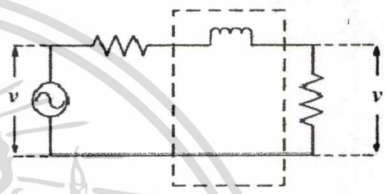


รูปที่ 3.13 อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนของตัวเหนี่ยวนำตามความถี่ [9]

ประสิทธิภาพในการกรองสัญญาณรบกวนของวงจรกรอง โดยการใช้ตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ภายของแหล่งจ่ายและโหลดที่จะนำมาต่อ โดยประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวน (Attenuation) สูงสุดจะเท่ากับ 20 dB/decade ซึ่งสามารถสรุปค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สำหรับวงจรกรองด้วยตัวเก็บประจุจะเหมาะสำหรับต่อร่วมกับวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ภายในแหล่งจ่าย และโหลดที่สูงเมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของตัววงจรกรองเอง และสำหรับวงจรกรองด้วยตัวเหนี่ยวนำจะเหมาะสมสำหรับต่อร่วมกับวงจรที่มีอิมพีแดนซ์ภายในแหล่งจ่าย และโหลดที่ต่ำเมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของตัววงจรกรองเอง ในขณะที่วงจรกรองแบบ “LC” จะเหมาะกับวงจรที่ต้องการประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 dB/decade โดยค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของวงจรกรองแบบ “LC” ดังกล่าว โดยค่าอิมพีแดนซ์สูงจะต้องต่อกับด้านที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ ในขณะที่อิมพีแดนซ์ต่ำควรจะต่ออยู่กับด้านที่ต่ออยู่กับตัวเหนี่ยวนำนอกจากนั้นในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการกรอง ยังสามารถทำได้โดยการต่อวงจรกรองแบบต่างๆ อนุกรมกันได้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อกับวงจรกรองแบบต่างๆ มีค่าไม่เหมาะสม ก็จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของวงจรกรองมีค่าน้อยลง เช่น สำหรับวงจรกรองแบบ “LC” อาจจะมีค่าประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนเหลือเพียง 20 dB/decade เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การต่ออิมพีแดนซ์ภายในของแหล่งจ่ายและโหลดที่เหมาะสมสำหรับวงจรกรองสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

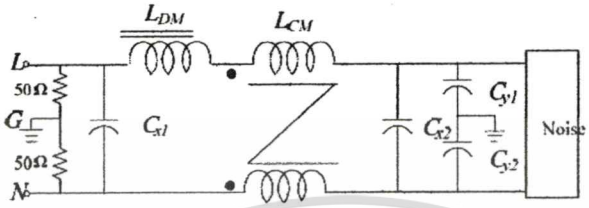
Z_g \ Z_l	High	Low
High		
Low		

3.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter Circuit) [10-13,]

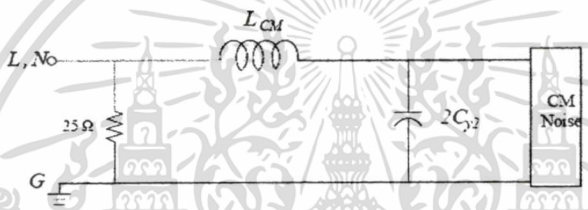
การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และการพันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างที่ใช้อยู่ทั่วไป ดังในรูปที่ 3.14 และจากรูปที่ 3.14 (ก) จะแสดงวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่วไป และเพื่อให้เข้าใจการทำงานจะทำการแยกวิเคราะห์การเกิดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม (CM noise) และวิเคราะห์การเกิดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (DM noise) ได้ดังนี้ สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เมื่อพิจารณาทิศทางของกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วม I_{CM} โดยที่กระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วม I_{CM} จะไหลผ่านระหว่างสายตัวนำกับสายนิวตรอนไปสู่วงจรกรองสัญญาณรบกวน แล้วไหลครบวงจรลงสู่กราวน์ ดังนั้นจากการไหลของกระแสไฟฟ้าโหมดผลร่วม I_{CM} จะได้วงจรดังรูปที่ 3.14 (ข) โดยจากรูปจะแสดงวงจรสมมูลย์ของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม และจากรูปทำให้ทราบว่า อุปกรณ์ตัวใดมีผลช่วยลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ ตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} และ ตัวเก็บประจุ C_Y จะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมได้มาก และตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เนื่องจาก L_{DM} ตัวเหนี่ยวนำ จะไม่มีผลเมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม รวมทั้งค่าความต้านทานที่ต่ออยู่จะมีค่าลดลงเหลือ 25 โอห์ม เมื่อมองจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง เมื่อพิจารณาทิศทางกระแสไฟฟ้าโหมดผลต่าง I_{DM} กล่าวคือ กระแส I_{CM} จะไหลผ่านสายตัวนำของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ไปสู่สายนิวตรอนแล้วกลับมาครบวงจรที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน จะได้วงจรดังรูปที่ 3.14 (ค) และจากรูปจะเห็นว่าตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} และ ตัวเก็บประจุ C_X จะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

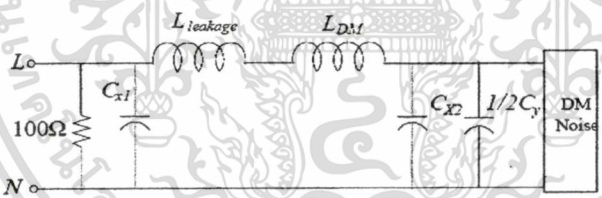
รบกวนโหมดผลต่างได้มาก แต่ตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} จะไม่มีผล ต่อการลดทอนเมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง แต่ยังมีผลของ *Leakage L* ที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} และ ตัวเก็บประจุ C_Y จะมีผลต่อการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้น้อยเนื่องจากจะมีค่าลดลง ส่วนตัวต้านทานที่ต่ออยู่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 100 โอห์ม เมื่อมองจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง [18, 22]



(ก) วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่วไป



(ข) วงจรสมมูลย์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม



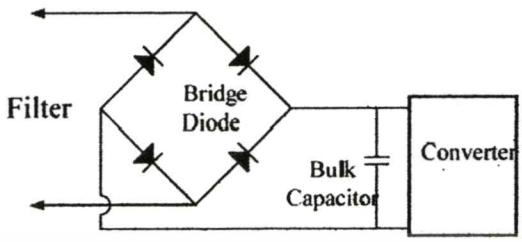
(ค) วงจรสมมูลย์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

รูปที่ 3.14 วงจรสมมูลย์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

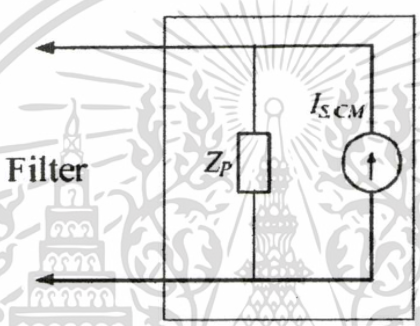
ก่อนที่จะทำการหาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบทั่วไปนั้นจะต้องทำการพิจารณาหลักการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ก่อน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายของวงจรคอนเวอร์เตอร์ และการทำงานในโหมดผลร่วมและในโหมดผลต่าง ซึ่งในรูปที่ 3.15 จะแสดงวงจรสมมูลย์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ และในรูปที่ 3.15 (ข) จะแสดงวงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม ซึ่งจะเห็นว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์จะเหมือนกับแหล่งจ่ายกระแส $I_{S,CM}$ ที่ต่อขนานกับค่าอิมพีแดนซ์ Z_P และในรูปที่ 3.15 (ค) เป็นวงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะมีการทำงานอยู่สองลักษณะคือ ลักษณะแรกขณะที่ไดโอดทำงาน จะทำให้สวิตช์ปิด และวงจรจะต่อกับค่าอิมพีแดนซ์ Z_S และอนุกรมกับแหล่งจ่าย $V_{S,CM}$ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

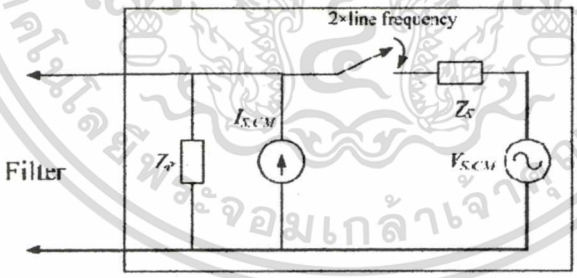
ลักษณะที่สองขณะที่ไดโอดไม่ทำงาน จะทำให้สวิตช์เปิด และจะเหมือนกับวงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม [13]



(ก) วงจรคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป



(ข) วงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม



(ค) วงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

รูปที่ 3.15 วงจรสมมูลย์ของคอนเวอร์เตอร์ของแหล่งจ่ายสัญญาณรบกวนที่โหมดต่างๆ

3.2.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วม (Common Mode Filter)

ในการวิเคราะห์การทำงานโหมดผลร่วม จะเริ่มจากพิจารณาการทำงานของวงจรสมมูลย์ของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมในรูปที่ 3.15 (ข) ซึ่งจะเริ่มจากการการพิจารณาสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมที่ใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า $I_{S,CM}$ ขนานกับอิมพีแดนซ์ Z_P ดังในรูปที่ 3.15 (ก) จะแสดงวงจรการทำงานโหมดผลร่วม ทำการพิจารณาอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลร่วม โดยจะหาได้จากการหาค่า Transfer function ของแรงดันไฟฟ้าขณะใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ไม่ใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวน จากสมการที่ 3.1 และเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลร่วม ดังสมการที่ 3.8

$$CM_{Attenuation} = \frac{V_{LISN(Without\ Filter)}}{V_{LISN(With\ Filter)}} \tag{3.8}$$

จากรูปที่ 3.16 (ก) เมื่อพิจารณาในส่วนของ EMI filter จะเห็นว่าตัวเก็บประจุ C_Y เท่ากับ $C_{CM} = 2C_Y$ และจากรูปที่ 3.16 (ก) จะเห็นว่าอิมพีแดนซ์ Z_P จะต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_Y ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ C_Y จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ Z_P แต่จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่า 25 โอห์มของ LINS ดังนั้นจะได้ ดังสมการที่ (3.9) และ (3.10)

$$\frac{1}{2C_Y} << Z_P \tag{3.9}$$

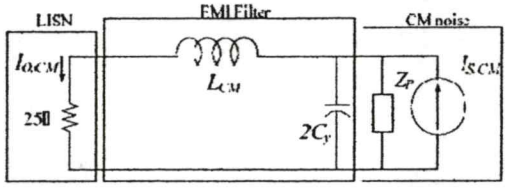
และ

$$\omega L_C >> 25\ \Omega \tag{3.10}$$

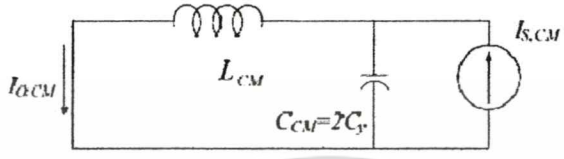
จากสมการที่ (3.9) และ (3.10) ทำให้สามารถสรุปได้ดังในรูปที่ 3.16 (ข) และจากนั้นเพื่อจะให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงใช้ทฤษฎีบท Reciprocity โดยจะย้ายข้างแหล่งจ่ายกระแส $I_{S,CM}$ เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน $V_{S,CM}$ ดังในรูปที่ 3.16 (ค) และเมื่อพิจารณารูปที่ 3.16 (ค) จะเห็นว่าเป็นวงจรกรองความถี่แบบ LC filter ดังนั้นค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เท่ากับ 40 dB/dec ซึ่งเป็นคุณลักษณะของวงจรแบบ LC filter ดังรูปที่ 3.16 (ง) และจะเห็นว่าจุดเปลี่ยนความถี่ $f_{R,CM}$ จะถูกกำหนดจากค่า L_C และ C_Y เพราะฉะนั้นค่าจุดเปลี่ยนความถี่จะหาได้จากสมการที่ 3.11

$$f_{R,CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM}C_{CM}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM}\cdot 2C_Y}} \tag{3.11}$$

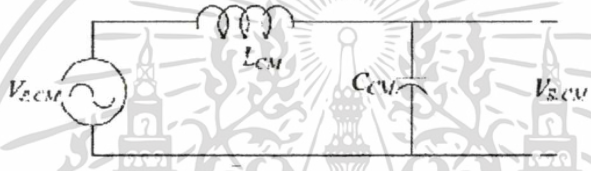
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



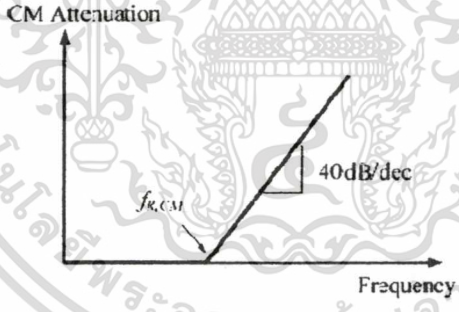
(ก) วงจรโหมดผลร่วม



(ข) วงจรสมมูลย์โหมดผลร่วม



(ค) วงจรสมมูลย์โหมดผลร่วม โดยใช้ทฤษฎี Reciprocity



(ง) การลดทอนสัญญาณรบกวนของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม

รูปที่ 3.16 การหาค่าการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม

3.2.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง (Differential Mode Filter)

ในการพิจารณาสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ในรูปที่ 3.17 นั้น จะเริ่มจากการพิจารณาการทำงานของไดโอด ขณะที่สวิตช์เปิด และสวิตช์ปิด ดังในรูปที่ 3.17 (ก) และในรูปที่ 3.17 (ข) ตามลำดับ โดยในรูปที่ 3.17 (ก) จะเป็นการทำงานขณะสวิตช์เปิด ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรจะเหมือนกับการทำงานในโหมดผลร่วม คือ จากวงจรค่าอิมพีแดนซ์ Z_P จะต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_{X2} ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ C_{X2} จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ Z_P แต่จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่า 100 โอห์มของ LISN ดังนั้นจะได้ ดังสมการที่ 3.12 และ 3.13 และเมื่อพิจารณาที่ตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่า 100 โอห์มของ LINS สามารถเขียนได้ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3.14 จะได้ดังในรูปที่ 3.17 (ค) และเพื่อจะให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงใช้ทฤษฎี Reciprocity โดยจะย้ายข้างแหล่งจ่ายกระแส $I_{S,DM}$ เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน $V_{S,DM}$ ในรูปที่ 3.17 (จ)

$$\frac{1}{C_{X2}} << Z_P \tag{3.12}$$

และ

$$\frac{1}{C_{X1}} >> 100 \tag{3.13}$$

และ

$$L_{DM} >> 100 \tag{3.14}$$

ขณะสวิตช์ปิด ดังในรูปที่ 3.17 (ข) จะมีการวิเคราะห์เหมือนกับขณะสวิตช์เปิด คือ จากรูปที่ 3.17 (ข) ตัวเก็บประจุ C_{X2} จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่าค่าอิมพีแดนซ์ของ Z_S ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.15

$$\frac{1}{C_{X2}} >> Z_S \tag{3.15}$$

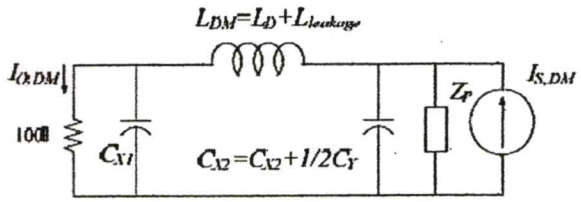
จากรูปที่ 3.17 (ง) จะเห็นว่าอิมพีแดนซ์ 100 โอห์มของ LISN ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_{X1} เมื่อทำการพิจารณาจะเห็นว่ามีค่าอิมพีแดนซ์ตัวเก็บประจุ C_{X1} มีค่าน้อยกว่าค่าอิมพีแดนซ์ 100 โอห์มของ LISN จะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.16 และจากนั้นเพื่อจะให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงใช้ทฤษฎีของ Reciprocity โดยจะย้ายข้างแหล่งจ่ายกระแส $I_{S,DM}$ เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน $V_{S,DM}$ ในรูปที่ 3.17 (ง) และจะได้ดังรูปที่ 3.17 (ฉ)

$$100 >> \frac{1}{C_{X1}} \tag{3.16}$$

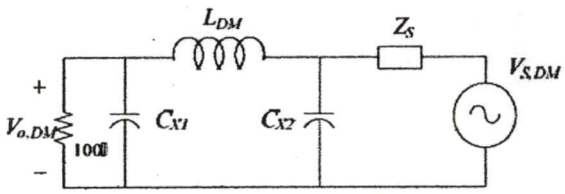
และเมื่อพิจารณารูปที่ 3.17 (จ) และรูปที่ 3.17 (ฉ) จะเห็นว่าจะเป็นการทำงานแบบวงจร LC filter นั้นเอง โดยรูปที่ 3.17 (ช) จะแสดงการลดทอนสัญญาณรบกวนของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ซึ่งจะมีค่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เท่ากับ 40 dB/dec ซึ่งเป็นคุณลักษณะของวงจรแบบ LC filter และจะเห็นว่าจุดเปลี่ยนความถี่ $f_{R,DM}$ จะถูกกำหนดจากค่า L_{DM} โดยที่ $L_{DM} = L_D + L_{leakage}$ และ $C_{X1} = C_{X2} = C_{DM}$ เพราะฉะนั้นค่าจุดเปลี่ยนความถี่จะหาได้จากสมการที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

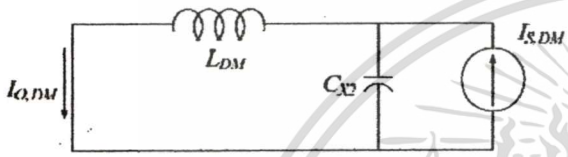
$$f_{R,DM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{DM}C_{DM}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(L_D + L_{leakage}\right)\cdot C_{DM}}} \tag{3.17}$$



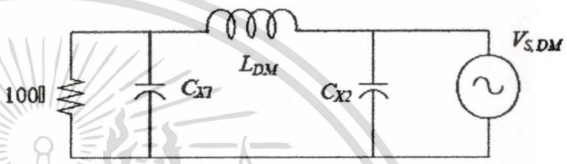
(ก) วงจรโหมดผลต่างขณะที่สวิตช์เปิด



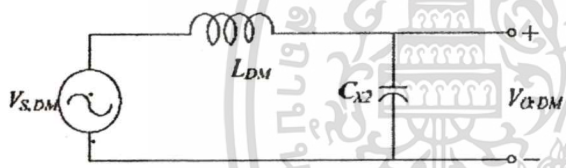
(ข) วงจรโหมดผลต่างขณะที่สวิตช์ปิด



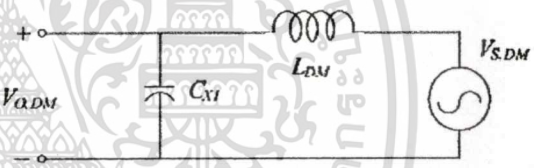
(ค) วงจรสมมูลย์โหมดผลต่างขณะที่สวิตช์เปิด



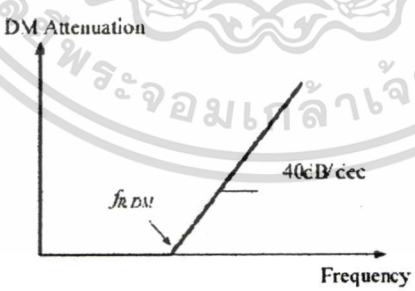
(ง) วงจรสมมูลย์โหมดผลต่างขณะที่สวิตช์ปิด



(จ) วงจรสมมูลย์โหมดผลต่างขณะที่สวิตช์เปิด
โดยใช้ทฤษฎี Reciprocity



(ฉ) วงจรสมมูลย์โหมดผลต่างขณะที่สวิตช์ปิด
โดยใช้ทฤษฎี Reciprocity



(ช) การลดทอนสัญญาณรบกวนของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

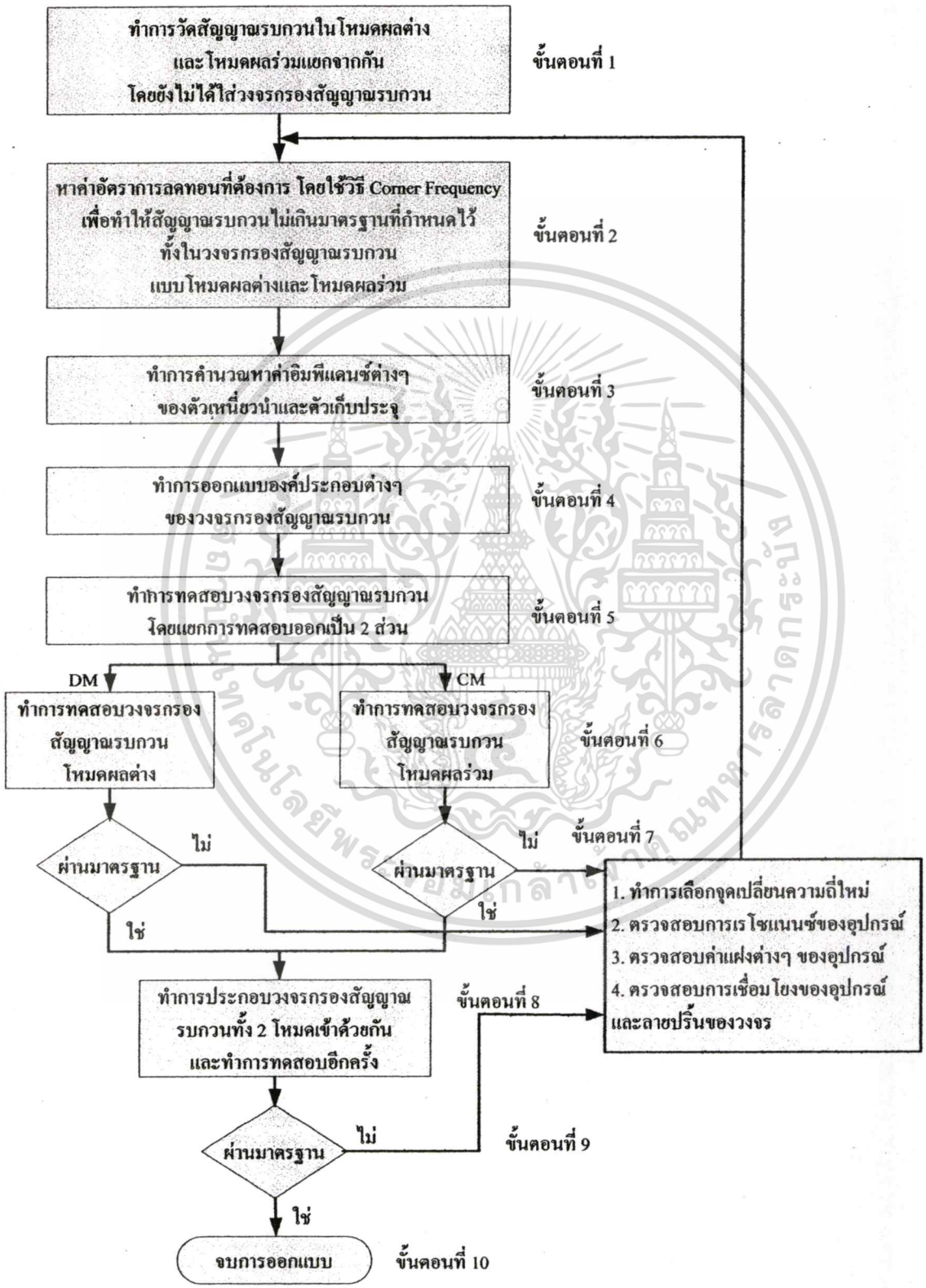
รูปที่ 3.17 การหาค่าการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

3.3 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ [10]

การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในงานวิจัยนี้ จะนำเสนอเป็นขั้นตอน และทำการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนจริงที่จะใช้ในงานวิจัยไปพร้อมกัน โดยจะนำวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่างไปใช้ทดสอบกับเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนอต่อไปในบทถัดไป การออกแบบจะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอน แต่จะแบ่งขั้นตอนย่อยๆ ออกเป็น 10 ขั้นตอนด้วยกัน ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1

ทำการวัดสัญญาณรบกวนแยกกันระหว่างสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง โดยใช้ Current Probe ทำการวัดแยกสัญญาณรบกวนแบบการวัดด้วยวิธีกระแสหรือทำการวัดโดยใช้การวัดแบบแรงดัน (วิธีการวัดแสดงไว้ในบทที่ 2) ทำการวัดขณะที่ยังไม่มีตัวกรองสัญญาณรบกวนอยู่ในวงจร (ในงานวิจัยนี้จะใช้ Current Probe ในการวัดสัญญาณรบกวน)

ขั้นตอนที่ 2

เมื่อได้กราฟสัญญาณรบกวนมาแล้วให้ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ซึ่งปกติจะให้เลือกมาตรฐานตอนทำการวัดสัญญาณรบกวนในขั้นตอนที่ 1 ในคอมพิวเตอร์ (ในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรฐาน EN 55022 ClassB Conducted Emission) เมื่อเลือกมาตรฐานได้แล้ว ให้ทำการเปรียบเทียบกับเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และจะรวมผลของการผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB ซึ่งจะหาการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม $V_{reg,CM}$ ได้จากสมการที่ 3.18 และการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง $V_{reg,DM}$ ได้จากสมการที่ 3.19

$$\left(V_{reg,CM}\right)_{dB} = \left(V_{CM}\right)_{dB} - \left(V_{\text{limit}}\right)_{dB} + 3dB \tag{3.18}$$

$$\left(V_{reg,DM}\right)_{dB} = \left(V_{DM}\right)_{dB} - \left(V_{\text{limit}}\right)_{dB} + 3dB \tag{3.19}$$

เมื่อ $\left(V_{reg,CM}\right)_{dB}$ คือ ค่าสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

$\left(V_{reg,DM}\right)_{dB}$ คือ ค่าสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

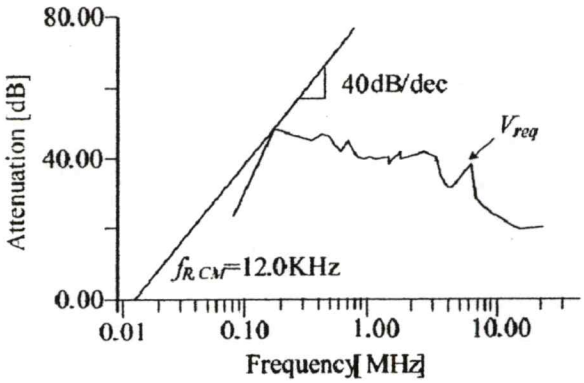
$\left(V_{\text{limit}}\right)_{dB}$ คือ เส้นขีดจำกัดมาตรฐาน

3dB คือ ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดและทำการชดเชย

ขั้นตอนที่ 3

ในขั้นตอนนี้จะมีความสำคัญมากเพราะถ้าจุดเปลี่ยนความถี่ไม่ถูกต้องแล้ว จะทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนไม่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนตามที่ต้องการได้ เริ่มจากการนำค่าจากสมการที่ 3.18 คือ ค่าที่ต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม $\left(V_{reg,CM}\right)_{dB}$ และจากสมการที่ 3.19 คือ ค่าที่ต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง $\left(V_{reg,DM}\right)_{dB}$ มาหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ โดยจะนำค่าที่ได้มาทำการพล็อต (plot) ลงในล็อกสเกล (log-log scale) ดังในรูปที่ 3.18 ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ แล้วจากนั้นก็นำสโลป ขนาด 40 dB/decade มาสัมผัสเส้นที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวนในจุดที่มีสัญญาณรบกวนสูงที่สุด แล้วจึงได้จุดเปลี่ยนความถี่จากเส้นที่ลากตัดแกนความถี่ ดังรูป

เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการหาจุดเปลี่ยนความถี่ที่จะนำไปใช้งาน (Corner Frequency)

ขั้นตอนที่ 4

จากขั้นตอนที่ 3 เราจะได้จุดเปลี่ยนความถี่ ของโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง จากนั้นนำค่าจุดเปลี่ยนความถี่ไปหาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดังนี้

ก) หาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดผลร่วมจะได้ L_C และ C_Y

จากการหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ $f_{R,CM}$ ดังสมการที่ 3.20

$$f_{R,CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM} \cdot 2C_Y}} \tag{3.20}$$

หาค่าตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} จะได้ดังสมการที่ 3.21

$$L_{CM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,CM}}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot C_Y} \tag{3.21}$$

หาค่าตัวเก็บประ C_Y จะได้ดังสมการที่ 3.22

$$C_Y = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,CM}}\right)^2 \cdot \frac{1}{L_{CM}} \tag{3.22}$$

ข) หาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดผลต่าง L_{DM} , C_{X1} และ C_{X2} และจากสมการที่ 3.20 จะได้ค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} ดังสมการที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{DM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,DM}} \right)^2 \cdot \frac{1}{C_{DM}} \tag{3.23}$$

หาค่าตัวเก็บประจุ $C_{DM} = C_{X1} = C_{X2}$ ได้ดังสมการที่ 3.24

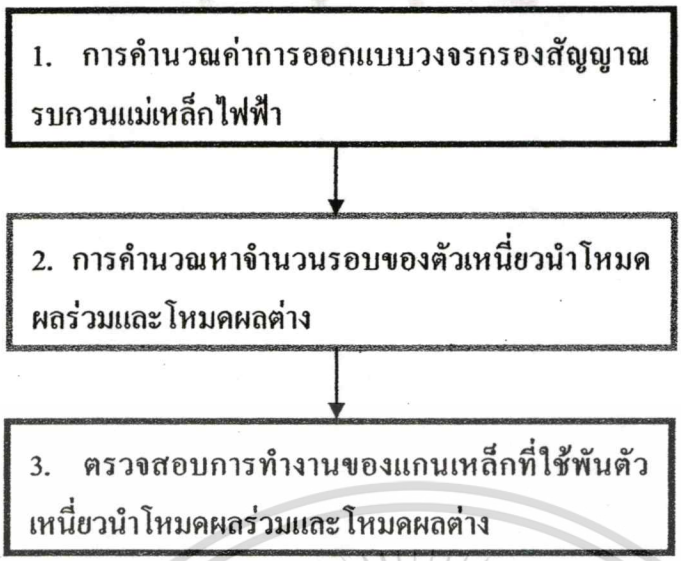
$$C_{DM} = C_{X1} = C_{X2} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,DM}} \right)^2 \cdot \frac{1}{L_{DM}} \tag{3.24}$$

เมื่อได้ค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วก็สามารถประกอบเป็นวงจรกรองเพื่อนำไปทำการทดสอบว่าสามารถที่จะลดทอนสัญญาณรบกวน ณ ความถี่ที่ต้องการจะลดทอนสัญญาณรบกวนได้ และในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางทฤษฎีแล้ว จะสามารถทำได้ง่าย แต่ในความเป็นจริงนั้น ในทางปฏิบัติจะเป็นไปได้ยากและมีความยากลำบากเนื่องจากผลของตัวอุปกรณ์ เช่น การคำนวณค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า และค่าของตัวเก็บประจุที่จำกัด รวมทั้งคุณสมบัติของสารที่นำมาใช้ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการวางตัวอุปกรณ์บทแผ่นวงจรไฟฟ้าไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการรบกวนระหว่างตัวอุปกรณ์

3.4 การคำนวณค่าการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ [10]

ในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าการออกแบบและส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ได้จากการขั้นตอนการออกแบบในหัวข้อที่ 3.3 และ ทำการตรวจสอบการทำงานของแกนเหล็กที่ใช้พันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ดังในรูปที่ 3.19 สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การออกแบบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.19 จะแสดงขั้นตอนออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณค่าของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบ ซึ่งจะแบ่งการคำนวณออกตามแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ในงานวิจัยนี้มีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน 2 ตัวด้วยกัน ได้แก่ เพาเวอร์ซัพพลายและวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์ โดยการคำนวณจะสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

<u>พิกัดของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย</u>

กำลังไฟฟ้าของเพาเวอร์ซัพพลาย (P_{out})	300 Watt
แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า (V_{in})	220 Vac
แรงดันไฟฟ้าด้านออก (V_{out})	24 Vdc
กระแสไฟฟ้าด้านเข้า (I_{in})	1.4 A
กระแสไฟฟ้าด้านออก (I_{out})	12.5 A
ความถี่ในการสวิตซิ่ง (f_s)	80 kHz

<u>พิกัดของวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์</u>

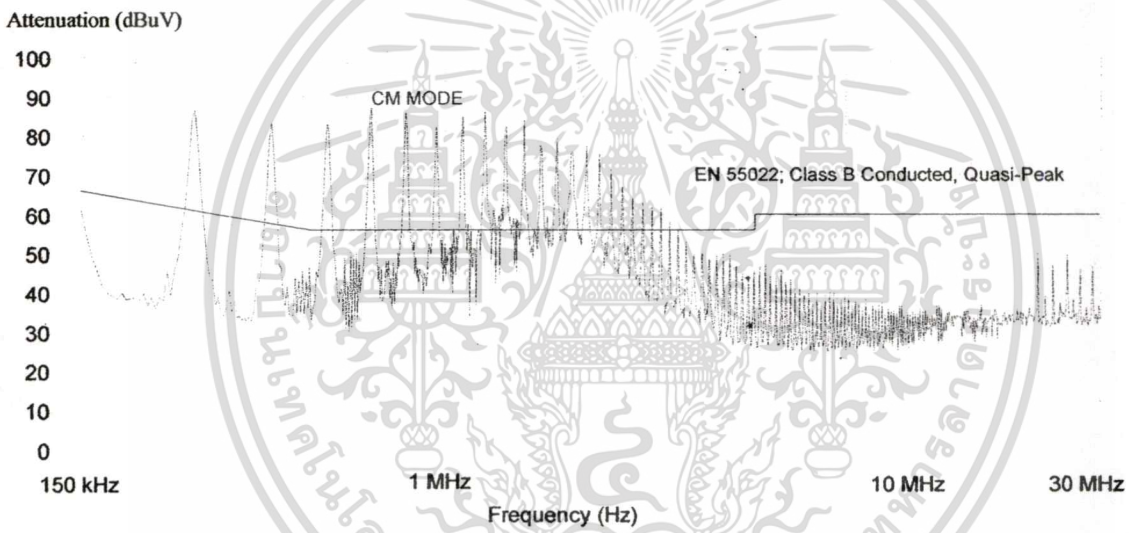
กำลังไฟฟ้าของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ (P_{out})	70 Watt
แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า (V_{in})	24 Vdc
แรงดันไฟฟ้าด้านออก (V_{out})	46 Vdc
กระแสไฟฟ้าด้านเข้า (I_{in})	2.9 A
กระแสไฟฟ้าด้านออก (I_{out})	1.5 A
ความถี่ในการสวิตซิ่ง (f_s)	150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การคำนวณเพื่อออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเพาเวอร์ซัพพลาย

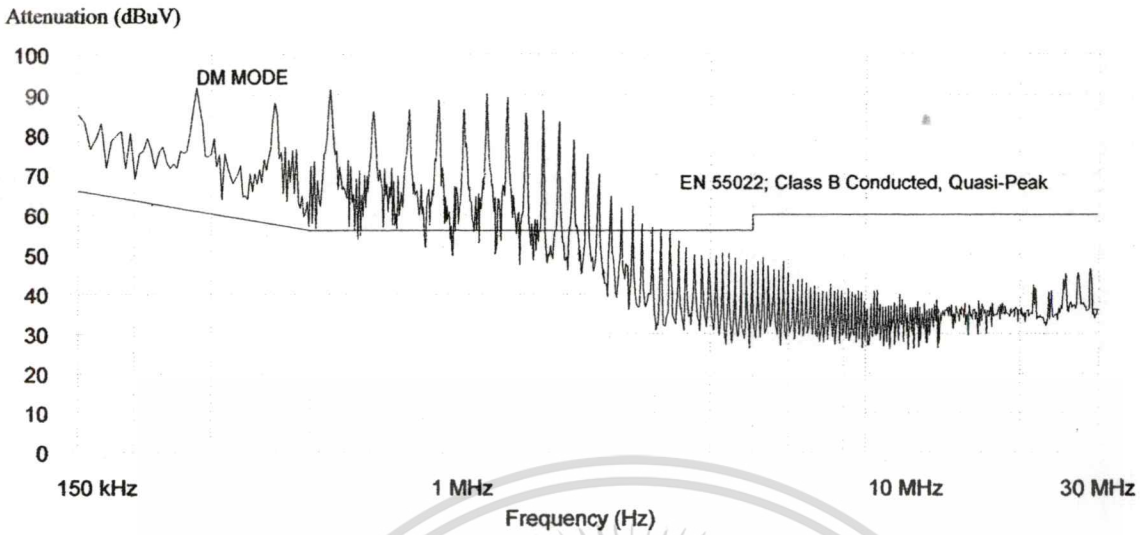
1. การคำนวณค่าการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 1 โดยจะเริ่มจากการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม และโหมดผลต่างของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน คือ วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งในการวัดสัญญาณรบกวนจะใช้โพรบกระแสวัดสัญญาณรบกวนในโหมดต่างๆ และจะเก็บผลของสัญญาณรบกวนที่ได้จากเครื่อง EMC analyzer ในรูปของไฟล์ Word แล้วจึงทำการพล็อตผลที่ได้ดังในรูปที่ 3.20 และ 3.21 ซึ่งผลที่ได้จากการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจะได้ดังในรูปที่ 3.20 และสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างจะได้ดังในรูปที่ 3.21 และในรูปทั้งสองจะแสดงเส้นขีดจำกัดมาตรฐานตามมาตรฐาน EN 55022 Class B ด้วย



รูปที่ 3.20 สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

ขั้นตอนที่ 2 ในขั้นตอนนี้จะนำผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม และโหมดผลต่างที่ได้จากการวัดในขั้นตอนที่ 1 มาทำหาค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง โดยจะทำการเปรียบเทียบกับเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน และจะรวมผลของการผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB ซึ่งในการหาค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม $V_{reg,CM}$ จากรูปที่ 3.20 จะหาได้จากสมการที่ 3.18 และผลของค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจะแสดงดังในรูปที่ 3.22

การหาค่า $V_{reg,CM}$ จากรูปที่ 3.22 ที่ความถี่ 690 kHz จะได้ ค่า $\left(V_{CM}\right)_{dB}$ เท่ากัน 88 dBμV และ $\left(V_{\text{limit}}\right)_{dB}$ เท่ากับ 57 dBμV และค่าผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB จะได้ค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เท่ากับ

$$\left(V_{reg,CM}\right)_{dB} = \left(V_{CM}\right)_{dB} - \left(V_{\text{limit}}\right)_{dB} + 3dB$$

$$\left(V_{reg,CM}\right)_{dB} = (88)_{dB} - (57)_{dB} + 3dB = 34\ dB$$

จะได้ $V_{reg,CM} = 34$ dBμV

จากรูปที่ 3.23 หาค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง $V_{reg,DM}$ จะหาได้จากสมการที่ 3.19 และผลของค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะแสดงดังในรูปที่ 3.23

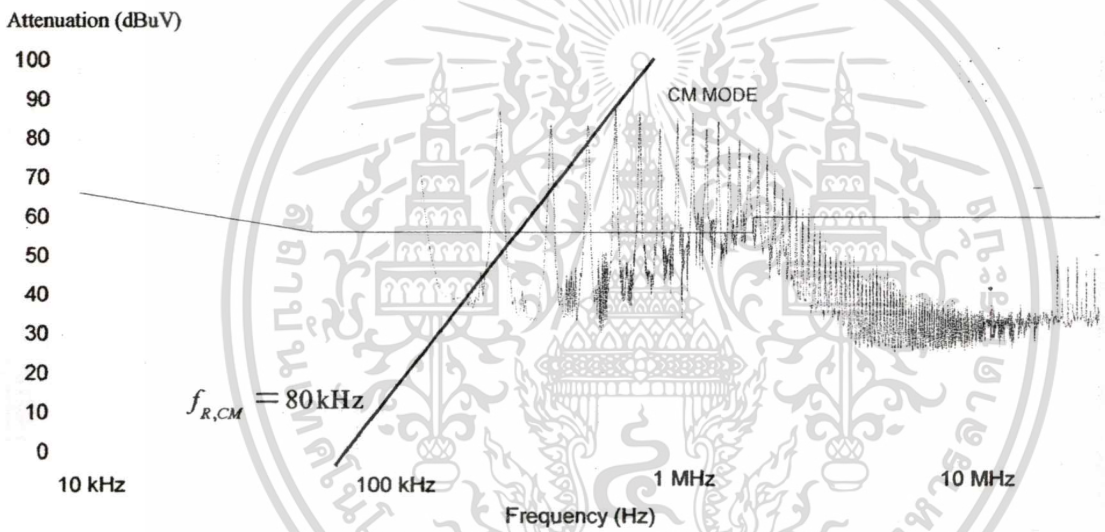
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า $V_{reg,DM}$ ที่ความถี่ประมาณ 280 kHz จะได้ $\left(V_{DM}\right)_{dB}$ ค่าเท่ากับ 93 dBμV และ $\left(V_{\text{limit}}\right)_{dB}$ เท่ากับ 62 dBμV และค่าผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB จะได้ค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เท่ากับ

$$\left(V_{reg,DM}\right)_{dB} = \left(V_{CM}\right)_{dB} - \left(V_{\text{limit}}\right)_{dB} + 3dB$$

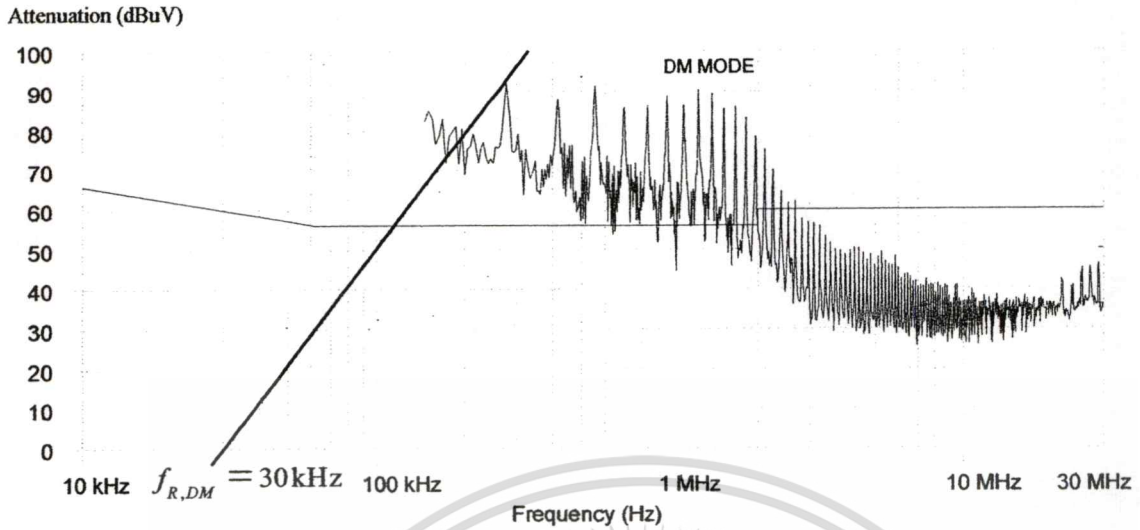
$$\left(V_{reg,DM}\right)_{dB} = (93)_{dB} - (62)_{dB} + 3dB = 34\ dB$$

จะได้ $V_{reg,DM}$ = 34 dBμV ซึ่งได้ค่าเท่ากันทั้งสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง



รูปที่ 3.22 การหาความถี่คัดออฟของสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 การหาความถี่คัดออฟของสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง

ขั้นตอนที่ 3 จะเป็นการหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ $\left(f_r\right)$

ในขั้นตอนที่ 2 นั้นจะได้ค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง แล้ว จากนั้นในรูปที่ 3.22 และ 3.23 ในขั้นตอนการหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่นี้จะมีความสำคัญมาก เพราะถ้าจุดเปลี่ยนความถี่ไม่ถูกต้องแล้ว จะทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนไม่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนตามที่ต้องการได้ ในการหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ เริ่มจากการนำค่าที่ต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม $\left(V_{reg,CM}\right)_{dB}$ และค่าที่ต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง $\left(V_{reg,DM}\right)_{dB}$ ในขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำความชัน ขนาด 40 dB/dec มาสัมผัสเส้นที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ดังในรูปที่ 3.20 และ 3.21 ซึ่งจะได้จุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วม $\left(f_{r,CM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 80 kHz และจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลต่าง $\left(f_{r,DM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 30 kHz ดังในรูปที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับในส่วนของความชัน ขนาด 40 dB/dec นั้นจะได้มาจากการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในหัวข้อที่ 3.3

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการหาค่าส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรกรองสัญญาณรบกวน

จากขั้นตอนที่ 3 จะได้ค่าจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง จากนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำค่าจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ไปหาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

(ก) ส่วนประกอบในโหมดผลร่วม

หาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดผลร่วมจะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำ L_C และตัวเก็บประจุ C_Y

ในการหาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลร่วมจะต้องหาค่ากระแสรั่วไหลลงดินก่อน ซึ่งดูจากวงจรกรองสัญญาณรบกวน ตัวเก็บประจุ C_Y จะต่ออยู่ระหว่างสายตัวนำกับกราวน์และสายนิวตรอนกับกราวน์ ดังนั้น กระแสรั่วไหลลงดิน I_{lkg} จะสามารถหาได้จาก $I_{lkg} = 2\pi f \cdot V \cdot (1.1) \cdot (1.2) \cdot C_{Y,total}$ ซึ่งขีดจำกัดกระแสรั่วไหลลงดินสำหรับมาตรฐานความปลอดภัย สำหรับเครื่องมือที่สามารถคลื่นย้ายได้ จะให้กระแสรั่วไหลลงดิน $I_{lkg} = 0.75$ mA ดังนั้นตัวเก็บประจุ $C_{Y,total}$ จะมีค่าเท่ากับ

$$C_{Y,total} = \frac{0.75 \times 10^{-3}}{2\pi \cdot 50 \cdot 220 \cdot 1.1 \cdot 1.2} = 8.22 \approx 8 \text{ nF}$$

จากการคำนวณจะได้ค่าเก็บประจุ $C_{Y,total}$ จะมีค่าเท่ากับ 8 nF ดังนั้นตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ $C_{Y,total} = C_{Y1} + C_{Y2}$ ฉะนั้นจะได้ตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} มีค่าเท่ากับ (8 nF)/2 = 4 nF

ดังนั้น ค่าตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} ที่คำนวณมีค่าเท่ากับ 4 nF จำนวน 2 ตัว แต่ค่าตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} ที่ใช้ในทางปฏิบัติจะมีค่าเท่ากับ 3.3 nF จำนวน 2 ตัว

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} จะหาได้จากสมการที่ 3.21 โดยตัวเก็บประจุ C_Y ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 3.3 nF และจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วม $\left(f_{r,CM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 80 kHz ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ L_{CM} จะมีค่าเท่ากับ

$$L_{CM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,CM}}\right)^2 \cdot \frac{1}{2C_Y}$$

$$L_{CM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot 80 \times 10^3}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 3.3 \times 10^{-9}} = 5.99 \times 10^{-4} \approx 0.6 \text{ mH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ส่วนประกอบในโหมดผลต่าง

จากสมการที่ 3.23 จะได้ค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} ดังนั้นในการหาค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} จึงทำการกำหนดค่า C_{X1} และ C_{X2} ก่อน เพราะฉะนั้นจึงกำหนดให้ C_{X1} และ C_{X2} เท่ากับ 0.68 µF และค่าจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลต่าง $\left(f_{r,DM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 30 kHz ดังนั้นค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีค่าเท่ากับ

$$L_{DM}=\left(\frac{1}{2\pi\cdot f_{R,DM}}\right)^2\cdot\frac{1}{C_{DM}}$$

$$L_{DM}=\left(\frac{1}{2\pi\cdot 30\times10^{3}}\right)^2\cdot\frac{1}{0.68\times10^{-6}}=41.39\ \mu\text{H}$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 41.39 uH แต่ในทางปฏิบัติค่าความเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีผลของค่าความเหนี่ยวนำ $L_{leakage}$ ของตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} ที่ได้จากการวัดรวมอยู่ด้วย ดังนั้นค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่จะใช้พันเป็นตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีค่าเท่ากับ (41.39 uH - $L_{leakage}$)/2 และในการวัดค่าความเหนี่ยวนำ $L_{leakage}$ ของตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} มีค่าเท่ากับ 1.2 uH ดังนั้นจะได้ค่าความเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่ใช้พันในทางปฏิบัติมีค่าเท่ากับ $\left(41.39\times10^{-6}-1.2\times10^{-6}\right)/2=20.01\times10^{-6}=20\ \mu\text{H}$

2. การคำนวณหาจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

- **ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม**

จากการออกแบบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม จะนำแกนทอรอยด์ชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core) มาใช้งาน ค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.6 mH ดังนั้นจำนวนรอบที่ต้องการ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.25 เมื่อ A_L (nH/N^2) จะได้ข้อมูลจากผู้ผลิต (ผนวก ก) นั้นมีค่าเท่ากับ 7390 (nH/N^2) จะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Required turns}=\left[\frac{\text{Desired L (nH)}}{A_L\ (\text{nH/N}^2)}\right]^{1/2} \tag{3.25}$$

$$\text{Required turns}=\left[\frac{0.6\times10^{6}\ (\text{nH})}{7390\ (\text{nH/N}^2)}\right]^{1/2}=9.01\approx9\ \text{turns}$$

ดังนั้นจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมจะเท่ากับ 9 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง**

จากการออกแบบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง จะนำแกนทอรอยด์ชนิดชนิดผงโลหะ (Powder Core) ค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 41.39 μH ในทางปฏิบัติจะมีค่าเท่ากับ

$$L_D = \left(L_{DM} - L_{leakage}\right)/2 = \left(41.39\times10^{-6} - 1.2\times10^{-6}\right)/2 = 20.01\times10^{-6} = 20\ \mu\text{H}$$

ดังนั้นจำนวนรอบที่ต้องการ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.25 เมื่อ A_L (nH/N^2) จากผู้ผลิต (ผนวก ก) นั้นมีค่าเท่ากับ 79 (nH/N^2) จะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Required turns} = \left[\frac{20\times10^{3}\ (\text{nH})}{79\ (\text{nH/N}^2)}\right]^{1/2} = 15.91 \approx 16 \text{ turns}$$

ดังนั้นจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างจะเท่ากับ 15.91 รอบ และในทางปฏิบัติแล้วจะพันเท่ากับ 16 รอบ

3. ตรวจสอบการทำงานของแกนเหล็กที่ใช้พันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนเหล็กที่ใช้ในงานวิจัย โดยแกนเหล็กที่ใช้จะมี 2 ชนิด คือแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนเหล็กชนิดผงโลหะ แต่วิธีในการหาค่าการอิ่มตัวของแกนเหล็กของทั้งสองแกนเหล็กจะมีวิธีเหมือนกัน โดยเริ่มจากการตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ จะเป็น ferrite core ยี่ห้อ JFE รุ่น R-36/23/15A เนื้อสารชนิด MA070 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด B_{max} ในแกนเหล็กนั้น เกิดขึ้นจากผลรวมของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B_{DC}, B_{AC} และ B_r จะได้

$$B_{\max} = B_{DC} + B_{AC} + B_{rg} < B_{sat} \tag{3.26}$$

เมื่อ B_{Sat} คือ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่จุดอิ่มตัวของแกนเหล็กซึ่งจะต้องมีค่าสูงกว่า B_{max} ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ใช้งาน

B_{DC} คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง I_{pa}

B_{AC} คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงในช่วง ΔI_{pp}

B_r คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก H มีค่าเป็นศูนย์ (Remnant flux density: B_r) โดยที่ B_r จะดูจากข้อมูลที่ผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3.26 จะแสดงเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบเพื่อหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด ซึ่งค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดในแกนต่างๆ จะต้องไม่เกินค่า B_{Sat} ที่จุดอิ่มตัว เนื่องจากที่จุดนี้ไม่ว่าจะเพิ่มกระแสไฟฟ้า I_{Lm} มากเท่าไหร่ก็จะไม่ทำให้ค่า B เพิ่มขึ้นอีก ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรแม่เหล็กจะมีแต่ความสูญเสีย โดยที่ค่า B_{Sat} และ B_r นี้ ผู้ผลิตแกนแม่เหล็กจะให้มาดังในรูปที่ 3.24 ในขณะที่ค่า B_{DC} และ B_{AC} จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.27 และ 3.28 ในขณะที่ค่า B_{rg} จะมีค่าต่ำลงเมื่อมีระยะความกว้างของช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะใช้ค่า B_r ที่ผู้ผลิตให้มา ถ้าค่า B_r ที่ใช้ในการคำนวณหาค่า B_{max} นั้น ไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเกินค่าของ B_{Sat} ดังแสดงในสมการที่ (3.21) ก็จะสามารถ กล่าวได้ว่าแกนสารแม่เหล็กนั้นไม่เกิดการอิ่มตัว

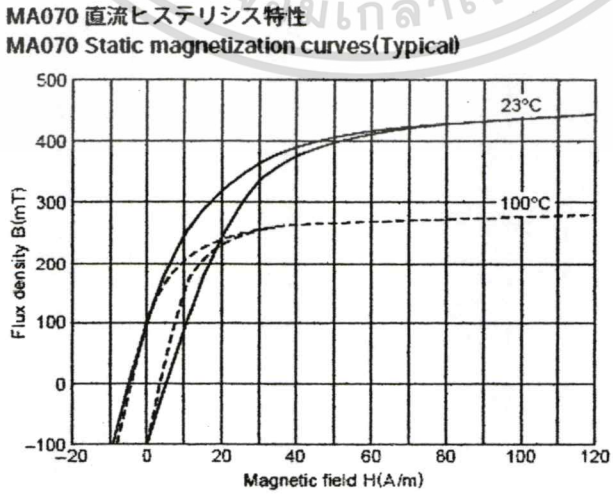
การหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะหาได้จากสมการที่ 3.27 และในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง จะหาได้จากสมการที่ 3.28

$$B_{AC} = \frac{V_{in} t_{on}}{N_p A_e} \tag{3.27}$$

$$B_{DC} = \frac{\mu_o N_p I_{in}}{l_g} \tag{3.28}$$

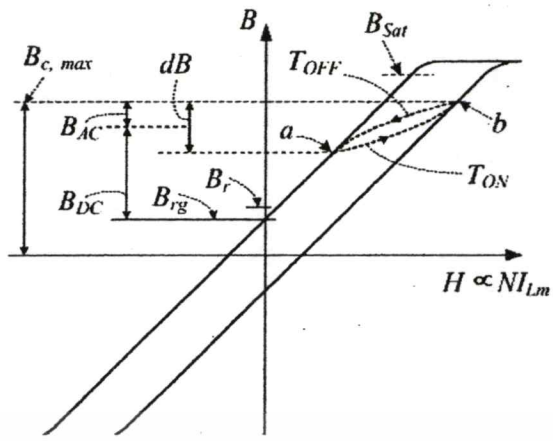
เมื่อ A_e คือ พื้นที่ของแกนแม่เหล็ก (มม.^{2}) สามารถดูได้จากข้อมูลจากผู้ผลิต

l_g คือ ระยะช่องอากาศน้อยที่สุดที่แกนไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว



รูปที่ 3.24 กราฟ B-H จริงจากผู้ผลิตแกนเหล็กใน (ผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 กราฟ B-H เมื่อใส่ช่องว่างอากาศ

จากรูปที่ 3.25 จะแสดงกราฟ B-H เมื่อใส่ช่องว่างอากาศ ในการใส่ช่องว่างอากาศนั้นจะทำให้ค่าความซึมซาบแม่เหล็กมีค่าลดลง และค่า B_r ลดลงด้วย โดย B_{rg} ก็คือ ค่าเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างเมื่อใส่ช่องว่างอากาศ ในขณะที่การทำงานในสภาวะอยู่ตัวของแกนสารแม่เหล็กในโหมดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง อธิบายได้ว่า เมื่อสวิตซ์นำกระแสไฟฟ้าค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่า B_a (ค่าที่จุด a) ดังรูปที่ 3.25 และค่า B จะเพิ่มขึ้นจากจุด a ไปยังจุด b เนื่องจากมีการเก็บพลังงานในแกนเหล็กและค่า B จะมีค่าสูงสุดที่ B_{max} จากนั้นเมื่อสวิตซ์หยุดนำกระแสไฟฟ้าค่า B_{max} จะลดลงมาอยู่ที่ค่า B_a หรือจากตำแหน่ง b กลับมาที่จุด a ตามเดิมเนื่องจากช่วงนี้แกนเหล็กมีการคายพลังงาน และจะเห็นได้ว่ายังคงมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ในแกน เนื่องจากผลขององค์ประกอบไฟตรง ซึ่งเป็นลักษณะของวงจรในโหมดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง ดังรูป

โดยที่ค่า B_r คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก H มีค่าเป็นศูนย์ หรือเมื่อกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งข้อมูลจากผู้ผลิตจะได้ B_r มีค่าประมาณ 93 mT และการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะหาได้จาก

$$B_{AC} = \frac{220 \times 10^{-5}}{9 \times 159} = 1.5\ \mu T$$

และในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง จะหาได้จาก

$$B_{DC} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 9 \times 15}{1.8 \times 10^{-3}} = 94.24\ \text{mT}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำค่าทั้งหมดที่หาได้แทนลงในสมการที่ 3.26 เพื่อหาค่า B_{max} จะได้

$$B_{max} = 1.5\times10^{-6} + 94.24\times10^{-3} + 93\times10^{-3} = 187.24\times10^{-3} = 187.24 \text{ mT}$$

จากข้อมูลจากผู้ผลิตแกนเหล็กนั้น แกนเนื้อสาร MA070 นั้นมี B_{sat} อยู่ที่ 434 mT โดยค่าที่คำนวณได้ B_{max} นั้นมีค่าเพียง 187.24 mT เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขณะวงจรทำงานแกนเหล็กจะไม่เกิดการอิ่มตัวขึ้น

การตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนเหล็กชนิดผงโลหะจะเป็น Toroidal core ยี่ห้อ MICROMETALS รุ่น T130-52 โดยที่ค่า จากผู้ผลิตจะได้ B_r มีค่าประมาณ 145 mT (ผนวก ก) และการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะหาได้จาก

$$B_{AC} = \frac{220\times10^{-5}}{14\times106} = 1.48\ \mu\text{T}$$

และในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง จะหาได้จาก

$$B_{DC} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times14\times15}{0.137} = 1.93 \text{ mT}$$

และนำค่าทั้งหมดที่หาได้แทนลงในสมการที่ 3.26 เพื่อหาค่า B_{max} จะได้

$$B_{max} = 1.48\times10^{-6} + 1.93\times10^{-3} + 145\times10^{-3} = 146.93\times10^{-3} = 146.93 \text{ mT}$$

จากข้อมูลจากผู้ผลิตแกนเหล็กนั้น แกนเนื้อสาร -52 นั้นมี B_{sat} อยู่ที่ 1400 mT โดยค่าที่คำนวณได้ B_{max} นั้นมีค่าเพียง 146.93 mT เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขณะวงจรทำงานแกนเหล็กจะไม่เกิดการอิ่มตัวขึ้น

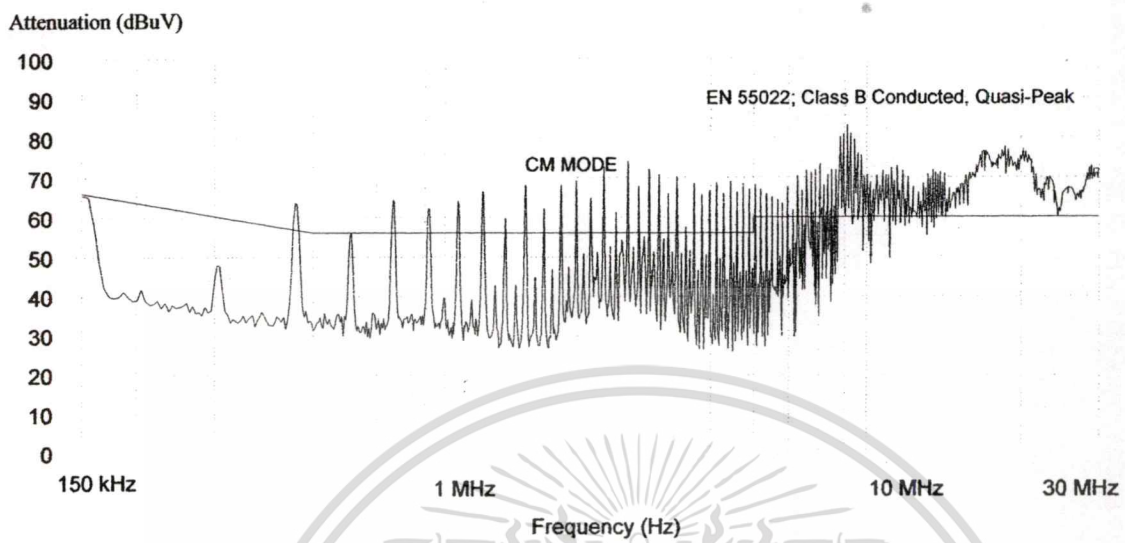
3.4.2 การคำนวณเพื่อออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับบู้สต์คอนเวอร์เตอร์

1. การคำนวณค่าการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

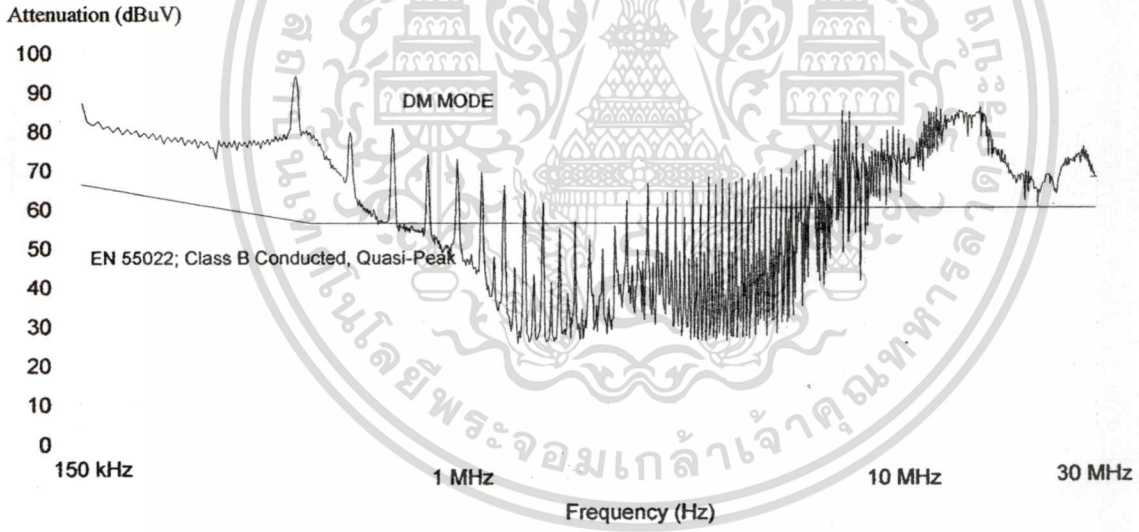
ขั้นตอนที่ 1 โดยจะเริ่มจากการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม และโหมดผลต่างของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนของวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ขณะที่ไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน (การวัดจะเหมือนกับกรณีการออกแบบสำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย) ผลที่ได้ดังในรูปที่ 3.26 และ 3.27 ซึ่งผลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากการวัดสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจะได้ดังในรูปที่ 3.26 และสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างจะได้ดังในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจากวงจรบู้ตส์ตอนเตอร์



รูปที่ 3.27 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างจากวงจรบู้ตส์ตอนเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 ในขั้นตอนนี้จะนำผลของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม และโหมดผลต่างที่ได้จากการวัดในขั้นตอนที่ 1 มาทำหาค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง โดยจะทำการเปรียบเทียบกับเส้นขีดจำกัดมาตรฐาน และจะรวมผลของการผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB ซึ่งในการหาค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม $V_{reg,CM}$ จากรูปที่ 3.26 จะหาได้จากสมการที่ 3.18 และผลของค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมจะแสดงดังในรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า $V_{reg,CM}$ จากรูปที่ 3.26 ที่ความถี่ 30 kHz จะได้ ค่า $\left(V_{CM}\right)_{dB}$ เท่ากัน 84 dBμV และ $\left(V_{\text{limit}}\right)_{dB}$ เท่ากับ 58 dBμV และค่าผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB จะได้ค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เท่ากับ

$$\left(V_{reg,CM}\right)_{dB} = \left(V_{CM}\right)_{dB} - \left(V_{\text{limit}}\right)_{dB} + 3dB$$
$$\left(V_{reg,CM}\right)_{dB} = (84)_{dB} - (58)_{dB} + 3dB = 25\ dB$$

จะได้ $V_{reg,CM}$ = 25 dBμV

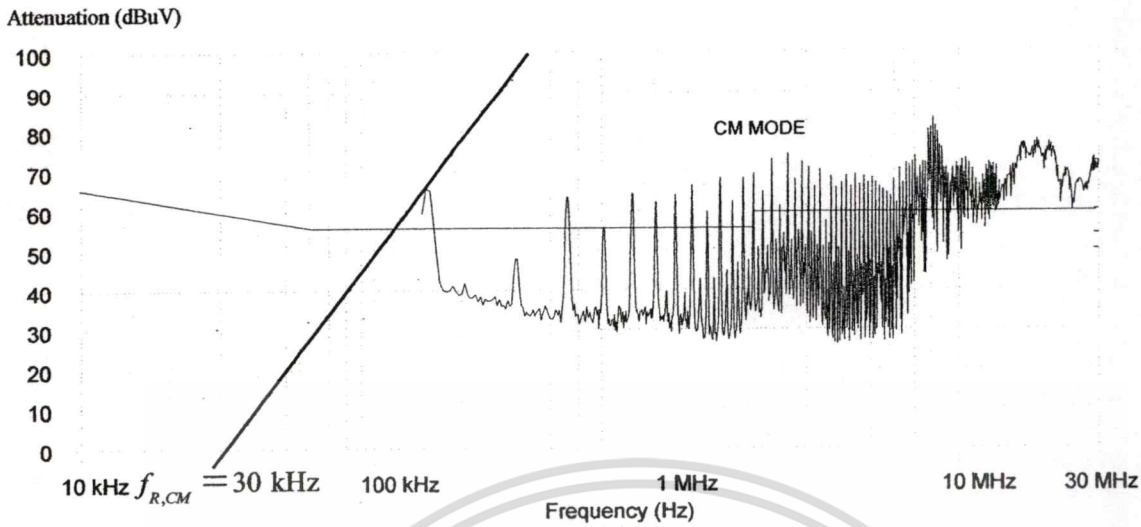
จากรูปที่ 3.27 หาค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง $V_{reg,DM}$ จะหาได้จากสมการที่ 3.19 และผลของค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง จะแสดงดังในรูปที่ 3.29

การหาค่า $V_{reg,DM}$ ที่ความถี่ประมาณ 460 kHz จะได้ $\left(V_{DM}\right)_{dB}$ ค่าเท่ากับ 94 dBμV และ $\left(V_{\text{limit}}\right)_{dB}$ เท่ากับ 58 dBμV และค่าผิดพลาดจากการวัดประมาณ 3 dB จะได้ค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม เท่ากับ

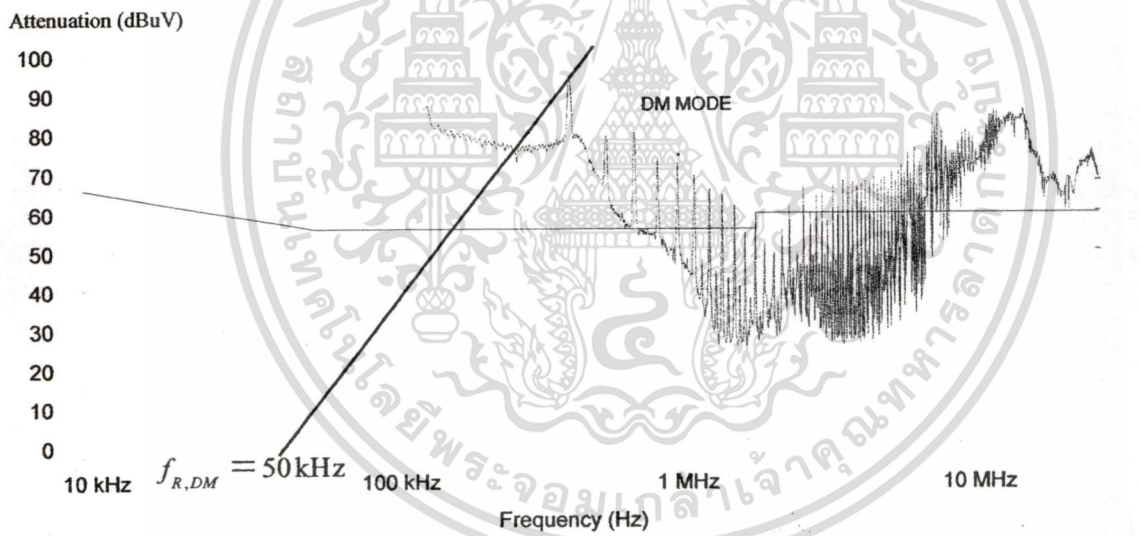
$$\left(V_{reg,DM}\right)_{dB} = \left(V_{CM}\right)_{dB} - \left(V_{\text{limit}}\right)_{dB} + 3dB$$
$$\left(V_{reg,DM}\right)_{dB} = (94)_{dB} - (58)_{dB} + 3dB = 39\ dB$$

จะได้ $V_{reg,DM}$ = 39 dBμV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมสำหรับวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.29 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างสำหรับวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

ขั้นตอนที่ 3 จะเป็นการหาค่าจุดเปลี่ยนความถี่ $\left(f_r\right)$

ในขั้นตอนที่ 2 นั้นจะได้ค่าความต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง แล้วจากนั้นในรูปที่ 3.28 และ 3.29 เริ่มจากการนำค่าที่ต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วม $\left(V_{reg,CM}\right)_{dB}$ และค่าที่ต้องการที่จะลดทอนสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง $\left(V_{reg,DM}\right)_{dB}$ ในขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำความชัน ขนาด 40 dB/dec มาสัมผัสเส้นที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ซึ่งจะได้จุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วม $\left(f_{r,CM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 30 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลต่าง $\left(f_{r,DM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 50 kHz ดังในรูปที่ 3.28 และ 3.29 ตามลำดับในส่วนของความชัน ขนาด 40 dB/dec นั้นจะได้มาจากการวิเคราะห์การทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในหัวข้อที่ 3.3

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการหาค่าส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรกรองสัญญาณรบกวน

จากขั้นตอนที่ 3 จะได้ค่าจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง จากนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำค่าจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง ไปหาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

(ก) ส่วนประกอบในโหมดผลร่วม

หาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในโหมดผลร่วมจะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำ L_C และตัวเก็บประจุ C_Y

ในการหาค่าส่วนประกอบของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดผลร่วม จะต้องหาค่ากระแสรั่วไหลลงดินก่อน ซึ่งดูจากวงจรกรองสัญญาณรบกวน ตัวเก็บประจุ C_Y จะต่ออยู่ระหว่างสายตัวนำกับกราวน์และสายนิวตรอนกับกราวน์ ดังนั้น กระแสรั่วไหลลงดิน I_{lkg} จะสามารถหาได้จาก $I_{lkg}=2\pi f\cdot V\cdot(1.1)\cdot(1.2)\cdot C_{Y,total}$ ซึ่งขีดจำกัดกระแสรั่วไหลลงดินสำหรับมาตรฐานความปลอดภัย สำหรับเครื่องมือที่สามารถถอดสายย้ายได้ จะให้กระแสรั่วไหลลงดิน $I_{lkg}=0.75$ mA โดย $C_{Y,total}$ จะมีค่าเท่ากับ

$$C_{Y,total}=\frac{0.75\times10^{-3}}{2\pi\cdot50\cdot220\cdot1.1\cdot1.2}=8.22\approx8\text{ nF}$$

จากการคำนวณจะได้ค่าเก็บประจุ $C_{Y,total}$ จะมีค่าเท่ากับ 8 nF ดังนั้นตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ $C_{Y,total}=C_{Y1}+C_{Y2}$ ฉะนั้นจะได้ตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} มีค่าเท่ากับ (8 nF)/2 = 4 nF เท่ากับการออกแบบในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

ดังนั้น ค่าคัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} ที่คำนวณมีค่าเท่ากับ 4 nF จำนาน 2 ตัว แต่ค่าตัวเก็บประจุ C_{Y1} และ C_{Y2} ที่ใช้ในทางปฏิบัติจะมีค่าเท่ากับ 3.3 nF

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} จะหาได้จากสมการที่ 3.21 โดยตัวเก็บประจุ C_Y ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 3.3 nF และจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลร่วม $\left(f_{r,CM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 30 kHz ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ L_{CM} จะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{CM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,CM}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2C_Y}$$

$$L_{CM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot 30\times10^{3}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2\cdot 3.3\times10^{-9}} = 4.26\times10^{-3} \approx 4.3 \text{ mH}$$

(ข) ส่วนประกอบในโหมดผลต่าง

จากสมการที่ 3.23 จะได้ค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} ดังนั้นในการหาค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} จึงทำการกำหนดค่า C_{X1} และ C_{X2} ก่อน เพราะฉะนั้นจึงกำหนดให้ C_{X1} และ C_{X2} เท่ากับ 0.22 μF และค่าจุดเปลี่ยนความถี่ในโหมดผลต่าง $\left(f_{r,DM}\right)_{dB}$ เท่ากับ 50 kHz ดังนั้นค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีค่าเท่ากับ

$$L_{DM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{R,DM}} \right)^2 \cdot \frac{1}{C_{DM}}$$

$$L_{DM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot 50\times10^{3}} \right)^2 \cdot \frac{1}{0.22\times10^{-6}} = 46.05\ \mu\text{H}$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 46.05 uH แต่ในทางปฏิบัติค่าความเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีผลของค่าความเหนี่ยวนำ $L_{leakage}$ ของตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่ได้จากการวัดรวมอยู่ด้วย ดังนั้นค่าเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่จะใช้พันเป็นตัวเหนี่ยวนำ L_{DM} จะมีค่าเท่ากับ 46.05 uH - $L_{leakage}$ และในการวัดค่าความเหนี่ยวนำ $L_{leakage}$ ของตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} มีค่าเท่ากับ 3.7 uH ดังนั้นจะได้ค่าความเหนี่ยวนำ L_{DM} ที่ใช้พันในทางปฏิบัติมีค่าเท่ากับ $\left(46.05\times10^{-6} - 3.7\times10^{-6}\right)/2 = 21.18\times10^{-6} = 21.2\ \mu\text{H}$

3. การคำนวณหาจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

- ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม

จากการออกแบบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม จะนำแกนทอรอยด์ชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core) มาใช้งาน ค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 4.3 mH ดังนั้นจำนวนรอบที่ต้องการ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.25 เมื่อ A_L(nH/N^2) จะได้ข้อมูลจากผู้ผลิต (ผนวก ก) นั้นมีค่าเท่ากับ 11600 (nH/N^2) จะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Required turns} = \left[\frac{4.3\times10^{6}\ (\text{nH})}{11600\ (\text{nH/N}^2)}\right]^{1/2} = 19.25 \approx 19 \text{ turns}$$

ดังนั้นจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมจะเท่ากับ 19 รอบ

- **ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง**

จากการออกแบบตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง จะนำแกนทอรอยด์ชนิดชนิดผงโลหะ (Powder Core) ค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 46.05 μH ในทางปฏิบัติจะมีค่าเท่ากับ

$$L_D = \left(L_{DM} - L_{leakage}\right)/2 = \left(46.05\times10^{-6} - 3.7\times10^{-6}\right)/2 = 21.2\times10^{-6} = 21.2\ \mu\text{H}$$

ดังนั้นจำนวนรอบที่ต้องการ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.25 เมื่อ $A_L\,(\text{nH/N}^2)$ จากผู้ผลิต (ผนวก ก) นั้นมีค่าเท่ากับ 79 (nH/N^2) จะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Required turns} = \left[\frac{21.2\times10^{3}\ (\text{nH})}{79\ (\text{nH/N}^2)}\right]^{1/2} = 16.38 \approx 16 \text{ turns}$$

ดังนั้นจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างจะเท่ากับ 16.38 รอบ และในทางปฏิบัติแล้วจะพันเท่ากับ 16 รอบ

3. ตรวจสอบการทำงานของแกนเหล็กที่ใช้พันตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมและโหมดผลต่าง

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนเหล็กที่ใช้ในงานวิจัย โดยแกนเหล็กที่ใช้จะมี 2 ชนิด คือแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนเหล็กชนิดผงโลหะ แต่วิธีในการหาค่าการอิ่มตัวของแกนเหล็กของทั้งสองแกนเหล็กจะมีวิธีเหมือนกัน โดยเริ่มจากการตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนเหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ จะเป็น ferrite core ยี่ห้อ JFE รุ่น R-47/27/15A เนื้อสารชนิด MA070 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด $B_{\max}$ ในแกนเหล็กนั้น เกิดขึ้นจากผลรวมของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B_{DC}, B_{AC} และ B_r จะหาได้สมการ 3.26

$$B_{\max} = B_{DC} + B_{AC} + B_{rg} < B_{sat}$$

ข้อมูลจากผู้ผลิตจะได้ B_r มีค่าประมาณ 93 mT และการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_{AC} = \frac{220\times10^{-5}}{2\times20.5} = 53.66\ \mu T$$

และในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง จะหาได้จาก

$$B_{DC} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times2\times2.9}{0.0272} = 26.8\ \text{mT}$$

และนำค่าทั้งหมดที่หาได้แทนลงในสมการที่ 3.26 เพื่อหาค่า B_{max} จะได้

$$B_{max} = 53.66\times10^{-6} + 26.8\times10^{-3} + 93\times10^{-3} = 119.85\times10^{-3} = 119.85\ \text{mT}$$

จากข้อมูลจากผู้ผลิตแกนเหล็กนั้น แกนเนื้อสาร MA070 นั้นมี B_{sat} อยู่ที่ 434 mT โดยค่าที่คำนวณได้ B_{max} นั้นมีค่าเพียง 119.85 mT เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขณะวงจรทำงานแกนเหล็กจะไม่เกิดการอิ่มตัวขึ้น

การตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนเหล็กชนิดผงโลหะจะเป็น Toroidal core ยี่ห้อ MICROMETALS รุ่น T150-52 โดยที่ค่า จากผู้ผลิตจะได้ B_r มีค่าประมาณ 145 mT (ผนวก ก) และการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะหาได้จาก

$$B_{AC} = \frac{220\times10^{-5}}{18\times47.1} = 2.59\ \mu T$$

และในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง จะหาได้จาก

$$B_{DC} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times18\times2.9}{0.1968} = 33.33\ \text{mT}$$

และนำค่าทั้งหมดที่หาได้แทนลงในสมการที่ 3.26 เพื่อหาค่า B_{max} จะได้

$$B_{max} = 2.59\times10^{-6} + 33.33\times10^{-3} + 145\times10^{-3} = 175.37\times10^{-3} = 178.33\ \text{mT}$$

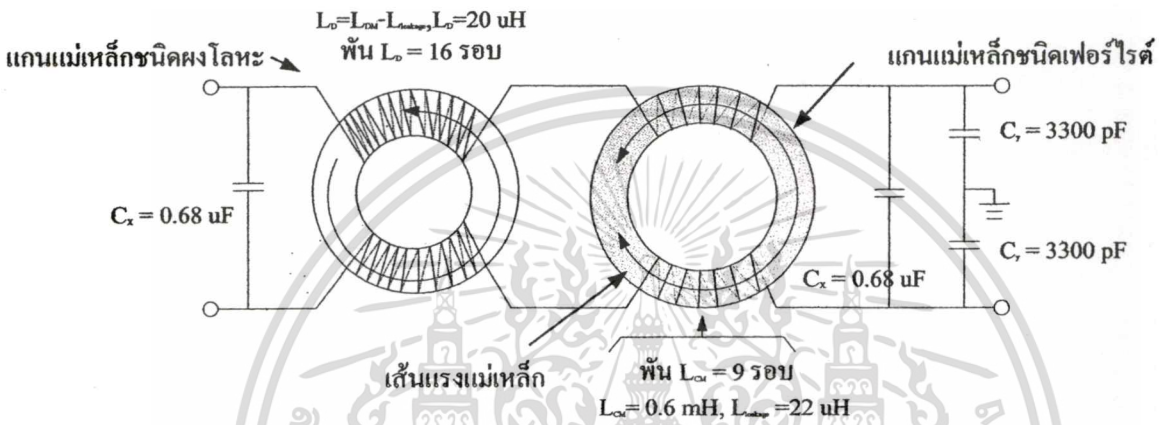
จากข้อมูลจากผู้ผลิตแกนเหล็กนั้น แกนเนื้อสาร -52 นั้นมี B_{sat} อยู่ที่ 1400 mT โดยค่าที่คำนวณได้ B_{max} นั้นมีค่าเพียง 178.33 mT เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขณะวงจรทำงานแกนเหล็กจะไม่เกิดการอิ่มตัวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปบทที่ 3

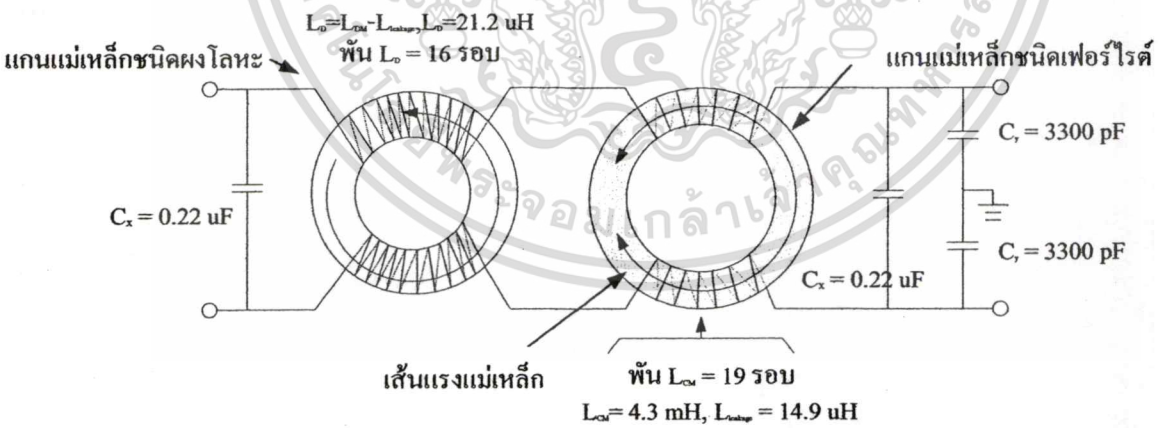
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็นลำดับขั้นตอน ตั้งแต่องค์ประกอบพื้นฐานทั้งหมด มีการนำเสนอวิธีการคำนวณและการออกแบบองค์ประกอบ โดยสามารถสรุปค่าขององค์ประกอบทุกตัวได้ดังนี้

วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ 3.30 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสำหรับวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.31 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสำหรับวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

จากบทที่ 3 ที่ได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำไปแล้วนั้น ประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนยังไม่สามารถลดทอนได้ทุกย่านความถี่ เนื่องจากการเรโซแนนซ์ขององค์ประกอบภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน ดังนั้นแล้วในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยการเลื่อนจุดที่เกิดเรโซแนนซ์ขององค์ประกอบภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนออกไป ทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนสามารถกรองสัญญาณรบกวนได้ที่ย่านความถี่กว้างขึ้น

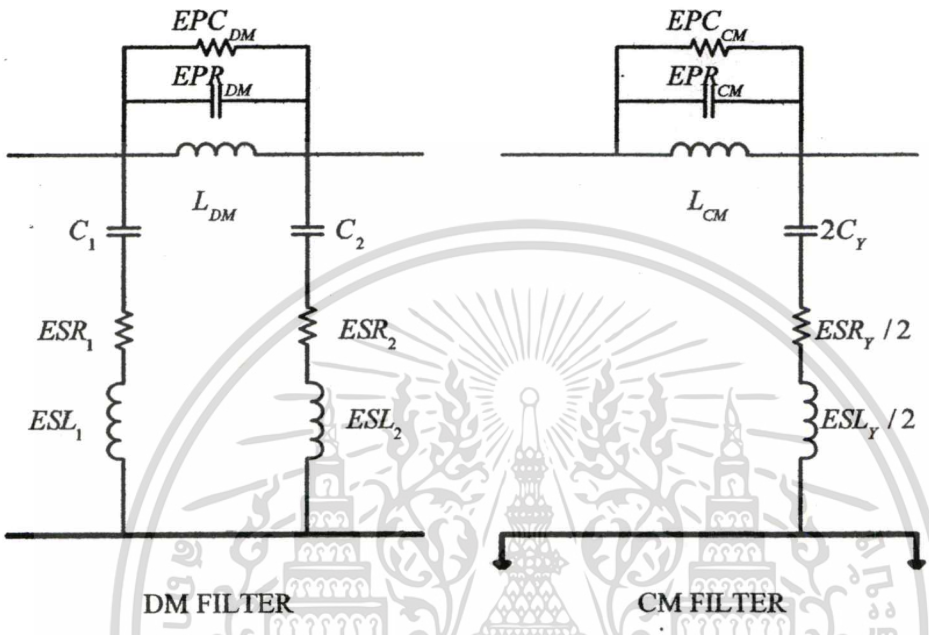
ในบทนี้จะกล่าวถึงค่าพาราซิติกต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน เนื่องจากการเรโซแนนซ์ขององค์ประกอบภายในวงจรกรอง รวมถึงการแสดงค่าพาราซิติก และจุดเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นจริงภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 3 หลังจากนั้นจะนำเสนอเทคนิคที่นำมาใช้ว่าใช้หลักการใดในการออกแบบ และสามารถเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ไปได้อย่างไร

4.1 ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (Parasitic)

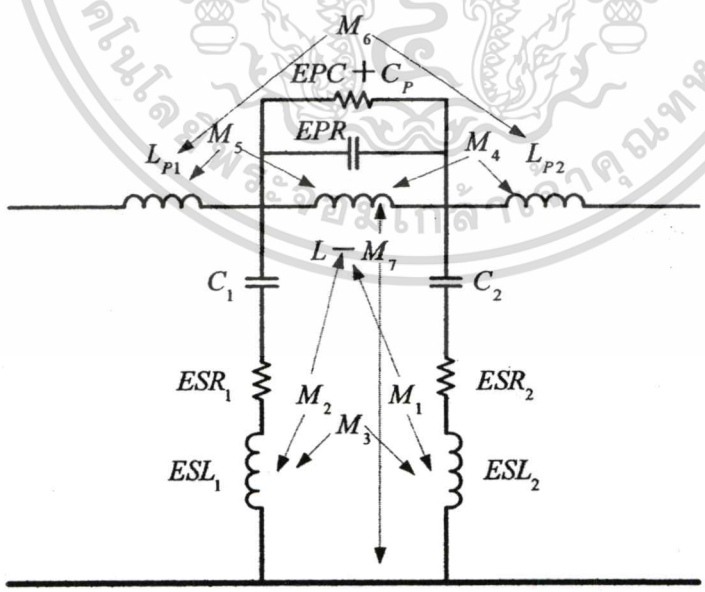
วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 2 ชนิดด้วยกัน ดังที่กล่าวมาแล้ว ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนคุณสมบัติไปตามความถี่ เช่น ตัวเหนี่ยวนำ ที่ความถี่สูงเกินจุดเรโซแนนซ์ ตัวเหนี่ยวนำจะประพฤติตัวเหมือนกับตัวเก็บประจุ เนื่องจากการสะสมของประจุไฟฟ้าระหว่างขดลวดนั่นเอง เป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนลดลงยังไม่ได้เกิดจากปัญหาค่าแฝงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังเกิดขึ้นจากการเชื่อมโยง (Coupling) ของอุปกรณ์ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วย เช่น การเชื่อมโยงกันของลายวงจร ทำให้เกิดค่าเก็บประจุขึ้นระหว่างลายวงจรนั้น เกิดเป็น Crosstalk ขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนลดลง เป็นต้น จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าแฝงและการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นจะแสดงเฉพาะในโหมดผลต่างเท่านั้น เนื่องจากมีการเชื่อมโยงที่เหมือนกันทั้งในโหมดผลร่วมและผลต่าง โดยองค์ประกอบที่มีสีแดงหมายถึงตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจริงๆ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร ส่วนองค์ประกอบที่มีสีน้ำเงินหมายถึงค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบภายในวงจรกรอง ส่วนค่า M คือ ค่าการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน และ L_P คือ ค่าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในลายวงจร (Trace Loops) [2]



รูปที่ 4.1 ค่าแฝงที่เกิดภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวน [2]



รูปที่ 4.2 ค่าการเชื่อมโยงภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย M_1 และ M_2 คือ การเชื่อมโยงระหว่างตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

M_3 คือ การเชื่อมโยงระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองตัว

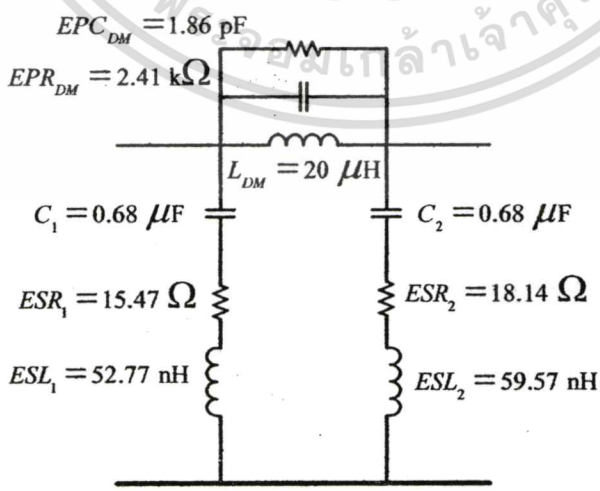
M_4 และ M_5 คือ การเชื่องโยงระหว่างตัวเหนี่ยวนำและลายวงจร

M_7 และ C_P คือ การเชื่อมโยงระหว่างกราวนด์เพลสและตัวเหนี่ยวนำ

M_6 คือ การเชื่อมโยงระหว่างลายวงจร

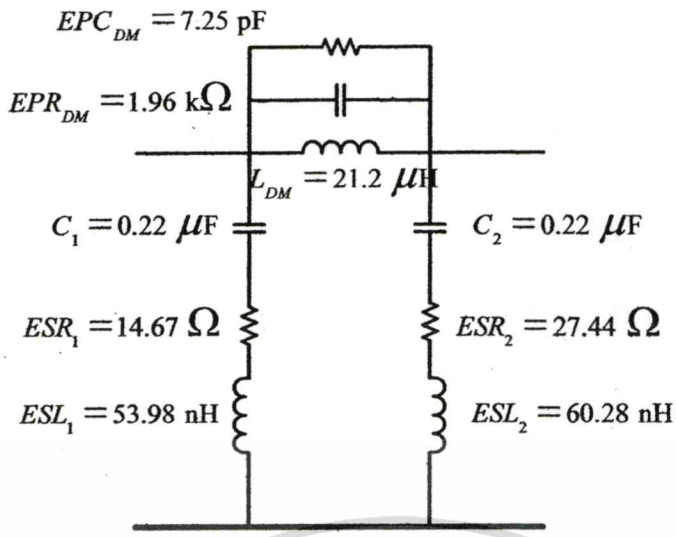
การแก้ปัญหาค่าแฝงและการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นภายในวงจรมีหลากหลายวิธีด้วยกัน แต่ในงานวิจัยเล่มนี้จะนำเสนอการหักล้างค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เนื่องจากต้องใช้ขั้นตอนในการศึกษามาก และไม่สามารถนำมาเสนอได้หมด ดังนั้นแล้วจึงนำเสนอเทคนิคเดียวเท่านั้นในการแก้ปัญหาค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ

โดยปกติแล้วการวัดค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะใช้เครื่อง Impedance Analyzer ในการวิเคราะห์ที่ความถี่ต่างๆ ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Impedance Analyzer รุ่น 4194A [15] ของบริษัท Hewlett Packard ในการวิเคราะห์วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ทำการวัดในช่วงย่านความถี่ 150 kHz ถึง 30 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ค่าแฝงที่ได้วัดที่ความถี่ที่เกิดเรโซแนนซ์ของอุปกรณ์ โดยได้ผลจากการวัดดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยรูปที่ 4.3 คือ ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ออกแบบไว้สำหรับเพาเวอร์ซัพพลาย และรูปที่ 4.4 คือ ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ออกแบบไว้สำหรับบู๊ตส์คอนเวอร์เตอร์ [23-24]



รูปที่ 4.3 ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่ออกแบบไว้สำหรับเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



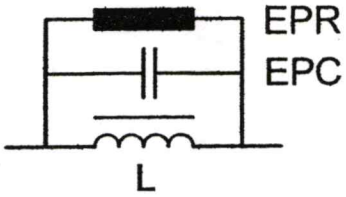
รูปที่ 4.4 ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างที่ออกแบบไว้สำหรับบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

4.2 แนวคิดการเกิดค่าเก็บประจุร่วม (Mutual Capacitance) [1]

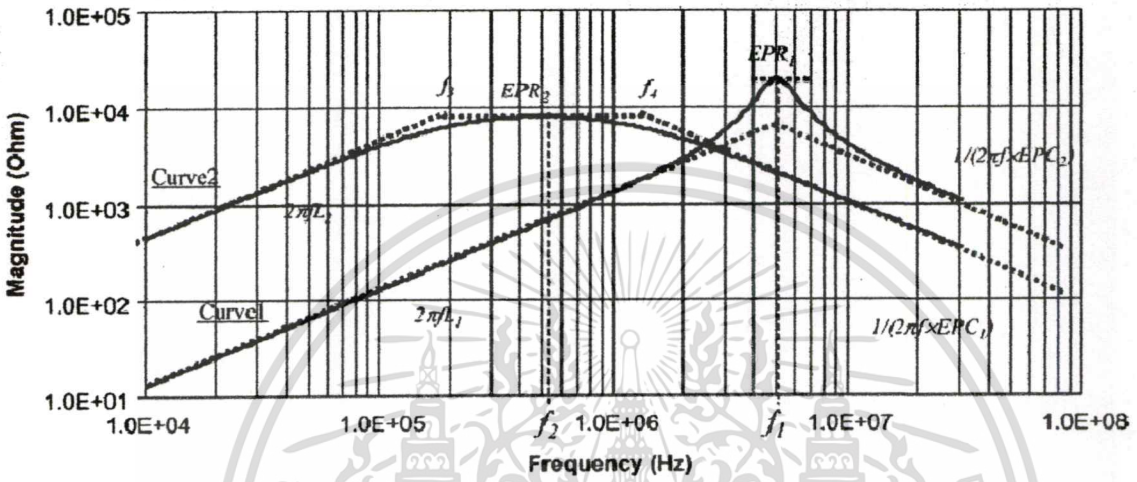
ในงานวิจัยนี้เน้นไปที่การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำด้วยค่าเก็บประจุร่วม ดังนั้นแล้วในตอนต้นของหัวข้อนี้จะนำเสนอค่าแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำก่อน หลังจากนั้นจะนำเสนอเทคนิคที่จะนำมาใช้ว่ามีแนวคิดและหลักการอย่างไร จนวิธีการหักล้างค่าแฝงในตัวเหนี่ยวนำ ดังนี้

ตัวเหนี่ยวนำเป็นองค์ประกอบพื้นฐานในวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แต่ความถี่ที่ใช้งานนั้นก็จะถูกจำกัดไว้ที่ย่านๆ หนึ่ง เนื่องจากค่าเก็บประจุแฝง โดยค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดขึ้นระหว่างขดลวดทองแดงกับขดลวดทองแดงที่อยู่ใกล้เคียงกัน และระหว่างขดลวดทองแดงกับแกนของตัวเหนี่ยวนำ จะทำให้ตัวเหนี่ยวนำประพฤติตัวเสมือนเป็นตัวเก็บประจุที่ความถี่สูง เมื่อพิจารณาตัวเหนี่ยวนำ เราจะให้ค่าเก็บประจุแฝงทั้งหมดเป็นวงจรสมมูลขนานเก็บประจุ (Equivalent parallel capacitance : EPC) ซึ่งจะขนานกับตัวเหนี่ยวนำ L และค่าการสูญเสียในขดลวดของตัวเหนี่ยวนำ กับค่าการสูญเสียในแกนเป็นวงจรสมมูลขนานตัวต้านทาน (Equivalent parallel resistance : EPR) ซึ่งขนานอยู่กับตัวเหนี่ยวนำ L เช่นกัน จากภาพที่ 4.5 แสดงค่าแฝงของตัวเหนี่ยวนำ ส่วนภาพที่ 4.6 ตัวอย่างแสดงกราฟของค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำจำนวนสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ [1]



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว [1]

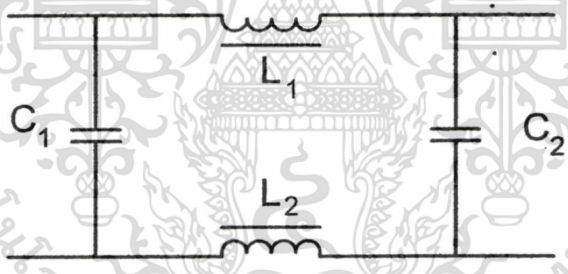
ในภาพที่ 4.6 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่ต่างๆ โดยที่ f_1 และ f_2 คือจุดที่เกิดเรโซแนนซ์ สำหรับเส้นกราฟ curve 1 ค่าตัวประกอบคุณภาพ (quality factor, Q) มีค่ามากกว่าหนึ่ง ดังนั้น L_1 จะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ $f_1 = 1/\left(2\pi\sqrt{L_1 \times \mathrm{EPC}_1}\right)$ ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่สูงที่สุดจะมีค่าเท่ากับ EPR_1 ที่ตำแหน่ง f_1 และค่าเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับค่าเก็บประจุ สำหรับเส้นกราฟที่ 2 ค่าตัวประกอบคุณภาพจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ความถี่จากส่วนโค้งของกราฟมุมแรกมองจากด้านซ้ายมือหาได้จาก EPR_2 และ L_2 ที่ความถี่ $f_3 = \mathrm{EPR}_2 / 2\pi L_2$ ส่วนความถี่จากส่วนโค้งที่ 2 จะหาได้จาก EPR_2 และ EPC_2 ที่ความถี่ $f_4 = 1/\left(2\pi \times \mathrm{EPR}_2 \times \mathrm{EPC}_2\right)$ ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ที่สูงที่สุดจะมีค่าเท่ากับ EPR_2 ที่ความถี่ $f_2 = 1/\left(2\pi\sqrt{L_2 \times \mathrm{EPC}_2}\right)$ จากการวิเคราะห์วงจรที่ความถี่เรโซแนนซ์ ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ EPR เนื่องจากค่าเหนี่ยวนำและค่าเก็บประจุที่จุดเรโซแนนซ์มีค่าเท่ากัน ทำให้หักล้างกันหมดไป เหลือแต่เพียงค่า EPR เท่านั้น แต่ที่ความถี่สูงกว่าจุดเรโซแนนซ์ EPC จะมีค่าอิมพีแดนซ์ลดลงไปเรื่อยๆ หลังจากนั้นกราฟก็จะกลับมาขึ้นอีกครั้งและตัวเหนี่ยวนำที่กลายเป็นตัวเก็บประจุก็จะกลับมาเป็นตัวเหนี่ยวนำอีกครั้ง ซึ่งจะมีพฤติกรรมดังกล่าวสลับไปมาอยู่ตลอด จุดที่เกิดความถี่เรโซแนนซ์จะทำให้ความเหนี่ยวนำมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งจะทำให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนลดลง ประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนก็จะลดลงไปด้วย ดังนั้นแล้วจึงต้องหาเทคนิคในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

เทคนิคที่นำเสนอนี้จะทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำของแกน Differential Mode: DM เท่านั้น เนื่องจากแกน CM มีการต่อลงกราวนด์ และกระแสมีทิศทางการไหลขนานกัน ทำให้เทคนิคนี้ไม่สามารถนำไปใช้กับ CM ได้

ลักษณะทั่วไปของแกน differential mode (DM) แสดงดังภาพที่ 4.7 โดยในวงจรจะมีตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเท่ากันสองตัว (L_1 และ L_2) อยู่ในแต่ฝั่งวงจร และมีตัวเก็บประจุสองตัว C_1 และ C_2 อยู่ฝั่งตรงข้ามกันในวงจรทั้งสองฝั่ง ตัวเหนี่ยวนำทั้งสองตัวสามารถใช้แกนร่วมกันได้ เพื่อลดขนาดและราคาให้น้อยลง ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ self resonant frequency ของตัวเหนี่ยวนำทั้งสองตัวจะทำให้ตัวเหนี่ยวนำแสดงคุณสมบัติเหมือนเป็นตัวเก็บประจุสองตัว ซึ่งจะทำให้ตัวกรองสัญญาณรบกวนไม่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านได้อีก

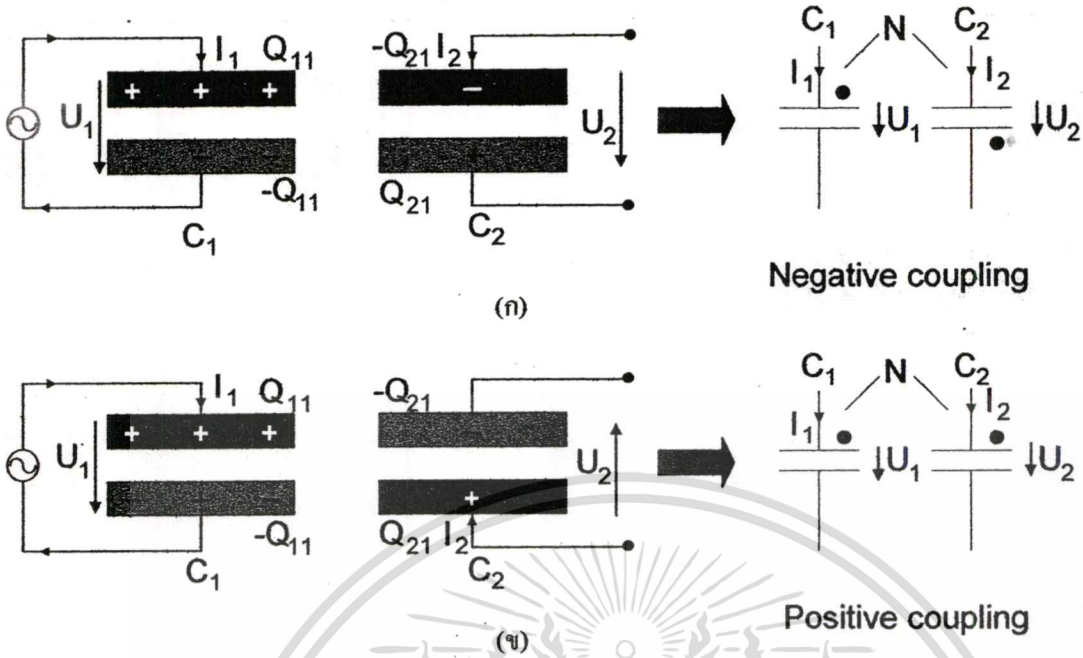


รูปที่ 4.7 วงจรของ Differential Mode: DM [1]

หลักการเกิดค่าเก็บประจุร่วมมีการพัฒนาแนวคิดมาจากการเชื่อมโยงของตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลส (Parallel plates) ของตัวเก็บประจุ ซึ่งมีการใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลส (Plate) คือ มีการนำแผ่นโลหะมาวางขนานกันนั่นเอง แต่แนวคิดนี้เป็นแนวคิดทางอุดมคติ ซึ่งค่าที่เกิดขึ้นจริงๆ ใน EMI Filter มีค่าน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย เนื่องจากตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนไม่ได้มีแผ่นเพลสมาวางขนานกันและวางใกล้กันจนเกิดการเชื่อมโยงได้

การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงของเทคนิคก็คือ การที่อาศัยความตรงกันข้ามของขั้วระหว่างตัวเก็บประจุแฝงและตัวเก็บประจุร่วม หักล้างกันเองจนหมดไป ส่วนการต่อตัวเก็บประจุร่วมอย่างไรให้ได้ค่าบวกหรือค่าลบ จะกล่าวในหัวข้อย่อยถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าเก็บประจุร่วมระหว่างแผ่นตัวนำสองแผ่นที่วางขนานกันของตัวเก็บประจุ [1]
(ก) การเชื่อมโยงแบบลบ (ข) การเชื่อมโยงแบบบวก

ภาพที่ 4.8 แสดงตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนานสองตัวที่วางใกล้กัน โดยให้ตัวเก็บประจุทางซ้ายต่อเข้ากับแรงดันภายนอกและตัวเก็บประจุทางขวาไม่ได้ต่อกับแหล่งจ่ายใดๆ ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวไม่มีการเชื่อมต่อกันเป็นวงจร แต่จะเกิดการเก็บประจุขึ้นในตัวเก็บประจุทางขวาเนื่องจากการเหนี่ยวนำ ในงานวิจัยนี้จะนำหลักการนี้มาใช้ในวงจร DM Filter ซึ่งมีการเชื่อมต่อภายในของตัวเก็บประจุทั้งสอง โดยรูปที่ 4.8 (ก) ทิศทางขั้วของแรงดันอ้างอิงของตัวเก็บประจุเหมือนกันทั้งสองตัว และรูปที่ 4.8 (ข) มีทิศทางขั้วของแรงดันอ้างอิงต่างกัน ต้นกำเนิดแรงดันภายนอกจะต่อเข้ากับ C_1 ประจุบวก Q_{11} จะถูกสร้างที่แผ่นตัวนำด้านบนของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 และประจุลบ $-Q_{21}$ จะถูกเหนี่ยวนำขึ้นบนแผ่นตัวนำด้านบนของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 :C_2 และประจุบวก Q_{21} จะถูกเหนี่ยวนำที่แผ่นตัวนำด้านล่างของ C_2 เนื่องจากความสัมพันธ์ของทิศทางแรงดันอ้างอิงและกระแสที่แตกต่างกันในภาพที่ 4.8 (ก) และ 4.8 (ข) จะพบว่าค่าเก็บประจุร่วม N สามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ ดังนั้นจะกำหนดความสัมพันธ์ของค่าเก็บประจุร่วมซึ่งมีความสัมพันธ์คล้ายกับค่าเหนี่ยวนำร่วมได้ดังนี้

$$N = \frac{Q_{21}}{U_1} \tag{4.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาในกรณีการเชื่อมโยงแบบลบดังภาพที่ 4.8 (ก) เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_1 = j\omega C_1 U_1 - j\omega N U_2 \tag{4.2}$$

$$I_2 = -j\omega N U_1 + j\omega C_2 U_2 \tag{4.3}$$

สำหรับการเชื่อมโยงแบบบวกดังภาพที่ 4.8 (ข) เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_1 = j\omega C_1 U_1 + j\omega N U_2 \tag{4.4}$$

$$I_2 = j\omega N U_1 + j\omega C_2 U_2 \tag{4.5}$$

จากสมการที่ 4.2 และ 4.3 จัดรูปใหม่ได้คือ

$$I_1 = j\omega(C_1 - N)U_1 + j\omega N(U_1 - U_2) \tag{4.6}$$

$$I_2 = j\omega N(U_2 - U_1) + j\omega(C_2 - N)U_2 \tag{4.7}$$

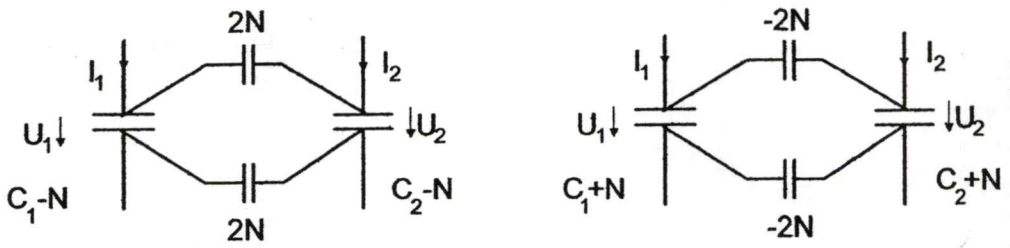
และจากสมการที่ 4.4 และ 4.5 สามารถจัดรูปใหม่ได้คือ

$$I_1 = j\omega(C_1 + N)U_1 - j\omega N(U_1 - U_2) \tag{4.8}$$

$$I_2 = -j\omega N(U_2 - U_1) + j\omega(C_2 + N)U_2 \tag{4.9}$$

จากสมการที่ 4.6 กับ 4.7 ทำให้ภาพที่ 4.8 (ก) สามารถเขียนวงจรสมมูลได้เป็นดังรูปที่ 4.9 (ก) จากสมการที่ 4.8 กับ 4.9 ทำให้ภาพที่ 4.8 (ข) สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 4.9 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

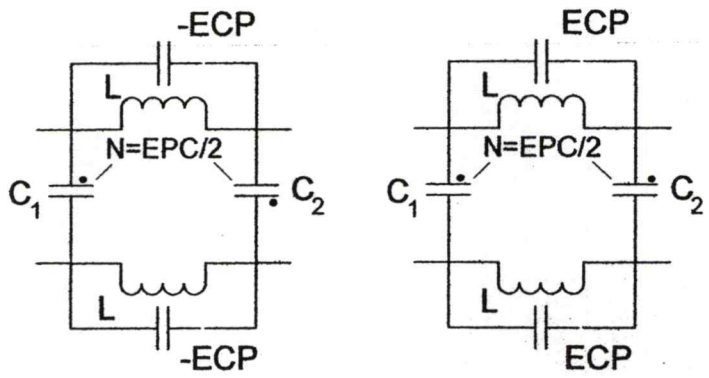
รูปที่ 4.9 วงจรสมมูลของค่าเก็บประจุร่วมระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองตัว [1]

(ก) การเชื่อมโยงแบบลบ (ข) การเชื่อมโยงแบบบวก

จากภาพ 4.9 (ก) การเชื่อมโยงแบบลบที่เกิดขึ้นระหว่างตัวเก็บประจุสองตัวสามารถแสดงออกมาเป็นตัวเก็บประจุพิเศษขึ้นซึ่งมีค่าเท่ากับ $2N$ คร่อมอยู่ระหว่างตัวเก็บประจุจริงทั้งสองตัว และตัวเก็บประจุพิเศษจะมีขั้วของแรงดันเหมือนกัน และที่เวลาเดียวกันค่าเก็บประจุของแต่ละตัวเก็บประจุจริงจะถูกลดค่าลงโดยค่า N จากภาพ 4.9 (ข) ก็มีลักษณะเหมือนกัน การเชื่อมโยงแบบลบระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองตัวสามารถแสดงออกมาเป็นตัวเก็บประจุพิเศษที่มีค่าเก็บประจุเป็น $-2N$ คร่อมอยู่กับตัวเก็บประจุจริง โดยตัวเก็บประจุพิเศษจะมีขั้วแรงดันเหมือนกัน ทำให้ค่าเก็บประจุของแต่ละตัวเก็บประจุจริงเพิ่มขึ้นโดยค่า N

จากการวิเคราะห์วงจร ถ้า C_1 และ C_2 ในภาพที่ 4.7 จะมีค่าเก็บประจุร่วมเป็นบวก N ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นบนตัวเหนี่ยวนำทั้งหมด จะทำให้ค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำถูกหักล้างลงไปได้ ก็คือค่าเก็บประจุแฝงจะถูกหักล้างไปเท่ากับ $-2N$ ดังภาพที่ 4.10 ตัวเก็บประจุร่วมต่อขนานกับตัวเหนี่ยวนำและค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำอยู่ นอกจากนี้เมื่อค่าเก็บประจุแฝงของ L_1 และ L_2 เป็นลบ ถ้า C_1 และ C_2 มีค่าเก็บประจุร่วมเป็นลบ N ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเก็บประจุแฝงทั้งหมดบนตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะไปหักล้างค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำ ก็คือค่าเก็บประจุแฝงจะถูกหักล้างไปเท่ากับ $2N$ ดังภาพที่ 4.10 ตัวเก็บประจุร่วมต่อขนานกับตัวเหนี่ยวนำและค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำอยู่

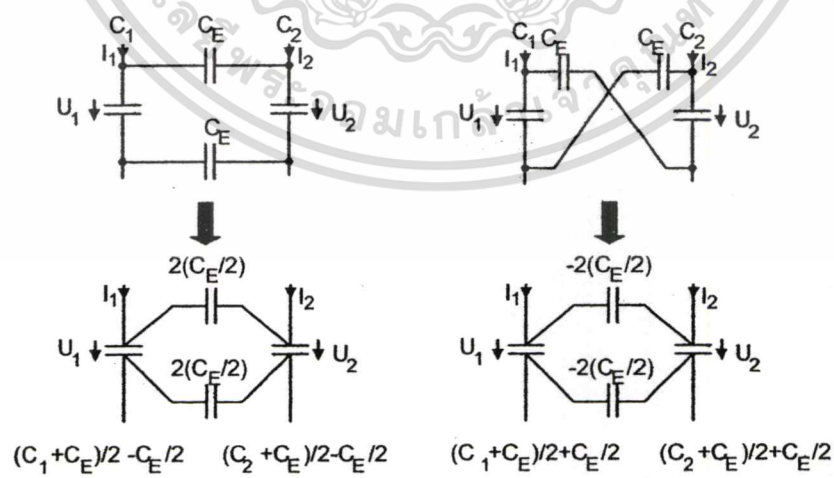
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.10 การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำโดยการใช้ค่าเก็บประจุร่วมระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองตัว [1] (ก) การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำค่าลบ (-EPC) (ข) การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำค่าบวก (+EPC)

การออกแบบค่าเก็บประจุร่วมระหว่างตัวเก็บประจุสองตัวค่อนข้างยุ่งยากที่จะทำการเลียนแบบตัวเก็บประจุในทางอุดมคติ เนื่องจากค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงมีค่าน้อยมากหรือแทบไม่เกิดเลย ดังนั้นแล้วการสร้างค่าเก็บประจุร่วมจึงสามารถสร้างเลียนแบบขึ้นมาได้จากการใช้ตัวเก็บประจุค่าน้อยๆ ที่มีขายอยู่จริงตามท้องตลาดทั่วไป ให้แทนค่าเก็บประจุที่ทำการต่อเพิ่มเข้าไปเป็น C_E ดังรูปที่ 4.11



(ก) (ข)

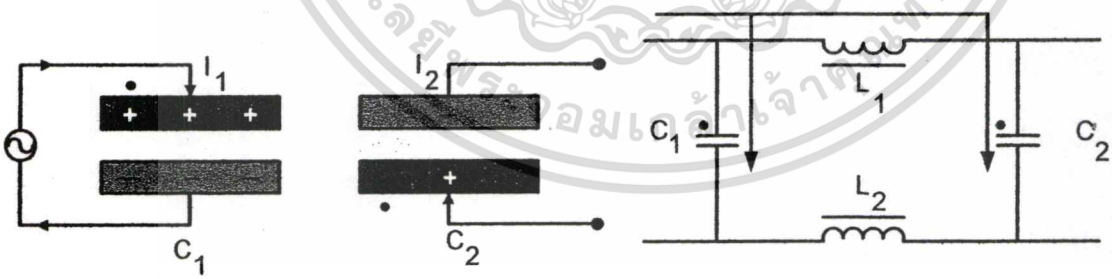
รูปที่ 4.11 ตัวเก็บประจุขนาดเล็กสองตัว C_E เพื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝง [1] (ก) การหักล้างการเชื่อมโยงแบบลบ (ข) การหักล้างการเชื่อมโยงแบบบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 ตัวเก็บประจุสองตัวที่ทำการต่อเพิ่มเข้าไปมีค่าเท่ากับ C_E จะนำมาใช้ในการเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมโดยในวงจรจะมีค่าเท่ากับ $C_E/2$ เนื่องจากวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 4.9 มีค่าเท่ากับ 2N ดังนั้นแล้วเพื่อให้มีค่าเท่าเดิม จึงต้องทำให้เป็น $C_E/2$ เมื่อทำการใส่ตัวเก็บประจุเข้าไปในวงจร ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวจะมีค่าเก็บประจุเท่ากับ $(C_1+C_E)/2$ และ $(C_2+C_E)/2$

สำหรับการออกแบบ EMI filter ในวิธีทั่วไปจะใช้แกนของตัวเหนี่ยวขนาดใหญ่ เพื่อจุดประสงค์ในการลดค่าเก็บประจุแฝง ทำให้ปัจจุบันขนาดของ EMI filter ยังคงมีขนาดใหญ่อยู่และการปรับปรุงก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่มาก ส่วนในวิธีการกรองสัญญาณรบกวนอื่นๆ จะใช้ EMI filter มากกว่าหนึ่งตัวต่ออนุกรมกัน เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น ทำให้มีราคาสูง และมีขนาดใหญ่

การนำหลักการนี้มาใช้กับ DM Filter จะเกิดการเชื่อมโยงค่าเก็บประจุร่วมเฉพาะค่าบวกเท่านั้น (Positive coupling) เนื่องจากหลักการนี้มีการประยุกต์หลักการมาจากตัวเก็บประจุแบบขนาน 2 ตัววางอยู่ใกล้กัน ซึ่งตัวเก็บประจุทั้งสองตัวไม่มีการเชื่อมต่อกันเป็นวงจร จะเกิดเฉพาะการเหนี่ยวนำเท่านั้น ซึ่งถ้าเกิดเฉพาะการเหนี่ยวนำ แล้วทำการกลับขั้วของตัวเก็บประจุ จะทำให้เกิดเชื่อมโยงของตัวเก็บประจุที่เป็นได้ทั้งบวกและลบ แต่ถ้าวงจรของตัวเก็บประจุทั้งสองมีการเชื่อมต่อกัน ดังในวงจร DM Filter ค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นจะเกิดได้เฉพาะการเชื่อมโยงของค่าเก็บประจุร่วมแบบบวกเท่านั้น เพราะทิศทางการไหลของกระแสและแรงดันในวงจร DM Filter มีทิศทางการไหลจากไลน์และไหลลงสู่นิวทรอลเท่านั้น ทำให้ทิศทางที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบแนวคิดระหว่างตัวเก็บประจุแผ่นเพลส 2 ตัววางขนานกันกับ DM filter

4.3 การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม [1]

ในงานวิจัยนี้จะทำการนำเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม ซึ่งค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 โดยจะแบ่งตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจัยออกเป็น 2 แบบ คือ ตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกัน (Not coupled) และตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน (Coupled) ดังนี้



รูปที่ 4.13 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled) [1]

ในงานวิจัยจะนำเทคนิคนี้มาใช้กับวงจร DM Filter ซึ่งหมายความว่าจะเกิดค่าเก็บประจุร่วมแบบบวกเท่านั้น ดังนั้นแล้วต่อไปนี้จะปรากฏเนื้อหาในส่วนที่เกี่ยวข้องเฉพาะค่าเก็บประจุร่วมแบบบวกเท่านั้น



รูปที่ 4.14 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled) [1]

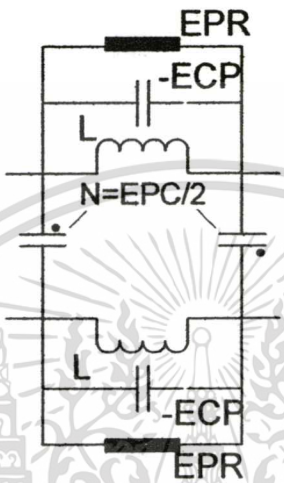
โดย C_a คือ ค่าเก็บประจุแฝงระหว่างขดลวดในตัวเหนี่ยวนำเดียวกัน

C_b คือ ค่าเก็บประจุแฝงระหว่างขดลวดกับแกนของตัวเหนี่ยวนำ

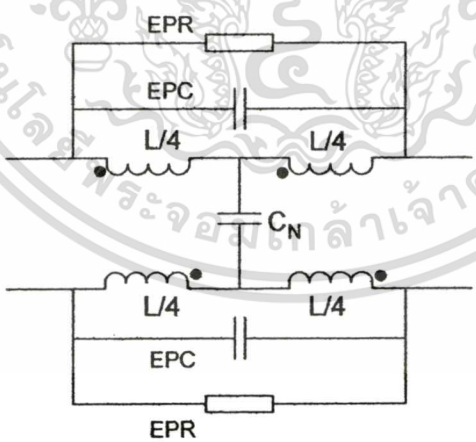
C_c คือ ค่าเก็บประจุแฝงระหว่างขดลวดกับขดลวดของตัวเหนี่ยวนำคนละตัวกันในแกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างค่าเก็บประจุร่วม (Mutual capacitance) นั้น จะใช้ตัวเก็บประจุจริงที่สามารถหาได้ตามท้องตลาดแทนค่าเก็บประจุร่วม เนื่องจากค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นจริงมีค่าน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกันจะเกิดค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมดังวงจรสมมูลย์รูปที่ 4.15 และตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันดังวงจรสมมูลย์รูปที่ 4.16 ดังนี้



รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลย์ของค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน [1]

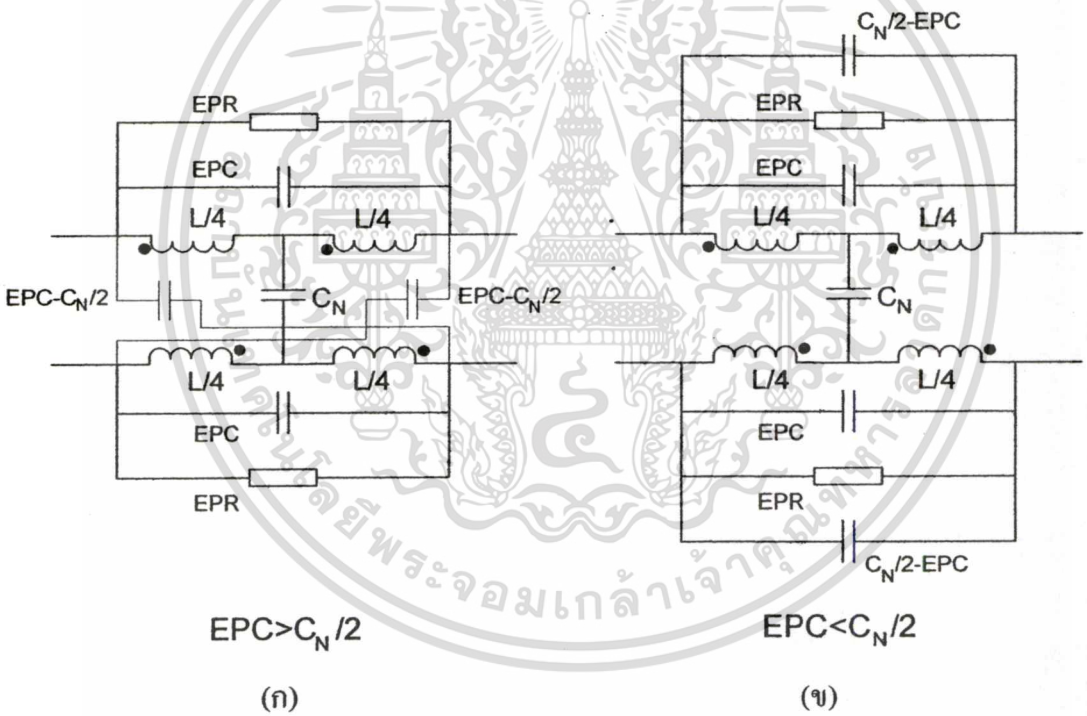


รูปที่ 4.16 วงจรสมมูลย์ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกันจะเกิดค่าแฝงขึ้น (Parasitic) โดยขนานกับตัวเหนี่ยวนำ และค่าเก็บประจุร่วม (N) ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ N = EPC/2 ซึ่งหมายความว่ามีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเก็บประจุแฝงนั่นเอง แต่ค่าเก็บประจุร่วมจะมีค่าในทางตรงกันข้ามกับค่าเก็บประจุแฝง นั่นคือ ถ้าเก็บประจุแฝงมีค่าเป็นลบ ค่าเก็บประจุร่วมต้องมีค่าเป็นบวก

แต่ในกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันจะเกิดค่าแฝง (Parasitic) ซึ่งต่างออกไปกับกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันจะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างขดลวดกับขดลวดของตัวเหนี่ยวนำคนละตัวกันในแกนเดียวกัน ทำให้เกิดค่าแฝง C_N ด้วย ดังนั้นแล้ว EPC จึงหมายความถึง $C_a + C_b$ และ C_N หมายความถึง $C_b + C_c$ ในรูปที่ 4.16 การหาค่าเก็บประจุร่วมจะหาได้จากเงื่อนไข 2 กรณี ดังนี้



รูปที่ 4.17 การพิจารณาจากวงจรสมมูลย์เพื่อหาค่าเก็บประจุร่วม [1]

(ก) กรณี $EPC > C_N/2$ (ข) กรณี $EPC < C_N/2$

โดยในกรณี (ก) $EPC > C_N/2$ คือ ค่า EPC มีค่ามากกว่า C_N สามารถหาค่าเก็บประจุร่วมได้จาก $EPC - C_N/2$ และสำหรับกรณี (ข) $EPC < C_N/2$ คือ ค่า C_N มีค่ามากกว่า EPC สามารถหาค่าเก็บประจุร่วมได้จาก $C_N/2 - EPC$

สำหรับค่า C_N นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 4.10 และ 4.11 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L\left(\text{EPC} - \frac{C_N}{2}\right)}} \quad (4.10)$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L\left(\frac{C_N}{2} - \text{EPC}\right)}} \quad (4.11)$$

โดยในสมการที่ 4.10 จะนำมาคำนวณหา C_N ในกรณี EPC - C_N/2 และสมการที่ 4.11 จะนำมาคำนวณหา C_N ในกรณี C_N/2 - EPC โดยทำการวัดหาค่า EPC มาก่อนด้วยเครื่องวัด Impedance Analyzer ซึ่งค่านี้จะเหมือนกันกับกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ส่วนค่า f_1 คือ ค่าของความถี่ที่จุดวัดค่า EPC เมื่อได้ค่ามาทั้งหมดก็ทำการแทนค่าลงไปในสมการ เมื่อได้ค่า C_N ออกมาให้ทำการตรวจสอบว่าเรานำสมการมาคำนวณถูกต้องหรือไม่ เนื่องจากยังไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าค่า EPC หรือ ค่า C_N ค่าไหนมีค่ามากกว่ากัน ซึ่งถ้าเราเลือกสมการที่คำนวณถูกต้อง ค่า C_N ที่ได้จะออกมาเป็นค่าบวก แต่ถ้าเลือกสมการที่คำนวณมาผิด ค่าที่ได้ของ C_N จะติดลบ ดังนั้นแล้วเมื่อติดลบ ให้ทำการคำนวณใหม่ด้วยสมการอีกสมการหนึ่ง

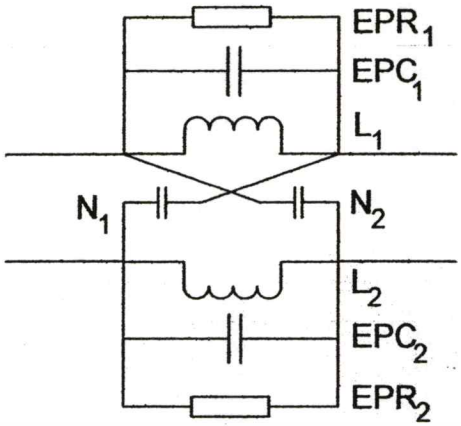
เมื่อทำการคำนวณถูกต้องแล้วก็สามารถที่จะเลือกค่าของตัวเก็บประจุร่วม ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุพิเศษที่จะทำการมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วม โดยมีค่าเท่ากับสมการที่ 4.12 และ 4.13 ดังนี้

กรณี EPC>C_N/2 $\quad N = \text{EPC} - C_N/2$ 4.12

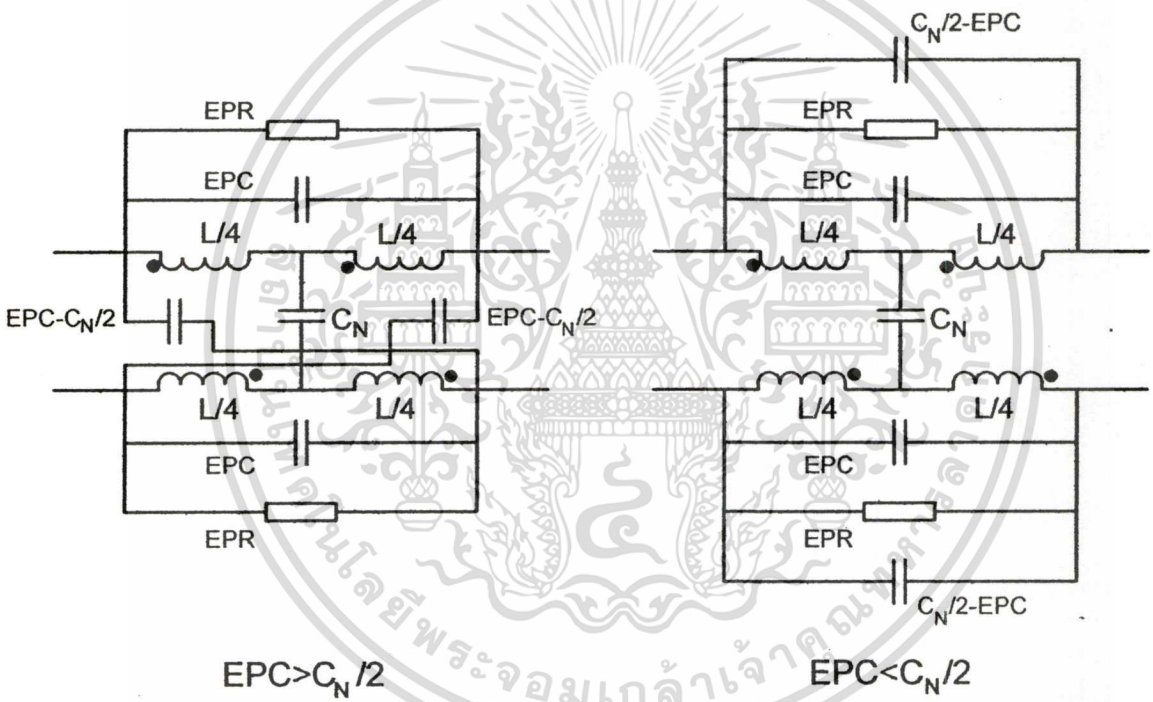
กรณี EPC<C_N/2 $\quad N = C_N/2 - \text{EPC}$ 4.13

การจะนำตัวเก็บประจุพิเศษนี้ไปหักล้างค่าเก็บประจุแฝงนั้น จะมีการต่อเข้าไปในวงจรซึ่งถ้าเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันจะทำการต่อตัวเก็บประจุพิเศษแบบขนานกัน ดังรูปที่ 4.18 และถ้าเป็นกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันจะทำการต่อตัวเก็บประจุตามค่าของ EPC และ C_N ว่าค่าใดมีค่ามากกว่ากันดังรูปที่ 4.19 โดยถ้าค่า EPC>C_N/2 ให้ทำการต่อตัวเก็บประจุพิเศษแบบไขว้กัน แต่ถ้า EPC<C_N/2 ให้ทำการต่อตัวเก็บประจุพิเศษแบบขนานกับ EPC ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การต่อตัวเก็บประจุพิเศษเพิ่มเข้าไปในวงจรกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน [1]

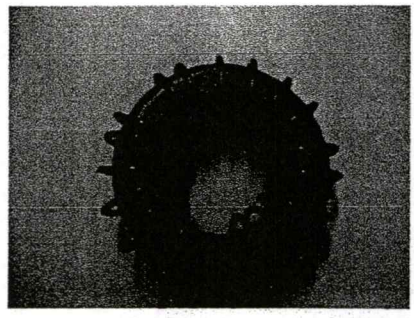


รูปที่ 4.19 การต่อตัวเก็บประจุพิเศษเพิ่มเข้าไปในวงจรกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน [1]

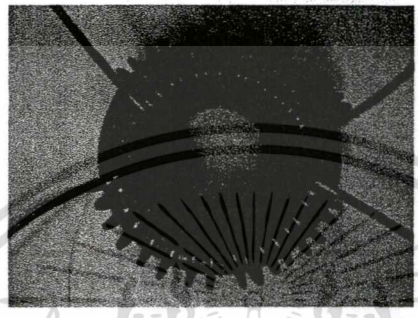
รูปที่ 4.20 (ก) และ (ข) แสดงรูปของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างทั้งแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย ตามลำดับ

รูปที่ 4.21 (ก) และ (ข) แสดงรูปของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างทั้งแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกันของวงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน

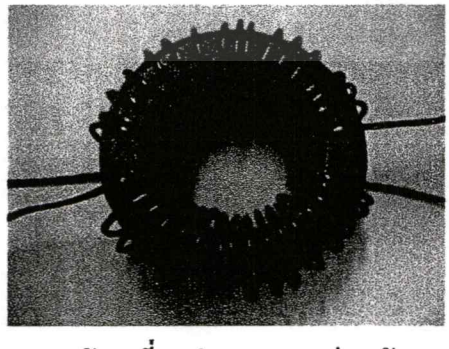


(ข) ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน

รูปที่ 4.20 ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างทั้งแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย



(ก) ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน



(ข) ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน

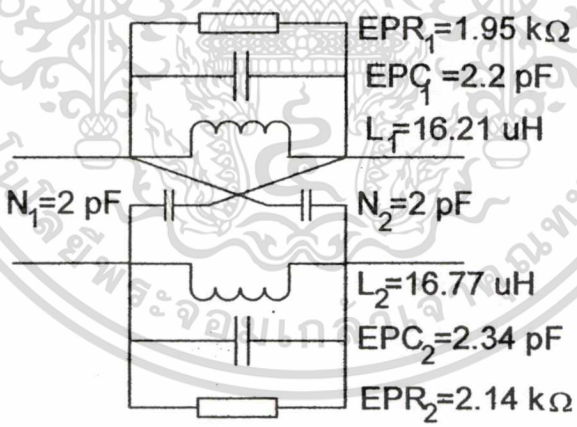
รูปที่ 4.21 ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างทั้งแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกันของวงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดด้วยเครื่อง Impedance Analyzer ค่าแฝงต่างๆ ที่ได้จะเป็นค่าที่อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ขนาน ดังนั้นค่าตัวเหนี่ยวนำที่ได้จะมีค่าไม่เท่ากับค่าตัวเหนี่ยวนำที่คำนวณในบทที่ 3 เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำที่คำนวณจากบทที่ 3 จะเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบพารามิเตอร์แบบอนุกรม แต่จากการวัดด้วยเครื่อง Impedance analyzer จะได้วงจรเป็นแบบพารามิเตอร์ขนาน ซึ่งทั้งสองกรณีมีค่าของตัวเหนี่ยวนำไม่เท่ากัน เครื่อง Impedance analyzer ที่ใช้มีคุณสมบัติในการคำนวณวงจรที่จุดเรโซแนนซ์ให้โดยอัตโนมัติ ค่าที่ได้จะให้อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ขนาน ซึ่งจะนำค่าแฝงต่างๆ นี้จากการวัดมาใช้ในการจำลอง

จากการวัดได้ค่าแฝงต่างๆ และคำนวณค่าเก็บประจุร่วมสำหรับวงจร DM Filter ของเพาเวอร์-ซัพพลาย กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันดังรูปที่ 4.22 และสำหรับตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 4.23 สามารถดูรูปกราฟและวงจรจากเครื่องวัดได้ที่ภาคผนวก ข

สำหรับกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ตัวเหนี่ยวนำที่ 1 เกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่เท่ากับ 27.7 MHz และตัวเหนี่ยวนำที่ 2 เกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ 26.29 MHz จะได้ค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2 pF และ 2.34 pF ตามลำดับ ดังนั้นในทางปฏิบัติ $N_1=N_2=2$ pF เป็นค่าใกล้เคียงที่สามารถหาได้



รูปที่ 4.22 ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำแยกกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันจะเกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่เท่ากับ 17.43 MHz มีค่าเก็บประจุแฝงเท่ากับ 1.86 pF จะได้ค่า C_N จากสมการที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งต้องทำการแทนค่าเข้าไปในสมการ และค่าที่ได้ของ C_N ต้องเป็นบวก

แทนลงไปในสมการที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$17.43\times10^{6}=\frac{1}{2\pi\sqrt{\left(2\times20\times10^{-6}\right)\left(1.86\times10^{-12}-\frac{C_N}{2}\right)}}$$

$$C_N=-7.88\times10^{-12}$$

พบว่าเมื่อนำไปแทนในการสมการที่ 4.10 ค่าที่ได้เป็นลบ ซึ่งหมายความว่าค่าของ C_N มีค่ามากกว่า EPC ต้องทำการแทนในสมการที่ 4.11

แทนลงไปในสมการที่ 4.11

$$17.43\times10^{6}=\frac{1}{2\pi\sqrt{\left(2\times20\times10^{-6}\right)\left(\frac{C_N}{2}-1.86\times10^{-12}\right)}}$$

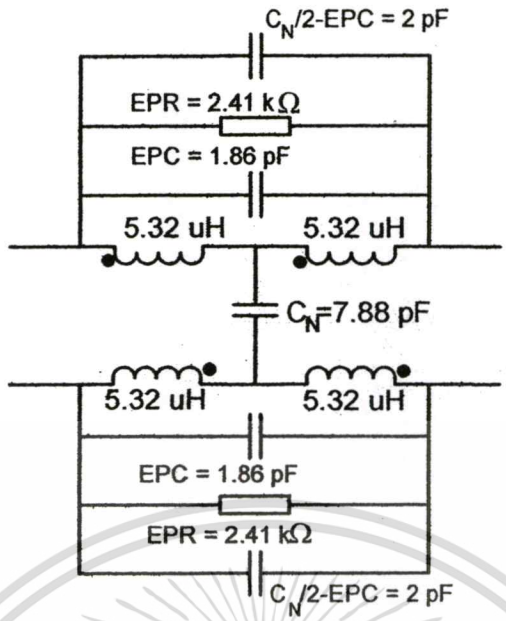
$$C_N=7.88\times10^{-12}$$

พบว่าค่าที่แทนลงไปในสมการ 4.11 เป็นบวก ดังนั้นแล้วจะได้ค่า $C_N=7.88\times10^{-12}$ ทำให้ได้ค่าเก็บประจุพิเศษที่ใช้เลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมโดยแทนเข้าไปในสมการ 4.13 เท่ากับ

$$\left(C_N/2\right)-\text{EPC}=\left(7.88\times10^{-12}/2\right)-1.86\times10^{-12}=2.08\times10^{-12}\approx2\text{ pF}$$

ดังนั้นแล้วจะได้ค่าเก็บประจุพิเศษที่จะต่อเพิ่มเข้าไปเท่ากับ 2 pF

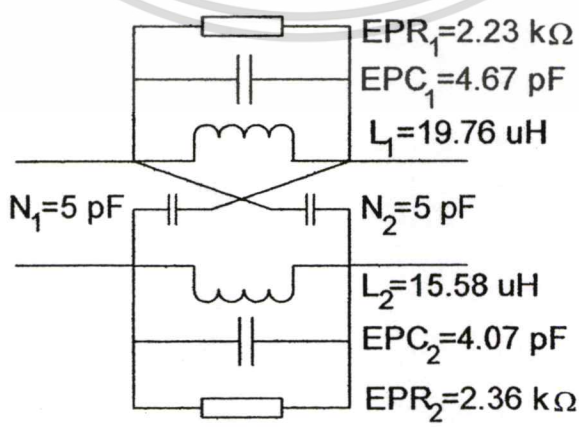
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำร่วมกันของวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

สำหรับวงจร DM Filter ของวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันดังรูปที่ 4.24 และสำหรับตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 4.25 สามารถดูรูปกราฟและวงจรจากเครื่องวัดได้ที่ ภาคผนวก ข

สำหรับกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ตัวเหนี่ยวนำที่ 1 เกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่เท่ากับ 17.79 MHz และตัวเหนี่ยวนำที่ 2 เกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ 21.04 MHz จะได้ค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.67 pF และ 4.07 pF ตามลำดับ ดังนั้นในทางปฏิบัติ N_1=N_2 = 5 pF เป็นค่าใกล้เคียงที่สามารถหาได้



รูปที่ 4.24 ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำแยกกันของวงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันจะเกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่เท่ากับ 11.07 MHz จะได้ค่า C_N จากสมการที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งต้องทำการแทนค่าเข้าไปในสมการ และค่าที่ได้ของ C_N ต้องเป็นบวก

แทนลงไปในสมการที่ 4.10

$$11.07\times10^{6} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(2\times21.2\times10^{-6}\right)\left(7.25\times10^{-12}-\frac{C_N}{2}\right)}}$$

$$C_N = -24.26\times10^{-12}$$

พบว่าเมื่อนำไปแทนในการสมการที่ 4.10 ค่าที่ได้เป็นลบ ซึ่งหมายความว่าค่าของ C_N มีค่ามากกว่า EPC ต้องทำการแทนในสมการที่ 4.11

แทนลงไปในสมการที่ 4.11

$$11.07\times10^{6} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(2\times21.2\times10^{-6}\right)\left(\frac{C_N}{2}-7.25\times10^{-12}\right)}}$$

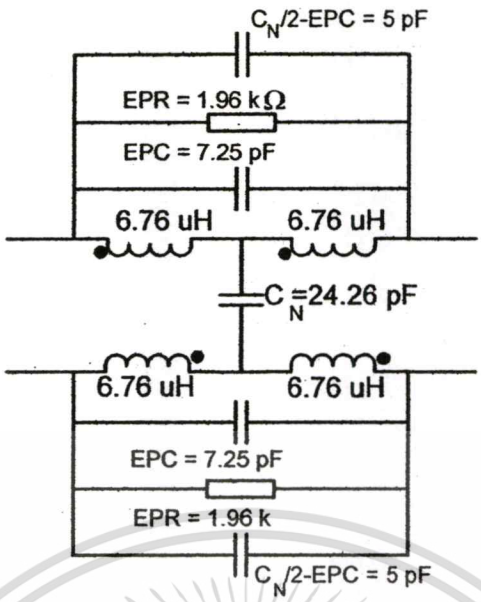
$$C_N = 24.26\times10^{-12}$$

พบว่าค่าที่แทนลงไปในสมการ 4.11 เป็นบวก ดังนั้นแล้วจะได้ค่า $C_N = 24.26\times10^{-12}$ ทำให้ได้ค่าเก็บประจุพิเศษที่ใช้เลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมเท่ากับ

$$\left(C_N/2\right)-\text{EPC} = \left(24.26\times10^{-12}/2\right)-7.25\times10^{-12} = 4.88\times10^{-12} \approx 5\text{ pF}$$

ดังนั้นแล้วจะได้ค่าเก็บประจุพิเศษที่จะต่อเพิ่มเข้าไปเท่ากับ 5 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ค่าเก็บประจุแฝงและค่าเก็บประจุร่วมสำหรับกรณีแกนตัวเหนี่ยวนำร่วมกันของวงจรบู๊ตคอนเวอร์เตอร์

สรุปบทที่ 4

บทที่ 4 ได้นำเสนอเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำ โดยนำเสนอเทคนิคการเกิดค่าเก็บประจุร่วม ซึ่งเกิดจากการพัฒนาแนวคิดมาจากตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลส และนอกจากนี้ยังนำเสนอค่าแฝงที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความต้านทานแฝงและค่าเก็บประจุแฝง พร้อมกันนี้ยังแสดงค่าเก็บประจุแฝง, ค่าความต้านทานแฝง และค่าเก็บประจุร่วมหรือค่าของตัวเก็บประจุพิเศษที่ทำการต่อเพิ่มเข้าไปด้วย โดยการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วมสามารถสรุปเป็นหลักการสั้นๆ ได้ดังนี้

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน

ถ้าค่าเก็บประจุแฝงเป็นลบให้หักล้างด้วยค่าเก็บประจุร่วมบวก แก้ไขโดยให้ต่อตัวเก็บประจุร่วมแบบขนาน ถ้าค่าเก็บประจุแฝงเป็นบวกให้หักล้างด้วยค่าเก็บประจุร่วมลบ แก้ไขโดยให้ต่อตัวเก็บประจุร่วมแบบไขว้

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน

ถ้า EPC>C_N/2 แก้ไขโดยให้ต่อตัวเก็บประจุร่วมแบบไขว้ ถ้า EPC<C_N/2 แก้ไขโดยให้ต่อตัวเก็บประจุร่วมแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อทำการวัดจากตัวเหนี่ยวนำจริงที่ใช้ในการทดลอง ได้ค่าต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าต่างๆ ที่วัดจากตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน

ค่าจากการวัด	วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	วงจรบู้ตส์ตอนเวอร์เตอร์
L_{DM}	20 uH	21.2 uH
f_{SRF} ของ C1 และ C2	27.71 MHz, 26.28 MHz	17.79 MHz, 21.04 MHz
C_P ของ C1 และ C2	2.2 pF, 2.34 pF	4.67 pF, 4.07 pF
R_P ของ C1 และ C2	1.95 kΩ , 2.14 kΩ	2.23 kΩ , 2.36 kΩ
$C_N = C_E$	2 pF	5 pF

ตารางที่ 4.2 ค่าต่างๆ ที่วัดจากตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่างสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน

ค่าจากการวัด	วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย	วงจรบู้ตส์ตอนเวอร์เตอร์
L_{DM}	20 uH	21.2 uH
f_{SRF} ของ C1 และ C2	17.43 MHz	11.07 MHz
C_P ของ C1 และ C2	1.86 pF	7.25 pF
R_P ของ C1 และ C2	2.41 kΩ	1.96 kΩ
C_N	7.88 pF	24.26 pF
C_E	2 pF	5 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

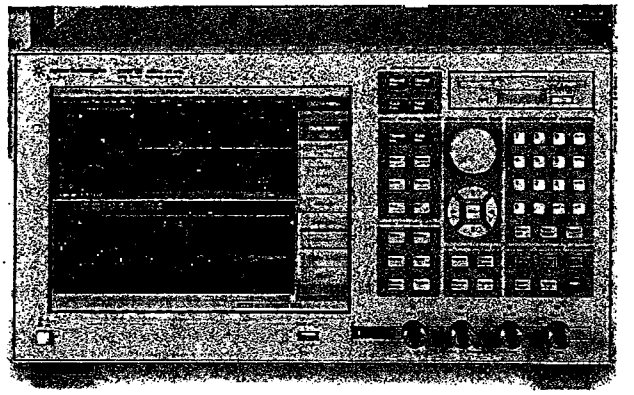
การจำลองเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง ด้วยค่าเก็บประจุร่วมโดยใช้โปรแกรม PSpice

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วมโดยนำโปรแกรม PSpice มาใช้ในการจำลอง เพื่อพิสูจน์เทคนิคนี้เบื้องต้นว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งการจำลองนี้ยังช่วยในเรื่องของการศึกษาเบื้องต้น เพื่อลดเวลาในการออกแบบ เนื่องจากการเลือกค่าเก็บประจุร่วมให้ได้ค่าที่ถูกต้องและเกิดการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงสูงสุดนั้นค่อนข้างยุ่งยาก แต่การจำลองนั้นสามารถเลือกค่าของตัวเก็บประจุร่วมค่าต่างๆ และทำการจำลองเพื่อดูผลก่อนได้ ในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ แนวคิดการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งการจำลองด้วยโปรแกรมจะทำการจำลอง 3 กรณีด้วยกัน ได้แก่ การจำลองเฉพาะตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น, การจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง และการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (เป็นการรวมวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่างและผลร่วมเข้าด้วยกัน)

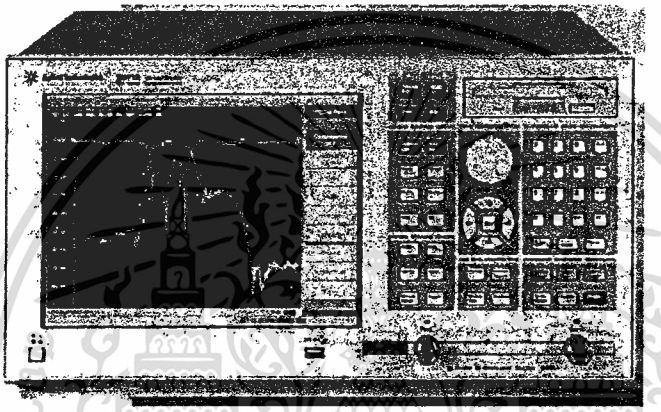
5.1 แนวคิดการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice [14, 21, 29]

การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการปรับปรุงของวงจรกรองสัญญาณรบกวนนั้น โดยปกติแล้วจะใช้เครื่อง Network Analyzer เพื่อหาอัตราการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวน ซึ่งเครื่อง Network Analyzer นั้นมีอยู่หลายแบบและหลายตัวแทนจำหน่ายด้วยกัน ซึ่งลักษณะของเครื่องจะมีพอร์ทสำหรับการวัดต่างกัน โดยปกติแล้วจะมีแบบ 4 พอร์ทและแบบ 2 พอร์ท ดังรูปที่ 5.1 แต่การทำงานของเครื่องเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพมีหลักการทำงานที่เหมือนกัน คือ ทำการจ่ายแรงดันที่อินพุตของวงจรกรองสัญญาณรบกวน และทำการวัดแรงดันตกคร่อมพอร์ทเอ้าพุตของวงจรกรองสัญญาณรบกวน ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมภายในเครื่อง และทำการแสดงผลออกทางหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบ 4 พอร์ท



(ข) แบบ 2 พอร์ท

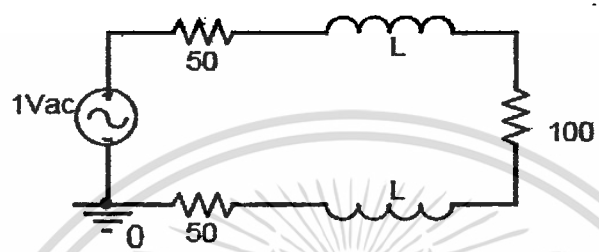
รูปที่ 5.1 เครื่อง Network Analyzer [15]

ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ก็เป็นการจำลองการทำงานของเครื่อง Network Analyzer มาเช่นกัน เครื่อง Network Analyzer ที่จะนำมาเลียนแบบเพื่อการจำลองจะใช้แบบ 4 พอร์ท ดังรูปที่ 5.1 การจำลองนี้จะเป็นการใช้หลักการแบบ differential ports คือ มีการไหลของกระแสจากพอร์ทที่ 1 ไปยังพอร์ทที่ 3 และไหลวนกลับมายังพอร์ทที่ 4 และวนกลับไปครบวงจรที่พอร์ทที่ 2 ดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 โดยรูปที่ 5.2 เป็นการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งมีการเลียนแบบจากเครื่อง Network Analyzer โดยสามารถเปรียบเทียบการต่อกับรูปที่ 5.3

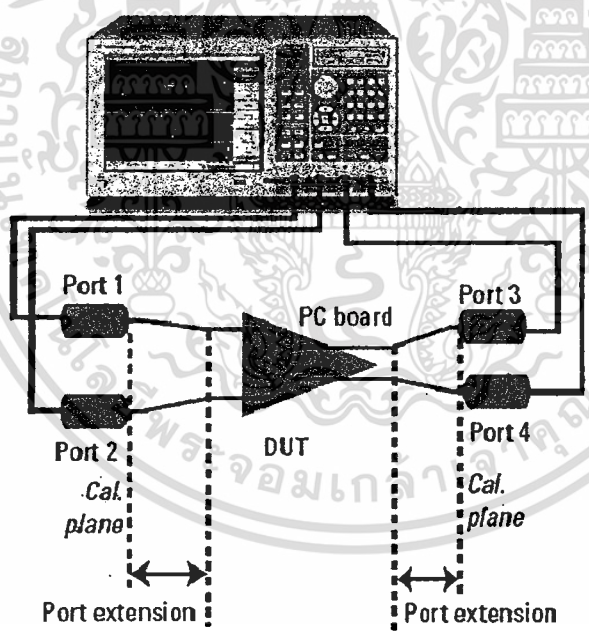
การจำลองการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีการค่าเก็บประจุร่วม โดยใช้โปรแกรม PSpice นั้นจะต้องทำการจำลองโดยใช้โหมด AC Sweep mode โดยศึกษาในช่วงย่านความถี่การรบกวนทางสายตัวนำ (Conducted Emission) คือ 150 kHz – 30 MHz โดยจะตั้งค่าความถี่เริ่มต้น (Initial Frequency) ที่ 150 kHz และความถี่สุดท้าย (Final Frequency) คือ 30 MHz โดยมีการกวาดความถี่ (Step Frequency) เพิ่มขึ้นทีละ 1 kHz ดังรูปที่ 5.4 ด้านอินพุตของวงจรต่อด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสสลับ 1 V กับตัวต้านทานต่อด้านบนของวงจรและด้านล่างของวงจรอย่างละ 50 โอห์มเท่ากัน และด้านเอาท์พุตของวงจรต่อด้วยโหลดตัวต้านทาน 100 โอห์ม ทำไมต้องต่อตัวต้านทาน 50 โอห์ม เนื่องจากการจำลองการวัดของเครื่อง Network Analyzer จะมีอิมพีแดนซ์ของพอร์ทเท่ากับ 50 โอห์ม เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานสูงสุด (Maximum Impedance Transfer) โดย Network Analyzer มี 4 พอร์ท ดังนั้นจึงมีตัวต้านทาน 50 โอห์มทั้งหมดสี่ด้าน เพื่อให้เหมือนกับ 4 พอร์ท ดังรูปที่ 5.2 ต่อไปนี้



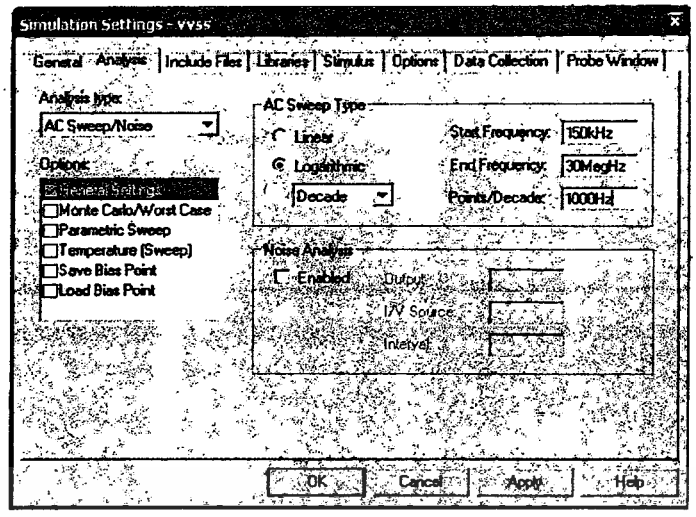
รูปที่ 5.2 วงจรจำลองการทดสอบของเครื่อง Network Impedance



รูปที่ 5.3 เครื่อง Network Analyzer ที่นำมาใช้ในการจำลองและทดสอบ [15]

โดยการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ทั้งหมดนั้นจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ตรงกันทั้งหมด เพื่อที่จะสามารถนำผลการจำลองมาเปรียบเทียบกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การเซ็ตค่าเพื่อการจำลองในโปรแกรม PSpice

Start frequency	Step frequency	End frequency	Sampling time
150 kHz	1 kHz	30 MHz	10^{-7}

หลังจากต่อวงจรเสร็จก็จะใช้ Differential Voltage Probe ในการตรวจจับแรงดันทั้งทางด้านอินพุตและเอาท์พุต หลังจากนั้นก็จะพล็อตกราฟออกมา โดยการพล็อตกราฟเราก็ต้องตั้งค่าสมการด้วยเพื่อคำนวณออกมาเป็นกราฟการลดทอน โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$IL = 20\log\frac{V_{out}}{V_{in}}\ \text{dB} \qquad (5.1)$$

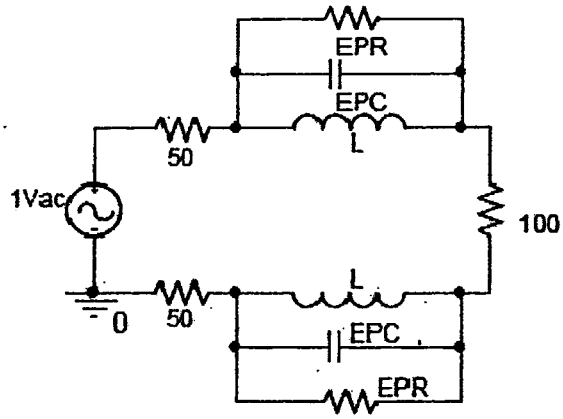
โดย IL คือ อัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวน (Insertion Loss)

V_{out} คือ แรงดันทางด้านออกของวงจรกรองสัญญาณรบกวน

V_{in} คือ แรงดันทางด้านเข้าของวงจรกรองสัญญาณรบกวน

โดยการต่อค่าเก็บประจุแฝงและค่าตัวต้านทานแฝงเข้าไปในวงจรจะต่อขนานเข้าไปกับตัวเหนี่ยวนำดังรูปที่ 5.5

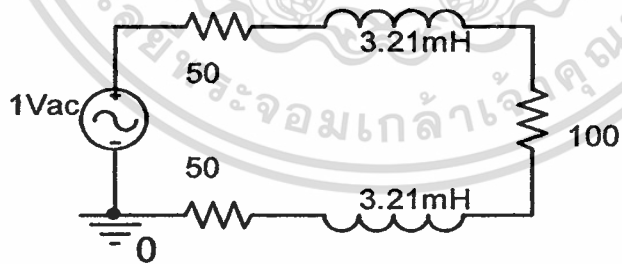
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงการต่อค่าเก็บประจุแฝงเข้าไปในวงจร

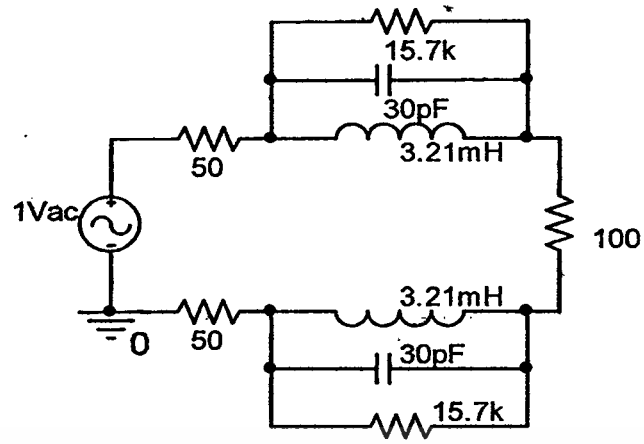
จากสมการที่ 5.1 เป็นสมการเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวน โดยเป็นอัตราส่วนของแรงดันทางด้านเอ้าท์พุตและอินพุตของวงจรกรองสัญญาณรบกวน ในการจำลองด้วยโปรแกรมนั้น ทางด้านอินพุตจะเชื่อมต่อกับแรงดันกระแสสลับ 1 Vac เนื่องจากสมการที่ 5.1 ตัวส่วนของสมการ คือ แรงดันอินพุต เพื่อให้ได้อัตราการลดทอนที่แท้จริง จึงต้องให้แรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อให้หารกันแล้วได้ค่าเฉพาะเอ้าท์พุตอย่างเดียว

ตัวอย่างการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เพื่อแสดงผลจากค่าเก็บประจุแฝงว่ามีผลอย่างไรต่อตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่สูง ซึ่งเป็นผลมาจาก Self resonance frequency: SRF โดยจะทำการจำลองเปรียบเทียบระหว่างตัวเหนี่ยวนำที่ไม่มีค่าเก็บประจุแฝงเกิดขึ้นเลย ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติ และเปรียบเทียบกับตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเก็บประจุแฝงอยู่ ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 ดังนี้



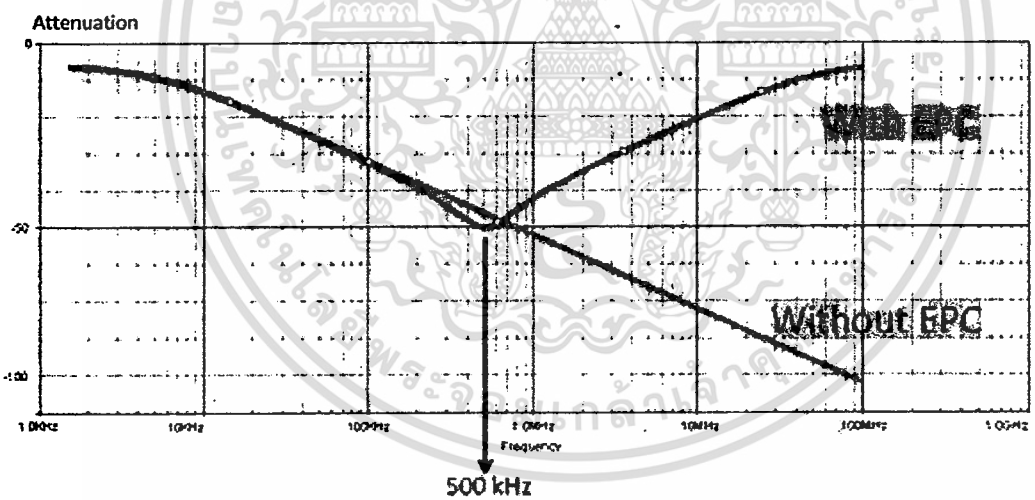
รูปที่ 5.6 วงจรของตัวเหนี่ยวนำกรณีที่ไม่มีค่าเก็บประจุแฝงเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 วงจรของตัวเหนี่ยวนำกรณีที่มีค่าเก็บประจุแฝงเกิดขึ้น

ค่าเก็บประจุแฝงและค่าความต้านทานแฝงที่เกิดขึ้นนี้เป็นตัวอย่างที่ได้จากการวัดจริงจากตัวเหนี่ยวนำ ทำการเชื่อมต่อกับตัวต้านทาน 50 โอห์มตามหลักการที่ได้นำเสนอไปแล้ว นำ Voltage probe มาวัดคร่อมตัวต้านทาน 100 โอห์ม ทำการเซ็ตค่าต่างๆ แล้วทำการจำลอง ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 5.8 ดังนี้



รูปที่ 5.8 ตัวอย่างผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

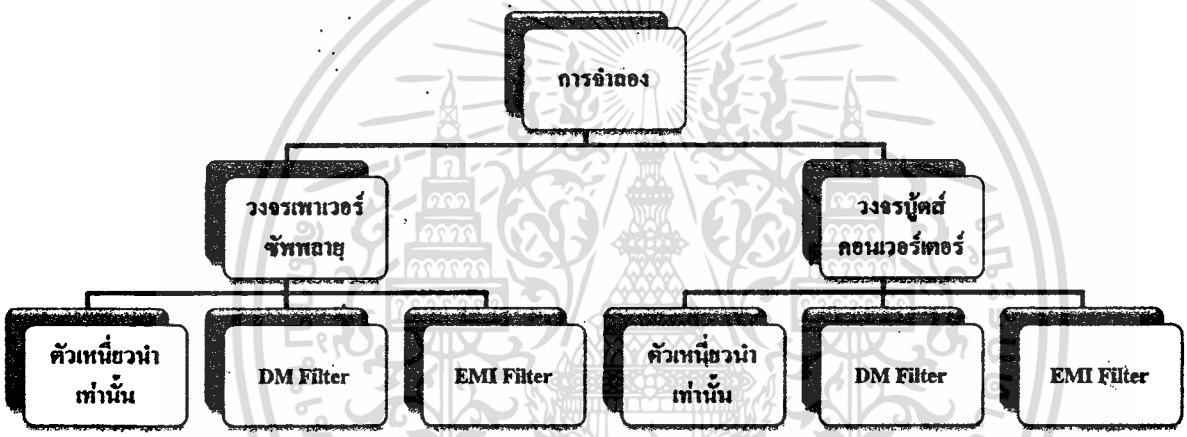
จากรูปที่ 5.8 แกน y คือ ค่าอัตราการลดทอนในหน่วย dB และแกน x คือ ความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz โดยที่ความถี่ 500 kHz พบว่าตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเก็บประจุแฝงอยู่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของตัวเหนี่ยวนำไปเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งสาเหตุนี้เองทำให้ประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงลดลง ซึ่งตัวอย่างนี้จะเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 500 kHz ดังนั้นแล้วถ้านำตัวเหนี่ยวนำตัวนี้ไปใช้งาน เมื่อทำการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 500 kHz ประสิทธิภาพของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองสัญญาณรบกวนจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเหนี่ยวนำที่ไม่มีค่าเก็บประจุแฝงอยู่ จะพบว่าค่าของอัตราการลดทอนของตัวเหนี่ยวนำ จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ตลอดย่านความถี่ใช้งาน

5.2 การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

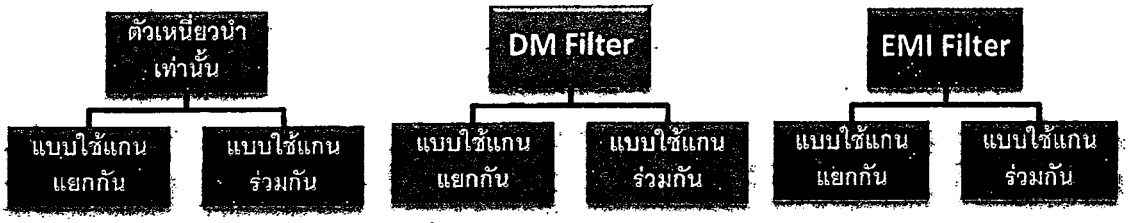
ในหัวข้อนี้จะทำการจำลองเทคนิคที่นำเสนอ โดยอาศัยหลักการที่นำเสนอไปแล้วในหัวข้อที่ 5.1 โดยจะแบ่งการจำลองออกเป็น 3 การจำลองด้วยกัน ได้แก่ วงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีแต่ตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น, วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง และวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำหรือวงจรที่รวมวงจรโหมดผลต่างและโหมดผลร่วมเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 5.9 ต่อไปนี้



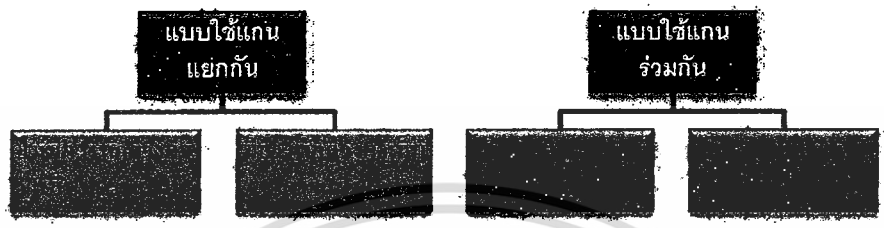
รูปที่ 5.9 แผนผังการจำลอง

โดยจะทำการจำลองทั้งหมด 3 แบบด้วยกันดังแผนผังล่างสุด โดยในแต่ละการทดสอบจะแบ่งย่อยไปอีกซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในแผนผังก็คือ จะทำการทดสอบตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและแบบใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 5.10 และจากรูปที่ 5.10 ยังแบ่งย่อยออกไปอีก คือ จะทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงและวงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วดังรูปที่ 5.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



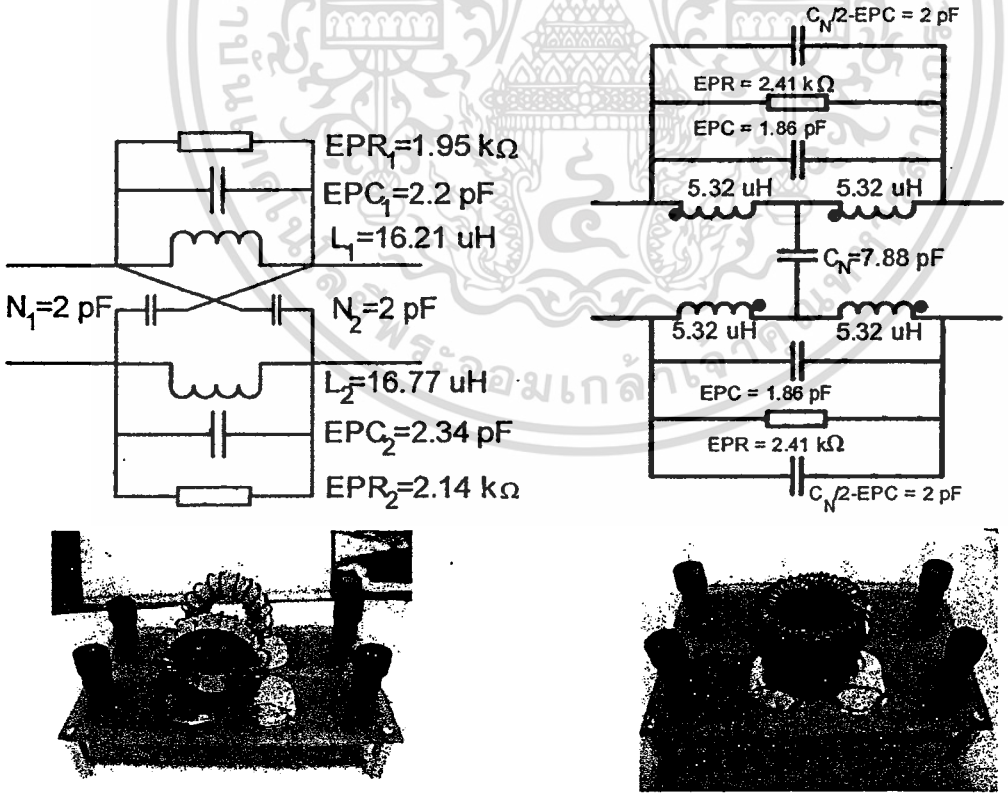
รูปที่ 5.10 แผนผังย่อยสำหรับการจำลอง



รูปที่ 5.11 แผนผังย่อยสำหรับการเปรียบเทียบ

5.2.1 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ทำการวัดไว้แล้วในบทที่ 4 จะนำมาใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice โดยมีค่าต่างๆ ดังรูปที่ 5.12



(ก) (ข)

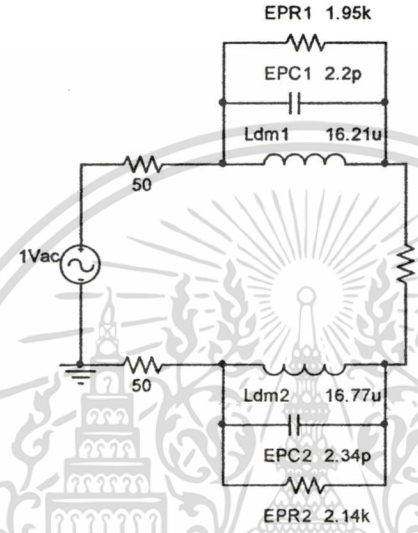
รูปที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

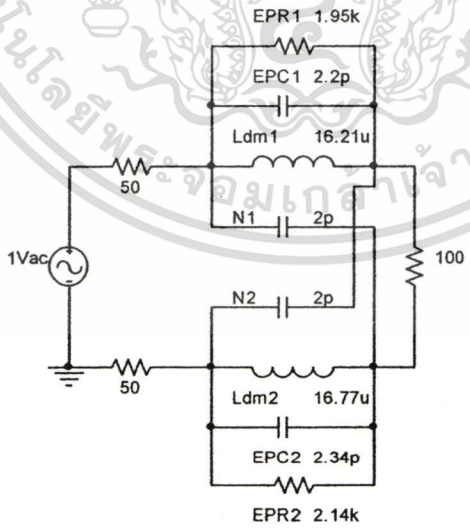
5.2.1.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น (Only Two Inductors)

ในหัวข้อนี้จะทำการจำลองโดยแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากรูปที่ 5.11 (ก) สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกัน และ (ข) สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน ดังนี้

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันแสดงรูปการจำลองดังรูปที่ 5.13 และ 5.14 ดังนี้



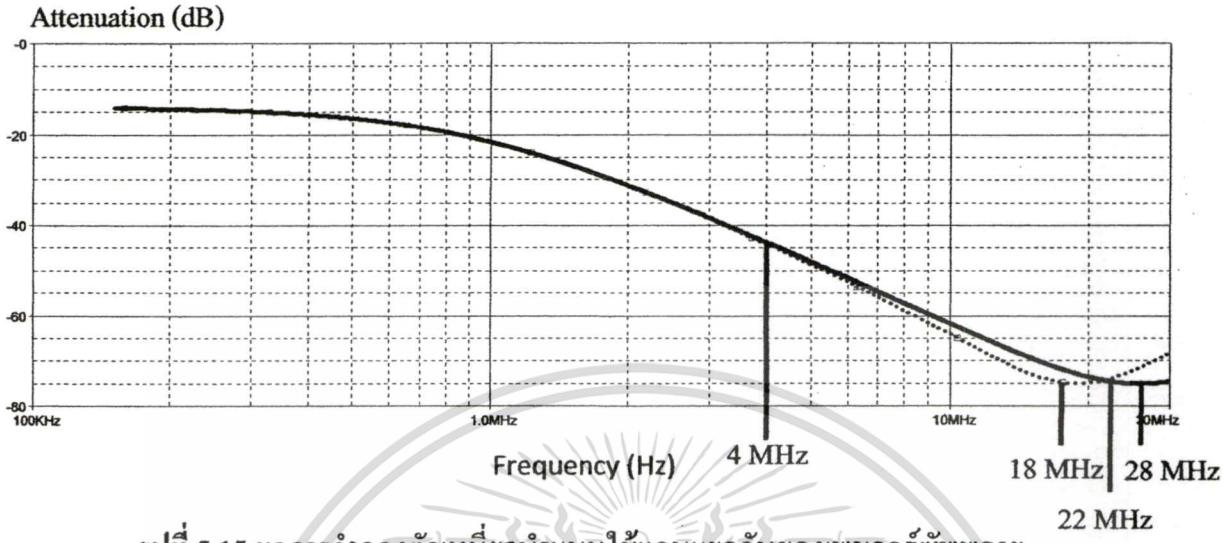
รูปที่ 5.13 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.14 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.13 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และรูปที่ 5.14 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วด้วยค่า N=2 pF ผลจากการจำลองแสดงดังรูปที่ 5.15 ดังนี้

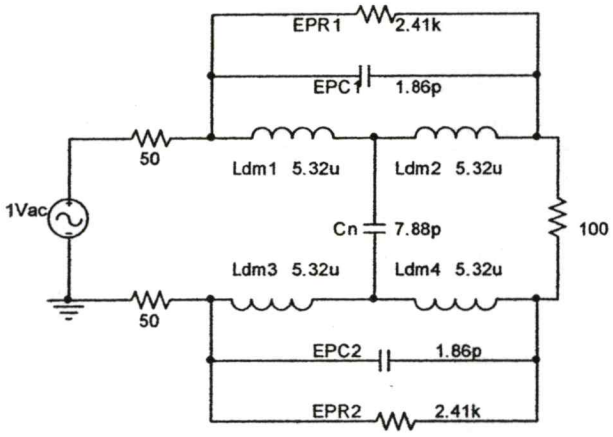


รูปที่ 5.15 ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของเพาเวอร์ซัพพลาย

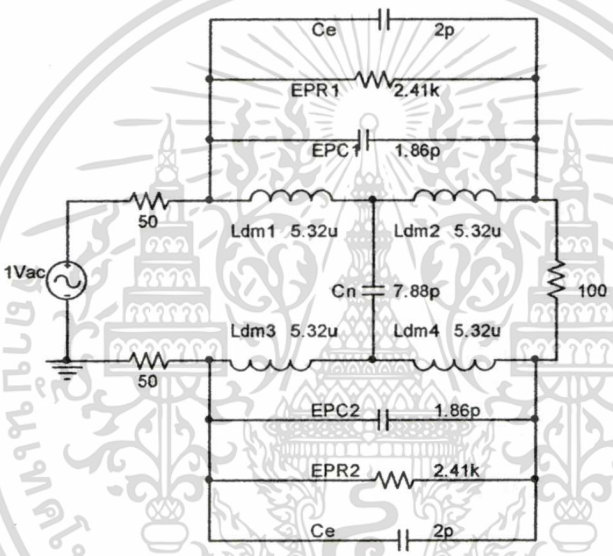
จากรูปที่ 5.15 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ถ้ามองในแง่ของอัตราการลดทอนพบว่าที่ 4 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วเพียงเล็กน้อย โดยที่ความถี่ประมาณ 22 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บระจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง แต่ถ้ามองในแง่ของจุดเรโซแนนซ์ พบว่ามีการเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ออกไปจากเดิมที่ความถี่ประมาณ 18 MHz เลื่อนออกไปเกิดที่ 28 MHz ซึ่งส่งผลให้ที่ความถี่สูงวงจรกรองสัญญาณรบกวนยังสามารถทำงานได้ต่อเนื่องจนถึงความถี่ 30 MHz

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมแสดงดังรูปการจำลองได้ดังรูปที่ 5.16 และ 5.17 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



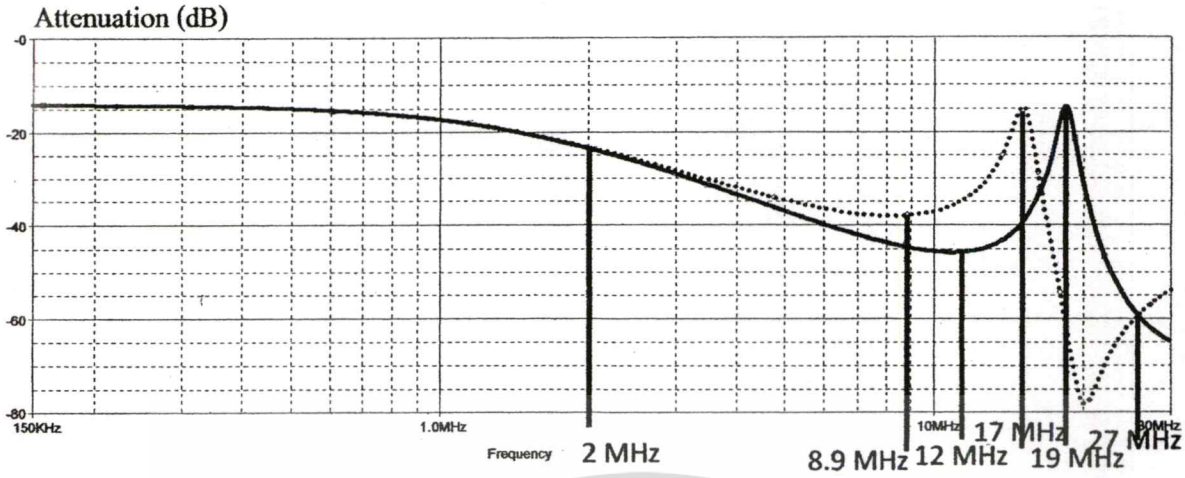
รูปที่ 5.16 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.17 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

รูปที่ 5.16 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และรูปที่ 5.17 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วด้วยค่า N=2 pF ผลจากการจำลองแสดงดังรูปที่ 5.18 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



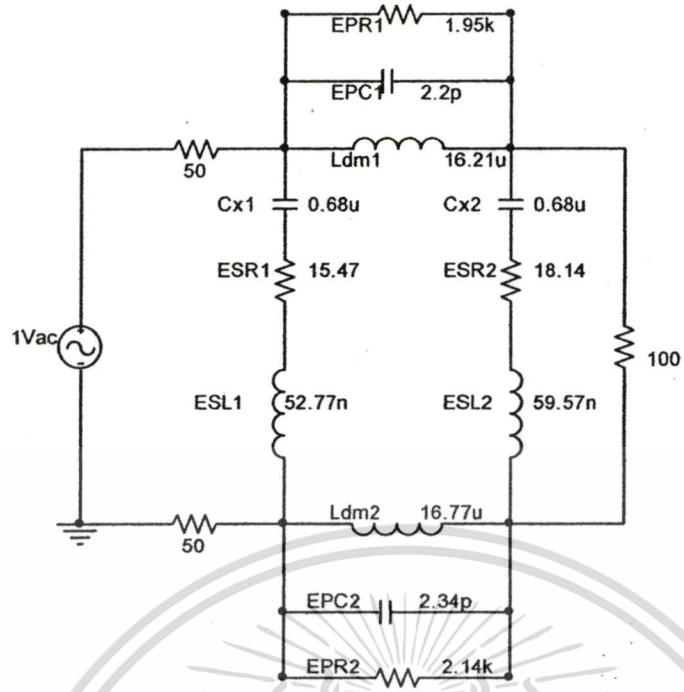
รูปที่ 5.18 ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของเพาเวอร์ซัพพลาย

จากรูปที่ 5.18 เส้นประ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว พบว่าที่ 2 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงประมาณ 10 dB และที่ความถี่ประมาณ 8.9 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดเรโซแนนซ์ขึ้น และหลังจากทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว จุดเรโซแนนซ์เลื่อนออกไปที่ความถี่ 12 MHz และที่ความถี่สูงกว่านั้นตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดการเรโซแนนซ์อีกสองครั้งด้วยกันที่ความถี่ 17 MHz และ 20 MHz ซึ่งทำให้ช่วงย่านความถี่ตั้งแต่ 18 MHz จนถึง 27 MHz มีอัตราการลดทอนที่ดีกว่า แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 27 MHz ขึ้นไปตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่า

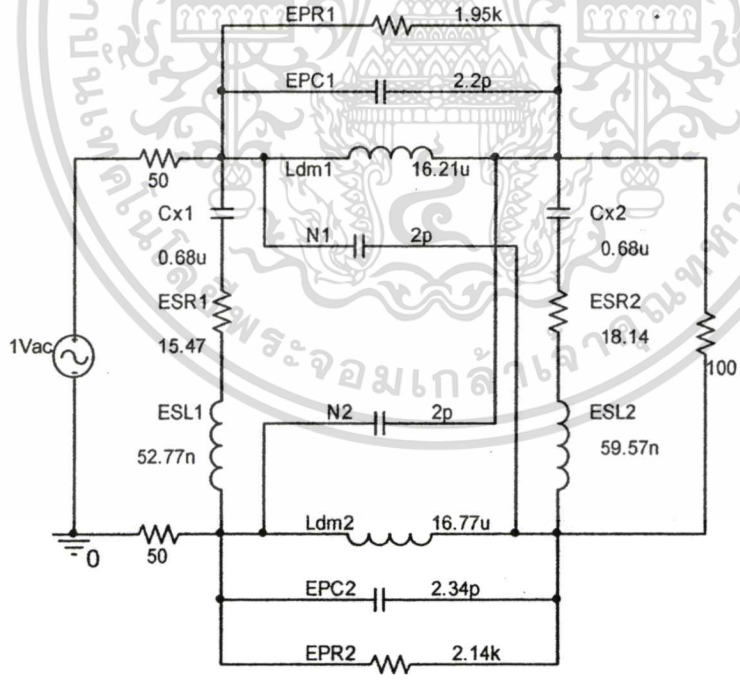
5.2.1.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง (DM Filter)

โดยแบ่งการจำลองออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน โดยมีรูปการจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันดังรูปที่ 5.19 และตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 5.20 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

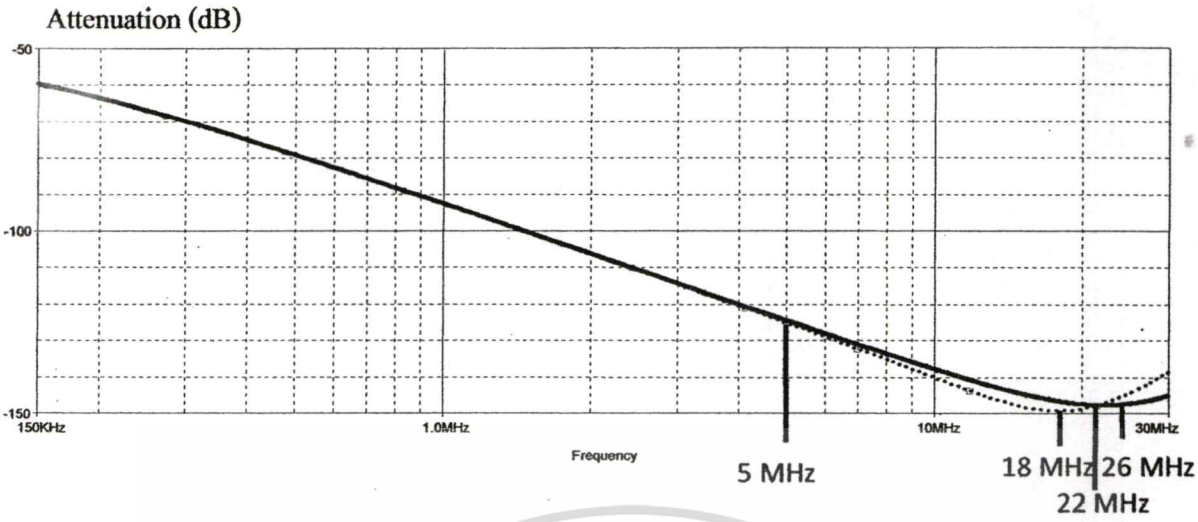


รูปที่ 5.19 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.20 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

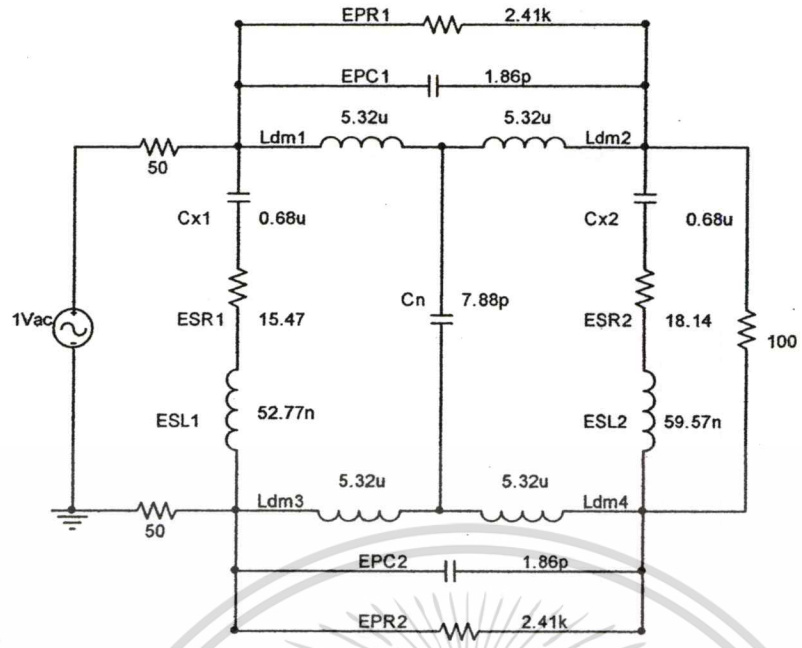


รูปที่ 5.21 ผลการจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของเพาเวอร์ซัพพลาย

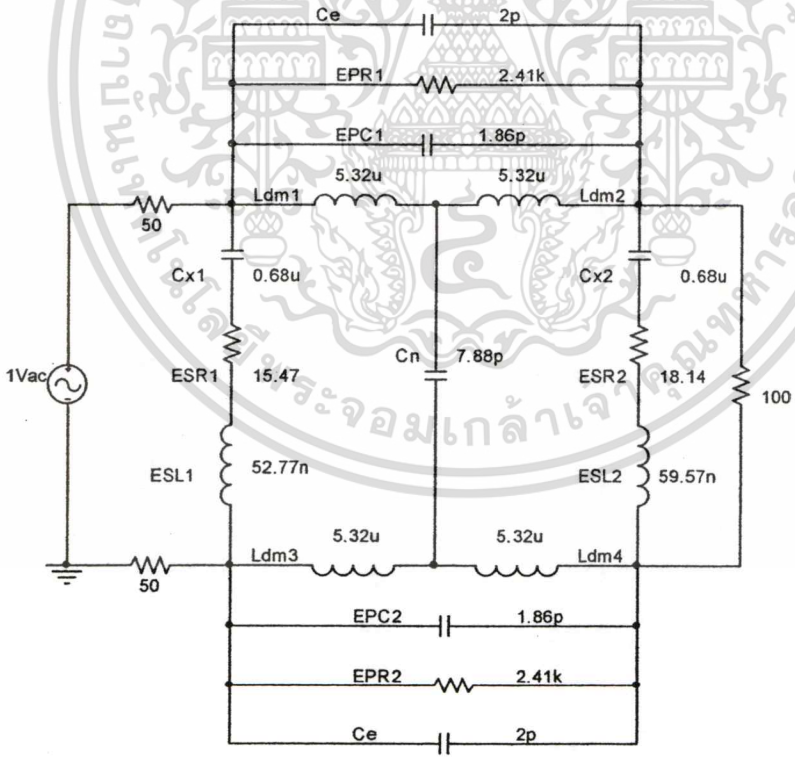
จากรูปที่ 5.21 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว พบว่าที่ 5 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วเพียงเล็กน้อยประมาณ 2 dB จนถึงความถี่ประมาณ 22 MHz และที่ความถี่ 22 MHz วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเกิดเรโซแนนซ์ขึ้น ทำให้ที่ความถี่สูงกว่า 22 MHz มีอัตราการลดทอนที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ซึ่งตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วจะเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 18 MHz ออกไปที่ความถี่ 26 MHz

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมแสดงดังรูปการจำลองได้ดังรูปที่ 5.22 และ 5.23 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

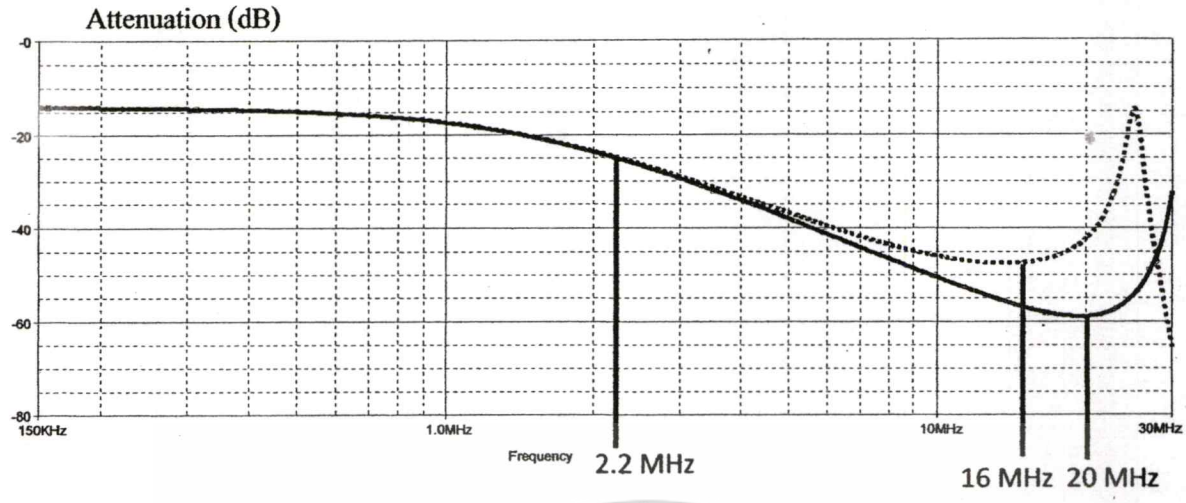


รูปที่ 5.22 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.23 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 ผลการจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของเพาเวอร์ซัพพลาย

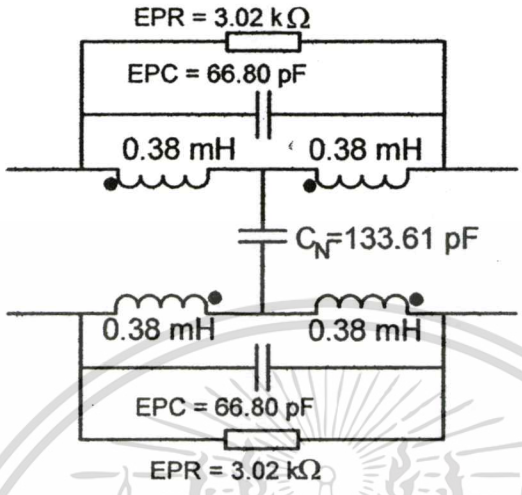
จากรูปที่ 5.24 เส้นประ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเกิดเรโซแนนซ์ที่ 16 MHz เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วจุดเรโซแนนซ์เลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ 20 MHz และพบว่าที่ 2.2 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง จนถึงความถี่ประมาณ 28 MHz วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บระจุแฝงมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง เนื่องจากการเรโซแนนซ์ครั้งแรกของตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเกิดขึ้นก่อนตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงทำให้การเรโซแนนซ์ครั้งที่สองเหมือนกันกับครั้งแรก คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเกิดเรโซแนนซ์ก่อนตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วนั้นเอง

5.2.1.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)

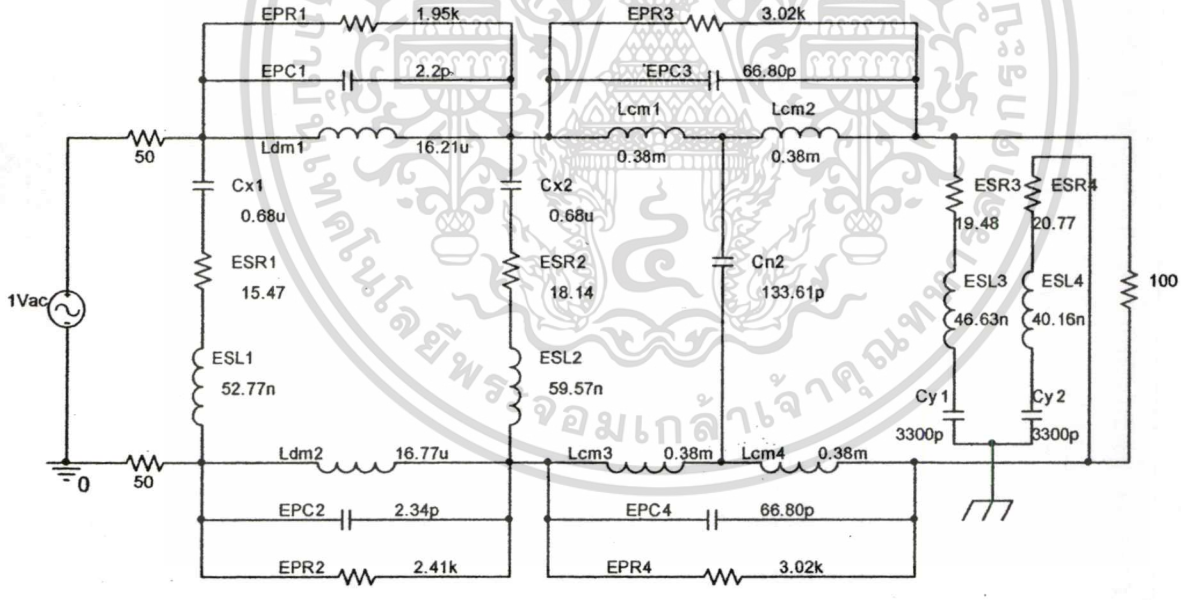
วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มแกนตัวเหนี่ยวนำ คือ แกน CM Filter เข้าไปด้วย ซึ่งจะมีผลของพาราซิติกที่ความถี่สูง ดังนั้นจึงต้องนำค่าพาราซิติกเหล่านั้นมาจำลองด้วย โดยมีรูปการจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมดังรูปที่ 5.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแบ่งการจำลองออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน โดยมีรูปการจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันดังรูปที่ 5.25 และตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 5.26 ดังนี้

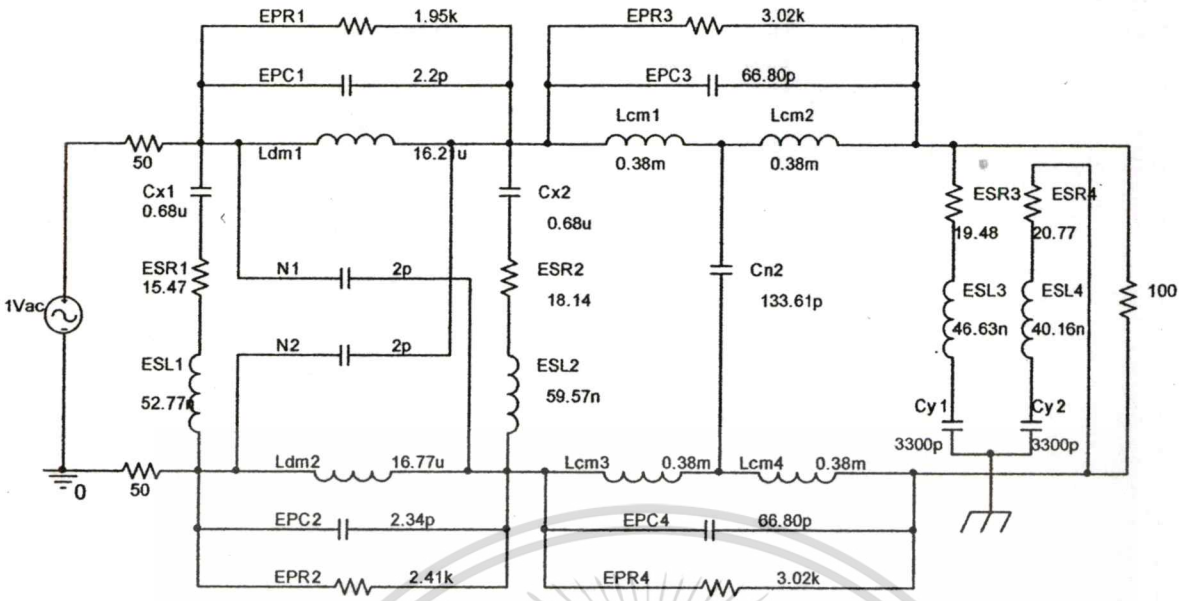


รูปที่ 5.25 แบบจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบโหมดผลร่วม

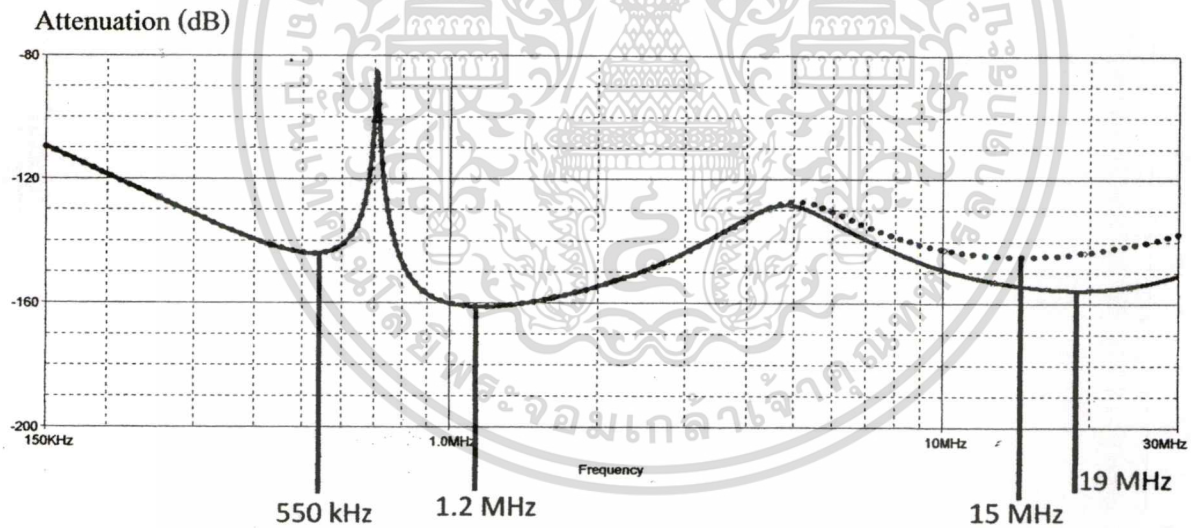


รูปที่ 5.26 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว



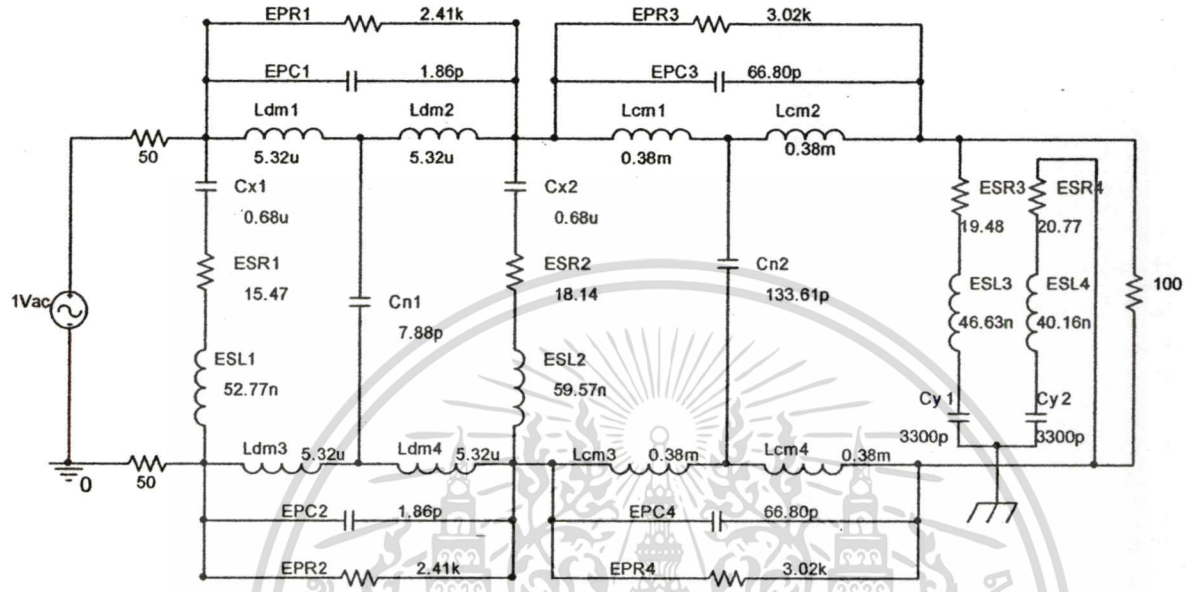
รูปที่ 5.28 ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของเพาเวอร์ซัพพลาย

จากรูปที่ 5.28 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ที่ความถี่ประมาณ 550 kHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งแรก และที่ความถี่ประมาณ 1.2 MHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งที่ 2 เนื่องจากผลของการเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นภายในแกนของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมมีผลมากกว่าตัวเหนี่ยวนำของโหมดผลต่างที่ความถี่ต่ำ ที่ความถี่สูงตัว

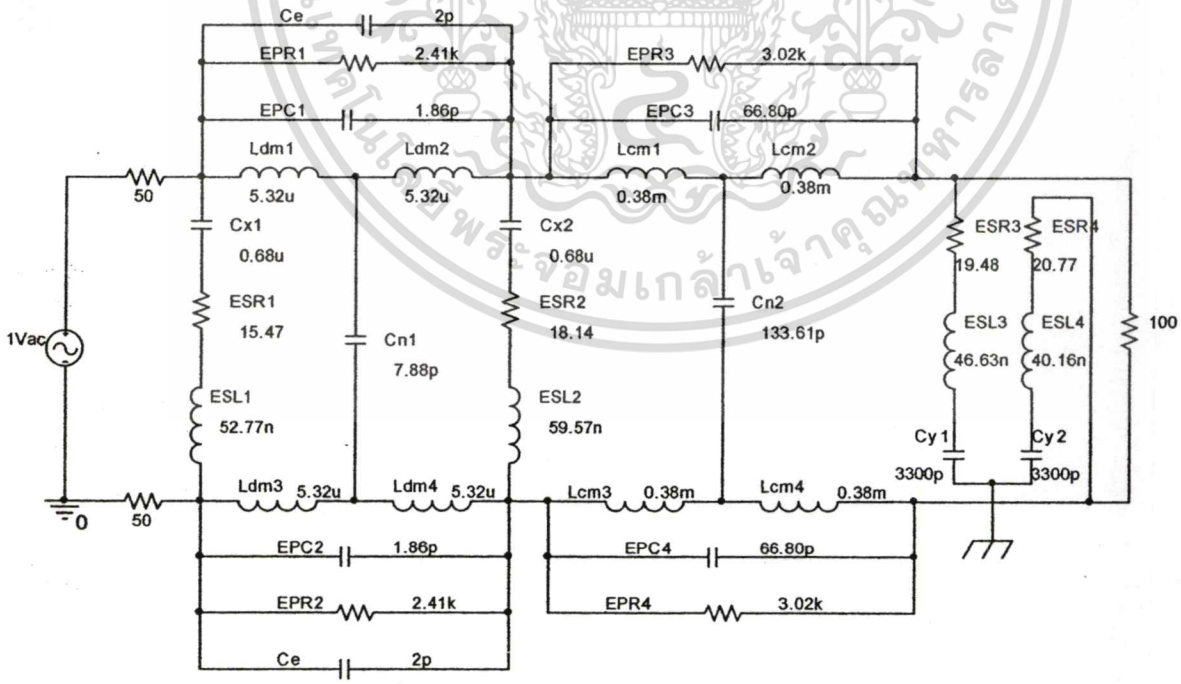
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 15 MHz แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วจุดเรโซแนนซ์จะเลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ระมาณ 19 MHz จะพบว่าอัตราการลดทอนดีขึ้นตั้งแต่ที่ความถี่ 5 MHz จนไปถึงที่ความถี่สูง

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมแสดงดังรูปการจำลองได้ดังรูปที่ 5.29 และ 5.30 ดังนี้

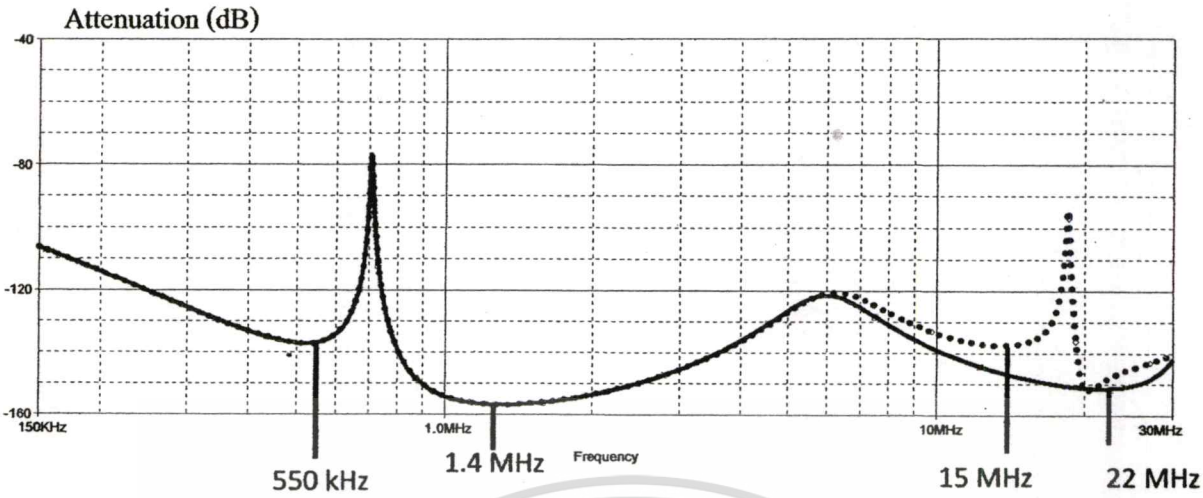


รูปที่ 5.29 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.30 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



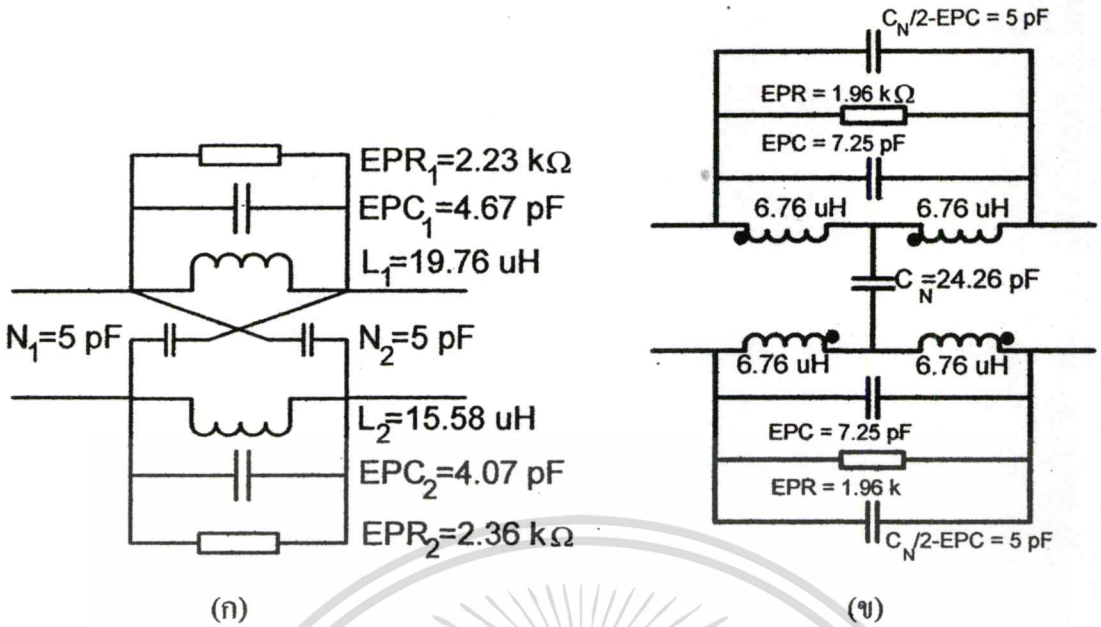
รูปที่ 5.31 ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของเพาเวอร์ซัพพลาย

จากรูปที่ 5.31 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ที่ความถี่ประมาณ 550 kHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งแรก และที่ความถี่ประมาณ 1.3 MHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งที่ 2 เนื่องจากผลของการเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นภายในแกนของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมมีผลมากกว่าตัวเหนี่ยวนำของโหมดผลต่างที่ความถี่ต่ำ ที่ความถี่สูงตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 15 MHz แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว จุดเรโซแนนซ์เลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ประมาณ 22 MHz แต่ว่าสามารถเพิ่มอัตราการลดทอนตั้งแต่ความถี่ที่ 6 MHz จนถึงความถี่ 30 MHz

5.2.2 วงจรบู้ตส์ตอนเวอร์เตอร์

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ทำการวัดไว้แล้วในบทที่ 4 จะนำมาใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice โดยมีค่าต่างๆ ดังรูปที่ 5.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

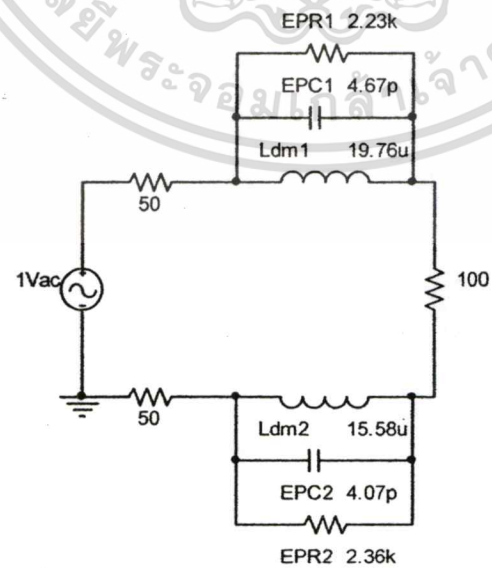


รูปที่ 5.32 ค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรบู้ตสต์คอนเวอร์เตอร์

5.2.2.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น (Only Two Inductors)

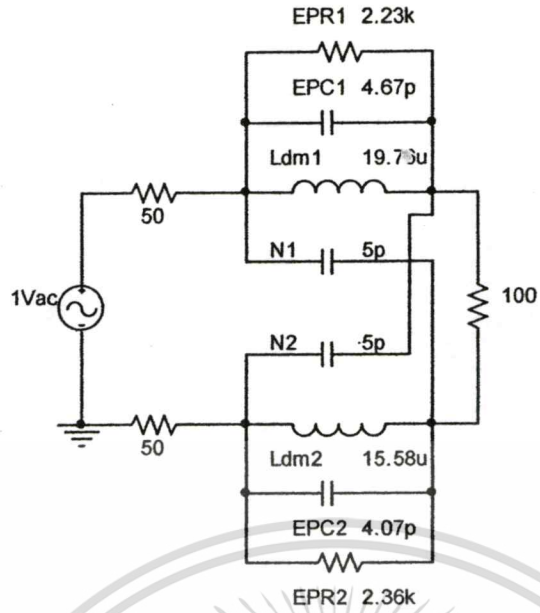
ในหัวข้อนี้จะทำการจำลองโดยแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากรูปที่ 5:32 (ก) สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกัน และ (ข) สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน ดังนี้

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันแสดงรูปการจำลองดังรูปที่ 5.33 และ 5.34 ดังนี้



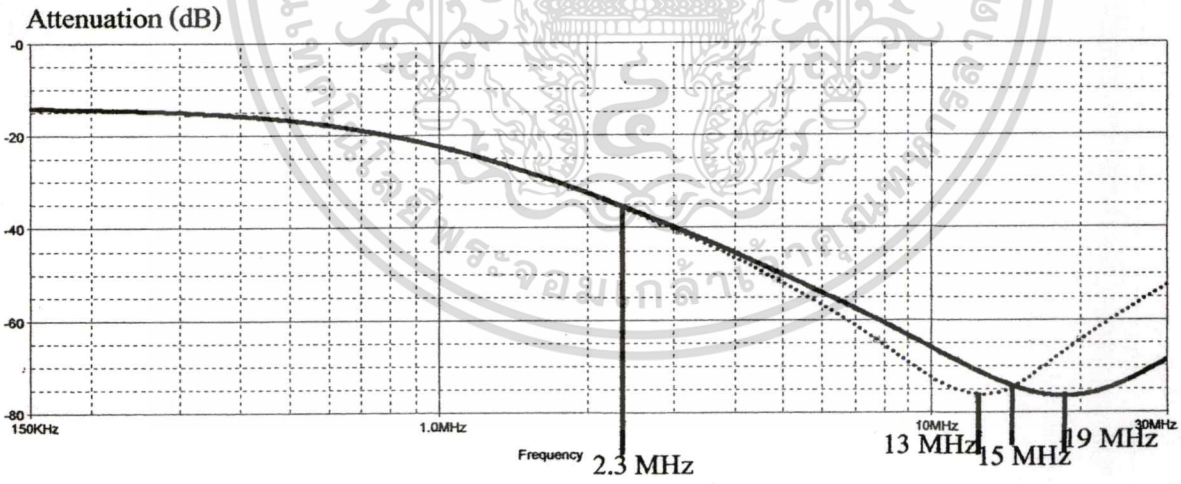
รูปที่ 5.33 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

รูปที่ 5.33 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และรูปที่ 5.34 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วด้วยค่า N=5 pF ผลจากการจำลองแสดงดังรูปที่ 5.35 ดังนี้



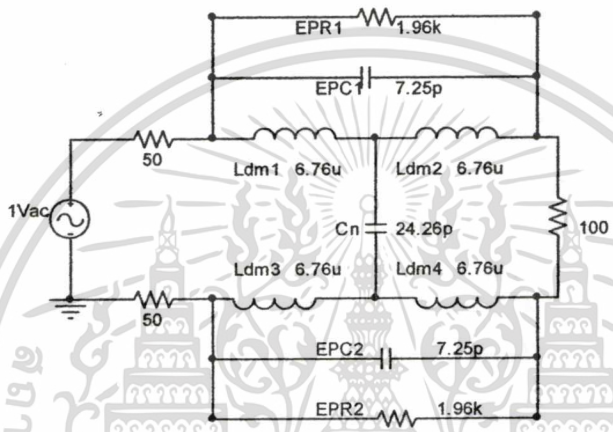
รูปที่ 5.35 ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.35 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ที่ความถี่ 13 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเกิดเรโซแนนซ์ขึ้น แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วพบว่าจุดเรโซแนนซ์เลื่อนออกไปเกิดที่

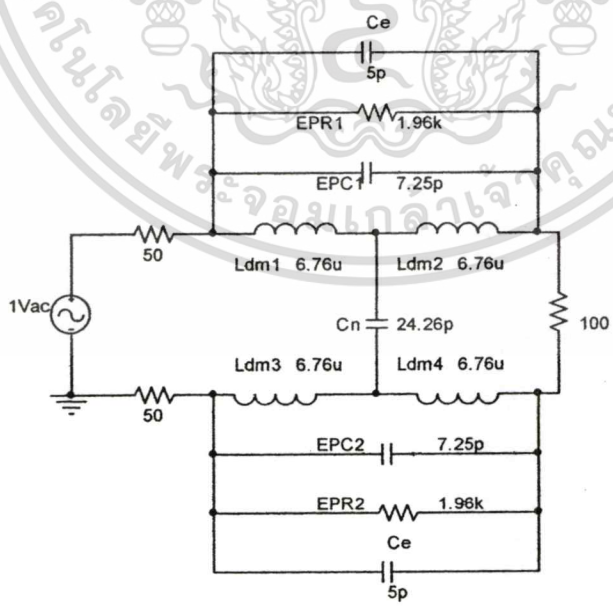
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ประมาณ 19 MHz และพบว่าที่ 2.3 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วเพียงเล็กน้อย โดยที่ความถี่ประมาณ 15 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บระจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง ดังนั้นจึงหมายความว่าที่ความถี่สูงวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการหักล้างแล้วยังสามารถทำงานได้ดีกว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมแสดงดังรูปการจำลองได้ดังรูปที่ 5.36 และ 5.37 ดังนี้



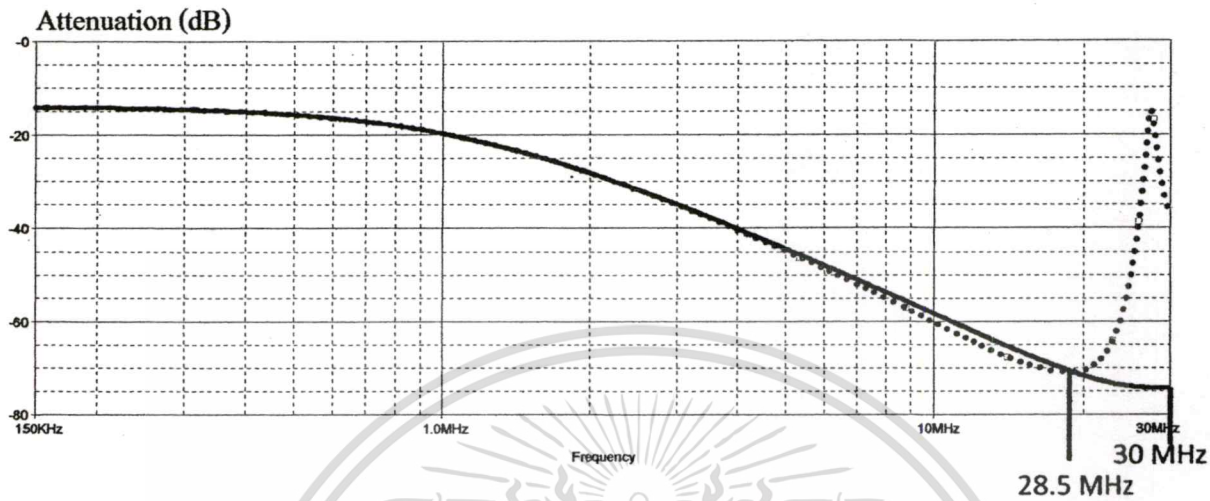
รูปที่ 5.36 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.37 รูปจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.36 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และรูปที่ 5.37 คือ ตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วด้วยค่า N=5 pF ผลจากการจำลองแสดงดังรูปที่ 5.38 ดังนี้



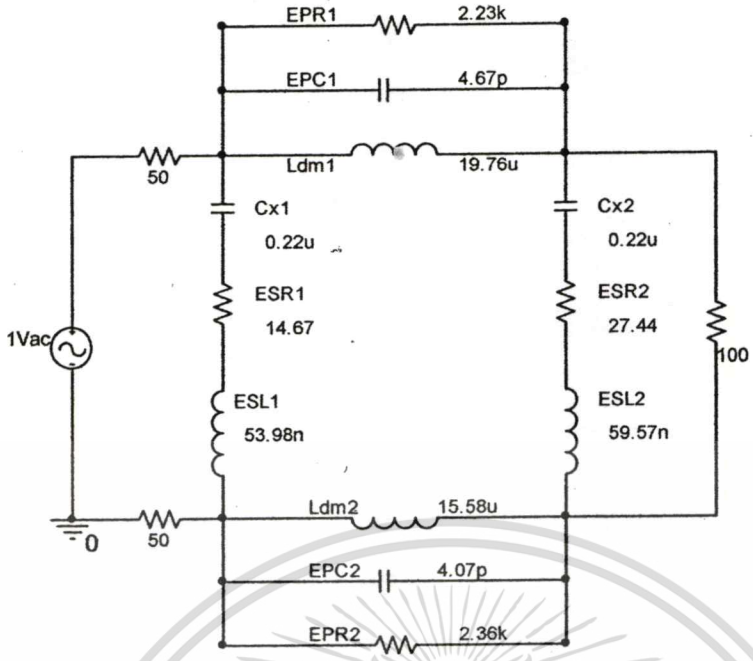
รูปที่ 5.38 ผลการจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.38 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว พบว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 28.5 MHz เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วจุดเรโซแนนซ์จะเลื่อนออกไปที่ความถี่ประมาณ 30 MHz ซึ่งจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าที่ความถี่สูง

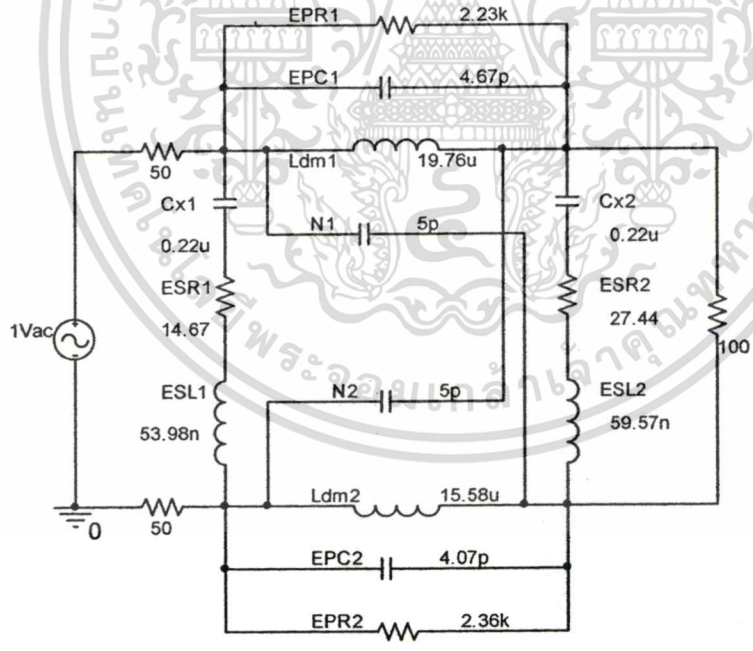
5.2.2.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลต่าง (DM Filter)

โดยแบ่งการจำลองออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน โดยมีรูปการจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันดังรูปที่ 5.39 และตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 5.40 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

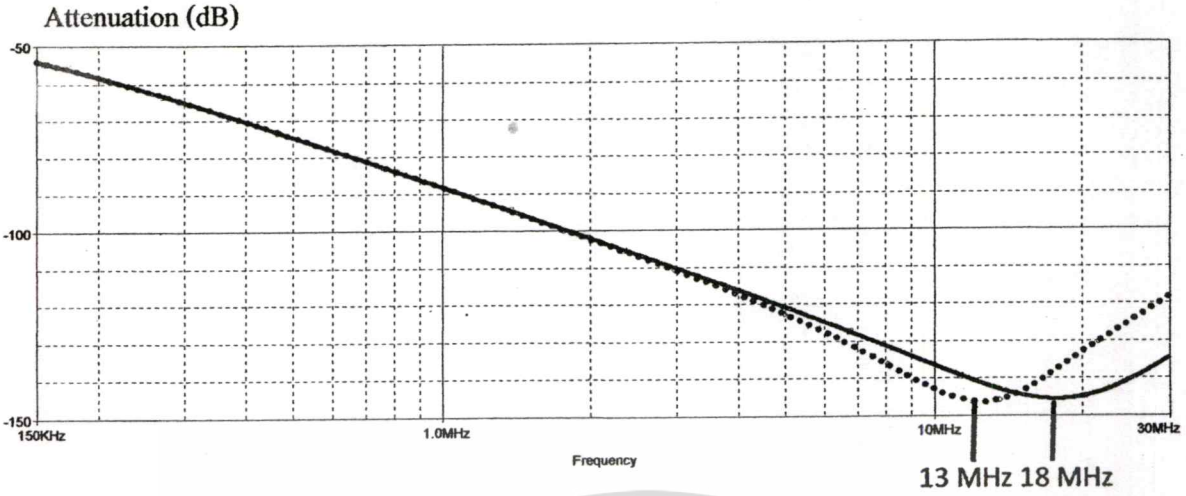


รูปที่ 5.39 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.40 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

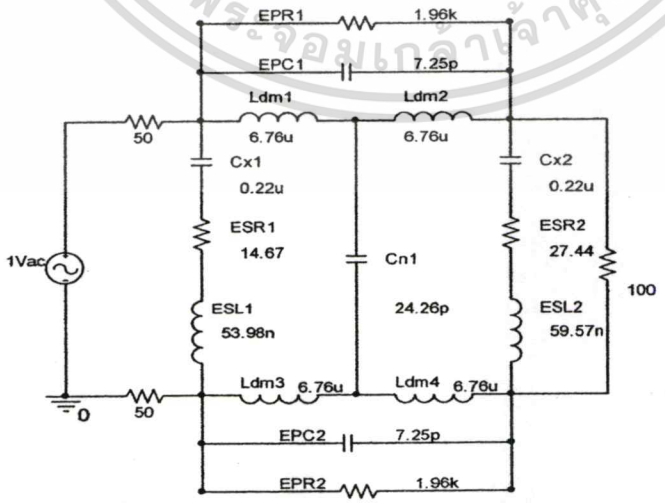
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 ผลการจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของบู๊ตส์คอนเวอร์เตอร์

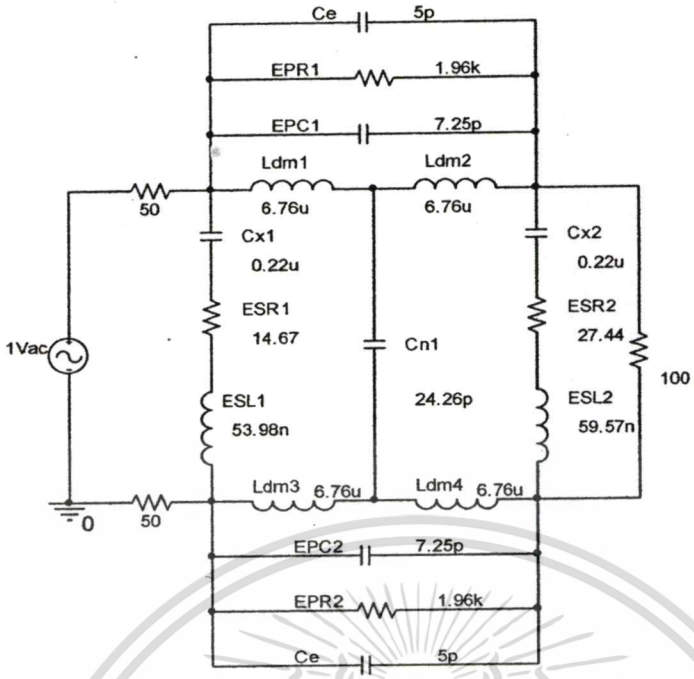
จากรูปที่ 5.41 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว พบว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 13 MHz แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว จุดเรโซแนนซ์จะเลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ประมาณ 18 MHz ซึ่งทำให้ที่ความถี่สูง ตัวเหนี่ยวนำมีอัตราการลดทอนที่ดีขึ้นจากเดิมประมาณ 13 dB

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมแสดงดังรูปการจำลองได้ดังรูปที่ 5.42 และ 5.43 ดังนี้

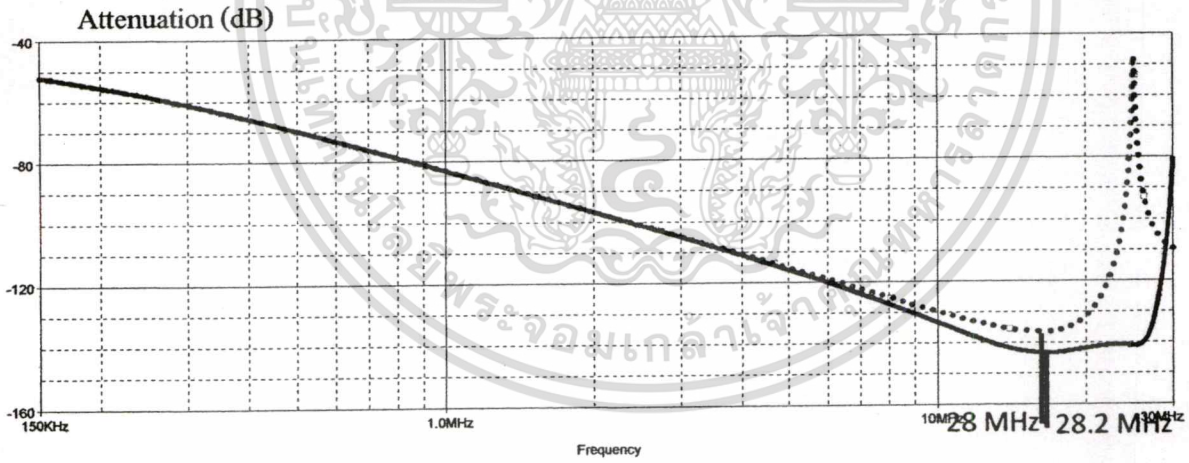


รูปที่ 5.42 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 รูปจำลองจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว



รูปที่ 5.44 ผลการจำลองวงจรกรองแบบโหมดผลต่างของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.44 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว พบว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 28 MHz แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว จุดเรโซแนนซ์จะ

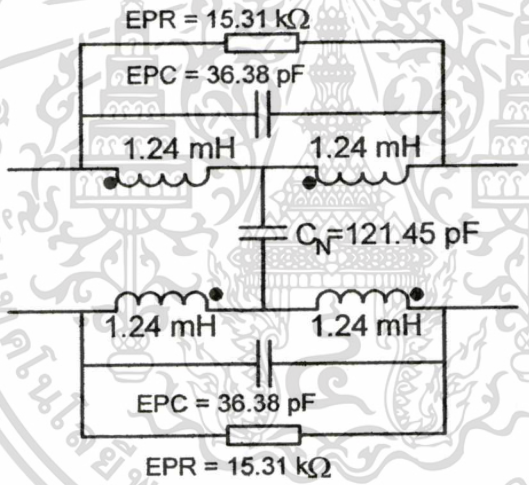
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ประมาณ 28.2 MHz ซึ่งมีการเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ไปเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้ที่ความถี่สูงตัวเหนี่ยวนำมีอัตราการลดทอนสูงสุดดีขึ้นจากเดิมประมาณ 40 dB ที่ความถี่ 25 MHz

5.2.2.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)

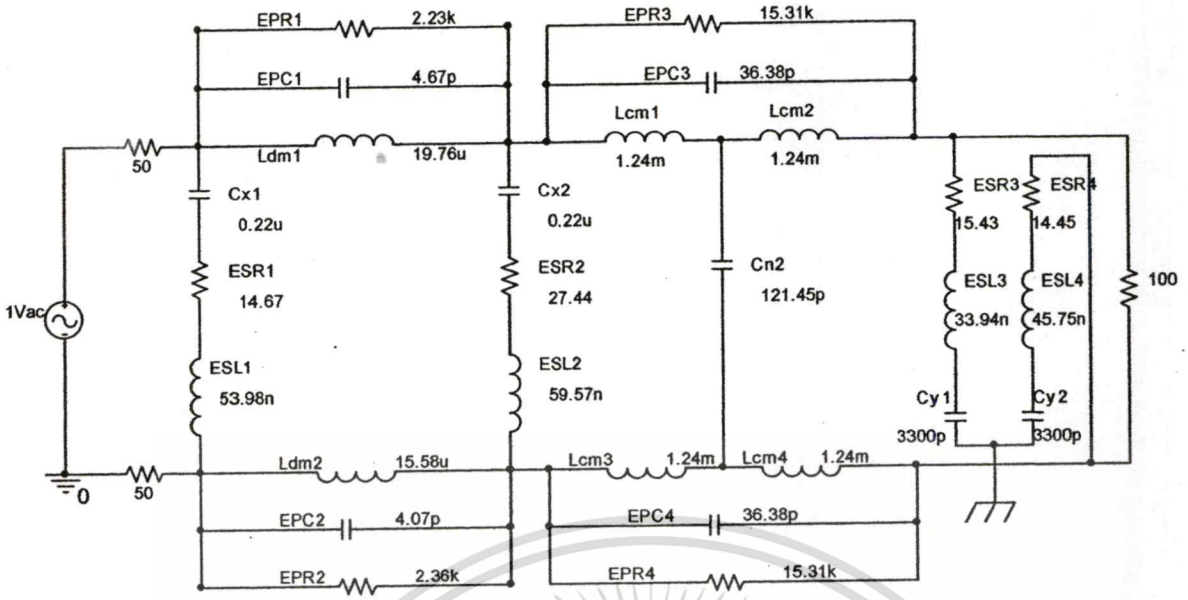
วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มแกนตัวเหนี่ยวนำ คือ แกน CM Filter เข้าไปด้วย ซึ่งจะมีผลของพาราซิติกที่ความถี่สูง ดังนั้นจึงต้องนำค่าพาราซิติกเหล่านั้นมาจำลองด้วย โดยมีรูปการจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมดังรูปที่ 5.45

โดยแบ่งการจำลองออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน โดยมีรูปการจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันดังรูปที่ 5.46 และตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 5.47 ดังนี้

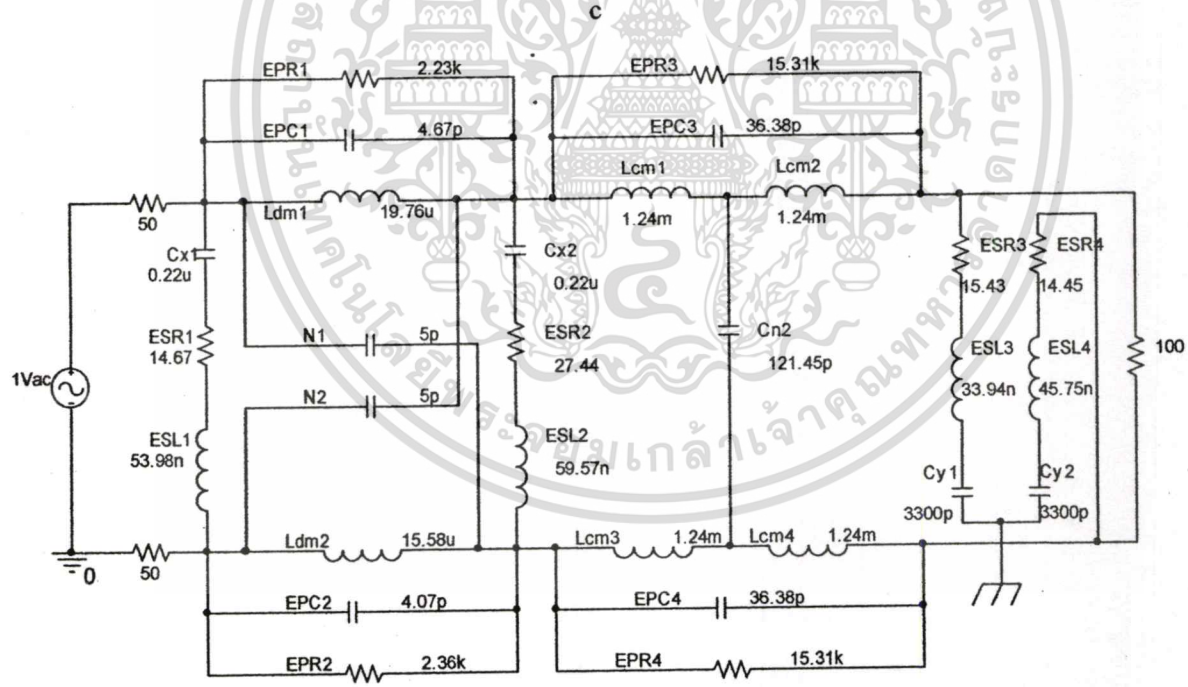


รูปที่ 5.45 แบบจำลองสำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบโหมดผลร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

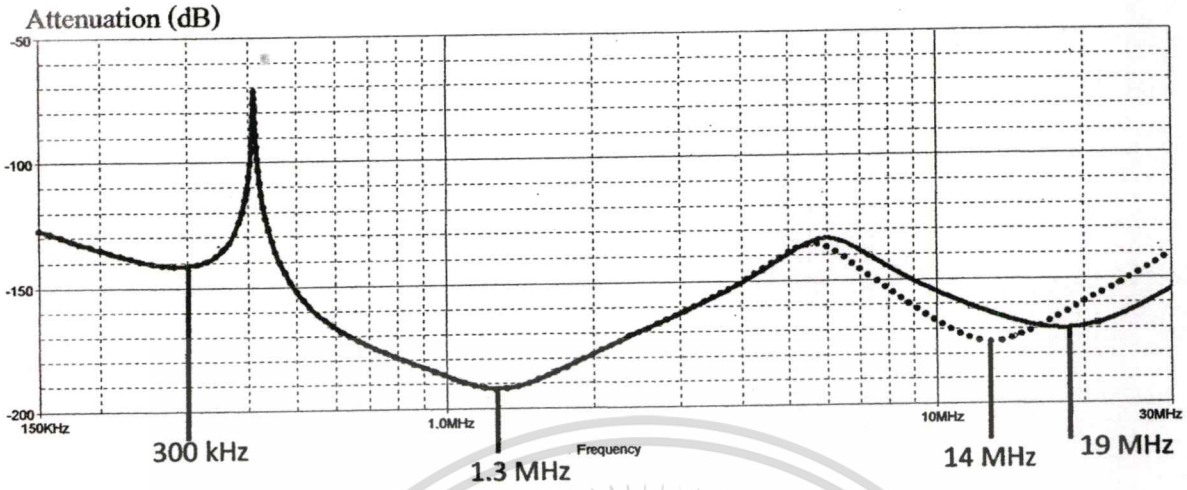


รูปที่ 5.46 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.47 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันกรณียังหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

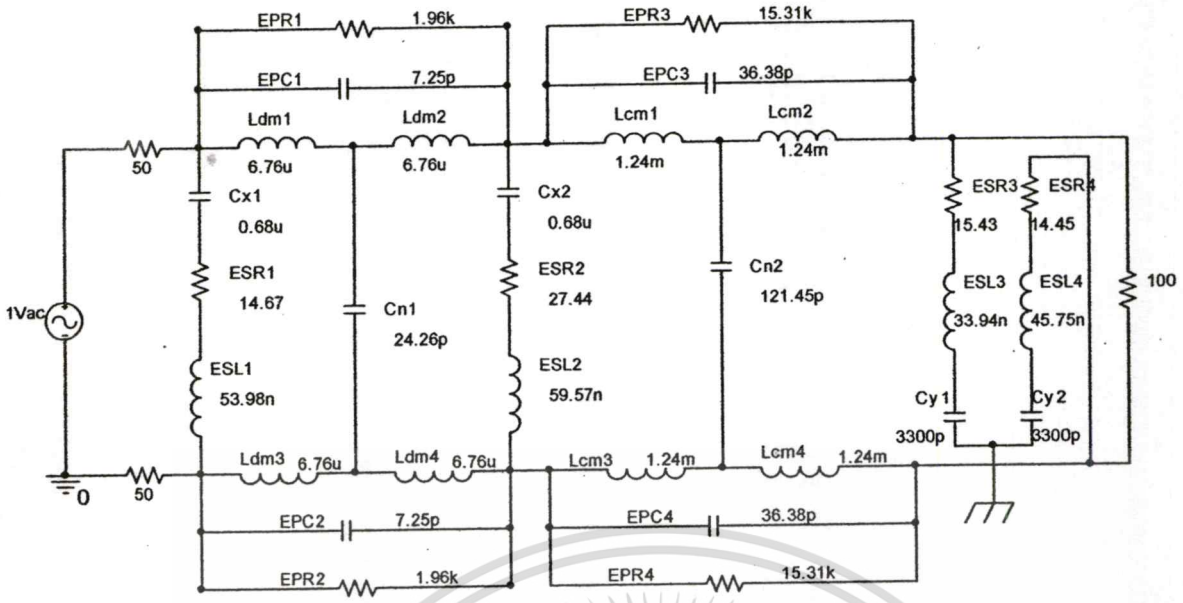


รูปที่ 5.48 ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

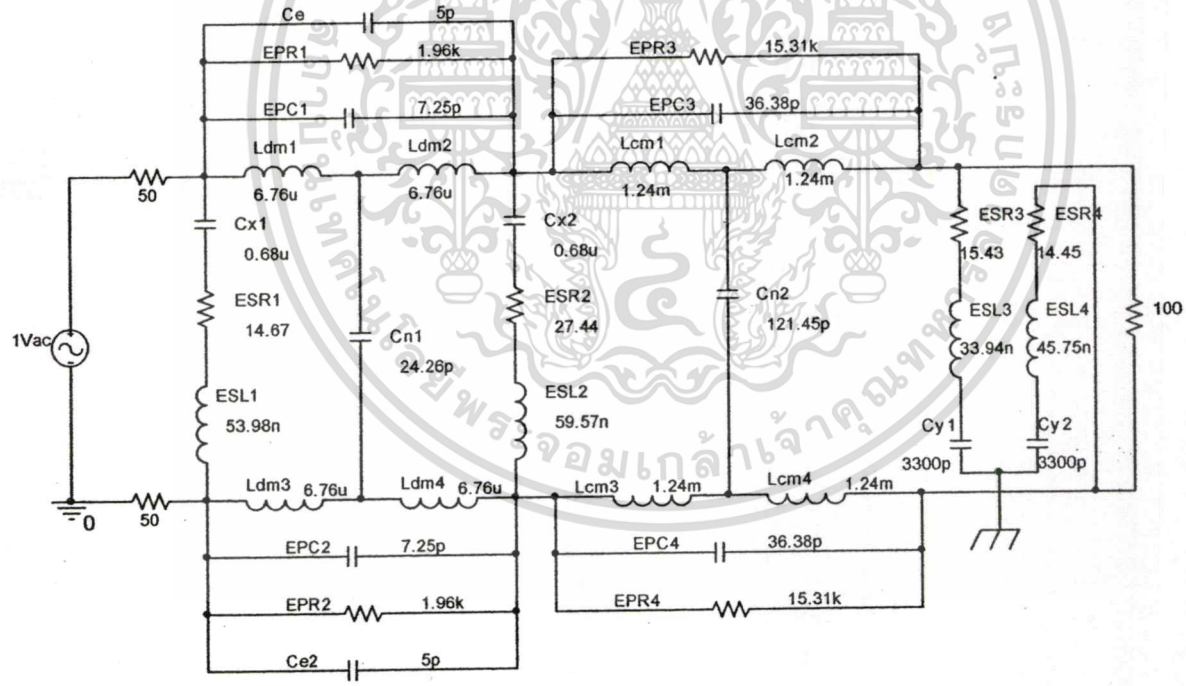
จากรูปที่ 5.48 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ที่ความถี่ประมาณ 300 kHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งแรก และที่ความถี่ประมาณ 1.3 MHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งที่ 2 เนื่องจากผลของการเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นภายในแกนของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมมีผลมากกว่าตัวเหนี่ยวนำของโหมดผลต่างที่ความถี่ต่ำ แต่ที่ความถี่สูงพบว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 14 MHz แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว จุดเรโซแนนซ์จะเลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ประมาณ 19 MHz ทำให้ที่ความถี่สูงตัวเหนี่ยวนำมีอัตราการลดทอนสูงสุดดีขึ้นจากเดิมประมาณ 10 dB ที่ความถี่ 21 MHz

สำหรับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมแสดงดังรูปการจำลองได้ดังรูปที่ 5.49 และ 5.50 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

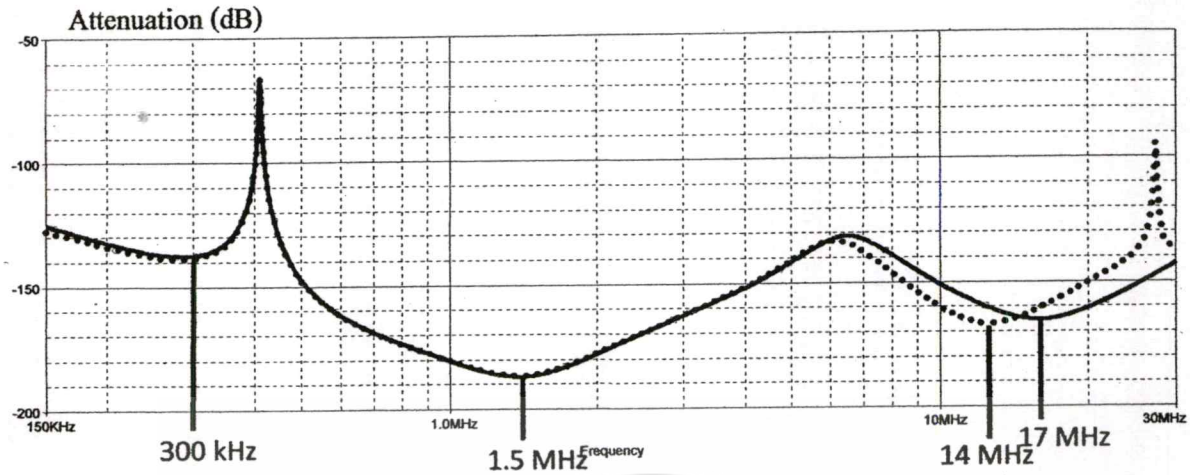


รูปที่ 5.49 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณียังไม่ได้หักล้างค่าเก็บประจุแฝง



รูปที่ 5.50 รูปจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันกรณีหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.51 ผลการจำลองวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกันของบู้ตส์ตอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.51 เส้นปะ คือ วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และเส้นทึบ คือ วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ที่ความถี่ประมาณ 300 kHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งแรก และที่ความถี่ประมาณ 1.5 MHz เกิดการเรโซแนนซ์ครั้งที่ 2 เนื่องจากผลของการเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นภายในแกนของตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วมมีผลมากกว่าตัวเหนี่ยวนำของโหมดผลต่างที่ความถี่ต่ำ แต่ที่ความถี่สูงพบว่าตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะเกิดจุดเรโซแนนซ์ที่ความถี่ประมาณ 14 MHz แต่เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว จุดเรโซแนนซ์จะเลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่ประมาณ 17 MHz ทำให้ที่ความถี่สูงตัวเหนี่ยวนำมีอัตราการลดทอนเฉลี่ยดีขึ้นจากเดิมประมาณ 10 dB

จากการจำลองที่ผ่านมาทั้งหมดจะพบว่าจุดเรโซแนนซ์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทั้งแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น แบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง และวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ทั้งกรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกันและแบบแกนร่วมกัน เมื่อนำเทคนิคนี้มาใช้จะมีการเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ออกไปเกิดที่ความถี่สูงขึ้น ทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพดีขึ้นที่ความถี่สูงขึ้น แต่ทว่าในบางกรณีที่ความถี่สูงจุดเรโซแนนซ์เลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่สูงขึ้นก็จริงแต่อัตราการลดทอนกลับไม่สามารถเพิ่มได้ตลอดย่านความถี่นั่น หรืออีกนัยคือ ที่ความถี่สูงวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว ถึงแม้ว่าจุดเรโซแนนซ์จะเลื่อนออกไปเกิดที่ความถี่สูงขึ้นก็ตาม ตัวอย่างเช่นดังรูปที่ 5.18 จะเกิดเรโซแนนซ์ขึ้นอีกครั้งที่ความถี่ประมาณ 17 MHz สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างและที่ 19 MHz สำหรับวงจรกรองที่มีการหักล้างแล้ว และพบว่าที่ 18 MHz ถึง 27 MHz วงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงจะมีอัตราการลดทอนดีกว่าวงจรกรองที่มีการหักล้างแล้ว ซึ่งจะหมายความว่าเทคนิคสามารถเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ของวงจรกรองออกไปได้จริงแต่ไม่สามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนของวงจรกรองให้ดีขึ้นตลอดทุกย่านความถี่ได้

สรุปบทที่ 5

จากการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เพื่อทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยแบ่งออกเป็นวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเพาเวอร์ซัพพลายและวงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ ได้ผลการจำลองส่วนใหญ่ที่พิสูจน์ว่าเทคนิคนี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงให้ดีขึ้นได้ โดยสังเกตได้จากจุดเรโซแนนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่หลังทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว พบว่าจะเกิดจุดเรโซแนนซ์เลื่อนออกไปที่ความถี่สูงขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 จุดเรโซแนนซ์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนก่อนหักล้างและหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

	เพาเวอร์ซัพพลาย			บู้ตส์คอนเวอร์เตอร์		
เงื่อนไข	ก่อนหักล้าง (MHz)	หลังหักล้าง (MHz)	% ค่าเปลี่ยนแปลง	ก่อนหักล้าง (MHz)	หลังหักล้าง (MHz)	% ค่าเปลี่ยนแปลง
ตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนแยก	18	28	35.71	13	19	31.58
ตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนร่วม	8.9	12	25.83	28.5	30	5
DM Filter แกนแยก	18	26	30.77	13	18	27.78
DM Filter แกนร่วม	16	20	20	28	28.2	0.71
EMI Filter แกนแยก	15	19	21.05	14	19	26.32
EMI Filter แกนร่วม	15	22	31.82	14	17	17.65

<u>หมายเหตุ</u> % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ $\%\text{Variability} = \left|\frac{\text{Before-After}}{\text{After}}\right| \times 100$

จากตารางที่ 5.1 เมื่อเปรียบเทียบ % ค่าเปลี่ยนแปลงระหว่างเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ในเงื่อนไขเดียวกัน พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนแยกกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- กรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนร่วมกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งในกรณีเพาเวอร์ซัพพลายจะสามารถเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ออกไปได้ไกลจากเดิมมากกว่าถึง 25.88 % แต่ทว่าในบู้สต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าแค่ 5 % เท่านั้น ซึ่งอาจจะเกิดจากตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันของบู้สต์คอนเวอร์เตอร์ ทำให้เกิดค่าตัวเก็บประจุแฝงมากกว่ากรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ส่งผลให้เทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงนี้มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะหักล้างได้ทั้งหมดเมื่อเทียบกับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน
- กรณี DM Filter แบบแกนแยกกัน พบว่า % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าไม่แตกต่างกันมาก
- กรณี DM Filter แบบแกนร่วมกัน พบว่า % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าค่อนข้างแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สำหรับเพาเวอร์ซัพพลายจะมี % ค่าเปลี่ยนแปลงมากถึง 30.77 % แต่สำหรับบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่ถึง 1 % ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันมีค่ามากกว่าแบบแกนแยกกัน
- กรณี EMI Filter แกนแยกกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- กรณี EMI Filter แกนร่วมกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันในระดับหนึ่ง อาจเป็นเนื่องจากผลค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันก็เป็นได้

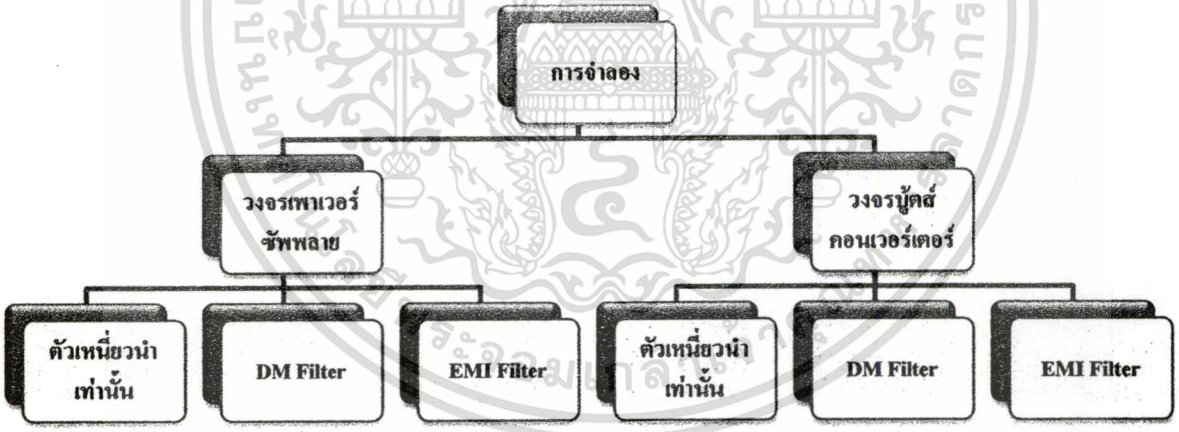
ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน เทคนิคนี้สามารถให้ประสิทธิภาพในการหักล้างได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกรณีใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันจะมีค่าเก็บประจุแฝงที่มีค่ามากกว่าตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ทำให้การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกันมีประสิทธิภาพมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม โดยทำการทดสอบจริงกับเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ จากบทที่ 5 ที่ได้ทำการจำลองไปแล้วนั้น ให้ผลการจำลองที่แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงได้ ดังนั้นในบทที่ 6 นี้จะพิสูจน์เทคนิคที่นำเสนอด้วยการทดสอบจริง โดยนำค่าที่ได้จากการออกแบบในบทที่ 3 ได้แก่ ค่าตัวเก็บประจุ และค่าตัวเหนี่ยวนำสำหรับวงจรกรองสัญญาณรบกวนมาทำการประกอบวงจรขึ้นมา นำไปทดสอบกับเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อศึกษาเทคนิคนี้เมื่อนำตัวเก็บประจุพิเศษต่อเพิ่มเข้าไปแต่ละชนิด โดยการทดสอบจริงจะสามารถแบ่งกรณีการทดสอบได้เหมือนกับบทที่ 5 การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งจะสามารถแบ่งได้ดังรูปที่ 6.1 ดังต่อไปนี้



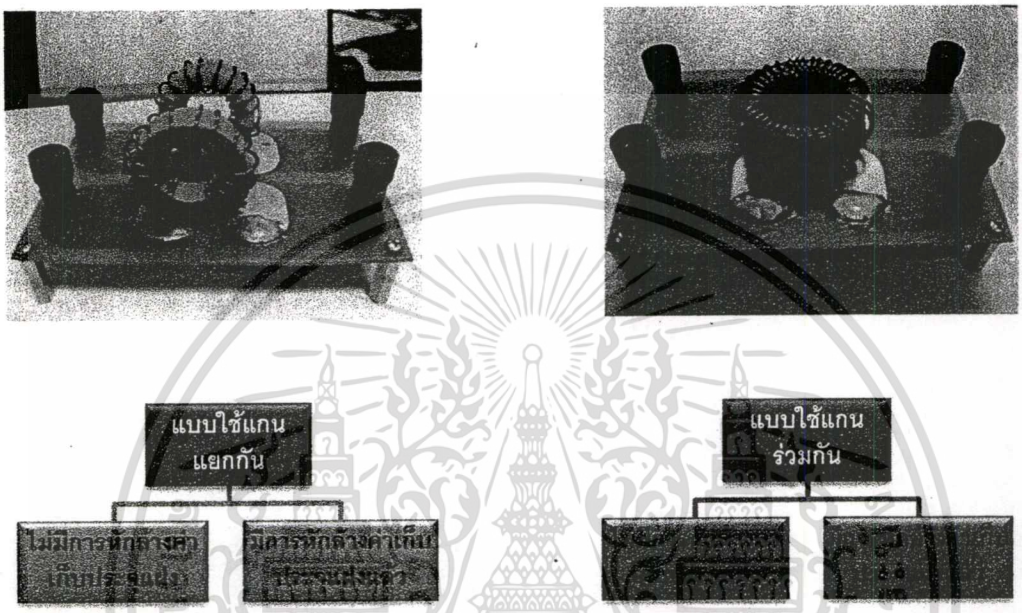
รูปที่ 6.1 แผนผังการทดสอบจริง

โดยสามารถแบ่งย่อยจากรูปที่ 6.1 ได้เป็นการทดสอบตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกกันและแบบใช้แกนร่วมกันดังรูปที่ 6.2 และจากรูปที่ 6.2 ยังแบ่งย่อยออกไปอีก คือ จะทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงและวงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วดังรูปที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

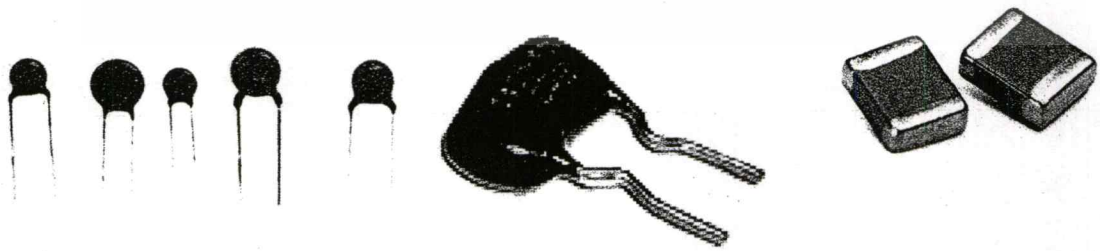


รูปที่ 6.2 แผนผังย่อยสำหรับการจำลอง



รูปที่ 6.3 แผนผังย่อยสำหรับการเปรียบเทียบ

นอกจากนี้การทดสอบยังได้ทำการศึกษาชนิดของตัวเก็บประจุที่นำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมด้วย โดยใช้ตัวเก็บประจุ 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ เซรามิค, ไมก้า และแบบ SMD เพื่อดูผลการปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน เนื่องจากตัวเก็บประจุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ความถี่สูงต่างกัน ดังรูปที่ 6.4 และตารางที่ 6.1 ต่อไปนี้



เซรามิค ไมก้า SMD

รูปที่ 6.4 ตัวเก็บประจุที่นำมาเลียนค่าเก็บประจุร่วมแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้เลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมแต่ละชนิด

เซรามิค	ไมก้า	SMD
มีความเสถียรสูงต่อความถี่ และแรงดันได้ดี นิยมใช้กับความถี่สูง	ตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดี นิยมใช้ในวงจร Filter	มีค่าเหนี่ยวนำแฝงและ ค่าความต้านทานต่ำ นิยมใช้กับความถี่สูง

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน ได้แก่ที่ No load และที่ Full load เพื่อศึกษาการนำเทคนิคนี้มาใช้ว่าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดยังสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ได้หรือไม่ เนื่องจากที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีปริมาณของกระแสในวงจรที่นำมาทดสอบสูงไปด้วย ซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนทางสายตัวนำที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าสูงตามไปด้วย โดยมีเงื่อนไขการทดสอบของกำลังไฟฟ้าดังนี้



เพาเวอร์ซัพพลาย บู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

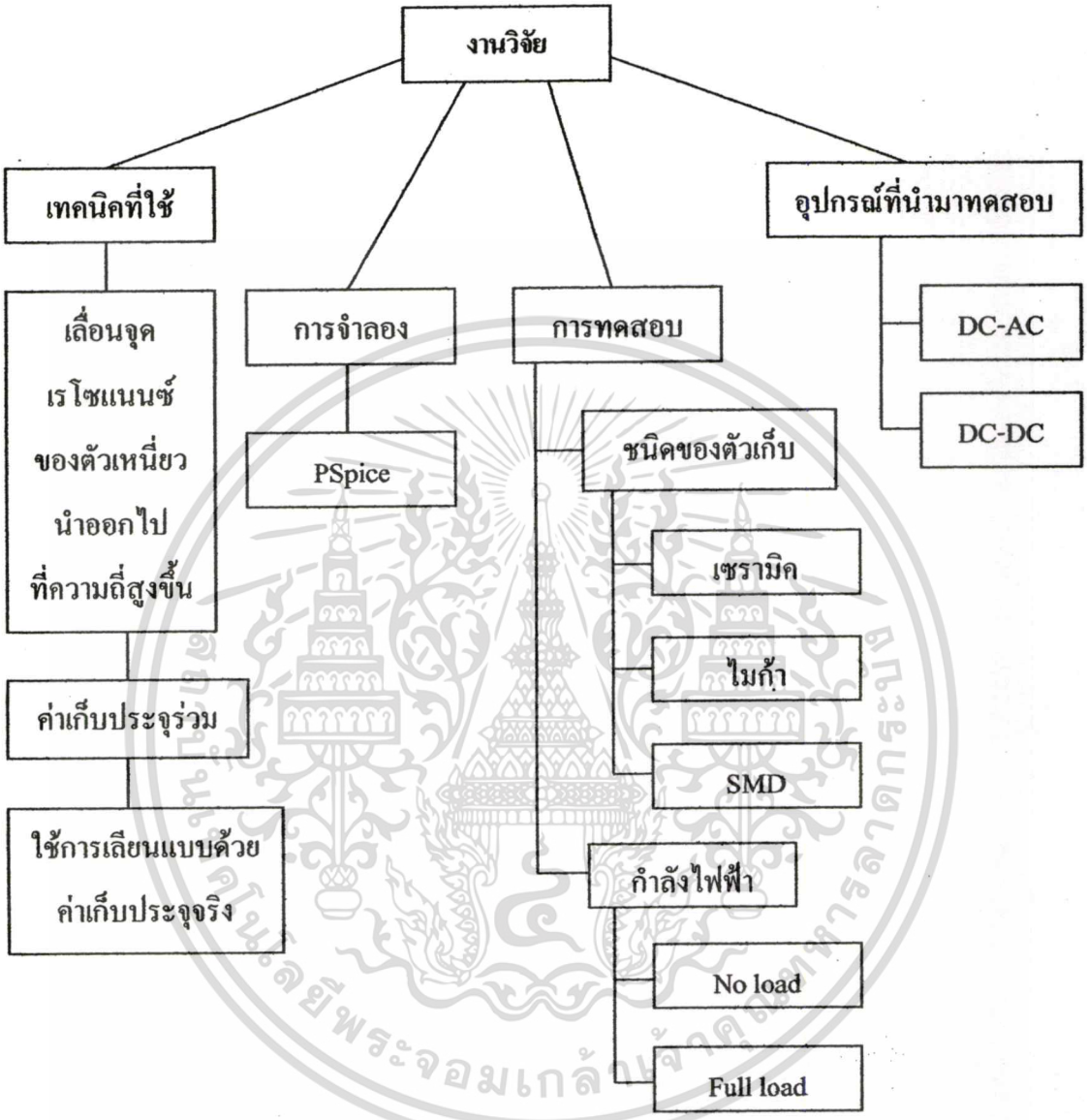
รูปที่ 6.5 วงจรที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 6.2 เงื่อนไขการทดสอบของกำลังไฟฟ้า

เพาเวอร์ซัพพลาย		บู้ตส์คอนเวอร์เตอร์	
No load	**Full load**	**No load**	**Full load**
P < 5 W	P > 250 W	P < 5 W	P > 60 W
V = 12 Vdc	V = 12 Vdc	V = 46 Vdc	V = 46 Vdc
I < 0.2 A	I > 20 A	I < 0.1 A	I > 1.4 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะสามารถสรุปการทดสอบทั้งการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ในบทที่ 5 และการทดสอบจริงในบทที่ 6 ทั้งหมดได้ดังแผนผังดังรูปที่ 6.6 ดังนี้



รูปที่ 6.6 แผนผังการทดสอบทั้งการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริง

ซึ่งจากรูปที่ 6.6 สามารถสรุปเป็นตารางเพื่อความเข้าใจง่ายขึ้นได้ดังตารางที่ 6.3 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 การทดสอบทั้งการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริง

		AC-DC										DC-DC									
		Power Supply										Boost Converter									
		ตัวเหนี่ยวนำ				DM Filter				EMI Filter		ตัวเหนี่ยวนำ				DM Filter				EMI Filter	
		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนร่วม	
PS	N																				
	Y																				
Load		No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load
NOC																					
C1																					
C2																					
C3																					

หมายเหตุ PS คือ การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

N คือ ไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

Y คือ มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

NOC คือ ยังไม่มีการหักล้างด้วยค่าเก็บประจุแฝง

No load คือ จ่ายพลังงานขณะที่ไม่มีโหลด

Full load คือ มีการจ่ายพลังงานที่โหลดสูงสุด

C1 คือ หักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค

C2 คือ หักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้า

C3 คือ หักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.3 ตารางด้านข้างซ้ายมือที่พิมพ์ว่า PS คือ ส่วนของการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ซึ่งจะแบ่งออกเป็นดังตารางด้านบน ได้แก่ Power supply และบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ โดยแบ่งหัวข้อย่อยออกมาดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ส่วนตั้งแต่ตารางที่พิมพ์คำว่า Load จนถึงด้านล่างสุด คือ ส่วนการทดสอบจริง โดยแบ่งออกเป็น No load และ Full load และทางตารางด้านข้างซ้ายมือจะเป็นชนิดของตัวเก็บประจุ ได้แก่ C1, C2 และ C3 ดังที่กล่าวไปแล้ว

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบจริงซึ่งก็คือส่วนตารางตั้งแต่คำว่า Load ลงมา ดังตารางที่ 6.4 ดังนี้

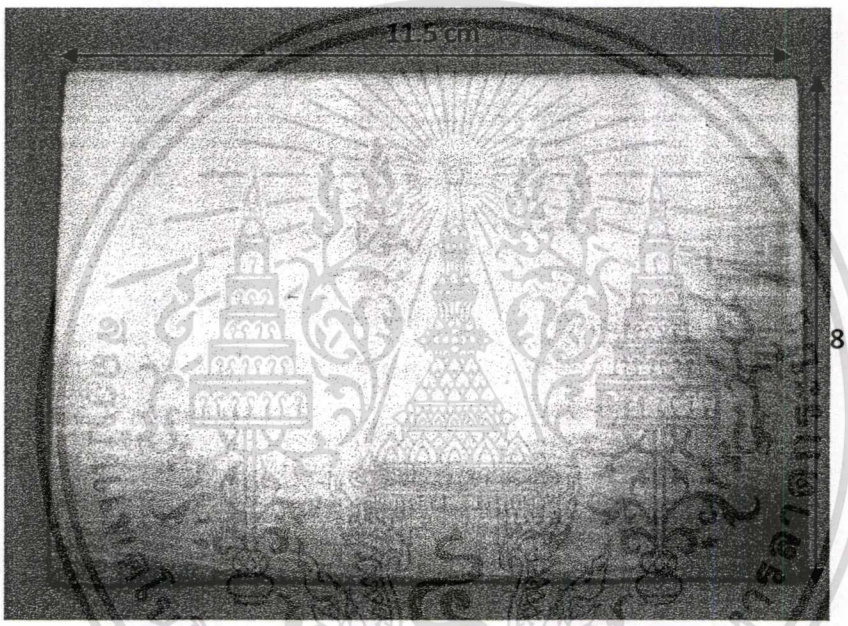
ตารางที่ 6.4 การทดสอบจริงด้วยเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

		AC-DC										DC-DC									
		Power Supply										Boost Converter									
		ตัวเหนี่ยวนำ				DM Filter				EMI Filter		ตัวเหนี่ยวนำ				DM Filter				EMI Filter	
		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก		แกนร่วม		แกนแยก	
Load		No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load	No load	Full load
NOC																					
C1																					
C2																					
C3																					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การออกแบบลายวงจร (Print Circuit Broad Layout)

จุดประสงค์ของการออกแบบลายวงจรก็เพื่อให้สามารถที่จะจำกัดค่าตัวแปรอื่นๆ ที่อาจจะมีผลต่อการทดสอบได้ เช่น การไม่เข้ากันของค่าอิมพีแดนซ์ (Mismatch impedance) ที่เกิดขึ้นจากลายวงจร หรือ ค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างลายวงจร เป็นต้น เพื่อจำกัดตัวแปรเหล่านี้จึงได้ทำการออกแบบโดยให้ทุกวงจรมีขนาดเท่ากัน ขนาดความกว้างของลายทองแดงเท่ากัน ระยะห่างระหว่างลายทองแดงเท่ากัน เป็นต้น โดยมีขนาดของแผ่น PCB ดังรูปที่ 6.7



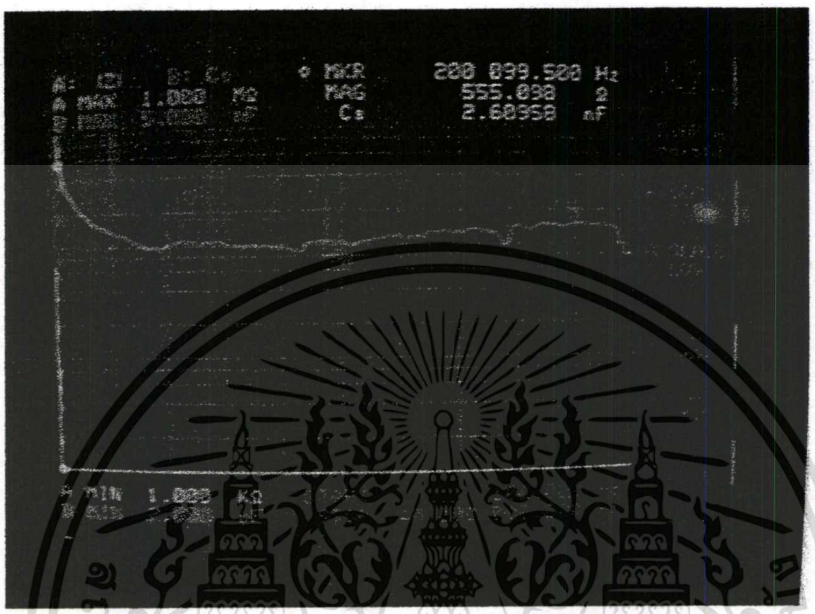
รูปที่ 6.7 ขนาดของแผ่น PCB ที่นำมาใช้ทดสอบ

โดยแผ่น PCB ที่นำมาใช้จะเป็นแผ่น PCB แบบสองหน้า (Two layers) มีขนาดความหนาประมาณ 1.5 mm การนำไปใช้ในการออกแบบสำหรับการทดสอบจริงนั้น จะต้องทำการกัดแผ่น PCB ให้มีลายวงจรทองแดงทั้งสองหน้า ซึ่งอาจจะมีผลจากค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างลายทองแดงด้านบนกับลายทองแดงด้านล่าง ถ้าค่าเก็บประจุแฝงดังกล่าวนี้มีค่ามากพอที่จะส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูล ก็ต้องทำการแก้ไขให้ค่าเก็บประจุที่เกิดขึ้นมีผลต่อการทดสอบนี้น้อยที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการวัดค่าเก็บประจุแฝงทั้งแผ่นของ PCB ขณะยังไม่ได้ทำการกัดลายวงจร และทำการวัดขณะกัดลายวงจรแล้ว เพื่อดูผลว่าค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่

ในขั้นแรกนั้นจะทำการวัดค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB ที่ยังไม่มีการกัดลายทองแดงเลยดังรูปที่ 6.7 โดยใช้เครื่องวัด Impedance analyzer ที่นำมาใช้วัดค่าอิมพีแดนซ์ในบทที่ 4 ที่กล่าวมาแล้ว การวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นจะใช้โพรบด้านหนึ่งแตะที่ด้านลายทองแดงด้านบน และใช้โพรบอีกด้านหนึ่งแตะที่ลายทองแดงด้านล่าง เพื่อดูค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดการสะสมของประจุระหว่างลายทองแดงด้านบนและด้านล่าง หลังจากทำการวัดแล้วได้ผลดังรูปที่ 6.8 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.8 ค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB ขณะที่ยังไม่ได้กัดลายทองแดง

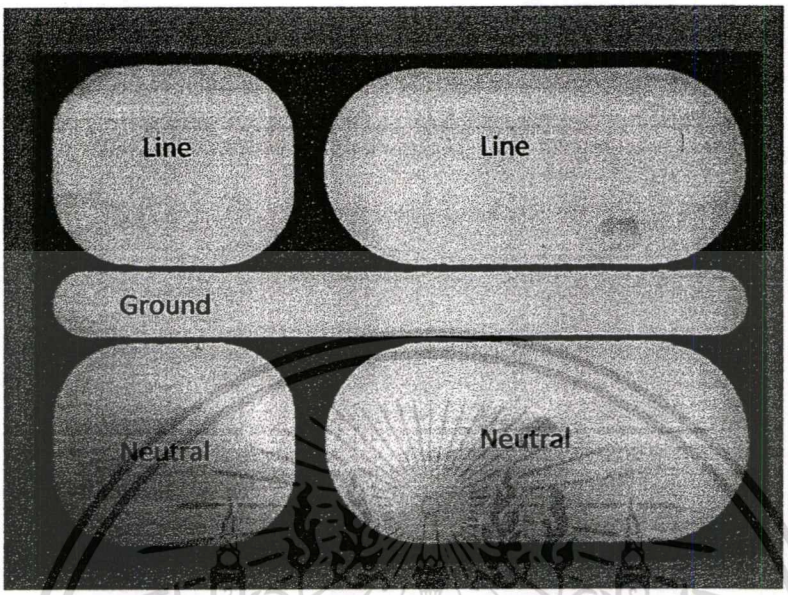
จากรูปจะเห็นได้ว่ามีค่าเก็บประจุแฝงเท่ากับ 2.61 nF ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าเก็บประจุแฝงที่เราจะทำการหักล้าง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการทดสอบได้ ดังนั้นแล้วเมื่อเรานำไปทำการออกแบบต้องพยายามให้มีค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างลายทองแดงให้น้อยที่สุด

การออกแบบแผ่น PCB จะทำการออกแบบเพื่อไปใช้ทดสอบจริงกับเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ โดยแผ่น PCB ที่ทำการออกแบบจะให้เหมือนกันทั้งการทดสอบในเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อสามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยเงื่อนไขในการออกแบบแผ่น PCB ก็คือ

1. ขนาดของแผ่น PCB มีขนาดเท่ากัน
2. ขนาดของลายทองแดงเท่ากัน
3. ด้านปลายของลายทองแดงออกแบบให้มีลักษณะขอบกลมหรือมน
4. ทำให้พื้นที่ซ้อนกันของลายทองแดงด้านบนและด้านล่างเกิดขึ้นน้อยที่สุด
5. จุดวางของอุปกรณ์อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน
6. อิมพีแดนซ์ของลายวงจรต้องเข้ากันได้ (Matching impedance)

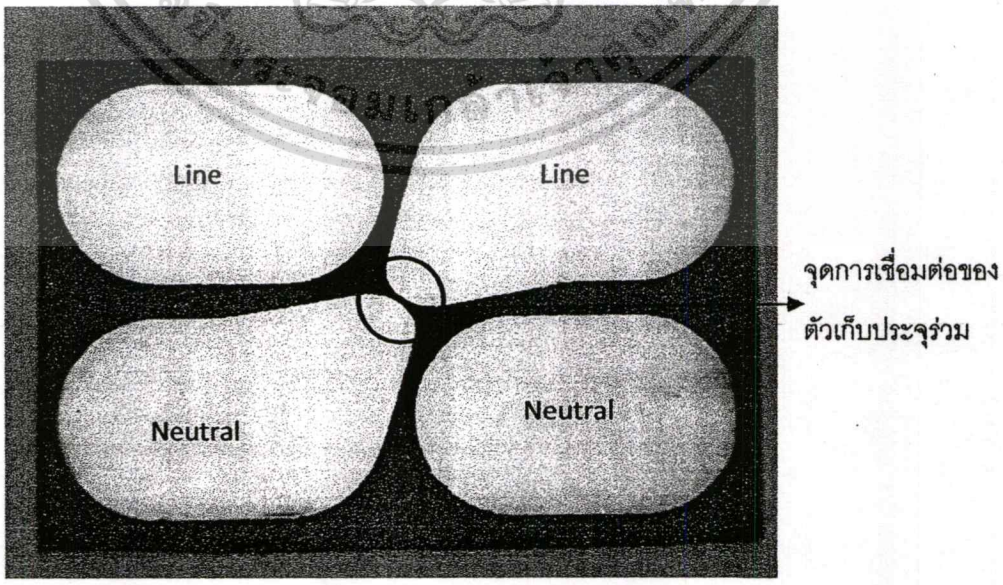
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำแผ่น PCB ไปทำการออกแบบ จะแบ่งการออกแบบเป็นชนิด CM และ DM โดยชนิด CM จะมีลายทองแดงของแผ่น PCB เพียงหน้าเดียว ดังรูปที่ 6.9



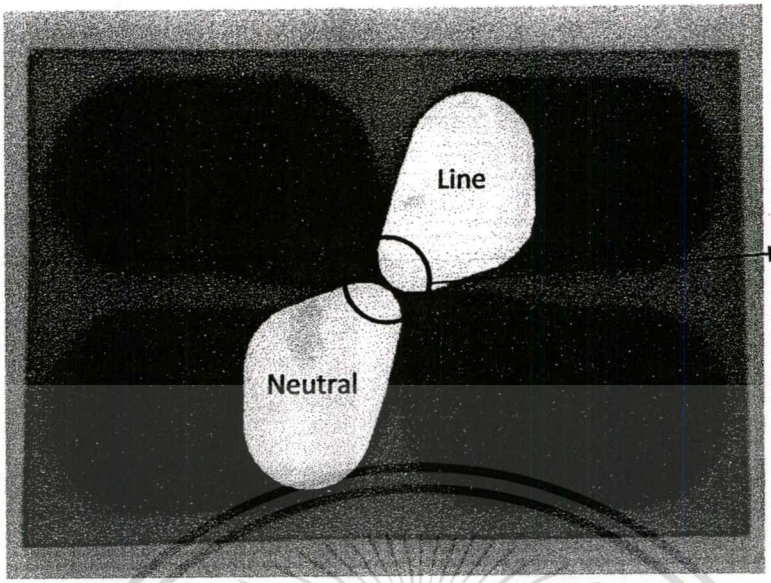
รูปที่ 6.9 แผ่น PCB สำหรับโหมดผลร่วม CM

แต่สำหรับแผ่น DM มีการออกแบบมา 2 หน้าด้วยกัน โดยหน้าด้านล่างจะแสดงดังรูปที่ 6.10 แต่สำหรับหน้าด้านบนจะทำการออกแบบให้เลือกใช้งาน 2 แบบ เพื่อเปรียบเทียบเลือกแผ่น PCB ที่มีค่าเก็บประจุแฝงน้อยที่สุดมาใช้งานดังรูปที่ 6.11 และ 6.12

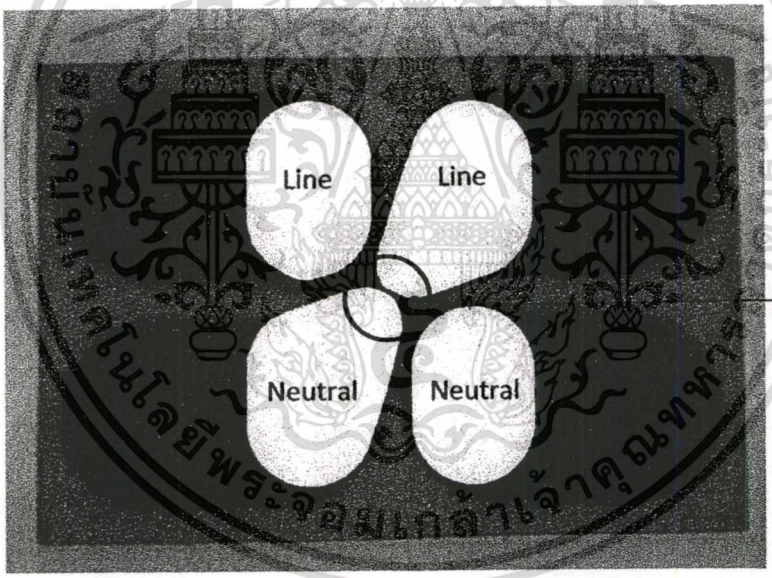


รูปที่ 6.10 แผ่น PCB สำหรับโหมดผลต่าง DM ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



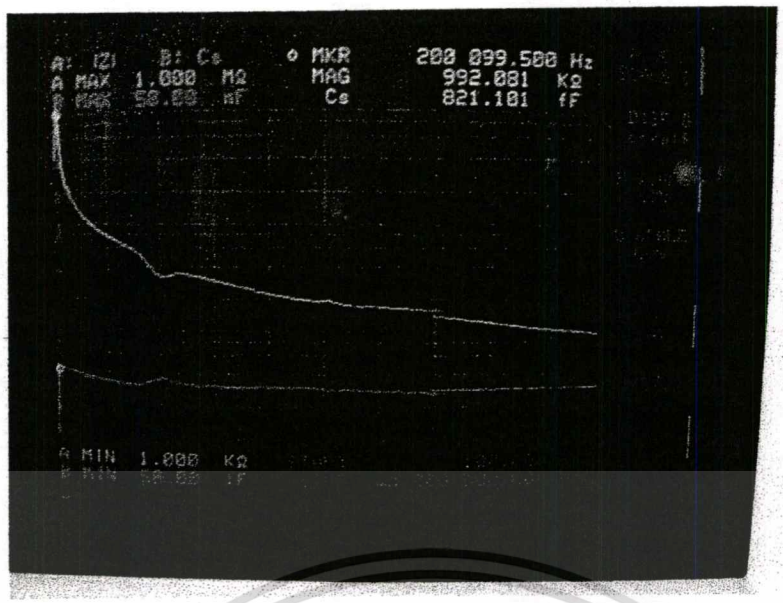
รูปที่ 6.11 แผ่น PCB สำหรับโหมดผลต่าง DM ด้านบน แบบที่ 1



รูปที่ 6.12 แผ่น PCB สำหรับโหมดผลต่าง DM ด้านบน แบบที่ 2

เมื่อนำแผ่น PCB ในรูปที่ 6.11 และ 6.12 ไปทำการวัดค่าเก็บประจุแฝง โดยทำการวัดเหมือนกันกับการวัดค่าเก็บประจุแฝงในรูปที่ 6.8 จะได้ผลจากการวัดดังรูปที่ 6.13 และ 6.14 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 ค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB แบบที่ 1



รูปที่ 6.14 ค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB แบบที่ 2

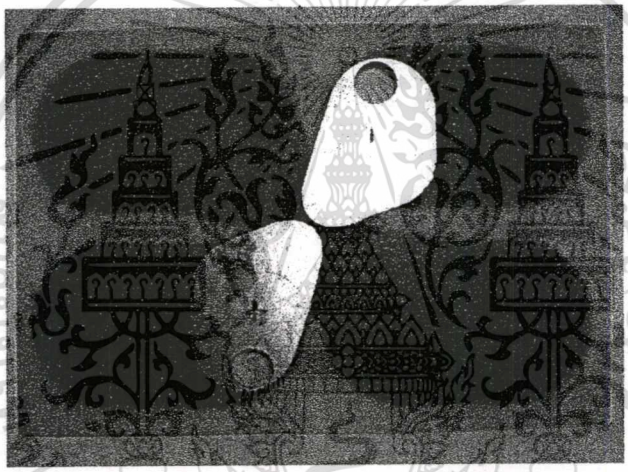
จากรูปที่ 6.13 และ 6.14 จะพบว่าค่าเก็บประจุแฝงที่สูงที่สุดตลอดย่านความถี่ 150 kHz จนถึง 30 MHz มีค่าเท่ากับ 821.101 fF และ 684.784 fF ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่ามีค่ามากในระดับหนึ่งเมื่อเทียบกับค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำซึ่งมีค่าอยู่ในระดับ pF ดังนั้นแล้วอาจจะมีผลต่อการทดสอบได้

จากผลการวัดค่าเก็บประจุแฝงในรูปที่ 6.11 และ 6.12 ได้ค่าเก็บประจุแฝงระหว่าง 2 แบบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะพบว่ารูปที่ 6.11 มีลายทองแดงที่ซ้อนกันเพียง 2 ลายเท่านั้น แต่สำหรับในรูปที่ 6.12 จะมีลายวงจรซ้อนกันมากกว่า 2 ลายด้วยกัน ทำให้น่าจะมีค่ามากกว่าในรูปที่ 6.11 ถึง 2 เท่า ดังนั้นแล้วถ้า

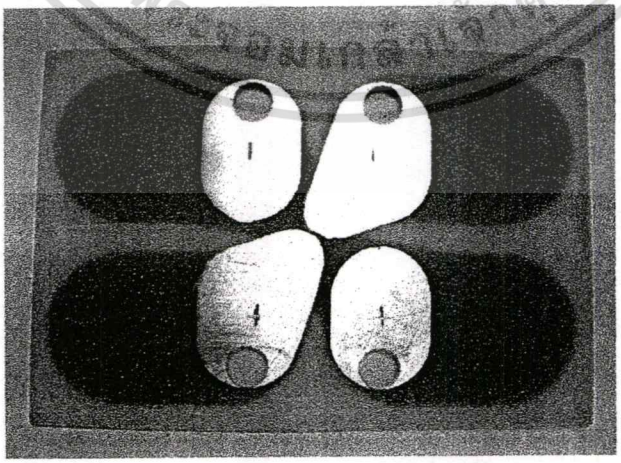
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาในแง่ของค่าเก็บประจุแฝงในรูปที่ 6.11 จึงเหมาะกับการนำมาใช้ทดสอบมากที่สุด แต่นั้นก็เป็นเพียงการพิจารณาในแง่ด้านค่าเก็บประจุแฝงเท่านั้น ซึ่งจะต้องทำการพิจารณาในด้านของอิมพีแดนซ์ด้วย โดยจะกล่าวต่อไป

แต่การออกแบบขั้นสุดท้ายนั้น PCB ต้องทำการเจาะรูเชื่อมต่อ (Plate to hole) ระหว่างลายทองแดงด้านบนและด้านล่างเข้าด้วยกัน ซึ่งการเจาะรูเชื่อมต่อนี้จะไปลดค่าเก็บประจุแฝงระหว่างลายทองแดงด้านบนและด้านล่างลง ซึ่งจะทำให้ค่าเก็บประจุแฝงมีค่าลดลงจากเดิม โดยการเจาะรูเพื่อเชื่อมต่อนั้นจะต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้ของอิมพีแดนซ์ (Matching impedance) ระหว่างลายวงจรทั้งด้านบนและด้านล่างด้วย รูที่จะทำการเจาะจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 cm โดยจะทำการเจาะดังรูปที่ 6.15 (ก) และ (ข) ดังต่อไปนี้



(ก) แผ่น PCB แบบที่ 1

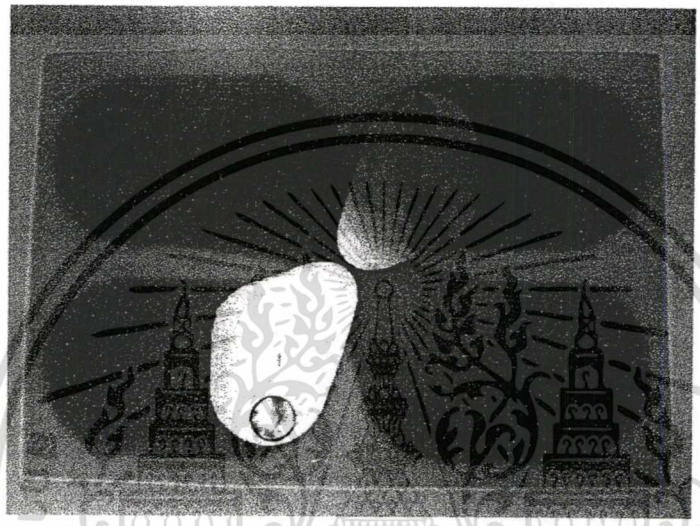


(ข) แผ่น PCB แบบที่ 2

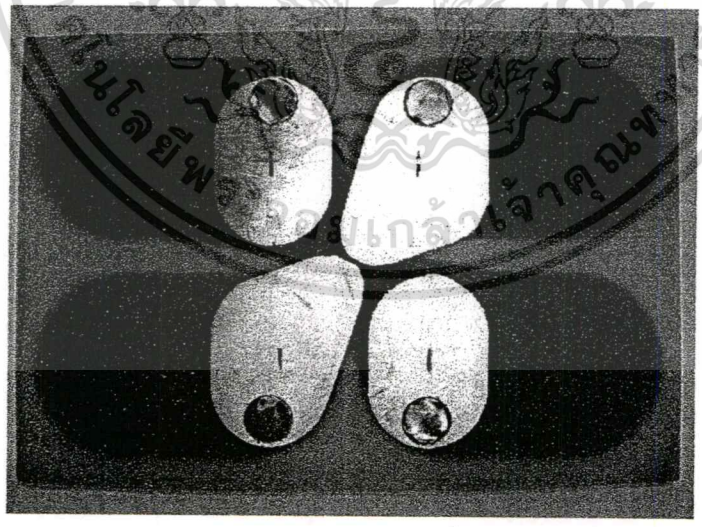
รูปที่ 6.15 รูที่ทำการเจาะในแผ่น PCB เพื่อทำการเชื่อมต่อระหว่างลายทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเจาะเรียบร้อยแล้วต่อไปก็จะทำการเชื่อมต่อรูเหล่าเข้าด้วยกันโดยใช้แผ่นทองแดงขนาดเท่ากับรูที่เจาะไว้ โดยแผ่นทองแดงมีความหนาเท่ากับขนาดของ PCB เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อสมบูรณ์ที่สุด ลดความแตกต่างระหว่างอิมพีแดนซ์ของรอยเชื่อมต่อให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ของอิมพีแดนซ์มากที่สุด รูปที่ 6.16 (ก) และ (ข) แสดงการนำแผ่นทองแดงใส่ไว้ในรูเพื่อไปเชื่อมต่อระหว่างทองแดงด้านบนและด้านล่าง ดังต่อไปนี้



(ก) แผ่น PCB แบบที่ 1

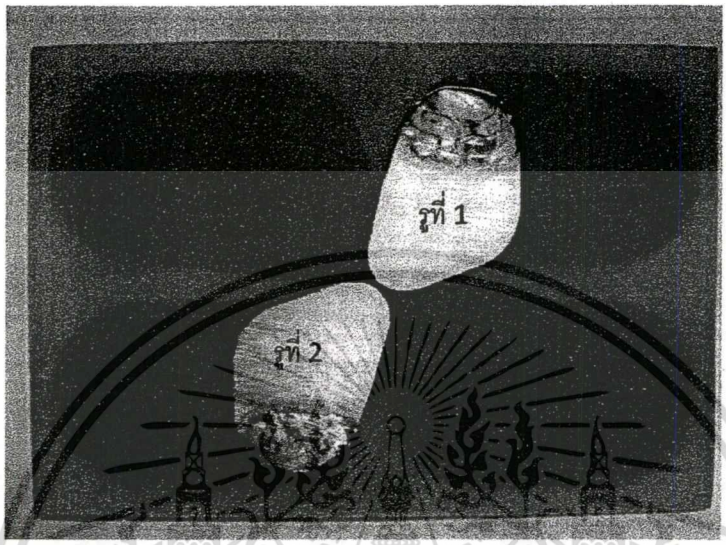


(ข) แผ่น PCB แบบที่ 2

รูปที่ 6.16 แผ่นทองแดงที่นำมาใส่ในรูของ PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการบัดกรีเพื่อเชื่อมต่อแผ่นทองแดงเข้ากับลายทองแดงบน PCB โดยทำการบัดกรีให้เกิดการกระจายของตะกั่วรอบๆ รูบนแผ่น PCB ให้มากที่สุด เพื่อให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อน้อยที่สุด โดยแผ่น PCB แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 6.17 (ก) และ (ข) และแผ่น PCB แบบที่ 2 ดังรูปที่ 6.18 (ก) และ (ข)



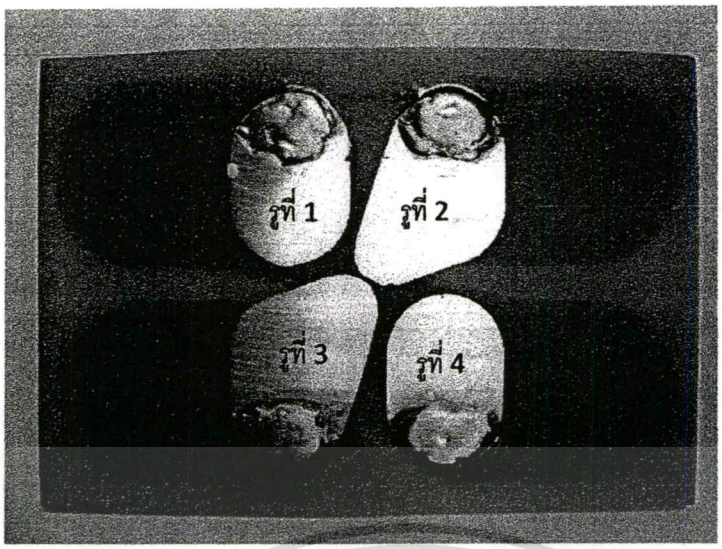
(ก) ด้านบน



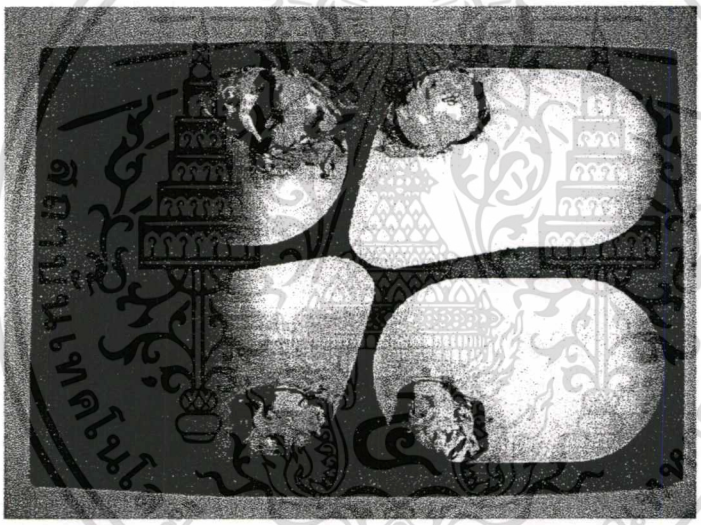
(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.17 แผ่น PCB แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ด้านบน

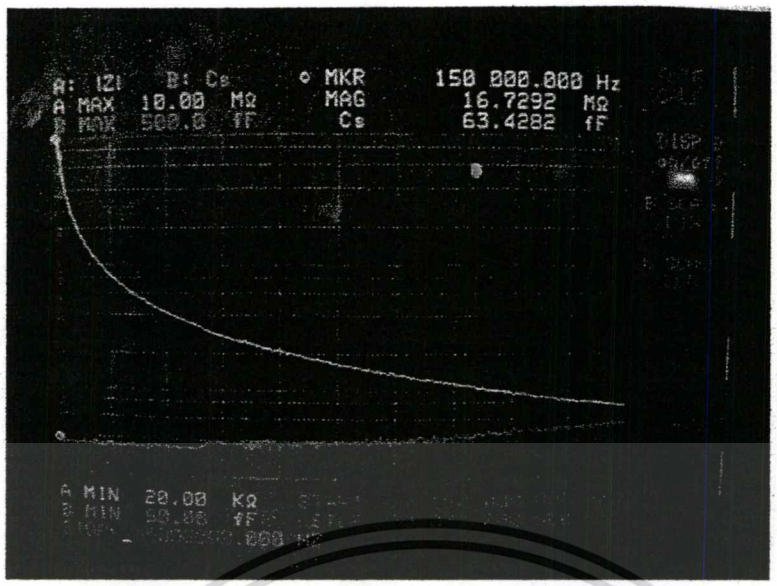


(ข) ด้านล่าง

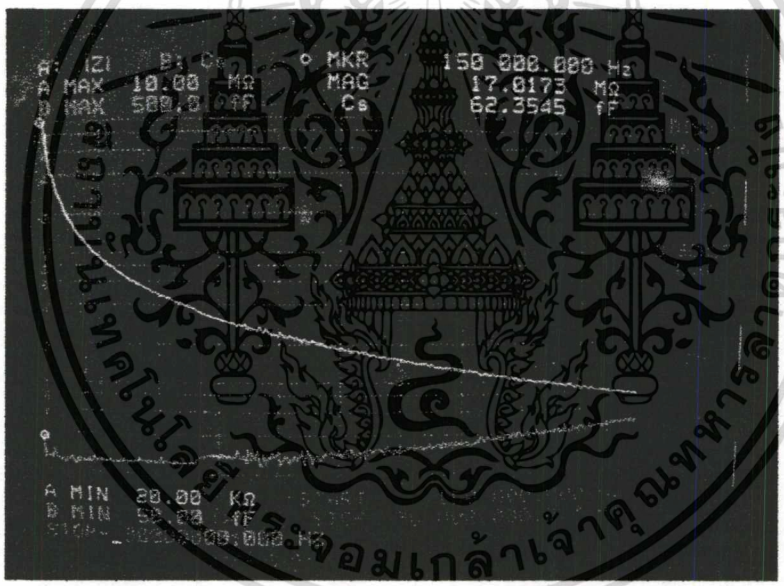
รูปที่ 6.18 แผ่น PCB แบบที่ 2

เมื่อนำไปวัดค่าอิมพีแดนซ์ของรอยต่อเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของอิมพีแดนซ์มากที่สุด และค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างการซ้อนกันของทองแดง ได้ค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB แบบที่ 1 ดังรูปที่ 6.19 (ก) และ (ข) และของแผ่น PCB แบบที่ 2 ดังรูปที่ 6.20 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



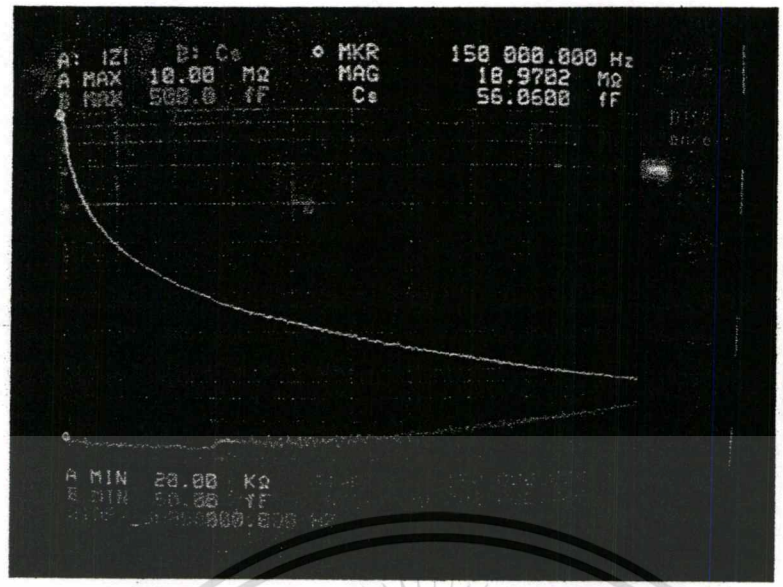
(ก) รูที่ 1



(ข) รูที่ 2

รูปที่ 6.19 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงแผ่น PCB แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

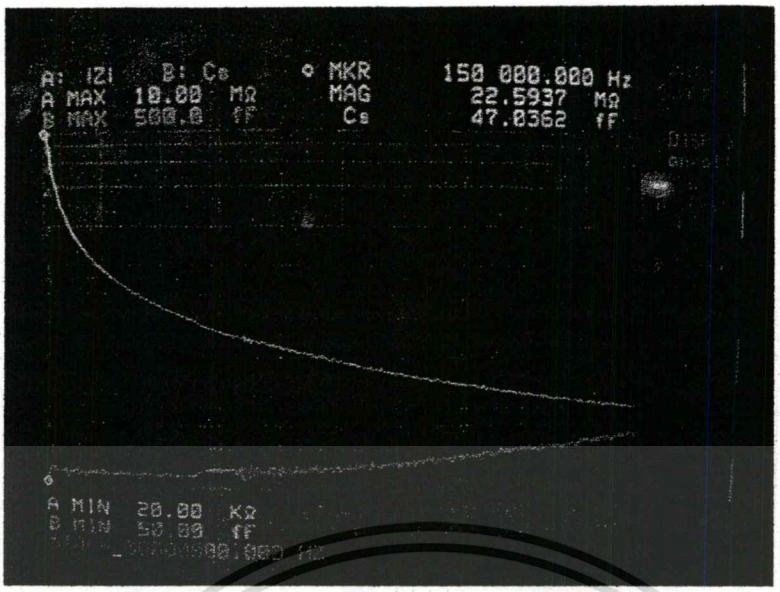


(ก) รูที่ 1

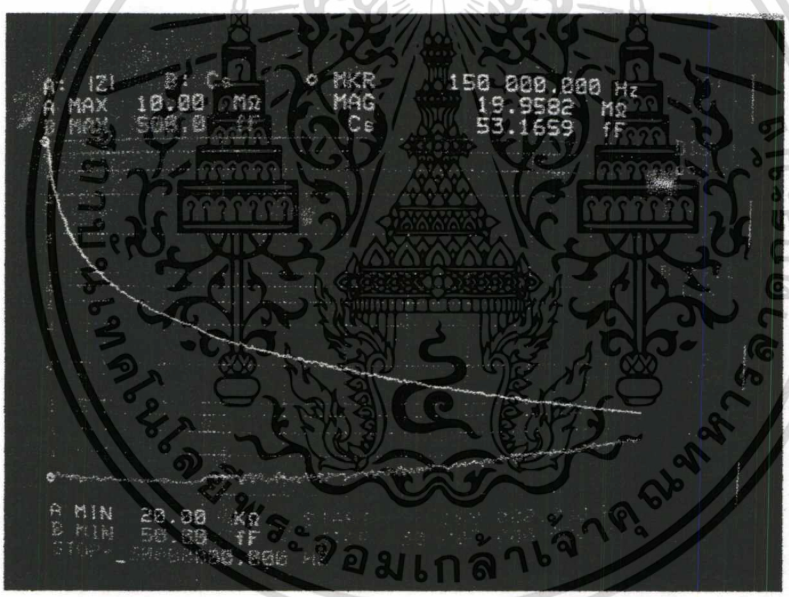


(ข) รูที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) รูที่ 3



(ง) รูที่ 4

รูปที่ 6.20 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงแผ่น PCB แบบที่ 2

จากรูปที่ 6.13 และ 6.14 คือค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB ที่ได้ทำการกัดลายทองแดงแล้วแต่ยังไม่ได้ทำการเชื่อมต่อลายทองแดงทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน ซึ่งจะได้ค่าเก็บประจุแฝงเท่ากับ 821.101 fF และ 684.784 fF ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากพอที่จะส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูลในการที่จะนำเทคนิคที่นำเสนอมาใช้ได้ ดังนั้นแล้วเมื่อเราทำการเจาะรูเพื่อเชื่อมต่อลายทองแดงด้านบนและด้านล่างเข้าด้วยกัน ค่าเก็บประจุแฝงที่ทำการวัดใหม่จะมีค่าลดลงไปจากเดิม จากรูปที่ 6.19 มีค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

63.43 fF และ 62.35 fF และสำหรับรูปที่ 6.20 จะมีค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นเท่ากับ 56.06 fF, 51.38 fF, 47.04fF และ 53.17fF จะเห็นได้ว่ามีค่าเก็บประจุแฝงลดลงไปมากจากเดิม ซึ่งค่าเก็บประจุแฝงเหล่านี้มีค่าน้อยมาก และไม่ส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูล ดังนั้นแล้วแผ่น PCB ที่ทำการเชื่อมต่อลายทองแดงด้านล่างและด้านบนแล้วจึงสามารถนำมาใช้งานได้

ต่อไปจะทำการวิเคราะห์ถึงความสมมาตรของอิมพีแดนซ์ในวงจร เพื่อให้เกิดความสมมาตรของวงจร ค่าอิมพีแดนซ์ในแต่ละลายวงจรต้องมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยประมาณ 19 MΩ โดยจะทำการวิเคราะห์เฉพาะแผ่น PCB ของ DM เท่านั้น เนื่องจากมี 2 แบบให้เลือกใช้ ซึ่งจะเลือกใช้แผ่น PCB ในแบบที่ดีที่สุด ถ้าพิจารณาแผ่น PCB แบบที่ 1 (รูปที่ 6.11) จะเห็นว่าด้านบนของแผ่น PCB จะมีลายทองแดงอยู่ 2 ลายด้วยกัน แต่สำหรับแผ่น PCB แบบที่ 2 (รูปที่ 6.12) มีลายทองแดง 4 ลายด้วยกัน ซึ่งแผ่น PCB แบบที่ 1 จะไม่สมมาตรกันเมื่อเทียบกับแผ่น PCB แบบที่ 2 ดังนั้นแล้วถ้าพิจารณาในแง่ของความสมมาตรของอิมพีแดนซ์จึงเลือกใช้แผ่น PCB แบบที่ 2 ในการทดสอบ

โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบทั้งค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงเพื่อพิจารณาเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้ดังตารางที่ 6.5 ดังนี้

ตารางที่ 6.5 การเปรียบเทียบทั้งค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของแผ่น PCB ในโหมด DM ทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 2

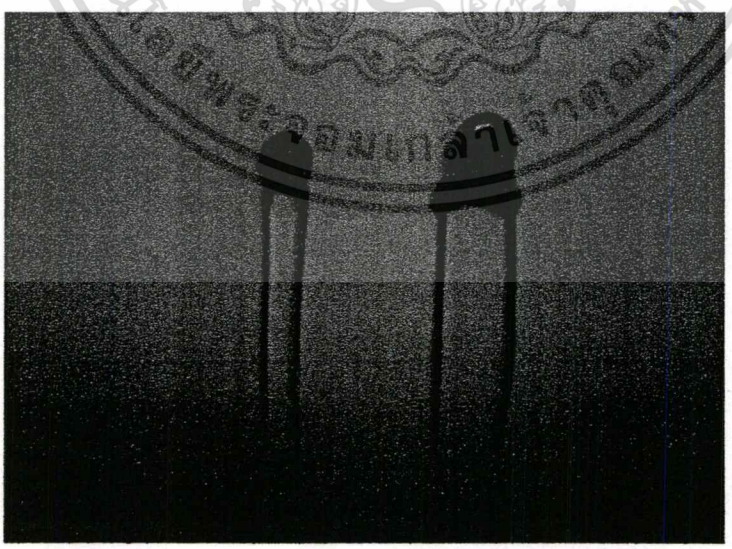
แผ่น PCB ของโหมด DM	ความสมมาตรของอิมพีแดนซ์	ค่าเก็บประจุแฝง (เทียบต่อ 1 รอยต่อ)
แบบที่ 1	ไม่สมมาตร	2 เท่า
แบบที่ 2	สมมาตร	4 เท่า

จากตารางที่ 6.5 การพิจารณาเพื่อเลือกไปใช้ในงานวิจัยจะต้องพิจารณาความสมมาตรของอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝง โดยถ้าพิจารณาความสมมาตรของอิมพีแดนซ์ซึ่งมีค่ามากในระดับเมกกะโอมห์ม แผ่น PCB ในแบบที่ 1 จะไม่เกิดความสมมาตรกันเมื่อเทียบกับแบบที่ 2 ที่มีความสมมาตรมากกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูลมากกว่าถ้านำไปเปรียบเทียบกับค่าเก็บประจุแฝงซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ โดยค่าเก็บประจุแฝงที่ได้เมื่อทำการเชื่อมต่อลายทองแดงด้านบนและด้านล่างแล้ว ค่าเก็บประจุแฝงที่ได้น้อยมาก ถึงแม้ว่าจะต่างกันถึง 2 เท่าระหว่างแผ่น PCB แบบที่ 1 และแบบที่ 2 แต่ค่าเก็บประจุแฝงที่ได้มีค่าน้อยมากไม่ส่งผลต่อความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

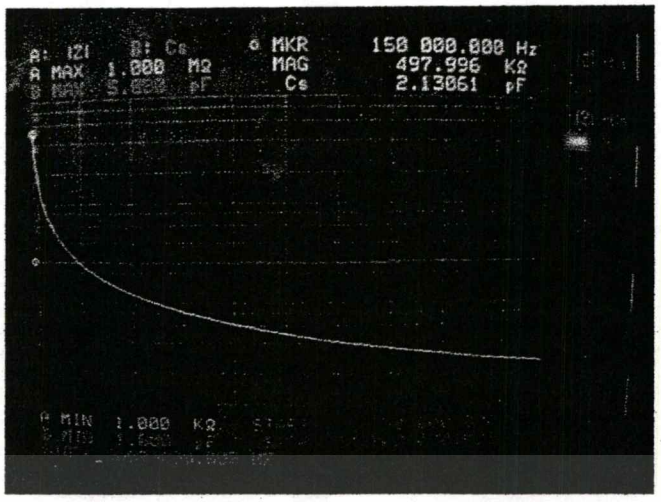
ของข้อมูล จึงสรุปได้ว่าความสมมาตรของอิมพีแดนซ์มีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลมากกว่าค่าเก็บประจุแฝง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผ่น PCB แบบที่ 2 ดังรูปที่ 6.12

หลังจากการออกแบบแผ่น PCB เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ต้องทำการพิจารณาตัวเก็บประจุที่จะนำมาใช้เลียนแบบค่าเก็บประจุร่วม ซึ่งจะทำการต่อเข้าไปในวงจรดังรูปที่ 6.11 และ 6.12 วงกลมสีแดงคือจุดเชื่อมต่อของตัวเก็บประจุร่วม เมื่อเราทำการต่อตัวเก็บประจุร่วมเข้าไปในแผ่น PCB ค่าเก็บประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะต้องรวมกับค่าเก็บประจุของลายทองแดงด้วย ดังนั้นแล้วจึงได้ทำการวัดค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุร่วมที่ทำการต่อลงในวงจรแล้ว เพื่อดูค่าเก็บประจุรวมทั้งหมดในแต่ละชนิดของตัวเก็บประจุว่าค่าเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยแค่ไหนจากค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้เลียนแบบตัวเก็บประจุร่วม โดยจะแสดงค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้แต่ละชนิดก่อน เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุเหล่านี้ ถ้าเกิดการเรโซแนนซ์ขึ้น จะทำให้เกิดการลัดวงจรได้ ส่งผลให้อุปกรณ์เสียหายและเกิดอันตรายต่อผู้ทดสอบ ดังนั้นแล้วจึงได้ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุก่อน โดยจะไม่แสดงอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุชนิด SMD เนื่องจากทำการวัดได้ยาก, ปกติมีค่าแฝงต่างๆ ที่น้อยอยู่แล้ว และผลที่ได้มีความถูกต้องต่ำ เนื่องจากความเสื่อมของเครื่องมือวัด ดังนั้นแล้วจะแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุเฉพาะชนิดเซรามิคและไมก้าเท่านั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.21 (ก) (ข) และ (ค) และรูปที่ 6.22 (ก) (ข) และ(ค) โดยรูปที่ 6.21 คือ ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค และรูปที่ 6.22 คือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ดังนี้

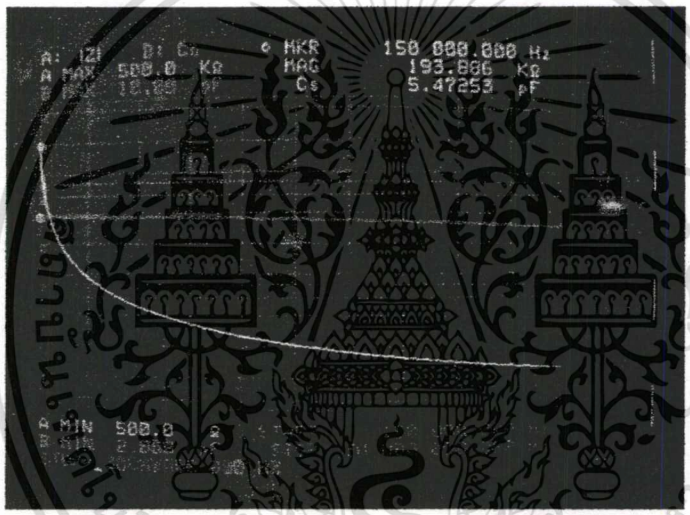


(ก) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค (ซ้ายคือ 2 pF และขวาคือ 5 pF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

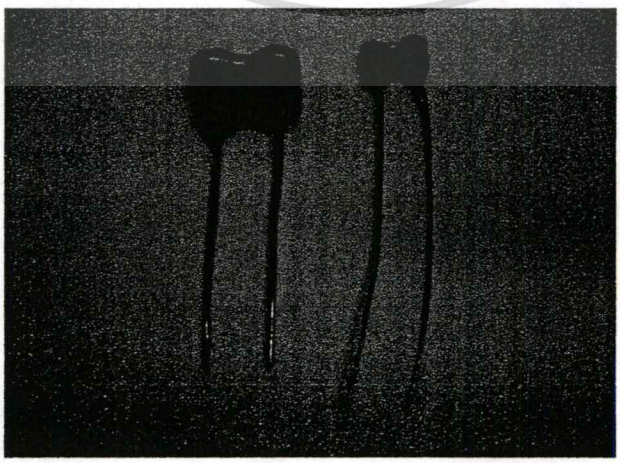


(ข) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ค่าเท่ากับ 2 pF



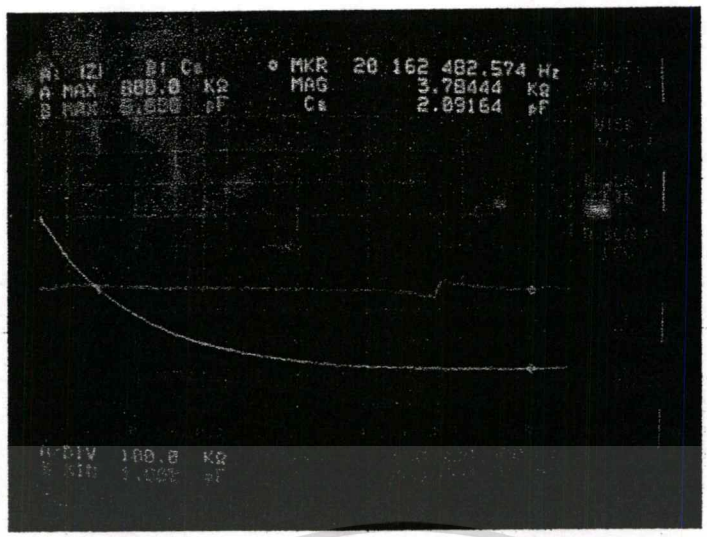
(ค) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ค่าเท่ากับ 5 pF

รูปที่ 6.21 ค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค

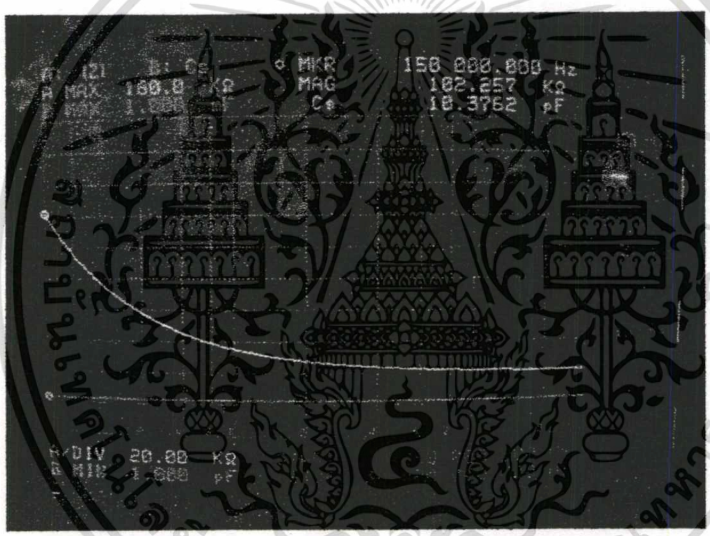


(ก) ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (ซ้ายคือ 2 pF และขวาคือ 5 pF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ค่าเท่ากับ 2 pF



(ค) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ค่าเท่ากับ 5 pF

รูปที่ 6.22 ค่าอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุแฝงของตัวเก็บประจุชนิดไมก้า

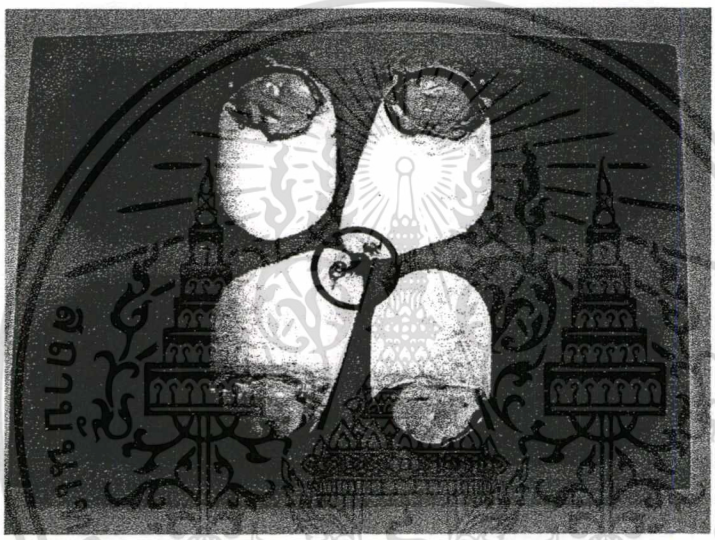
จากรูปที่ 6.21 และ 6.22 คืออิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่นำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมทั้งชนิดเซรามิค และไมก้า (2 pF และ 5 pF) ผลที่ได้คือ อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุทั้งสองชนิดไม่เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz ดังนั้นแล้วตัวเก็บประจุทั้งสองชนิดจะไม่เกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นขณะทำการทดสอบ

ขั้นตอนต่อไปจะทำการบัดกรีตัวเก็บประจุทั้งสองชนิดเข้าไปในวงจรบนแผ่นลายทองแดง และทำการวัดค่าเก็บประจุใหม่ ซึ่งเป็นค่าเก็บประจุรวมที่เกิดจากตัวเก็บประจุที่บัดกรีเพิ่มเข้าไปรวมกับค่าเก็บประจุแฝงบนลายทองแดง เพื่อศึกษาว่าค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่คำนวณไว้มากหรือไม่ เนื่องจากถ้าค่า

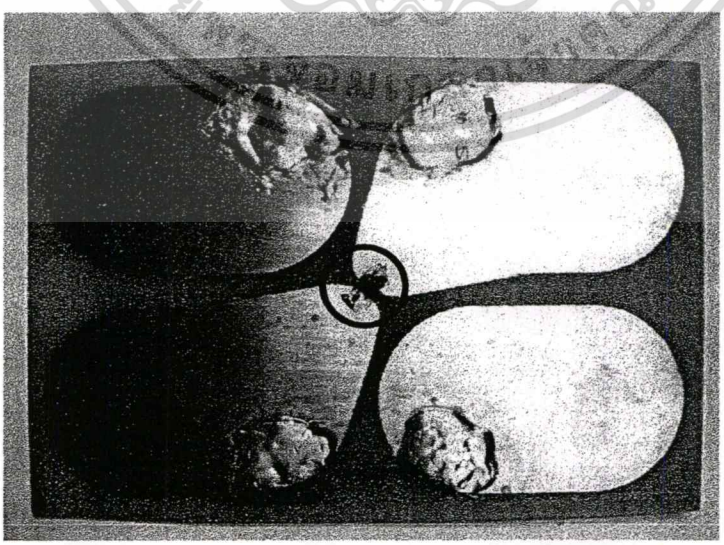
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บประจุแฝงรวมทั้งหมดมีค่าเปลี่ยนแปลงจากเดิมไปมาก ก็จะทำให้ค่าเก็บประจุที่คำนวณไว้เกิดความผิดพลาดได้ แต่ถ้าค่าเก็บประจุรวมที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มากนัก ก็จะส่งผลดีต่อการออกแบบ เนื่องจากตัวเก็บประจุที่เรานำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วมมีค่าน้อยกว่าค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำเล็กน้อย ซึ่งถ้าได้ค่าเก็บประจุแฝงของลายทองแดงเข้ามาบวกเพิ่ม ก็จะทำให้ค่าเก็บประจุรวมทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงมากขึ้นกับค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 6.23 (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง แสดงแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 2 pF และเมื่อนำไปวัดค่าเก็บประจุรวม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.24 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง ดังนี้



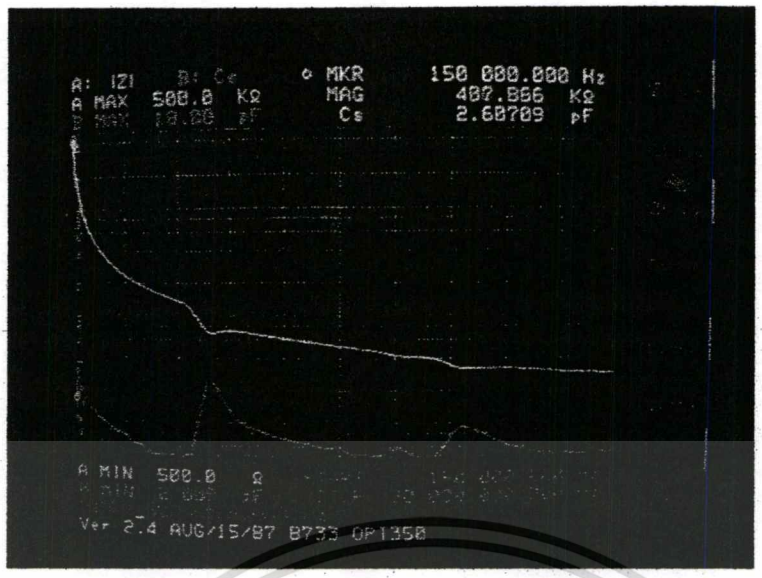
(ก) ด้านบน



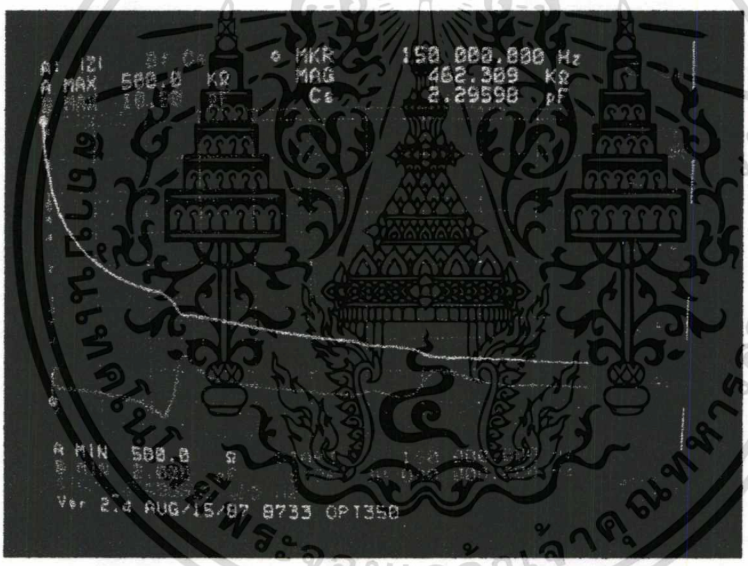
(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.23 แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 2 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ด้านบน

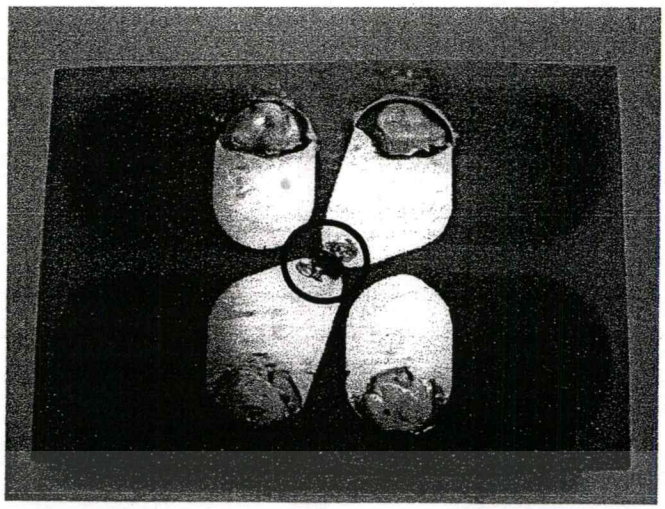


(ข) ด้านล่าง

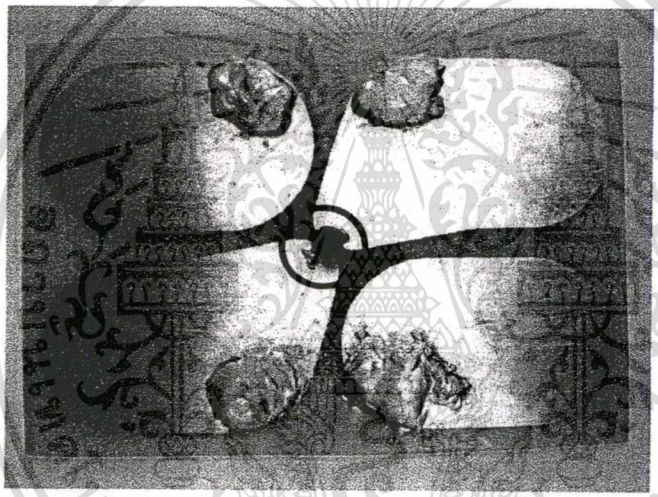
รูปที่ 6.24 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 2 pF

รูปที่ 6.25 (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง แสดงแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 5 pF และเมื่อนำไปวัดค่าเก็บประจุรวม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.26 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

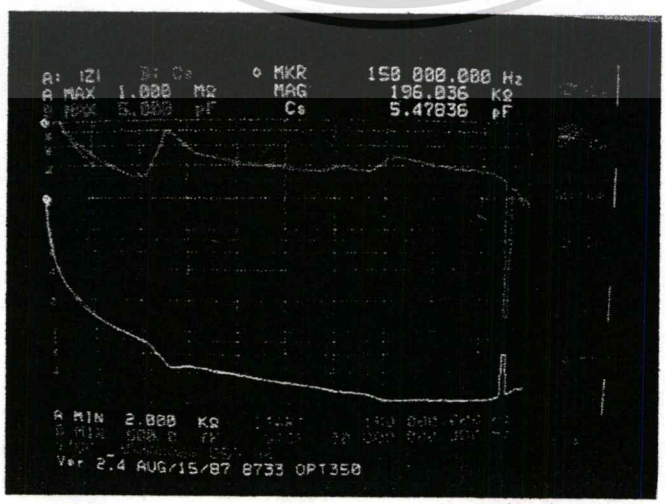


(ก) ด้านบน



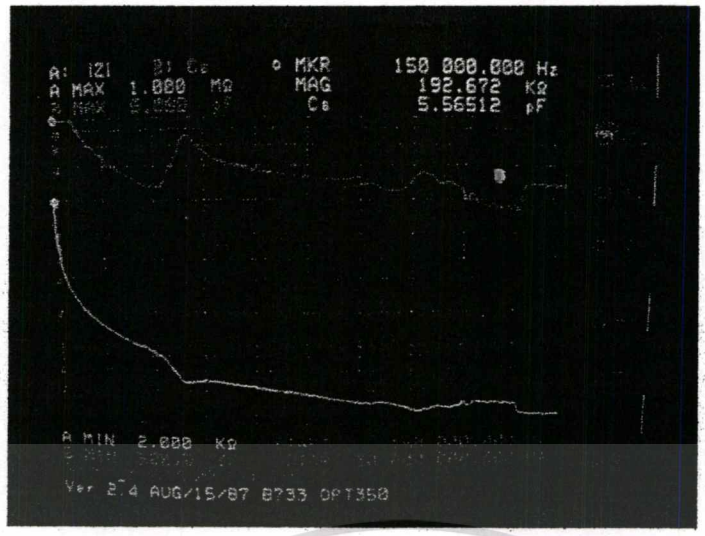
(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.25 แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 5 pF



(ก) ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

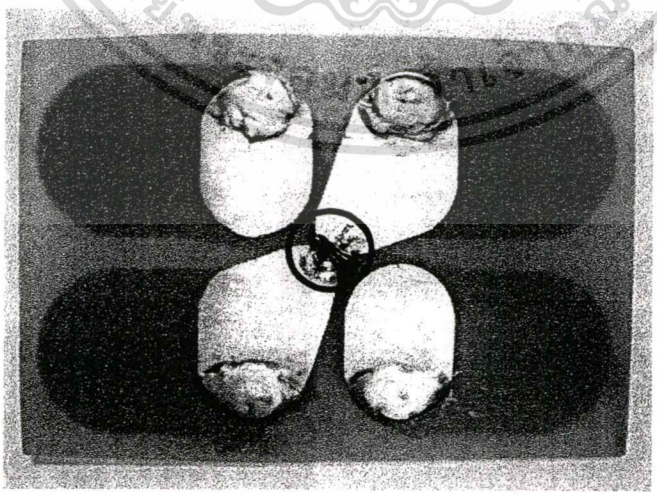


(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.26 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค 5 pF

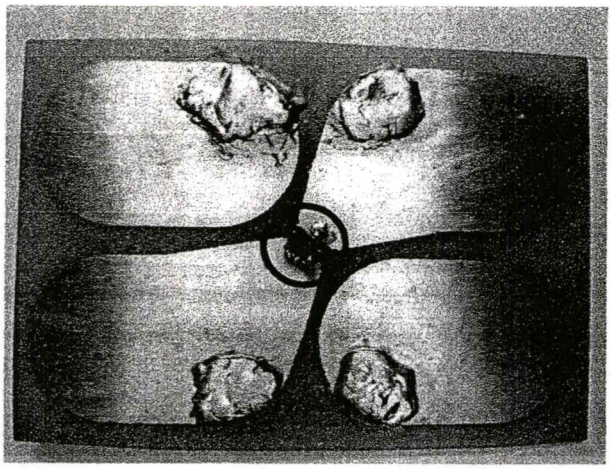
จากรูปที่ 6.24 และ 6.26 ทั้ง (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค (2 pF และ 5 pF) จะพบว่าค่าเก็บประจุรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปตามที่เราต้องการ เพื่อให้สามารถหักล้างค่าเก็บประจุแฝงได้เกือบสมบูรณ์ที่สุดนั่นเอง

ตัวเก็บประจุชนิดต่อไปคือไมก้า รูปที่ 6.27 (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง แสดงแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 2 pF และเมื่อนำไปวัดค่าเก็บประจุรวม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.28 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง ดังนี้



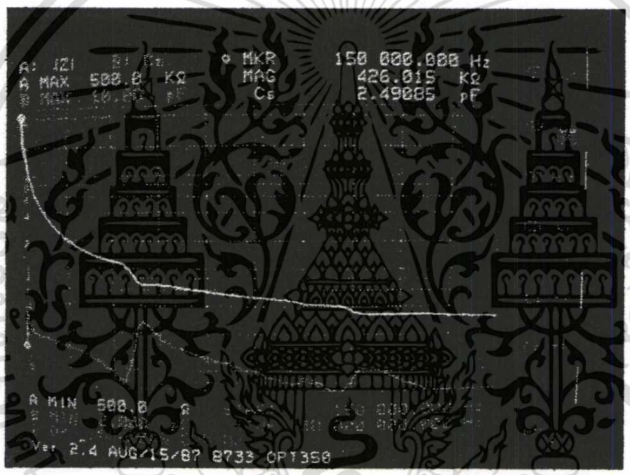
(ก) ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.27 แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 2 pF



(ก) ด้านบน

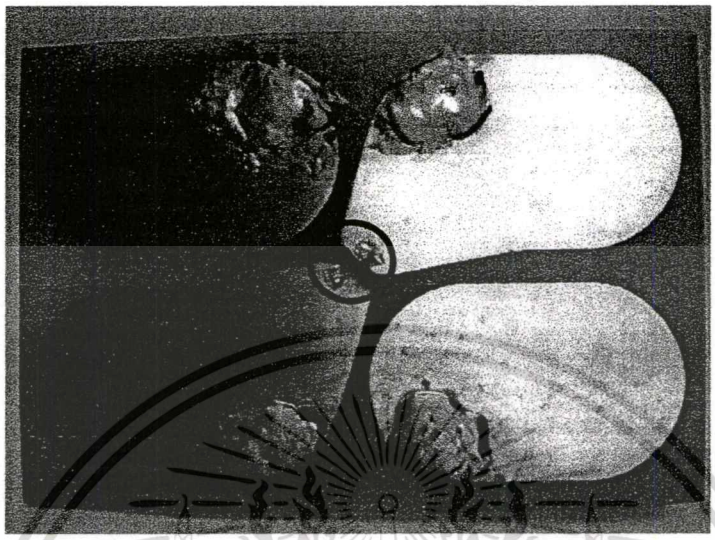


(ข) ด้านล่าง

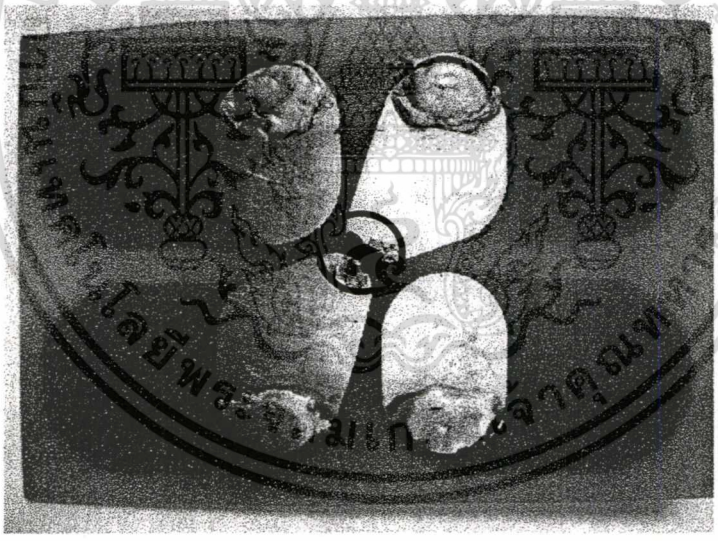
รูปที่ 6.28 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 2 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.29 (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง แสดงแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 5 pF และเมื่อนำไปวัดค่าเก็บประจุรวม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.30 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง ดังนี้



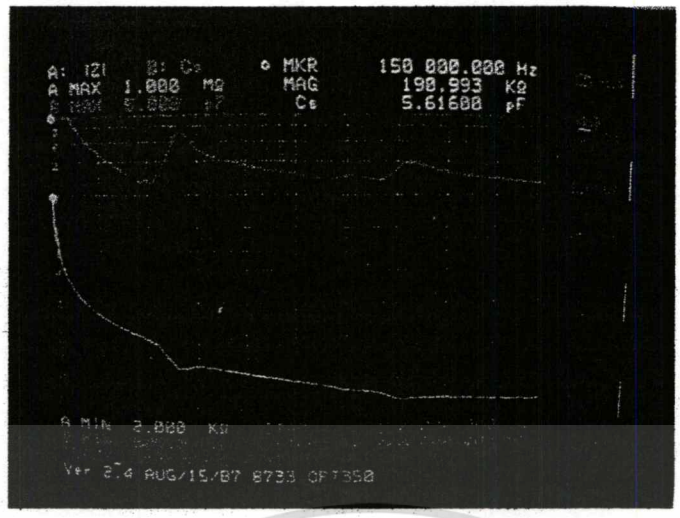
(ก) ด้านบน



(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.29 แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 5 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ด้านบน



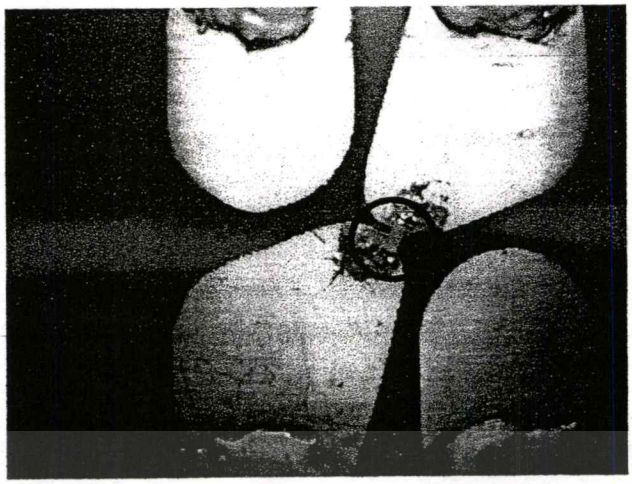
(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.30 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 5 pF

จากรูปที่ 6.28 และ 6.30 ทั้ง (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (2 pF และ 5 pF) จะพบว่าค่าเก็บประจุรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย คล้ายกับกรณีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค สามารถที่จะนำไปใช้ในการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำได้

ตัวเก็บประจุชนิดสุดท้ายคือ SMD รูปที่ 6.31 (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง แสดงแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 2 pF และเมื่อนำไปวัดค่าเก็บประจุรวม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.32 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

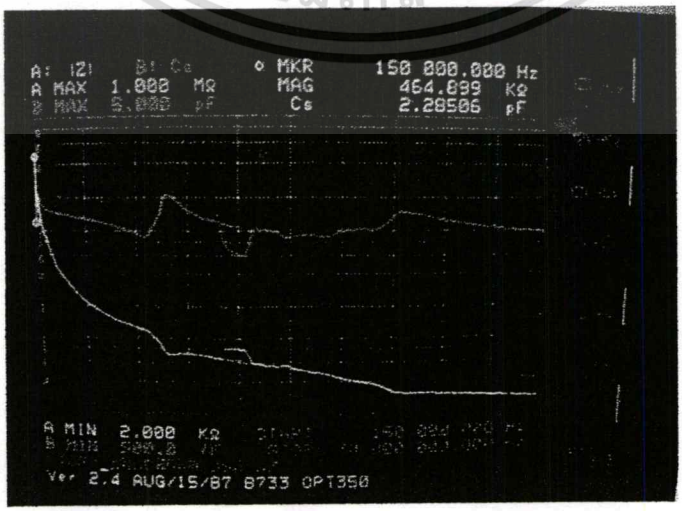


(ก) ด้านบน



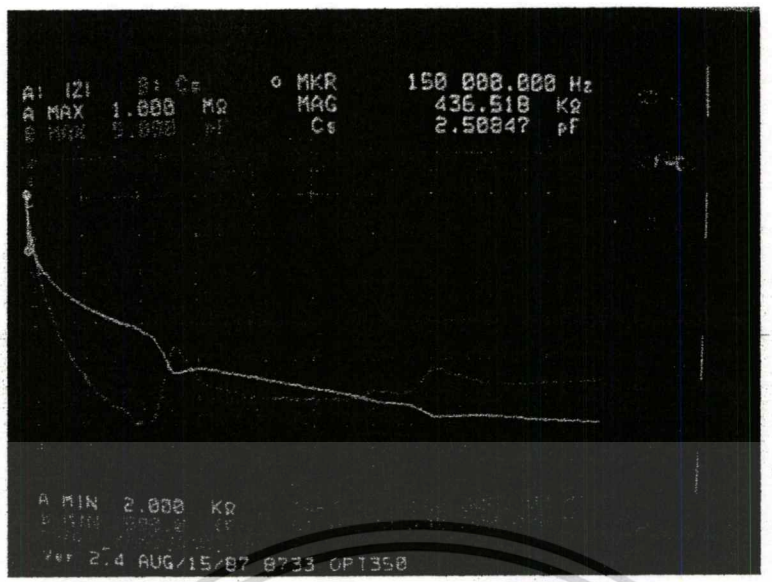
(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.31 แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 2 pF



(ก) ด้านบน

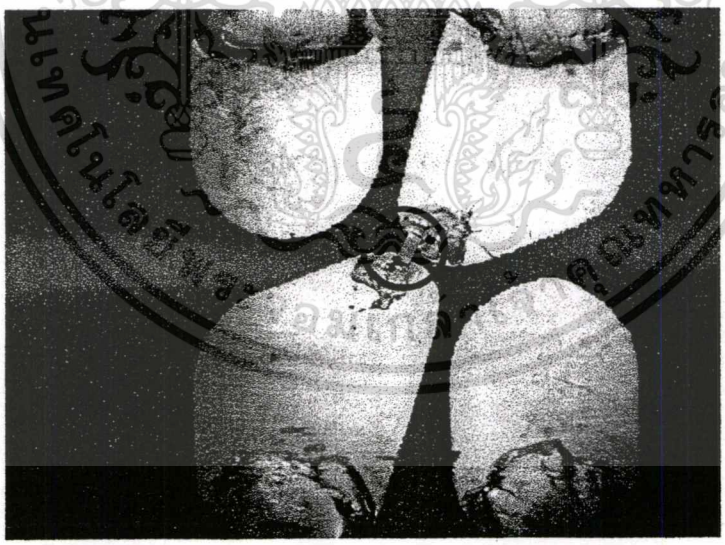
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ด้านล่าง

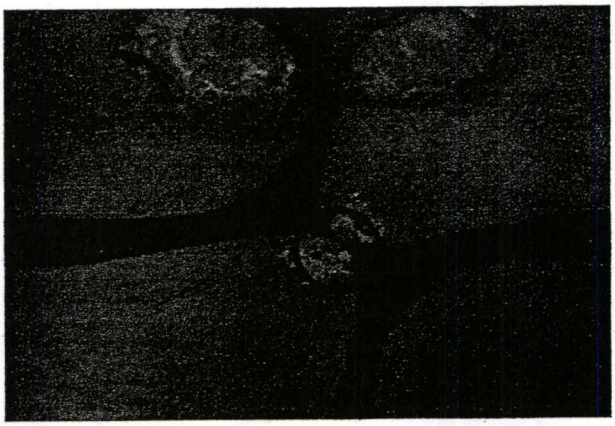
รูปที่ 6.32 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 2 pF

รูปที่ 6.33 (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง แสดงแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 5 pF และเมื่อนำไปวัดค่าเก็บประจุรวม ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.34 (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง ดังนี้



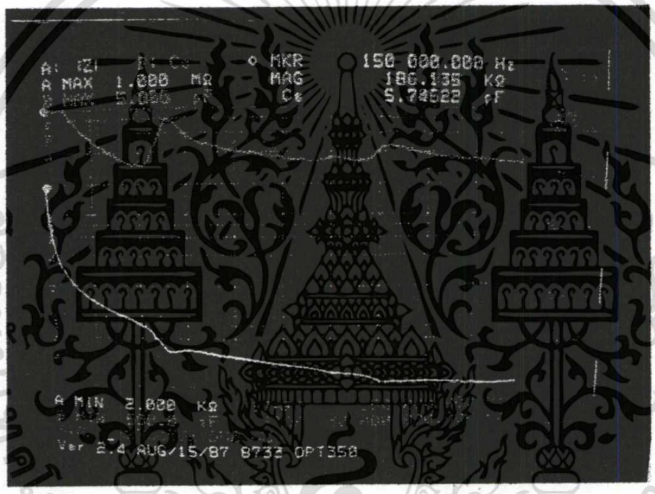
(ก) ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

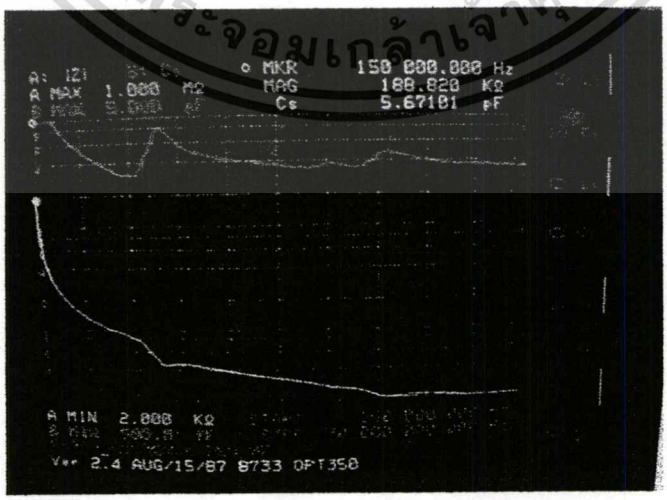


(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.33 แผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 5 pF



(ก) ด้านบน



(ข) ด้านล่าง

รูปที่ 6.34 อิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุของแผ่น PCB ที่ได้ทำการบัดกรีตัวเก็บประจุชนิด SMD 5 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.32 และ 6.34 ทั้ง (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุชนิด SMD (2 pF และ 5 pF) จะพบว่าค่าเก็บประจุรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย คล้ายกับกรณีตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้า สามารถที่จะนำไปใช้ในการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำได้

สรุปก็คือ ค่าเก็บประจุรวมทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้นของค่าเก็บประจุเพียงเล็กน้อยจากตัวเก็บประจุร่วมตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงบนตัวเหนี่ยวนำได้เกือบสมบูรณ์ที่สุด

<u>หมายเหตุ</u> กราฟอิมพีแดนซ์และค่าเก็บประจุจากเครื่องวัดอิมพีแดนซ์ จะมีลักษณะไม่ต่อเนื่องและไม่เรียบ เนื่องจากเครื่องวัดอิมพีแดนซ์มีความล้าหลัง ไม่ทันสมัย และคอนเนคเตอร์ที่นำมาจับกับแผ่น PCB ค่อนข้างหลวมและไม่สามารถนำมาสัมผัสที่ลายทองแดงได้โดยตรง ต้องนำขดลวดที่มีความยาวเหมาะสมมาสัมผัสลายทองแดงแทน ซึ่งจะส่งผลให้มีผลของค่าเหนี่ยวนำแฝงและความต้านทานแฝงเพิ่มเข้ามาเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อข้อมูลที่ได้

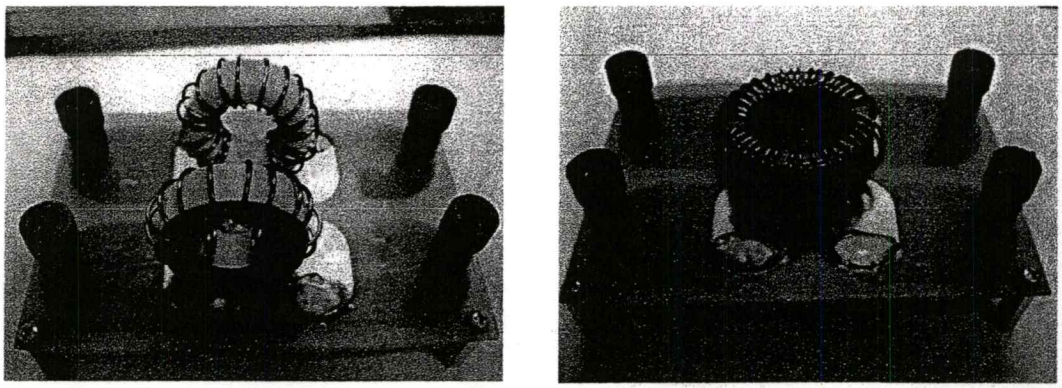
6.2 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบแผ่น PCB และนำมาลงอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำมาทำการทดสอบกับวงจรเพาเวอร์ซัพพลายและบู๊ตส์คอนเวอร์เตอร์ โดยในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบกับเพาเวอร์ซัพพลาย คุณสมบัติของเพาเวอร์ซัพพลายได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ซึ่งสามารถจ่ายโหลดสูงสุดได้ 300 Watt โดยโหลดที่เราจะนำมาทดสอบจะใช้ตัวต้านทานชนิดกระเบื้องมาทำการทดสอบ โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีด้วยกัน คือ การทดสอบวงจรกรองเฉพาะตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.2.1 กรณีต่อไปคือการทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลต่างซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.2.2 และกรณีสุดท้ายคือการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.2.3

6.2.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้วงจรกรองที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เพื่อดูผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในกรณีที่มีแต่ตัวเหนี่ยวนำในวงจร โดยวงจรกรองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก และแบบแกนร่วม แสดงดังรูปที่ 6.35 (ก) และ (ข) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

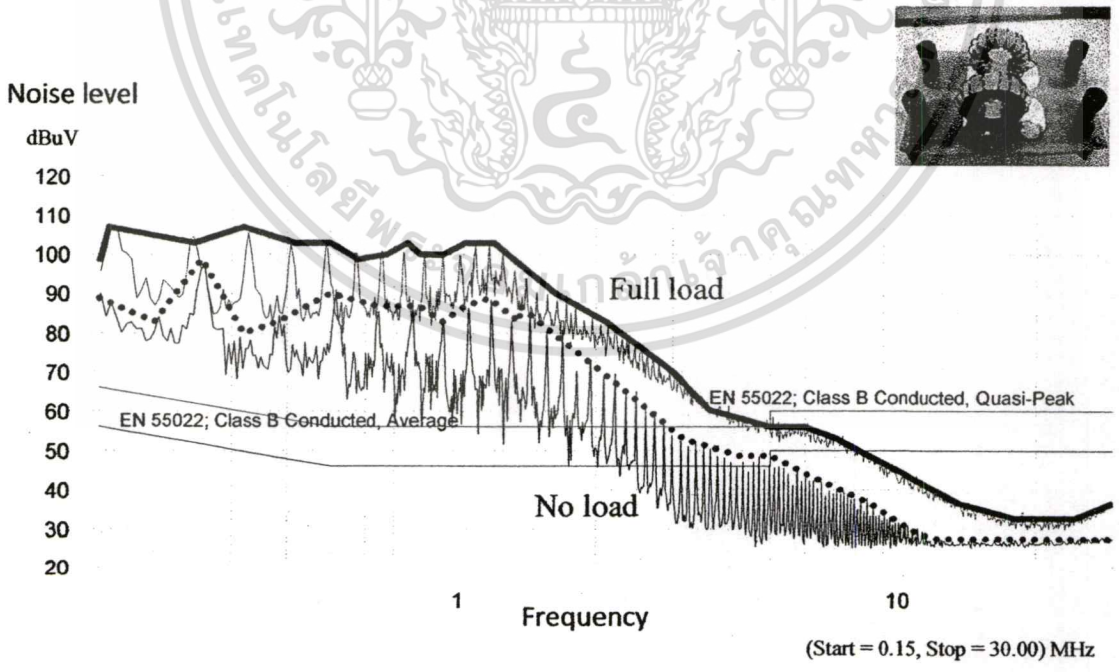
รูปที่ 6.35 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

(ก) ชนิดแกนแยกกัน (ข) ชนิดแกนร่วมกัน

ทำการทดสอบโดยให้เพาเวอร์ซัพพลายจ่ายพลังงานที่ no load และ full load ขณะที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคหักล้าง และมีการใช้เทคนิคการหักล้างแล้ว ซึ่งสามารถย้อนกลับไปดูที่ตาราง 6.4 ได้ ซึ่งจะแสดงการทดสอบแบ่งออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

6.2.1.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง



รูปที่ 6.36 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

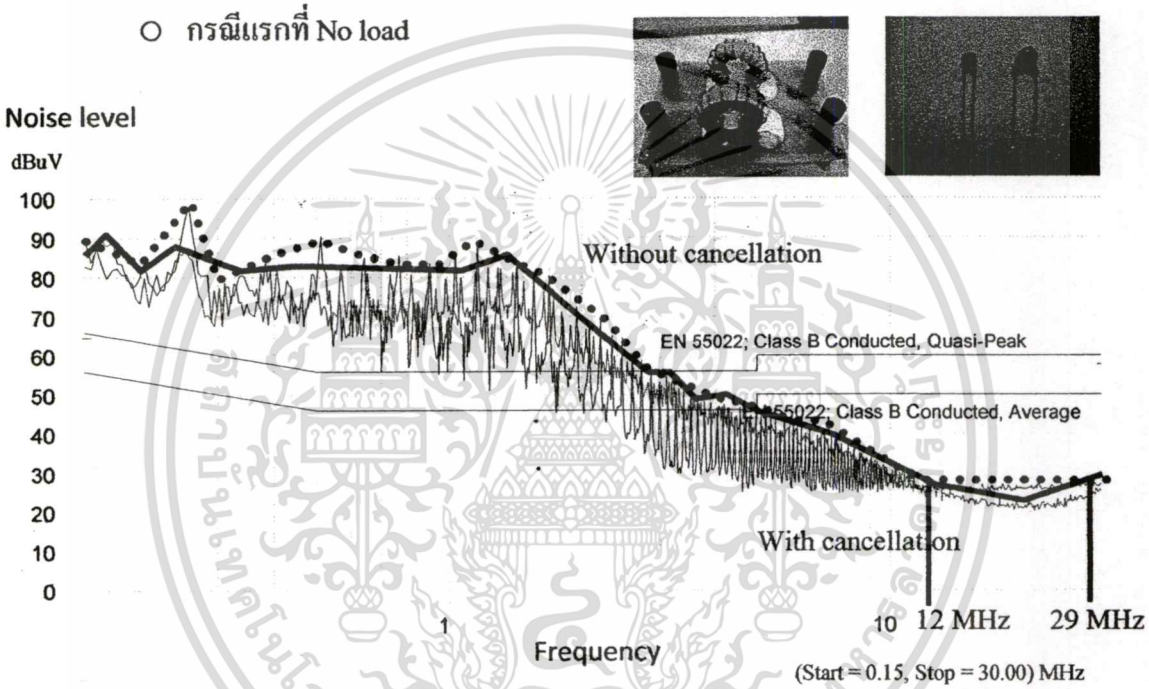
กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.36 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นโดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่ากรณีที่ทำการจ่ายพลังงานเต็มพิกัดหรือที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าที่ no load ตลอดย่านความถี่ที่ทำการทดสอบ ซึ่งเป็นเงื่อนไขปกติของสัญญาณรบกวนอยู่ที่แล้วเมื่อทำการจ่ายพลังงานมากหรือจ่ายพลังงานจนเต็มพิกัด จะสร้างสัญญาณรบกวนออกมามากกว่ากรณีที่จ่ายพลังงานน้อยกว่า

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1

○ กรณีแรกที่ No load

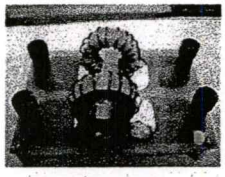


รูปที่ 6.37 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแคนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

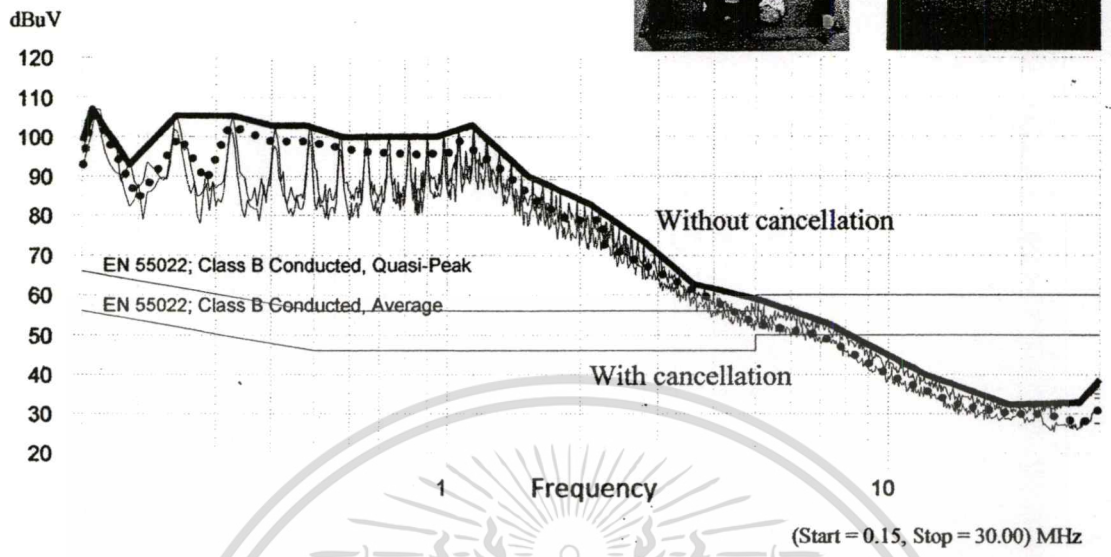
จากรูปที่ 6.37 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงบางช่วงความถี่ ตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 12 MHZ ถึงที่ 29 MHz จะมีอัตราการลดที่ดีกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

○ กรณีสองที่ Full load







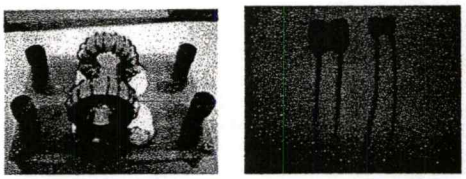
รูปที่ 6.38 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

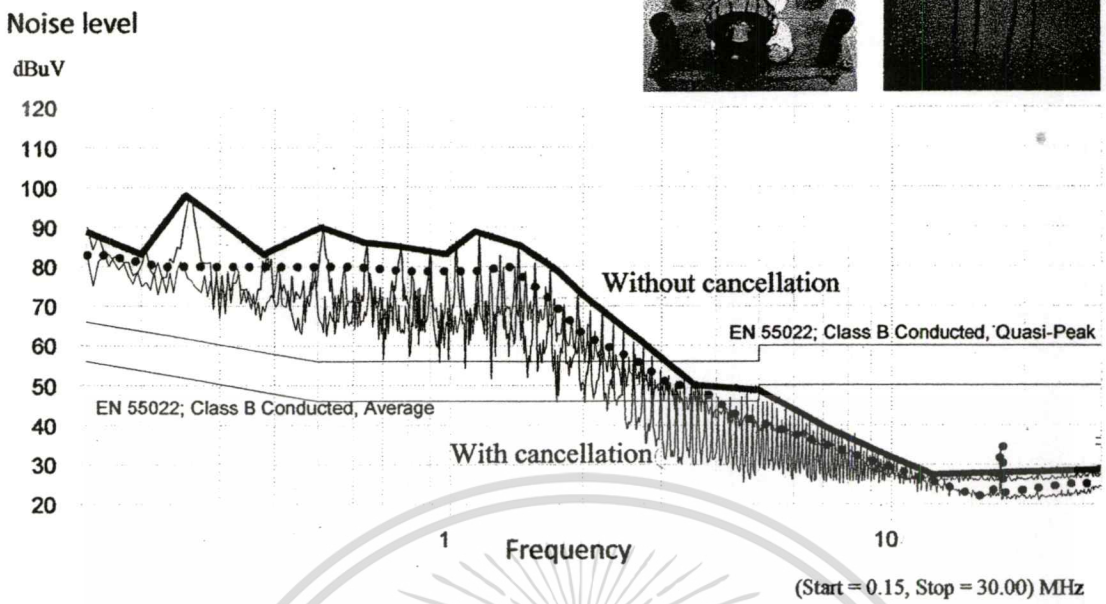
จากรูปที่ 6.38 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยตลอดช่วงความถี่ทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2

○ กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



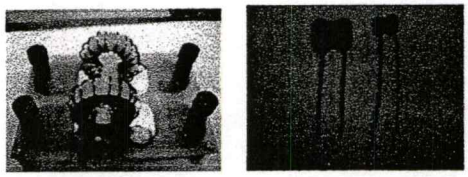


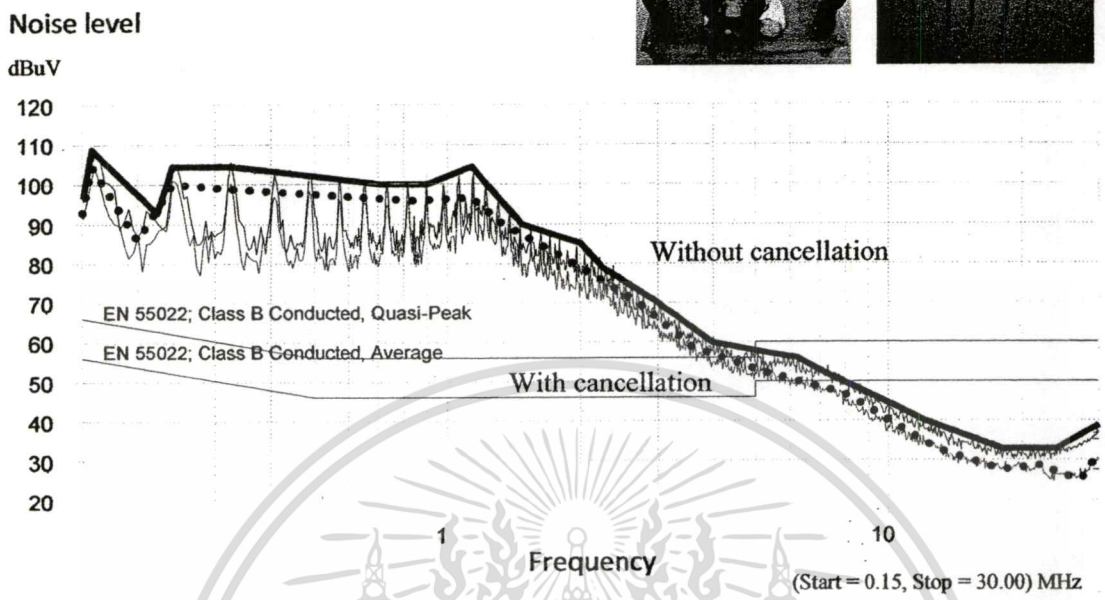
รูปที่ 6.39 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.39 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยตลอดช่วงความถี่ทดสอบ แต่มีระดับของสัญญาณรบกวนลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการหักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเล็กน้อย แต่ที่ความถี่ประมาณ 19 MHz จะมีสัญญาณรบกวนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามารบกวนผลการทดสอบ ทำให้ที่ความถี่นั้นเกิดสัญญาณรบกวน spike ขึ้นเล็กน้อยแล้วกลับมาอยู่ในระดับเดิมหลังจากนั้น

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



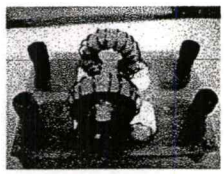


รูปที่ 6.40 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

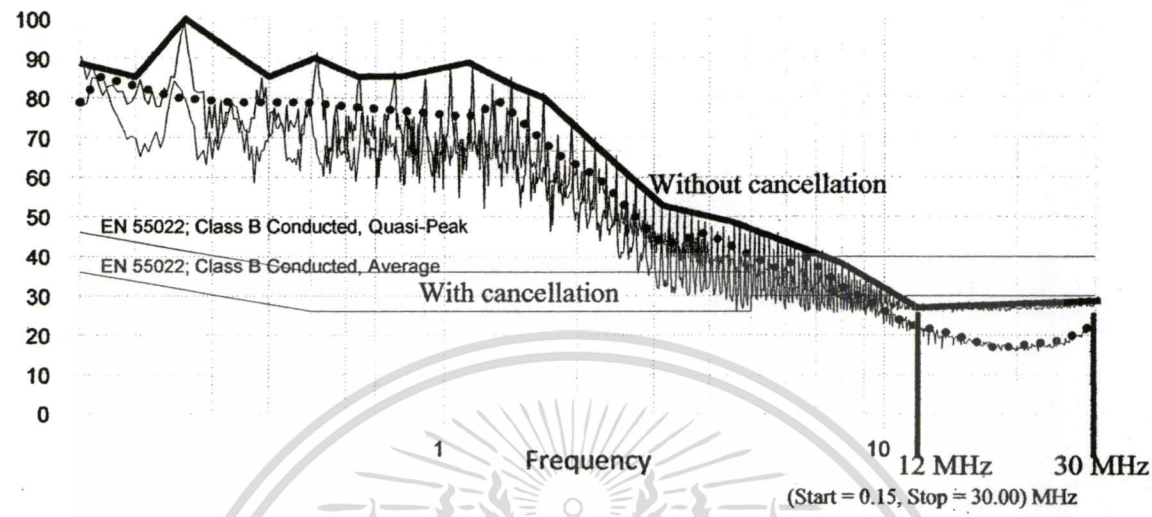
จากรูปที่ 6.40 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยตลอดช่วงความถี่ทดสอบ แต่มีระดับของสัญญาณรบกวนลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการหักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเล็กน้อยเหมือนกันกับกรณีที่ no load เช่นกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





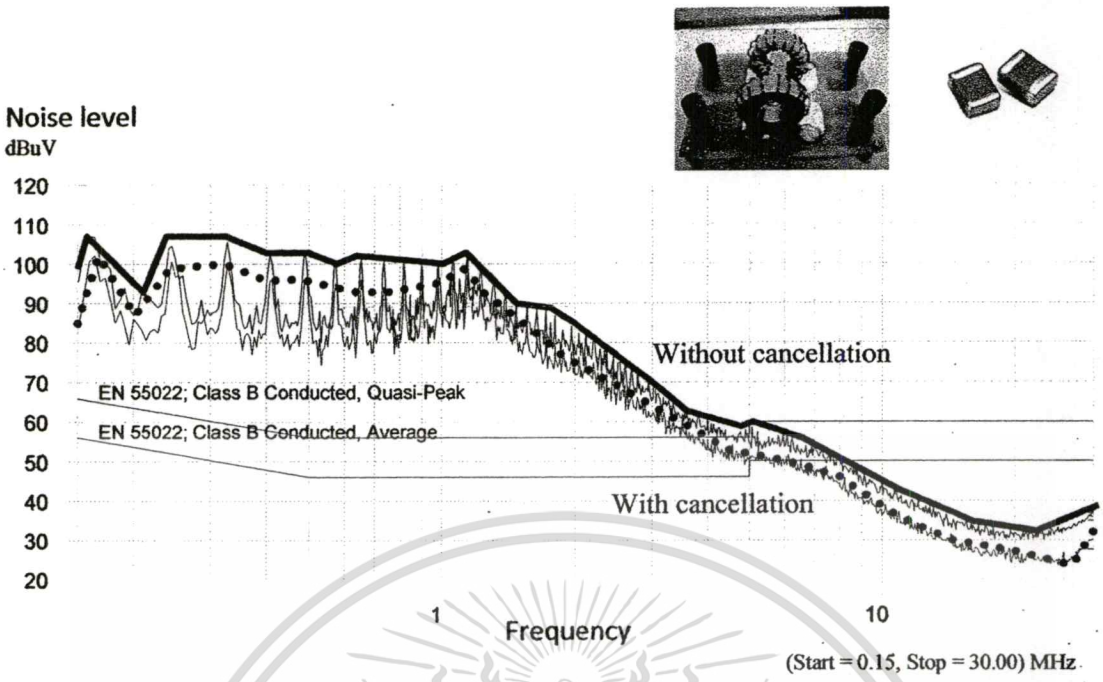


รูปที่ 6.41 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.41 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ แต่มีระดับของสัญญาณรบกวนลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการหักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้าเล็กน้อย ยกเว้นที่ความถี่สูงตั้งแต่ที่ความถี่ประมาณ 12 MHZ ถึง 30 MHz จะมีอัตรการลดทอนสูงกว่ากรณีใช้ตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ มาก

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



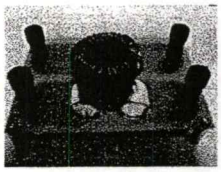
รูปที่ 6.42 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

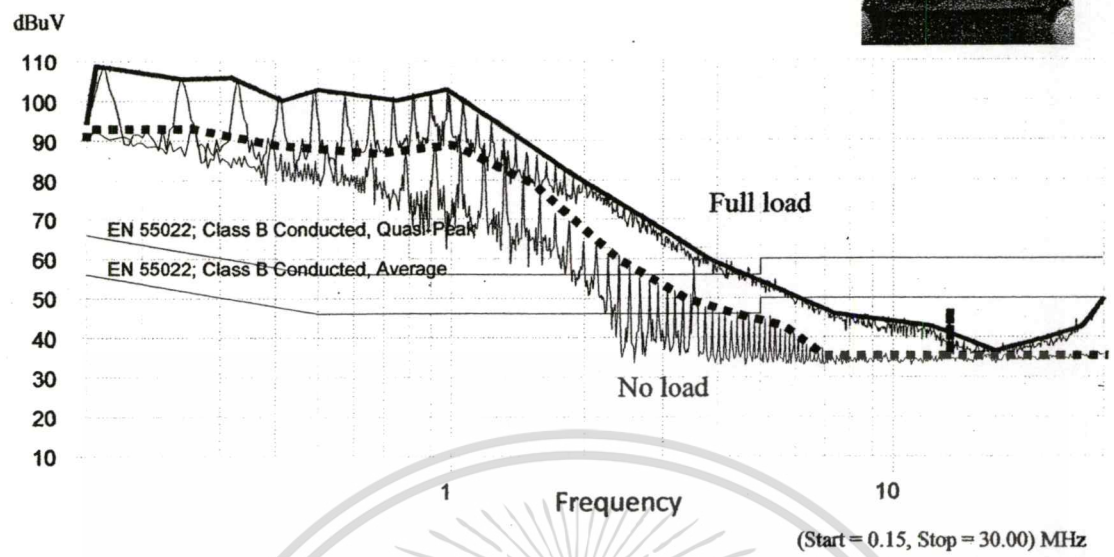
จากรูปที่ 6.42 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ แต่มีระดับของสัญญาณรบกวนลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการหักล้างด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้า

6.2.1.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



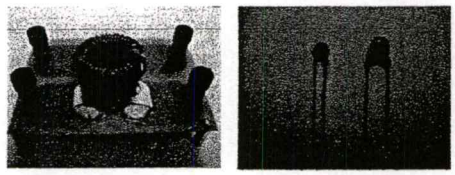


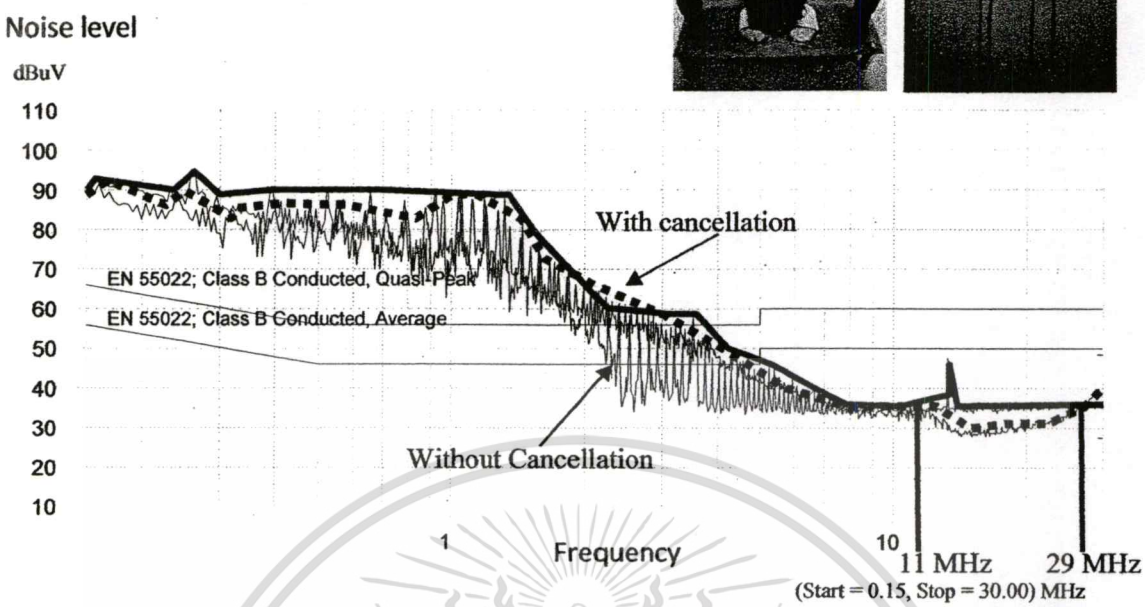
รูปที่ 6.43 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

จากรูปที่ 6.43 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม โดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่ากรณีที่ทำการจ่ายพลังงานเต็มพิกัดหรือที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าที่ no load ตลอดย่านความถี่ที่ทำการทดสอบ เหมือนกันกับกรณีตัวเหนี่ยวนำแกนแยก

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



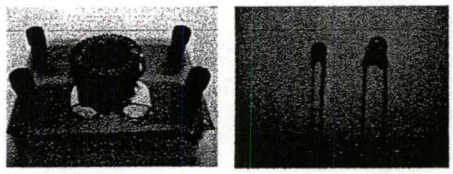


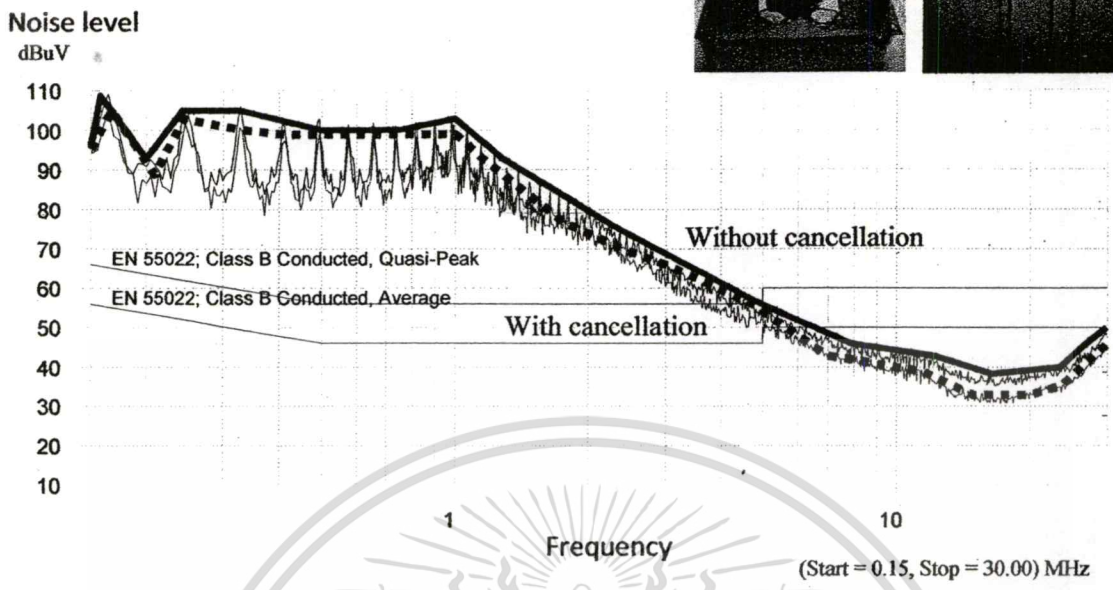
รูปที่ 6.44 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.44 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงบางช่วงความถี่ โดยที่ความถี่สูงประมาณ 11 MHZ ถึงที่ 29 MHz จะมีอัตราการลดที่ดีกว่าเล็กน้อย แต่ที่ความถี่สูงกว่า 29 MHz จะมีอัตราการลดทอนแย่กว่ากรณีที่ยังไม่ได้หักล้าง ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้ทดสอบก็เป็นไปได้ หรือผลจากค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นเนื่องจากเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



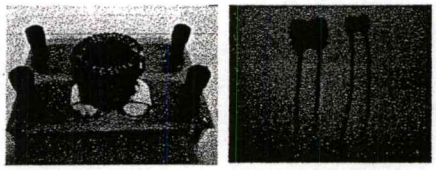


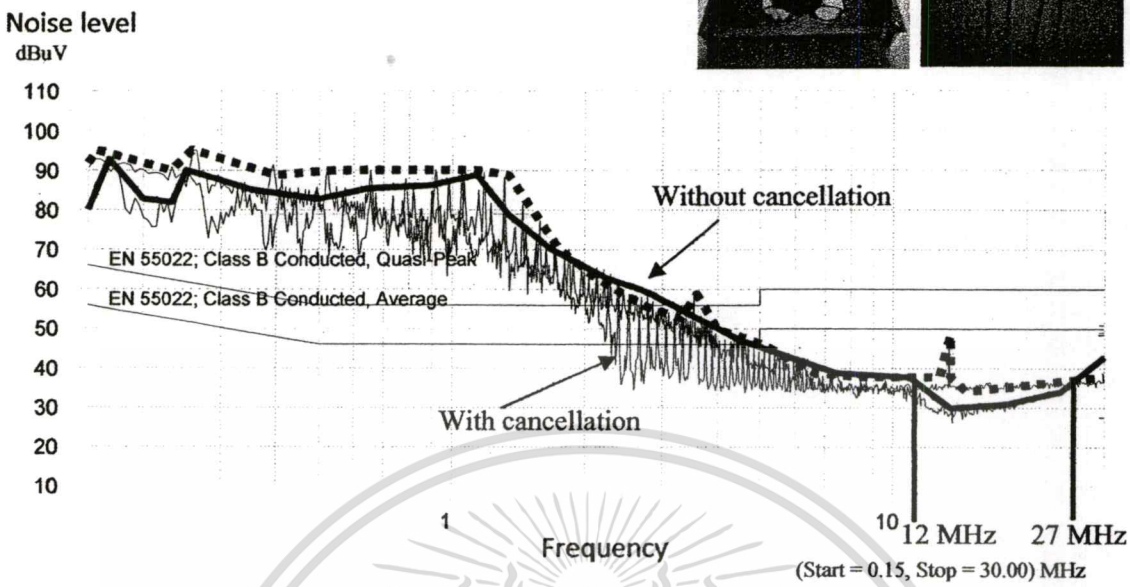
รูปที่ 6.45 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.45 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยตลอดช่วงความถี่ทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



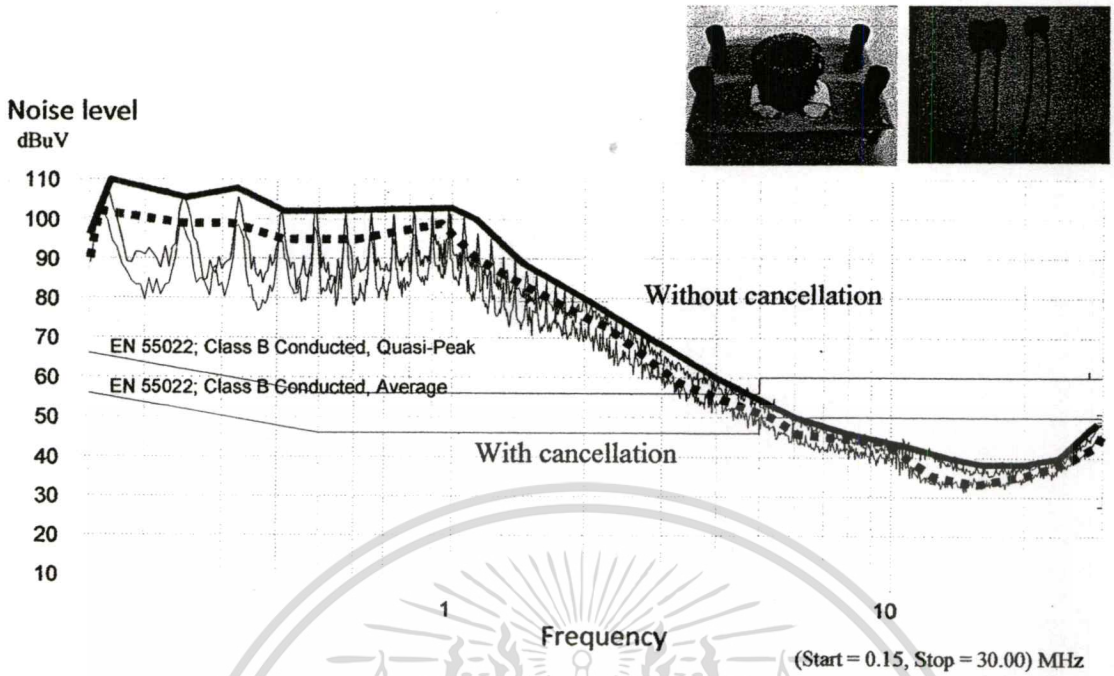


รูปที่ 6.46 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม
เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.46 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยบางช่วงความถี่ทดสอบ แต่ที่ความถี่สูงประมาณ 12 MHz ถึง 27 MHz จะมีอัตราการลดทอนดีกว่ากรณีที่ยังไม่ได้หักล้าง แต่ที่ความถี่สูงกว่านั้นอัตราการลดทอนจะแย่ลง ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุที่นำมาใช้

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

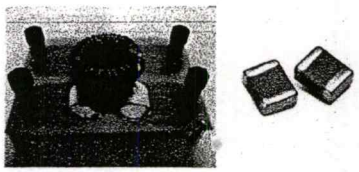


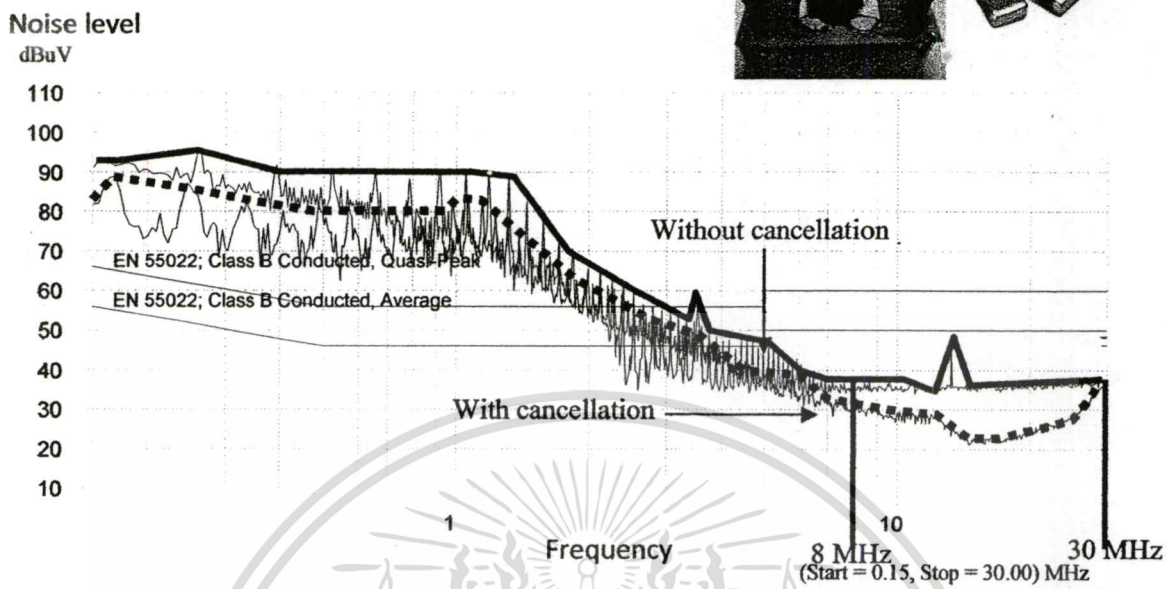
รูปที่ 6.47 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.47 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยบางตลอดช่วงความถี่ทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
    - กรณีแรกที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



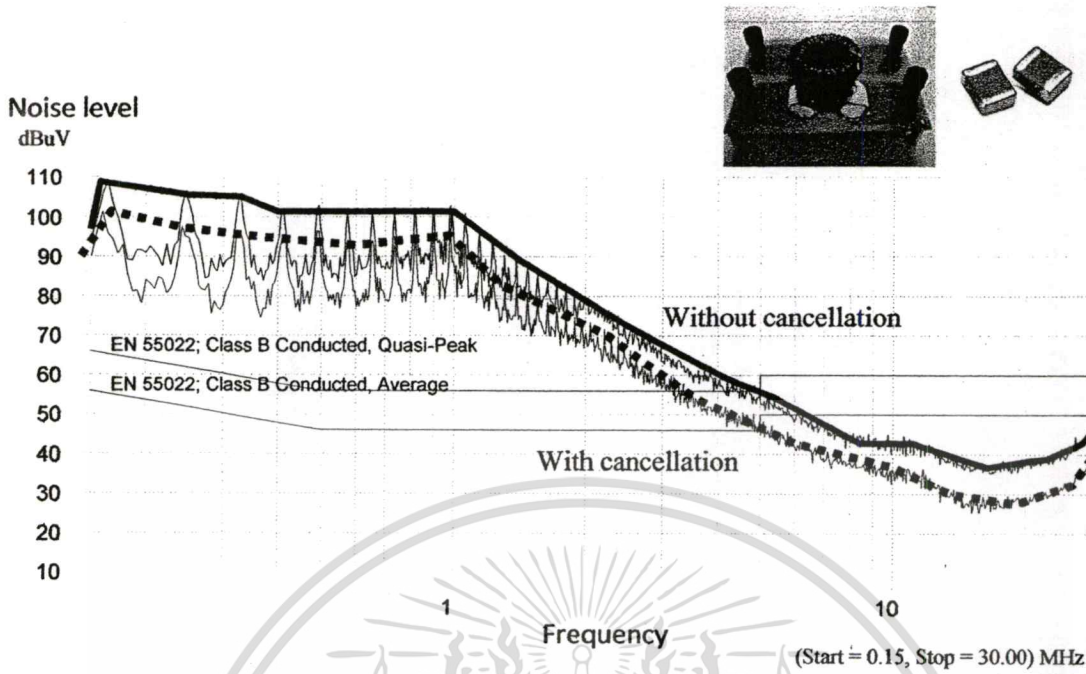


รูปที่ 6.48 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.48 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ และมีอัตราการลดทอนมากกว่ากรณีตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะที่ความถี่สูงตั้งแต่ 8 MHz ถึง 30 MHz จะมีอัตราการลดทอนสูงสุดประมาณ 10 dBuV

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.49 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วม เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

จากรูปที่ 6.49 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ และมีอัตราการลดทอนมากกว่ากรณีตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ

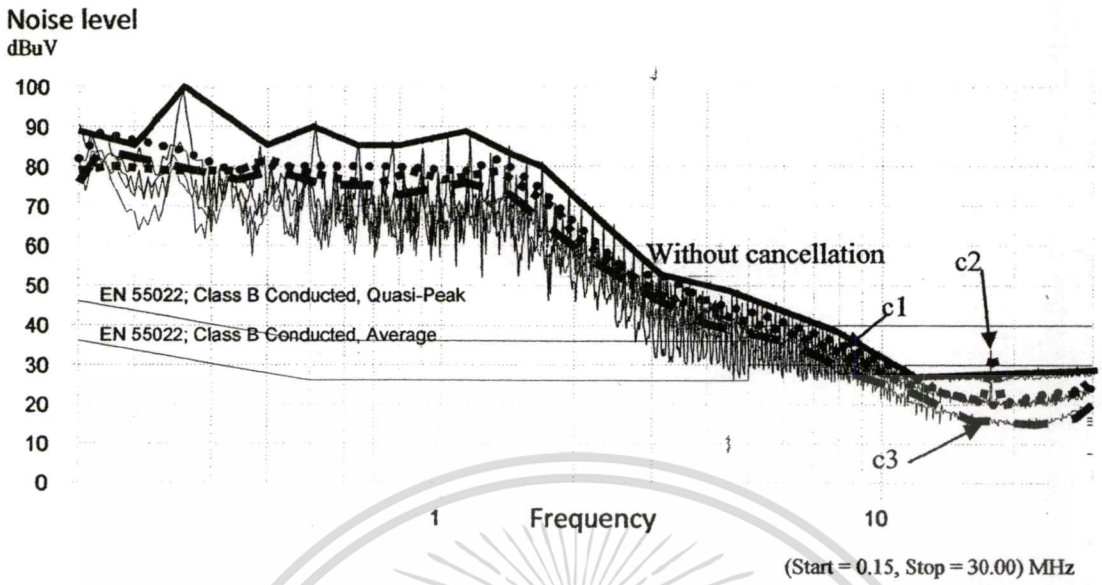
6.2.1.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน

ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด โดยจะแบ่งออกมาเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน และตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

1. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

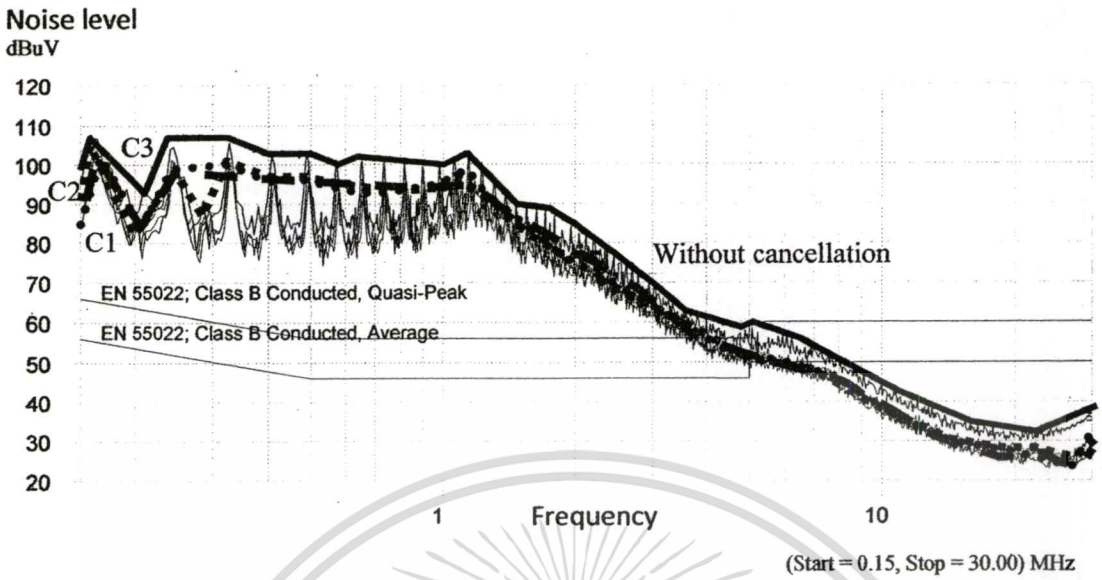


รูปที่ 6.50 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.50 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด (เส้นด้านล่างสุด) และรองลงมาก็คือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (เส้นปะจุดเหลี่ยม) และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุด คือ เซรามิค (เส้นปะจุดกลม)

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



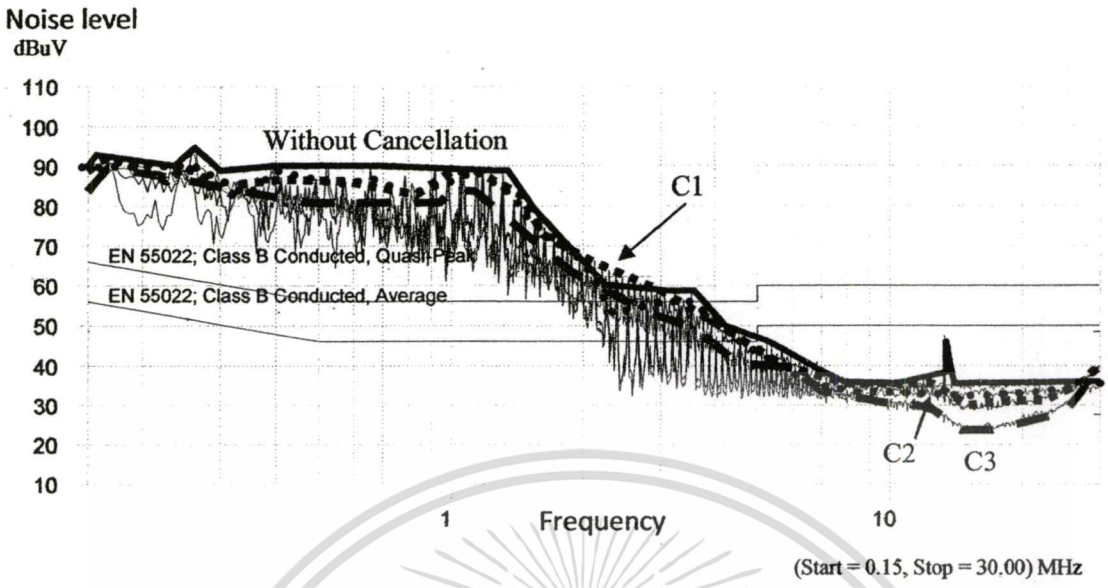
รูปที่ 6.51 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.51 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการลดทอนใกล้เคียงกันมากจนไม่สามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะหมายความว่าที่ full load ในกรณีนี้เทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเมื่อมีการนำตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดมาใช้จะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันเลย

2. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

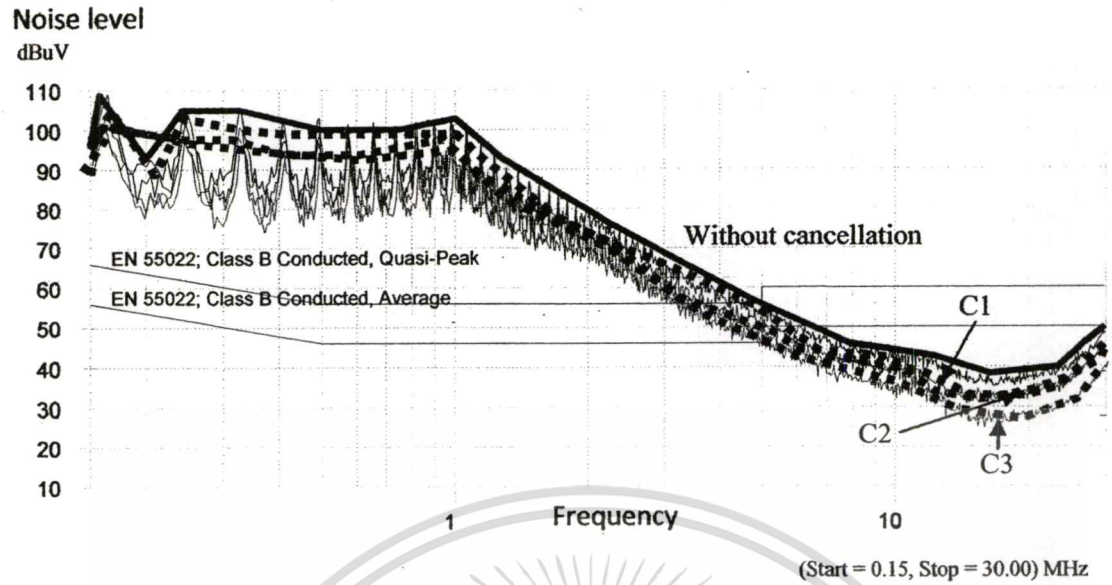


รูปที่ 6.52 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.52 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด (เส้นด้านล่างสุด) และรองลงมาก็คือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (เส้นปะจุดเหลี่ยม) และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุด คือ เซรามิค (เส้นปะจุดกลม) ซึ่งเหมือนกันกับกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



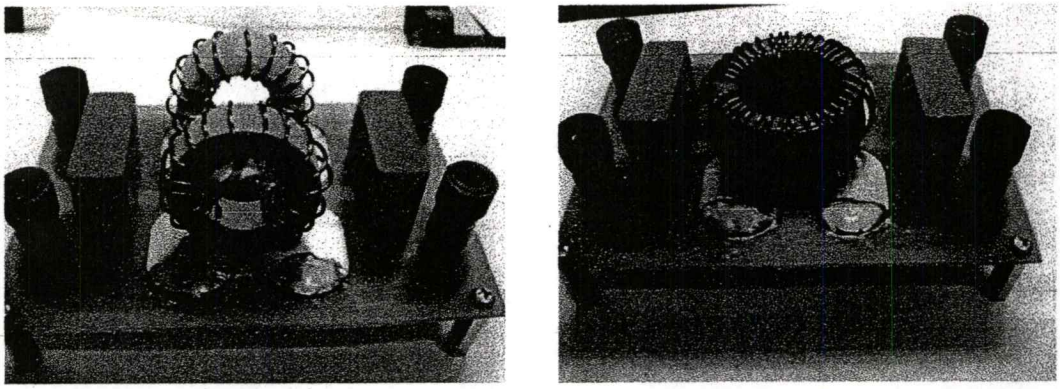
รูปที่ 6.53 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.53 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด (เส้นด้านล่างสุด) และตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้าให้อัตราการลดทอนที่ใกล้เคียงกันมาก

6.2.2 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง (Differential Mode Filter)

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้วงจรกรองที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง เพื่อดูผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในกรณีที่มีตัวเหนี่ยวนำในวงจรร่วมกับตัวเก็บประจุ Cx โดยวงจรกรองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก และแบบแกนร่วม แสดงดังรูปที่ 6.54 (ก) และ (ข) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

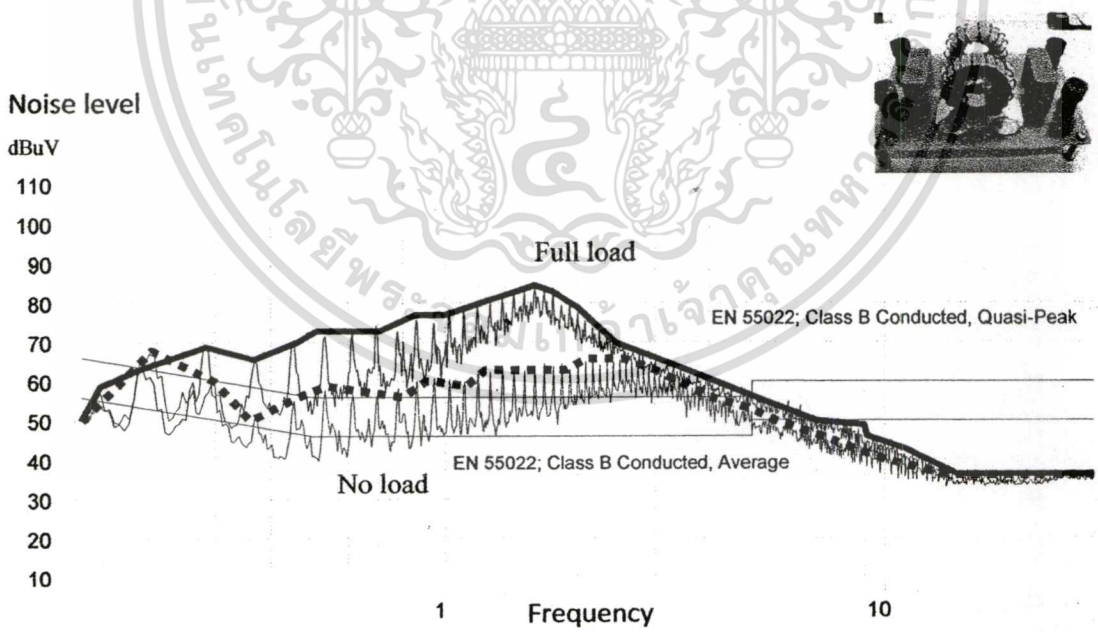
รูปที่ 6.54 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง

(ก) ชนิดแกนแยกกัน (ข) ชนิดแกนร่วมกัน

ทำการทดสอบโดยให้เพาเวอร์ซัพพลายจ่ายพลังงานที่ no load และ full load ขณะที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคหักล้าง และมีการใช้เทคนิคการหักล้างแล้ว ซึ่งสามารถย้อนกลับไปดูที่ตาราง 6.4 ได้ ซึ่งจะแสดงการทดสอบแบ่งออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

6.2.2.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง



รูปที่ 6.55 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง

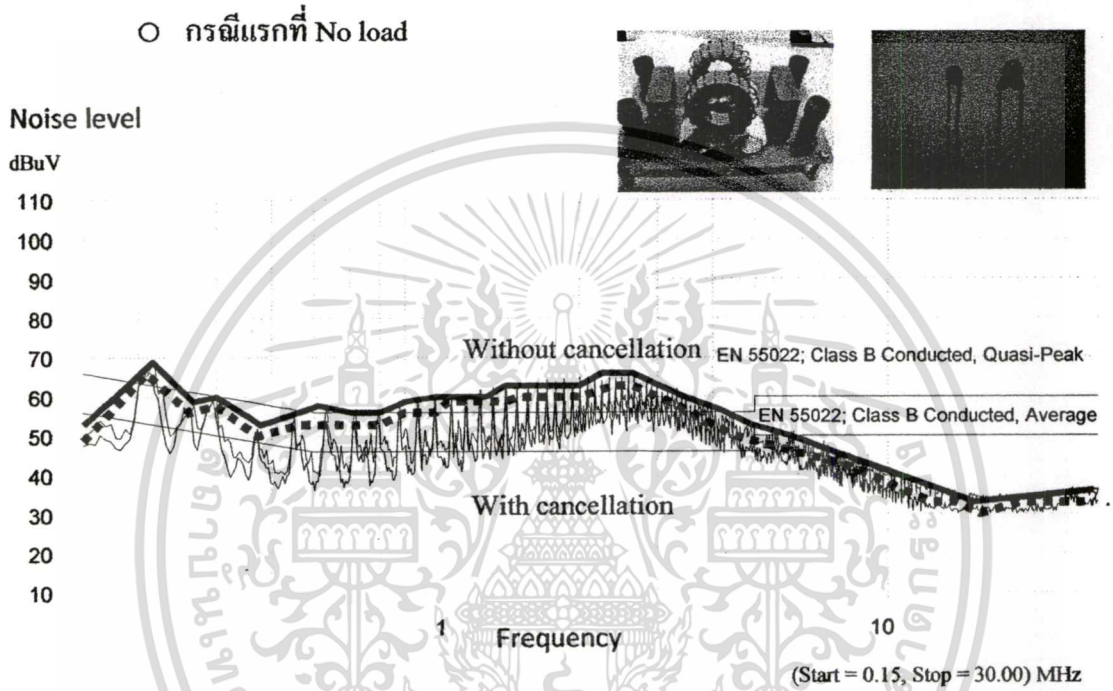
กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.55 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง โดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่ากรณีที่ทำการจ่ายพลังงานเต็มพิกัดหรือที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าที่ no load ตลอดเกือบย่านความถี่ที่ทำการทดสอบ ยกเว้นบริเวณที่ความถี่สูงจะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1

  ○ กรณีแรกที่ No load

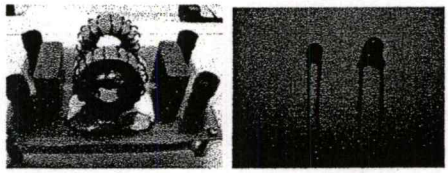


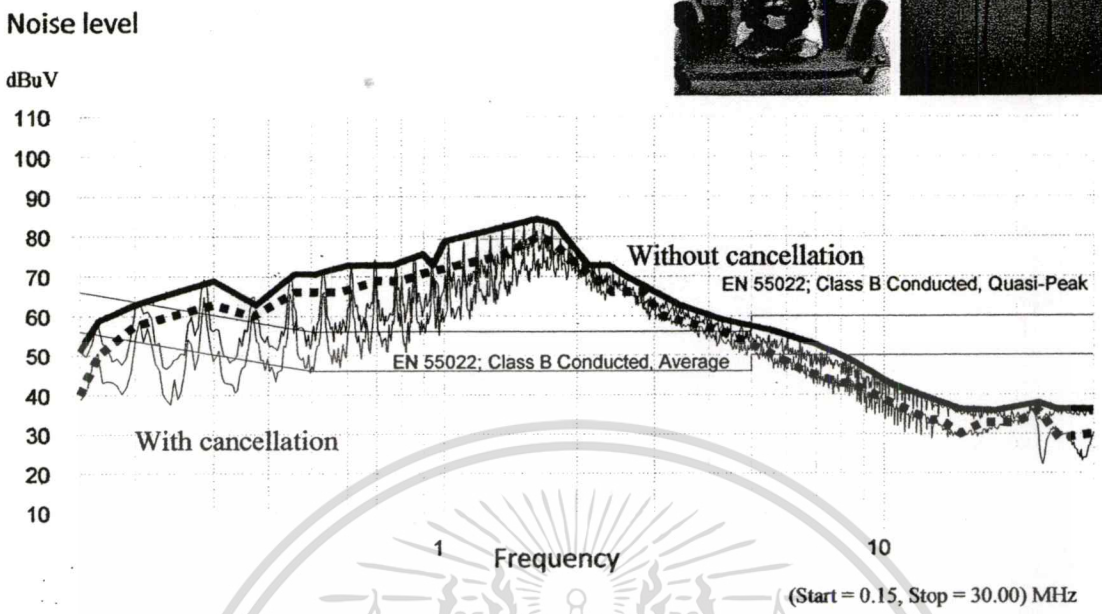
รูปที่ 6.56 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.56 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



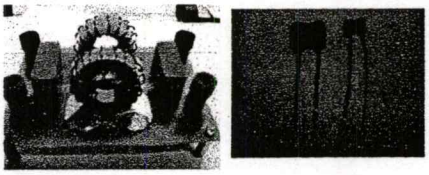


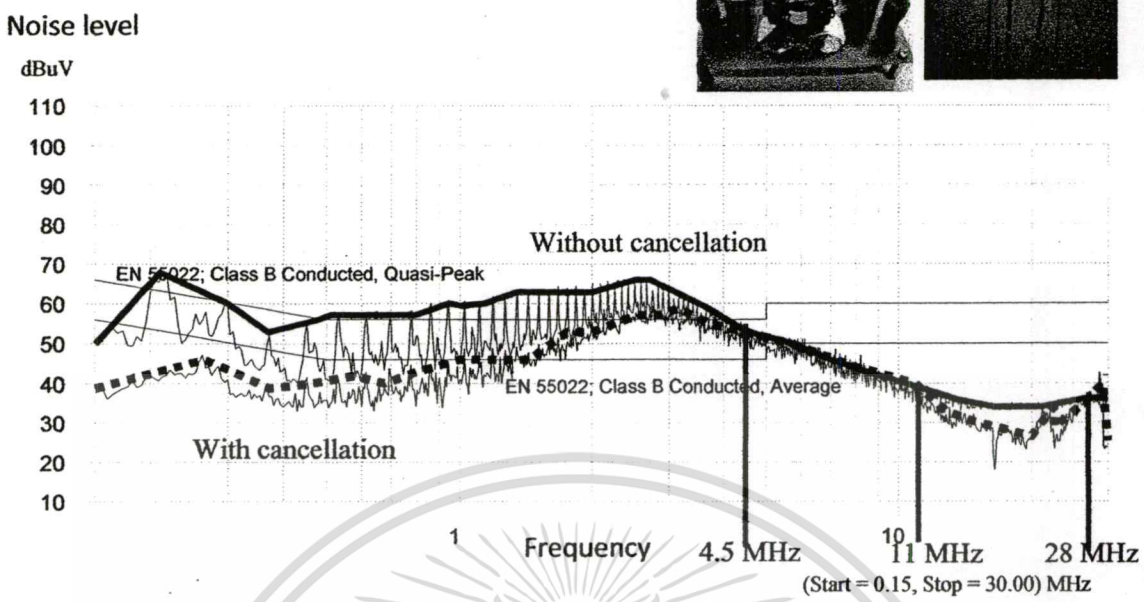
รูปที่ 6.57 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.57 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ และจะเกิดการแกว่งของสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงชั่วขณะ อาจจะเป็นเนื่องมากจากการรบกวนจากภายนอก

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - ○ กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



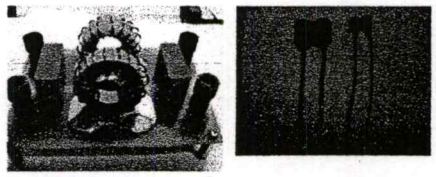


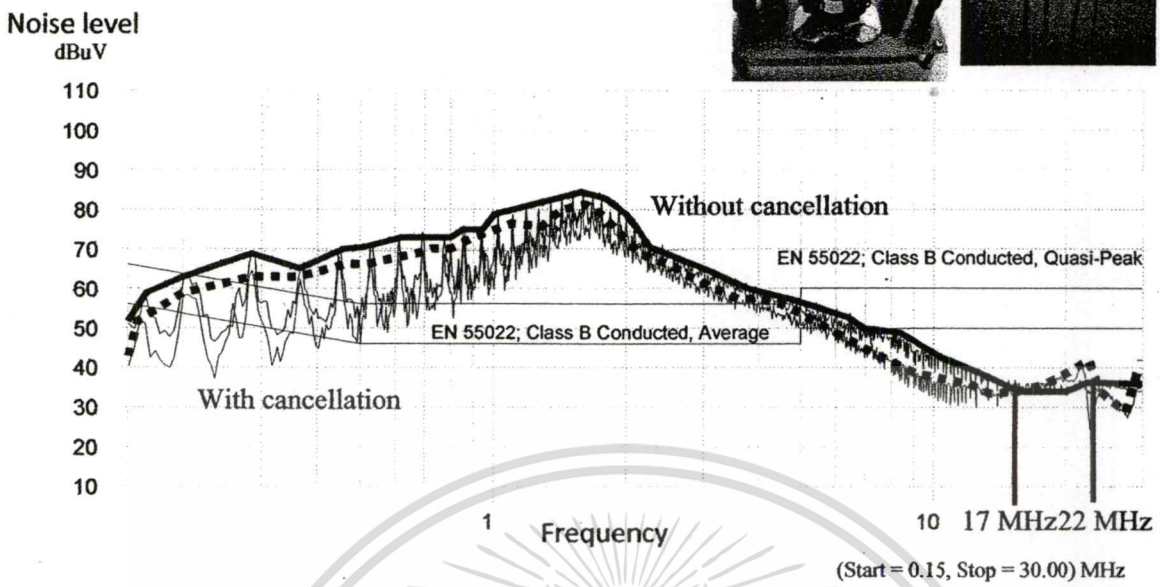
รูปที่ 6.58 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.58 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงมากในช่วงความถี่ต่ำตั้งแต่ 150 kHz ถึง 4.5 MHz และช่วงความถี่ตั้งแต่ 4.5 MHz ถึง 11 MHz จะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกัน และช่วงความถี่สูงตั้งแต่ 11MHz ถึง 28 MHz จะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่ากรณียังไม่ได้ใช้การหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และหลังจากความถี่ 28 MHz เป็นต้นไปจะเกิดการแกว่งของสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงชั่วขณะ อาจจะเป็นเนื่องมากจากการรบกวนจากภายนอกที่มีสัญญาณรบกวนสูงมารบกวน

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



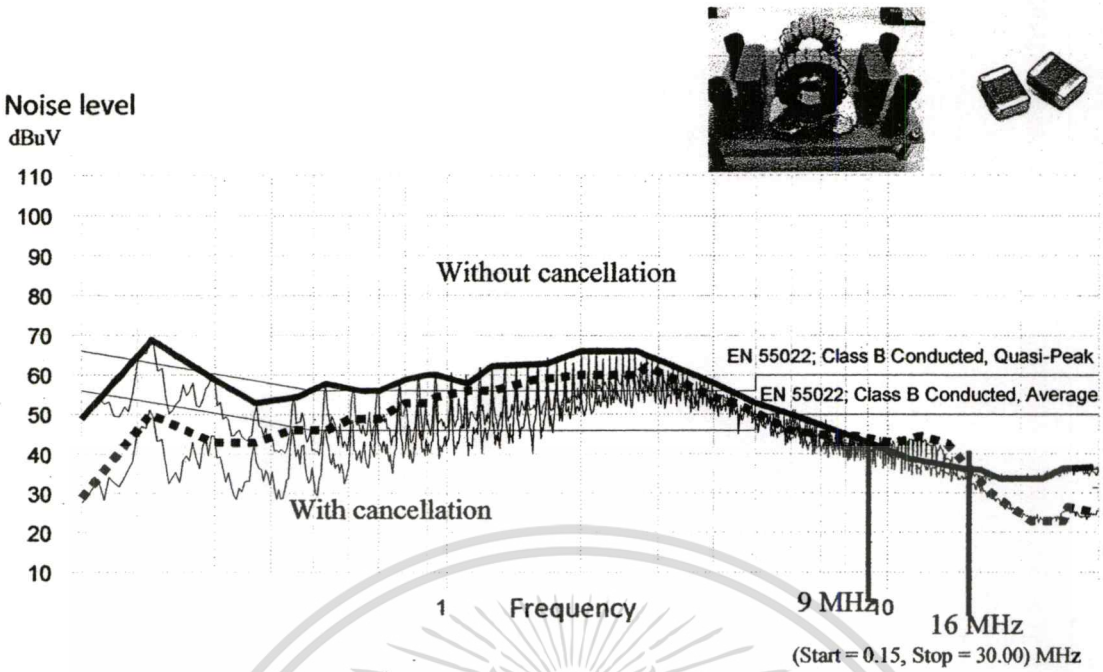


รูปที่ 6.59 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.59 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงเล็กน้อยในช่วงความถี่ต่ำตั้งแต่ 150 kHz ถึง 17 MHz และช่วงความถี่ตั้งแต่ 17 MHz ถึง 22 MHz จะมีระดับของสัญญาณรบกวนของวงจรกรองที่ใช้เทคนิคการหักล้างแย่กว่ายังไม่ได้หักล้าง และช่วงความถี่ตั้งแต่ 22 MHz ถึง 29 MHz จะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่ากรณียังไม่ได้ใช้การหักล้างค่าเก็บประจุแฝง แต่ถ้าพิจารณาระดับสัญญาณรบกวนตั้งแต่ 17 MHz เป็นต้นไปที่มีระดับไม่แน่นอน อาจจะเป็นเนื่องมากจากการรบกวนจากภายนอกที่มีสัญญาณรบกวนสูงมารบกวน ซึ่งได้ทำการทดสอบซ้ำและผลที่ได้ก็เหมือนเดิม ซึ่งไม่สามารถหาแหล่งของสัญญาณรบกวนดังกล่าวได้

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

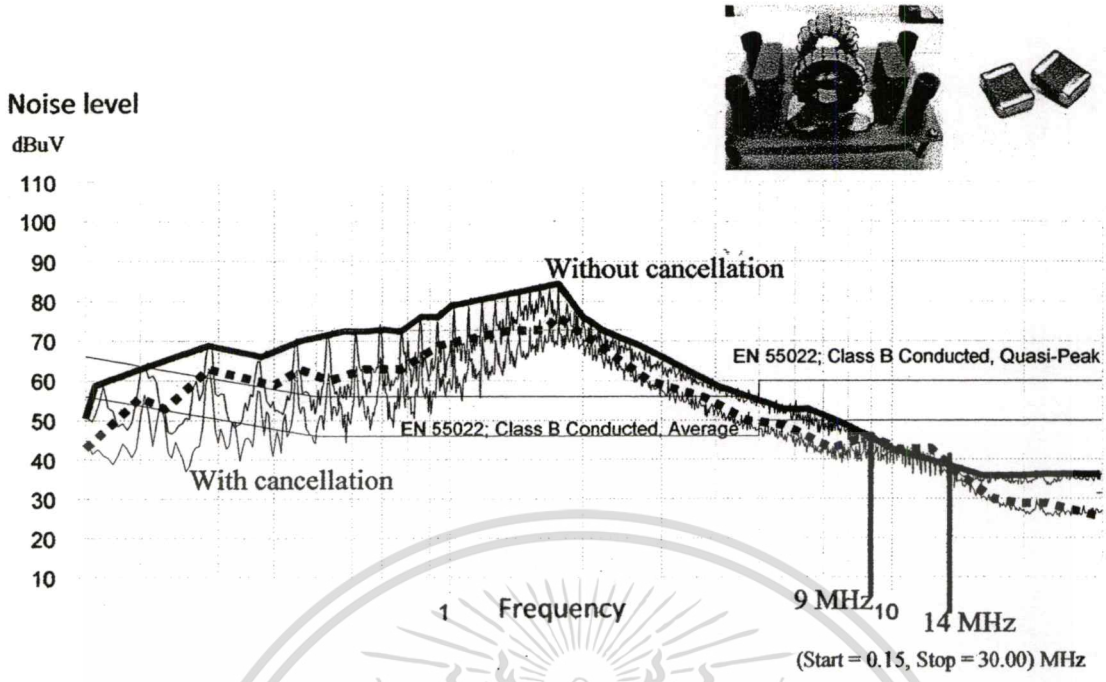


รูปที่ 6.60 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.60 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงมากที่ความถี่ต่ำ และจะใกล้เคียงที่ช่วงความถี่ประมาณ 1MHz ถึง 9 MHz และที่ความถี่ 9 MHz จนถึง 16 MHz วงจรที่มีการหักล้างแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่แย่กว่า อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเรโซแนนซ์ของส่วนประกอบในวงจร เช่น ลายวงจร เป็นต้น ซึ่งไม่น่าจะเป็นผลมาจากการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุชนิด SMD เพราะว่าตัวเก็บประจุชนิดนี้ไม่เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำกว่า 30 MHz และไม่น่าจะเกิดค่าเหนี่ยวนำแฝงเนื่องจากเป็นตัวเก็บประจุที่ไม่มีขา นอกจากนี้ที่ความถี่ตั้งแต่ 16 MHz จนถึงความถี่สูง วงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วจะกลับมามีอัตราการลดทอนดีกว่าวงจรยังไม่ได้หักล้าง

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



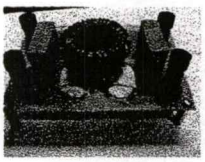
รูปที่ 6.61 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

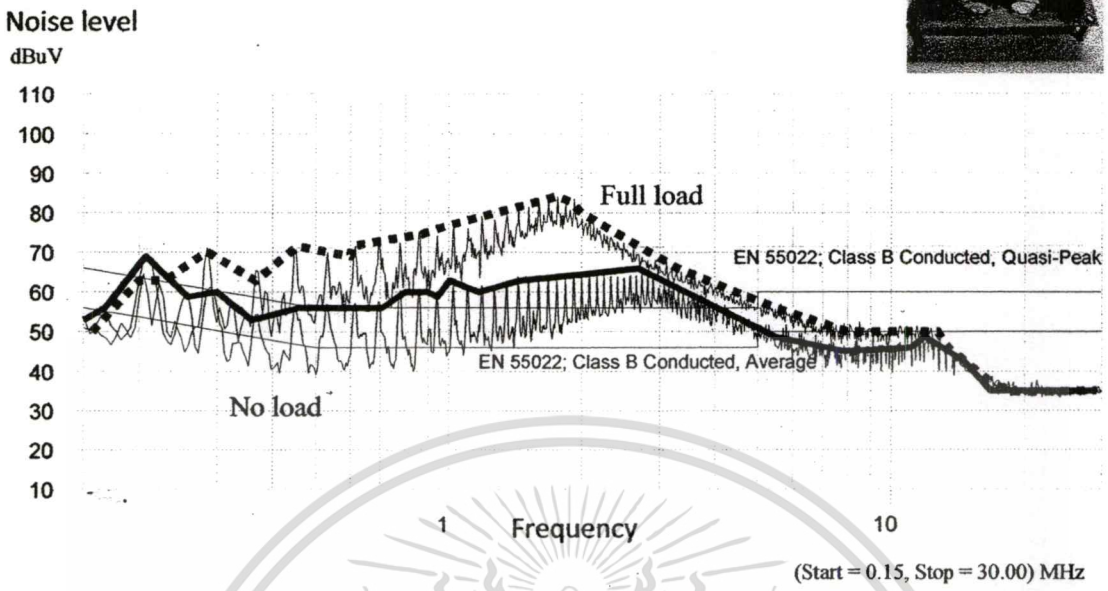
จากรูปที่ 6.61 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงมากที่ความถี่ต่ำ และจะใกล้เคียงที่ช่วงความถี่ประมาณ 1.9 MHz ถึง 9 MHz และที่ความถี่ 9 MHz จนถึง 14 MHz วงจรที่มีการหักล้างแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่แย่กว่าเพียงเล็กน้อยและใกล้เคียงกันมาก อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเรโซแนนซ์ของส่วนประกอบในวงจร เช่น ลายวงจร เป็นต้น ซึ่งคล้ายกันกับกรณีที่ no load นอกจากนี้ที่ความถี่ตั้งแต่ 14 MHz จนถึงความถี่สูง วงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วจะกลับมามีอัตราการลดทอนดีกว่าวงจรยังไม่ได้หักล้าง

6.2.2.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



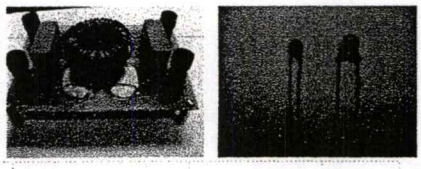


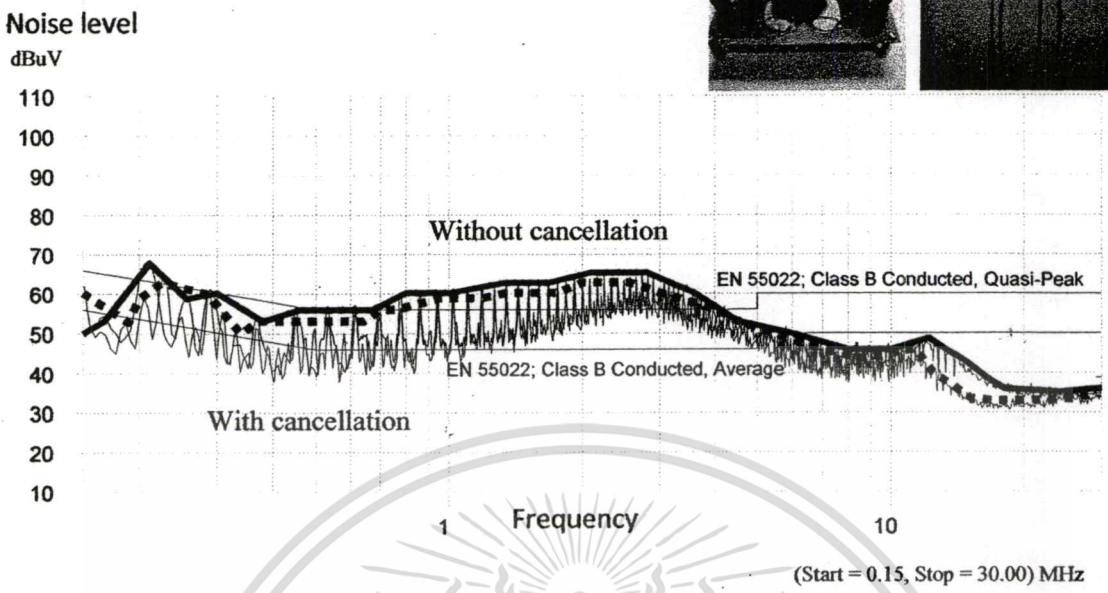
รูปที่ 6.62 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

จากรูปที่ 6.62 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองแบบโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน โดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่ากรณีที่ทำการจ่ายพลังงานเต็มพิกัดหรือที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าที่ no load ตลอดเกือบย่านความถี่ที่ทำการทดสอบ ยกเว้นบริเวณที่ความถี่สูงจะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



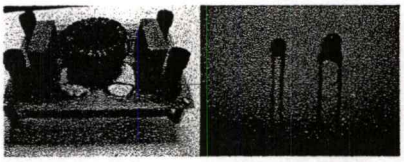


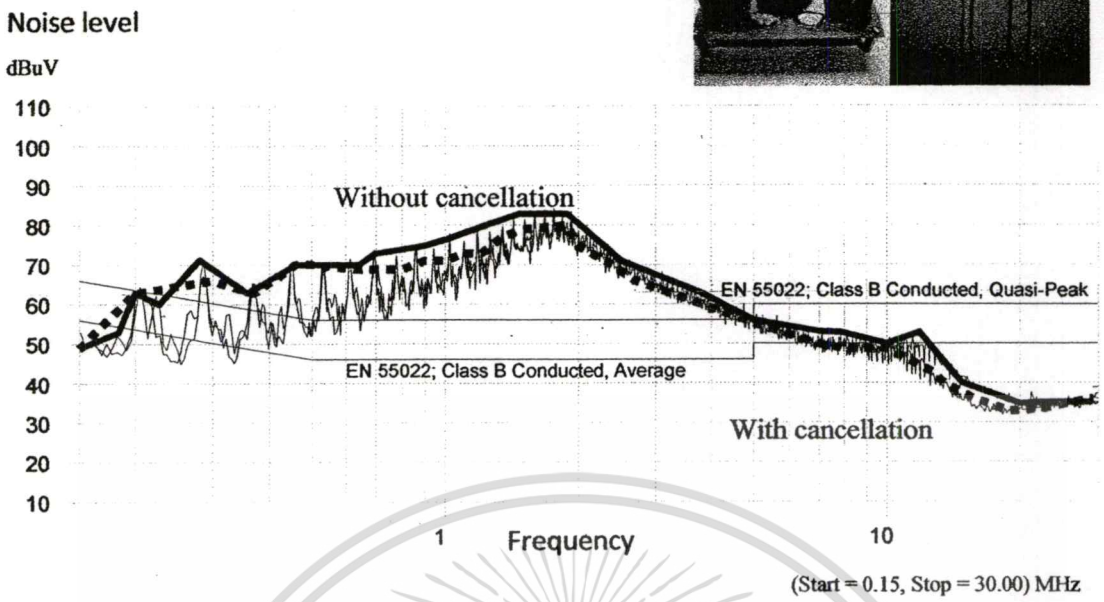
รูปที่ 6.63 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.63 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย หรือใกล้เคียงกันในบางช่วงความถี่

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



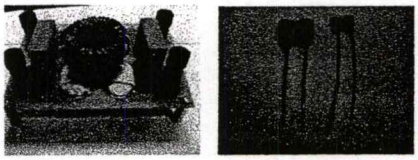


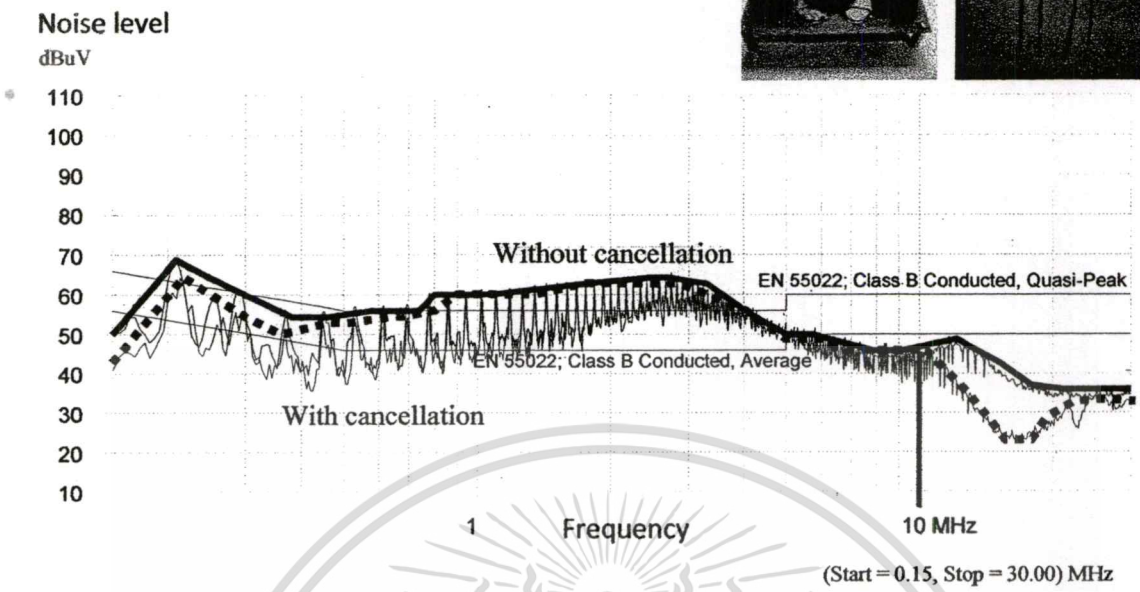
รูปที่ 6.64 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.64 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย หรือใกล้เคียงกันในบางช่วงความถี่เหมือนกันกับที่ no load

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
    - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



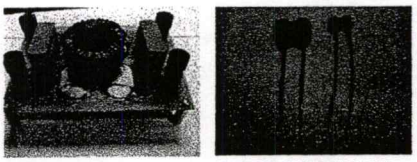


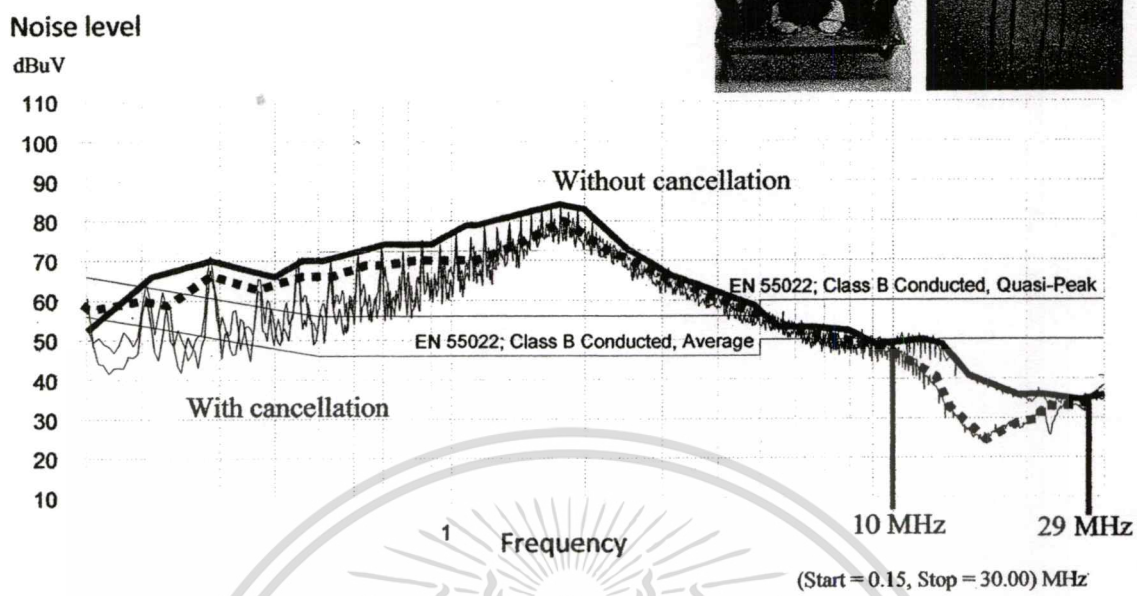
รูปที่ 6.65 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.65 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงช่วงความถี่ต่ำเพียงเล็กน้อย และใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ปานกลาง แต่ที่ความตั้งแต่ 10 MHz ไปจนถึง 30 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



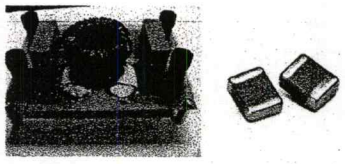


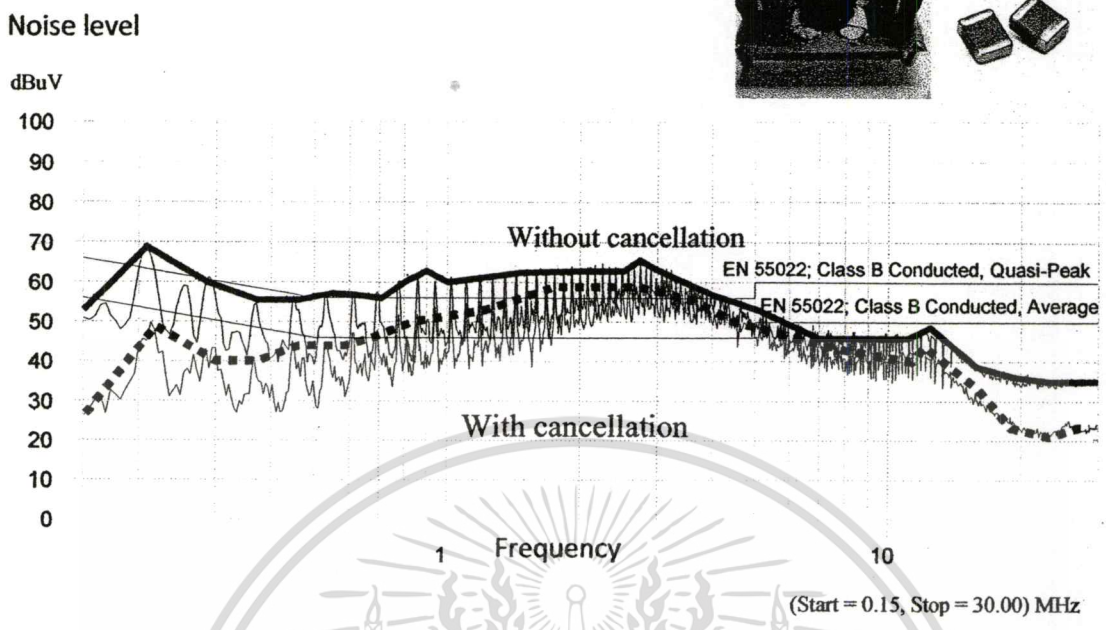
รูปที่ 6.66 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.66 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงช่วงความถี่ต่ำเพียงเล็กน้อย และใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ปานกลาง แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 10 MHz ไปจนถึง 29 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝง และที่ความถี่ตั้งแต่ 29 MHz ขึ้นไปวงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วกลับมาอัตราการลดทอนที่แย่กว่าวงจรกรองที่ยังไม่มีการหักล้างเพียงเล็กน้อย

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



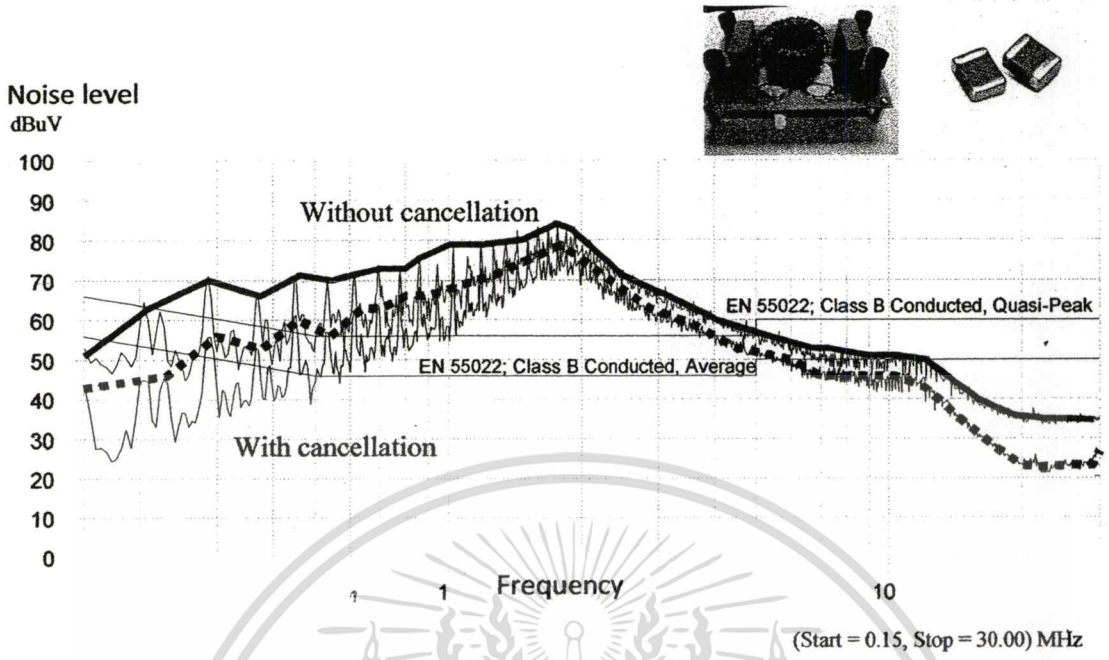


รูปที่ 6.67 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.67 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงมากในช่วงความถี่ต่ำ และใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ปานกลาง แต่ที่ความถี่สูงวงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงมากกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ มาก

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.68 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

จากรูปที่ 6.68 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงมากในช่วงความถี่ต่ำ และใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ปานกลาง แต่ที่ความถี่สูงวงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงมากกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ มาก เหมือนกันกับกรณี no load

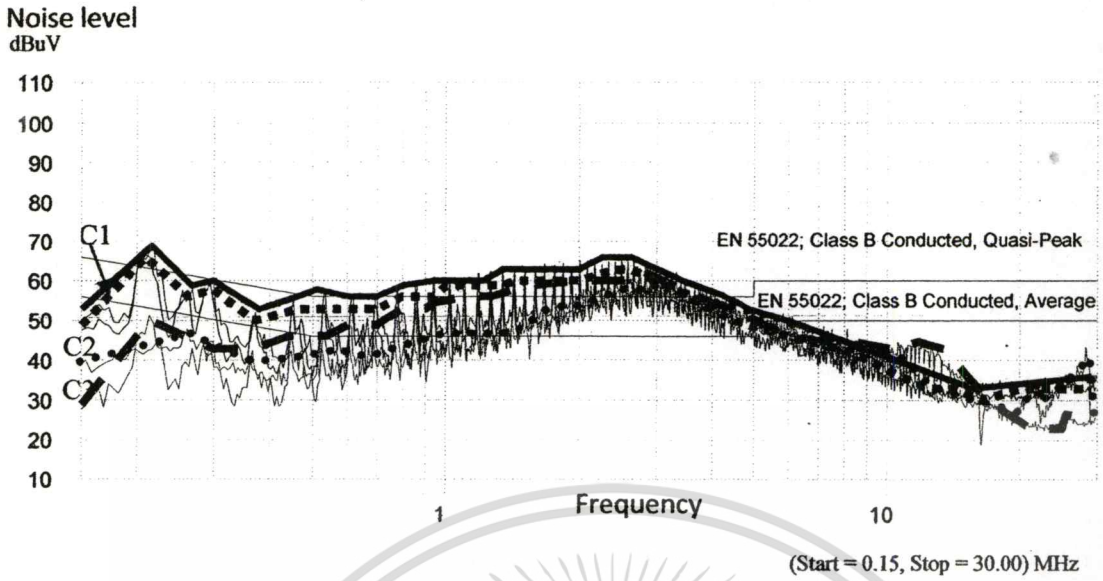
6.2.2.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน

ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด โดยจะแบ่งออกมาเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน และตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

1. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

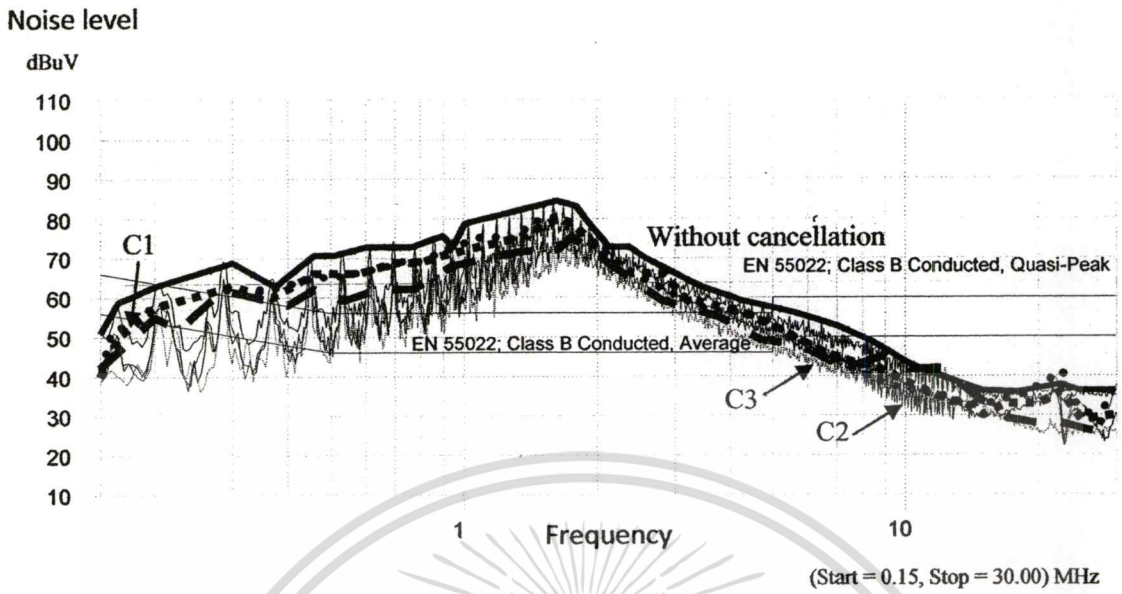


รูปที่ 6.69 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.69 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุดที่ความถี่สูงตั้งแต่ 17 MHz ขึ้นไป แต่ที่ความถี่ 10 MHz จนถึง 17 MHz กลับมีอัตราการลดทอนแย่ที่สุด (เส้นด้านล่างสุด) และผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาจาก SMD ก็คือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (เส้นปะจุดเหลี่ยม) และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค (เส้นปะจุดกลม) แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิค และไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก บางช่วงไมก้าก็มีอัตราการลดทอนแย่กว่าเซรามิคด้วยซ้ำ

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



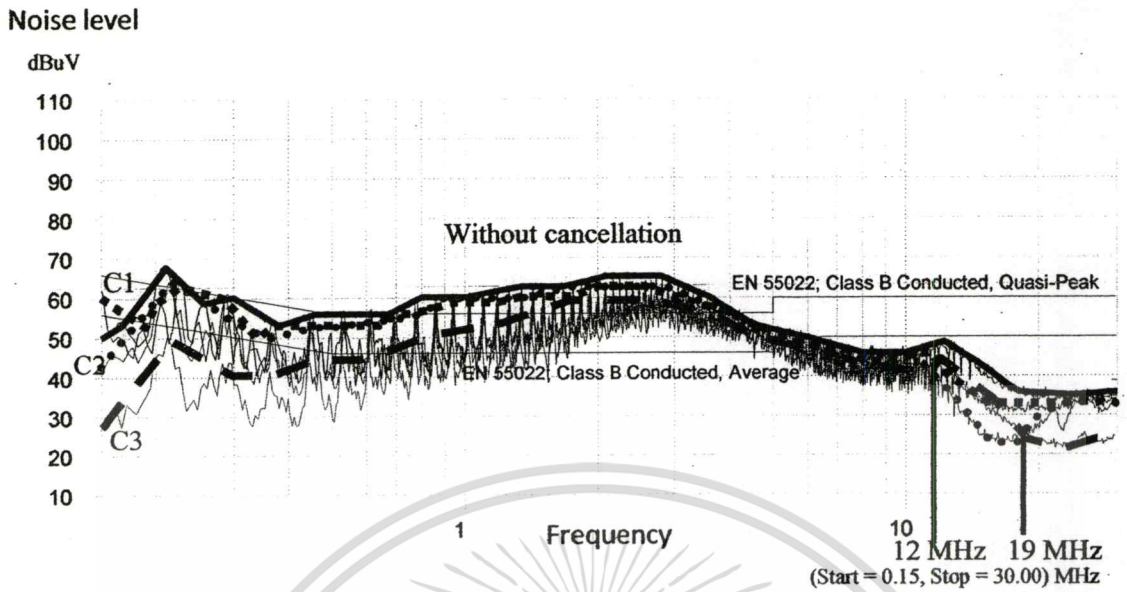
รูปที่ 6.70 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.70 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้ามีผลที่ใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นแต่ชนิด SMD มีอัตราการลดทอนที่ดีที่สุด โดยเฉพาะที่ความถี่สูง

2. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

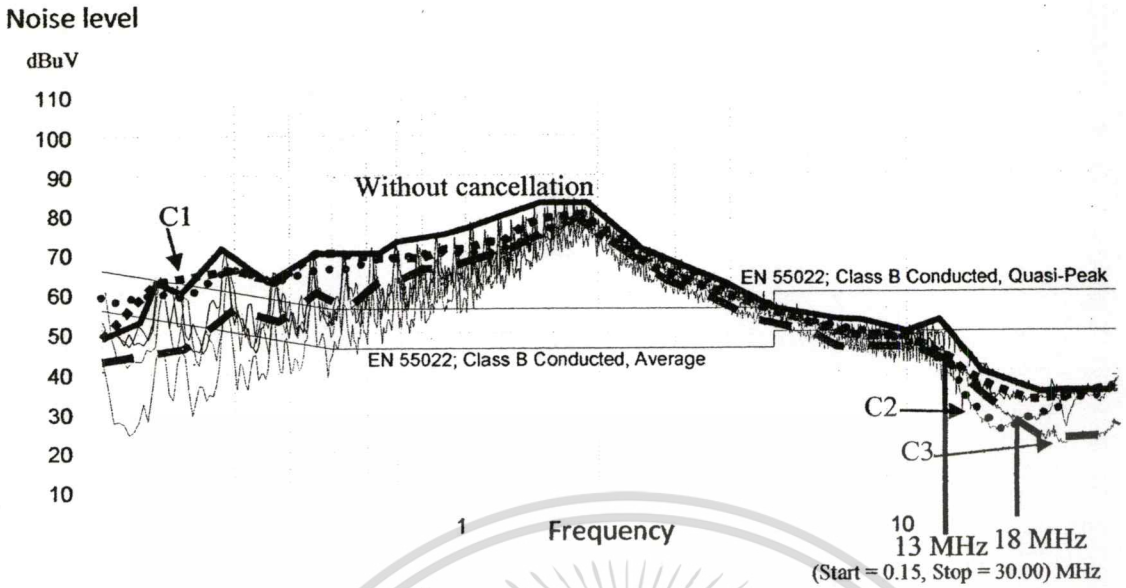


รูปที่ 6.71 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.71 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้ามีผลที่ใกล้เคียงกันมากที่ช่วงความถี่ต่ำจนถึงปานกลาง ยกเว้นแต่ชนิด SMD มีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าทั้งสองชนิดที่ความถี่ต่ำ แต่ที่ความถี่สูงในช่วงความถี่ 12 MHz จนถึง 19 MHz ตัวเก็บประจุชนิดไมก้าจะมีอัตราการลดทอนดีที่สุด แต่หลังจากความถี่ 19 MHz ตัวเก็บประจุชนิด SMD จะมีอัตราการลดทอนดีที่สุด

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.72 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

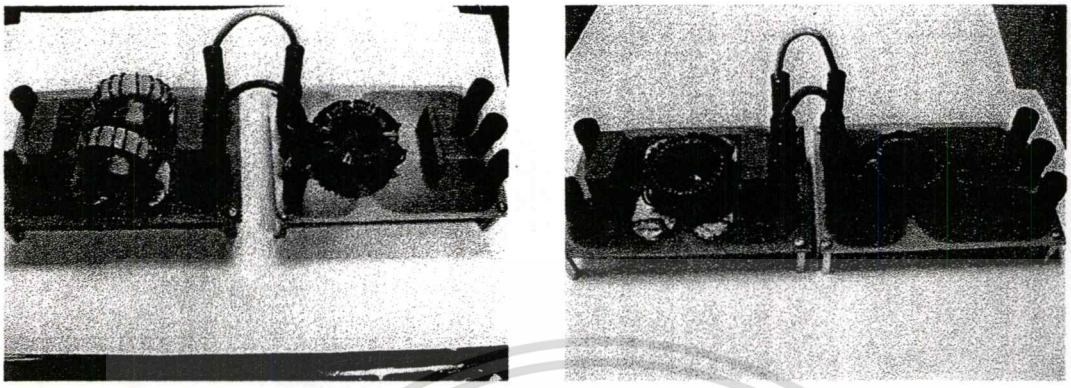
จากรูปที่ 6.72 แสดงระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้ามีผลที่ใกล้เคียงกันมากที่ช่วงความถี่ต่ำจนถึงปานกลาง ยกเว้นแต่ชนิด SMD มีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าทั้งสองชนิดที่ความถี่ต่ำ แต่ที่ความถี่สูงในช่วงความถี่ 13 MHz จนถึง 18 MHz ตัวเก็บประจุชนิดไมก้าจะมีอัตราการลดทอนดีที่สุด แต่หลังจากความถี่ 18 MHz ตัวเก็บประจุชนิด SMD จะมีอัตราการลดทอนดีที่สุด ผลที่ได้คล้ายกันกับกรณี no load

6.2.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนโหมดผลร่วมและส่วนโหลดผลต่างเข้าด้วยกัน เพื่อดูผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเมื่อนำวงจรแบบเต็มรูปแบบมาทดสอบ เพราะผลจากวงจรแบบโหมดผลร่วมจะช่วยลดทอนสัญญาณรบกวน และเพื่อดูว่าถ้านำวงจรโหมดผลร่วมมาต่อเข้าไปจะมีผลต่อเทคนิคที่นำเสนอหรือไม่ และสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้เหมือนกรณีอื่นๆ หรือไม่ โดยวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก และแบบแกนร่วม แสดงดังรูปที่ 6.73 (ก) และ (ข) ดังนี้



(ก) (ข)

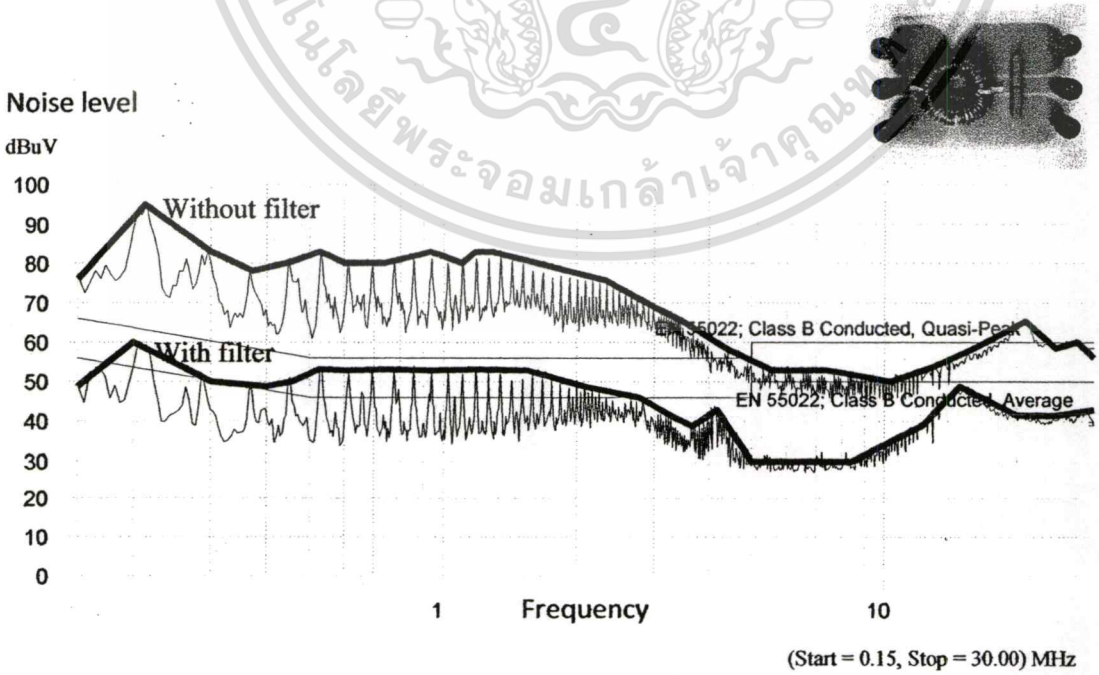
รูปที่ 6.73 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

(ก) ชนิดแกนแยกกัน (ข) ชนิดแกนร่วมกัน

ในขั้นแรกจะทำการทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมก่อน เพื่อเทียบกับมาตรฐานว่าผ่านมาตรฐานหรือไม่ โดยจับสัญญาณรบกวนทดสอบเฉพาะสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมเท่านั้น ดังนี้

6.2.3.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วม

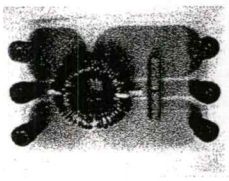
- ที่ no load

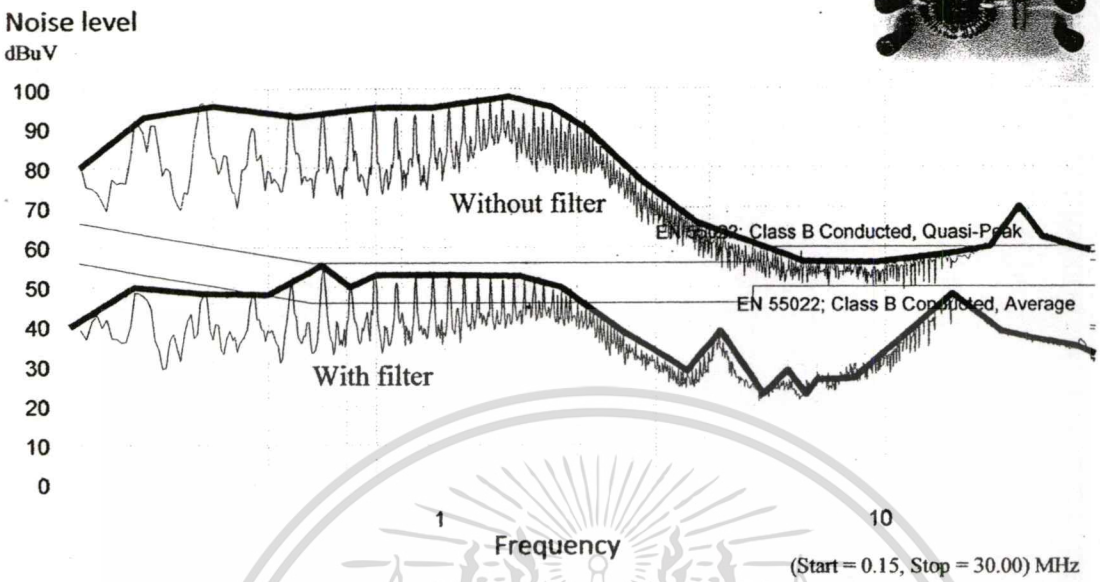


รูปที่ 6.74 ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ full load





รูปที่ 6.75 ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ full load

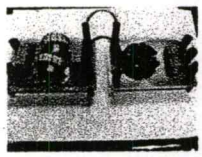
จากรูปที่ 6.74 และ 6.75 แสดงผลการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกันที่ no load และ full load ตามลำดับ ผลที่ได้คล้ายกันก็คือ สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนดได้

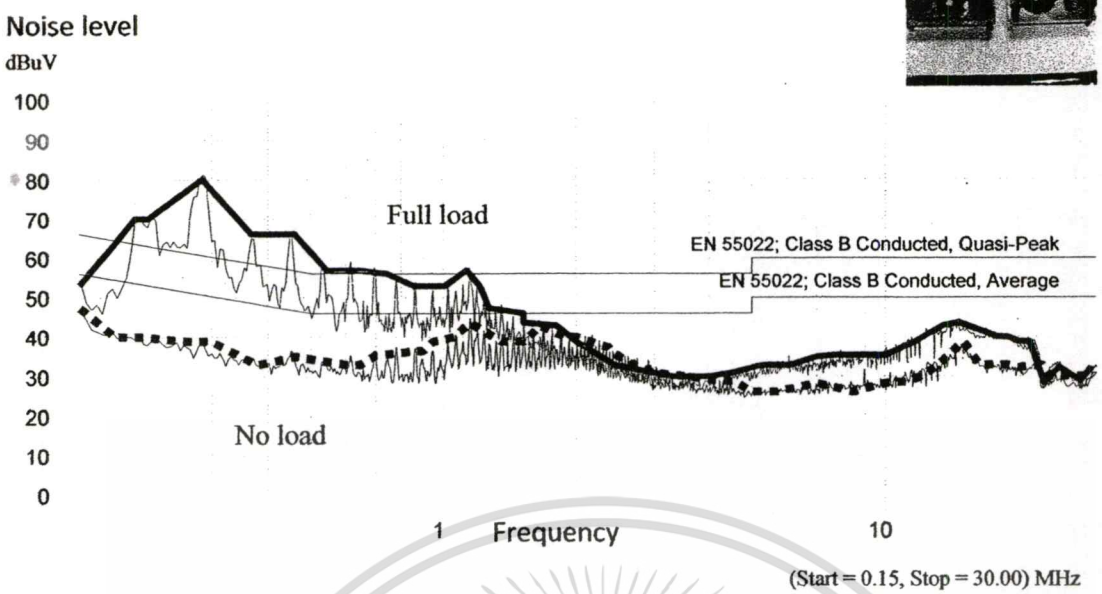
ต่อไปจะทำการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยจับสัญญาณรบกวนทั้งหมดทั้งในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างมาทดสอบรวมกัน โดยให้เพาเวอร์ซัพพลายจ่ายพลังงานที่ no load และ full load ขณะที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคหักล้าง และมีการใช้เทคนิคการหักล้างแล้ว ซึ่งสามารถย้อนกลับไปดูที่ตาราง 6.4 ได้ ซึ่งจะแสดงการทดสอบแบ่งออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

6.2.3.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



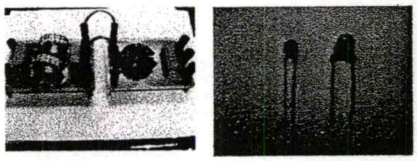


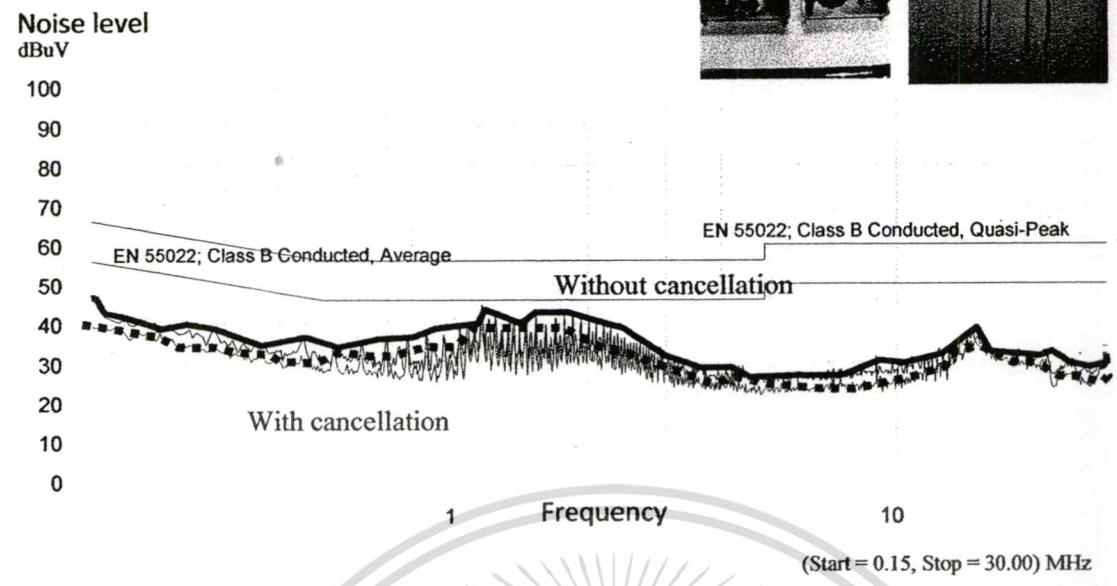
รูปที่ 6.76 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิการหักล้าง

จากรูปที่ 6.76 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแกนแยกกัน โดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่ากรณีที่ทำการจ่ายพลังงานเต็มพิกัดหรือที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าที่ no load เกือบตลอดย่านความถี่ที่ทำการทดสอบ ยกเว้นที่บริเวณความถี่ระดับกลาง พบว่าที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า no load และที่ความถี่สูงจะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกันทั้ง no load และ full load นอกจากนี้ที่ full load ยังมีระดับสัญญาณรบกวนเกินระดับมาตรฐานที่บริเวณความถี่ต่ำด้วย ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมากจากการออกแบบที่ยังไม่ครอบคลุม

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



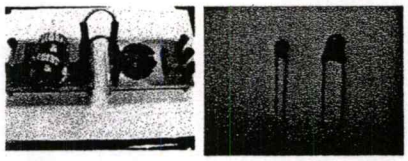


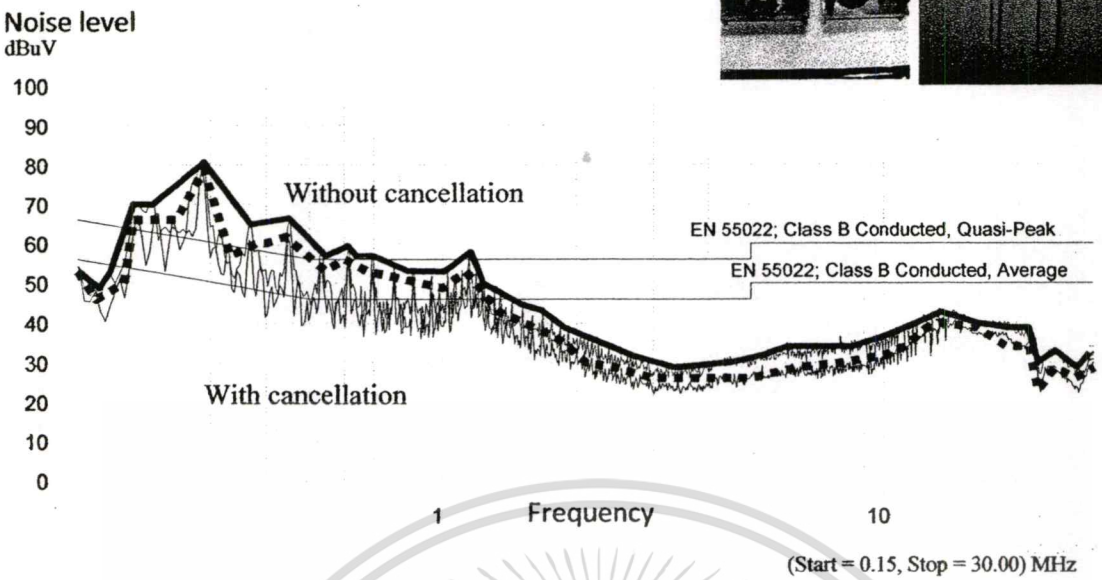
รูปที่ 6.77 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.77 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



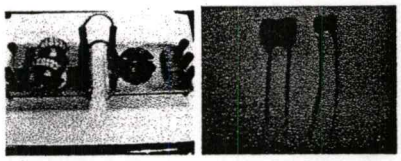


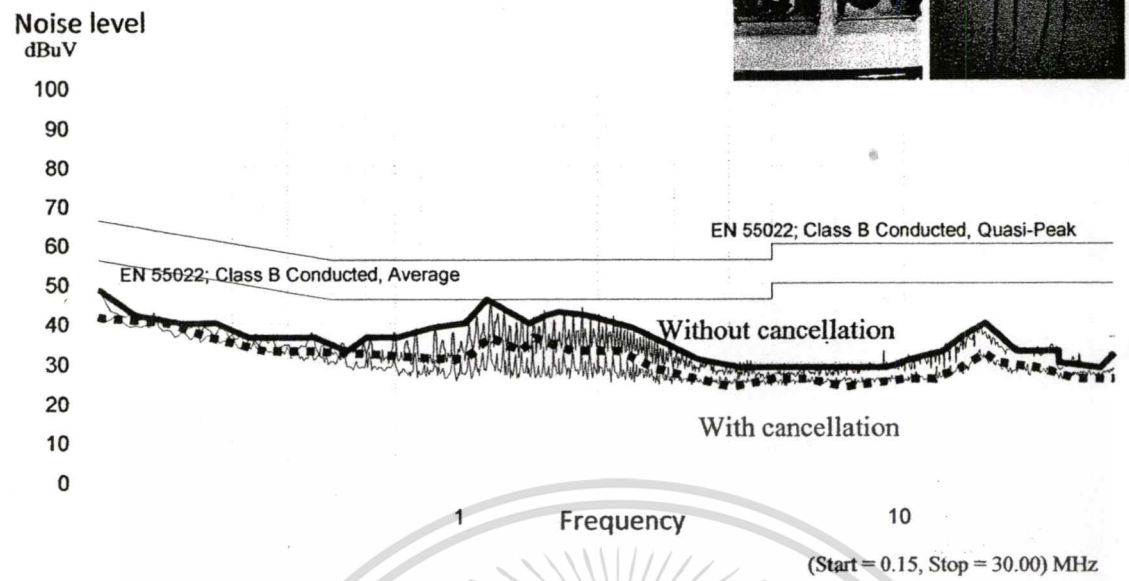
รูปที่ 6.78 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.78 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



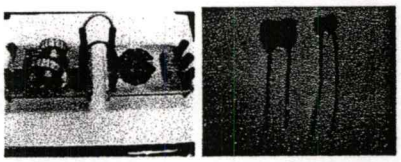


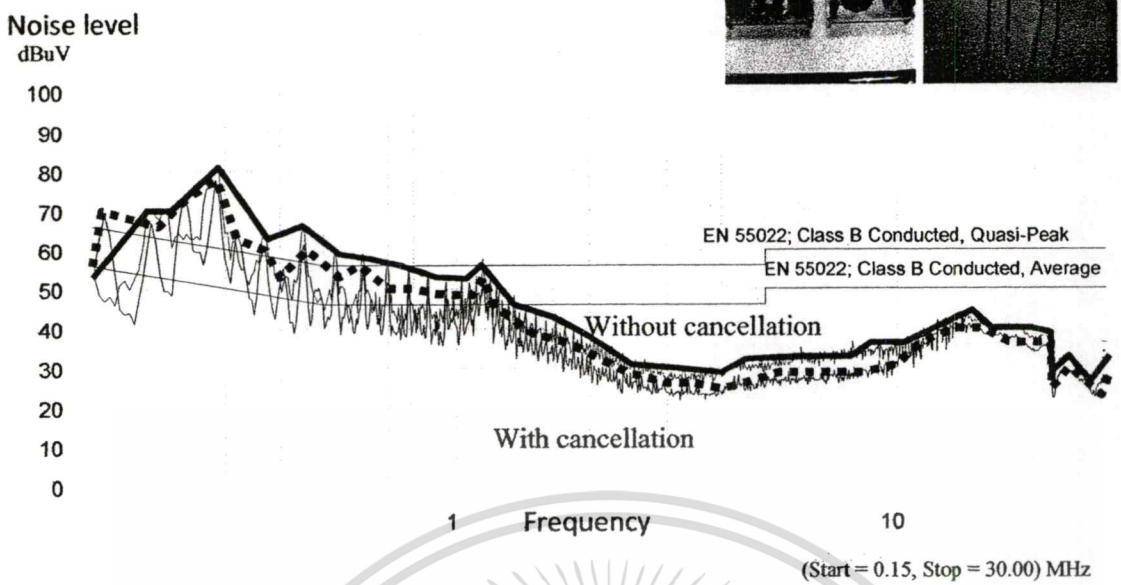
รูปที่ 6.79 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.79 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



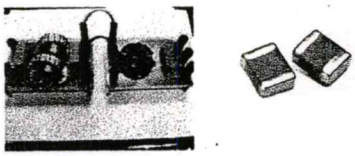


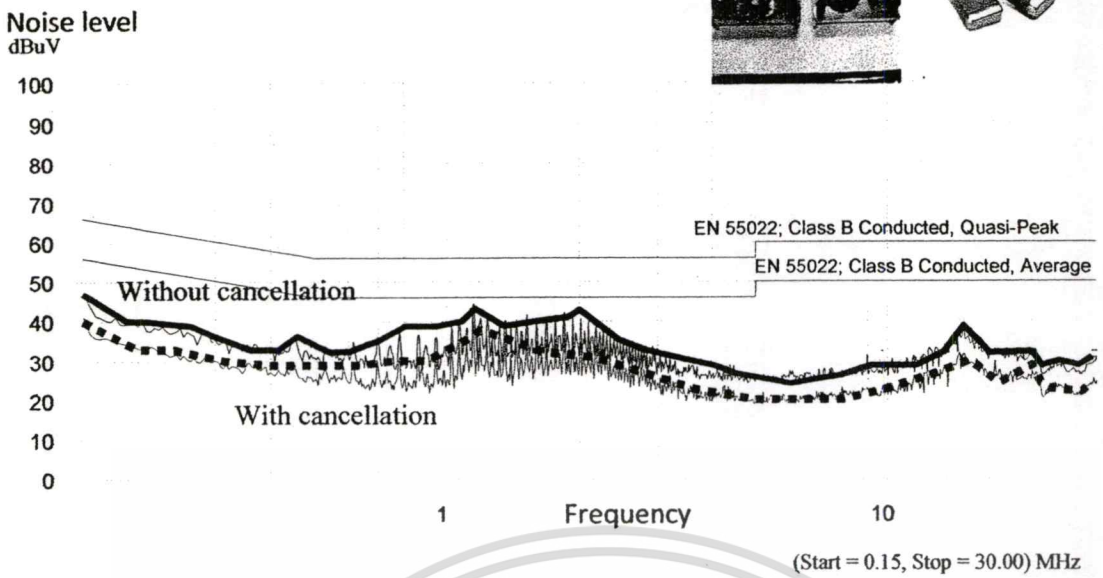
รูปที่ 6.80 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.80 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย ยกเว้นที่ความถี่ในช่วงแรกๆ วงจรกรองที่ยังไม่ได้หักล้างจะมีอัตราการลดทอนดีกว่าเพียงเล็กน้อย

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



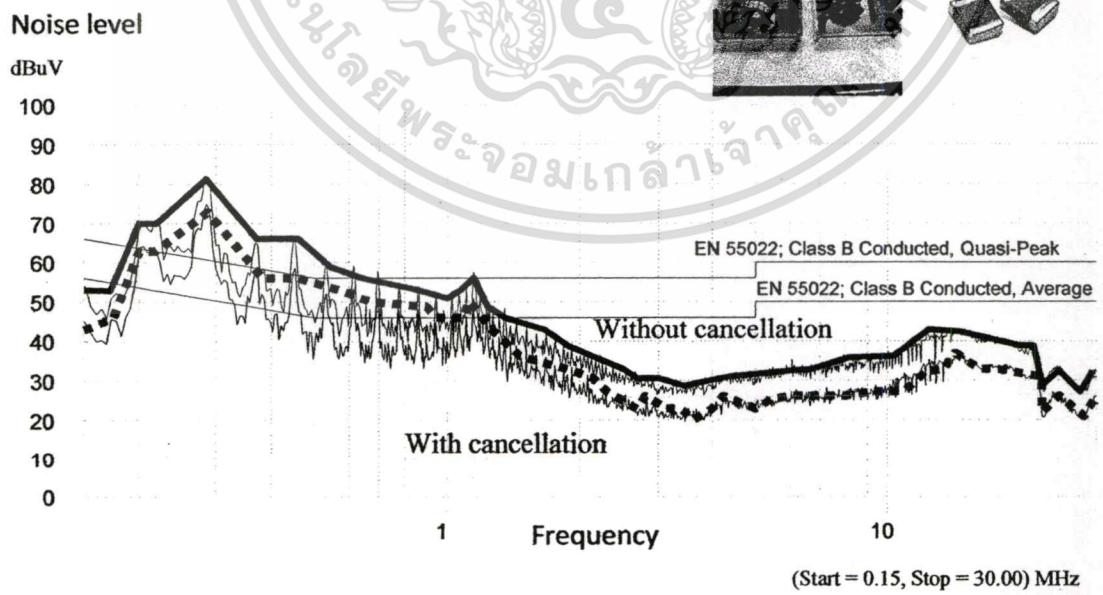


รูปที่ 6.81 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.81 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย แต่จะมีอัตราการลดทอนดีกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ

○ กรณีที่สองที่ full load





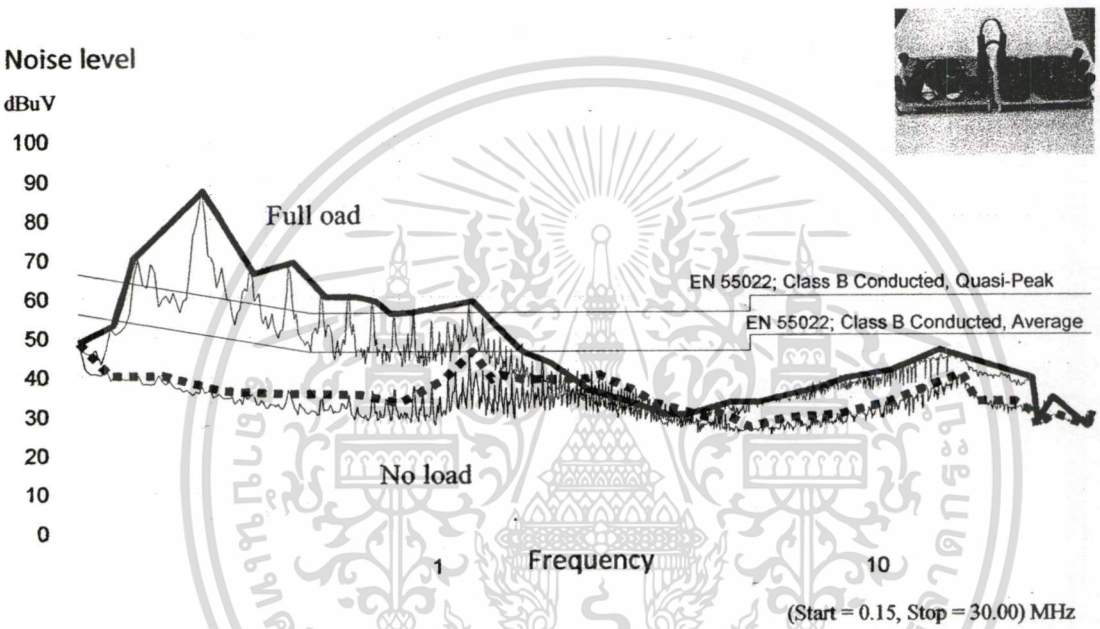
รูปที่ 6.82 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.82 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย คล้ายกับผลทดสอบในกรณี no load

6.2.3.3 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง



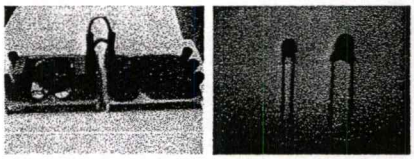
รูปที่ 6.83 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

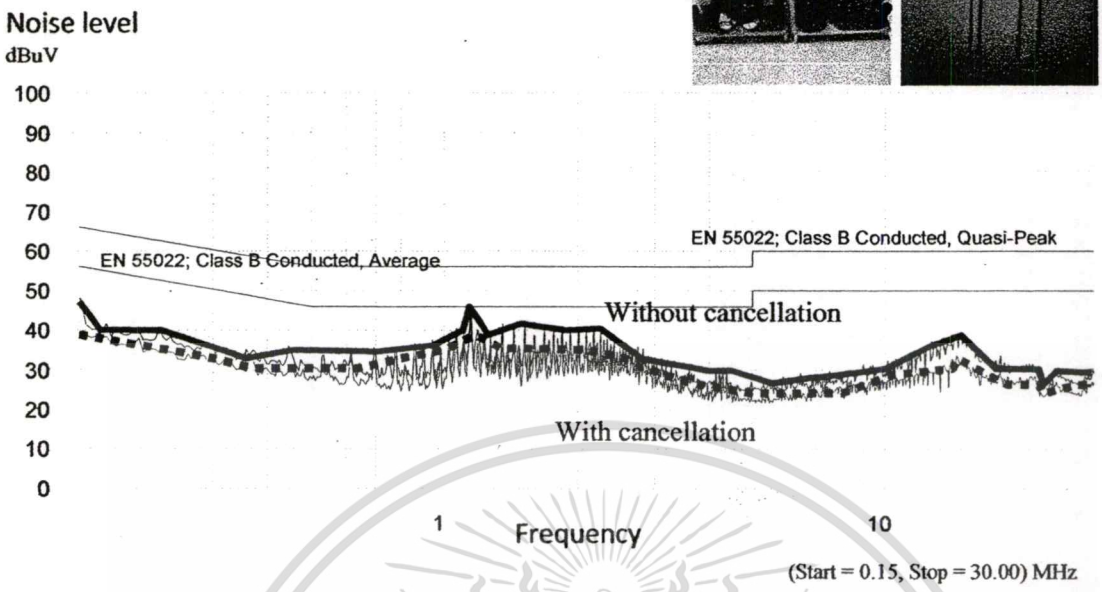
จากรูปที่ 6.83 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแกนร่วมกัน โดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่ากรณีที่ทำการจ่ายพลังงานเต็มพิกัดหรือที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าที่ no load เกือบตลอดย่านความถี่ที่ทำการทดสอบ ยกเว้นที่บริเวณความถี่ระดับกลาง พบว่าที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า no load และที่ความถี่สูงจะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกันทั้ง no load และ full load นอกจากนี้ที่ full load ยังมีระดับสัญญาณรบกวนเกินระดับมาตรฐานที่บริเวณความถี่ต่ำด้วย ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมากจากการออกแบบที่ยังไม่ครอบคลุม ผลที่ได้คล้ายกับกรณีใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

○ กรณีแรกที่ No load



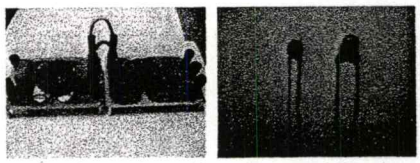


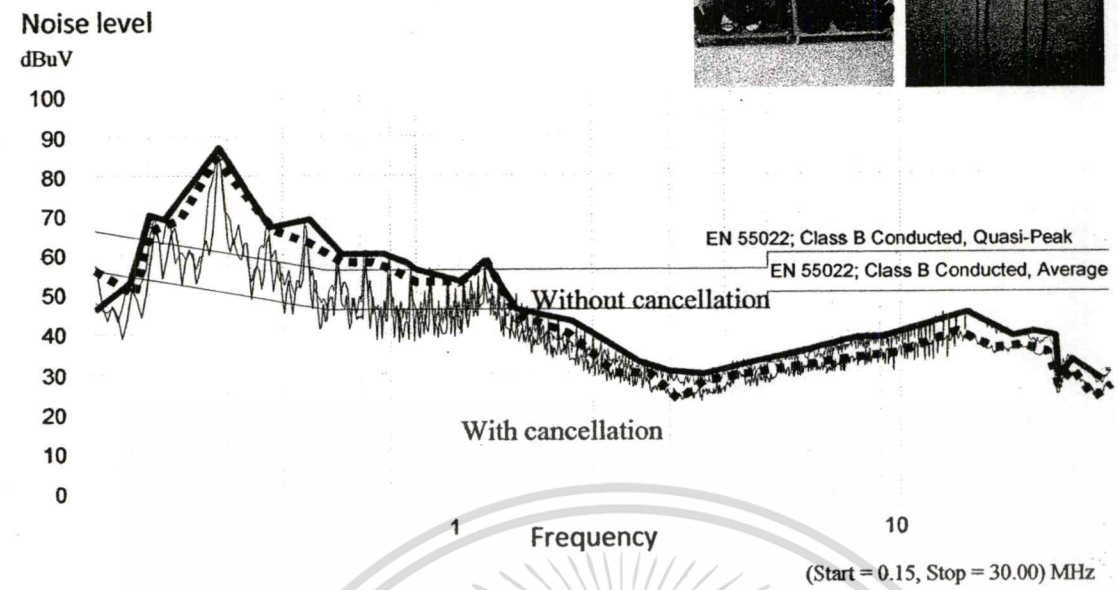
รูปที่ 6.84 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.84 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



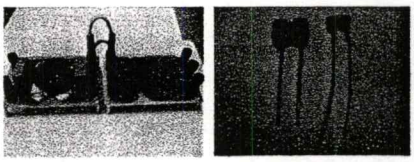


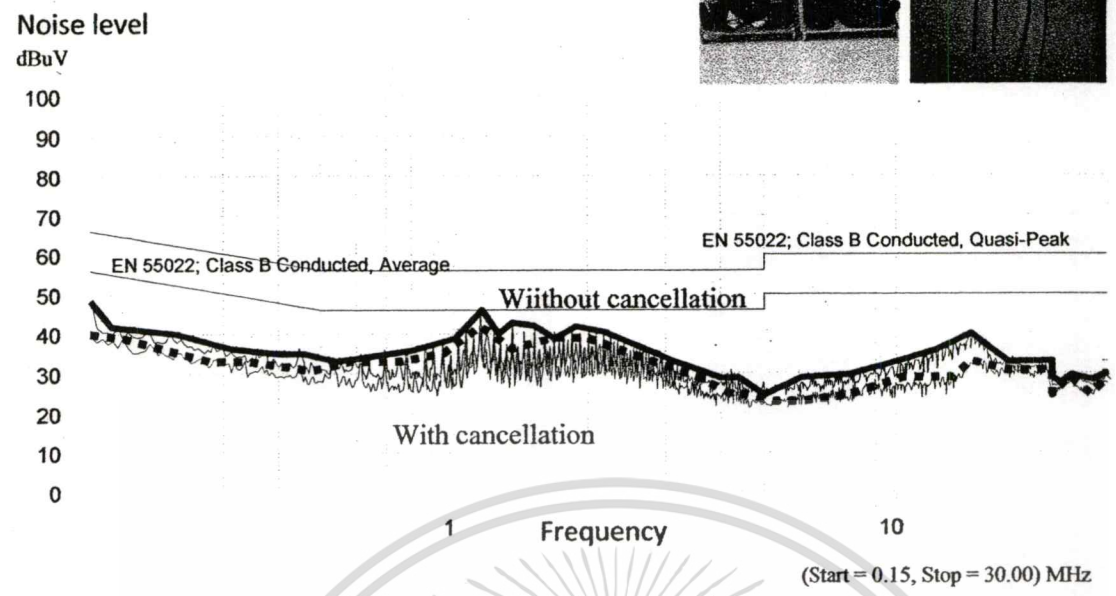
รูปที่ 6.85 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.85 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่สูงเพียงเล็กน้อย แต่ที่ความถี่ต่ำจนถึงปานกลางจะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกันและเท่ากันในบางช่วงความถี่

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
    - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



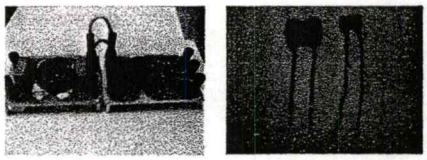


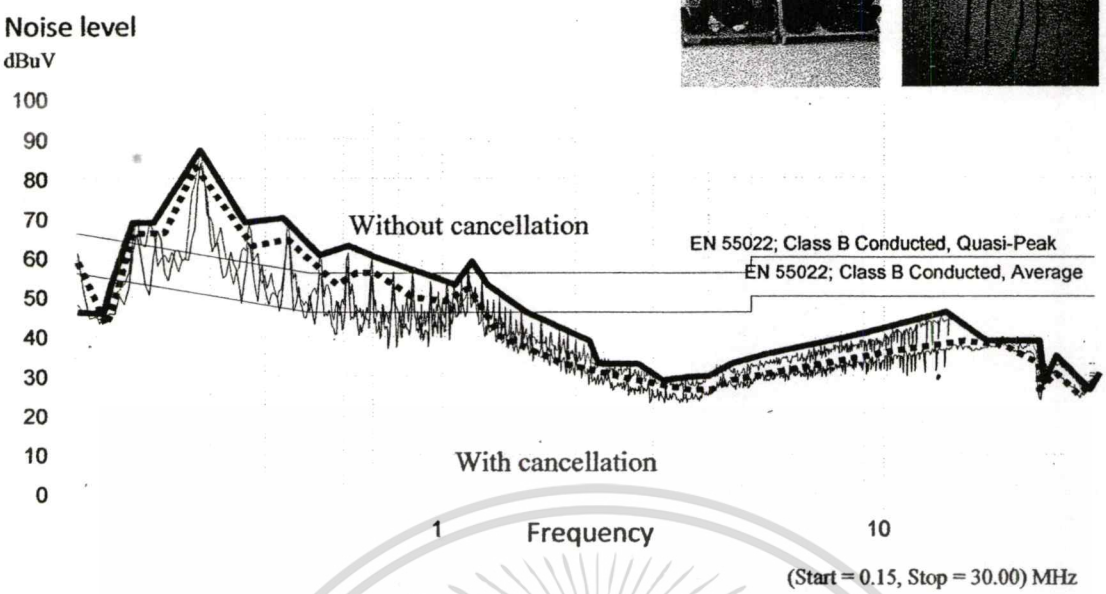
รูปที่ 6.86 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.86 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่สูงเพียงเล็กน้อย แต่ที่ความถี่ต่ำจนถึงย่านกลางจะมีระดับของสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกัน

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



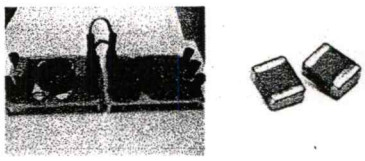


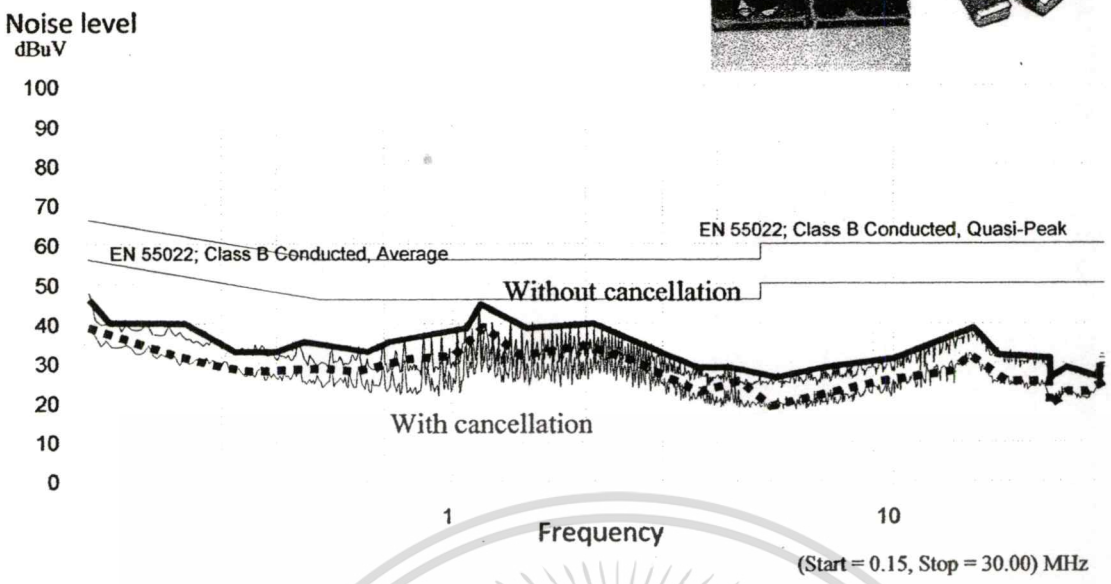
รูปที่ 6.87 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.87 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ แต่ที่ความถี่สูงประมาณ 20 MHz จะมีระดับสัญญาณรบกวนใกล้เคียงกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



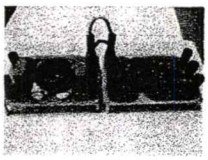


รูปที่ 6.88 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

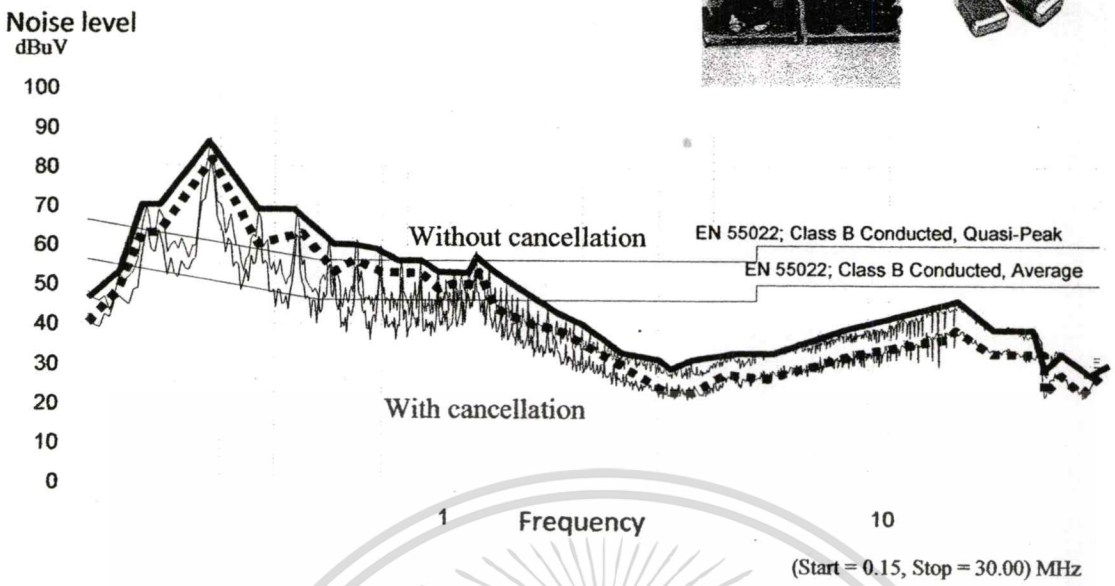
จากรูปที่ 6.88 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ ผลที่ได้คล้ายกับกรณีตัวเก็บประจุสองชนิดแรก

○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







รูปที่ 6.89 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกันเมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

จากรูปที่ 6.89 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนของวงจรสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ทดสอบ ผลที่ได้คล้ายกับกรณีตัวเก็บประจุสองชนิดแรก

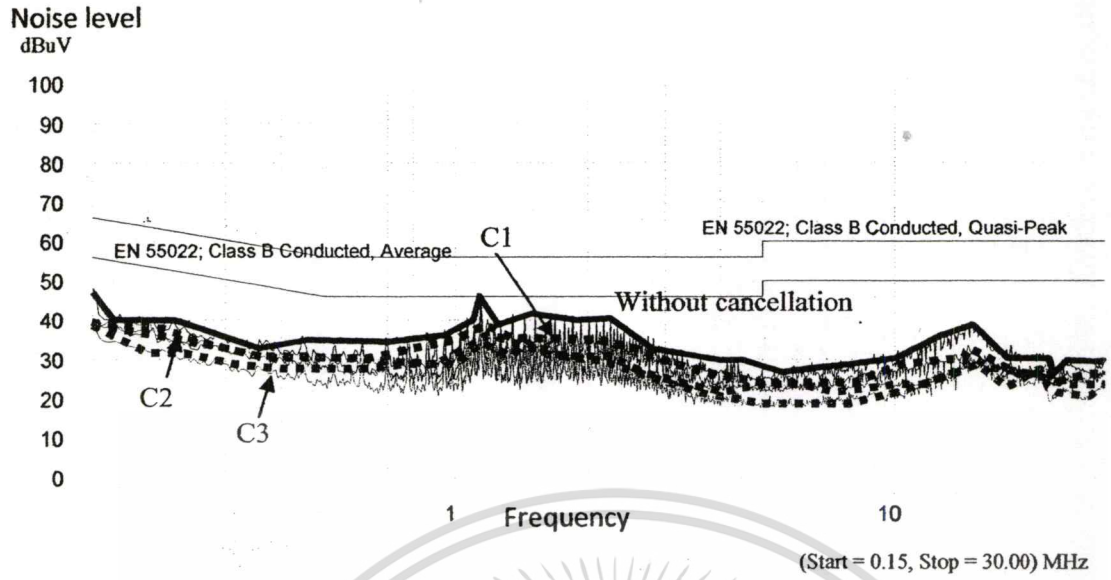
6.2.3.4 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน

ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด โดยจะแบ่งออกมาเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน และตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

1. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

   - ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

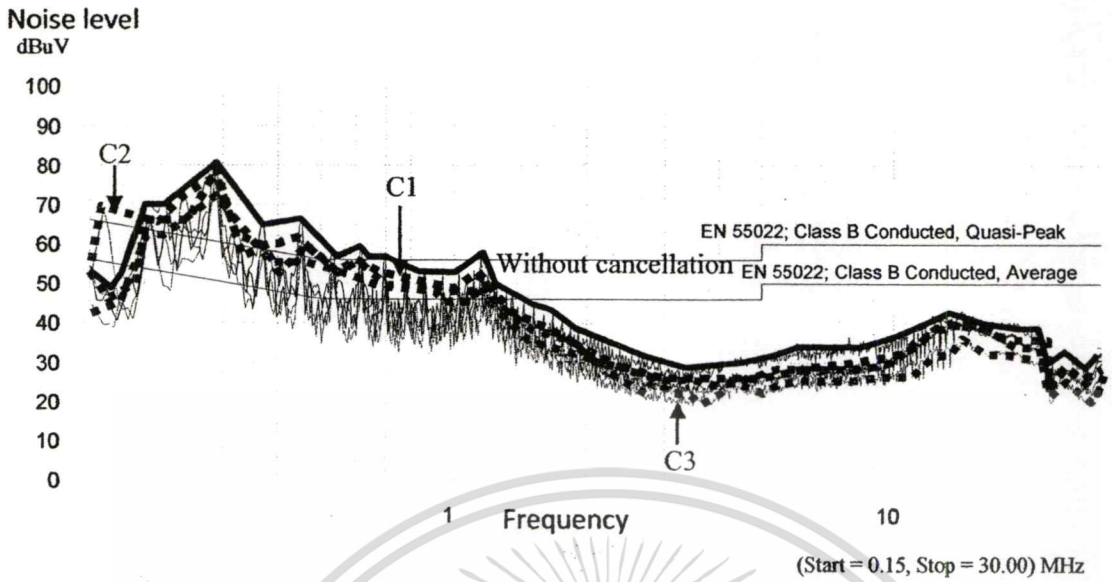


รูปที่ 6.90 ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.90 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดี ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาจาก SMD ก็คือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



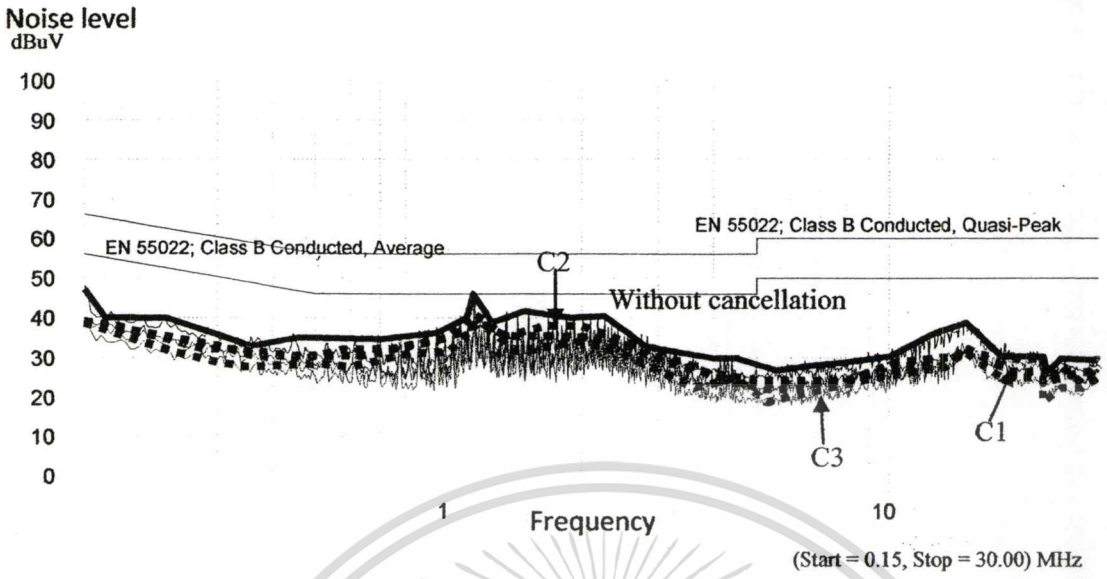
รูปที่ 6.91 ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.91 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดี ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากใกล้เคียงกันบางช่วง และช่วงความถี่ต่ำ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้ามีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดในบรรดาตัวเก็บประจุทั้งสามชนิด

2. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

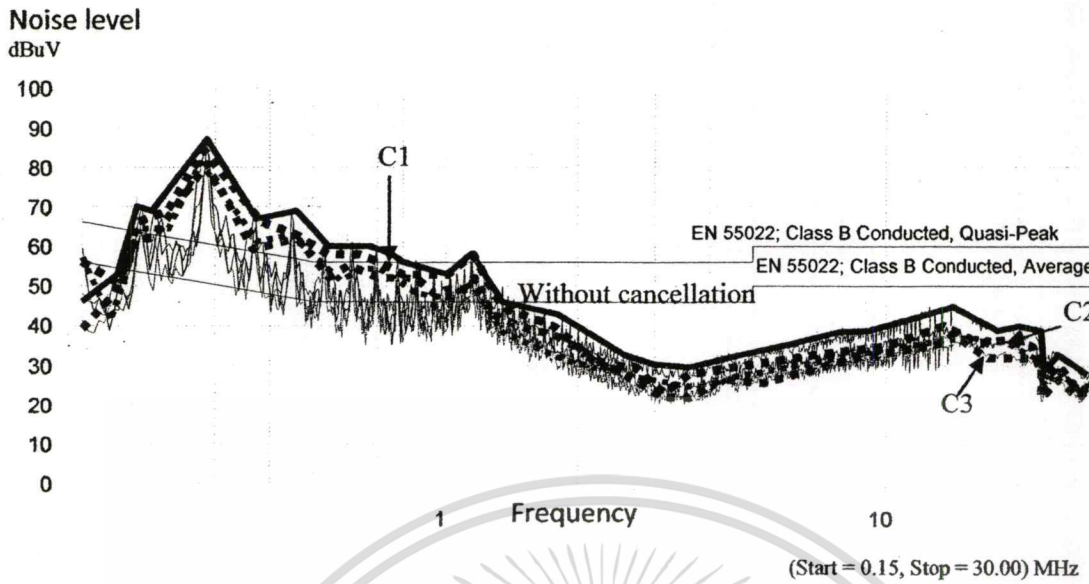


รูปที่ 6.92 ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.92 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ส่วนตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคและไมก้า มีอัตราการลดทอนที่ไม่ได้แตกต่างกันมากใกล้เคียงกันกันตลอดช่วงความถี่

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.93 ระดับสัญญาณรบกวนวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.93 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการลดทอนที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ที่ความถี่สูงตัวเก็บประจุชนิด SMD ให้อัตราการลดทอนดีที่สุด

6.3 วงจรบู้ตคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

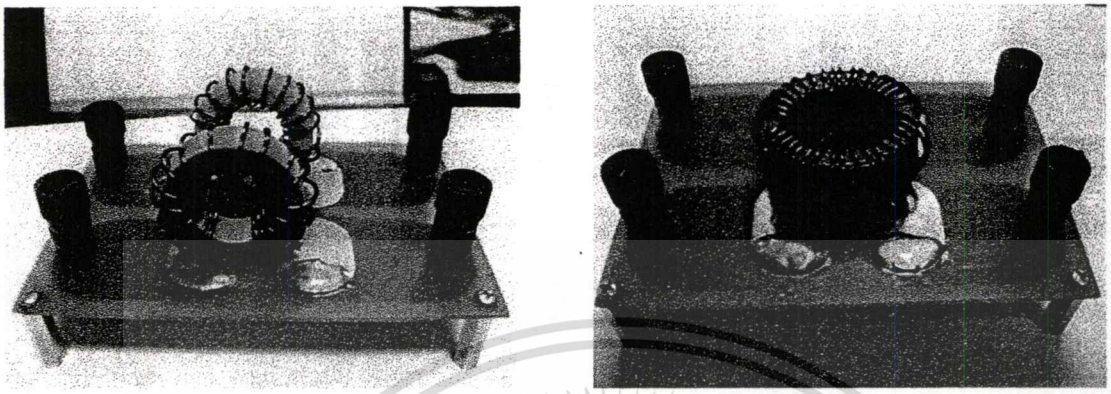
ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบกับวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ ทำการทดสอบโดยโหลดที่เราจะนำมาทดสอบจะใช้ตัวต้านทานชนิดกระเบื้องมาทำการทดสอบ โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีด้วยกัน คือ การทดสอบวงจรกรองเฉพาะตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.3.1 กรณีต่อไปคือการทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลต่างซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.3.2 และกรณีสุดท้ายคือการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.3.3

6.3.1 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้วงจรกรองที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เพื่อดูผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในกรณีที่มีแต่ตัวเหนี่ยวนำในวงจร โดยวงจรกรองที่นำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบจะแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก และแบบแกนร่วม แสดงดังรูปที่ 6.94 (ก) และ (ข) ดังนี้



(ก) (ข)

รูปที่ 6.94 วงจรกรองชนิดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น

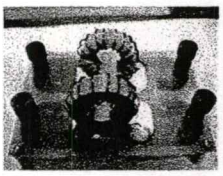
(ก) ชนิดแกนแยกกัน (ข) ชนิดแกนร่วมกัน

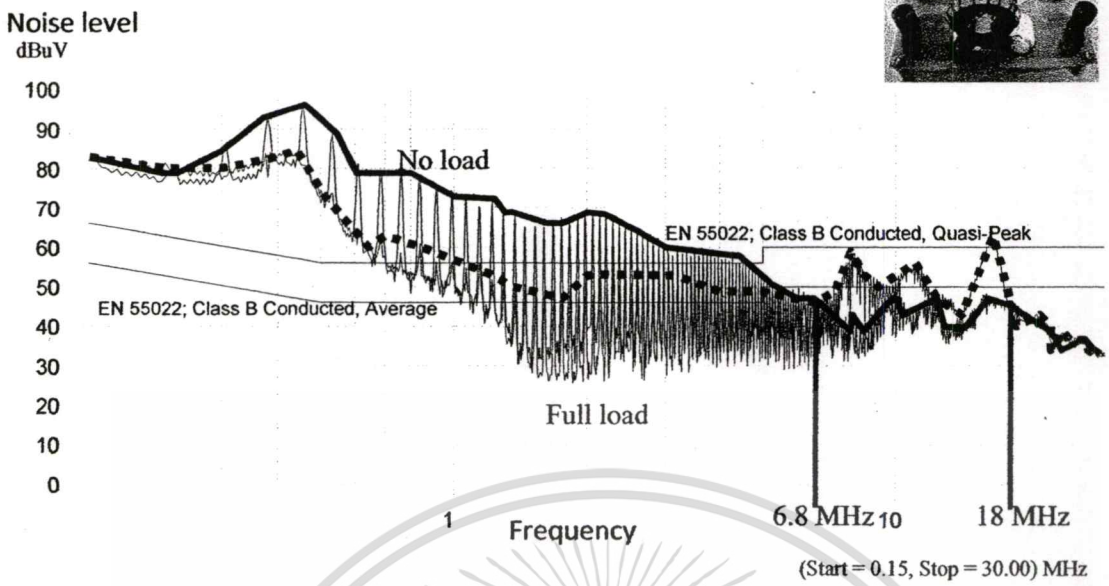
ทำการทดสอบโดยให้ปู้ตส์คอนเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานที่ no load และ full load ขณะที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคหักล้าง และมีการใช้เทคนิคการหักล้างแล้ว ซึ่งสามารถย้อนกลับไปดูที่ตาราง 6.4 ได้ ซึ่งจะแสดงการทดสอบแบ่งออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

6.3.1.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



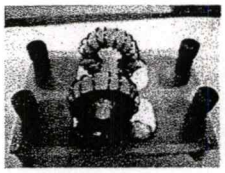


รูปที่ 6.95 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

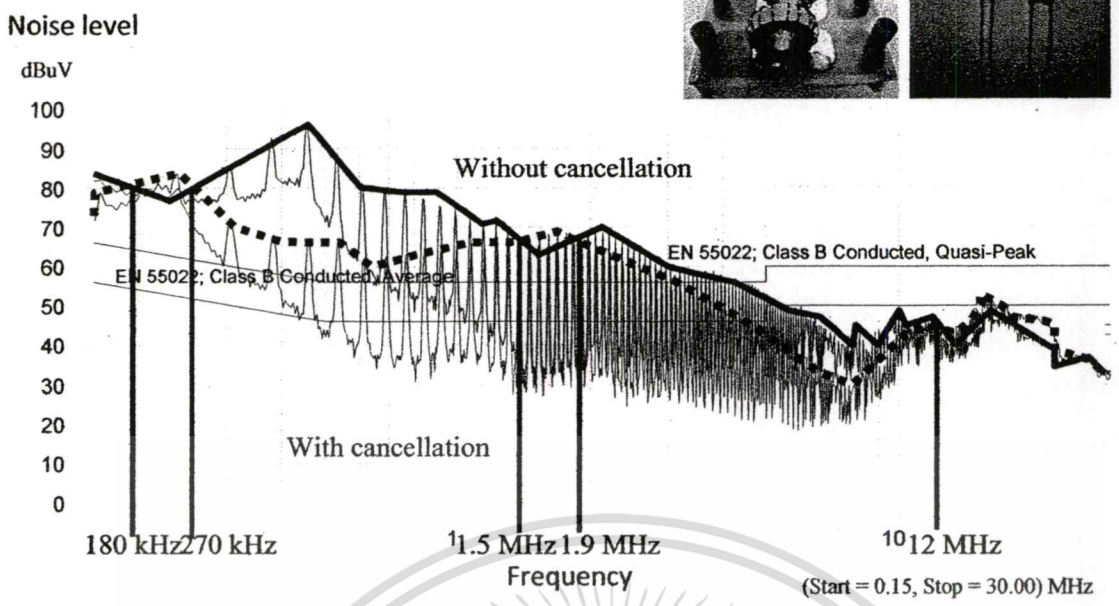
จากรูปที่ 6.95 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นโดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่าตั้งแต่ที่ความถี่ 150 kHz จนถึง 6.8 MHz ที่ no load มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ามาก แต่ที่ความถี่ 9.8 MHz จนถึง 18 MHz พบว่าที่ full load กลับมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า ซึ่งอาจจะเกิดจากที่ความถี่ดังกล่าวเกิดการอิ่มตัวของแกนตัวเหนี่ยวนำที่ใช้วงจรบู๊ตส์ก็เป็นไปได้ แต่ที่ความถี่สูงกว่านั้น ทั้งที่ no load และ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





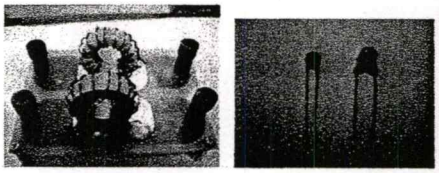


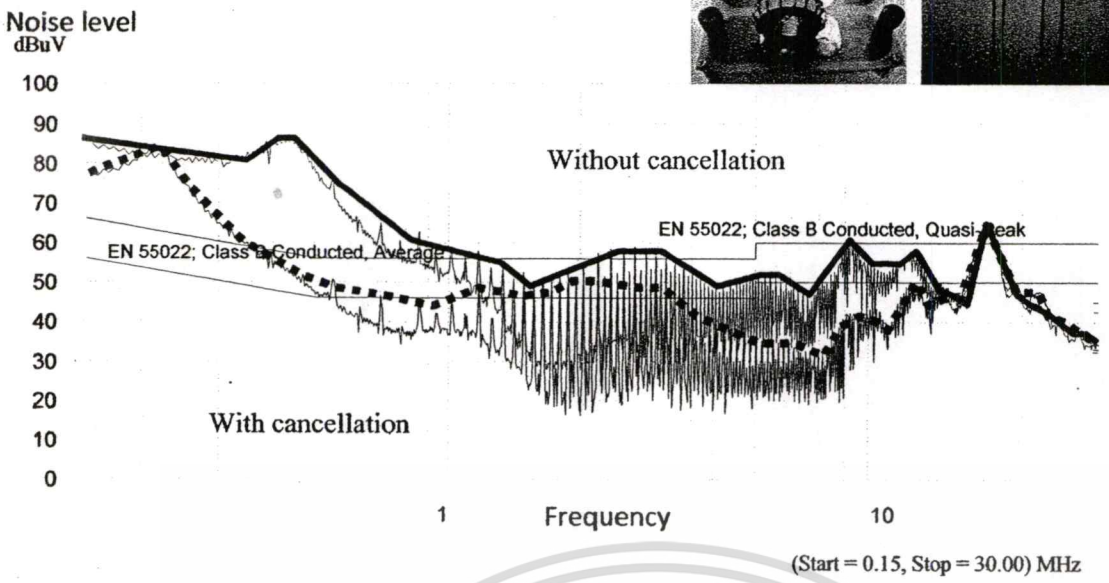
รูปที่ 6.96 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.96 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงบางช่วงความถี่ ตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 1.5 MHZ ถึงที่ 1.9 MHz จะมีอัตราการลดที่ดีกว่าเล็กน้อย แต่ที่ความถี่สูง 12 MHz ขึ้นไป วงจรที่หลังจากหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่แย่กว่าเพียงเล็กน้อย น่าจะเกิดจากการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุหรืออุปกรณ์ตัวอื่นๆ

- กรณีสองที่ Full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



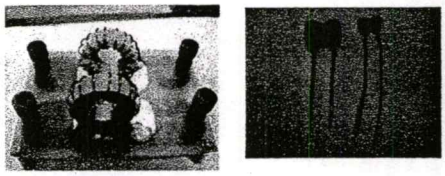


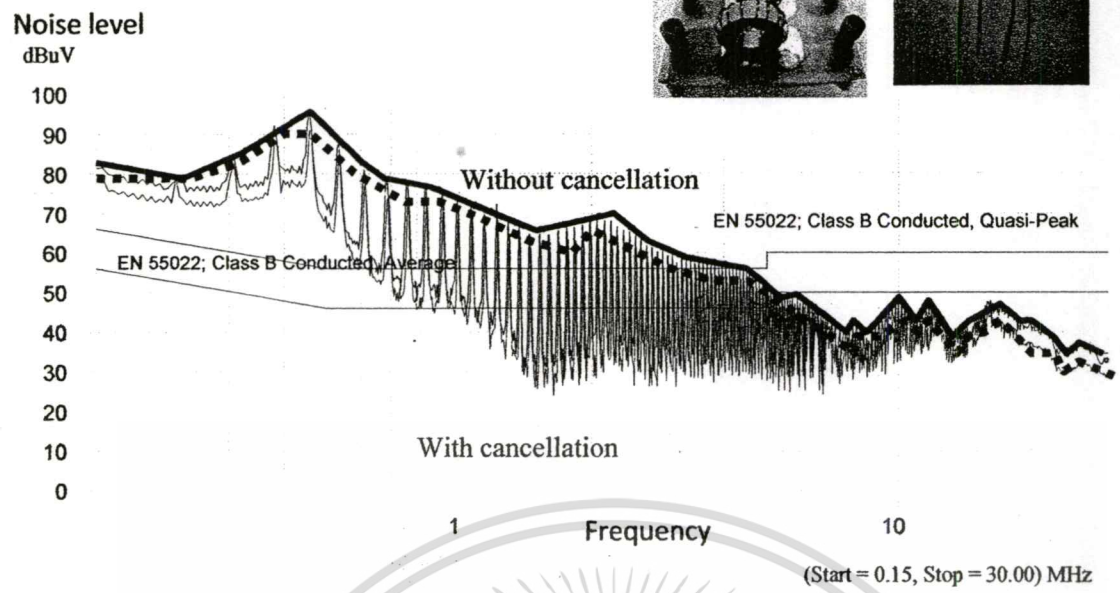
รูปที่ 6.97 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.97 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงบางช่วงความถี่ แต่โดยส่วนใหญ่มีอัตราการลดทอนที่ดีกว่า ยกเว้นที่ความถี่สูงที่มีอัตรการลดทอนแย่กว่าเพียงเล็กน้อย

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



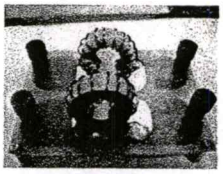


รูปที่ 6.98 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

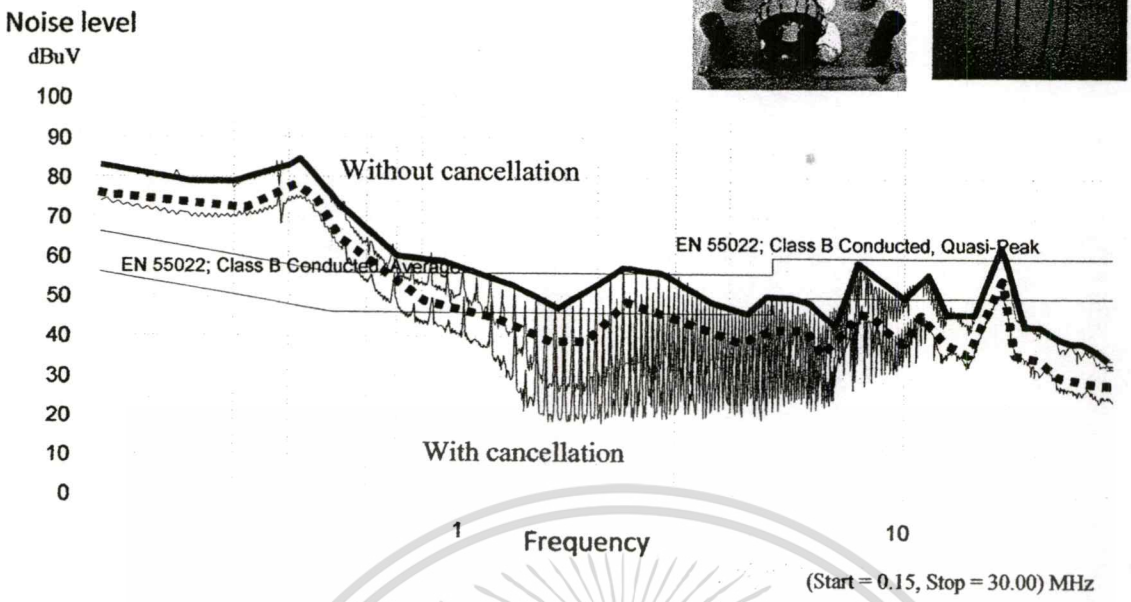
จากรูปที่ 6.98 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่

○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





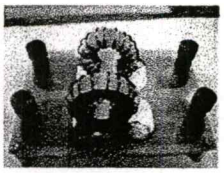


รูปที่ 6.99 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

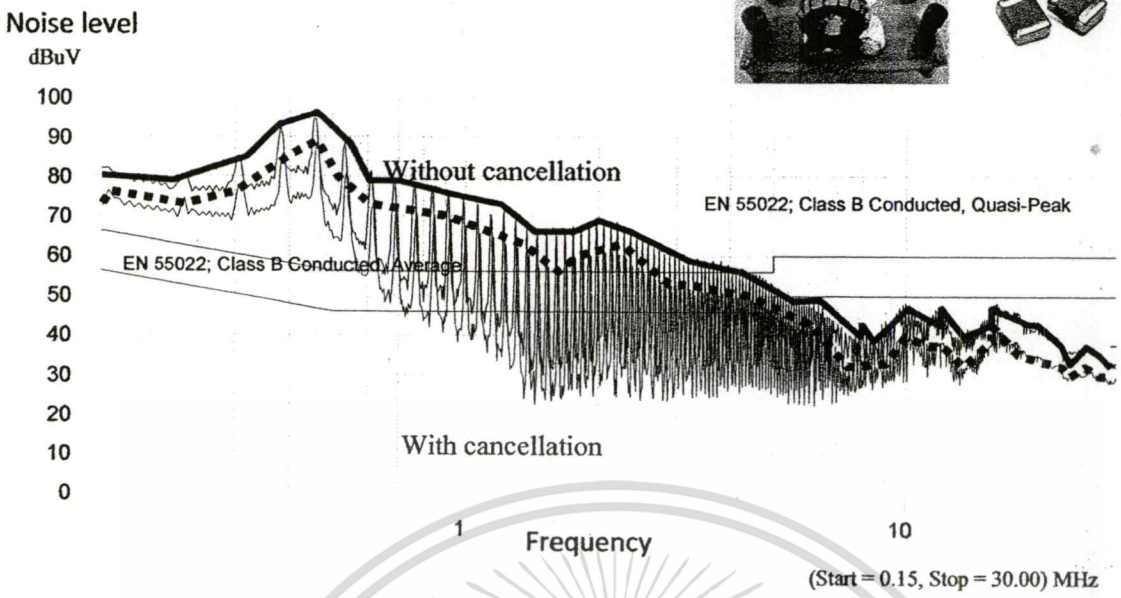
จากรูปที่ 6.99 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





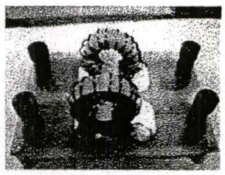


รูปที่ 6.100 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

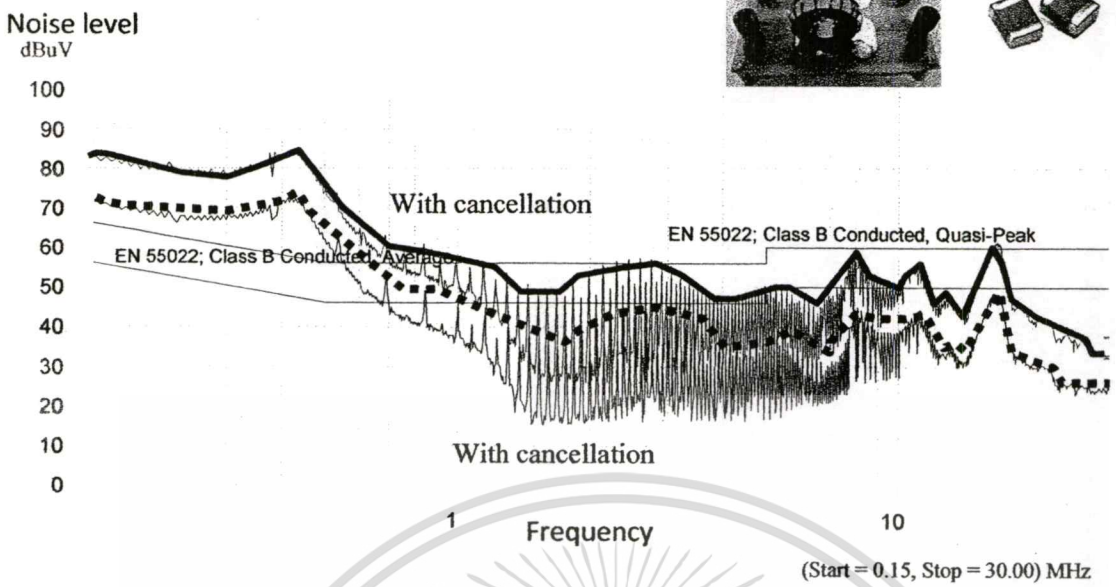
จากรูปที่ 6.100 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







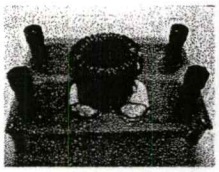
รูปที่ 6.101 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

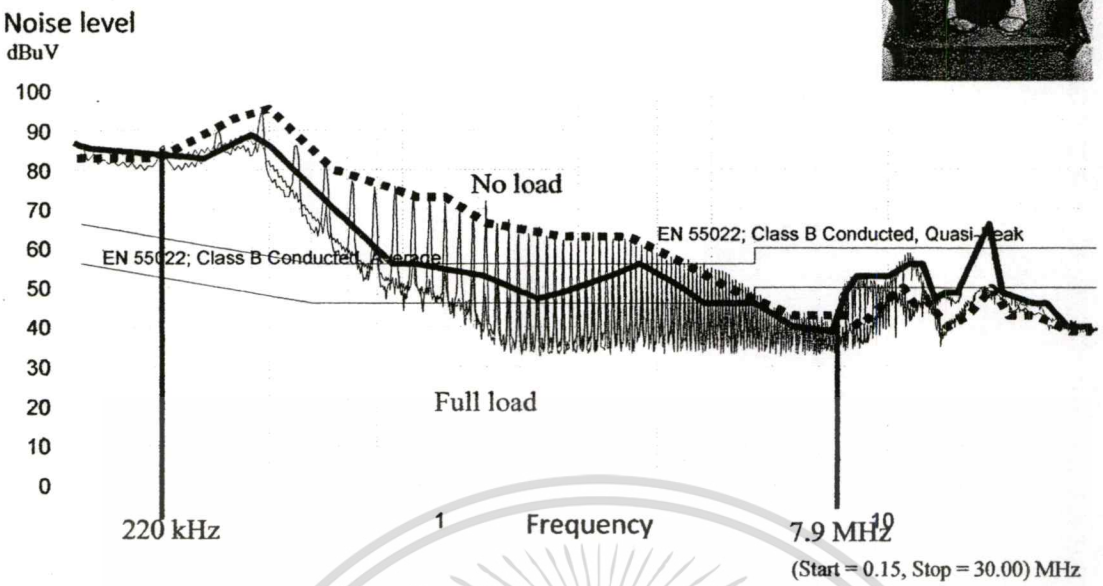
จากรูปที่ 6.100 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่

6.3.1.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



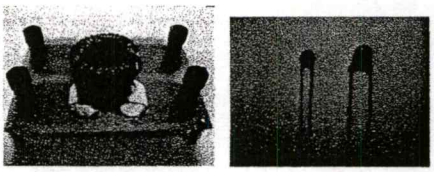


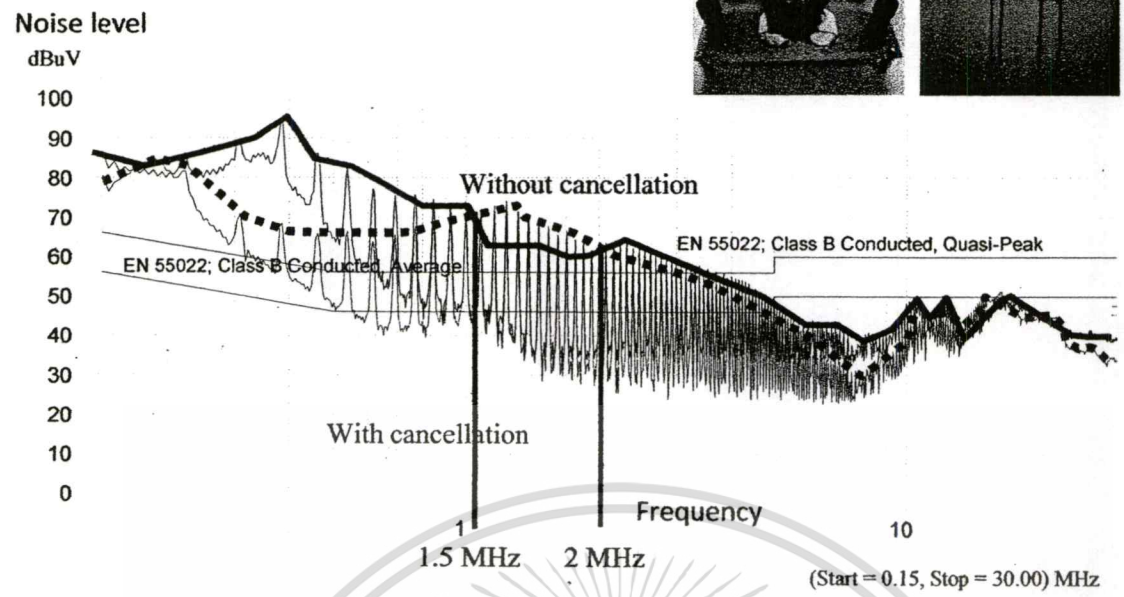
รูปที่ 6.102 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

จากรูปที่ 6.102 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นโดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่าวงจรที่ได้ทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่ดีในช่วงความถี่ 220 kHz ถึง 7.9 MHz นอกช่วงความถี่นั้นวงจรที่ยังไม่ได้ทำการหักล้างจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่า

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



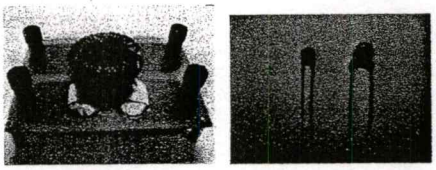


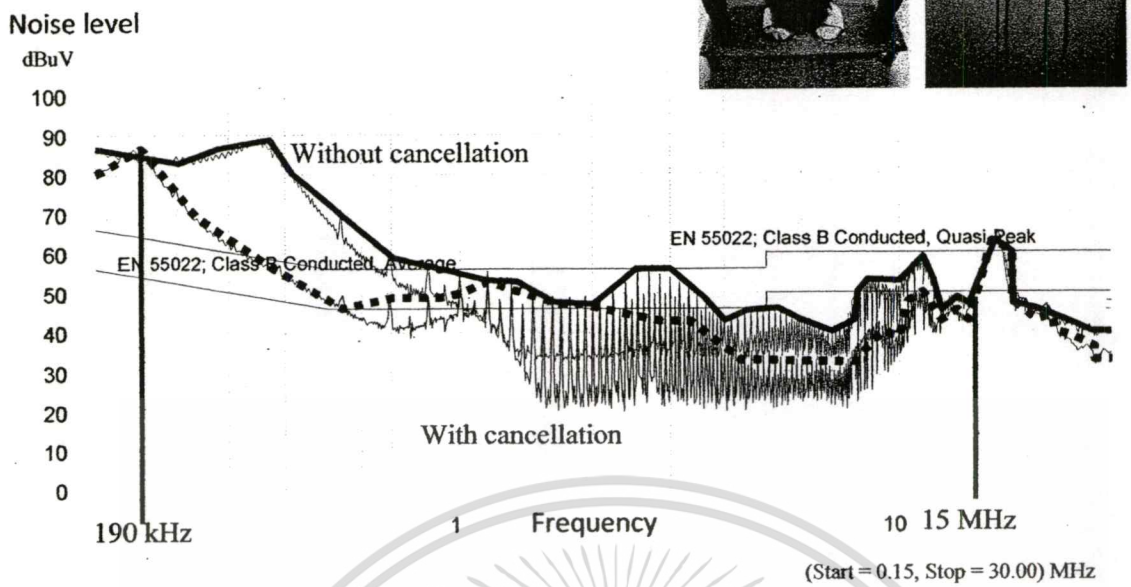
รูปที่ 6.103 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.103 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงบางช่วงความถี่ ตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 1.5 MHZ ถึงที่ 2 MHz จะมีอัตราการลดที่ดีกว่าเล็กน้อย แต่ที่ความถี่สูงวงจรที่หลังจากหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตราการลดทอนที่ใกล้เคียงกัน

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



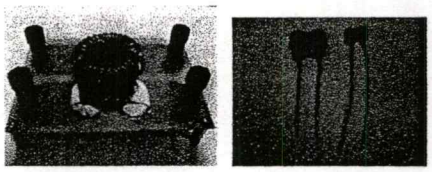


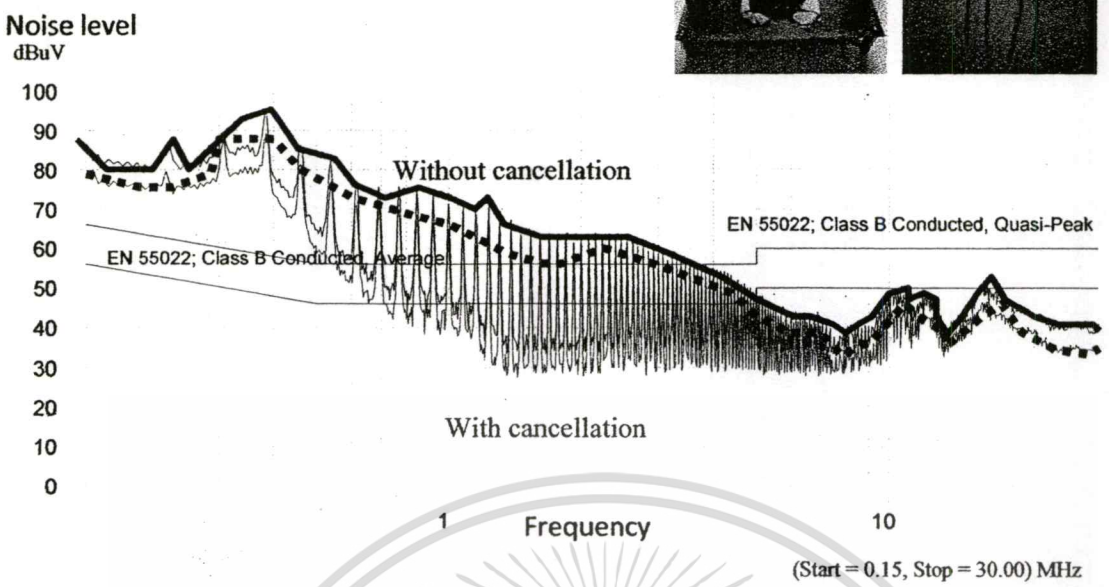
รูปที่ 6.104 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.104 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตั้งแต่ที่ความถี่ 190 kHz ไปจนถึง 15 MHz หลังจากนั้นจะมีอัตราการลดทอนใกล้เคียงกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



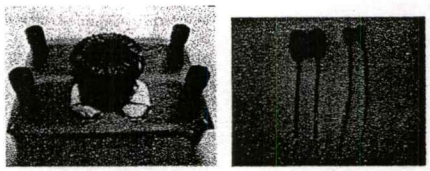


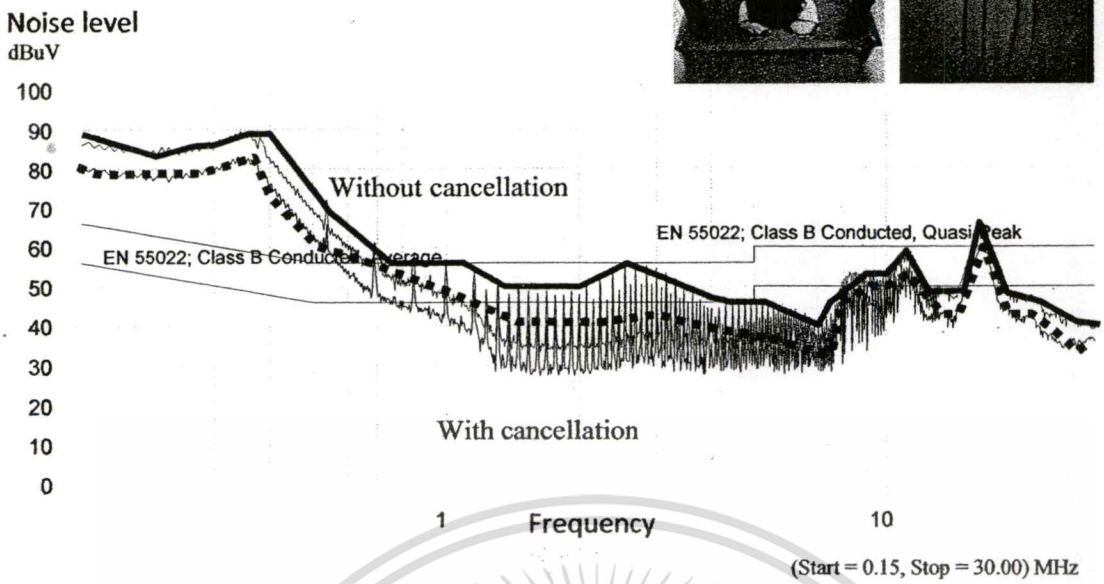
รูปที่ 6.105 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.105 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่เล็กน้อย

○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



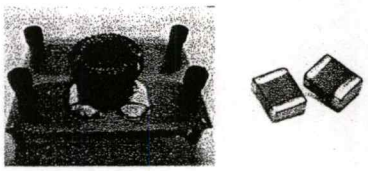


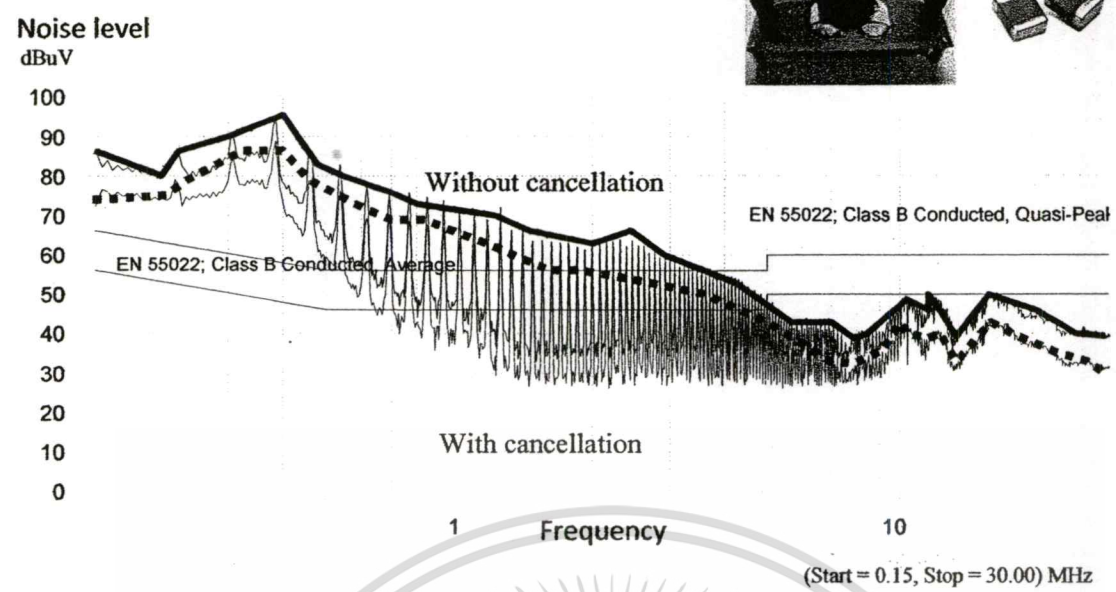
รูปที่ 6.106 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.106 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่เล็กน้อย

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



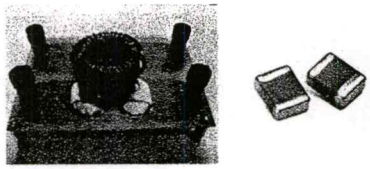


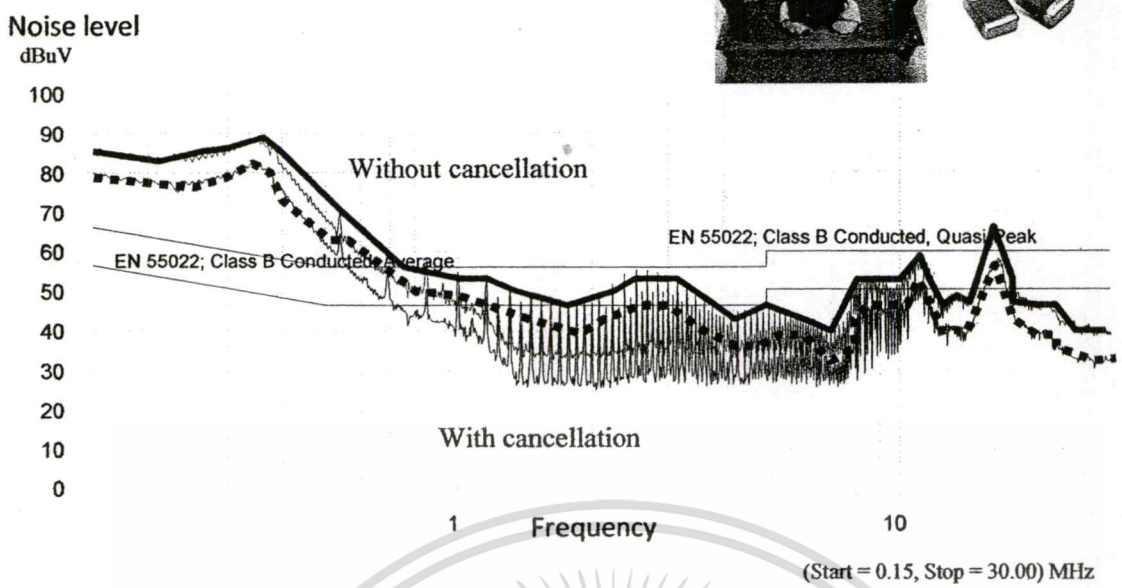
รูปที่ 6.107 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.107 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 6.108 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

จากรูปที่ 6.108 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่

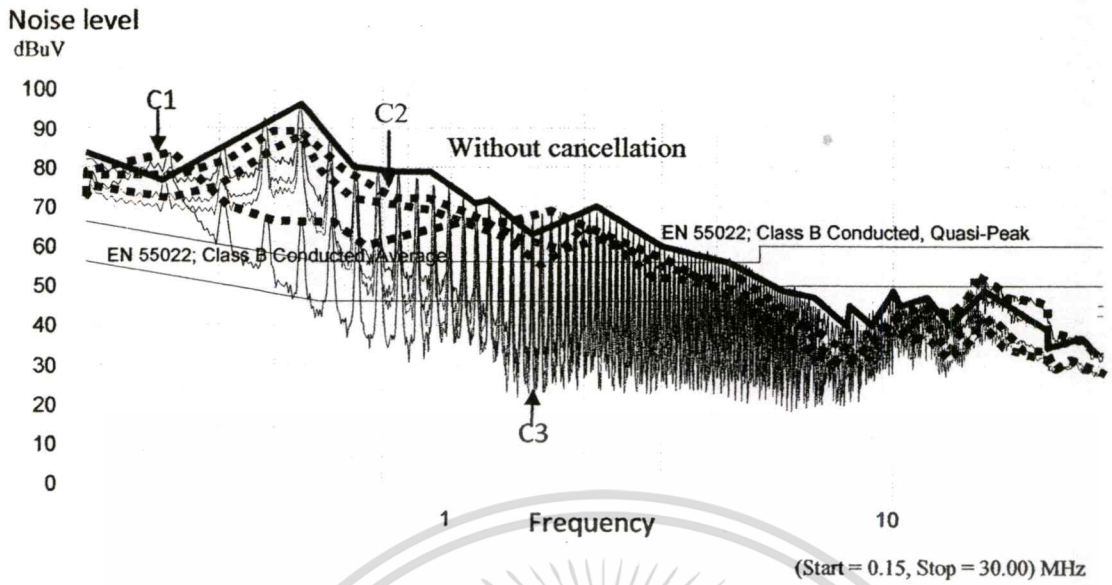
6.3.1.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน

ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด โดยจะแบ่งออกมาเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน และตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

1. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

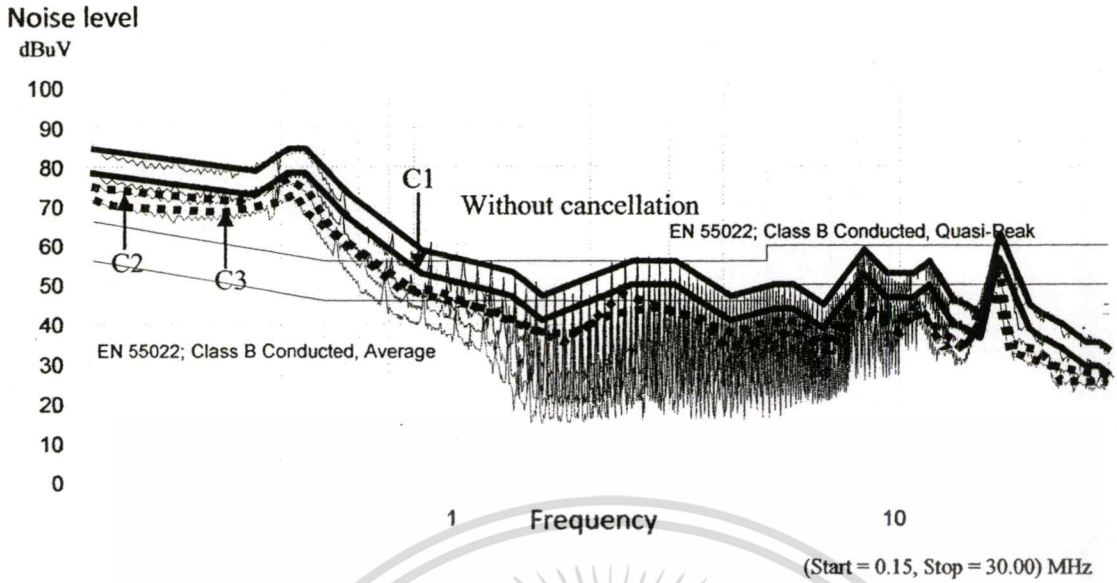


รูปที่ 6.109 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.109 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



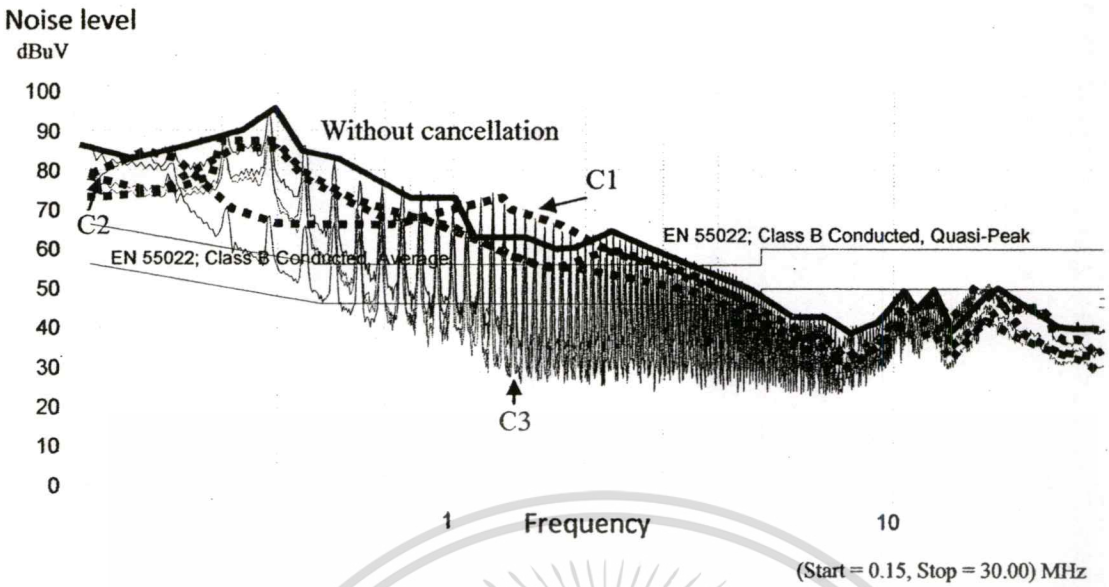
รูปที่ 6.110 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.110 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดี ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง

2. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

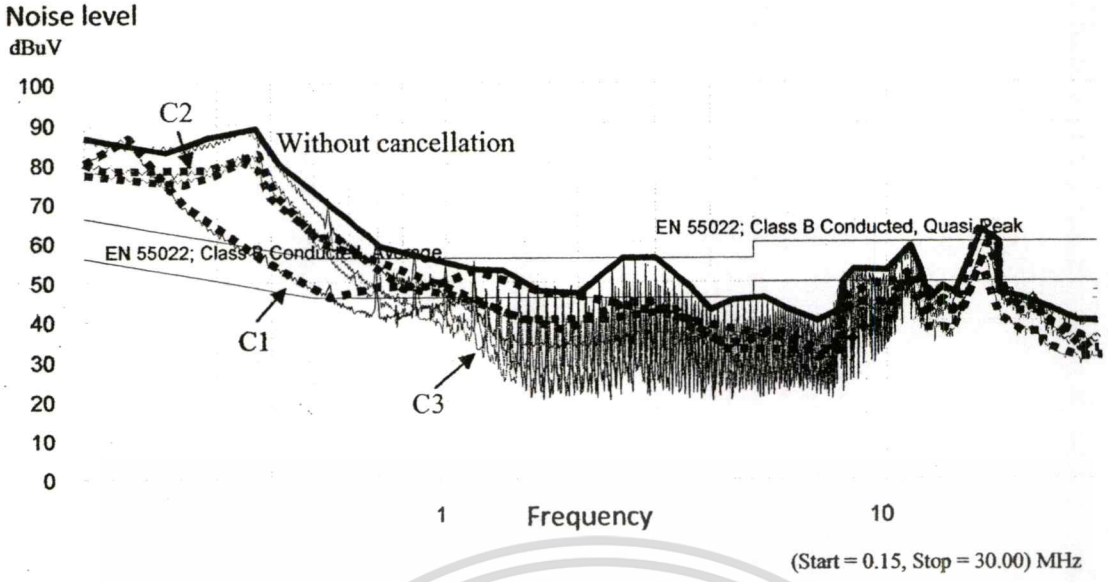


รูปที่ 6.111 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.111 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตราการลดทอนดีที่สุดในช่วงความถี่สูง แต่ให้ผลที่ไม่ดีนักที่ช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งให้ผลคล้ายกับตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ให้ผลอัตราการลดทอนดีในช่วงความถี่สูงรองลงมาจาก SMD และตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคให้ผลอัตราการลดทอนที่ดีในช่วงความถี่ต่ำ แต่ที่ความถี่สูงให้ผลอัตราการลดทอนแย่ที่สุด

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



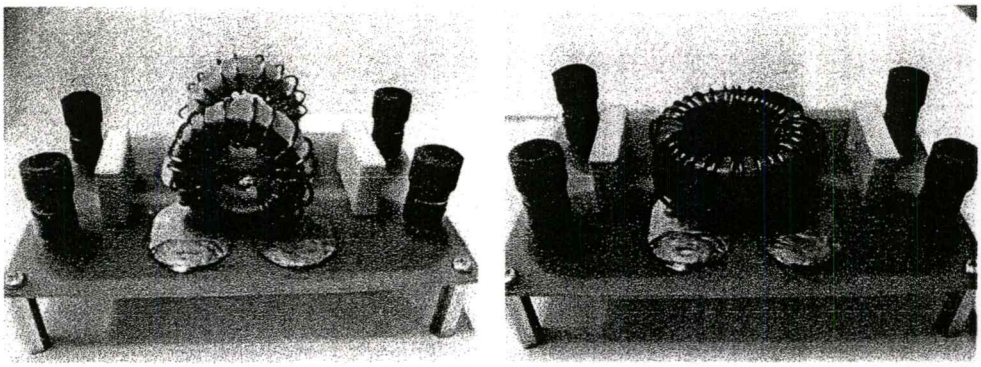
รูปที่ 6.112 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.112 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุดในช่วงความถี่สูง แต่ให้ผลที่ไม่ดีนักที่ช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งให้ผลคล้ายกับตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ให้ผลอัตราการลดทอนดีในช่วงความถี่สูงรองลงมาจาก SMD และตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคให้ผลอัตราการลดทอนที่ดีในช่วงความถี่ต่ำ แต่ที่ความถี่สูงให้ผลอัตราการลดทอนแย่ที่สุด คล้ายกับผลในกรณี no load

6.3.2 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง (Differential Mode Filter)

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้วงจรกรองที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง เพื่อดูผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในกรณีที่มีตัวเหนี่ยวนำในวงจรร่วมกับตัวเก็บประจุ Cx โดยวงจรกรองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก และแบบแกนร่วม แสดงดังรูปที่ 6.113 (ก) และ (ข) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

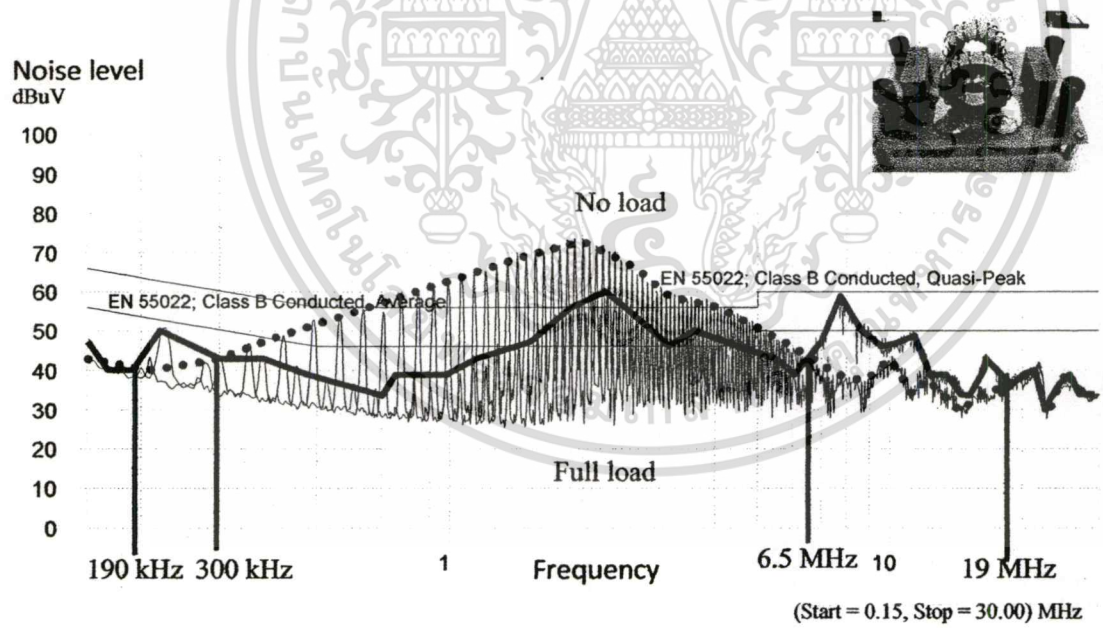
รูปที่ 6.113 วงจรกรองแบบโหมดผลต่าง

(ก) ชนิดแกนแยกกัน (ข) ชนิดแกนร่วมกัน

ทำการทดสอบโดยให้บู้สต์คอนเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานที่ no load และ full load ขณะที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคหักล้าง และมีการใช้เทคนิคการหักล้างแล้ว ซึ่งสามารถย้อนกลับไปดูที่ตาราง 6.4 ได้ ซึ่งจะแสดงการทดสอบแบ่งออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

6.3.2.1 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง



รูปที่ 6.114 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่าง

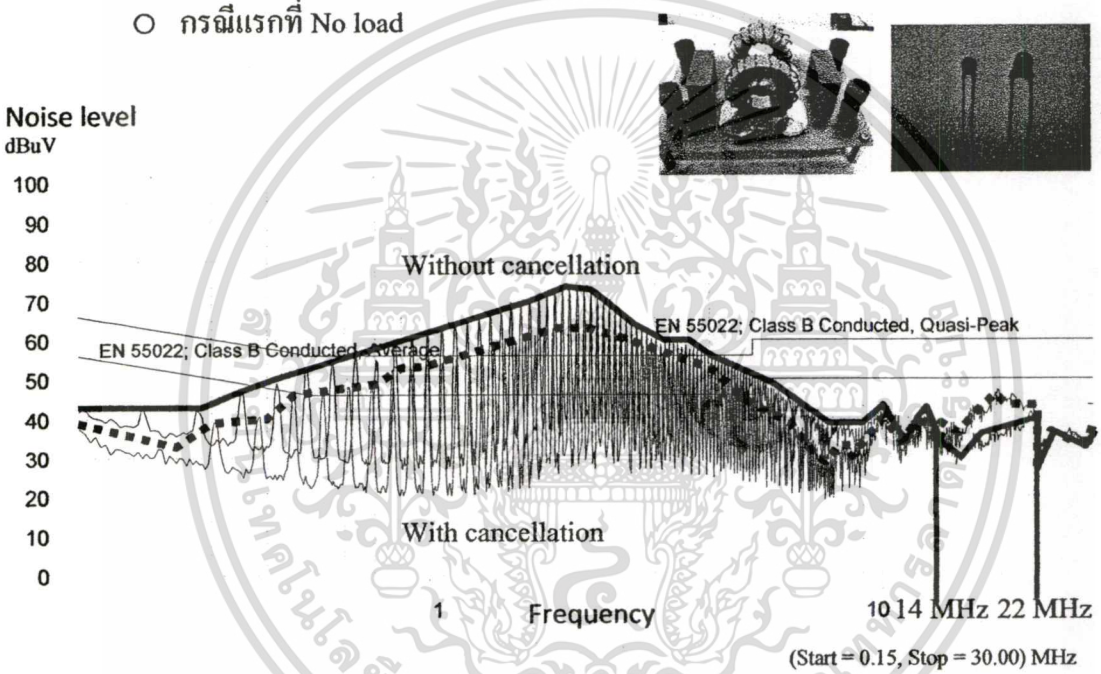
กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.114 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างโดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่าตั้งแต่ที่ความถี่ 190 kHz จนถึง 300 kHz ที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ามาก แต่ที่ความถี่ 300 kHz จนถึง 6.5 MHz พบว่าที่ no load กลับมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า แต่ที่ความถี่ 6.5 MHz จนถึง 19 MHz ที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า และที่ความถี่สูงกว่า 19 MHz พบว่ามีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากันทั้งที่ no load และ full load

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1

  ○ กรณีแรกที่ No load

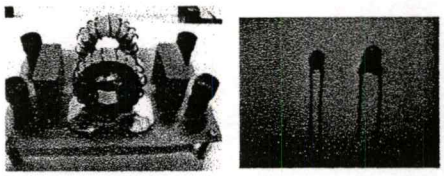


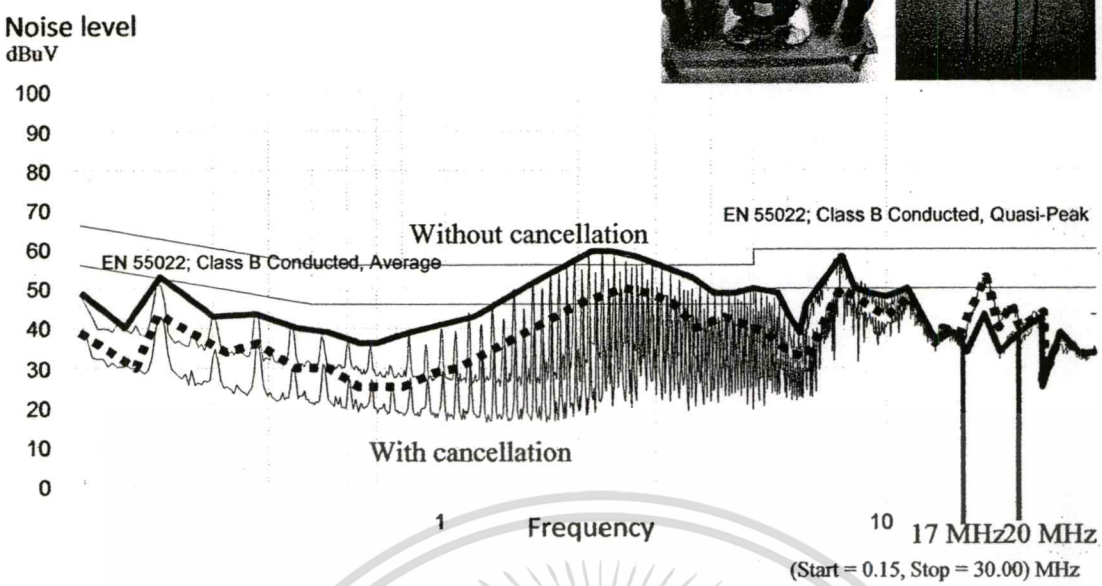
รูปที่ 6.115 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.115 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่ 150 kHz จนถึง 14 MHz แต่ที่ 14 MHz ไปจนถึง 22 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วจะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ากรณีที่ยังไม่ได้หักล้าง และที่ 22 MHz ขึ้นไปมีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากัน

  ○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



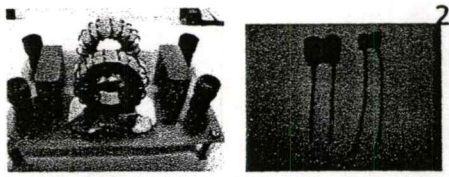


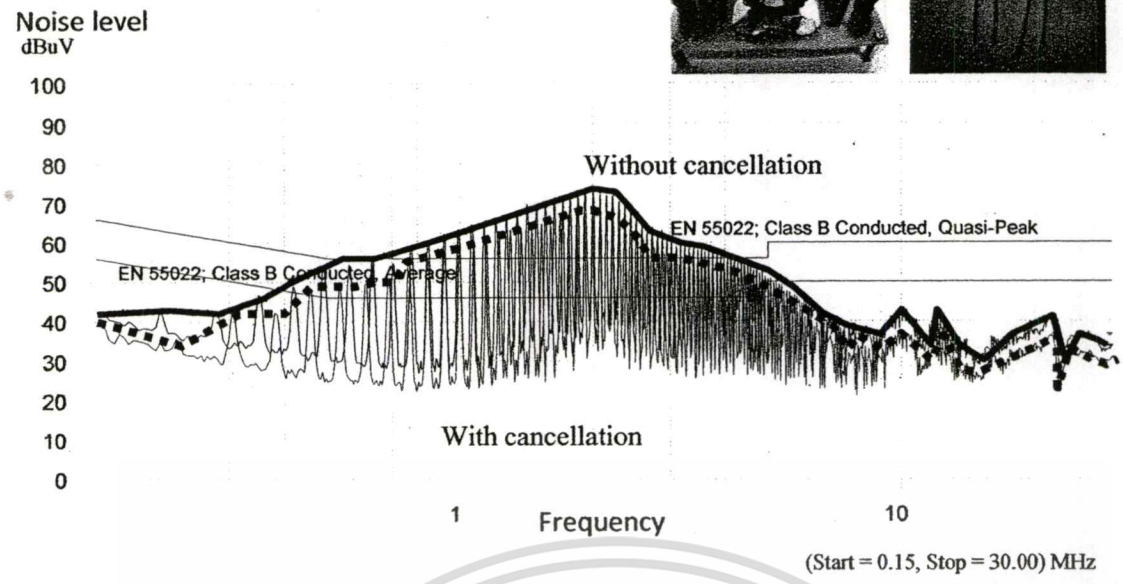
รูปที่ 6.116 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.116 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่ 150 kHz จนถึง 17 MHz แต่ที่ 17 MHz ไปจนถึง 20 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วจะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ากรณีที่ยังไม่ได้หักล้างเพียงเล็กน้อย และที่ 20 MHz ขึ้นไปมีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - ○ กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



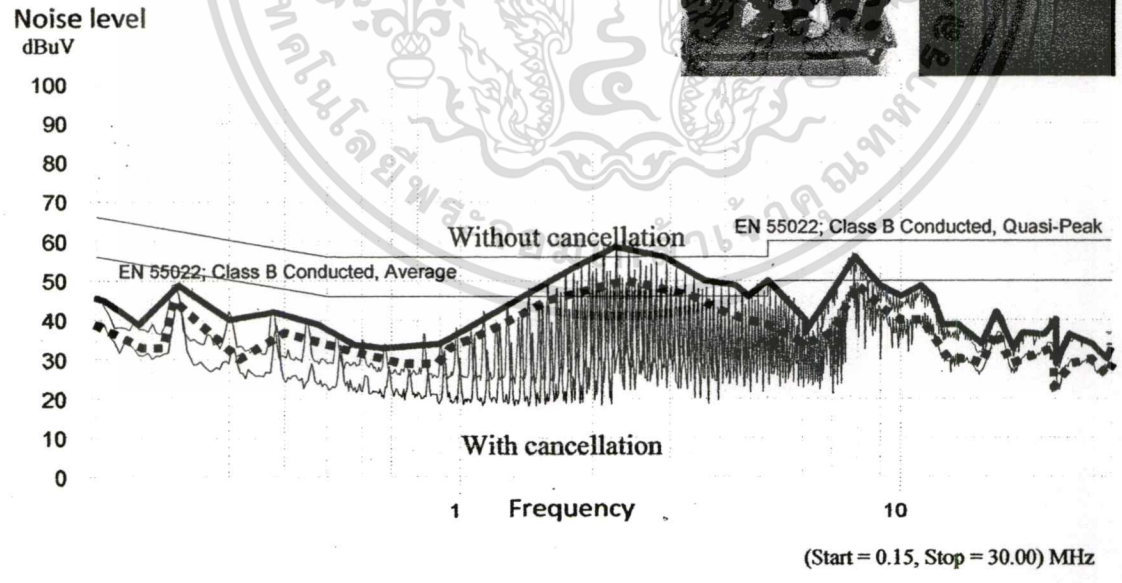


รูปที่ 6.117 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.117 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดย่านความถี่ที่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

○ กรณีที่สองที่ full load





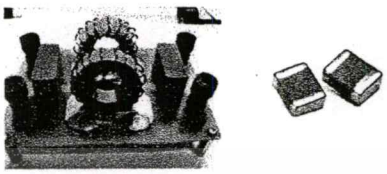
รูปที่ 6.118 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

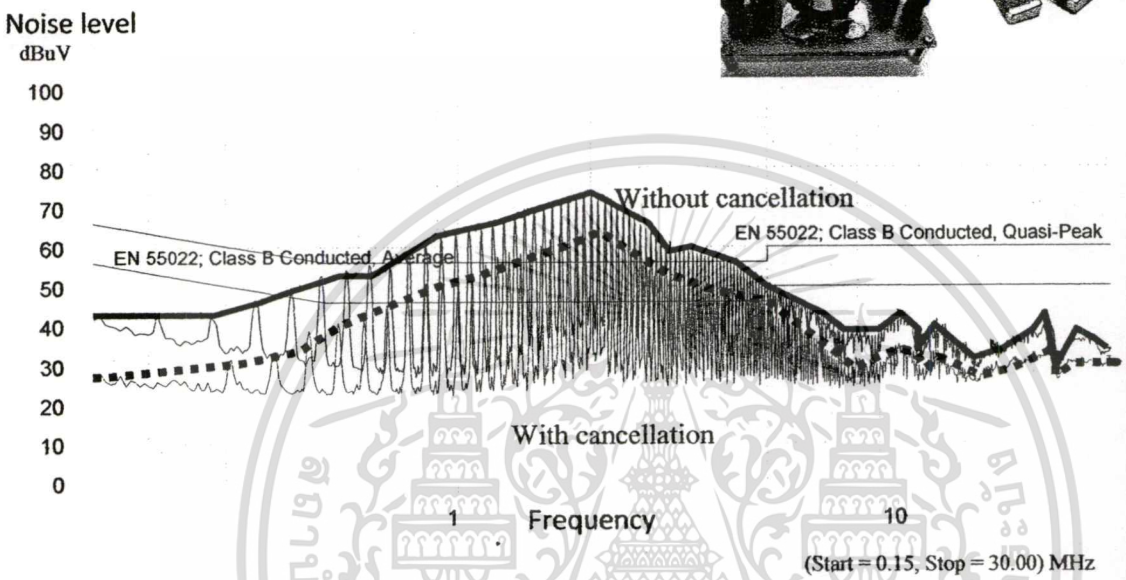
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.118 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดย่านความถี่ที่ทดสอบเพียงเล็กน้อย

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3

  ○ กรณีแรกที่ No load



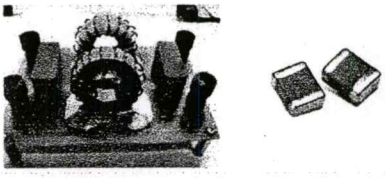


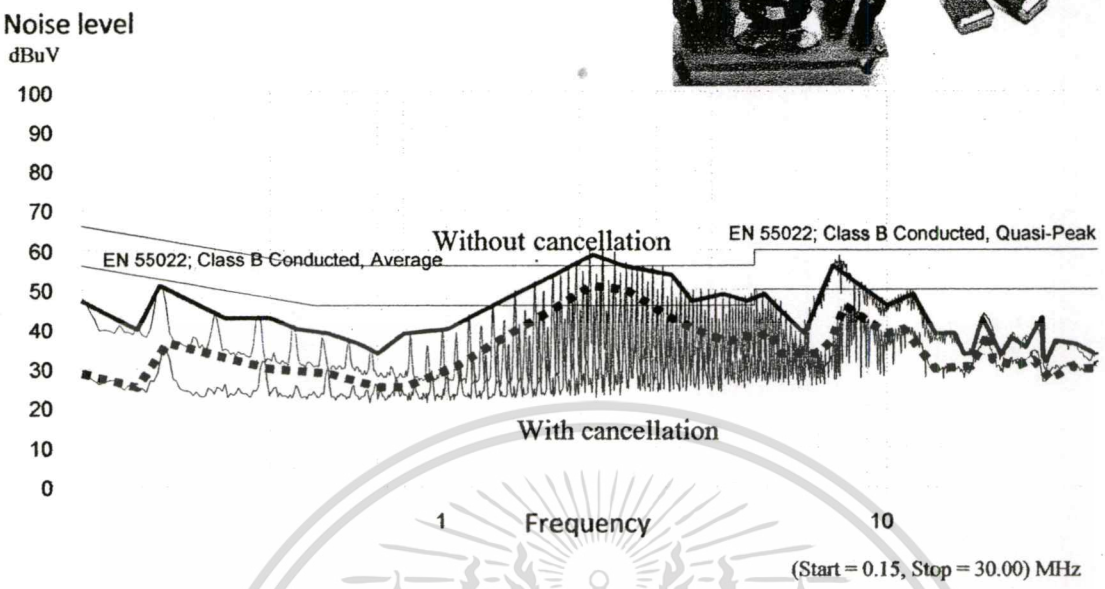
รูปที่ 6.119 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.119 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงอย่างมากในช่วงความถี่ต่ำ และจะลดลงเพียงเล็กน้อยที่ย่านความถี่สูง

  ○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





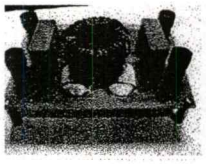
รูปที่ 6.120 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

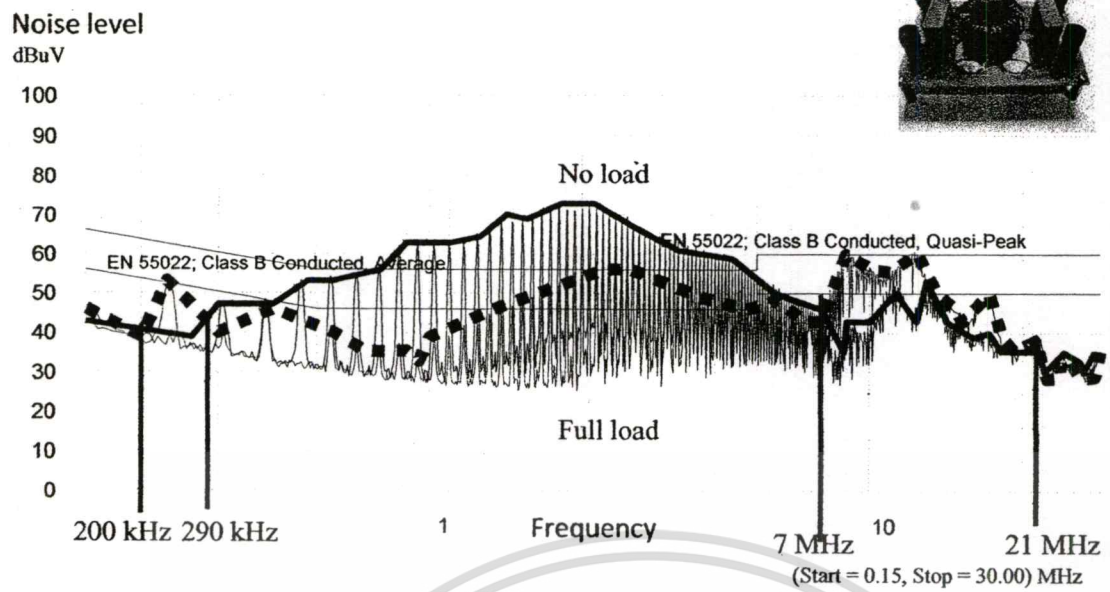
จากรูปที่ 6.120 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงอย่างมากในช่วงความถี่ต่ำจนถึงความถี่ปานกลาง และจะลดลงเพียงเล็กน้อยที่ย่านความถี่สูง

6.3.2.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



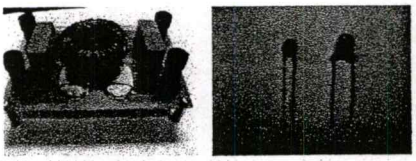


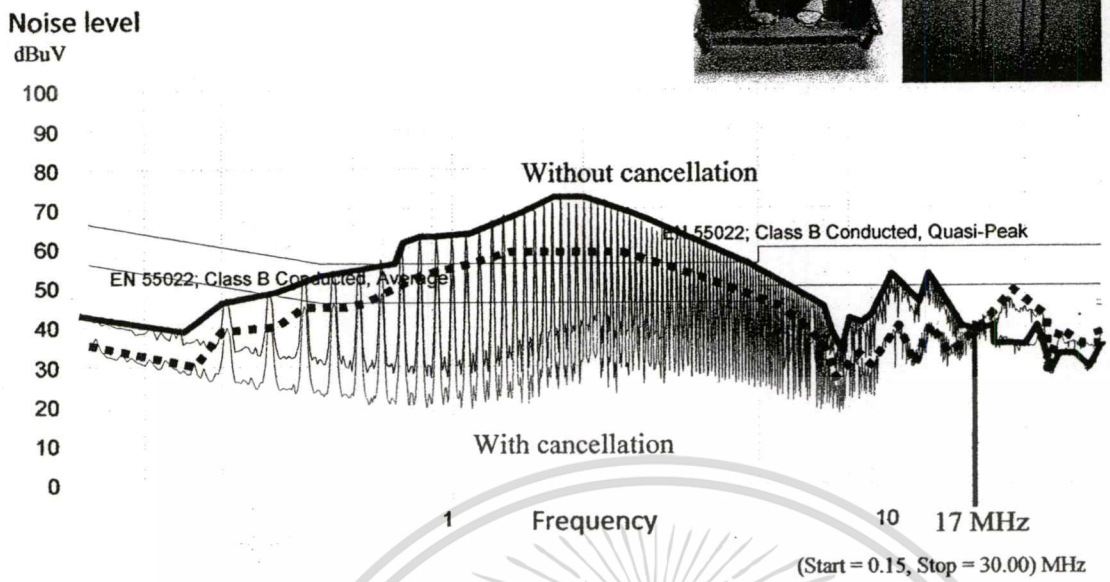
รูปที่ 6.121 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

จากรูปที่ 6.121 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแบบใช้แกนร่วมกัน โดยยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่าตั้งแต่ที่ความถี่ 200 kHz จนถึง 290 kHz ที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ามาก แต่ที่ความถี่ 290 kHz จนถึง 7 MHz พบว่าที่ no load กลับมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า แต่ที่ความถี่ 7 MHz จนถึง 21 MHz ที่ full load จะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่า และที่ความถี่สูงกว่า 21 MHz พบว่ามีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากันทั้งที่ no load และ full load

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



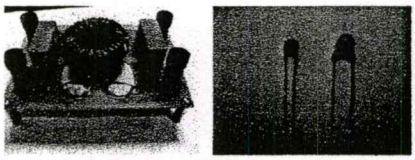


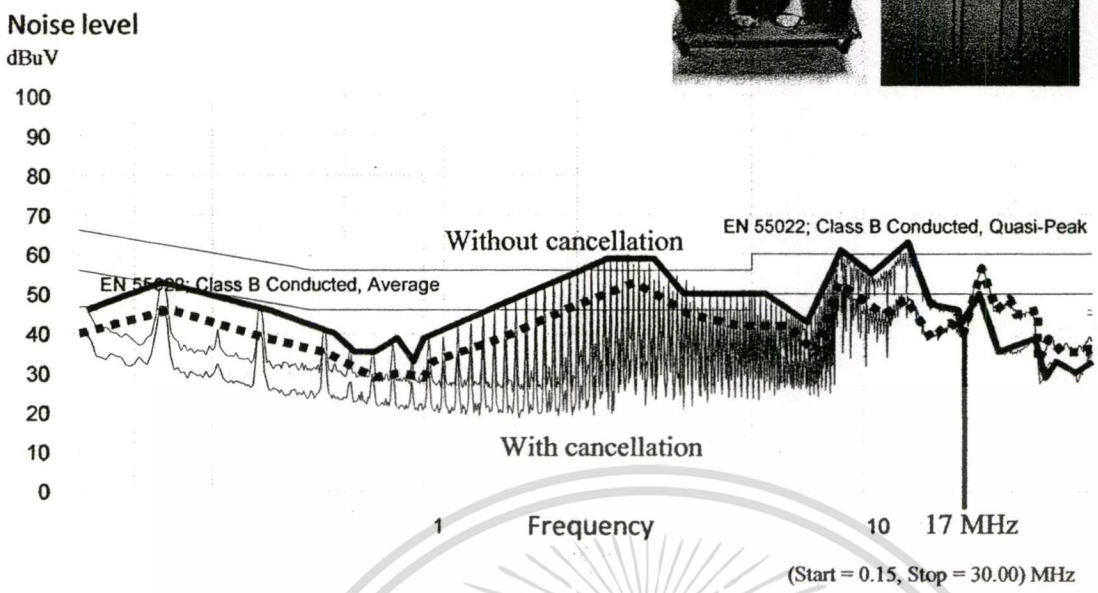
รูปที่ 6.122 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.122 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่ 150 kHz จนถึง 17 MHz แต่ที่ 17 MHz ขึ้นไปวงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วจะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ากรณีที่ยังไม่ได้หักล้าง อาจจะเป็นเนื่องมาจากการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุหรือการเชื่อมโยงระหว่างลายวงจร

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



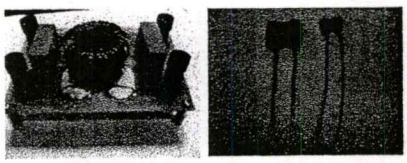


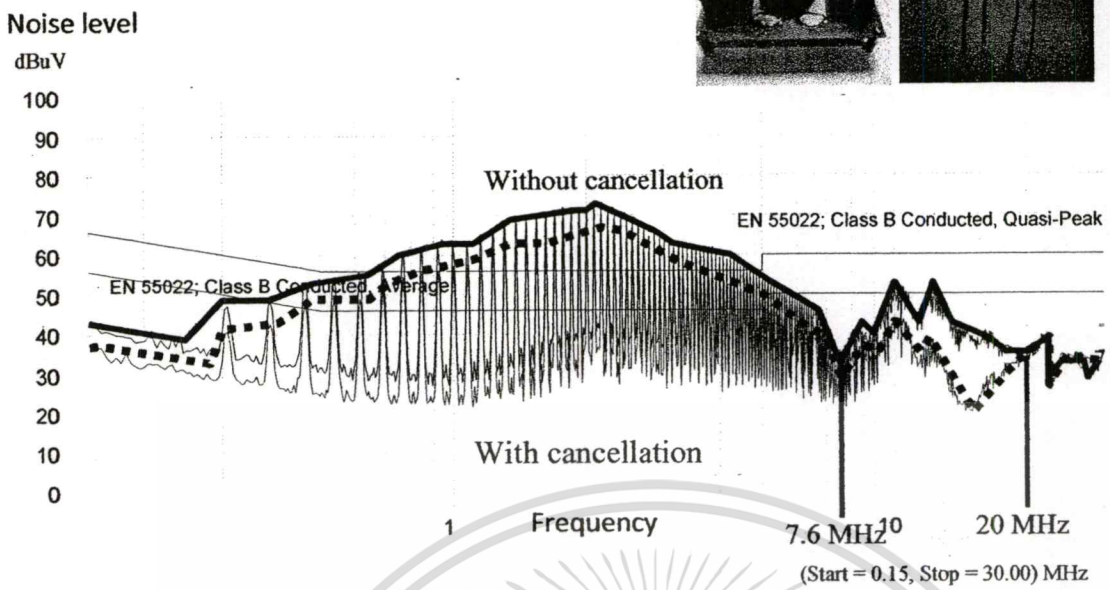
รูปที่ 6.123 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

จากรูปที่ 6.123 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่ 150 kHz จนถึง 17 MHz แต่ที่ 17 MHz ขึ้นไปวงจรกรองที่มีการหักล้างแล้วจะมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่ากรณีที่ยังไม่ได้หักล้าง อาจจะเป็นเนื่องมาจากการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุหรือการเชื่อมโยงระหว่างลายวงจร

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



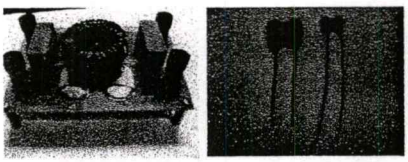


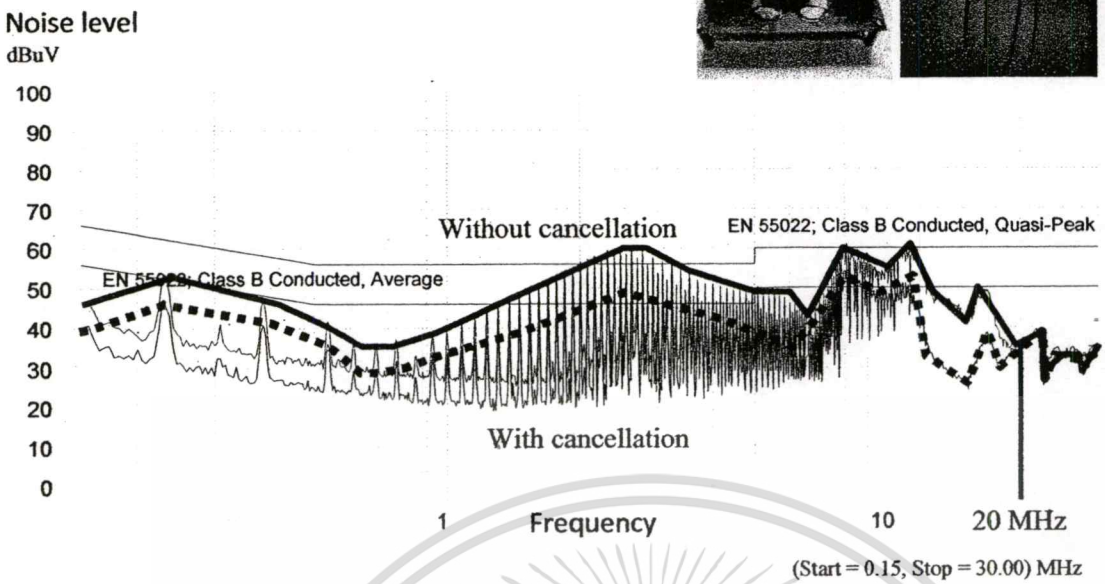
รูปที่ 6.124 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.124 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงในช่วงความถี่ 150 kHz จนถึง 7.6 MHz แต่ที่ 7.6 MHz ไปจนถึง 20 MHz วงจรกรองที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วมีอัตรการลดทอนสูงกว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างมากถึงประมาณ 20 dBuV แต่ที่ความถี่สูงกว่า 20 MHz มีอัตรการลดทอนใกล้เคียงกัน

- กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



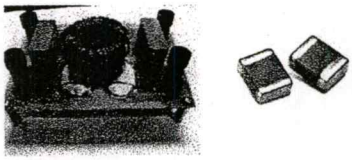


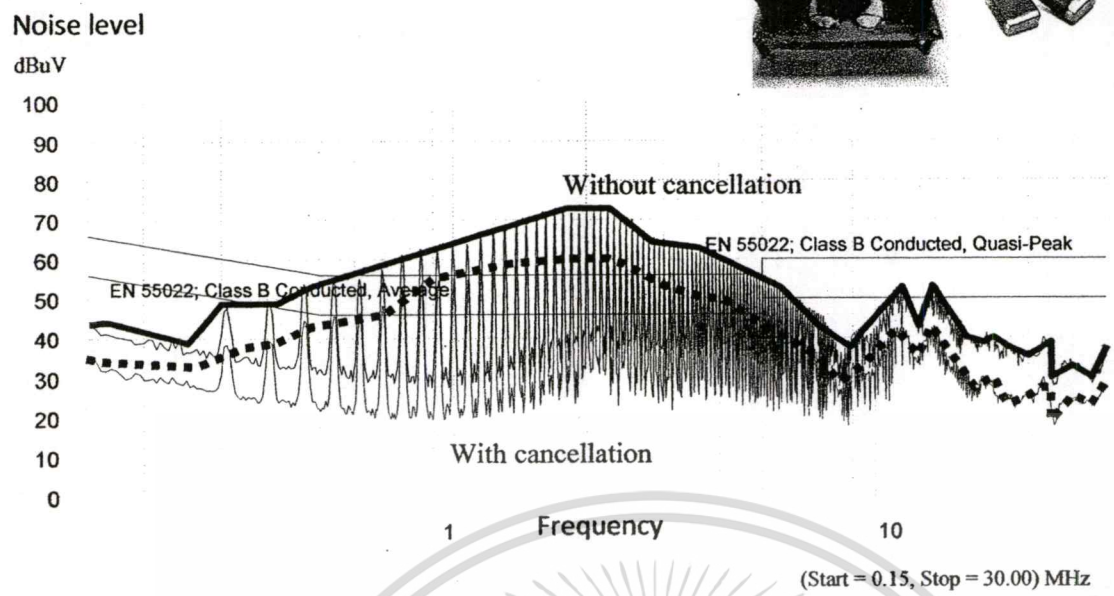
รูปที่ 6.125 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.125 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ต่ำจนถึง 20 MHz แต่ที่ความถี่สูงกว่า 20 MHz มีอัตรการลดทอนใกล้เคียงกัน

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



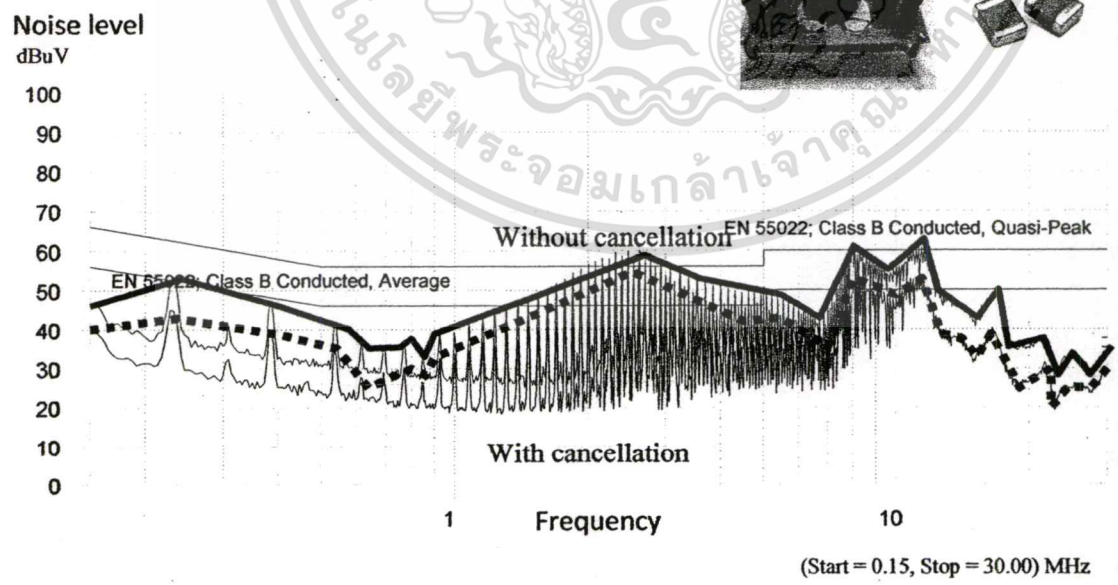


รูปที่ 6.126 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.126 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

○ กรณีที่สองที่ full load





รูปที่ 6.127 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

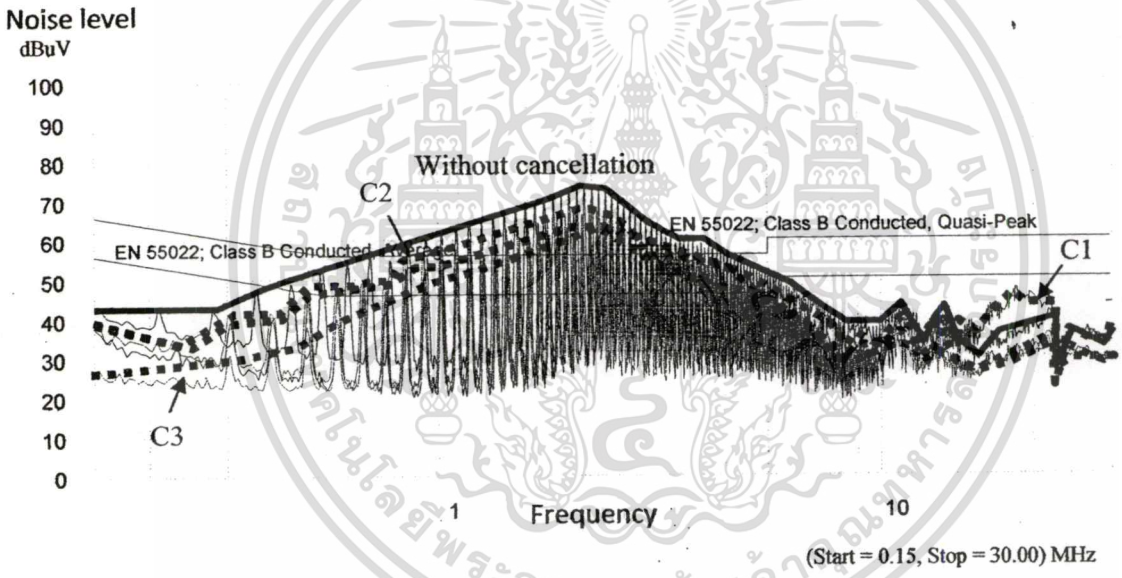
จากรูปที่ 6.127 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จะต่างกับตัวเก็บประจุอีกสองชนิดที่ความถี่สูงจะมีอัตราการลดทอนที่แย่กว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้าง

6.3.2.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน

ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด โดยจะแบ่งออกมาเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน และตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

1. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

- ที่ no load

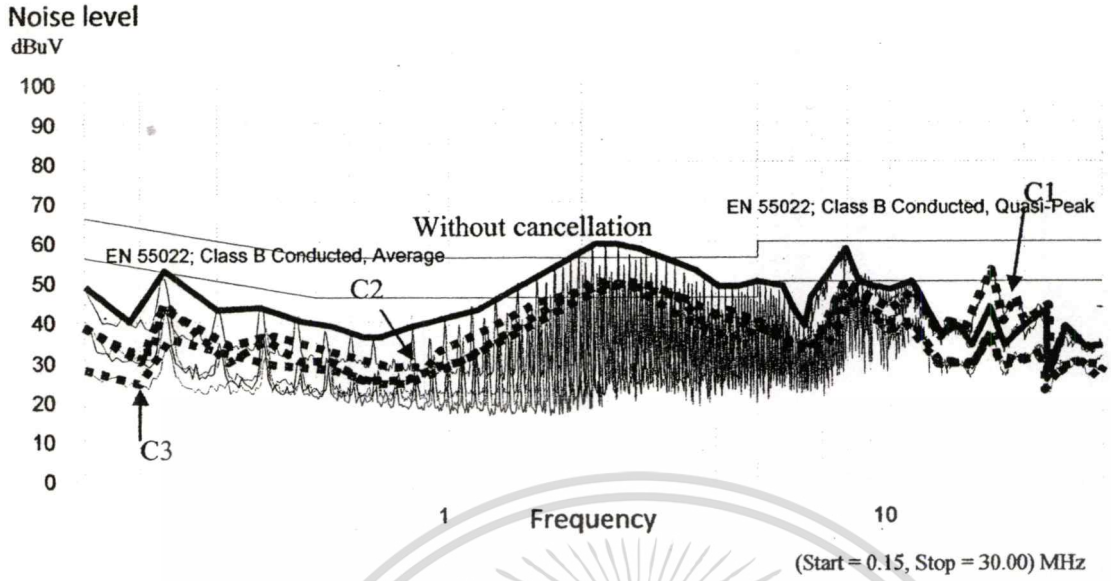


รูปที่ 6.128 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.128 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง แต่ที่ความถี่สูงตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเกิดการเรโซแนนซ์ทำให้มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดและแย่กว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ full load



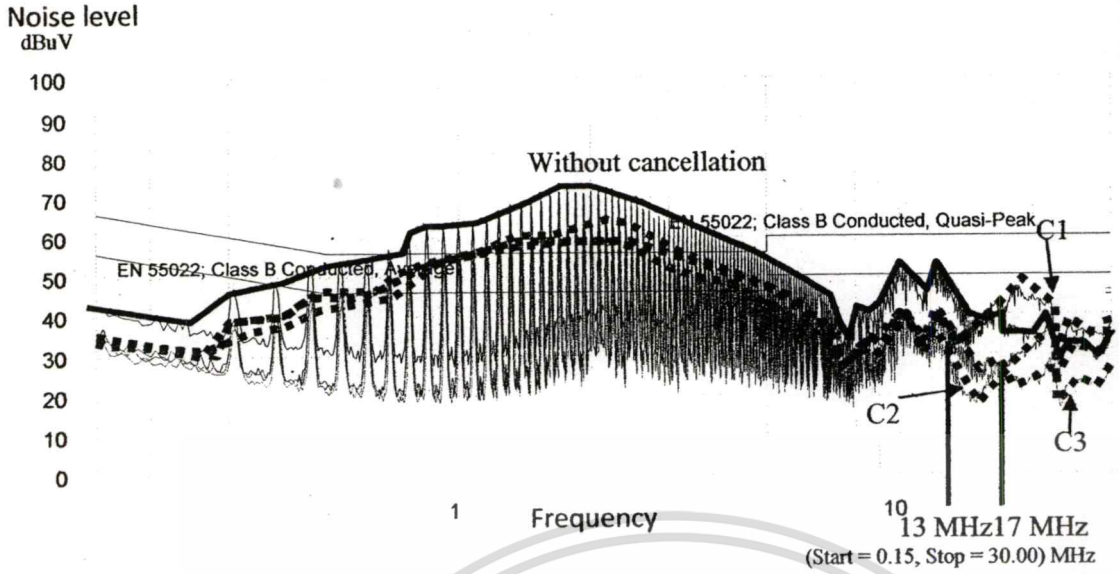
รูปที่ 6.129 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.129 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง แต่ที่ความถี่สูงตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเกิดการเรโซแนนซ์ทำให้มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ และแย่กว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างด้วย

2. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

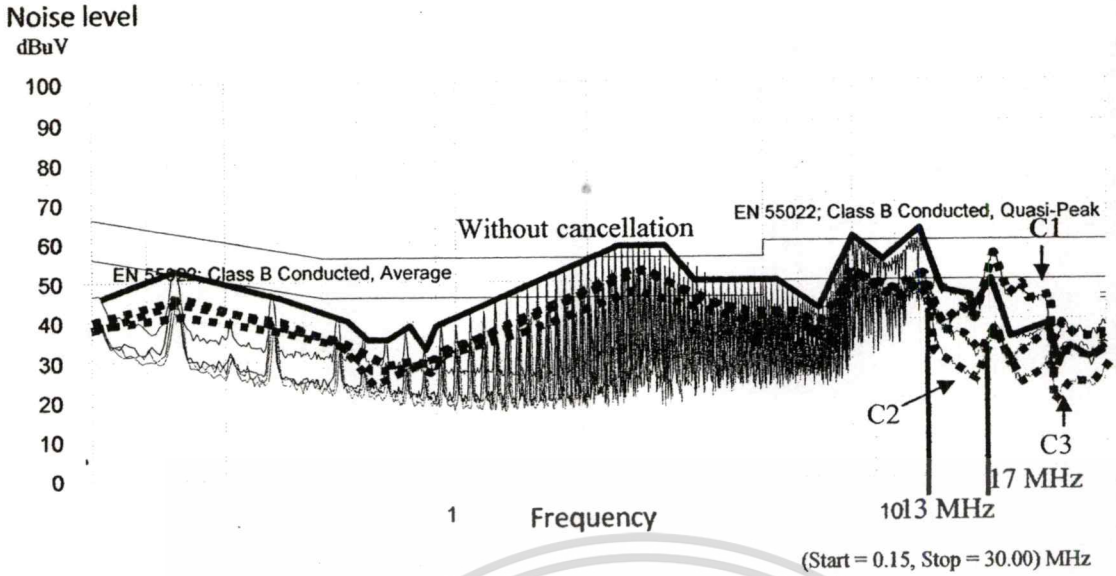


รูปที่ 6.130 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.130 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุดในช่วงความถี่ต่ำจนถึง 13 MHz และช่วงความถี่สูงตั้งแต่ 17 MHz จนถึง 30 MHz และผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ซึ่งมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 13 MHz ถึง 17 MHz จะมีอัตราการลดทอนดีกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ที่ความถี่สูงตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเกิดการเรโซแนนซ์ทำให้มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดและแย่กว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างด้วย

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



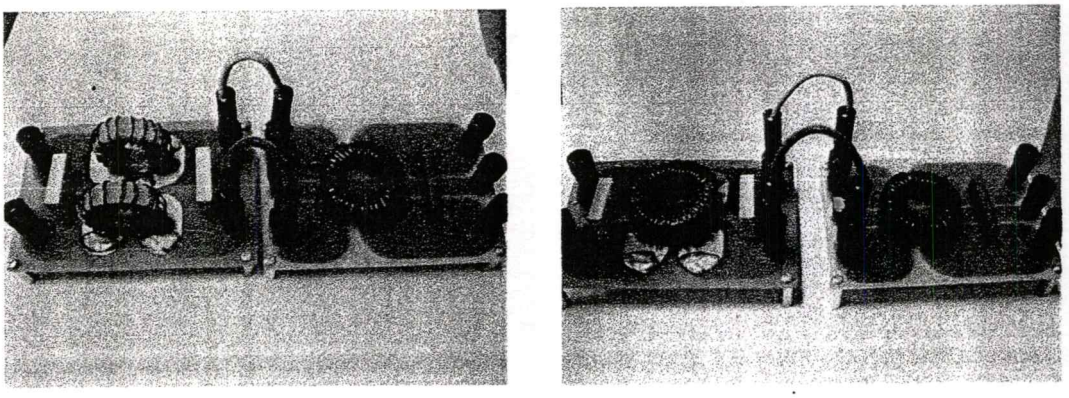
รูปที่ 6.131 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.131 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองโหมดผลต่างแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุดในช่วงความถี่ต่ำจนถึง 13 MHz และช่วงความถี่สูงตั้งแต่ 17 MHz จนถึง 30 MHz และผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือตัวเก็บประจุชนิดไมก้า ซึ่งมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 13 MHz ถึง 17 MHz จะมีอัตราการลดทอนดีกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ที่ความถี่สูงตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเกิดการเรโซแนนซ์ทำให้มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดและแย่กว่าวงจรที่ยังไม่มีการหักล้างด้วย

6.3.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (EMI Filter)

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนโหมดผลร่วมและส่วนโหลดผลต่างเข้าด้วยกัน เพื่อดูผลการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงเมื่อนำวงจรแบบเต็มรูปแบบมาทดสอบ เพราะผลจากวงจรแบบโหมดผลร่วมจะช่วยลดทอนสัญญาณรบกวน และเพื่อดูว่าถ้านำวงจรโหมดผลร่วมมาต่อเข้าไปจะมีผลต่อเทคนิคที่นำเสนอหรือไม่ และสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้เหมือนกรณีอื่นๆ หรือไม่ โดยวงจรกรองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก และแบบแกนร่วม แสดงดังรูปที่ 6.132 (ก) และ (ข) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

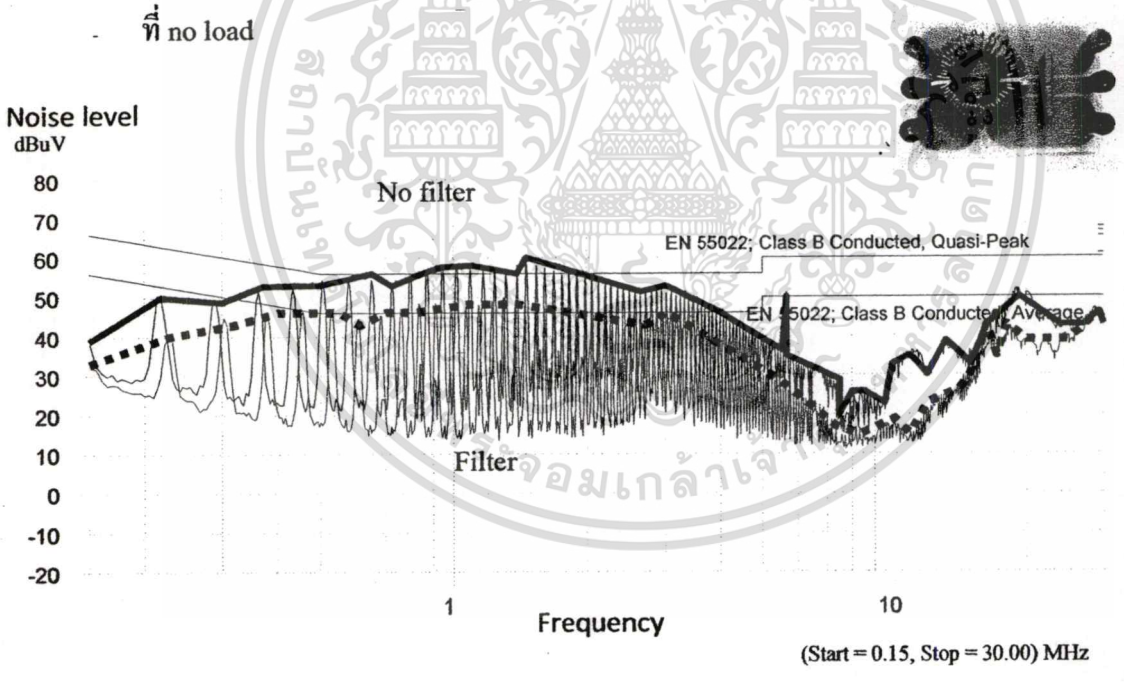
รูปที่ 6.132 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

(ก) ชนิดแกนแยกกัน (ข) ชนิดแกนร่วมกัน

ในขั้นแรกจะทำการทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมก่อน เพื่อเทียบกับมาตรฐานว่าผ่านมาตรฐานหรือไม่ โดยจับสัญญาณรบกวนทดสอบเฉพาะสัญญาณรบกวนในโหมดผลร่วมเท่านั้น ดังนี้

6.3.3.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบโหมดผลร่วม

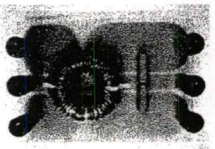
- ที่ no load

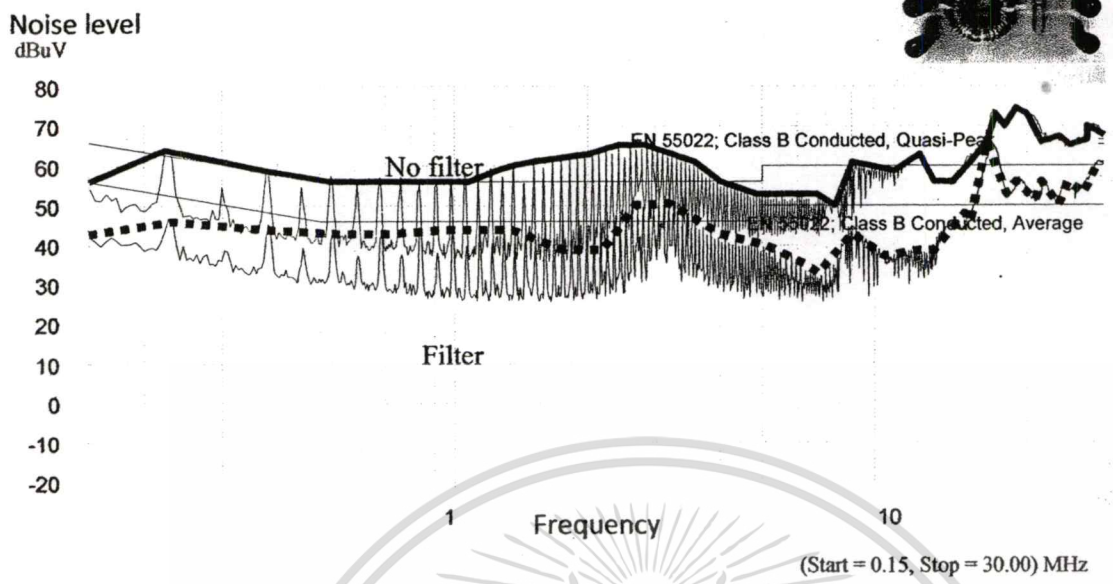


รูปที่ 6.133 ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ full load





รูปที่ 6.134 ทดสอบวงจรกรองแบบโหมดผลร่วมกรณีแกนแยกกัน ที่ full load

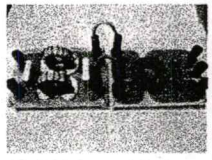
จากรูปที่ 6.133 และ 6.134 หลังจากการทดสอบแล้วได้ผลออกมาอยู่ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้ ก่อนใส่วงจรกรองมีระดับสัญญาณรบกวนสูงกว่าระดับมาตรฐาน แต่เมื่อใส่วงจรกรองเข้าไป ระดับสัญญาณรบกวนลดลงมาอยู่ในระดับเส้นขีดจำกัดสัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้

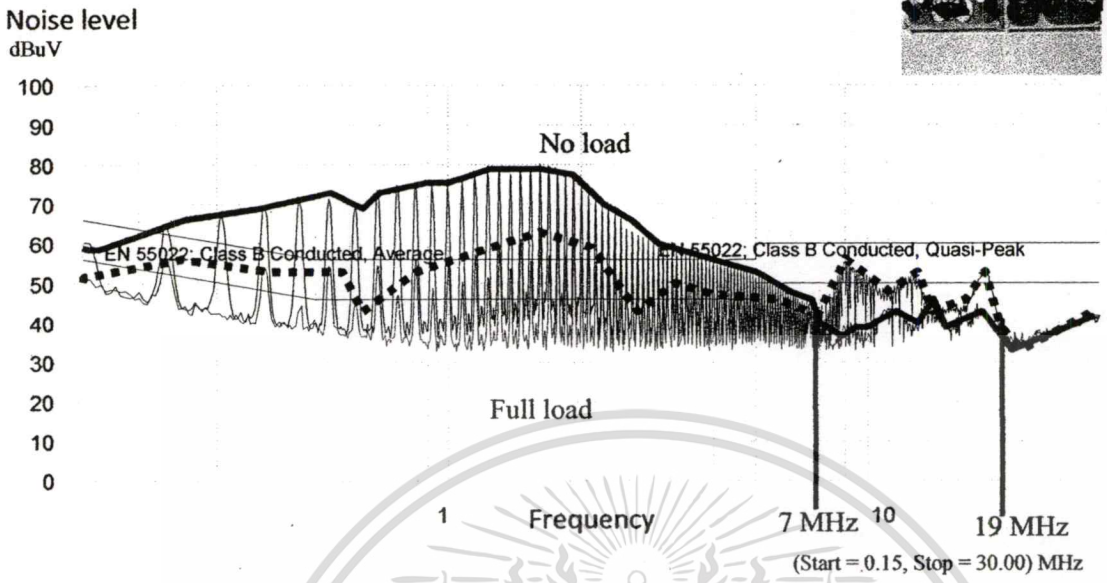
ต่อไปจะทำการทดสอบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยจับสัญญาณรบกวนทั้งหมดทั้งในโหมดผลร่วมและโหมดผลต่างมาทดสอบรวมกัน โดยให้บู๊ตส์ดอนเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานที่ no load และ full load ขณะที่ยังไม่มีการใช้เทคนิคหักล้าง และมีการใช้เทคนิคการหักล้างแล้ว ซึ่งสามารถย้อนกลับไปดูที่ตาราง 6.4 ได้ ซึ่งจะแสดงการทดสอบแบ่งออกมาเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

6.3.3.2 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน (Not coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



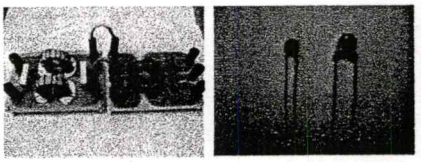


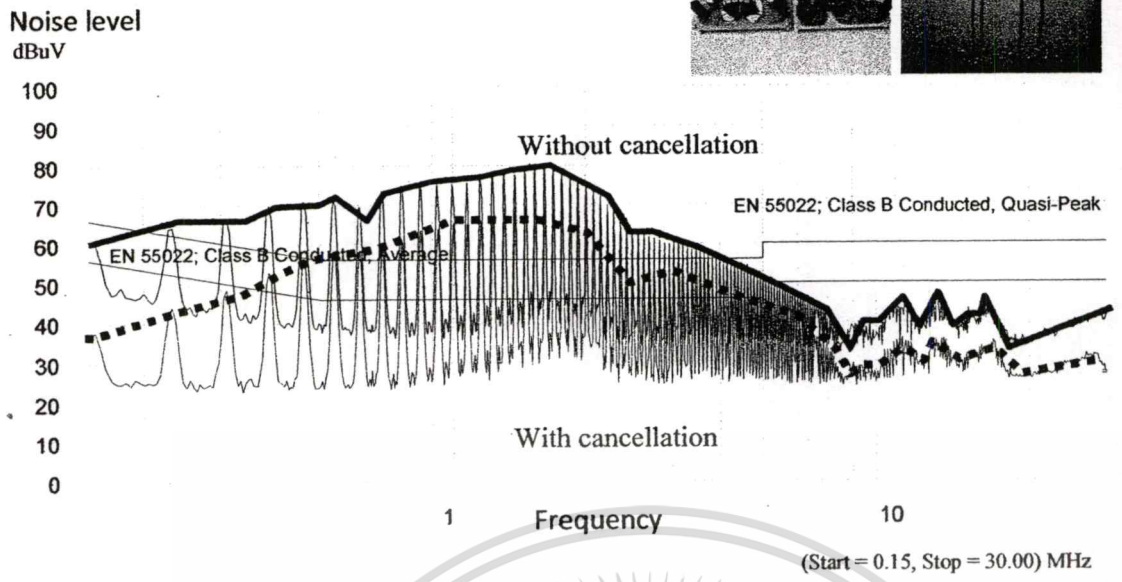
รูปที่ 6.135 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ กรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

จากรูปที่ 6.135 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ซึ่งยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่าตั้งแต่ที่ความถี่ 150 kHz จนถึง 7 MHz ที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนต่ำกว่ามาก แต่ที่ความถี่ 7 MHz จนถึง 19 MHz พบว่าที่ no load กลับมีระดับสัญญาณรบกวนต่ำกว่า และที่ความถี่สูงกว่า 19 MHz พบว่ามีระดับสัญญาณรบกวนเท่ากันทั้งที่ no load และ full load

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

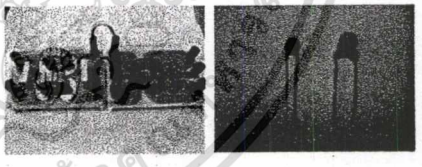


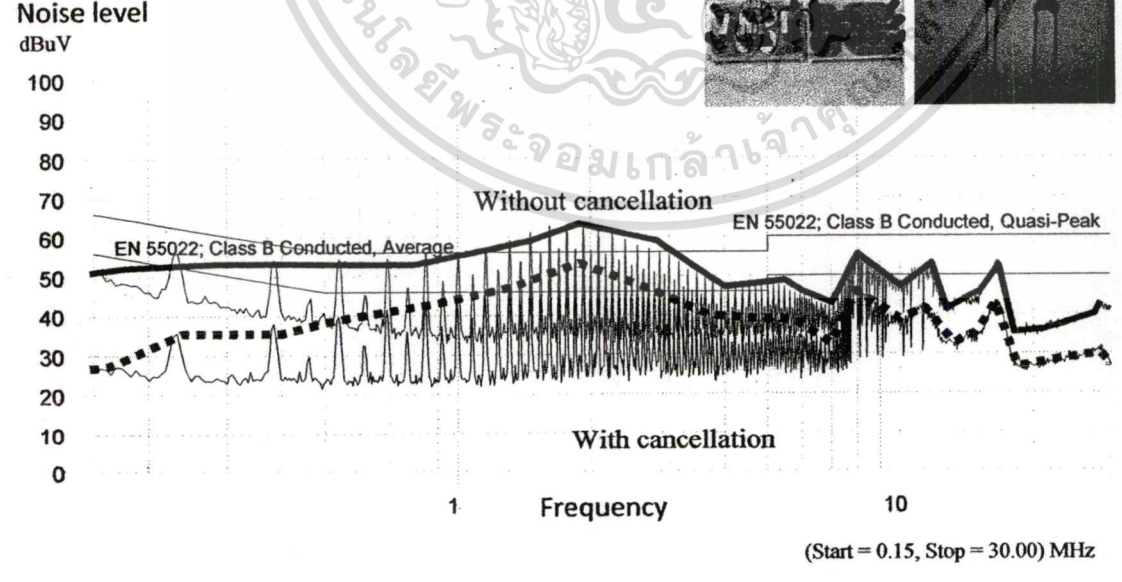


รูปที่ 6.136 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.136 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

- กรณีที่สองที่ full load





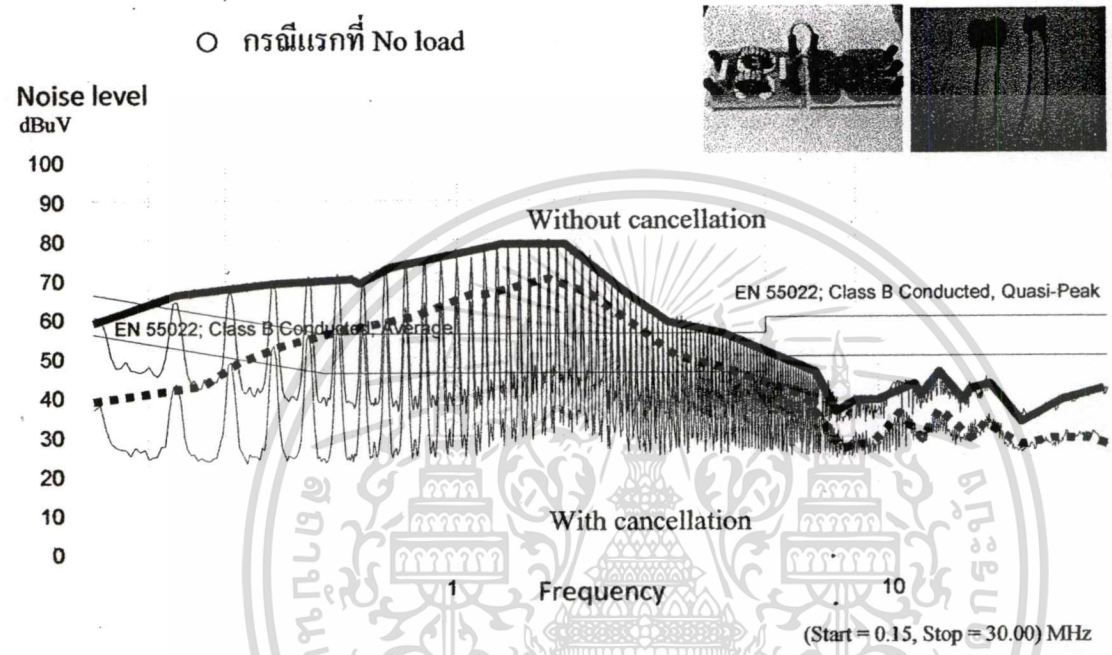
รูปที่ 6.137 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.137 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2

  ○ กรณีแรกที่ No load

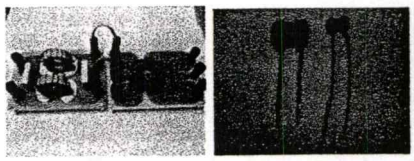


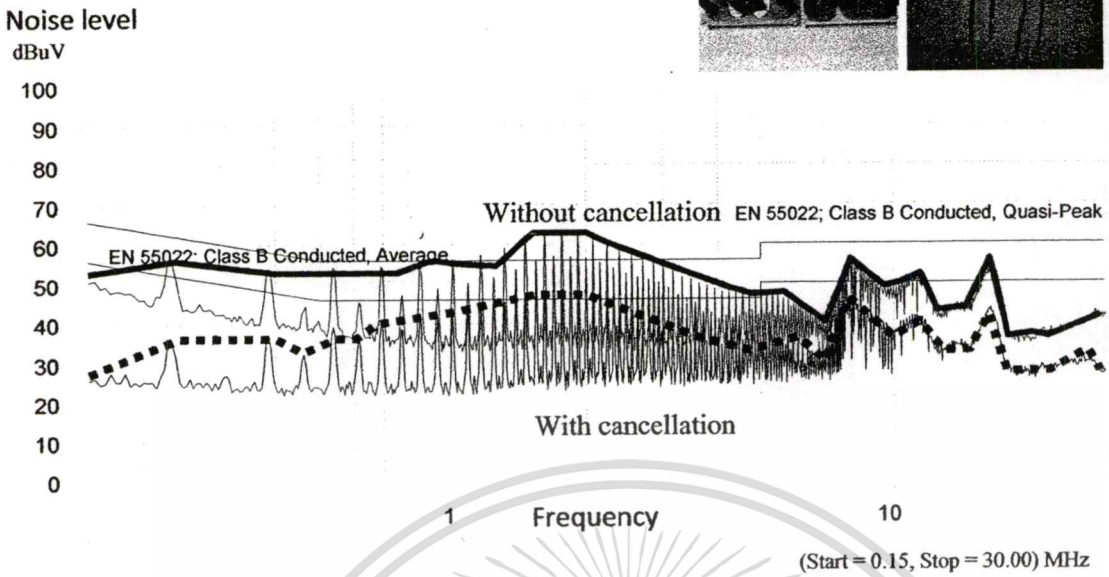
รูปที่ 6.138 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.138 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

  ○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



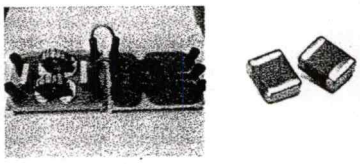


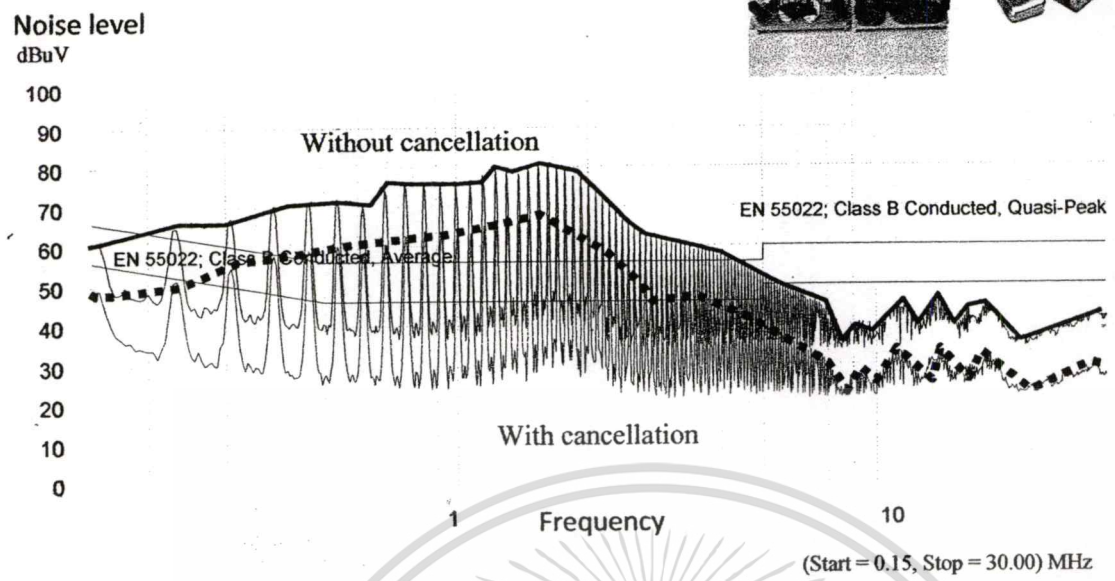
รูปที่ 6.139 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.139 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

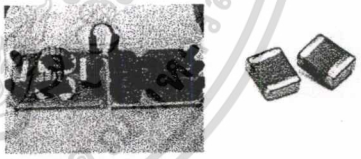


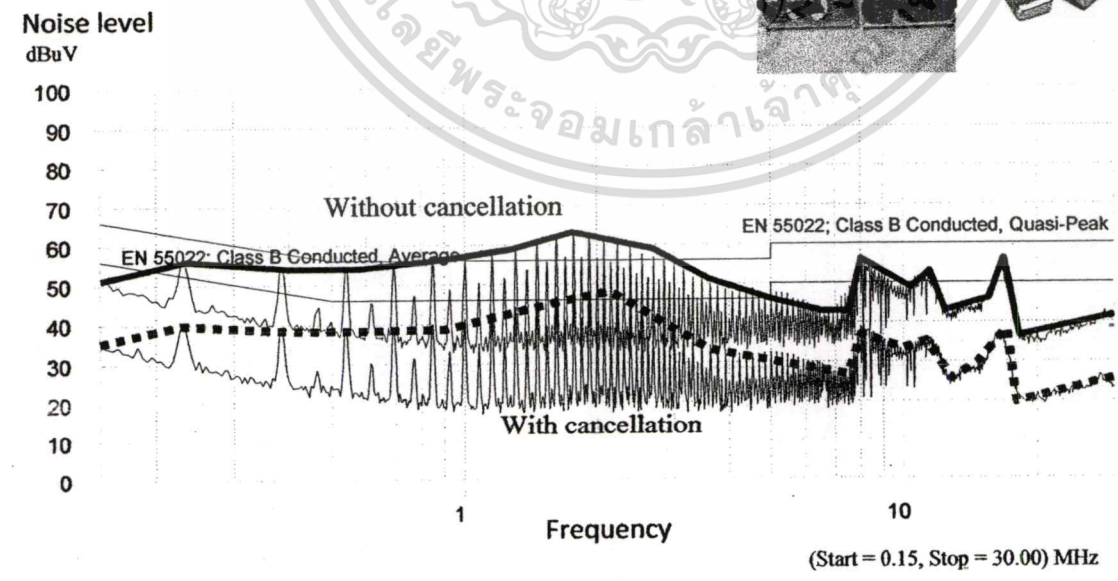


รูปที่ 6.140 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.140 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

○ กรณีที่สองที่ full load





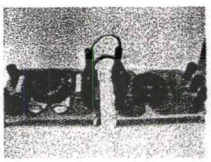
รูปที่ 6.141 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

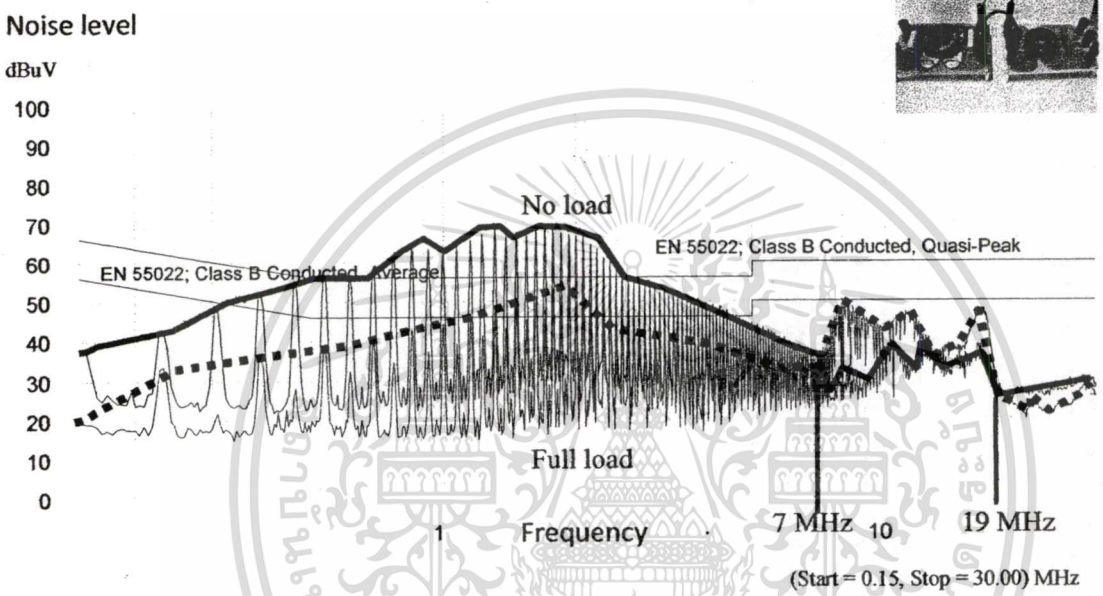
เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.141 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

6.3.3.3 ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน (Coupled)

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยไม่ได้ใช้เทคนิคการหักล้าง



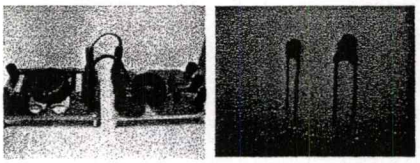


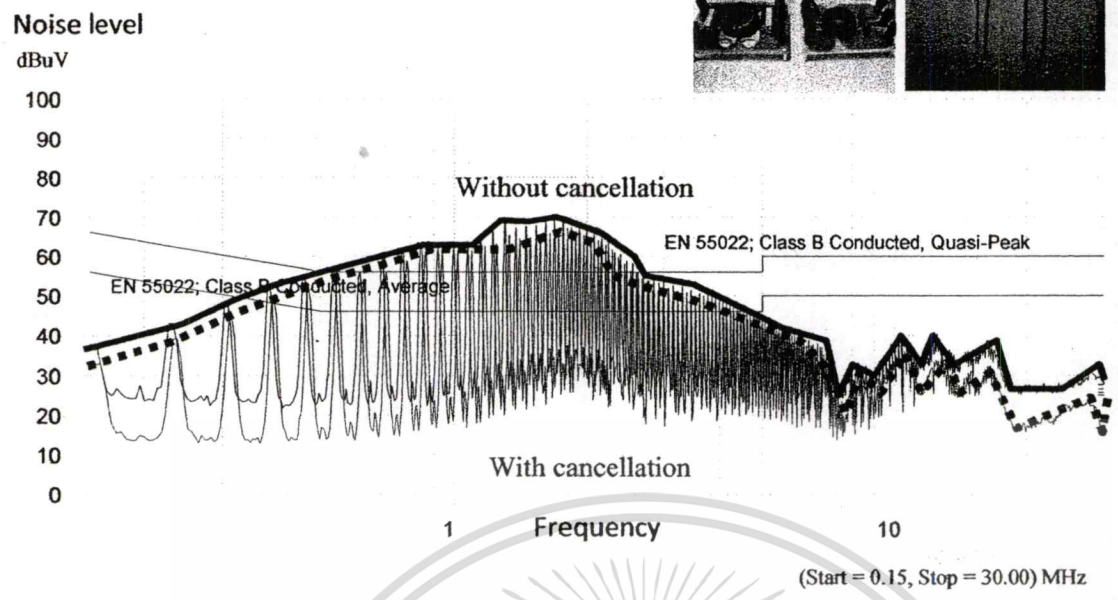
รูปที่ 6.142 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำกรณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกันและยังไม่ใช้เทคนิคการหักล้าง

จากรูปที่ 6.142 เป็นการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน ซึ่งยังไม่ได้นำเทคนิคการหักล้างมาใช้ โดยทำการเปรียบเทียบที่ no load และที่ full load พบว่าตั้งแต่ที่ความถี่ 150 kHz จนถึง 7 MHz ที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนต่ำกว่ามาก แต่ที่ความถี่ 7 MHz จนถึง 19 MHz พบว่าที่ no load กลับมีระดับสัญญาณรบกวนต่ำกว่า และที่ความถี่สูงกว่า 19 MHz พบว่าที่ full load มีระดับสัญญาณรบกวนน้อยกว่า no load

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c1
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

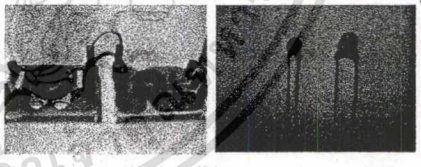


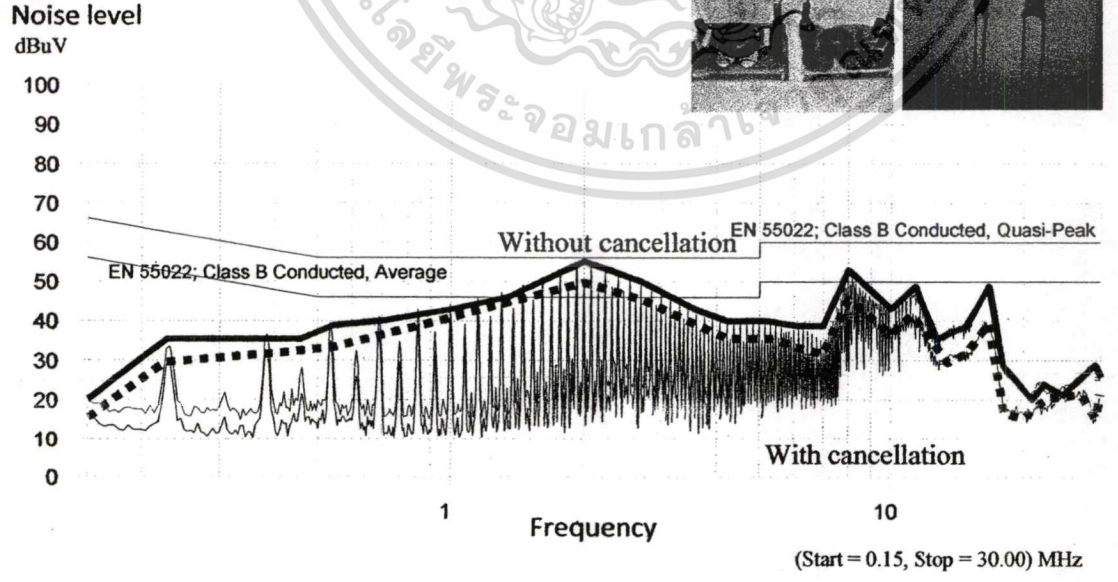


รูปที่ 6.143 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load

จากรูปที่ 6.143 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

○ กรณีที่สองที่ full load





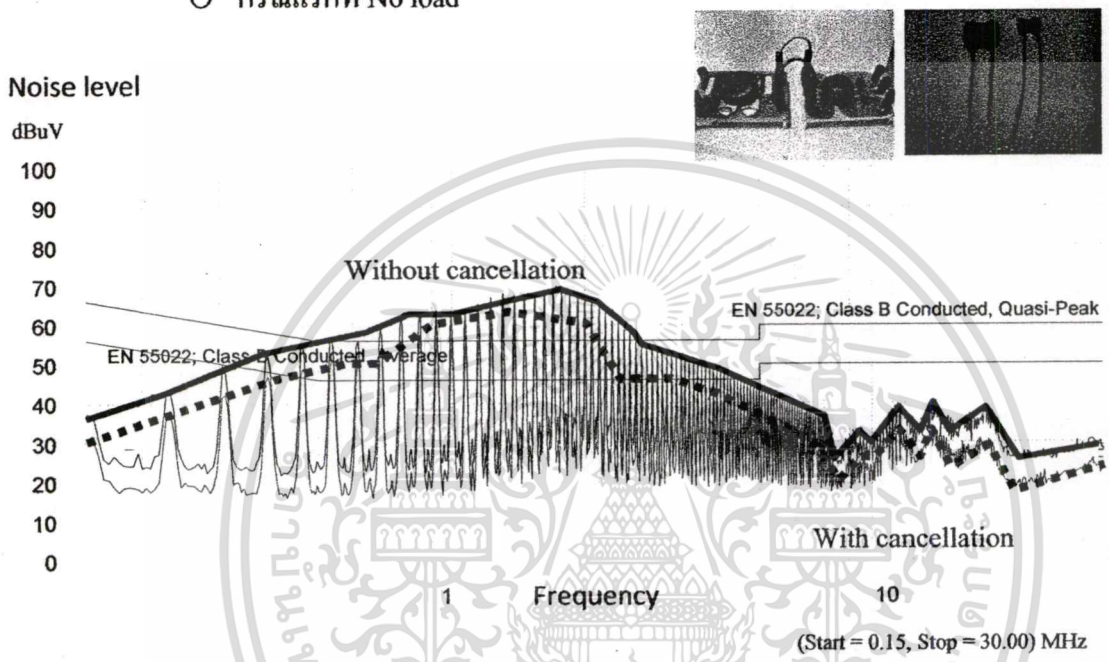
รูปที่ 6.144 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.144 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c2

  ○ กรณีแรกที่ No load

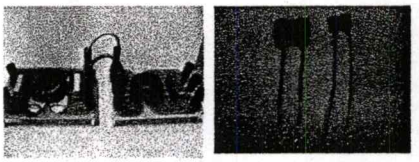


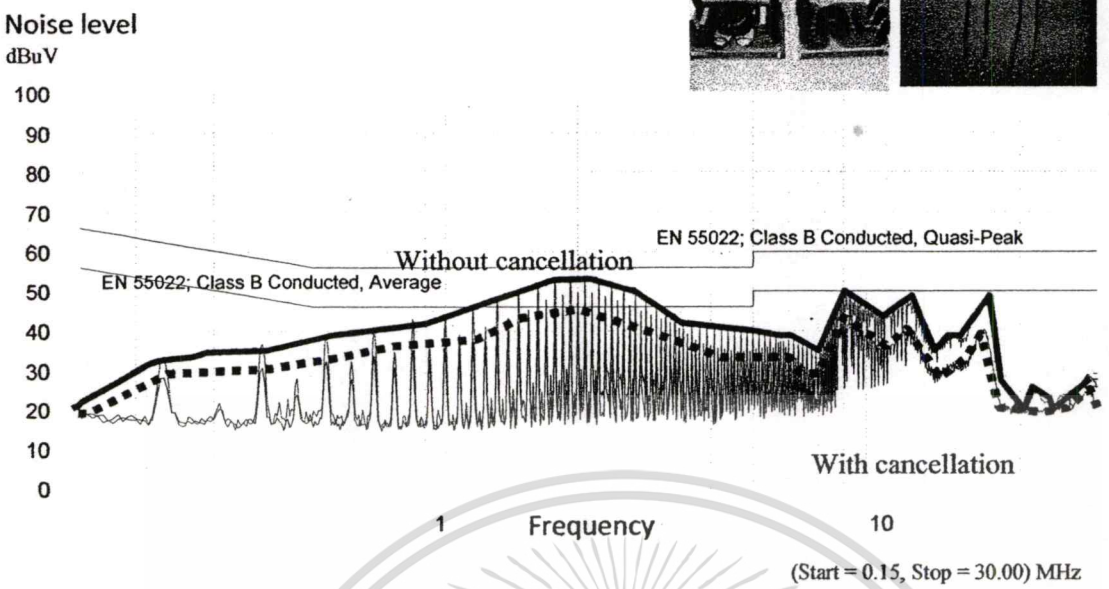
รูปที่ 6.145 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load

จากรูปที่ 6.145 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

  ○ กรณีที่สองที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



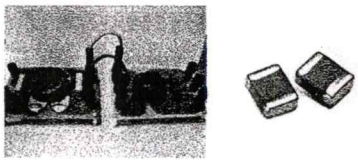


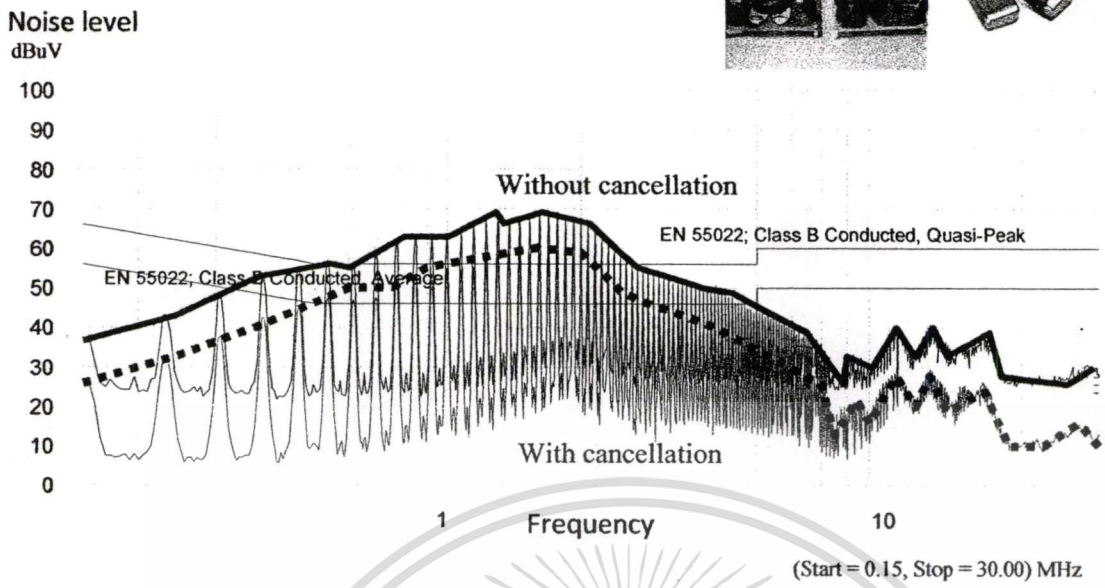
รูปที่ 6.146 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load

จากรูปที่ 6.146 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

- กรณีจ่ายพลังงานที่ no load และ full load โดยใช้เทคนิคการหักล้างด้วย c3
  - กรณีแรกที่ No load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

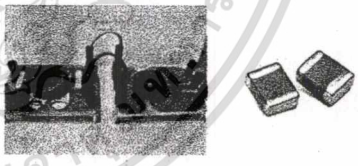


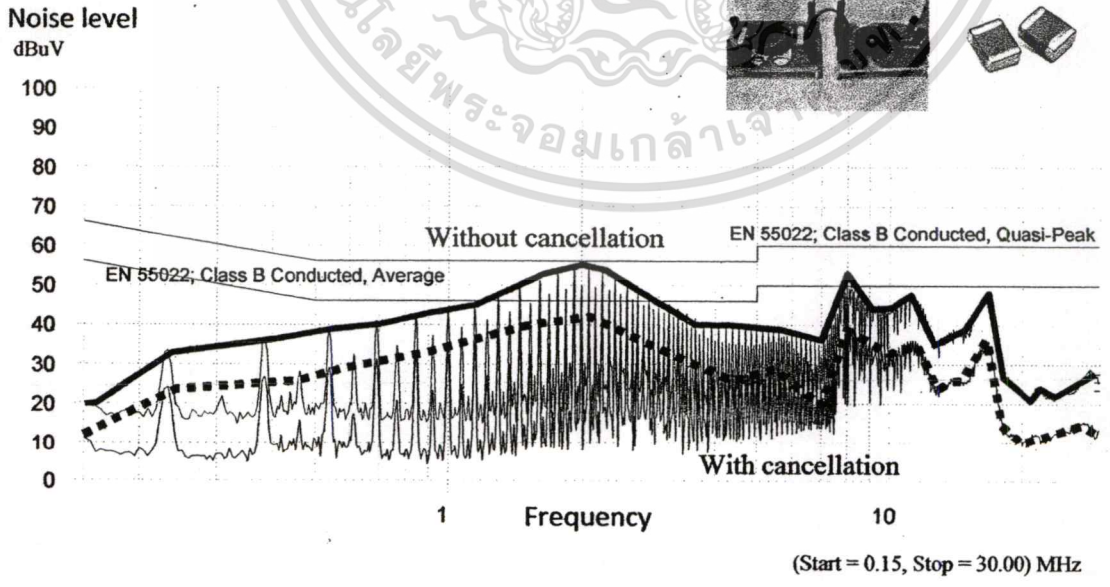


รูปที่ 6.147 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load

จากรูปที่ 6.147 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ no load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

○ กรณีที่สองที่ full load





รูปที่ 6.148 ระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

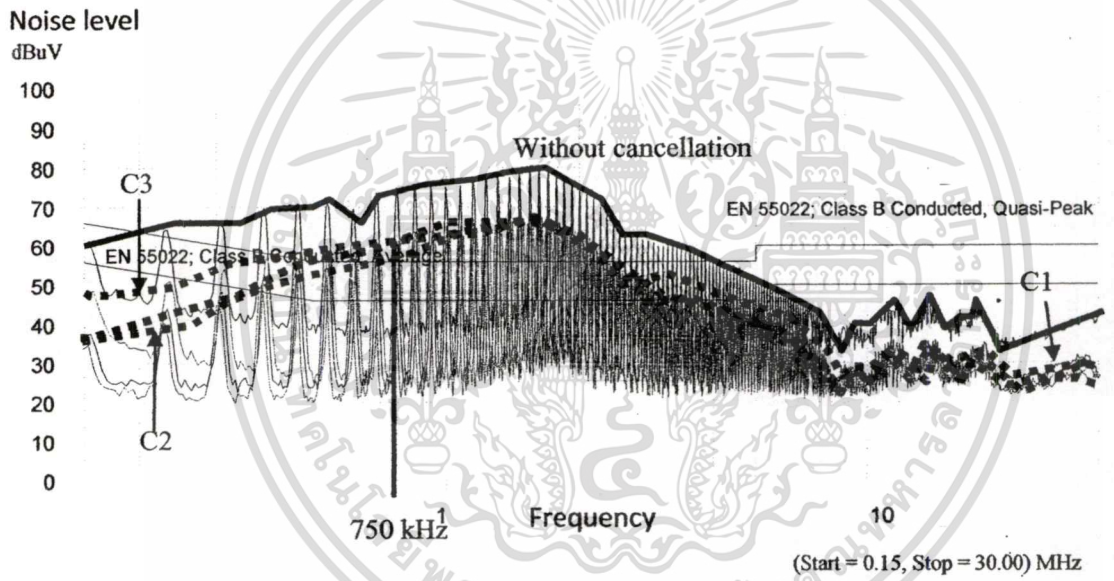
จากรูปที่ 6.148 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณรบกวนกรณีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิด SMD ที่ full load พบว่าเมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้วระดับของสัญญาณรบกวนจะลดลงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการทดสอบ

6.3.3.4 เปรียบเทียบการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ต่างชนิดกัน

ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบอัตราการลดทอนของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด โดยจะแบ่งออกมาเป็น 2 หัวข้อหลักๆ ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน และตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

1. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนแยกกัน

- ที่ no load

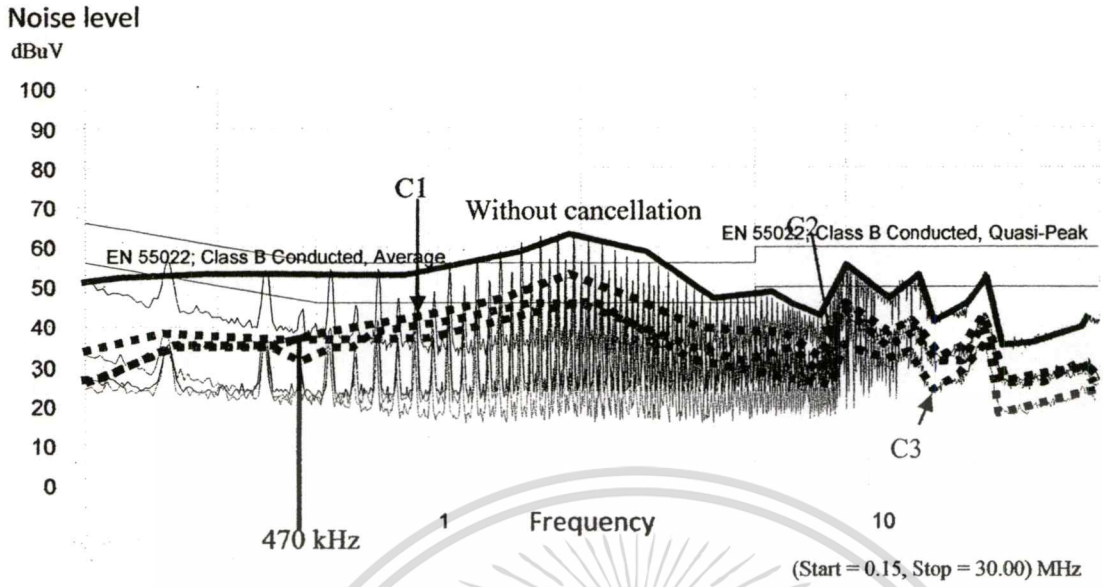


รูปที่ 6.149 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.149 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด ที่ความถี่ต่ำตัวเก็บประจุชนิดไมก้ามีอัตราการลดทอนที่ดีที่สุดจนถึง 750 kHz และช่วงความถี่ปานกลางจะมีอัตราการลดทอนใกล้เคียงกัน และที่ความถี่สูงพบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ full load



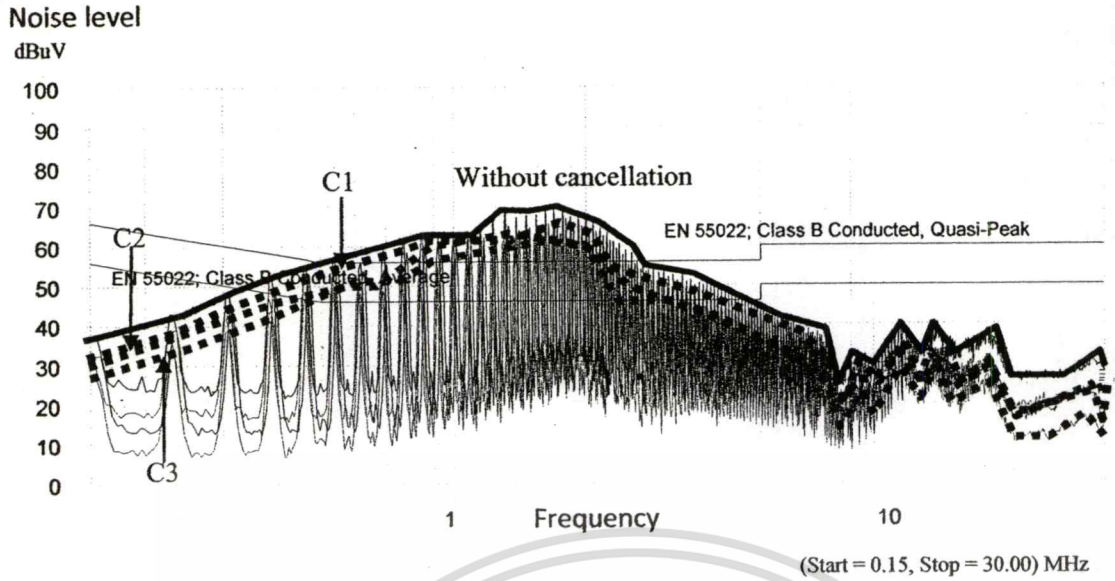
รูปที่ 6.150 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.150 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนแยกกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด ที่ความถี่ต่ำตัวเก็บประจุชนิดไมก้ามีอัตราการลดทอนที่ดีที่สุดจนถึง 470 kHz และที่ความถี่ปานกลางจนถึงความถี่สูงพบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก ใกล้เคียงกันบางช่วง

2. ตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

- ที่ no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

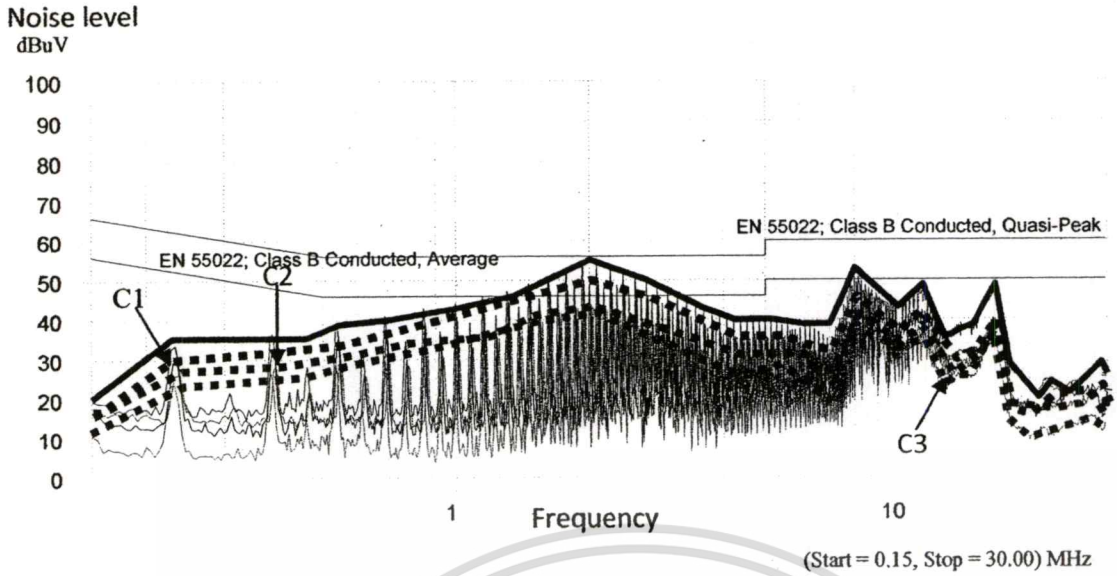


รูปที่ 6.151 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ no load

จากรูปที่ 6.151 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ no load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากใกล้เคียงกันบางช่วง

- ที่ full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.152 ระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุชนิดทั้ง 3 ชนิด ที่ full load

จากรูปที่ 6.152 แสดงระดับสัญญาณรบกวนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำแบบแกนร่วมกัน เมื่อทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยตัวเก็บประจุทั้ง 3 ชนิดที่ full load เพื่อเปรียบเทียบดูว่าตัวเก็บประจุชนิดไหนให้ผลการหักล้างดีที่สุด พบว่าตัวเก็บประจุแบบ SMD มีอัตรการลดทอนดีที่สุด ผลการหักล้างที่ดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า และตัวเก็บประจุที่มีอัตราการลดทอนแย่ที่สุดคือ เซรามิค แต่ทว่าทั้งสองชนิดหลังนี้ ได้แก่ เซรามิคและไมก้า ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากใกล้เคียงกันบางช่วง

สรุปบทที่ 6

จากการทดลองทั้งหมดในบทนี้จะสามารถแบ่งย่อยออกมาเป็นสองกรณีหลักๆ ก็คือ กรณีการทดสอบของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งเป็นวงจรชนิด AC-DC และกรณีที่สองก็คือ บู้ตส์ตอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นวงจรแบบ DC-DC เพื่อศึกษาดูผลว่าทั้งสองกรณีสามารถนำเทคนิคที่นำเสนอมาใช้ได้หรือไม่ โดยการทดสอบทั้งหมดนั้นจะสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การนำไปใช้กับแอปพลิเคชั่นที่ต่างกันระหว่าง AC-DC และ DC-DC
2. การนำไปใช้กับวงจรที่ต่างกัน ได้แก่ วงจรที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น, DM Filter และ EMI Filter
3. การนำไปใช้กับชนิดของแกนแบบตัวเหนี่ยวนำแกนแยก และตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วม
4. การนำไปใช้ที่โหลดต่างกัน ได้แก่ No load และ Full load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การนำไปใช้กับชนิดของตัวเก็บประจุที่นำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วม ได้แก่ เซรามิค, ไมก้า และ SMD

โดยการสรุปจะดูภาพรวมของผลการทดสอบทั้งหมดและพิจารณาออกมาเป็นหัวข้อดังที่กล่าวมาแล้วด้านบน ดังนี้

1. การนำไปใช้ที่แตกต่างกันระหว่าง AC-DC และ DC-DC

การนำไปใช้กับ AC-DC ให้ผลที่ดีขึ้น คือ สามารถเพิ่มอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากขึ้นจากเดิม ซึ่งเมื่อนำไปใช้กับ DC-DC ก็ให้ผลเช่นกัน แต่ถ้าเปรียบเทียบการนำไปใช้แต่ละแอปพลิเคชั่น พบว่าการนำไปใช้กับ DC-DC โดยเฉลี่ยแล้วให้ผลของอัตราการลดทอนที่มากกว่าการนำไปใช้กับ AC-DC สรุปโดยผลแล้วเทคนิคที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง AC-DC และ DC-DC

2. การนำไปใช้กับวงจรที่ต่างกัน ได้แก่ วงจรที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น, DM Filter และ EMI Filter

จากการทดสอบด้วยวงจรที่ต่างกันพบว่า วงจรที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นจะสามารถเพิ่มอัตราการลดทอนที่ความถี่สูงได้ดีมาก แต่ระดับสัญญาณรบกวนยังคงเกินขีดระดับมาตรฐานสัญญาณรบกวนอยู่ แต่เมื่อนำเทคนิคนี้มาทดสอบกับวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง ให้ผลที่ดีขึ้นที่ความถี่ต่ำจนถึงความถี่ปานกลาง แต่ที่ความถี่สูงพบว่าจะเกิดการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุเกิดขึ้น ทำให้อัตราการลดทอนที่ได้แย่กว่าวงจรกรองที่ยังไม่ได้นำเทคนิคนี้มาใช้ และเมื่อนำไปทดสอบกับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ พบว่าให้อัตราการลดทอนที่ดีกว่า สามารถเพิ่มอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้เกือบตลอดย่านความถี่ จะมีบางช่วงความถี่ที่เกิดการเรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลที่คล้ายกันกับในวงจรกรองแบบโหมดผลต่าง

3. การนำไปใช้กับชนิดของแกนแบบตัวเหนี่ยวนำแกนแยก และตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วม

เมื่อนำไปทดสอบกับวงจรที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนแยก พบว่าให้ผลการหักล้างค่าเก็บประจุที่ดีกว่าการนำไปใช้ในตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนร่วม ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างตัวเหนี่ยวนำสองตัวที่พันอยู่ในแกนเดียวกันของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วม ซึ่งค่าเก็บประจุที่เกิดขึ้นนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยต่างๆ เช่น การเชื่อมโยงของลายวงจร การพันขดลวดที่ยังไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น ซึ่งอาจจะมีปัจจัยจำนวนมากที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อข้อมูลได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง

4. การนำไปใช้ที่โหลดต่างกัน ได้แก่ No load และ Full load

โดยทั่วไปสัญญาณรบกวนที่ No load จะมีสัญญาณรบกวนต่ำกว่าที่ Full load ซึ่งการทดสอบนี้ก็เอาจะดูผลว่าเทคนิคที่นำเสนอสามารถนำมาใช้ได้ทั้งที่ No load และที่ Full load ได้หรือไม่ ผลที่ออกมาก็คือ ไม่ว่าจะเป็นที่ No load หรือ Full load เทคนิคที่เสนอสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รบกวนให้ดีขึ้นได้ ซึ่งทั้งที่ No load และที่ Full load โดยเฉลี่ยแล้วมีอัตราการลดทอนที่เพิ่มขึ้นพอๆ กัน เมื่อใช้เทคนิคนี้

5. การนำไปใช้กับชนิดของตัวเก็บประจุที่นำมาเลียนแบบค่าเก็บประจุร่วม ได้แก่ เซรามิค, ไมก้า และ SMD

ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคสามารถเพิ่มอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดีในระดับหนึ่ง แต่มักจะเกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นที่ความถี่สูง เมื่อเทียบกับตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ พบว่าให้อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้น้อยที่สุด

ตัวเก็บประจุชนิดไมก้าสามารถเพิ่มอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดีใกล้เคียงกับตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค แต่โดยส่วนใหญ่ให้อัตราการลดทอนที่ดีกว่าเซรามิคในบางช่วงความถี่ โดยเฉลี่ยตัวเก็บประจุชนิดไมก้าให้อัตราการลดทอนที่ดีกว่าเซรามิค และมีอัตราการลดทอนดีเป็นอันดับสอง

ตัวเก็บประจุชนิด SMD เนื่องตัวเก็บประจุชนิดนี้ไม่มีขา ทำให้ลดผลของค่าเหนี่ยวนำแฝงลงไปได้ ผลที่ออกมาจึงมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะที่ความถี่สูงจะเห็นได้ชัดว่าสามารถเพิ่มอัตราการลดทอนได้ดีที่สุด

โดยสรุปภาพรวมทั้งหมดการนำเทคนิคที่นำเสนอไปใช้กับแอปพลิเคชั่นต่างๆ ให้ผลการทดสอบที่ดีขึ้น สามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนให้เพิ่มขึ้นได้ โดยสามารถสรุปดังตารางที่ 6.6 ดังนี้

ตารางที่ 6.6 สรุปภาพรวมทั้งหมดของการทดสอบเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

เงื่อนไข	ผลการทดสอบ	ตัวอย่าง (เปรียบเทียบรูป)
1. แอปพลิเคชั่นในการทดสอบ	สามารถเพิ่มอัตราการลดทอนได้ทั้ง AC-DC และ DC-DC	รูปที่ 6.89 และ 6.148
2. ชนิดของวงจรกรอง		
- ตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น	- ให้อัตราการลดทอนน้อยที่สุด	รูปที่ 6.108
- วงจรกรองโหมดผลต่าง (DM Filter)	- ให้อัตราการลดทอนเป็นอันดับสอง	รูปที่ 6.127
- วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter)	- ให้อัตราการลดทอนดีที่สุด	รูปที่ 6.148
3. ชนิดของแกนตัวเหนี่ยวนำ		
- แกนแยก (Not coupled)	- ให้อัตราการลดทอนดีที่สุด	รูปที่ 6.82
- แกนร่วม (Coupled)	- ให้อัตราการลดทอนน้อยกว่า	รูปที่ 6.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 สรุปภาพรวมทั้งหมดของการทดสอบเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม (ต่อ)

เงื่อนไข	ผลการทดสอบ	ตัวอย่าง (เปรียบเทียบรูป)
4. การจ่ายพลังงานให้กับโหลด	สามารถเพิ่มอัตราการลดทอนได้ทั้งที่ No load และ Full load	รูปที่ 6.147 และ 6.148
5. ชนิดของตัวเก็บประจุร่วม - เซรามิค - ไมก้า - SMD	 - ดีเป็นอันดับสุดท้าย - ดีเป็นอันดับสอง - ดีที่สุด	รูปที่ 6.149 - 6.152

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย

ในส่วนของบทนี้จะทำการสรุปผลการวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมาในแต่ละบท โดยจะแบ่งออกเป็นส่วนของการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบจริง ซึ่งการทดสอบจริงจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นเพาเวอร์ซัพพลาย, บู้สต์คอนเวอร์เตอร์ และชนิดของตัวเก็บประจุที่นำมาทดสอบ สุดท้ายจะกล่าวสรุปภาพรวมของงานวิจัยทั้งหมด

7.1 การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ในบทที่ 5 สามารถสรุปได้ว่าการนำเทคนิคนี้มาใช้สามารถเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ของตัวเหนี่ยวนำออกไปที่ความถี่สูงขึ้นได้ ทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิมที่ความถี่สูง นอกจากนี้ยังช่วยในการประหยัดเวลาในการออกแบบค่าเก็บประจุร่วมก่อนที่จะทดสอบจริงด้วย สามารถสรุปการจำลองได้ดังตารางที่ 7. 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 7.1 จุดเรโซแนนซ์ของวงจรกรองสัญญาณรบกวนก่อนหักล้างและหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว

	เพาเวอร์ซัพพลาย			บู้สต์คอนเวอร์เตอร์		
เงื่อนไข	ก่อนหักล้าง (MHz)	หลังหักล้าง (MHz)	% ค่าเปลี่ยนแปลง	ก่อนหักล้าง (MHz)	หลังหักล้าง (MHz)	% ค่าเปลี่ยนแปลง
ตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนแยก	18	28	35.71	13	19	31.58
ตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนร่วม	8.9	12	25.83	28.5	30	5
DM Filter แกนแยก	18	26	30.77	13	18	27.78
DM Filter แกนร่วม	16	20	20	28	28.2	0.71
EMI Filter แกนแยก	15	19	21.05	14	19	26.32
EMI Filter แกนร่วม	15	22	31.82	14	17	17.65

<u>หมายเหตุ</u> % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ $= \left| \frac{X - Y}{Y} \right| \times 100$

โดย X คือ ความถี่ที่จุดเรโซแนนซ์<u>ก่อน</u>หักล้าง

Y คือ ความถี่ที่จุดเรโซแนนซ์<u>หลัง</u>หักล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 เมื่อเปรียบเทียบ % ค่าเปลี่ยนแปลงระหว่างเพาเวอร์ซัพพลายและบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ในเงื่อนไขเดียวกัน พบว่า

- กรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนแยกกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- กรณีตัวเหนี่ยวนำเท่านั้นแกนร่วมกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งในกรณีเพาเวอร์ซัพพลายจะสามารถเลื่อนจุดเรโซแนนซ์ออกไปได้ไกลจากเดิมมากกว่าถึง 25.88 % แต่ทว่าในบู้สต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าแค่ 5 % เท่านั้น ซึ่งอาจจะเกิดจากตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันของบู้สต์คอนเวอร์เตอร์ ทำให้เกิดค่าตัวเก็บประจุแฝงมากกว่ากรณีตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ส่งผลให้เทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงนี้มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะหักล้างได้ทั้งหมดเมื่อเทียบกับตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน
- กรณี DM Filter แบบแกนแยกกัน พบว่า % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าไม่แตกต่างกันมาก
- กรณี DM Filter แบบแกนร่วมกัน พบว่า % ค่าเปลี่ยนแปลงมีค่าค่อนข้างแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สำหรับเพาเวอร์ซัพพลายจะมี % ค่าเปลี่ยนแปลงมากถึง 30.77 % แต่สำหรับบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่ถึง 1 % ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันมีค่ามากกว่าแบบแกนแยกกัน
- กรณี EMI Filter แกนแยกกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- กรณี EMI Filter แกนร่วมกัน % ค่าเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันในระดับหนึ่ง อาจเป็นเนื่องจากผลค่าเก็บประจุแฝงที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันก็เป็นได้

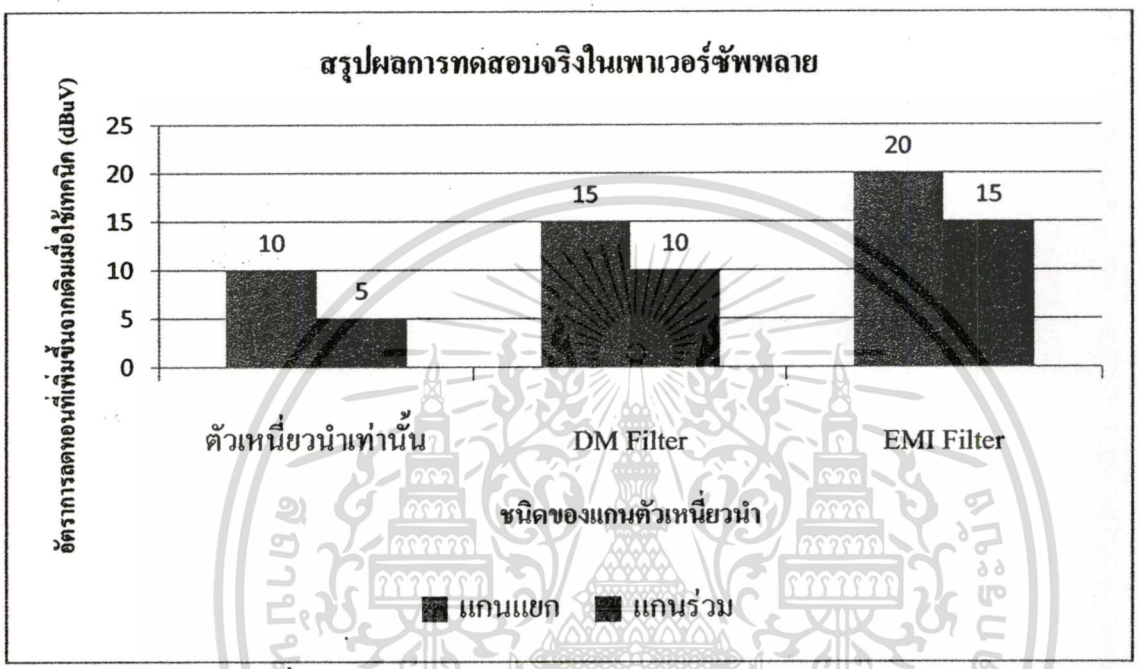
ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่ใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน เทคนิคนี้สามารถให้ประสิทธิภาพในการหักล้างได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกรณีใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกัน เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมกันจะมีค่าเก็บประจุแฝงที่มีค่ามากกว่าตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกัน ทำให้การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกกันมีประสิทธิภาพมากกว่า

7.2 การทดสอบด้วยวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

การทดสอบด้วยวงจรเพาเวอร์ซัพพลายให้ผลการทดสอบเป็นไปตามผลการจำลอง ซึ่งก็คือสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำให้เพิ่มขึ้นได้ และนอกจากนี้ผลยังสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ในเรื่องของเทคนิคที่นำมาใช้จะให้อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ดีมากกับตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนแยกมากกว่าตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนร่วม การจ่ายพลังงานของเพาเวอร์ซัพพลายที่ Full load นั้นจะสร้างสัญญาณรบกวนออกมามากกว่าที่ No load แต่การนำเทคนิคนี้มาใช้ก็สามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้นได้ ถ้าสังเกตผลการทดสอบจะพบว่าที่ Full load ระดับสัญญาณรบกวนของเพาเวอร์ซัพพลายจะมีระดับสูงเกินระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขีดจำกัดของมาตรฐาน แต่เมื่อนำเทคนิคนี้มาใช้ ทำให้ระดับสัญญาณรบกวนเดิมลดลงมาอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ หรือ EMI Filter ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จริงได้ ซึ่งผลการทดสอบโดยเฉลี่ยจากผลการทดสอบทั้งหมดสามารถแสดงดังรูปที่ 7.1 ได้ดังนี้



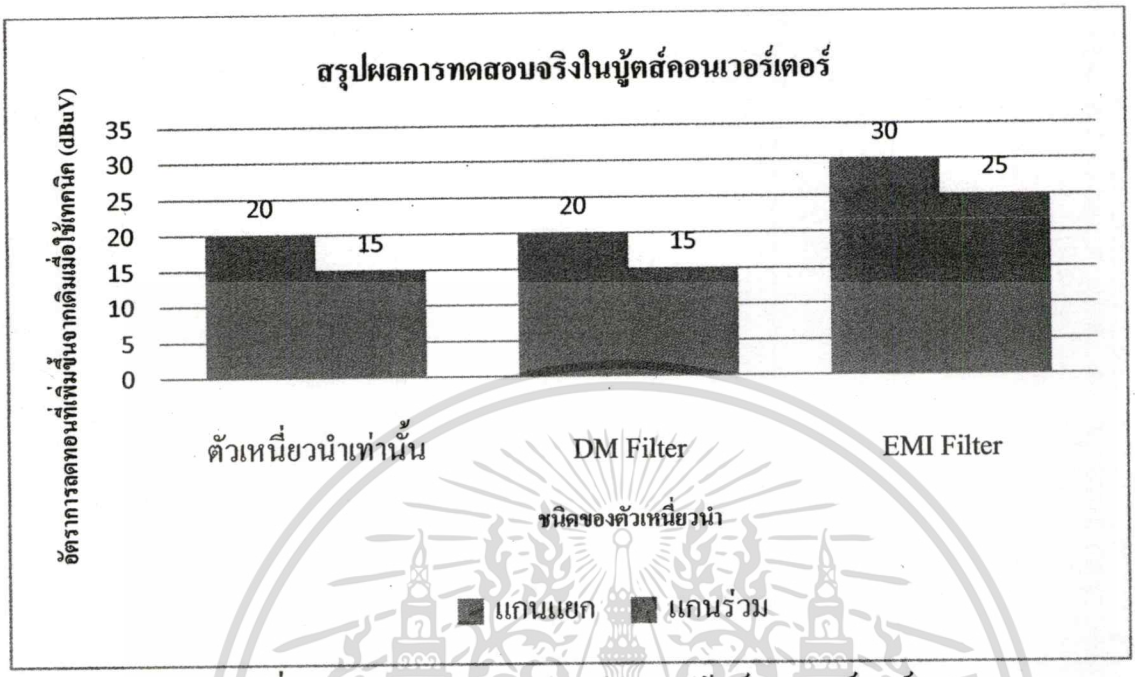
รูปที่ 7.1 สรุปผลการทดสอบจริงในวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

7.3 การทดสอบด้วยวงจรบู้สต์คอนเวอร์เตอร์

สำหรับการทดสอบในวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์สามารถเพิ่มอัตราการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนได้เช่นเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้คล้ายกันกับผลของเพาเวอร์ซัพพลาย แต่พบว่าอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนมีค่ามากกว่าผลการทดสอบในเพาเวอร์ซัพพลาย โดยเฉพาะที่ความถี่สูงจะเห็นได้อย่างชัดเจน อัตราการลดทอนที่เพิ่มขึ้นจะมากกว่าเพาเวอร์ซัพพลายประมาณ 5-10 dBuV ไม่ว่าจะทดสอบที่ No load หรือที่ Full load เทคนิคที่นำเสนอก็ยังสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้ โดยทั้งที่ No load และ Full load มีอัตราการลดทอนใกล้เคียงกัน ถ้าสังเกตผลการทดสอบจะพบว่าที่ Full load ระดับสัญญาณรบกวนของบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์จะมีระดับสูงเกินระดับขีดจำกัดของมาตรฐาน แต่เมื่อนำเทคนิคนี้มาใช้ ทำให้ระดับสัญญาณรบกวนเดิมลดลงมาอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้กับวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ หรือ EMI Filter ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ผลที่ได้จะคล้ายกันกับเพาเวอร์ซัพพลาย สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จริงได้ ซึ่งผลการทดสอบโดยเฉลี่ยจากผลการทดสอบทั้งหมดสามารถแสดงดังรูปที่ 7.2 ได้ดังนี้



รูปที่ 7.2 สรุปผลการทดสอบจริงในวงจรบู๊ตส์คอนเวอร์เตอร์

7.4 เปรียบเทียบการเลือกใช้ชนิดของตัวเก็บประจุ

การเลือกใช้ชนิดของตัวเก็บประจุที่ต่างกันจะส่งผลที่ความถี่สูงต่างกันไปด้วย โดยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคจะมีการตอบสนองที่ความถี่สูงดีในระดับย่านหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วงย่านความถี่ 200 kHz-20 MHz ซึ่งที่ความถี่สูงต่อจากนี้ เซรามิคอาจจะทำงานได้ไม่ดีและอาจจะเกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นได้ ซึ่งผลที่ได้ก็ค่อนข้างชัดเจนว่าอัตราการลดทอนที่ความถี่สูงของเซรามิคลดลงและมีอัตราการลดทอนต่ำกว่าวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ยังไม่ได้ใช้เทคนิคด้วยซ้ำ แต่ที่ความถี่ต่ำเซรามิคยังคงสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี

ตัวเก็บประจุชนิดที่สองก็คือไมก้า ผลที่ได้มีอัตราการลดทอนที่ค่อนข้างดีตลอดย่านความถี่การทดสอบทั้งที่ความถี่ต่ำ ปานกลาง และที่ความถี่สูง แต่อัตราการลดทอนที่ความถี่สูงที่ได้จะมีอัตราการลดทอนน้อยกว่าตัวเก็บประจุชนิด SMD แต่มากกว่าตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค แต่สรุปโดยภาพรวมตัวเก็บประจุชนิดไมก้าให้ผลการทดสอบที่สามารถนำไปใช้ได้ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ เนื่องจากมีการตอบสนองที่ความถี่สูงได้ดี ทนแรงดันได้สูง ขนาดเล็ก แต่ข้อเสียของตัวเก็บประจุชนิดนี้ก็คือ ราคาค่อนข้างแพงกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ

ตัวเก็บประจุชนิดที่สามคือ SMD ตัวเก็บประจุชนิดนี้ไม่มีขาของตัวเก็บประจุทำให้ลดผลจากค่าเหนี่ยวนำแฝงที่จะเกิดขึ้นได้ ทำให้ที่ความถี่สูงตัวเก็บประจุ SMD มีอัตราการลดทอนที่ดีที่สุดทั้งที่ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ ปานกลาง และที่ความถี่สูง แต่ที่ความถี่ต่ำอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนในบางกรณีอาจจะมีอัตราการลดทอนที่ต่ำกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ ข้อดีของตัวเก็บประจุชนิดนี้คือราคาถูก ขนาดเล็ก ทำให้น้ำหนักไม่เพิ่มขึ้น แต่อัตราการทนแรงดันอาจสู้ตัวเก็บประจุชนิดอื่นๆ ไม่ได้

สรุปโดยภาพรวมของชนิดตัวเก็บประจุก็คือ ตัวเก็บประจุที่ให้อัตราการลดทอนที่ดีที่สุดคือ SMD รองลงมาก็คือ ไมก้า และสุดท้ายก็คือ เซรามิค แต่ตัวเก็บประจุทั้งสามตัวก็สามารถนำมาใช้เพิ่มอัตราการลดทอนได้ การเลือกนำมาใช้ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแต่ละวงจร เช่น แรงดันสูงก็อาจเลือกใช้ไมก้า หรือต้องการนำไปใช้ที่ความถี่สูงมากก็อาจจะใช้ชนิด SMD แต่ถ้าต้องการราคาถูกและความถี่ไม่สูงมากนักก็อาจเลือกใช้ชนิดเซรามิค ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 7.2 สรุปคุณสมบัติการเลือกใช้ชนิดของตัวเก็บประจุต่างๆ

เงื่อนไข	เซรามิค	ไมก้า	SMD*
1. ผลการตอบสนองต่อความถี่ต่ำ	ดีมาก	ดีมาก	ดี
2. ผลการตอบสนองต่อความถี่สูง	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
3. อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวน	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
4. ราคา	ถูก	แพง	ถูกมาก
5. แรงดัน	สูง	สูงมาก	ต่ำ
6. ขนาด	ปานกลาง	ปานกลาง	เล็ก

หมายเหตุ * ตัวเก็บประจุชนิด SMD ปัจจุบันไม่ค่อยเป็นที่นิยม เนื่องจากปัญหาของ Current leakage และ Electrostatic discharge (ESD)

7.5 สรุปภาพรวมของงานวิจัยทั้งหมด

จากการทดสอบมาทั้งหมดแสดงได้ว่าเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วมสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้นได้ แม้ว่าอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบจะเป็น AC-DC หรือ DC-DC และการจ่ายพลังงานให้กับโหลดที่ความถี่สูง เทคนิคนี้ก็ยังสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นแล้วการที่จะนำเทคนิคนี้ไปใช้ก็ควรเลือกพิจารณาชนิดของตัวเก็บประจุที่จะนำไปใช้ รวมถึงการออกแบบลายวงจรเพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ของอิมพีแดนซ์ด้วย (Matching Impedance) ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนี้สามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้นได้ ขนาดของวงจรกรองสัญญาณรบกวนไม่ได้เพิ่มขนาดมากขึ้น ราคาต้นทุนการผลิตก็เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ไม่ต้องลงทุนสูงเพื่อให้ได้อัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงน้ำหนักก็เปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย แทบจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเลย ซึ่งสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 สรุปข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาต้นทุนไม่เพิ่มขึ้นสูงมากนัก 2. เพิ่มอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงให้ดีขึ้น 3. น้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม 4. ขนาดไม่เพิ่มขึ้น 5. นำไปใช้ได้กับทุกแอปพลิเคชั่น AC-DC และ DC-DC	1. การออกแบบค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลาในการออกแบบนาน 2. อันตรายต่อการทดสอบเนื่องจากการลัดวงจร เมื่อตัวเก็บประจุร่วมเกิดการเรโซแนนซ์

7.6 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

1. ควรออกแบบลายวงจรให้เกิดความสมมาตรของอิมพีแดนซ์ เพื่อให้ได้อัตราการลดทอนที่ดีที่สุด
2. ระมัดระวังในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุ โดยเลือกชนิดตัวเก็บประจุที่ไม่เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน รวมทั้งแรงดันที่ตัวเก็บประจุทนได้ด้วย
3. จัดตำแหน่งของเครื่องมือทดสอบ รวมถึงสภาพแวดล้อมในการทดสอบให้เกิดปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกมีผลต่อความถูกต้องของการทดสอบน้อยที่สุด
4. ควรมีการทดสอบซ้ำ เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดสอบถูกต้อง ไม่ได้เกิดการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก
5. การออกแบบตัวเหนี่ยวนำควรคำนวณค่าเหนี่ยวนำ การเลือกใช้แกนให้ถูกต้อง เนื่องจากแกนบางชนิดอิ่มตัวได้ง่าย อาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่นำมาทดสอบ และผู้ทดสอบ

7.7 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

1. การจัดวางตำแหน่งเครื่องมือไม่สามารถจัดวางได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐาน เนื่องจากพื้นที่ในการทดสอบมีจำกัด
2. สายกราวนด์ของการทดสอบมีการต่อลงกราวนด์ร่วมกับกราวนด์ของตึกที่ทำการทดสอบ และมีสายของกราวนด์ยาวมาก ทำให้ผลการทดสอบในกรณีวงจรกรองโหมดผลร่วมหรือวงจรที่มีการต่อลงกราวนด์มีข้อผิดพลาดได้บ้าง เช่น สัญญาณรบกวนเกิดการกระเพื่อมขณะที่ผู้ใช้กราวนด์ร่วมใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเสื่อมของเครื่องมือวัดอิมพีแดนซ์ เนื่องจากส่วนเชื่อมต่อของเครื่องวัดมีสภาพที่ค่อนข้างหลวม ผลที่ได้ไม่ค่อยนิ่ง ทำให้การนำค่าเก็บประจุแฝงที่วัดได้ไปคำนวณเกิดความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อย
4. การเก็บผลการทดสอบจริงมีจำนวนมาก เนื่องจากต้องการพิสูจน์เงื่อนไขต่างๆ ทำให้ใช้ระยะเวลาในการทดสอบนาน ทำให้ผู้ทดสอบเกิดอาการล้าของร่างกายและสมอง อาจจะก่อให้เกิดความสับสนในการทดสอบได้ ทำให้เก็บผลได้เพียงครั้งเดียว ไม่สามารถเก็บผลหลายครั้งได้ แต่เนื่องจากก่อนทำการทดสอบจริงได้ลองทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ใน 1 เงื่อนไข พบว่าทำซ้ำแล้วผลที่ได้ก็เหมือนกันกับการทดสอบครั้งเดียว
5. การออกแบบ PCB ต้องระมัดระวังเรื่องของการลัดวงจร เนื่องจากต้องให้ลายวงจรในส่วนที่จะนำมาเชื่อมโยงกันของตัวเก็บประจุร่วมใกล้กันมากที่สุด เพราะว่าตัวเก็บประจุชนิด SMD มีขนาดเล็ก ลายวงจรจะอยู่ใกล้กันมาก อาจก่ออันตรายแก่ผู้ทดสอบได้ ดังนั้นแล้วควรออกแบบด้วยความระมัดระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] S. Wang, F. C. Lee, and J. D. van Wyk, "Inductor Winding Capacitance Cancellation Using Mutual Capacitance Concept for Noise Reduction Application," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 48, no. 2, pp. 311-318, May 2006.

[2] Shou Wang, "Characterization and Cancellation of High-Frequency Parasitics for EMI Filters and Noise Separators in Power Electronics Applications", *The degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2005.

[3] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พริ้นติ้ง. 2547.

[4] Jasper J. Goedbloed, "Electromagnetic Compatibility", *Prentice Hall International (UK) Ltd.*, 1990.

[5] Tim Williams, "EMC for Product Designers", *Newnes*, Second Edition, 1996.

[6] S. Wang, F. C. Lee, and W. G. Odendaal, "Characterization, Evolution, and Design of Noise Separator for Conducted EMI Noise Diagnosis," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 20, no. 4, pp. 974-982, July 2005.

[7] V. Prasad Kodali, Engineering Electromagnetic Compatibility, Principles, Measurements and Technologies" *IEEE Electromagnetic Compatibility Society, IEEE press*, 1996.

[8] Mark J. Nave, "Power Line Filter Design for Switched-Mode Power Supplies", *Van Nostrand Reinhold*, New York, 1991.

[9] John C. Fluke, "Controlling Conducted Emission by Design", *Van Nostrand Reinhold*, New York, 1991.

[10] Fu-Yuan shih, Dan Y. chan, Yan-pei wu and Yie –tone Chen, "A Procedure for Designing EMI Filter for AC Line Applications", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 11, No.1, January 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Henry W. Ott, "Noise Reduction Technique in Electronic Systems", Second Edition, *Wiley & Sons*, 1988.

[12] S. Ye, W. Eberle and Y. F. Liu, "A Novel EMI Filter Design Method for Switching Power Supplies," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 6, pp. 1668- 1678, November 2004.

[13] Richard Lee Ozenbaugh, "EMI Filter Design", *Marcel Dekker*, 1996.

[14] F. J. Monssen, *"Orcad PSpice with circuit analysis"*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 2001.

[15] *Agilent E5070B/E5071B ENA Series RF Network Analyzers User's Guide*: 5th ed., Agilent Technologies, 2004.

[16] C.I.S.P.R. 16-1, *Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods*, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1999.

[17] David Morgan, A handbook for EMC testing and measurement, Peter Peregrinus Ltd., 1994.

[18] Clayton R. Paul and Keith B. Hardin, "Diagnosis and Reduction of Conducted Noise Emissions", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 30, no. 4, pp. 553-560, Nov 1988.

[19] Clayton R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., publication, 1992.

[20] W. Khan-ngern and V. Tarateeraseth, "Self-learning EMC Toolkit for Electronic and Electrical Engineers", *ICEMC conf.*, session 3C-1, July 2005.

[21] *Modeling Non-Ideal Inductors in SPICE*, M. O'Hara Technical Manager, Newport Components, U.K. Nov. 8 1993.

[22] I. Cadirci, B. Saka and Y. Eristiren, "Practical EMI-filter-design procedure for high-power high frequency SMPS according to MIL-STD 461", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol.152, No. 4, July 2005.

[23] S. Weber, M. Schinkel and SR., "Calculating Parasitic Capacitance of Three-Phase Common-Mode Choke", Fraunhofer IZM, Germany.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] S. Weber, M. Schinkel and SR., "Predicting Parasitics and Inductive Coupling in EMI-Filters", Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration, Germany.

[25] *บทความเกี่ยวกับ Electronics เบื้องต้น Basic Electronics*, http://www.mixmattpower.com

[26] L.M. Schneider, "Noise source equivalent circuit model for off-line converters and its use in input filter design," *Proc.IEEE EMC'83 Symposium*, 1983, pp. 167-175.

[27] D. Morgan, "A handbook for EMC testing and measurement", Peter Peregrinus Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers, 1994.

[28] Tihanyi, László., "Electromagnetic Compatibility in Power Electronics", *IEEE Press*, 1995.

[29] Hsin-Lung Su and Ken-Huang Lin, "Computer-Aided Design of Power Line Filters with a Low Cost Common-and Differential-Mode Noise Diagnosis Circuit", *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, vol. 1, pp. 511–516, Aug 2001.

[30] Tim Williams and Keith Armstrong, "EMC for Systems and Installations", *Oxford: Newnes*. Inc., 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารสำหรับแกนเฟอร์ไรท์และแกนผงโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสำหรับแกนเฟอร์ไรท์

FERRITE MATERIALS FOR EMI PREVENTION/EMC and PULSE TRANSFORMER

高透磁率材標準材質特性

High μ Material Characteristics

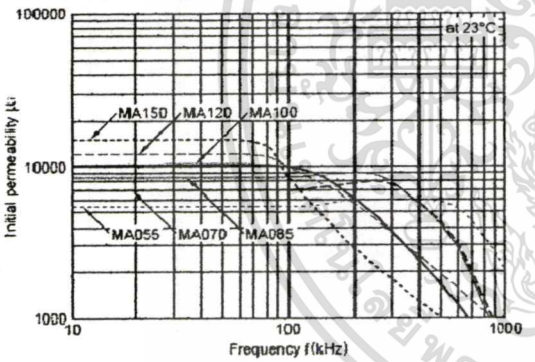
JFE

標準材質特性
Material Characteristics

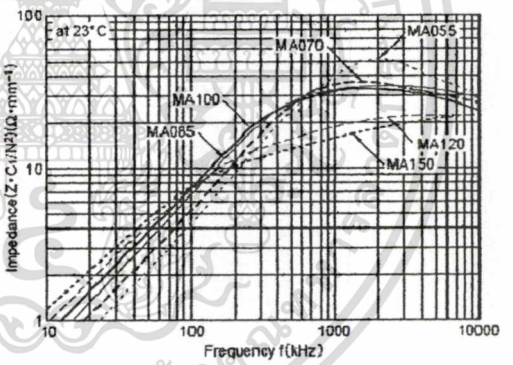
材質名 Material			MA055	MA070	MA085	MA100	MAT10	MA120	MA150
初透磁率 Initial permeability	μi		5500±20%	7000±25%	8500±25%	10000±25%	10000min. (−20~90°C)	12000±30%	15000±30%
実効飽和磁束密度(1200A/m) Saturation flux density at 1200A/m	Bms	(mT)	434	440	422	415	400	410	400
実効飽和残留磁束密度 Remanence	Brms	(mT)	67	93	66	76	100	80	85
実効飽和保磁力 Coercivity	Hcms	(A/m)	5.2	3.4	3.3	3.0	1.2	3.0	2.0
相対損失係数(10kHz) Relative loss factor at 10kHz	tanδ/μi	×10⁻⁶	0.75	1.4	1.3	1.9	8.0	6.4	6.8
初透磁率の相対温度係数 Relative temperature factor	αμr	×10⁻⁶	−0.5~2.0	−0.5~2.0	−0.5~2.0	−0.5~2.0	−1.0~1.0	−0.5~2.0	−0.5~2.0
キュリー温度 Curie temperature	Tc	(°C)	140min.	130min.	130min.	115min.	100min.	115min.	115min.
抵抗率 Resistivity	ρ	(Ω-m)	0.8min.	0.3min.	0.2min.	0.1min.	0.01min.	0.02min.	0.02min.
密度 Density	d	(kg/m³)	4.9×10³	4.95×10³	4.95×10³	5.0×10³	5.0×10³	5.0×10³	5.0×10³

1A/m=4π×10⁻³Oe, 1mT=10Gauss
MA055~MA100は材質評価用標準コア(R31/19/8Aリングコア)、MAT10~MA150は材質評価用標準コア(R20/10/5Aリングコア)における特性を示しています。

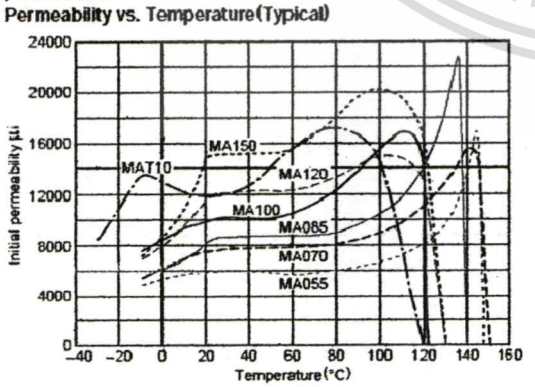
μi-周波数特性
Permeability vs. Frequency(Typical)



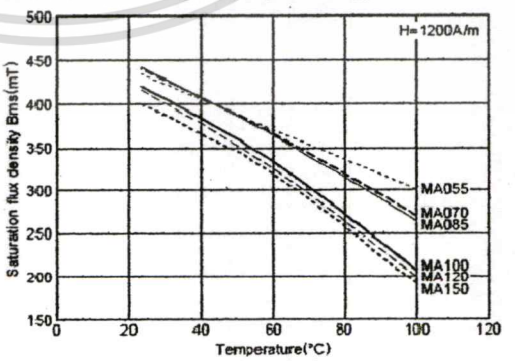
インピーダンス(Z・C₁/N²)-周波数特性
Impedance(Z・C₁/N²) vs. Frequency(Typical)



μi-温度特性
Permeability vs. Temperature(Typical)



Bms-温度特性
Saturation flux density vs. Temperature(Typical)



製品をより正しく、安全にご使用いただくために、さらに詳細な特性・仕様をご確認いただける納入仕様書をぜひご請求ください。
記載内容は、改良その他により予告なく変更する場合がありますので、あらかじめご了承ください。

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

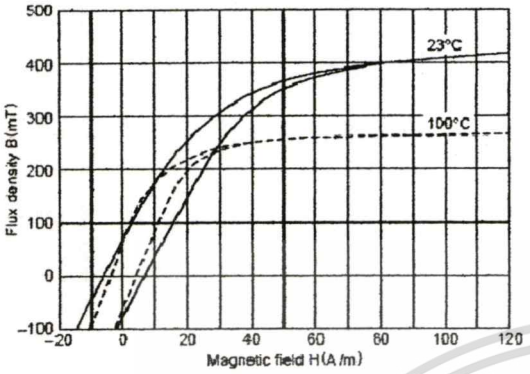
FERRITE MATERIALS FOR EMI PREVENTION/EMC and PULSE TRANSFORMER

高透磁率材標準材質特性

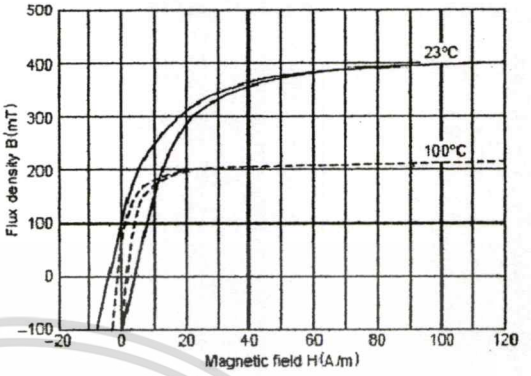
High μ Material Characteristics

JFE

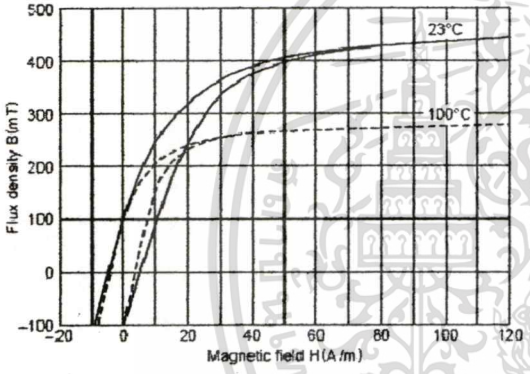
MA055 直流ヒステリシス特性
MA055 Static magnetization curves(Typical)



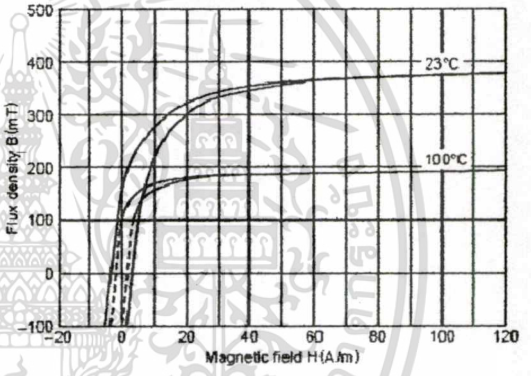
MA100 直流ヒステリシス特性
MA100 Static magnetization curves(Typical)



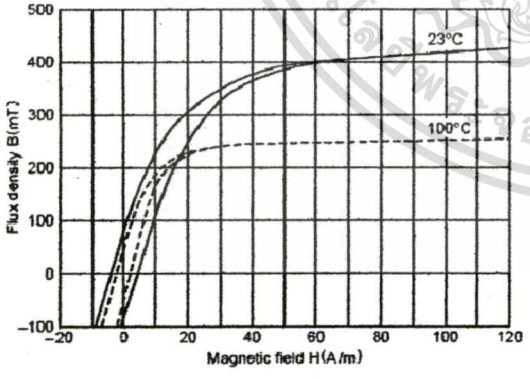
MA070 直流ヒステリシス特性
MA070 Static magnetization curves(Typical)



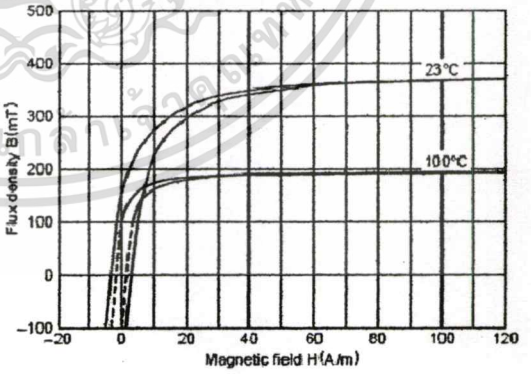
MA120 直流ヒステリシス特性
MA120 Static magnetization curves(Typical)



MA085 直流ヒステリシス特性
MA085 Static magnetization curves(Typical)



MA150 直流ヒステリシス特性
MA150 Static magnetization curves(Typical)



Specifications which provide more details for the proper and safe use of the described product are available upon request.
All specifications are subject to change without notice.

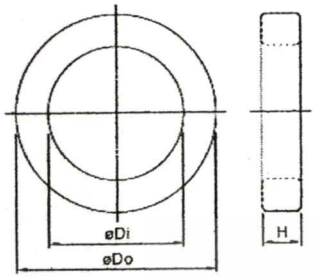
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FERRITE CORES FOR EMI PREVENTION/EMC and PULSE TRANSFORMER

R(リング)コア
R(Toroidal) Cores

JFE

形状・寸法／特性
Shapes and dimensions/Characteristics





形状 Type	略称 Abbreviation	寸法 Dimensions(mm) øDo	øDi	H
R-25/15/4G	R-25G	25.0±0.5	15.0±0.4	4.00±0.40
R-25/15/6J	R-25J	25.0±0.5	15.0±0.4	6.00±0.40
R-25/15/7.7D	R-25D	25.0±0.5	15.0±0.4	7.70±0.40
R-25/15/8C	R-25C	25.0±0.5	15.0±0.4	8.00±0.40
R-25/15/10E	R-25E	25.0±0.5	15.0±0.4	10.0±0.4
R-25/15/12A	R-25A	25.0±0.5	15.0±0.4	12.0±0.4
R-25/15/13B	R-25B	25.0±0.5	15.0±0.4	13.0±0.4
R-25/15/15H	R-25H	25.0±0.5	15.0±0.4	15.0±0.4
R-28/19.1/10C	R-28C	28.0±0.5	19.1±0.5	10.0±0.4
R-28/19.1/11D	R-28D	28.0±0.5	19.1±0.5	11.0±0.4
R-28/19.1/12A	R-28A	28.0±0.5	19.1±0.5	12.0±0.4
R-30.5/19/13A	R-30.5A	30.5±0.5	19.0±0.5	12.9±0.3
R-31/14/5K	R-31K	31.0±0.5	14.0±0.5	5.00±0.40
R-31/19/5J	R-31J	31.0±0.5	19.0±0.5	5.00±0.40
R-31/19/6L	R-31L	31.0±0.5	19.0±0.5	6.00±0.40
R-31/19/7H	R-31H	31.0±0.5	19.0±0.5	7.00±0.40
R-31/19/8A	R-31A	31.0±0.5	19.0±0.5	8.00±0.40
R-31/19/13C	R-31C	31.0±0.5	19.0±0.5	13.0±0.4
R-31/19/15D	R-31D	31.0±0.5	19.0±0.5	15.0±0.4
R-31/20/10B	R-31B	31.0±0.5	20.0±0.5	10.0±0.4
R-31/20/15E	R-31E	31.0±0.5	20.0±0.5	15.0±0.4
R-36/23/7B	R-36B	36.0±0.6	23.0±0.5	7.00±0.40
R-36/23/15A	R-36A	36.0±0.6	23.0±0.5	15.0±0.4
R-37/22/6C	R-37C	37.0±0.6	22.0±0.5	6.00±0.50
R-37/22/13B	R-37B	37.0±0.6	22.0±0.5	13.0±0.4
R-37/22/15A	R-37A	37.0±0.6	22.0±0.5	15.0±0.4
R-38/19/13A	R-38A	38.0±0.7	19.0±0.5	13.0±0.5
R-38.1/19/12.7A	R-38.1A	38.1±0.7	19.0±0.5	12.7±0.4
R-39/20/6A	R-39A	39.0±0.7	20.0±0.5	6.00±0.50
R-39/20/7B	R-39B	39.0±0.7	20.0±0.5	7.00±0.50
R-44.5/30/13A	R-44.5A	44.5±0.7	30.0±0.5	13.0±0.4
R-47/27/15A	R-47A	47.0±0.8	27.0±0.5	15.0±0.5
R-48/30/15A	R-48A	48.0±0.8	30.0±0.5	15.0±0.5
R-50/25/10A	R-50A	50.0±0.8	25.0±0.5	10.0±0.5
R-50/25/15B	R-50B	50.0±0.8	25.0±0.5	15.0±0.5
R-50/25/19D	R-50D	50.0±0.8	25.0±0.5	19.0±0.5
R-51/31/13A	R-51A	51.0±0.7	31.0±0.5	13.0±0.4
R-56/36/20A	R-56A	56.0±0.8	36.0±0.5	20.0±0.5
R-60/36/20C	R-60C	60.0±0.8	36.0±0.5	20.0±0.5
R-60/40/18A	R-60A	60.0±0.8	40.0±0.5	18.0±0.5
R-60/40/25B	R-60B	60.0±0.8	40.0±0.5	25.0±0.5
R-63/38/25A	R-63A	63.0±0.9	38.0±0.7	25.0±0.8
R-68/44/13.5B	R-68B	68.0±1.0	44.0±0.8	13.5±0.5
R-68/44/15A	R-68A	68.0±1.0	44.0±0.8	15.0±0.5
R-78/51/16A	R-78A	78.0±1.5	50.5±1.5	16.0±1.5
R-78/51/22B	R-78B	78.0±1.5	50.5±1.5	22.0±1.5
R-78/51/25C	R-78C	78.0±1.5	50.5±1.5	25.0±1.5
R-82/55/20A	R-82A	82.0±1.6	55.0±1.0	20.0±0.5
R-96/75/24A	R-96A	96.0±2.5	75.0±2.5	24.0±1.0
R-98.5/63/20A	R-98.5A	98.5±2.0	63.0±2.0	20.0±1.0
R-102/61/21A	R-102A	102.0±2.5	61.0±1.5	21.0±0.5
R-102/61/23B	R-102B	102.0±2.5	61.0±1.5	23.0±0.5
R-117/80/23A	R-117A	117.0±2.5	80.0±2.0	23.0±1.0
R-128/105/33C	R-128C	128.0±2.5	104.5±2.5	33.5±1.0

●エポキシ樹脂コーティング、コアの厚さ寸法(H)の異なる製品も製作いたします。当社営業所へお申しつけください。
●Available for the epoxy insulation coating and different core thickness products. Please contact us.

製品をより正しく、安全にご使用いただくために、さらに詳細な特性・仕様をご確認いただける納入仕様書をぜひご請求ください。
記載内容は、改良その他により予告なく変更する場合がありますので、あらかじめご了承ください。

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FERRITE CORES FOR EMI PREVENTION/EMC and PULSE TRANSFORMER

R(リング)コア

R(Toroidal) Cores

JFE

形状	A_L value(nH/N²)±30%						コア定数 Core parameters				Weight
Type	MA055	MA070	MA085	MA100	MA120	MA150	C_1(mm⁻¹)	Le(mm)	Ae(mm²)	Ve(mm³)	(g)
R-25/15/4G	2250	2860	3470	4090			3.08	60.2	19.6	1180	6.2
R-25/15/6J	3370	4290	5210	6130			2.05	60.2	29.4	1770	9.2
R-25/15/7.7D	4330	5510	6690	7870			1.60	60.2	37.7	2270	11.9
R-25/15/8C	4500	5720	6950	8170			1.54	60.2	39.1	2360	12.3
R-25/15/10E	5620	7150	8680	10200			1.23	60.2	48.9	2940	15.4
R-25/15/12A	6740	8580	10400	12300			1.03	60.2	58.7	3530	18.5
R-25/15/13B	7300	9300	11300	13300			0.946	60.2	63.6	3830	20.0
R-25/15/15H	8430	10700	13000	15300			0.82	60.2	73.4	4420	23.1
R-28/19.1/10C	4210	5360	6500	7650			1.64	72.2	44.0	3170	16.1
R-28/19.1/11D	4630	5890	7150	8420			1.49	72.2	48.4	3490	17.7
R-28/19.1/12A	5050	6430	7800	9180			1.37	72.2	52.8	3810	19.4
R-30.5/19/13A	6720	8550	10400				1.03	74.9	72.8	5460	28.3
R-31/14/5K	4370	5560	6760	7950			1.58	63.8	40.3	2570	14.7
R-31/19/5J	2690	3430	4160	4900			2.57	75.5	29.4	2220	11.5
R-31/19/6L	3230	4110	4990	5870			2.14	75.5	35.3	2660	13.9
R-31/19/7H	3770	4800	5830	6850			1.83	75.5	41.2	3110	16.2
R-31/19/8A	4310	5480	6660	7830			1.60	75.5	47.1	3550	18.5
R-31/19/13C	7000	8910	10800				0.987	75.5	76.5	5770	30.0
R-31/19/15D	8080	10300	12500				0.856	75.5	88.2	6660	34.6
R-31/20/10B	4820	6140	7450				1.43	77.6	54.1	4200	21.6
R-31/20/15E	7230	9200	11200				0.956	77.6	81.2	6300	32.4
R-36/23/7B	3450	4390	5330				2.00	89.6	44.7	4010	20.7
R-36/23/15A	7390	9410	11400				0.935	89.6	95.9	8600	44.3
R-37/22/6C	3430	4370	5300				2.01	88.6	44.0	3900	20.4
R-37/22/13B	7430	9460	11500				0.930	88.6	95.3	8450	44.3
R-37/22/15A	8580	10900	13300				0.806	88.6	110	9750	51.1
R-38/19/13A	9910	12600	15300				0.697	82.7	119	9820	54.2
R-38.1/19/12.7A	9720	12400	15000				0.711	82.8	117	9650	53.3
R-39/20/6A	4410	5610	6810				1.57	86.1	54.9	4730	25.9
R-39/20/7B	5140	6540	7950				1.34	86.1	64.1	5520	30.2
R-44.5/30/13A	5640	7180	8710				1.23	114	93.0	10600	54.0
R-47/27/15A	9150	11600	14100				0.756	110	146	16200	85.4
R-48/30/15A	7760	9870					0.891	118	133	15700	81.0
R-50/25/10A	7620	9700					0.906	109	120	13100	72.2
R-50/25/15B	11400	14600					0.604	109	180	19600	108
R-50/25/19D	14500	18400					0.477	109	228	24800	137
R-51/31/13A	7120	9060					0.971	124	127	15700	82.0
R-56/36/20A	9720	12400					0.711	140	197	27500	142
R-60/36/20C	11200	14300					0.615	144	235	33900	177
R-60/40/18A	8030	10200					0.861	153	178	27100	139
R-60/40/25B	11200	14200					0.620	153	247	37700	192
R-63/38/25A	13900	17700					0.497	152	306	46500	243
R-68/44/13.5B	6460	8230					1.07	170	159	27200	140
R-68/44/15A	7180	9140					0.962	170	177	30200	155
R-78/51/16A	7200						0.903	196	217	42400	218
R-78/51/22B	9890						0.657	196	298	58300	299
R-78/51/25C	11200						0.578	196	338	66200	340
R-82/55/20A	7670						0.787	210	266	55800	285
R-96/75/24A	6190						1.06	266	251	66700	332
R-98.5/63/20A	8800						0.703	245	349	85700	441
R-102/61/21A	9720						0.582	245	421	103000	540
R-102/61/23B	11700						0.531	245	461	113000	592
R-117/80/23A	8720						0.719	302	420	127000	645
R-128/105/33C	6760						0.925	363	392	142000	704

Specifications which provide more details for the proper and safe use of the described product are available upon request.
All specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลแกนเหล็กชนิดผงโลหะ

จาก MICROMETALS, iron powder cores

คุณสมบัติของเนื้อสาร

GENERAL MATERIAL PROPERTIES **INTRODUCTION**

Material Mix No.	Reference Permeability (μ_o)	Material Density (g/cm³)	Relative Cost	Color Code
-2	10	5.0	2.7	Red/Clear
-8	35	6.5	5.0	Yellow/Red
-14	14	5.2	3.6	Black/Red
-18	55	6.6	3.4	Green/Red
-26	75	7.0	1.0	Yellow/White
-30*	22	6.0	1.4	Green/Gray
-34*	33	6.2	1.5	Gray/Blue
-35*	33	6.3	1.4	Yellow/Gray
-38	85	7.1	1.1	Gray/Black
-40	60	6.9	1.0	Green/Yellow
-45	100	7.2	2.6	Black/Black
-52	75	7.0	1.2	Green/Blue

* The -30 Material was developed as a lower cost, lower loss alternate to the -28 Material. Similarly, the -34 & -35 Materials were developed to replace the -33 Material. The -28 & -33 Materials are not listed in this catalog but are still available.

CORE LOSS COMPARISON (mW/cm³) **PERMEABILITY WITH DC BIAS**

Material Mix No.	60 Hz @5000G	1kHz @1500G	10kHz @500G	50kHz @225G	100kHz @140G	500kHz @50G	HDC = 50 Oersteds %μ_o	$\mu_{effective}$
-2	19 **	32**	32**	28	19	12	100	10.0
-8	45	64	59	50	35	28	91	31.9
-14	19 **	32**	32**	29	21	17	100	14.0
-18	48	72	70	63	46	37	74	40.7
-26	32	60	75	89	83	139	51	38.3
-30	37	80	120	149	129	129	91	20.0
-34	29	61	87	100	82	78	84	27.7
-35	33	73	109	137	119	123	84	27.7
-38	31	57	72	99	103	217	51	43.4
-40	29	62	93	130	127	223	62	37.2
-45	26	49	60	69	61	92	46	46.0
-52	30	56	68	72	58	63	59	44.3

** Low frequency core loss is extrapolated from data measured at high frequency

คุณสมบัติของแกนแม่เหล็กในการใช้งานต่างๆ

MATERIAL APPLICATIONS

Typical Application	-2	-8	-14	-18	-26	-30	-34	-35	-38	-40	-45	-52
Light Dimmer Chokes					X				X	X	X	
60 Hz Differential-mode EMI Line Chokes					X				X	X	X	X
DC Chokes: <50kHz or low Et/N (Buck/Boost)					X	X	X	X	X	X	X	
DC Chokes: ≥50kHz or higher Et/N (Buck/Boost)		X	X	X		X	X	X				X
Power Factor Correction Chokes: <50kHz					X	X	X	X		X		
Power Factor Correction Chokes: ≥50kHz	X	X	X	X		X	X	X				
Resonant Inductors: ≥50kHz	X		X									

MATERIAL DESCRIPTION

-2/-14 Materials The low permeability of these materials will result in lower operating AC flux density than with other materials with no additional gap-loss. The -14 Material is similar to -2 Material with slightly higher permeability.

-8 Material This material has low core loss and good linearity under high bias conditions. A good high frequency material. The highest cost material.

-18 Material This material has low core loss similar to the -8 Material with higher permeability and a lower cost. Good DC saturation characteristics.

-26 Material The most popular material. It is a cost-effective general purpose material that is useful in a wide variety of power conversion and line filter applications.

-30 Material The good linearity, low cost, and relatively low permeability of this material make it popular in large-sizes for high power UPS chokes.

-34/-35 Materials An inexpensive alternate to the -8 material for applications where high frequency core loss is not critical. Good linearity with high bias.

-38 Material A higher permeability alternate to -26 Material. A low cost material best used at line frequency.

-40 Material The least expensive material. It has characteristics quite similar to the very popular -26 Material. Popular in large sizes.

-45 Material The highest permeability material. A high permeability alternate to -52 Material with slightly higher core losses.

-52 Material This material has lower core loss at high frequency and the same permeability as the -26 Material. It is very popular for high frequency choke designs.

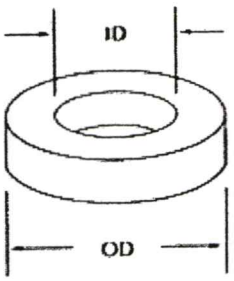
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOROIDAL CORES

COLOR CODE

-2	Red/Clear
-8	Yellow/Red
-14	Black/Red
-18	Green/Red
-26	Yellow/White
-30	Green/Gray
-34	Gray/Blue
-35	Yellow/Gray
-38	Gray/Black
-40	Green/Yellow
-45	Black/Black
-52	Green/Blue

Refer to page 4 for tolerances.



TYPICAL PART NO.

T 106 - 26 /

- OD in 100th inches
- Micrometals Mix No.
- Letter Indicates Alternate Height
- Code Area For Other Characteristics

Note: For information on Mix 1, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 15, 17, 42, and 0 see Micrometals Catalog 3 for RF applications.

MICROMETALS Part No.	A_L nH/N²	OD in/mm	ID in/mm	Ht in/mm	MAGNETIC DIMENSIONS ℓ cm	A cm²	V cm³
T130-2	11.0	1.300/33.0	.780/19.8	.437/11.1	8.28	698	5.78
T130-8/90	35.0						
T130-14	14.0						
T130-18	58.0						
T130-26	81.0						
T130-30	25.0						
T130-34	33.5						
T130-35	33.5						
T130-38	90.0						
T130-40	69.0						
T130-45	103.0						
T130-52	79.0						
T130-26A	41.0	1.300/33.0	.780/19.8	.225/5.72	8.28	.361	2.99
T130-40A	34.0						
T131-8/90	52.5	1.300/33.0	.640/16.3	.437/11.1	7.72	.885	6.84
T131-18	79.0						
T131-26	116.0						
T131-34	46.5						
T131-35	46.5						
T131-40	93.0						
T131-52	108.0						
T132-26	103.0	1.300/33.0	.700/17.8	.437/11.1	7.56	.805	6.44
T132-40	83.0						
T132-52	95.0						
T141-8/90	32.0	1.415/35.9	.880/22.4	.412/10.5	9.14	.674	6.16
T141-26	75.0						
T141-40	60.0						
T141-52	69.0						
T150-18	65.0	1.510/38.4	.845/21.5	.437/11.1	9.38	.887	8.31
T150-26	96.0						
T150-40	78.0						
T150-52	89.0						
T150-26A	66.0	1.510/38.4	.845/21.5	.325/8.26	9.38	.657	6.16
T150-38A	74.5						
T150-45A	84.0						
T157-2	14.0	1.570/39.9	.950/24.1	.570/14.5	10.1	1.06	10.7
T157-8/90	42.0						
T157-14	17.5						
T157-18	73.0						
T157-26	100.0						
T157-30	31.5						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAGNETIC CHARACTERISTICS

INTRODUCTION TO MAGNETIC CHARACTERISTICS

General Information: The magnetic characteristics shown on pages 26-36 result from testing toroidal cores. The magnetization curves on pages 26 and 27 have a typical tolerance of +20%, -10%. Other configurations such as E Cores and U Cores will produce slightly different results due to the effects of leakage associated with the geometry.

These characteristics were measured at room temperature. The temperature coefficient of initial permeability for each material is listed on page 3. The temperature coefficient of percent permeability versus both DC magnetizing force and peak AC flux density ranges from -100 to -400 ppm/C°. The combination of these coefficients will generally result in an increase in inductance with increasing temperature even under biased conditions.

The percent change in permeability is directly proportional to the percent change in A_L value. The cores are manufactured to the A_L value rather than to the referenced permeability.

Since iron powder cores are normally used in inductor applications the magnetization curves provided on page 26 and 27 are in relation to permeability. B-H curves are shown below.

DC Magnetization: The curves at the bottom of page 26 illustrate the effect of DC Magnetizing force on percent initial permeability for the materials shown. As the level of DC magnetizing force increases, the materials gradually experience a reduction in permeability. This "soft" saturation characteristic results from the distributed air-gap in the iron powder core materials.

The formula in the body of the graph is used to calculate the DC Magnetizing Force in oersteds. The mean magnetic path (l) for each core is included in the part number listing.

These curves are based on a peak AC flux density of 10 gauss (1 mT). The response to DC magnetizing force is affected by the level of peak AC flux density present.

AC Magnetization: The curves at the top of page 27 illustrate the effect of Peak AC Flux Density on percent initial permeability. As the level of peak AC flux density increases, the materials experience an increase in permeability up to an AC flux density of between 3000 and 6000 gauss. Beyond this level, the material begins to saturate. These curves are the result of tests performed from 60 Hz to 10 kHz.

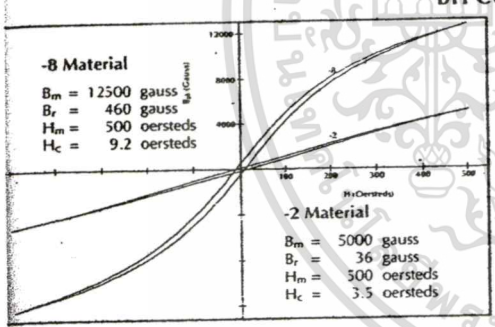
The formula in the body of the graph is used to calculate the peak AC flux density in gauss. The Cross-Sectional Area (A) for each core is included in the part number listing.

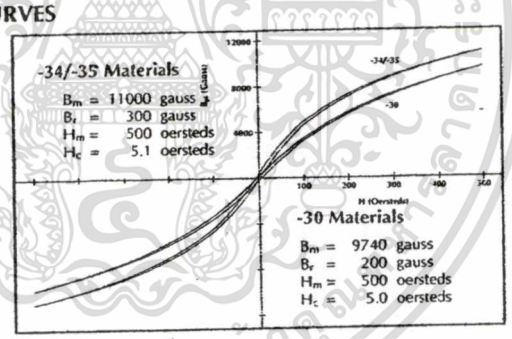
The A_L values listed are based on a peak AC flux density of 10 gauss (1 mT). Testing cores at a higher flux density can have a significant effect on measured results.

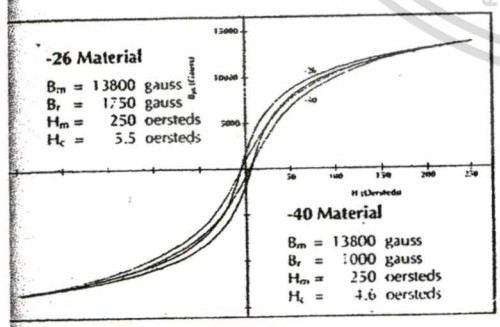
Frequency Response: The curves at the bottom of page 27 show how the permeability of each material is affected by frequency.

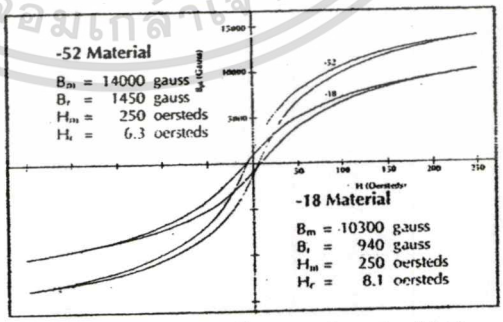
A typical coil wound with multiple turns will have a measurable amount of interwinding capacitance which acts in parallel with the coil. This interwinding capacitance will cause the coil to become self-resonant. In order to avoid this effect, the data at the highest frequencies was taken with a single turn.

BH CURVES









MICROMETALS TEL. (714) 970-9400 FAX (714) 970-0400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

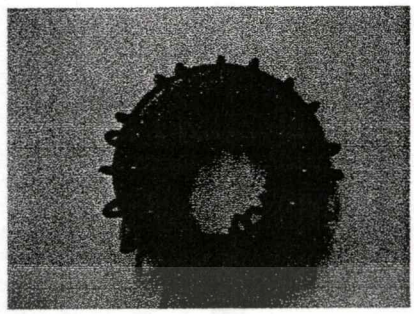
ภาคผนวก ข

กราฟค่าอิมพีแดนซ์และวงจรค่าแฝงของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุแบบต่างๆ ที่วัดจากเครื่อง Impedance Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับเพาเวอร์ซัพพลาย

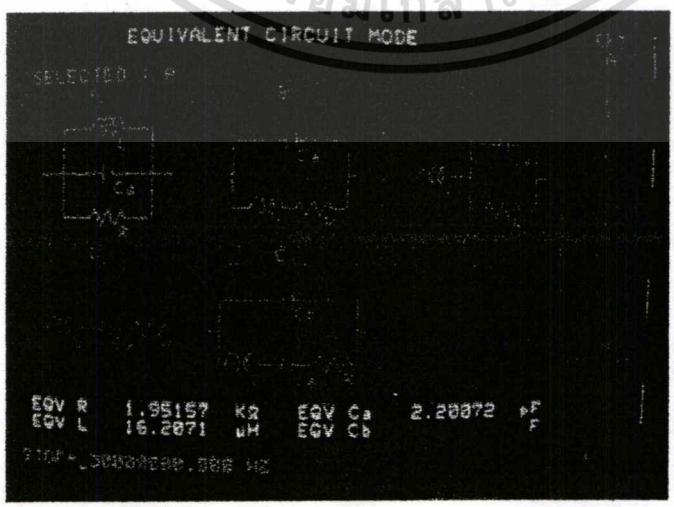
ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง



ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก (Ldm1, Ldm2)

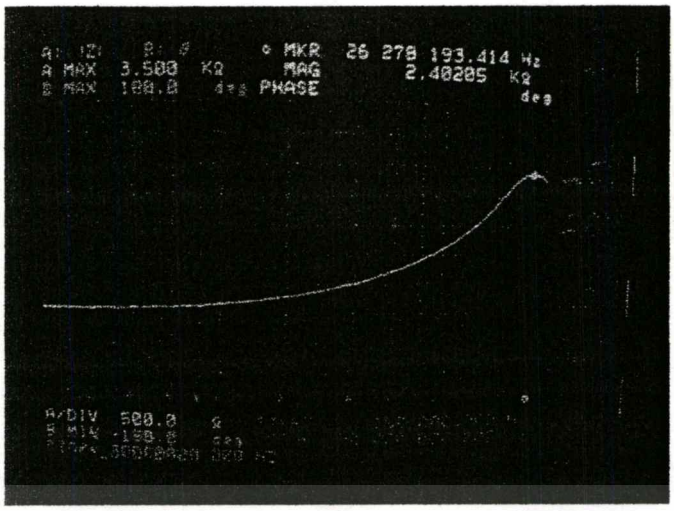


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนแยกตัวที่ 1 (Ldm1)

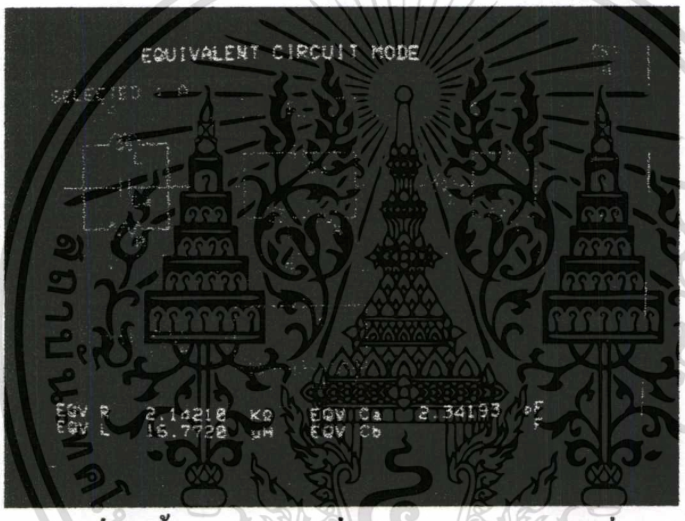


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกตัวที่ 1 (Ldm1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

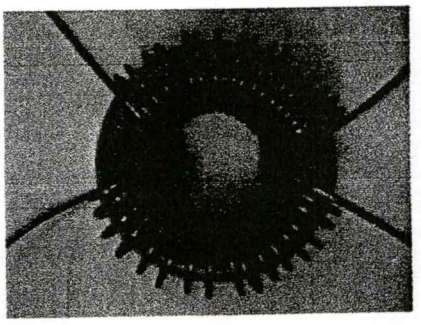


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนแยกตัวที่ 2 (Ldm2)

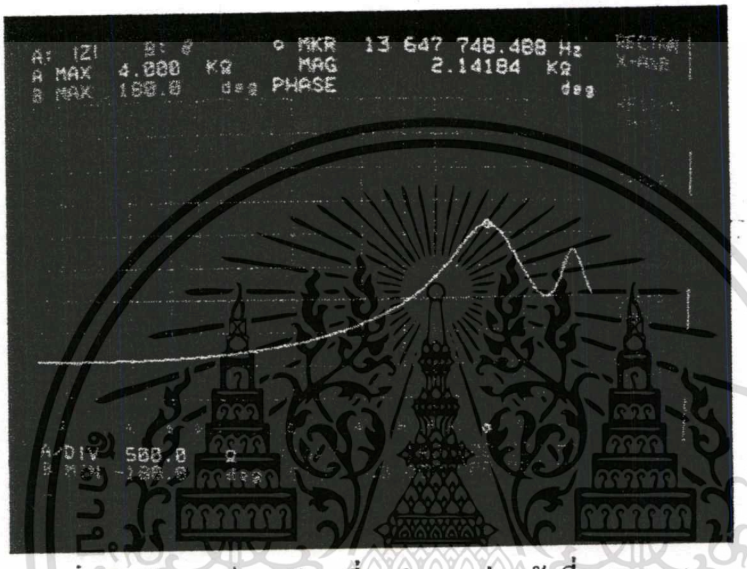


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกตัวที่ 2 (Ldm2)

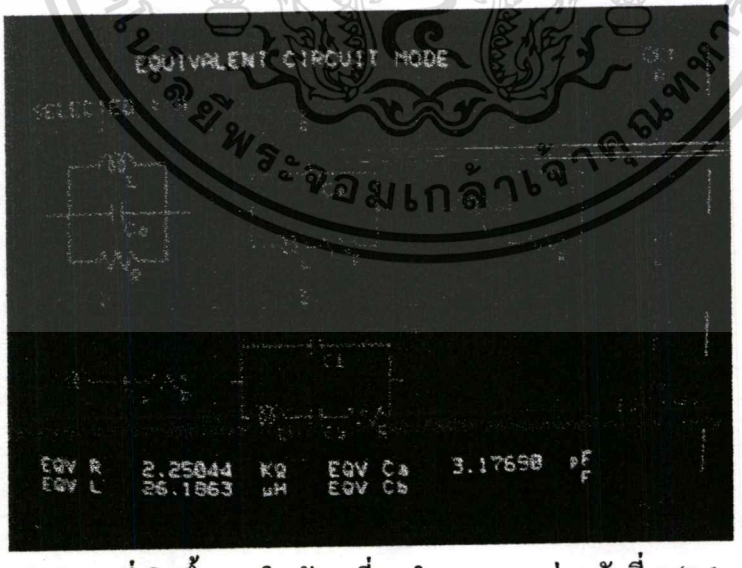
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วม (Ldm1, Ldm2)

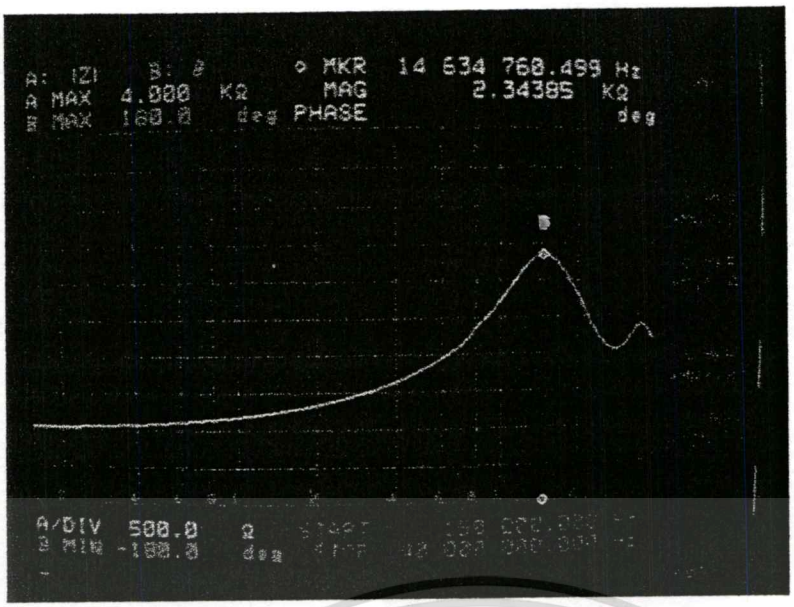


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 1 (Ldm1)

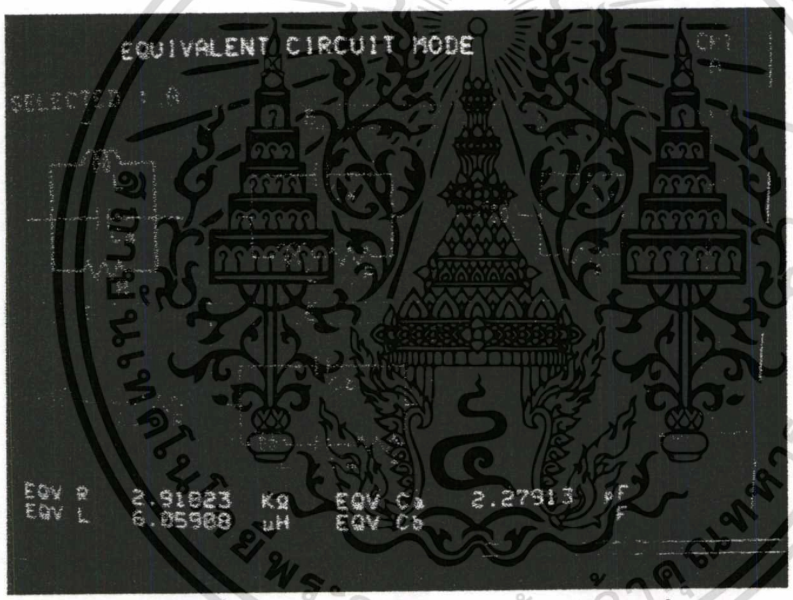


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 1 (Ldm1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



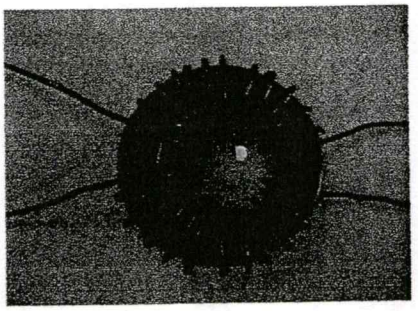
กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 2 (Ldm2)



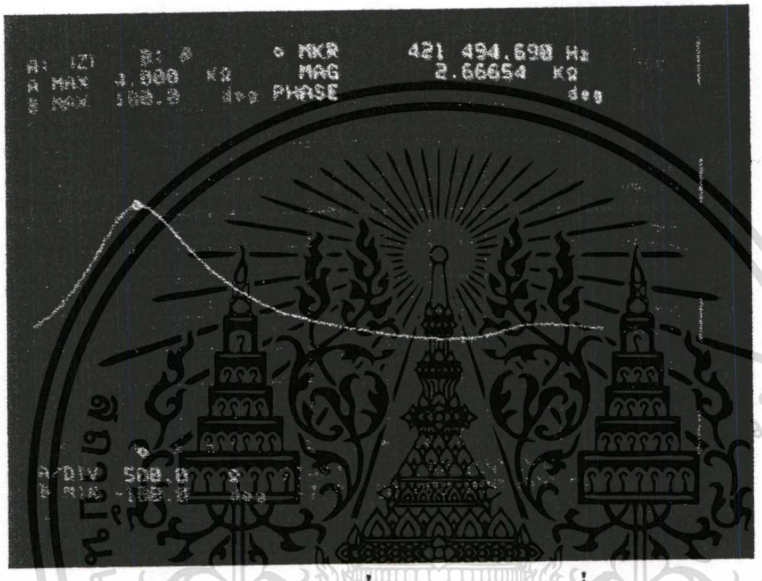
ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 2 (Ldm2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

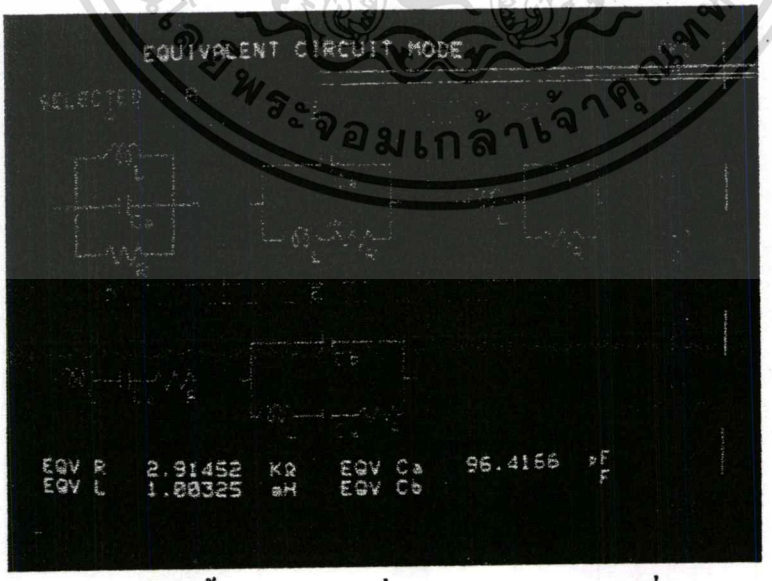
ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม



ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม (Lcm1 และ Lcm2)

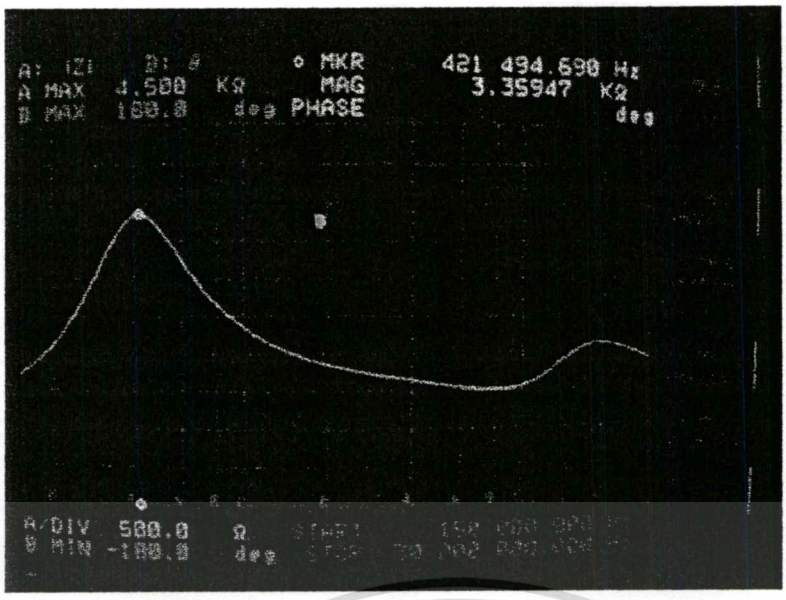


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 1 (Lcm1)

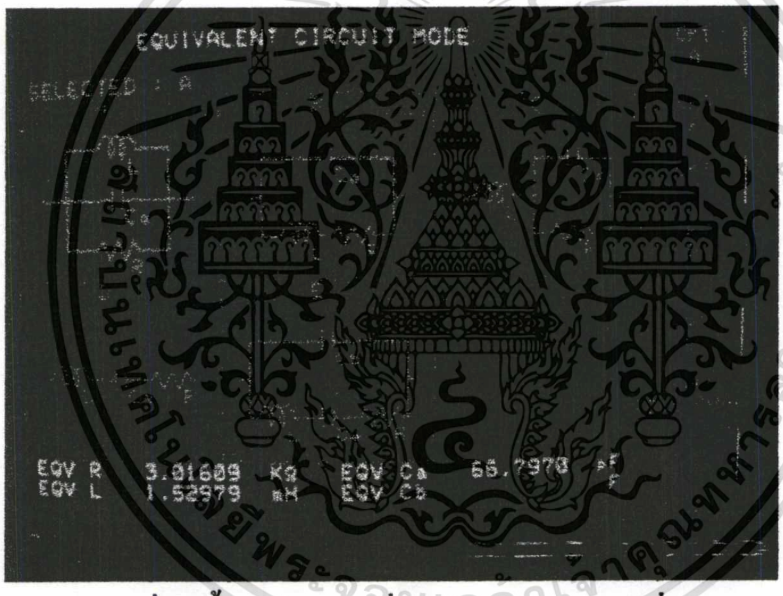


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 1 (Lcm1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



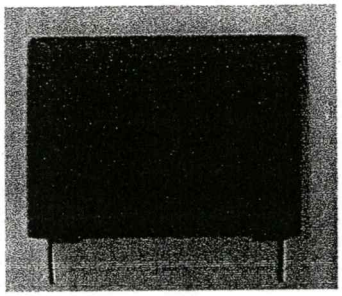
กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 2 (Lcm2)



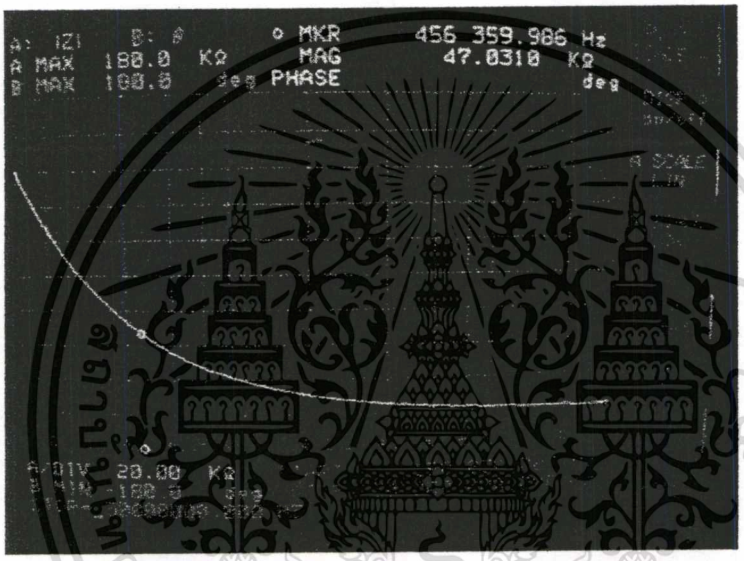
ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 2 (Lcm2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

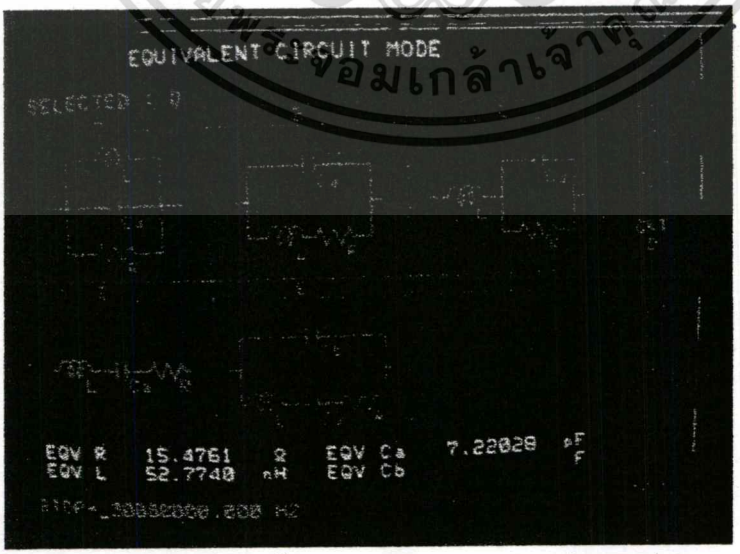
ตัวเก็บประจุโหมดผลต่าง



ตัวเก็บประจุโหมดผลต่าง (Cx1, Cx2)

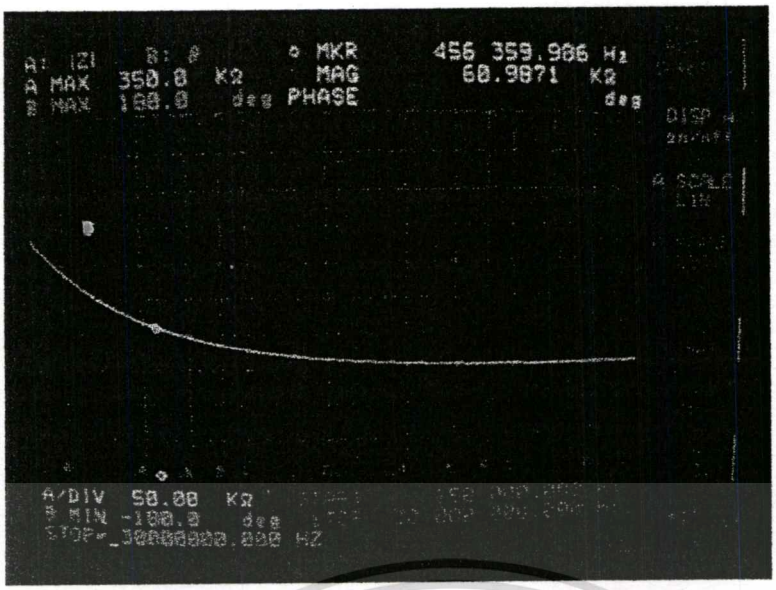


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cx1)

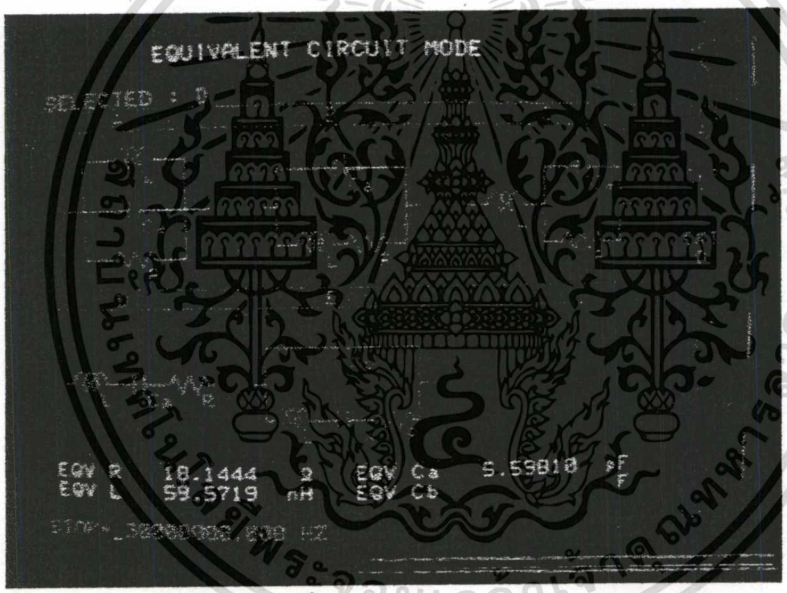


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cx1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



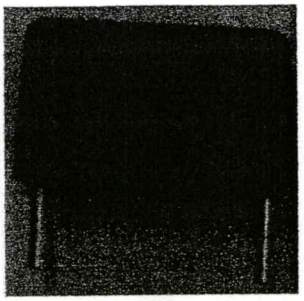
กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cx2)



ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cx2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

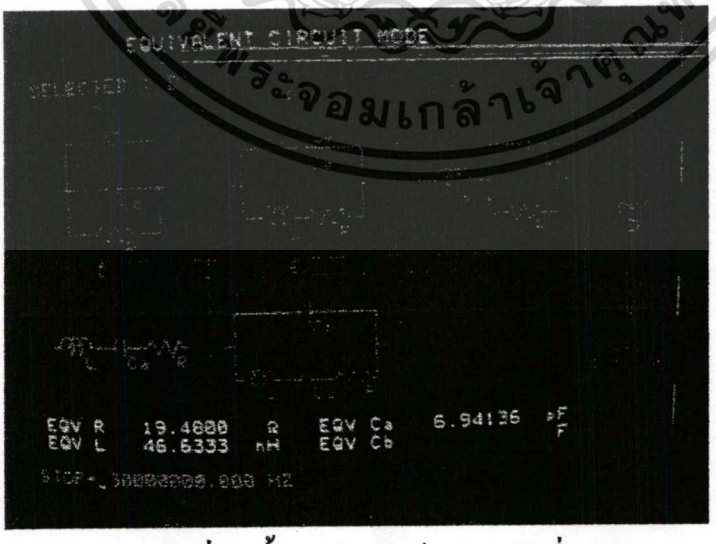
ตัวเก็บประจุโหมดผลร่วม



ตัวเก็บประจุโหมดผลร่วม (Cy1, Cy2)

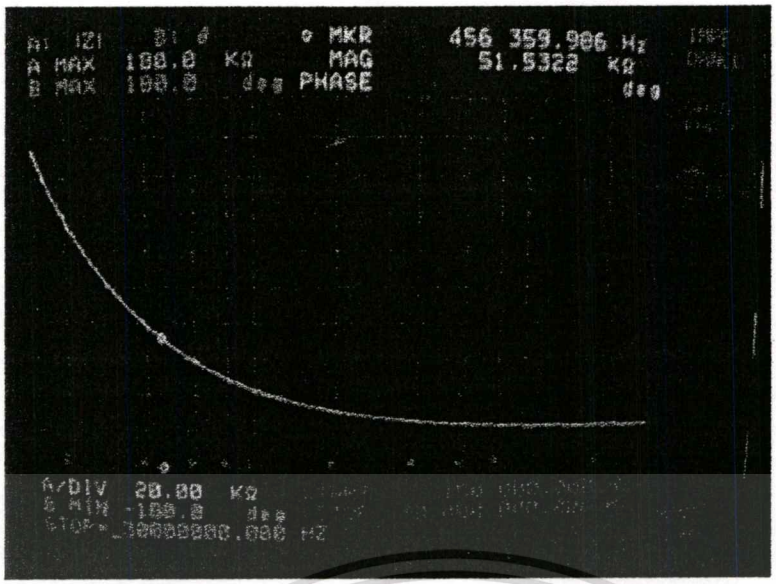


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cy1)

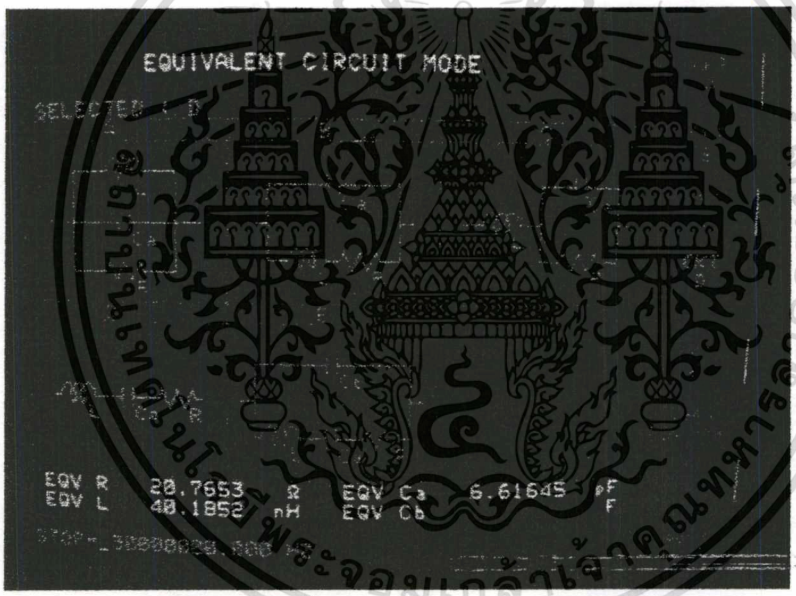


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cy1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cy2)

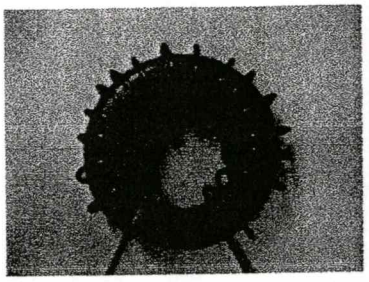


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cy2)

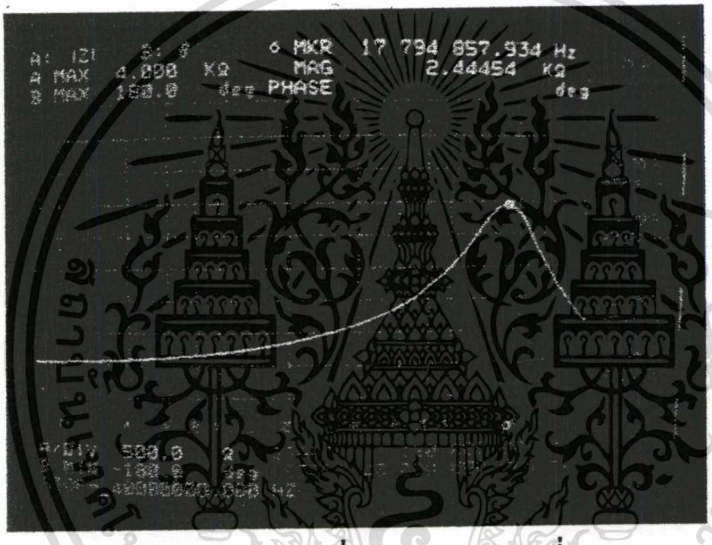
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองสัญญาณรบกวนสำหรับบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

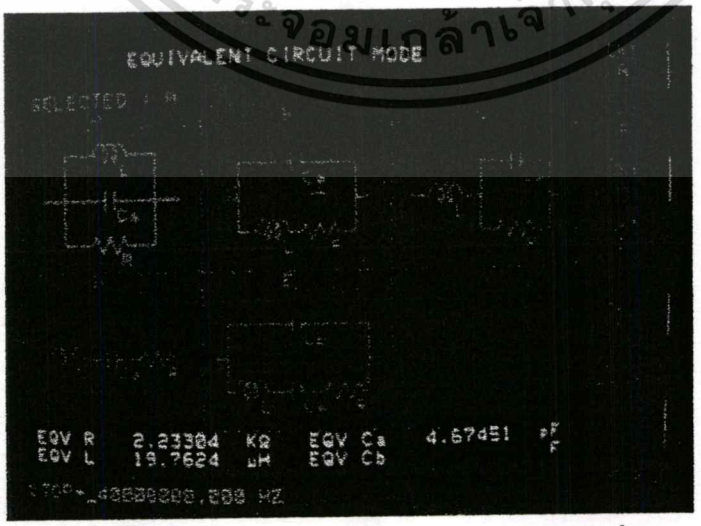
ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลต่าง



ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยก (Ldm1, Ldm2)

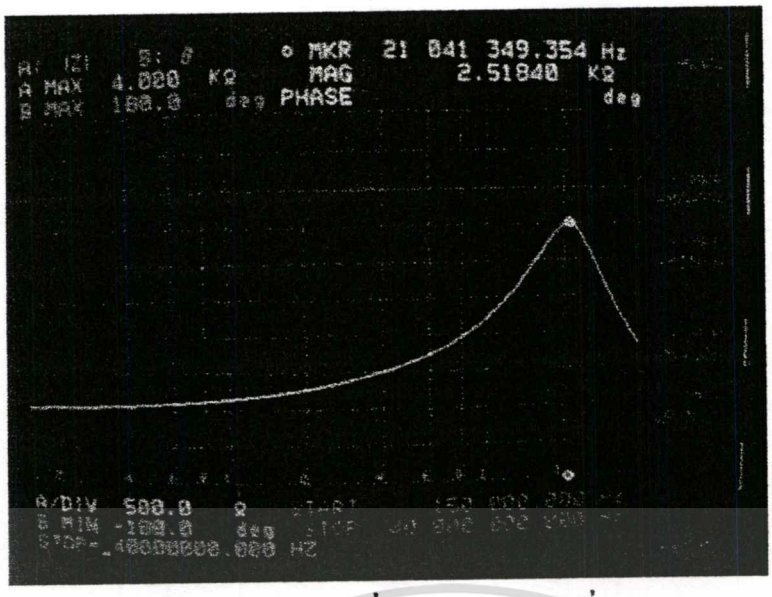


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนแยกตัวที่ 1 (Ldm1)

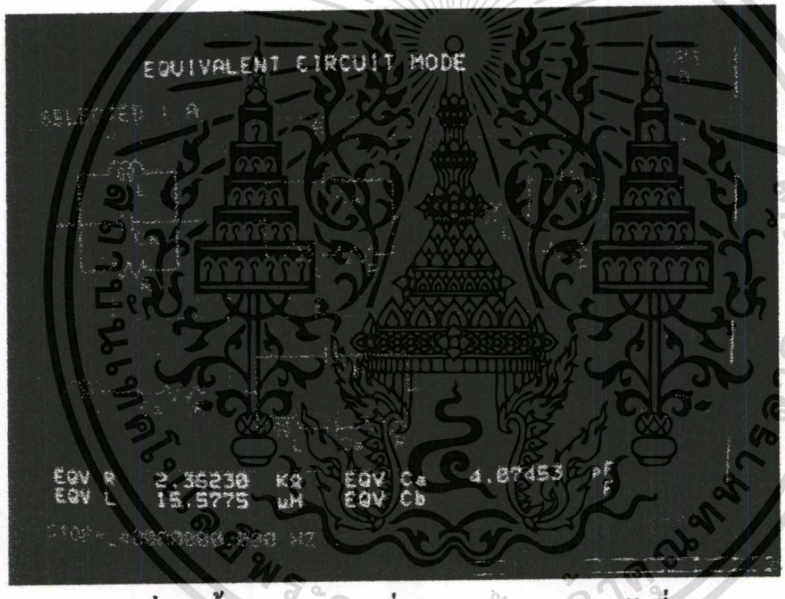


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกตัวที่ 1 (Ldm1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

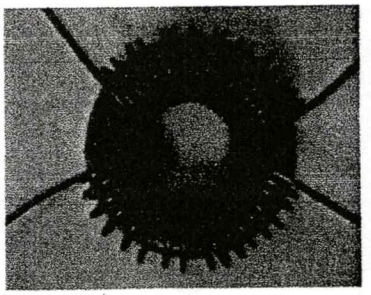


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนแยกตัวที่ 2 (Ldm2)

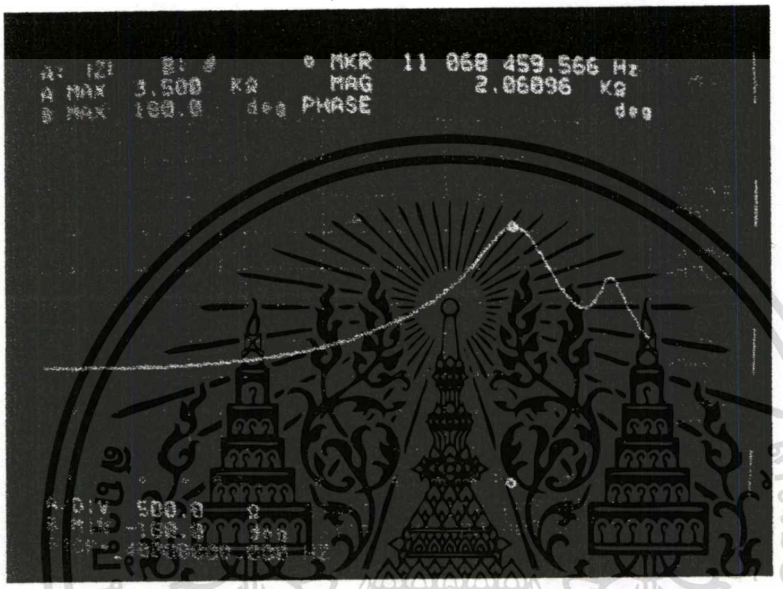


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนแยกตัวที่ 2 (Ldm2)

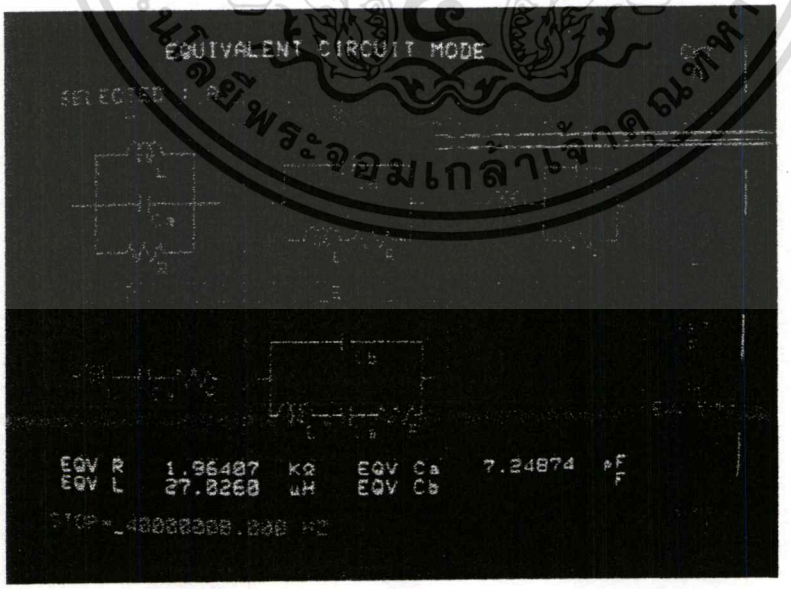
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วม (Ldm1, Ldm2)

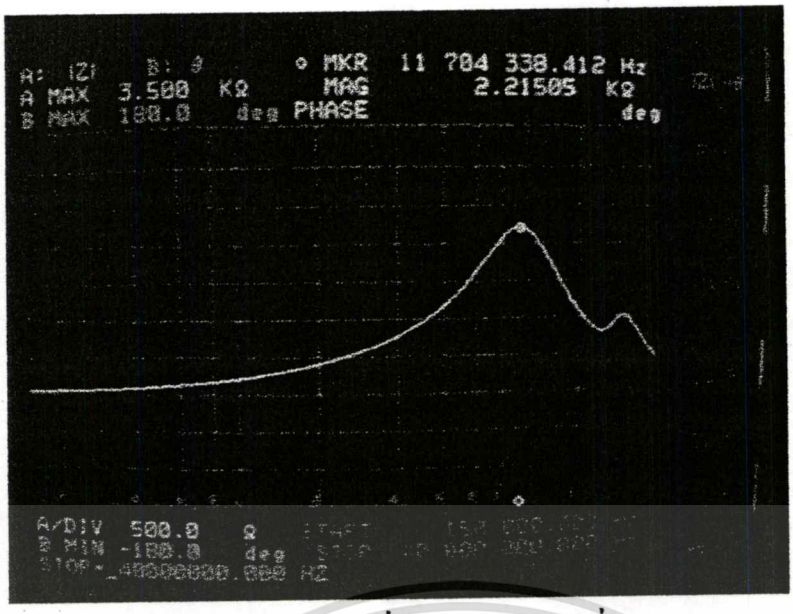


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 1 (Ldm1)

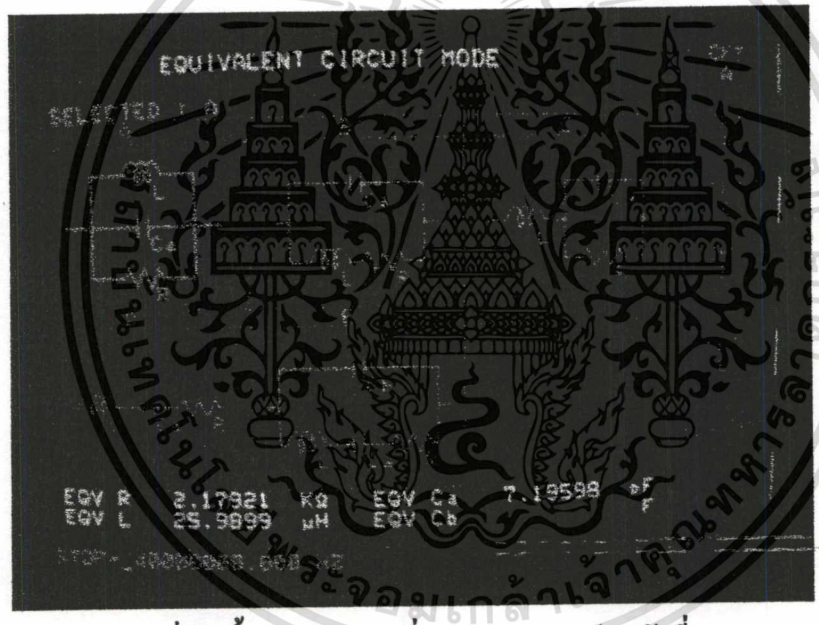


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 1 (Ldm1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



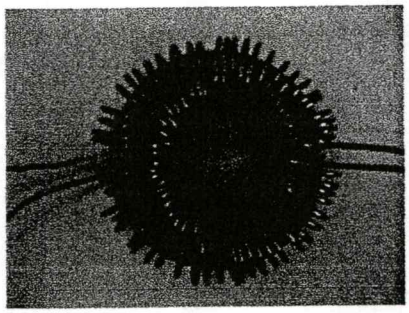
กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 2 (Ldm2)



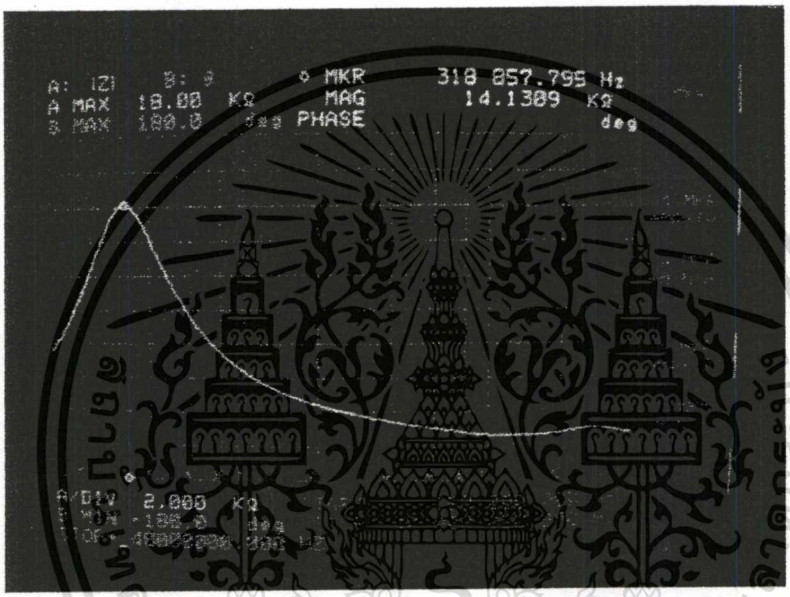
ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 2 (Ldm2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

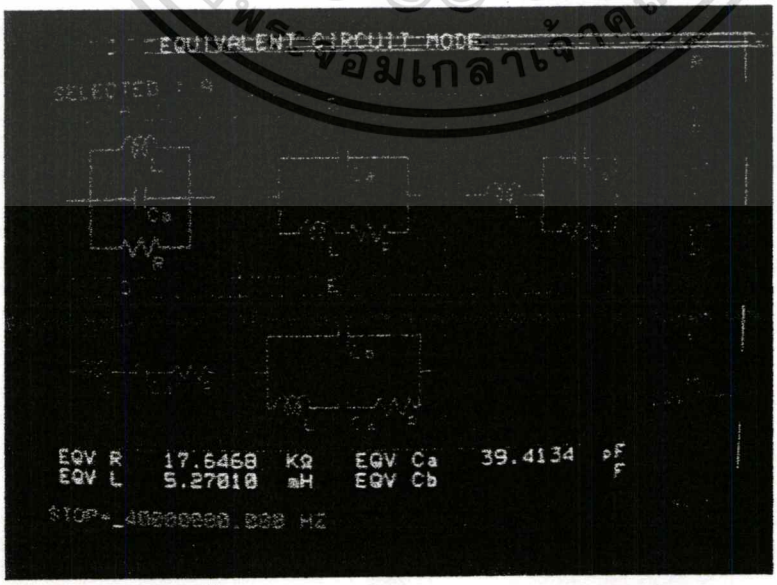
ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม



ตัวเหนี่ยวนำโหมดผลร่วม (Lcm1 และ Lcm2)

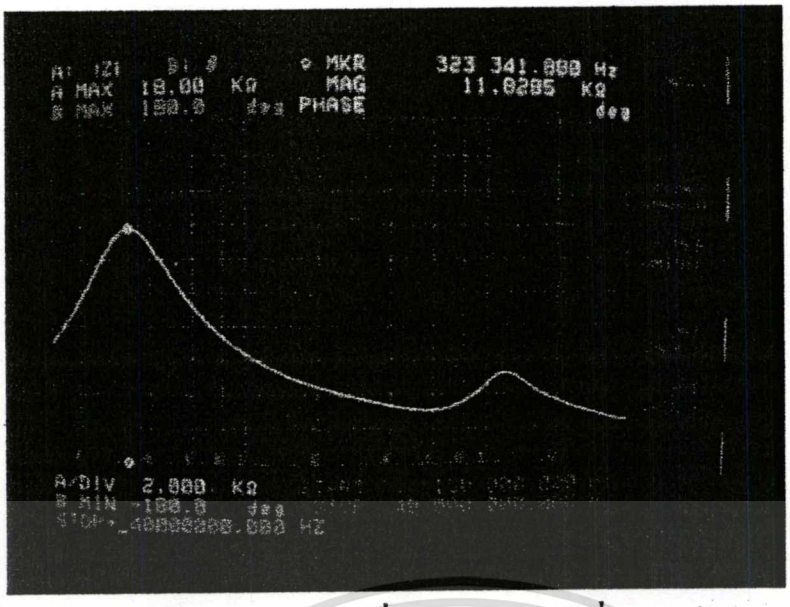


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 1 (Lcm1)

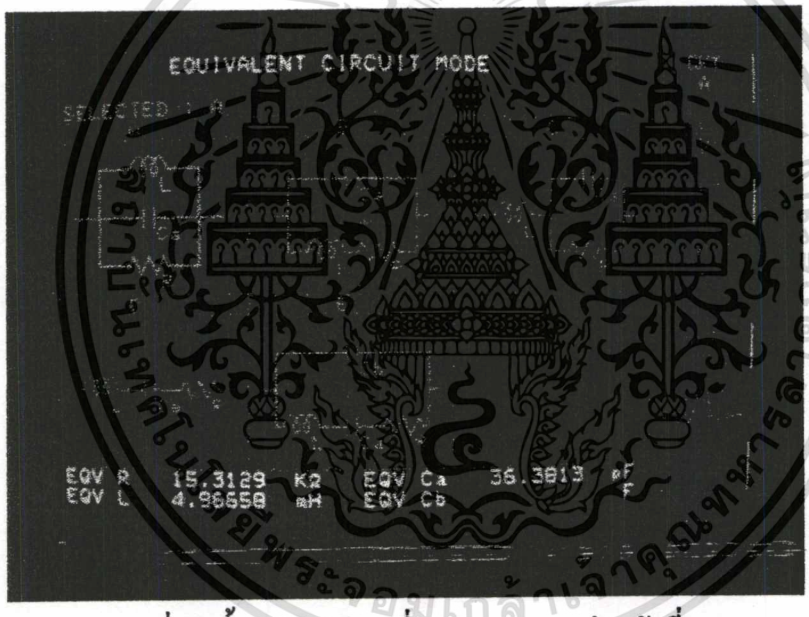


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 1 (Lcm1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



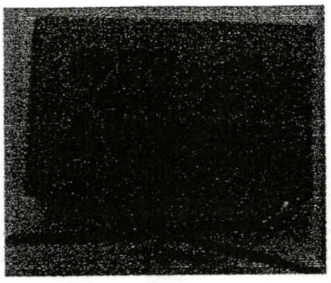
กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำแกนร่วมตัวที่ 2 (Lcm2)



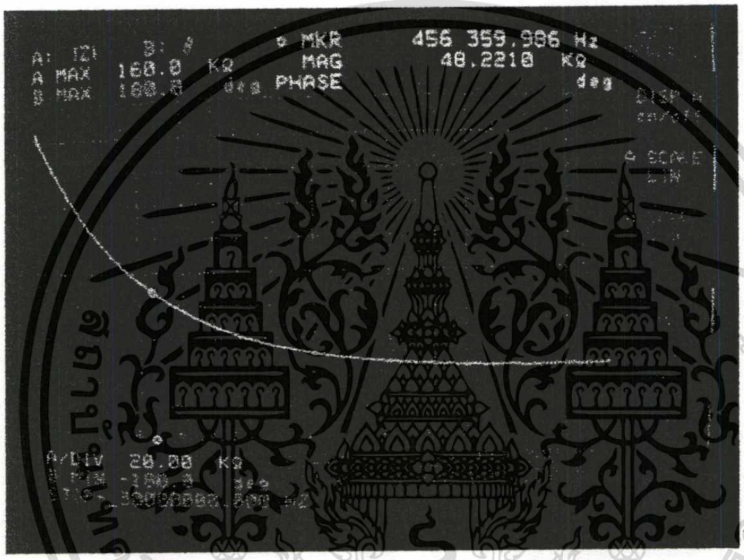
ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำแบบแกนร่วมตัวที่ 2 (Lcm2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

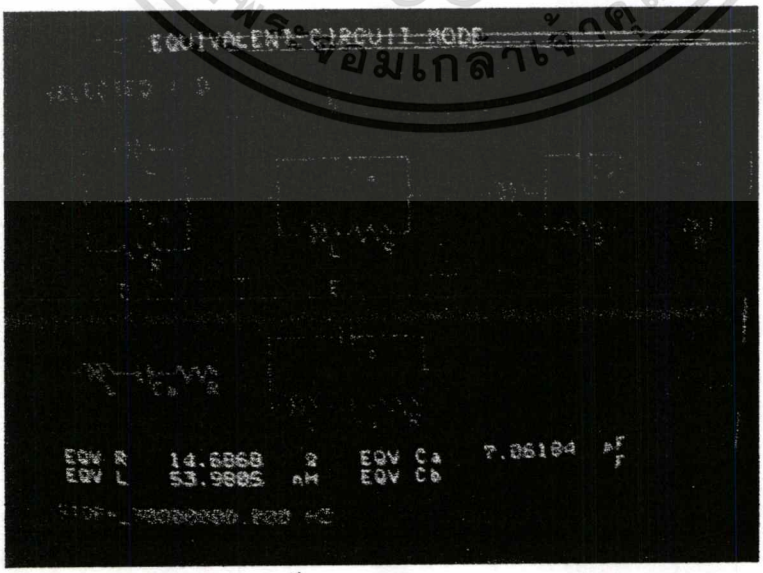
ตัวเก็บประจุโหมดผลต่าง



ตัวเก็บประจุโหมดผลต่าง (Cx1, Cx2)

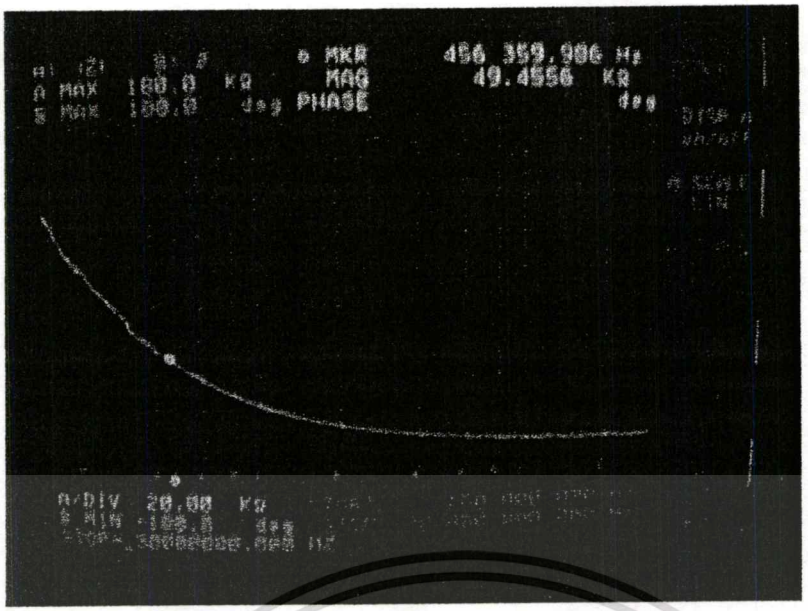


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cx1)



ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cx1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



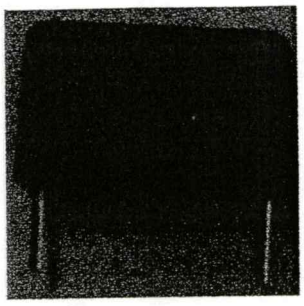
กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cx2)



ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cx2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

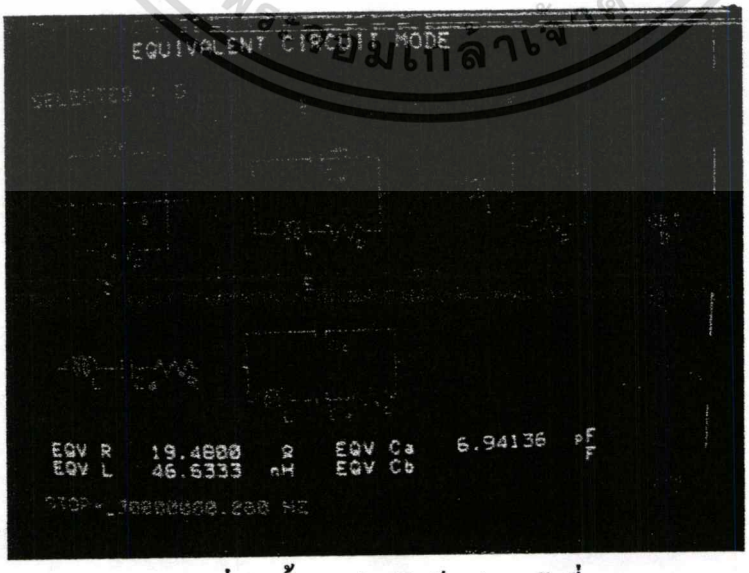
ตัวเก็บประจุโหมดผลร่วม



ตัวเก็บประจุโหมดผลร่วม (Cy1, Cy2)

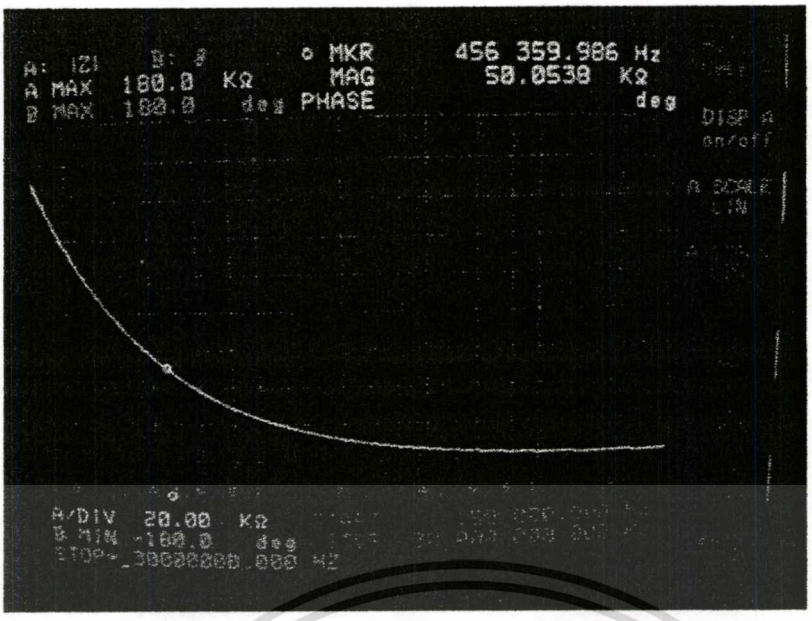


กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cy1)

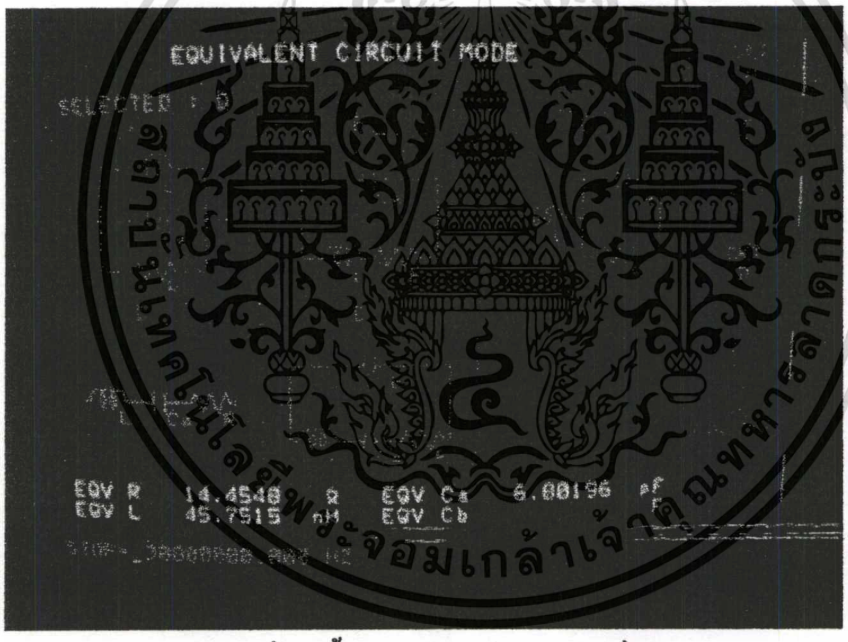


ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (Cy1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cy2)



ค่าแฝงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (Cy2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ชนิดและคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆที่ใช้จริงสามารถสรุปการใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆได้ดังนี้

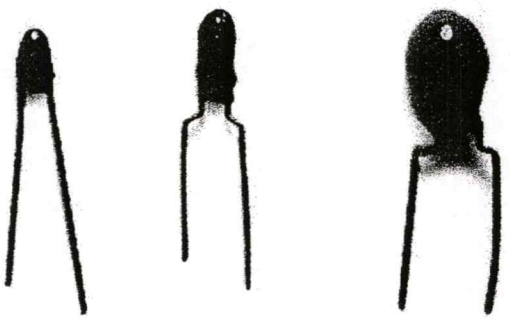
1 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติก (electrolytic capacitor) และตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโตรไลติก (aluminum electrolytic capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่และมีค่าเก็บประจุที่มาก ประมาณ 0.1 μF-1.6 F อย่างไรก็ตาม ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่ประมาณ 1 Ω ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะประมาณ 0.1 Ω และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมมีค่าเพิ่มขึ้นตามจึงทำให้เกิดความสูญเสียที่ฉนวนของตัวเก็บประจุ และอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโตรไลติก จึงเหมาะสำหรับใช้งานในย่านความถี่ต่ำ และไม่ควรจะใช้งานในย่านความถี่ที่สูงกว่า 25 kHz รวมทั้งประเภทการใช้งานในด้านความถี่ต่ำ วงจรกรองความถี่ bypassing และ coupling ส่วนในความความถี่สูง ใช้สำหรับ bypassing ที่มีค่าเก็บประจุต่ำๆ



ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติก

2 ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม (tantalum capacitor) จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมน้อยและมีค่าเก็บประจุมากกว่าและตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโตรไลติก ส่วนตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่จะมีค่าน้อยทำให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ที่สูงกว่าแบบตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโตรไลติก โดยทั่วไปแล้วตัวเก็บประจุแบบโซลิด แทนทาลัม อิเล็กโตรไลติก จะมีเสถียรภาพ อุณหภูมิการใช้งานมากกว่าแบบอลูมิเนียม อิเล็กโตรไลติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม

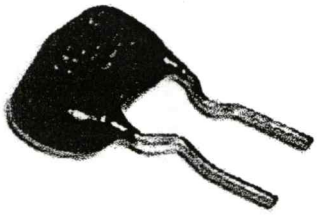
3 **ตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์** (paper and mylar capacitors) ตัวเก็บประจุชนิดนี้เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมจะมีค่าสูญเสียน้อยกว่าตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติก แต่จะมีค่าเหนี่ยวนำสูงและตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์จะมีค่าอัตราส่วนการสูญเสียน้อยและในทางปฏิบัติตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์จะมีหน่วยเป็นไมโครฟารัดน์ และในการใช้งานจะอยู่ในย่านความถี่ 1 kHz-1.25 MHz และประเภทการใช้งานจะใช้สำหรับ filtering bypassing coupling timing และในการลดสัญญาณรบกวน



ตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์

4. ตัวเก็บประจุแบบไมกา (mica capacitors) ตัวเก็บประจุทั้งสองนี้จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมและค่าเหนี่ยวนำที่ต่ำมาก และสามารถใช้งานได้ในย่านความถี่สูง ส่วนงานที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบไมกาและเซรามิกจะงานในย่านความถี่สูง เช่น filtering bypassing coupling และ timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวเก็บประจุแบบไมกาและเซรามิก

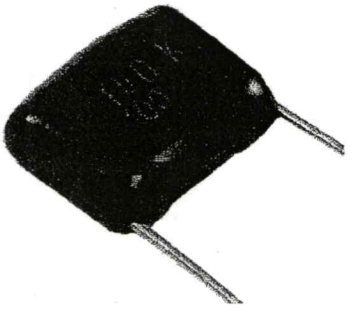
5. ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (ceramic capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 1 kHz-100 MHz แต่ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ส่วนงานที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกจะใช้งานในด้าน bypassing coupling และ blocking และข้อเสียของตัวเก็บประจุแบบเซรามิก คือจะมีค่าแรงดันกระเพื่อมสูง



ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก

6. ตัวเก็บประจุแบบโพลีสทีรีน (polystyrene capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมและตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่จะมีค่าน้อยมากๆ โดยทั่วไปแล้วตัวเก็บประจุแบบโพลีสทีรีน จะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ใกล้เคียงอุดมคติมาก ส่วนงานที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบโพลีสทีรีนจะใช้งานใน filtering bypassing coupling timing และในการลดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวเก็บประจุแบบโพลีสทีรีน

7. ตัวเก็บประจุเซรามิคแบบ Surface mount device (SMD) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าความต้านทานและค่าเหนี่ยวนำเหนี่ยวนำแฝงต่ำ เนื่องจากขาของตัวเก็บประจุไม่มี นิยมนำไปใช้กับวงจรความถี่สูง มีความเสถียรต่ออุณหภูมิ ค่าของตัวเก็บประจุส่วนใหญ่มีค่าน้อย ทนแรงดันได้ไม่สูงมากนัก



ตัวเก็บประจุเซรามิคแบบ Surface mount device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

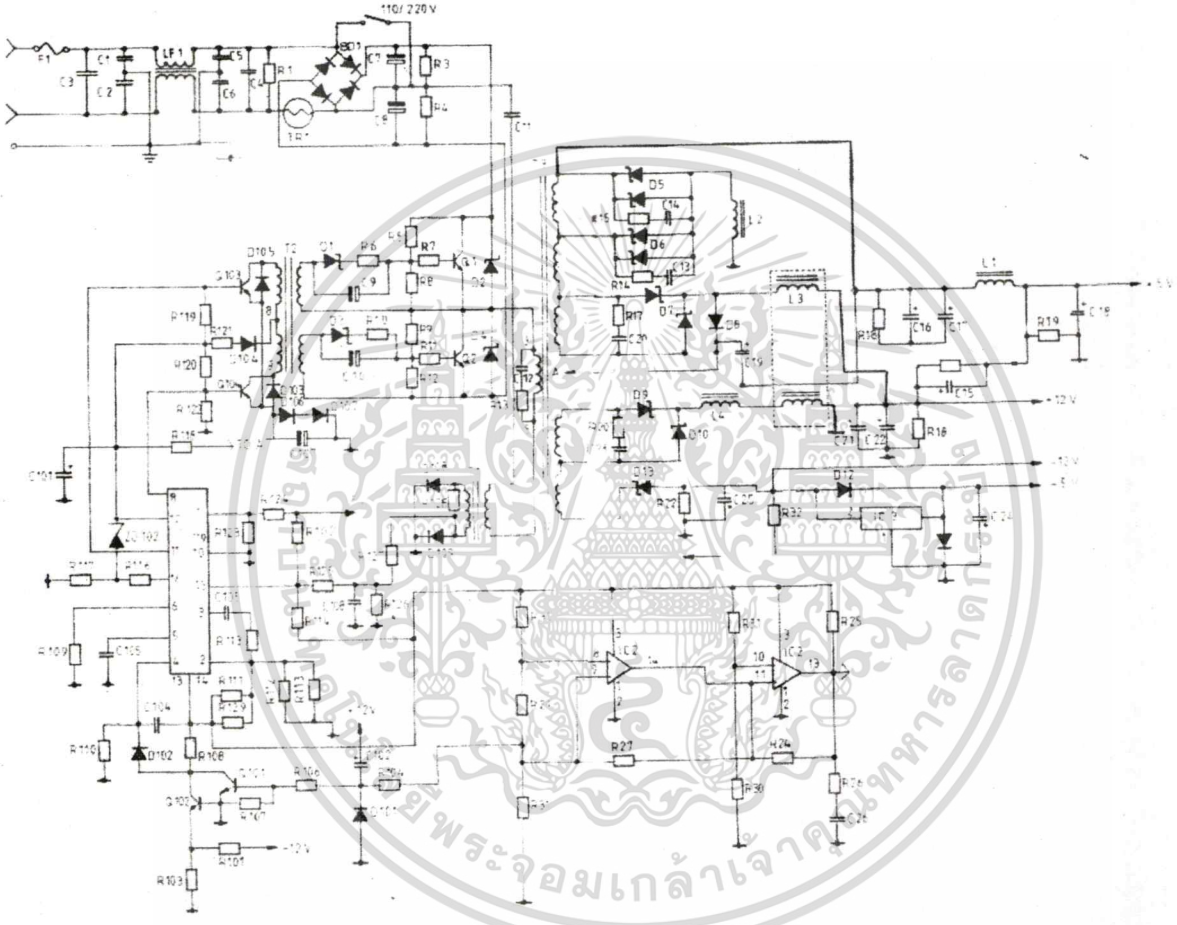
ภาคผนวก ง

รายละเอียดของวงจรเพาเวอร์ซัพพลายและบู้สต์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย

เป็นวงจรแบบ AC-DC โดยอินพุตเป็นกระแสสลับ หลังจากนั้นผ่านวงจร rectifier และเชื่อมต่อผ่านไปยัง flyback converter เพื่อทำหน้าที่ลดระดับแรงดันลง หลังจากนั้นผ่านไปยังวงจร rectifier อีกครั้งก่อนส่งไปเป็นเอ้าพุตที่ 5, 12 VDC

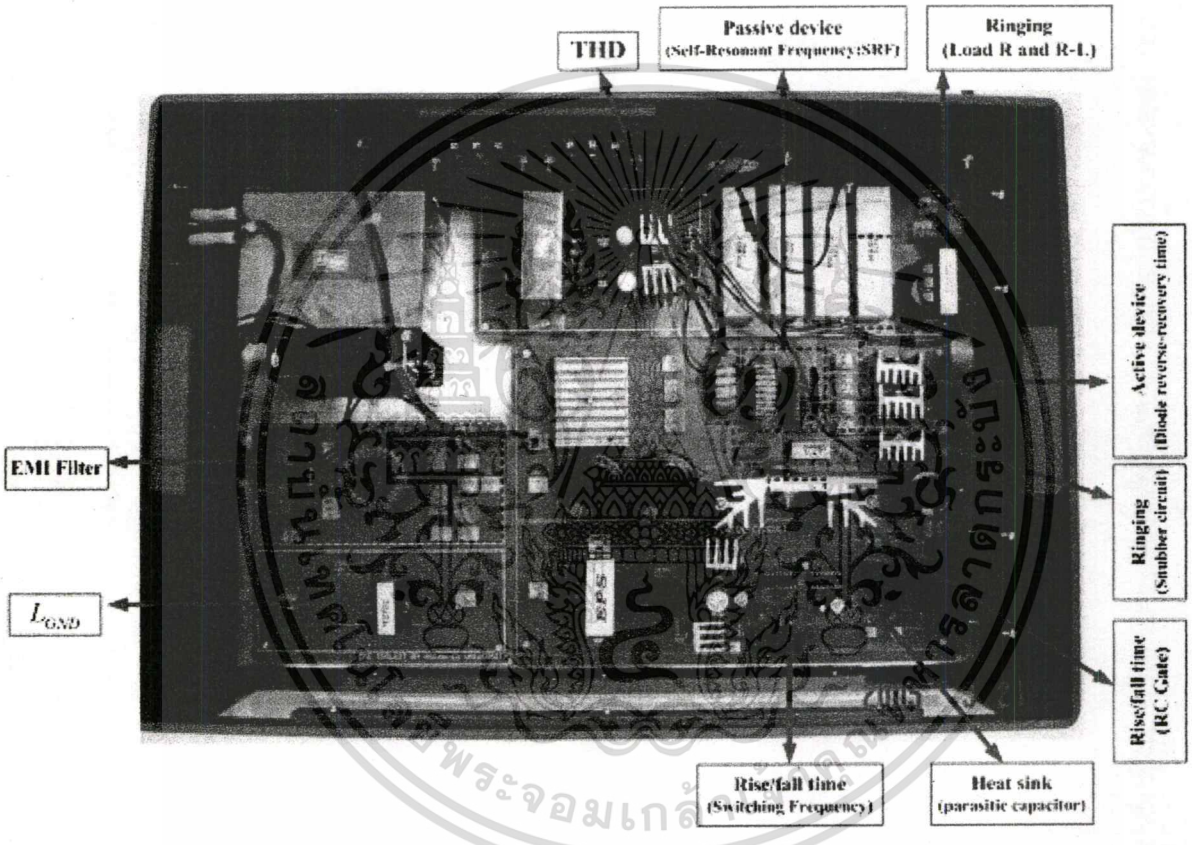


รูปวงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์

เป็นวงจรแบบ DC-DC โดยรับอินพุตจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Vac ก่อนนำมาแปลงเป็นกระแสตรงด้วย rectifier และนำไปแปลงระดับที่แรงดันกระแสตรงเป็นกระแสตรง DC-DC ก่อนนำไปจ่ายให้กับโหลดที่เอ้าพุต



รูปวงจรบู้ตส์คอนเวอร์เตอร์ที่นำมาทดสอบ

www.kmitl.ac.th/emc/vuttipon/My%20papers/pdf_v18.pdf

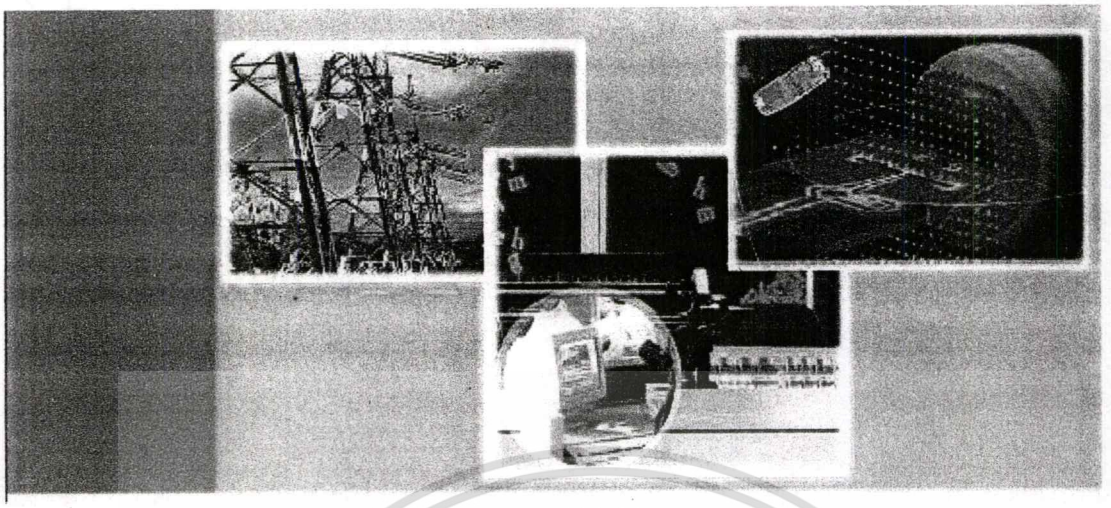
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. K. Piboonwattanakit, V. Tarateeraseth and W. Khan-ngern, "Reducing Self Resonance Effect in High Frequency Inductors Using Capacitance Cancellation Technique", Electrical Engineering/ Electronics, computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference, May 9-12, 2007.
2. กฤษณะพันธุ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ และ วีระเชษฐ์ ขันเงิน , "การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีค่าเก็บประจุร่วม", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON 30), 25-26 ตุลาคม 2550.
3. K. Piboonwattanakit and W. Khan-ngern, "Parasitic Capacitance Cancellation of Filter in Power Supply Using Mutual Capacitance Technique", Electrical Engineering/ Electronics, computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference, May 14-17, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

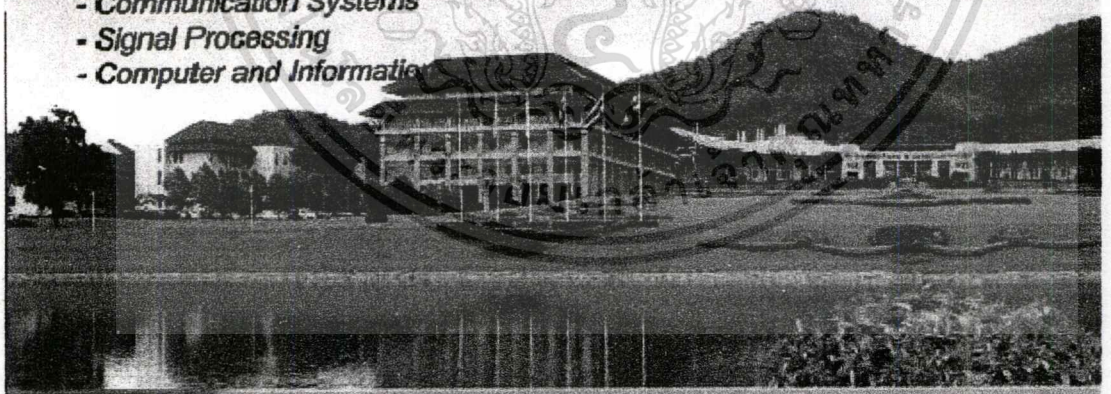


ECTI-CON 2007

Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007

VOLUME 1
- Circuits and Systems
- Control Engineering
- Electrical Power Engineering
- Other Related Fields

VOLUME 2
- Communication Systems
- Signal Processing
- Computer and Information



ECTI Association | IEEE THAILAND SECTION | NECTEC a member of NSTDA | WD Western Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reducing Self Resonance Effect in High Frequency Inductors Using Capacitance Cancellation Technique

K. Piboonwattanakit , V. Tarateeraseth[2], W. Khan-ngern[1]

[1]King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL),
Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT),
Faculty of Engineering, Bangkok, Thailand. E-mail: kkveerac@kmitl.ac.th
[2]Srinakharinwirot University, Faculty of Engineering, Ongkharak, Thailand. E-mail: vuttipon@swu.ac.th

***Abstract*-This paper presents the simulation of the parasitic capacitance cancellation technique of inductor using mutual capacitance. Its mutual capacitance can be emulated using two small capacitors, connected with circuit. The simulation using PSpice program to simulate mutual capacitance concept is presented. The objective of this paper is to analyze the high frequency inductor performance using PSpice simulation. Finally, the simulation results show that the performance of inductor is improved.**

I. INTRODUCTION

The EMI filter is typically composed of inductors and capacitors, which is considered only the inductors in this paper. Theoretically, the impedance of inductor is increased while the frequency increased. Therefore, the inductor's operation frequency range is limited because of the parasitic capacitance, which makes an inductor changing to a capacitor at high frequency. The parasitic capacitance is usually lumped together as an equivalent parallel capacitance (EPC), and the winding loss and core loss of the inductors are usually lumped together as an equivalent parallel resistance (ESR), paralleled to the inductance L [1]. Fig. 1 shows a simple model for inductor.

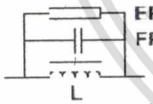


Figure 1. Equivalent circuit for a practical inductor.

The advantages of PSpice simulator, when comparing with practical experiment, can minimize the experiment time. Because there are too many equivalent and step in the practical experiment, if some mistakes take place, it must takes time to repair them. By simulation, it can be more convenient, rapid and high accuracy.

II. THE SIMULATION PROCEDURE USING PSPICE PROGRAM

The simulation of winding capacitance cancellation, by PSpice program, is simulated the measured results of network analyzer by its AC sweep mode with 150 kHz for initial frequency, 1000 Hz for step frequency, and 30 MHz for final frequency. The inputs of PSpice circuit are connected to AC source, 1 V, then, calculating the simulated results following Eqn. (1). The inputs and outputs of PSpice circuit are connected to resistor 50 ohm because the impedance of connectors of network analyzer is 50 ohm for matching impedance. The voltage probe is used to measure difference voltage across the resister. Fig. 2 shows the circuit for measurement with four ports balances ENA RF [3], and Fig. 3 shows the simulated circuit using PSpice program.

$$\text{Inductor filtering performance} = 20\log\frac{V_{out}}{V_{in}}\ \text{dB} \qquad (1)$$

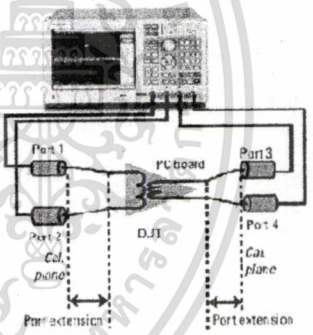


Figure 2. The method of network analyzer (Agilent E5070B/E5071B).

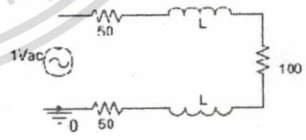


Figure 3. The simulation of PSpice program.

The simulation of parasitic capacitance and resistance are emulated by capacitor and resistor of PSpice program, paralleled to the inductance L, as shown in Fig. 4. The parasitic capacitance and resistance are measured by impedance analyzer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

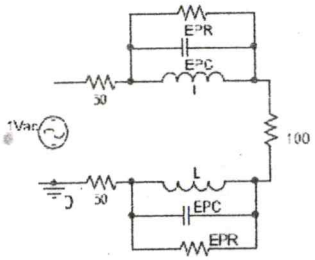


Figure 4. The parasitic capacitance is emulated by PSpice program.

III. Simulated Results

At frequencies higher than the self resonance frequencies of the inductors, the inductors perform like capacitors, and therefore, the filter with parasitic capacitance is worse more than the filter without parasitic capacitance as shown in Fig. 5

Fig. 5 shows the simulation of parasitic capacitance, which effects to performance of the EMI filter. As shown in Fig. 5 (a), the inductors are connected with capacitances. As shown in Fig. 5(b), the inductors are connected without capacitances. The self-parasitic of two inductors, measured by impedance analyzer, are $L_1 = L_2 = 3.21$ mH, $EPC_1 = EPC_2 = 30$ pF, and $EPR_1 = EPR_2 = 15.7$ kΩ. The compared result is shown in Fig. 6, which is compared between simulated results of with and without parasitic capacitances as shown in Figs. 5 (a)-(b), respectively. The performance of inductor with parasitic capacitance has a resonance frequency around 500 kHz, which makes the inductor performance worse more than inductor without parasitic capacitance.

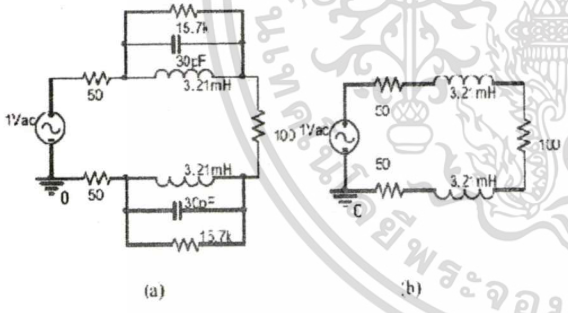


Figure 5. The simulation of inductor
(a) with parasitic capacitance (b) without parasitic capacitance.

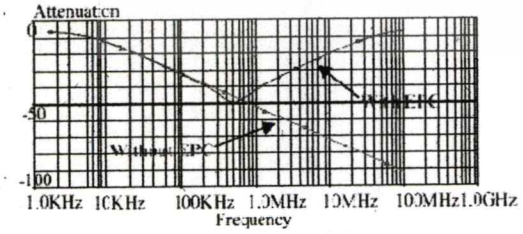


Figure 6. The simulation of inductor
(a) with parasitic capacitance
(b) without parasitic capacitance.

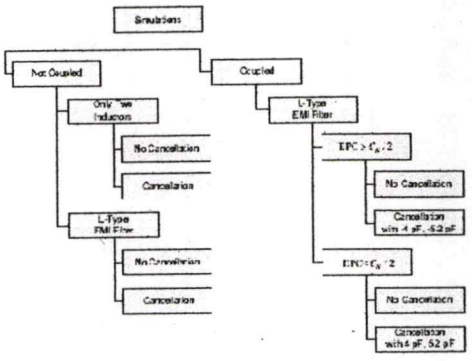


Figure 7. The simulation flowchart.

Fig. 7 shows the simulation flowchart to implement and verify the presented method.

A. The inductors are not coupled

In the first simulations, two inductors are not coupled, which are two inductors and L Type EMI filter. The self parasitic of two inductors is shown in Fig. 8 (a). L-Type EMI filter is shown in Fig. 8 (b) [1].

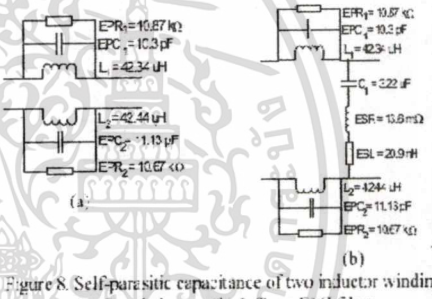


Figure 8. Self-parasitic capacitance of two inductor windings
(a) Two inductors (b) L-Type EMI filter.

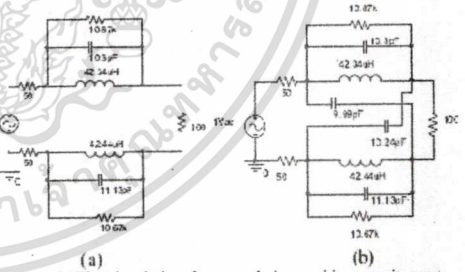


Figure 9. The simulation for canceled parasitic capacitance
(a) Two inductors without EPC cancellation
(b) Two inductors with EPC cancellation.

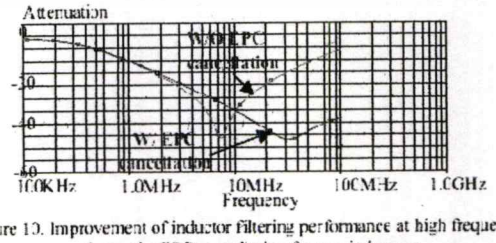


Figure 10. Improvement of inductor filtering performance at high frequencies due to the EPC cancellation for two inductors

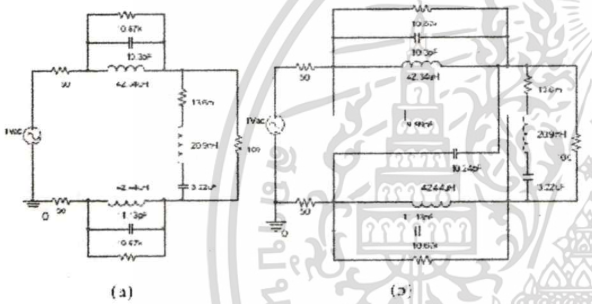
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The two simulations for two inductors are inductor without parasitic capacitance cancellation and inductor with parasitic capacitance cancellation as shown in Figs. 9 (a)-(b), respectively. The capacitance of two cancellation capacitors is $N_1 = 9.99$ pF and $N_2 = 10.24$ pF, which are a little bit smaller than EPC_1 and EPC_2 [1].

In Fig. 10, the simulation results are compared between Figs. 9 (a)-(b). The two inductors have a resonance frequency about 7.5 MHz, which makes the inductor performance worse above 10 MHz. After EPC is canceled, the resonance moves to about 28 MHz. The result of this simulation is similarly with the experiment of [1].

The two simulations for L-Type EMI filter are inductor without parasitic capacitance cancellation and inductor with parasitic capacitance cancellation as shown in Figs. 11 (a) (b), respectively. The one capacitor is used for L-Type EMI filter, simulated $C = 3.22\ \mu$F, ESL=20.9 nH and ESR=13.6 mΩ [1].

In Fig 12, the result is compared between Figs. 11 (a)-(b). The L-Type EMI filter has a resonance frequency about 7 MHz. The filter's performance improves above 10 MHz. At the frequency about 670 KHz, it has a resonance frequency due to the series resonance (ESL) of C_1. The result of this simulation is still similarly with the experiment of [1].



(a) (b)

Figure 11. The simulation of L-Type EMI filter (a) L-Type EMI filter without EPC cancellation (b) L-Type EMI filter with EPC cancellation.



Figure 12. Improvement of inductor filtering performance at high frequencies due to the EPC cancellation for L-Type EMI filter.

B. *The inductors are coupled*

In the second simulation, the two inductors are coupled, which presents only L-Type EMI filter. The coupled inductor is located on one core. There are three kinds of parasitic capacitances in the inductor: turn-to-turn capacitance C_a, turn-to-core capacitance C_b, and winding-to-winding capacitance C_c as shown in Fig. 13. Their effects can be represented by EPC and C_N. EPC represents the effect of C_a and C_b. C_N represents the effect of C_c and C_b, i.e., the parasitic capacitance between two windings [1]. In the simulation each winding of the coupled inductor for L-Type EMI filter has an inductance of 20 μH. It is assumed that the inductance for one winding is L. Fig. 14 shows the self-parasitic capacitances of inductors are coupled. An L-Type EMI filter is built using one capacitor ($C = 477$ nF, ESL=18.5 nH and ESR=35.4 mΩ). The C_N is 14.8 pF [1].

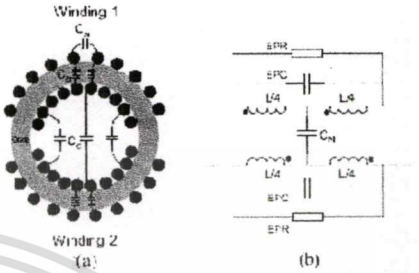


Figure 13. Parasitic capacitance between two coupled inductors winding (a) Inductor structure (b) Equivalent circuit.

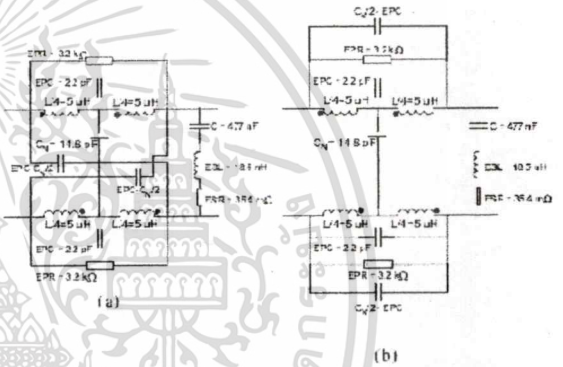
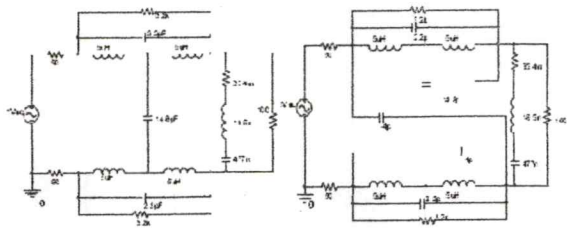


Figure 14. Self-parasitic capacitance of L-Type EMI filter (a) For $EPC > C_N/2$ (b) For $EPC < C_N/2$.

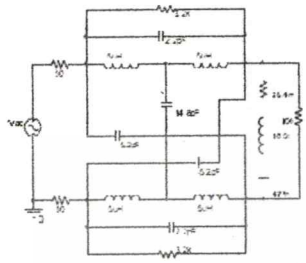
For $EPC > C_N/2$, the equivalent winding capacitance is positive, then two cancellation capacitors with a capacitance of -5.2 pF each need to parallel with two winding to cancel the winding capacitance 5.2 pF. The three simulations for L-type EMI filter are inductor without parasitic capacitance and inductor with −4 pF parasitic capacitance cancellation and inductor with −5.2 pF parasitic capacitance cancellation, as shown in Figs. 15 (a)-(c), respectively.

In Fig. 16, the simulation results are compared among Figs. 15 (a)-(c). The inductor of −5.2 pF EPC cancellation achieves the best performance above 5 MHz because the parasitic capacitance is almost canceled. For inductor with −4 pF, EPC cancellation is worse more than −5.2 pF EPC cancellation. For the inductor without EPC cancellation, the filter performance is worse above 5 MHz. This result is quite similarly with experiment [1].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)



(c)

Figure 15. The simulation of L-Type EMI filter are coupled (a) Inductor without EPC cancellation (b) Inductor with -4 pF EPC cancellation (c) Inductor with -5.2 pF EPC cancellation

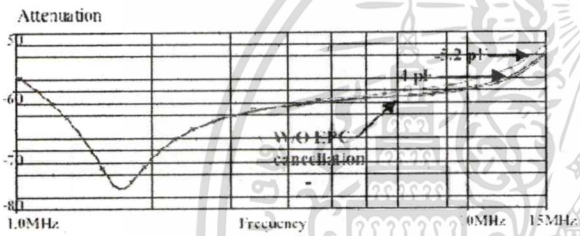
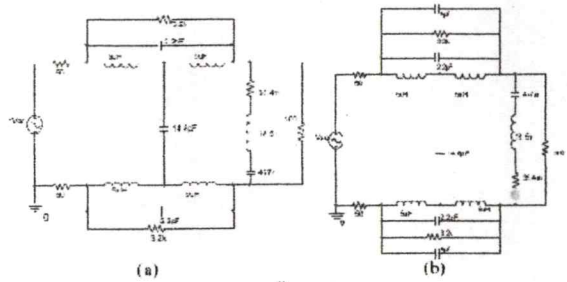


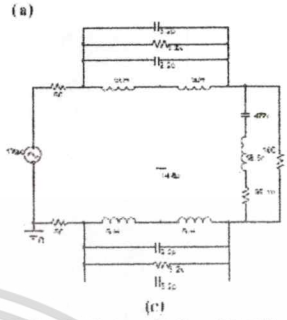
Figure 16. Improvement of inductor filtering performance at high frequencies for L-Type EMI filter

For $EPC < C_N / 2$, the equivalent winding capacitance is negative, then, two cancellation capaciters with a capacitance of 5.2 pF each need to parallel with two winding to cancel the winding capacitance -5.2 pF. The three simulations for L-Type EMI filter are inductor without parasitic capacitance cancellation, inductor with -4 pF parasitic capacitance cancellation and inductor with -5.2 pF parasitic capacitance cancellation as shown in Figs. 17 (a)-(c), respectively.

In Fig. 18, the simulation results are compared among Figs. 17 (a)-(c) The inductor of 5.2 pF EPC cancellation achieves the best performance above 5 MHz because the parasitic capacitance is almost canceled. For inductor with -4 pF, it is worse more than 5.2 pF EPC cancellation. For the inductor without EPC cancellation, the filter performance is worse above 5 MHz. This result is in a good agreement with the experiment [1].



(a) (b)



(c)

Figure 17. The simulation of L Type EMI filter are coupled (a) Inductor without EPC cancellation (b) Inductor with -4 pF EPC cancellation (c) Inductor with -5.2 pF EPC cancellation

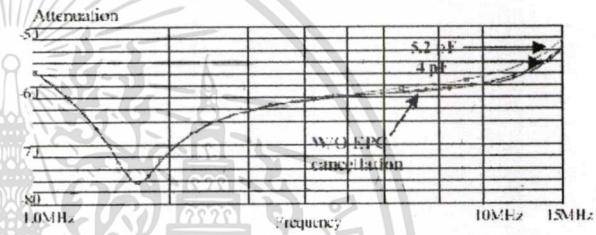


Figure 18. Improvement of inductor filtering performance at high frequencies for two inductors.

IV. CONCLUSION

The method and design of a mutual capacitance concept to cancel the effects of parasitic capacitance of inductors are discussed in this paper. This concept is verified by the simulation for ensuring Wang's proposed method [1]. With this concept, it can be applied for EMI filter design to efficiently improve its performance. Finally, it can be seen that the simulation are convenient, fastnesses, and high accuracy.

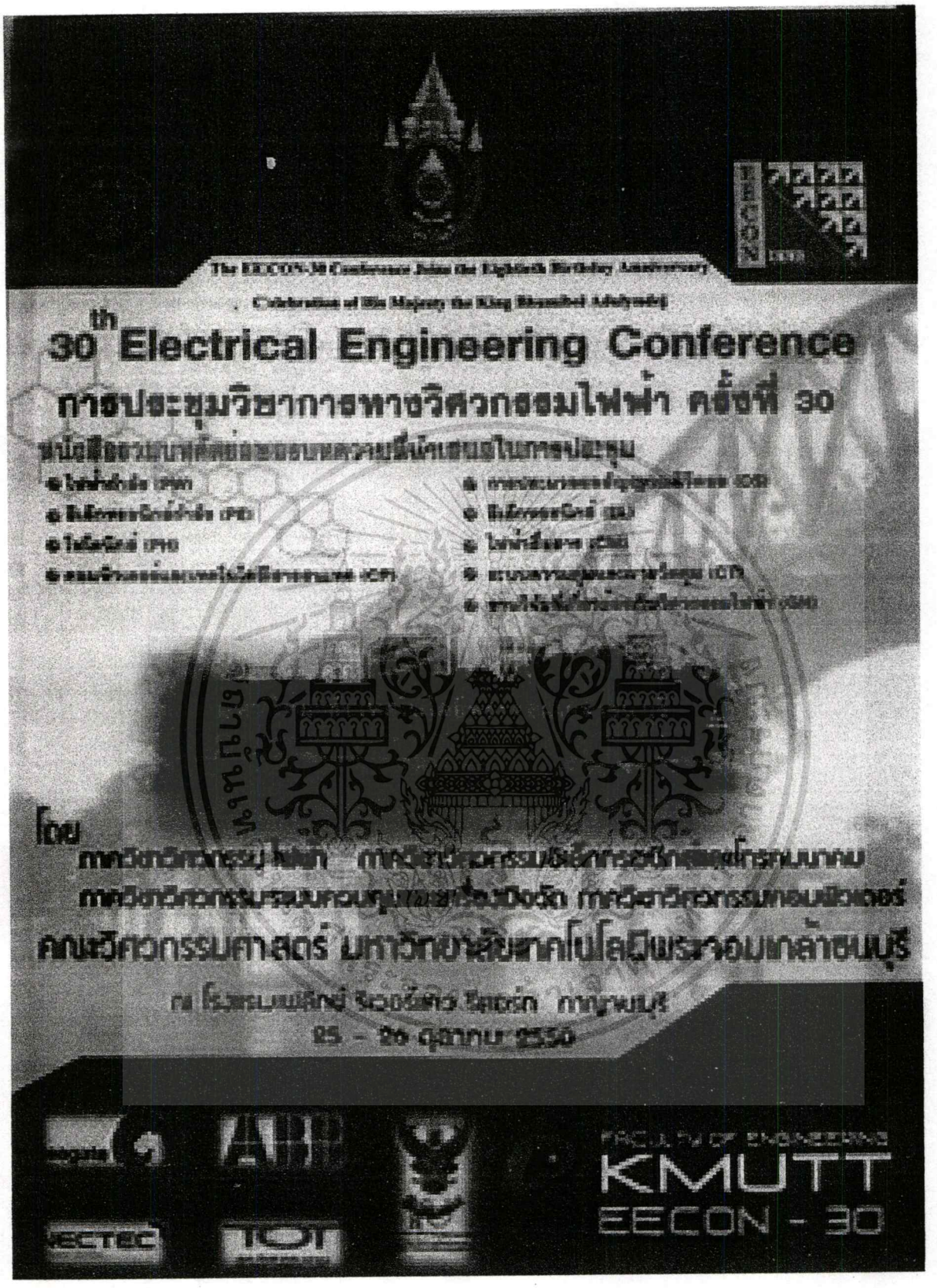
V. REFERENCES

[1] S. Wang, F. C. Lee, and J. D. van Wyk, "Inductor Winding Capacitance Cancellation Using Mutual Capacitance Concept for Noise Reduction Application," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 78, no. 2, pp. 311-318, May 2006.

[2] F. J. Monssen, *Orcad PSpice with circuit analysis*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 2001.

[3] *Agilent E5970B/E5071B ENA Series RF Network Analyzers User's Guide*, 5th ed., Agilent Technologies, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีค่าเก็บประจุร่วม

Self Parasitic Capacitance Cancellation on Inductor of EMI Filter Using Mutual Capacitance Technique

กฤษณะ พันธุ์ไพบูลย์วัฒนกิจ และ วีระชัยธ์ ชัยเจริญ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 02-7373000 ต่อ 3322 Email: s9060201@kmitl.ac.th, kkverac@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้จะนำเสนอการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ภายในวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง โดยการใช้ค่าเก็บประจุร่วม ซึ่งเกิดขึ้นจากการเรียงแบบด้วยตัวเก็บประจุจริง โดยที่ความถี่สูงตัวเหนี่ยวนำในวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งจะทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพการกรองที่ลดลง ในบทความนี้จะทำการจำลองการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำด้วยค่าเก็บประจุร่วม และทำการทดสอบการใช้งานจริงโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสลับเป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวนเพื่อทดสอบว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการกรองสัญญาณรบกวนได้

คำสำคัญ: วงจรกรองสัญญาณรบกวน, ตัวเก็บประจุแฝง, ตัวเก็บประจุร่วม

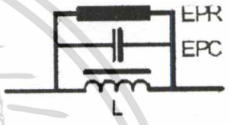
Abstract

This paper present the parasitic cancellation technique of inductor at high frequency using mutual capacitance, which emulalize of mutual capacitance from capacitors at EMI filter. The impedance of inductor is increased while the frequency increased, which makes an inductor charging to a capacitor at high frecuency. Therefore, the attenuation of EMI filter is decreased. The simulation is showed the cancellation of self parasitic capacitence on inductor. The experiment used power supply for noise source which this teeniaque is verified.

Keywords: EMI filter, self parasitic capacitance, mutual capacitance

1. บทนำ

ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ 2 ตัว คือ ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ โดยในบทความนี้จะพิจารณาเฉพาะตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น ซึ่งตัวเหนี่ยวนำในอุดมคตินี้ควรจะประพฤติตัวเหมือนกับเป็นตัวเก็บประจุที่ทำให้วงจรกรองสัญญาณรบกวนมีอัตราการลดทอนลดลงน้อยลง โดยที่จะมีค่าปรสิตแฝง (self parasitic) เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำจริงด้วย ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าเก็บประจุแฝง (equivalent parallel capacitance: EPC) และค่าความต้านทานแฝง (equivalent parallel resistance: EPR) ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะมีค่าน้อยมากๆ ดังนี้



รูปที่ 1 ค่าแฝง (self parasitic) ของตัวเหนี่ยวนำ

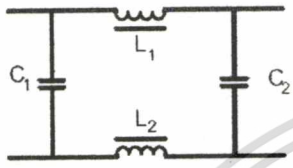
ในบทความนี้จะทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมจริงเพราะจะทำให้ค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำใช้โปรแกรม PSpice จำลองขึ้นมา ซึ่งในโปรแกรมนี้สามารถช่วยให้ประหยัดในการลดทอนของวงจรกรองสัญญาณรบกวนได้ แต่ในการใช้งานจริงจะค่อนข้างยุ่งยากและมีรายละเอียดค่อนข้างมาก

ในการทดสอบการใช้งานจริงจะใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (power supply) เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ซึ่งแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสลับนี้จะมีวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนอยู่ด้วย ซึ่งจะสร้างสัญญาณรบกวนออกมาอย่างรวดเร็ว โดยเพาเวอร์ซัพพลายที่นำมาทดสอบได้นำวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ยังไม่ได้ทำการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำมาใช้ โดยจะทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ยังไม่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำกับวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่มีการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงแล้ว เพื่อพิสูจน์ว่าเทคนิคนี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่ใช้กับเพาเวอร์ซัพพลายให้มีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ดีขึ้นได้

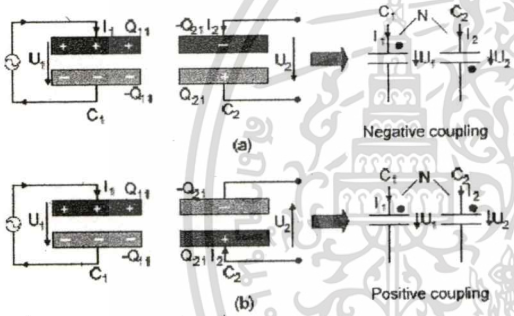
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เทคนิคการหักล้างค่าเก็บประจุแฝงด้วยค่าเก็บประจุร่วม

ในวงจรกรองสัญญาณรบกวนจะประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งวงจรของตัวกรองสัญญาณรบกวนสามารถแยกออกมาเป็น 2 โหมดคือ วงจรโหมดผลร่วม (common mode: CM) และวงจรโหมดผลต่าง (differential mode: DM) โดยวงจรของโหมดที่เราจะนำมาศึกษาก็คือวงจรโหมดผลต่าง เนื่องจากวงจรโหมดผลต่างจะประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุวางขนานกันขนาดเท่ากันและตรงกันข้ามกันอยู่ ส่วนตัวเหนี่ยวนำก็มีการวางขนานกัน ขนาดเท่ากัน วางตรงข้ามเช่นกัน ดังรูปที่ 2 ซึ่งค่าเก็บประจุร่วมจะเกิดขึ้นระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองที่วางตรงข้ามกันอยู่ โดยเกิดขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่างดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 วงจรโหมดผลต่าง



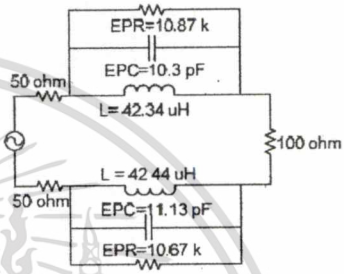
รูปที่ 3 ค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวเก็บประจุในวงจรโหมดผลต่าง

โดยค่าเก็บประจุร่วมจะเกิดได้ทั้งแบบบวกและแบบลบ ซึ่งจะขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ถ้ากระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุทั้งสองตัวในทิศทางเดียวกันจะเป็นการเชื่อมโยงแบบบวก (Positive coupling) แต่ถ้ากระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุในทิศทางตรงกันข้ามการเชื่อมโยงจะเป็นแบบลบ (Negative coupling) โดยจะกำหนดให้ N แสดงเป็นตัวเก็บประจุร่วมดังรูปที่ 3 ทางขวามือ แต่ทว่าในความเป็นจริงแล้วค่าเก็บประจุร่วมที่เกิดขึ้นจากตัวเก็บประจุทั้งสองตัวนี้ในวงจรโหมดผลต่างจะมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำได้ ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทำการเสนอแบบโดยใช้ตัวเก็บประจุจริงต่อร่วมเข้าไปในวงจรให้ขนานกับตัวเหนี่ยวนำหรือไขว้กับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะขึ้นกับการเชื่อมโยงเป็นแบบบวกหรือแบบลบ ซึ่งสามารถอ่านรายละเอียดที่เหลือได้ใน [1]

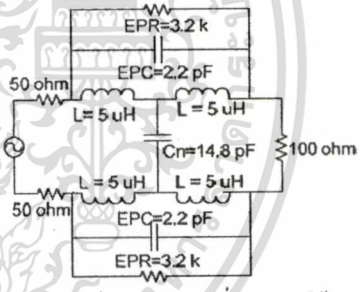
3. การจำลอง การทดสอบ และผลการทดสอบ

3.1 การจำลองด้วยโปรแกรม PSpice

การจำลองผลกระทบจากค่าเก็บประจุแฝงโดยใช้โปรแกรม PSpice โดยจำลองเฉพาะตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกจากกัน (Not Coupled) และแบบใช้แกนร่วมกัน (Coupled) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกจากกันจะมีค่าเอิมพีแดนซ์ดังรูปที่ 4 และแบบใช้แกนร่วมกันจะแสดงดังรูปที่ 5 ดังนี้ โดยค่าเอิมพีแดนซ์ทั้งหมดจะวัดจาก Impedance Analyzer



รูปที่ 4 ค่าเอิมพีแดนซ์ต่างๆ ของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนแยกจากกัน



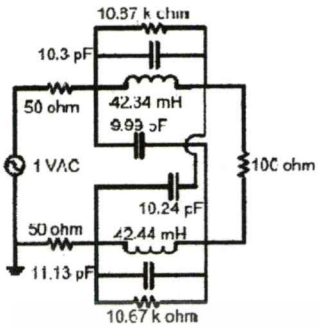
รูปที่ 5 ค่าเอิมพีแดนซ์ต่างๆ ของตัวเหนี่ยวนำแบบใช้แกนร่วมกัน

การวัดแบนด์ต่างๆ และวิธีการจำลองสามารถศึกษาได้ใน [2] ซึ่งเมื่อทำการหักล้างโดยการต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าเท่ากับค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำ โดยมีค่าของตัวเก็บประจุที่ต่อเพิ่มเข้าไปดังรูปที่ 6 และ 7

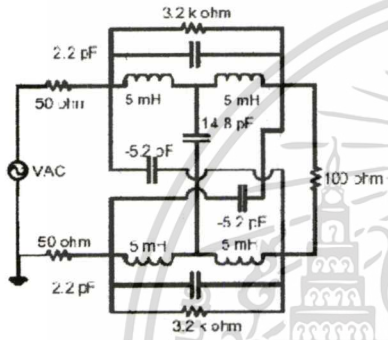
จากรูปที่ 6 ต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปเท่ากับ 9.9 pF และ 10.24 pF และรูปที่ 7 ต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปเท่ากับ 5.2 pF ทั้งสองตัว ซึ่งค่าลบที่เกิดขึ้นแสดงการเชื่อมโยงแบบลบนั่นเอง ผลการจำลองกรณีตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

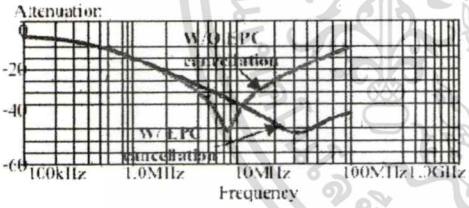
(1) ใช้งานแยกจากกัน และแบบใช้งานร่วมกันแสดงดังรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ ดังนี้



รูปที่ 6 ค่าของอัตราส่วนที่ต่อเพิ่มเข้าไปในวงจรตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบแยกกัน

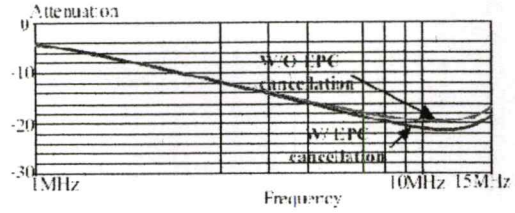


รูปที่ 7 ค่าของอัตราส่วนที่ต่อเพิ่มเข้าไปในวงจรตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบใช้งานร่วมกัน



รูปที่ 8 ผลการจำลองการติดตั้งแบบใช้งานแยกจากกัน

จากรูปที่ 8 พบว่าตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างกันเป็นประจุแม่เหล็กแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าที่ความถี่ 10 MHz ขึ้นไป มีอัตราการลดทอนดีขึ้นประมาณ 22 dB และมีจุดเรโซแนนซ์เกิดขึ้นออกไปจากเดิมที่ความถี่ 7.5 MHz ไปอยู่ที่ประมาณ 30 MHz

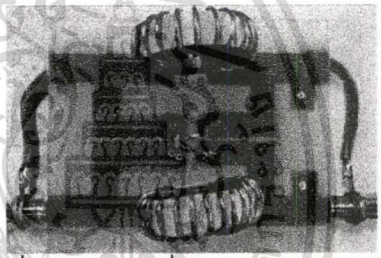


รูปที่ 9 ผลการจำลองการติดตั้งแบบใช้งานร่วมกัน

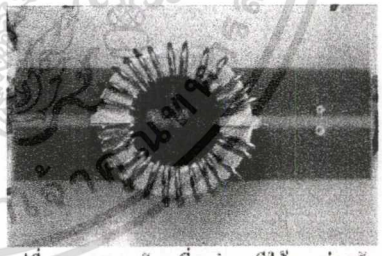
จากรูปที่ 9 พบว่าตัวเหนี่ยวนำที่มีการหักล้างค่าเหนี่ยวประจุแม่เหล็กแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าที่ความถี่ 4 MHz ขึ้นไป และมีอัตราการลดทอนดีขึ้นประมาณ 2 dB

3.2 การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งออกเป็นการทดสอบตัวเหนี่ยวนำที่ใช้งานแยกจากกัน และกรณีตัวเหนี่ยวนำที่ใช้งานร่วมกันเหมือนกันกับการจำลองที่ผ่านมา โดยมีค่าเหนี่ยวนำเหมือนกันกับการจำลอง เนื่องจากการจำลองนำค่ามาจากการวัดจริงโดยมีวงจรดังรูปที่ 10 และ 11 ซึ่งทั้งสองรูปนี้มีการหักล้างแม่เหล็กประจุแม่เหล็กด้วยตัวเก็บประจุที่ต่อเพิ่มเข้าไปแล้วดังนี้



รูปที่ 10 วงจรของตัวเหนี่ยวนำการติดตั้งแบบแยกจากกัน

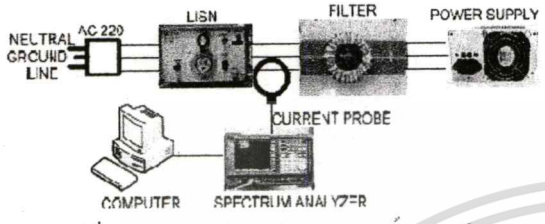


รูปที่ 11 วงจรของตัวเหนี่ยวนำการติดตั้งแบบร่วมกัน

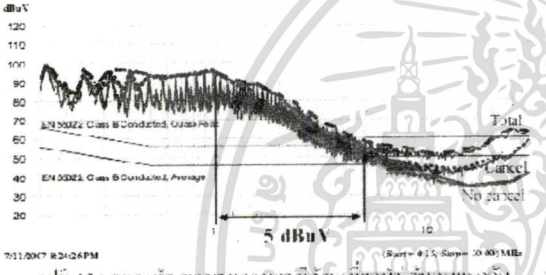
โดยวงจรการทดสอบจะทำการต่อแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับ LISN (Line Impedance Stabilization Networks) และทำการนำ current probe มาคร่อมสายไลน์ (Line) ซึ่งต่อไปยังวงจรกรองสัญญาณรบกวน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

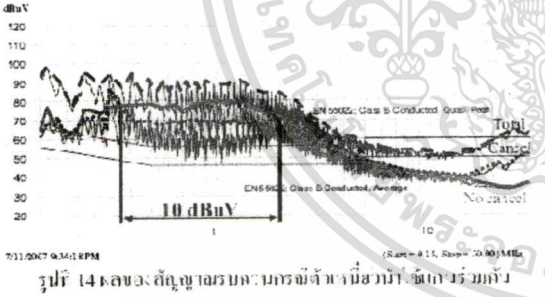
เทอมาอร์ชนิดตามลำดับ โดยสเปกตรัมที่วัดออกมาจะเป็นสัญญาณรบกวนรวมทั้งหมด (Total noise) ซึ่งสัญญาณรบกวนที่วัดมาจาก current probe จะถูกส่งไปยัง spectrum analyzer โดย spectrum analyzer นี้จะส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอร์ฟแวร์เพื่อแสดงผลของสัญญาณรบกวนในหน่วย dBμV โดยจะใช้มาตรฐาน CISPR 22 EN55022 Class B Conducted เป็น limit line เพื่อวิเคราะห์ระดับสัญญาณรบกวนและมีย่านความถี่ในการทดสอบในช่วง 150 kHz ถึง 30 MHz โดยการทดสอบมีลักษณะการต่อดังรูปที่ 12 ดังนี้



รูปที่ 12 ลักษณะการต่อสำหรับการทดสอบทั้งสองกรณี



รูปที่ 13 ผลของสัญญาณรบกวนการณีตัวเหนี่ยวนำไม่ใช้แกนร่วมกัน



รูปที่ 14 ผลของสัญญาณรบกวนการณีตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน

จากทดสอบแรกคือตัวเหนี่ยวนำใช้แกนคนละอันกัน และการทดสอบที่สองคือตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ทั้งหมดเท่ากับการจำลองที่ผ่านมา โดยจะสังการทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง 1. การทดสอบไม่มีวงจรกรองสัญญาณรบกวน 2. การทดสอบมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแต่ยังไม่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งและ 3. การทดสอบมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนและมีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งแล้ว

จากการทดสอบแรกคือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบตัวเหนี่ยวนำใช้แกนคนละอันกัน จากรูปที่ 13 โดยเส้นประคือสัญญาณรบกวนทั้งหมดที่ยังไม่มีการใส่วงจรกรองเส้นทึบคือค่าของตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งและเส้นไข่ปลาคือค่าของตัวเหนี่ยวนำที่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งแล้ว จากรูปจะพบว่าที่ความถี่ประมาณ 1 MHz ถึง 5 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่ดีขึ้นประมาณ 5 dBuV แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 5 MHz ขึ้นไปตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าเนื่องจากค่าของตัวเหนี่ยวนำแฝงในขาของตัวเก็บประจุที่ต่อขึ้นลงไปหรือสายวงจรมีการเชื่อมโยงกัน

จากการทดสอบที่สองคือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบตัวเหนี่ยวนำใช้แกนร่วมกัน จากรูปที่ 14 โดยเส้นที่แสดงในกราฟจะเหมือนกับการทดลองแรก จากรูปจะพบว่าที่ความถี่ประมาณ 370 kHz ถึง 2 MHz ตัวเหนี่ยวนำที่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งแล้วจะมีอัตราการลดทอนที่ดีขึ้นประมาณ 10 dBuV แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 MHz ขึ้นไปตัวเหนี่ยวนำที่ยังไม่มีการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าเนื่องจากค่าของตัวเหนี่ยวนำแฝงในขาของตัวเก็บประจุที่ต่อขึ้นลงไปหรือสายวงจรมีการเชื่อมโยงกัน ซึ่งทั้งสองการทดสอบนี้สามารถเห็นอัตราการลดทอนได้ชัดเจนที่หนึ่งและที่ความถี่สูงกว่านั้นจะมีอัตราการลดทอนที่ดีกว่าเนื่องจากค่าแฝงต่างๆ ในวงจรดังนี้จึงทำให้มีการออกแบบวงจรได้ดีขึ้นกว่านี้

4. สรุป

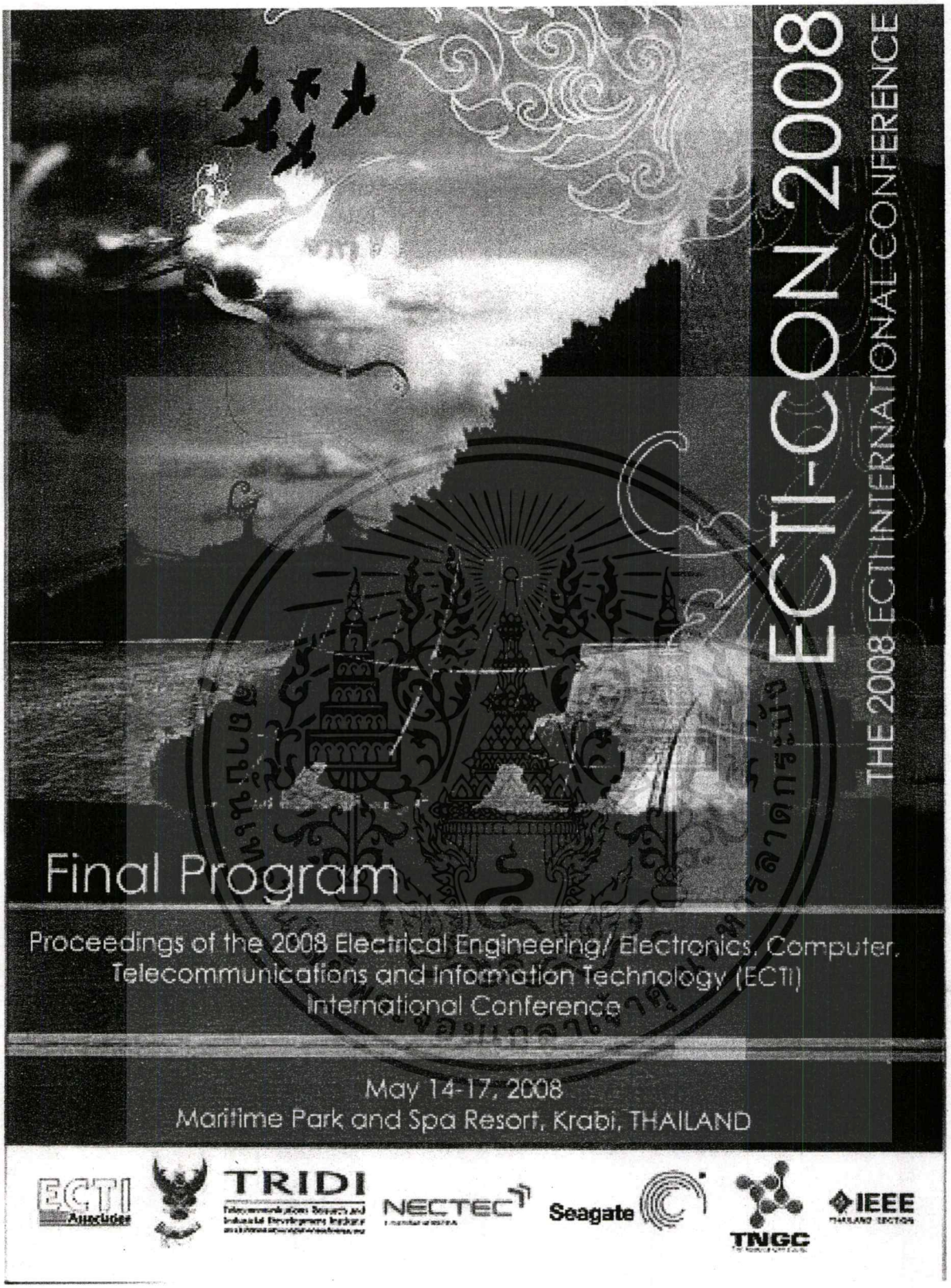
จากการจำลองและการทดสอบจริงทั้งหมดจะสามารถสรุปได้ว่าการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งด้วยเทคนิคการกำจัดค่าเก็บประจุฟรุ่งที่ใช้ตัวเก็บประจุขนาดเล็กต่อขนานเข้าไปสามารถปรับปรุงอัตราการลดทอนของตัวเหนี่ยวนำในวงจรกรองให้ดีขึ้นได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Wang, F. C. Lee and J. D. van Wyk, "Inductor Winding Capacitance Cancellation Using Mutual Capacitance Concept for Noise Reduction Application," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol 48, no. 2, pp. 311-318, May 2006.

[2] K. Piboonwattanakit and W. Kaen-ngern, "Reducing Self Resonance Effect in High Frequency Inductors Using Capacitance Cancellation Technique", *ECTI-CON*, vol 2, pp. 823-824, May 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceedings of ECTI-CON 2008

Parasitic Capacitance Cancellation of Filter in Power Supply Using Mutual Capacitance Technique

K. Piboonwattanakit, W. Khan-ngern
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL).
Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT).
Faculty of Engineering, Bangkok, Thailand. E-mail: s9060201@kmitl.ac.th, kkveerac@kmitl.ac.th

***Abstract*-This paper presents the technique of cancellation the parasitic capacitance of inductor using mutual capacitance. The inductor frequency can be changed to capacitor at high frequency, which makes the filter to low efficiently. The mutual capacitance can be emulated using two small extra capacitors, which is connected with circuit. The experiments using power supply to test the efficiency of parasitic capacitance cancellation technique is presented. The objective of paper is this technique can efficiently improve the inductor's filtering performance in power supply.**

I. INTRODUCTION

The EMI filter assembles with inductors and capacitors. This paper considers only inductors in this circuit. At high frequency, its impedance increase as frequency increase. However, the inductor's operation frequency range is limited because of the parasitic capacitance, which makes an inductor more like capacitors at high frequency. The parasitic capacitance is usually lumped together as an equivalent parallel capacitance (EPC), and the winding loss and core loss are usually lumped together as an equivalent parallel resistance (ESR), which are paralleled to the inductance L [1]. Fig. 1 shows a simple model for inductor.

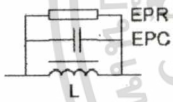


Figure 1. Equivalent circuit for a practical inductor.

This paper introduces a technique employing a mutual capacitance cancellation to cancel the winding capacitance of inductor. Prototypes are built with proposed method. The prototypes are then used in practical power electronic circuit for conducted EMI measurement. The power electronic circuit is power supply of desktop PC, which can be distributed 300 Watt, 230 V. The experiments were tested with electronic load: no load, half load and maximum load. Because the power supply generate large noise signal at maximum load. The conducted EMI is measured by spectrum analyzer. The practical EMI measurements prove that there is a significant improvement on the inductor's filtering performance.

The EMC standards specify the frequency range and noise limit, which switching mode power electronic system need to meet. The conducted EMI frequencies have range from 150 kHz up to 30 MHz. The filter is needed to attenuate the noise to satisfy the EMC standard, is CISPR standard: EN55022 class B conducted. A typical low-pass differential mode (DM) filter for a power electronic application is shown in Fig. 2. At frequencies higher than the self resonant frequencies of the inductors, the inductors perform like capacitors, and therefore, the filter is no longer the expected low-pass filter [1].

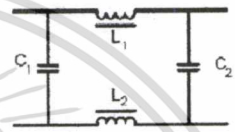


Figure 2. Differential mode EMI filter.

II. PARASITIC CAPACITANCE CANCELLATION USING MUTUAL CAPACITANCE CONCEPT

The physical model using a simple parallel plate capacitor is represented in Fig. 3, shows two parallel-plate capacitors that are physically close to each other. Two capacitors have the same voltage reference direction, as seen in Fig. 3(a), and opposite voltage reference direction as seen in Fig. 3(b). Because of the different voltage reference direction relationship in Fig. 3, the mutual capacitance N can be positive or negative [1].

The mutual capacitance cancellation is then easily realized by using two small extra capacitors with the same capacitance as the winding capacitance.

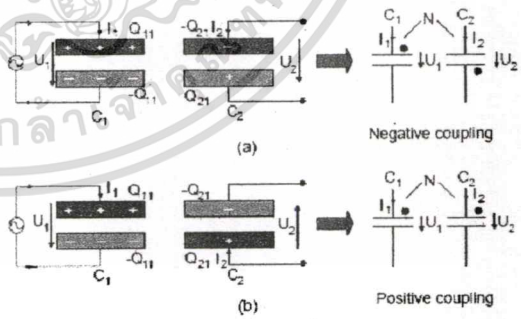


Figure 3. Mutual capacitance between two parallel-plate capacitor.
(a) Negative coupling. (b) Positive coupling.

978-1-4244-2101-5/08/$25.00 ©2008 IEEE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The parasitic of one inductor is not coupled, have two kinds of parasitic capacitance turn-to-turn capacitance C_a, turn-to-core capacitance C_b, as shown in Fig. 4(a).

The parasitic of two inductors is coupled, is assumed that the coupling coefficient between two windings is a unit and that the inductance for one winding is L. There are three kinds of parasitic capacitance in the inductor: turn-to-turn capacitance C_c, turn-to-core capacitance C_b, and winding-to-winding capacitance C_c, as shown in Fig. 4(b). Their effects can be represented by EPC and C_N. EPC represents the effects of C_a and C_b. C_N represents the effects of C_c and C_b, as shown in Fig. 4(c) [1].

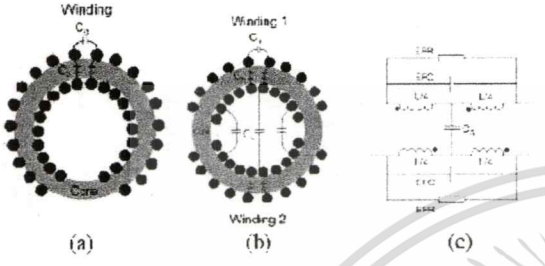


Figure 4. The parasitic capacitance of inductor.
(a) Inductors are not coupled. (b) Inductors are coupled
(c) The equivalent circuit of inductors that are coupled.

III. EXPERIMENTS

The experiments classify 2 main groups, and separate to 8 implements, which are verified the proposed method, as shown in Fig. 5. In the first experiment, two inductors are not coupled, as shown in Fig. 6. And the second experiment, two inductors are coupled, as shown in Fig. 7. All impedance and parasitic in experiments are measured by impedance analyzer, as shown in Fig. 8.

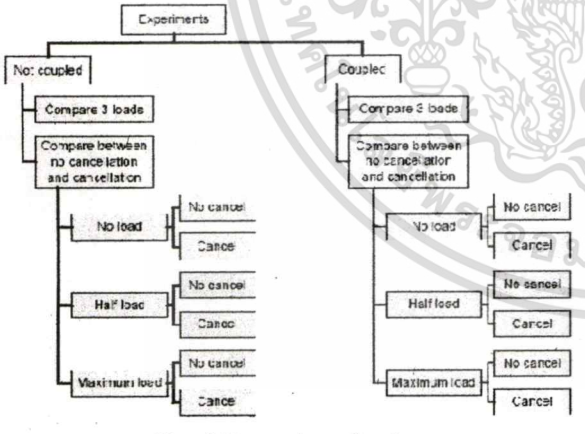


Figure 5 The experiments flowchart.

Fig. 9 shows the procedure to test the experiments, which uses the spectrum analyzer for measurement. The frequency is swept from 150 kHz to 30 MHz, frequency range of conducted emission. A current probe is used to detect the noise from power electronic application, is equipment under test. And Line Impedance Stabilization Network (LISN) is used to create a known impedance on power lines of electrical equipment during electromagnetic interference testing.

The mutual capacitance can be emulated from extra small capacitor, which has capacitance same with parasitic capacitance. The experiment has parasitic capacitance 10.87 pF and 10.67 pF for inductor that not coupled, and 5.2 pF for inductor that coupled. Therefore, the mutual capacitance should be selected near the parasitic capacitance, as shown in Fig. 10 [1].

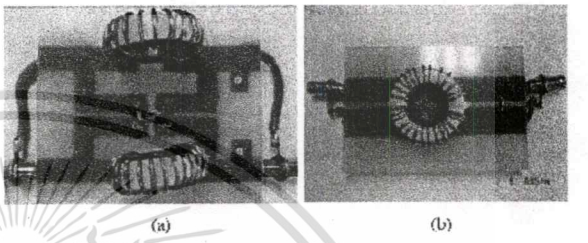


Figure 6. The two inductors are not coupled.
(a) The inductors are not coupled. (b) The inductors are coupled.

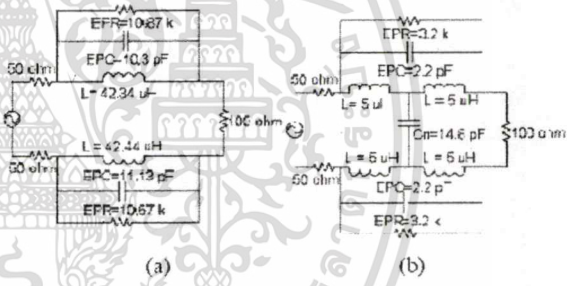


Figure 8. Impedance of inductor. (a) Not coupled. (b) Coupled.

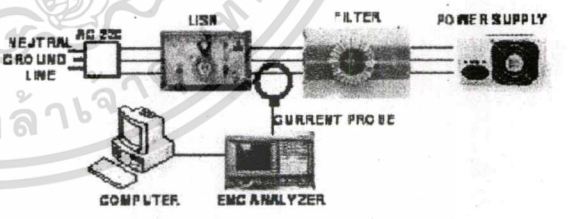


Figure 9 The procedure for test the experiment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

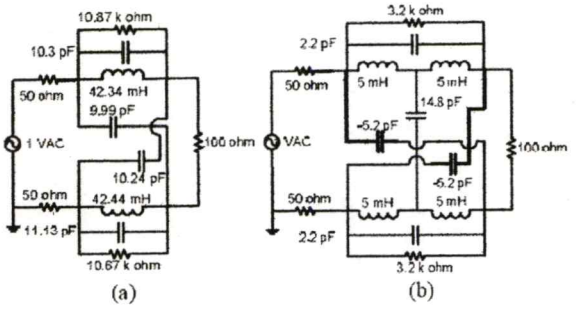


Figure 10. The mutual capacitances are emulated using small extra capacitors.

A. Inductors are not coupled

The inductors are not coupled. have 5 experiments: compare among no load, half load and maximum load.

The first experiment. the inductors are not coupled and no parasitic capacitance cancellation. Around 150 kHz. the power supply generates noise signal at the maximum load more than half load and no load. respectively. At high frequency. all case are small different. as shown in Fig. 11.

The second experiment. the inductors are not coupled and have parasitic capacitance cancellation. The result is same with first experiment. as shown in Fig. 12.

The third experiment. there are compare between the inductors that not couple and cancel parasitic capacitance at no load. The result of the inductors is cancelled parasitic capacitance. has good performance more than the inductor that no cancel at all frequency. obviously. as shown in Fig. 13.

The forth experiment. there are compare between the inductors that not couple and cancel parasitic capacitance at half load. The result of the inductors is cancelled parasitic capacitance. has small different with the inductor that no cancel at initial frequency. At high frequency. the result of the inductor is cancelled. has good performance more than the inductor that no cancel parasitic capacitance. as shown in Fig. 14.

The fifth experiment. there are compare between the inductors that no couple and cancel parasitic capacitance at maximum load. The result of the inductors is cancelled parasitic capacitance at initial frequency. has good performance more than the inductor that no cancel at all frequency. obviously. as shown in Fig. 15.

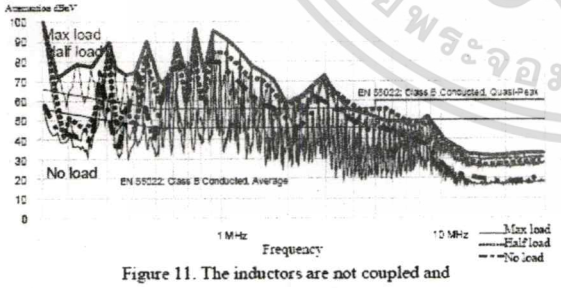


Figure 11. The inductors are not coupled and no parasitic capacitance cancellation.

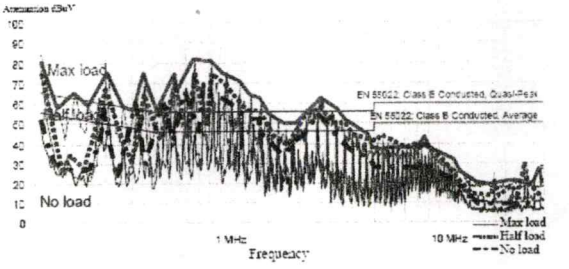


Figure 12. The inductors are not coupled and have parasitic capacitance cancellation.

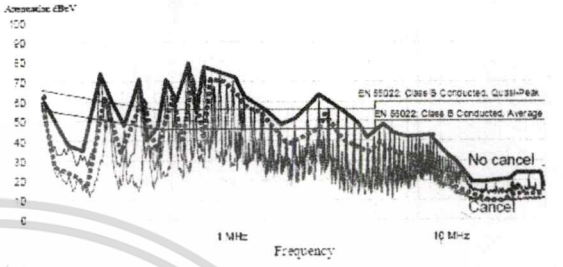


Figure 13. Compare the inductors are not coupled, between no cancel and cancel parasitic capacitance at no load.

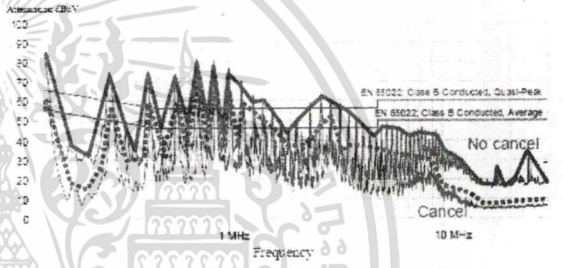


Figure 14. Compare the inductors are not coupled, between no cancel and cancel parasitic capacitance at half load.

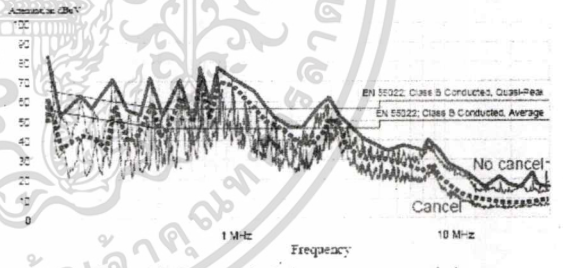


Figure 15. Compare the inductors are not coupled, between no cancel and cancel parasitic capacitance at maximum load.

B. Inductors are coupled

The inductors are coupled. have 5 experiments: compare among no load, half load and maximum load. which same the last experiments.

The first experiment. the inductors are coupled and no parasitic capacitance cancellation. The power supply generates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

noise signal at the maximum load more than half load and no load, respectively. At high frequency, all case are small different, as shown in Fig. 16.

The second experiment, the inductors are coupled and have parasitic capacitance cancellation. The result is same with last experiment, as shown in Fig. 17.

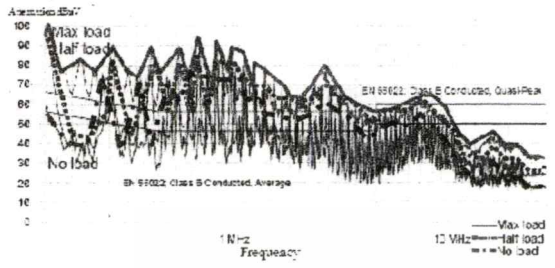


Figure 16. The inductors are not coupled and no parasitic capacitance cancellation.

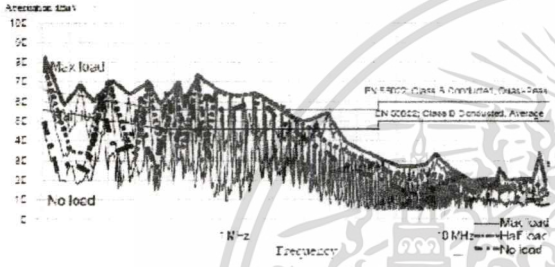


Figure 17. The inductors are not coupled and have parasitic capacitance cancellation.

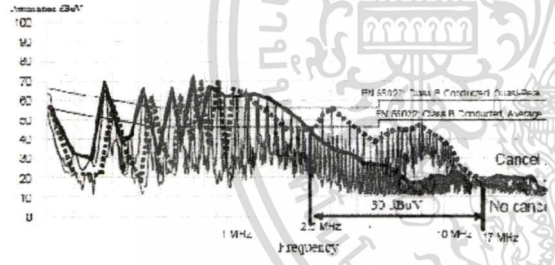


Figure 18. Compare the inductors are not coupled, between no cancel and cancel parasitic capacitance at no load.

The third experiment, there are compare between the inductors that couple and cancel parasitic capacitance at no load. The result of the inductors is cancelled parasitic capacitance, has good performance more than the inductors that no cancel about 30 dBuV at 2.5 MHz to 17 MHz, as shown in Fig. 18.

The forth experiment, there are compare between the inductors that couple and cancel parasitic capacitance at half load. The result of the inductors is cancelled parasitic capacitance, has good performance more than the inductors that no cancel about 20 dBuV at 2.8 MHz to 11 MHz, as shown in Fig. 19.

The fifth experiment, there are compare between the inductors that couple and cancel parasitic capacitance at maximum load. The results of the inductors is cancelled parasitic capacitance, has good performance more than the inductor that no cancel about 10 dBuV at 4.9 MHz to 12 MHz, as shown in Fig. 20.

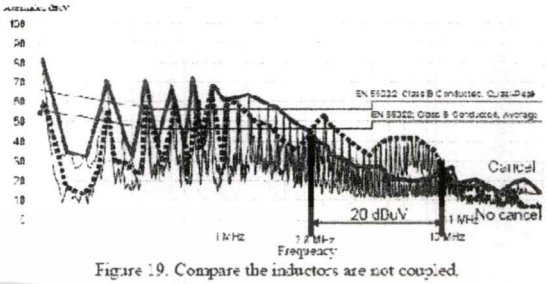


Figure 19. Compare the inductors are not coupled, between no cancel and cancel parasitic capacitance at half load.

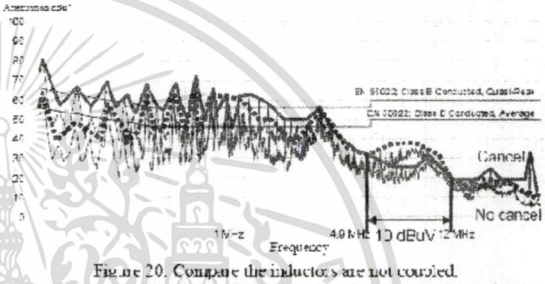


Figure 20. Compare the inductors are not coupled, between no cancel and cancel parasitic capacitance at maximum load.

All experiments are verified this method, which can be improved the inductor's filtering performance. The inductors are not coupled when is cancelled parasitic capacitance, the performance can be attenuated more than the inductors that are not parasitic capacitance cancellation, all case. The inductors are coupled when is cancelled parasitic capacitance, the performance can be attenuated at some frequency, not all frequency, as a result of the coupling between layout of PCB at high frequency.

IV. CONCLUSIONS

The method and design of using a mutual capacitance concept to cancel the effects of parasitic capacitance of inductors is discussed in this paper. The experiments are verified by the results for ensure this proposed method can efficiently improve the inductor's filtering performance in power supply, at no load, half load and maximum load.

REFERENCES

[1] S. Wang, F. C. Lee and J. D. van Wyk, "Inductor Winding Capacitance Cancellation Using Mutual Capacitance Concept for Noise Reduction Application," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol 48, no. 2, pp. 311-318, May 2006.

[2] K. Piboonwattakit and W. Khan-ngern, "Reducing Self Resonance Effect in High Frequency Inductors Using Capacitance Cancellation Technique," *ECTI CON 2007*, vol 2, pp. 821-824, May 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล กฤษณะพันธุ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ

วัน เดือน ปีเกิด 24 กันยายน พ.ศ. 2526 ที่ราชบุรี

ที่อยู่ 95 ซอยเทพทวี 1 ถนนศรีนครินทร์ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2545-2549 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- พ.ศ. 2549-2551 กำลังศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

- พ.ศ. 2549-2551 ได้เข้าร่วมเป็นคณะนักวิจัยในโครงการต้นแบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง SOFC แบบท่อขนาด 1-3 kW เฉลิมพระเกียรติ โดยโครงการนี้เป็นโครงการของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.) โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก MTEC
- พ.ศ. 2550 เดินทางไปศึกษาดูงานการสร้างเซลล์เชื้อเพลิง (PEMFC) ณ ประเทศสิงคโปร์ โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก MTEC เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์
- พ.ศ. 2550-2551 ได้เข้าร่วมเป็นคณะทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย โครงการพัฒนาบุคลากรของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมี รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน เป็นหัวหน้าโครงการ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยทำการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อบุคลากรหรือพนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

(The Bio-effect from Transmission line and Substation)

ความชำนาญเฉพาะด้าน

- การออกแบบวงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ
- ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า
- การศึกษาผลกระทบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสิ่งมีชีวิตจากสายส่งและสถานีไฟฟ้า

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. K. Piboonwattanakit, V. Tarateeraseth and W. Khan-ngern, "Reducing Self Resonance Effect in High Frequency Inductors Using Capacitance Cancellation Technique", Electrical Engineering/ Electronics, computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference, May 9-12, 2007.
2. กฤษณะพันธุ์ ไพบูลย์วัฒนกิจ และ วีระเชษฐ์ ขันเงิน , "การหักล้างค่าเก็บประจุแฝงในตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีค่าเก็บประจุร่วม", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON 30), 25-26 ตุลาคม 2550.
3. K. Piboonwattanakit and W. Khan-ngern, "Parasitic Capacitance Cancellation of Filter in Power Supply Using Mutual Capacitance Technique", Electrical Engineering/ Electronics, computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference, May 14-17, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้