

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์

(Line Impedance Stabilization Network)

หัวหน้าโครงการ

รศ.ดร. วีระเชษฐ ขันเงิน

ผู้ควบคุมโครงการ นายวุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์

ผู้วิจัย นายดำรง สกฤตหิรัญ

นายชัชชชช นวมโคกสูง

นายชานนท์ หอมแก่นจันทร์

นายสาธิต สุวรรณเศรษฐ์

นายอิสรา มามาตร

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 67393

วัน,เดือน,ปี... 29 พ.ย. 2549

ห้องปฏิบัติการความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

Electromagnetic Compatibility Laboratory (EMC)

b. 11664952

i.

โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ

Research center for Communications and Information Technology (ReCCIT)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า ในนามของคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการให้
ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคม ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อให้การ
วิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณ โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
(ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน หัวหน้าโครงการที่เป็นผู้กำหนดหัวข้อวิจัยนี้ และ
ขอขอบคุณ นายวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์ อาจารย์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒองค์รักษ์ ผู้ควบคุม
โครงการ
ได้จัดและพิมพ์เอกสารนี้โดย
ปี ๒๐๒๑



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

โครงการวิจัยโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network: LISN) เป็นโครงการเพื่อศึกษาการทำงานของ LISN เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณรบกวนทางสายตัวนำ และเป็นอุปกรณ์ที่วางมาตรฐาน ได้กำหนดไว้

โดยการศึกษาโครงการดังกล่าว ได้แบ่งเป็น ส่วนการจำลองระบบ (Simulation) และส่วนการทำงานจริง (Device) จึงทำให้การศึกษาสอดคล้องกันทั้งทางด้าน ทฤษฎีและปฏิบัติด้วยความร่วมมือ ของทุกฝ่ายจึงผลักดันให้โครงการเสร็จสมบูรณ์ แต่ด้วยความประสงค์ของหัวหน้าโครงการ ที่อยากให้เป็นการศึกษาอย่างบูรณาการ โครงการนี้จึงควรมีผู้ทำการศึกษา วิจัย และพัฒนาต่อไป เพื่อความก้าวหน้า

หากมีข้อผิดพลาดประการใดในรายงานฉบับนี้ ต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้

วิระเชษฐ์ ชันเงิน
หัวหน้าโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการจำลองระบบ โดยใช้โปรแกรม PSpice เพื่อจำลองค่าอิมพีแดนซ์ด้านออก และ ส่วนการทดลองวัดผลอิมพีแดนซ์ด้านออก จากวงจรจริง วิธีการต่างๆ ที่ใช้เหล่านี้ เพื่อทำการยืนยันผลของอิมพีแดนซ์ด้านออก ของ LISN ว่ามีอิมพีแดนซ์ด้านออกตรงกับเงื่อนไขที่ระบุไว้ในมาตรฐาน CISPR 16 ในช่วงย่านความถี่ 150 kHz ถึง 30 MHz ผลที่ได้จากการจำลองระบบ และผลที่ได้จากการทดสอบจริง ให้ผลที่สอดคล้องกัน คือ ตรงกับเงื่อนไขที่มาตรฐานได้กำหนดไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This report presents a design of Line Impedance Stabilization Network (LISN) with low cost. There are two methods to study. The first one is simulate solution by PSpice program to simulate the output impedance. The second method is an experimental measurement of output impedance. These methods are used to confirm the output impedance. The LISN impedance characteristic requires the output impedance refer to CISPR 16 standard. The output impedance of the LISN must be equal to 50 ohm in the frequency range of 150 kHz up to 30 MHz. The simulated and measured results are in a good agreement refer to the impedance standard with the standard commercial equipment.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
	1.4 เป้าหมายของโครงการ	
บทที่ 2	ทฤษฎีพื้นฐานในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ	
	2.1 วัตถุประสงค์	2
	2.2 ความรู้พื้นฐานด้าน EMC	2
	2.3 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)	3
	2.4 สัญญาณรบกวน	4
	2.5 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ	7
	2.6 องค์ประกอบแผ่ของอุปกรณ์	9
	2.7 วงจรกรองความถี่ลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	13
	2.8 นิยาม มาตรฐาน เครื่องวัดและขั้นตอนในการวัดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายนำ	18
	2.9 การติดตั้งเครื่องมือวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางตัวนำ แบบวางอุปกรณ์บนโต๊ะ	20
	2.10 ทฤษฎีการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ	21
	2.11 สรุป	22
บทที่ 3	การจำลองระบบ	
	3.1 บทนำ	23
	3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองระบบ	23
	3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบ	23
	3.4 สรุป	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
การออกแบบและการทดสอบ	
4.1 รายละเอียดอุปกรณ์	26
4.2 รูปแบบภายในและลักษณะการวางอุปกรณ์ของ LISN EMC LAB	33
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติอิมพีแดนซ์ด้านออกของ LISN EMC LAB	35
4.4 การทดสอบวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ภายในที่ขนาดกระแสไหลแตกต่างกัน	44
4.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (NOISE)	45
4.6 สรุป	61
บทที่ 5	
สรุป ข้อเสนอแนะ และงานวิจัยที่คาดว่าจะทำต่อไป	
5.1 สรุป	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
5.3 งานวิจัยที่คาดว่าจะทำต่อไป	63
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

บทที่ 2 ตารางที่ 2.1 สรุปชนิดของวงจรกรองพื้นฐานและเงื่อนไขการทำงาน

หน้า

17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าก	4
(ข) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบภายนอก	
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของนิยามของ ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า	4
รูปที่ 2.3 สัญญาณรบกวนที่สร้างโดยธรรมชาติและมนุษย์	5
รูปที่ 2.4 การส่งผ่านสัญญาณรบกวนผ่านตัวเก็บประจุ	7
รูปที่ 2.5 การส่งผ่านสัญญาณรบกวนผ่านตัวเหนี่ยวนำ	8
รูปที่ 2.6 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง	8
รูปที่ 2.7 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม	9
รูปที่ 2.8 องค์ประกอบแฝงของตัวต้านทานไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.9 องค์ประกอบแฝงของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.10 ค่าแอดมิตแดนซ์ต่อความถี่ของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า	11
รูปที่ 2.11 องค์ประกอบแฝงของตัวเก็บประจุไฟฟ้า	11
รูปที่ 2.12 ค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะทั่วไปในการป้องกันสัญญาณรบกวนด้วย EMI Filter	14
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรกรองความถี่แบบตัวเก็บประจุ	14
รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่แบบตัวเหนี่ยวนำ	15
รูปที่ 2.16 วงจรกรองความถี่แบบ LC	16
รูปที่ 2.17 การต่อ LC Filter อนุกรม	16
รูป 2.18 แสดง π section filter	16
รูปที่ 2.19 วงจรกรองความถี่แบบ T	17
รูปที่ 2.20 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทาง ตัวนำ แบบวางอุปกรณ์บนโต๊ะ	20
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 วงจรภายในของ LISN	23
รูปที่ 3.2 วงจรภายในของ LISN เมื่อป้อนใส่โปรแกรม PSpice	24
รูปที่ 3.3 ผลของเอ๊าท์พุทอิมพีแดนซ์	25
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 แกนตัวเหนี่ยวนำ	26
รูปที่ 4.2 ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเหนี่ยวนำ $L_1, L_2 = 250 \mu\text{H}$	27
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเหนี่ยวนำที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	27
รูปที่ 4.5 การพันขดลวด L_1 และ L_2	28
รูปที่ 4.6 ตัวเหนี่ยวนำ L_3 และ L_4	28
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความเหนี่ยวนำ $L_3, L_4 = 50 \mu\text{H}$	28
รูปที่ 4.8 แสดงค่าความเหนี่ยวนำที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	29
รูปที่ 4.9 การพันขดลวด L_3 และ L_4	29
รูปที่ 4.10 ตัวตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2	30
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความเก็บประจุของ C_1 และ C_2	30
รูปที่ 4.12 ตารางแสดงผลขององค์ประกอบภายใน ของ C_1 และ C_2	30
รูปที่ 4.13 ตัวตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4	31
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความเก็บประจุของ C_3 และ C_4	31
รูปที่ 4.15 ตารางแสดงผลขององค์ประกอบภายใน ของ C_3 และ C_4	31
รูปที่ 4.16 ตัวเก็บประจุ C_5, C_6 และ C_7	32
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าความเก็บประจุของ C_5, C_6 และ C_7	32
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความเก็บประจุของ C_5, C_6 และ C_7	32
รูปที่ 4.19 การต่อและการวางอุปกรณ์ภายใน LISN EMC LA	33
รูปที่ 4.20 การต่อและการวางอุปกรณ์ภายใน LISN EMC LAB	33
รูปที่ 4.21 LISN EMC LAB	34
รูปที่ 4.22 การต่อทดสอบ LISN EMC LAB กับเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	34
รูปที่ 4.23 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Line to Ground (L-G)	35
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	35
รูปที่ 4.25 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	36
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	36
รูปที่ 4.27 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.28 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Neutral to Ground (N-G)	37
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	37
รูปที่ 4.30 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ ไปที่โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	38
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	38
รูปที่ 4.32 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 Hz – 30 MHz	38
รูปที่ 4.33 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Line to Ground (L-G)	39
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	39
รูปที่ 4.35 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	40
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	40
รูปที่ 4.37 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	40
รูปที่ 4.38 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Neutral to Ground (N-G)	41
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	41
รูปที่ 4.40 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz	42
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	42
รูปที่ 4.42 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz	42
รูปที่ 4.43 การต่อ LISN EMC LAP ในห้องเพื่อทำการทดสอบ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.44 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB ครั้งที่ 1	45
รูปที่ 4.45 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB	46
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	46
รูปที่ 4.47 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	47
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	47
รูปที่ 4.49 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	48
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB	48
รูปที่ 4.51 กราฟแสดง envelop Noise โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB	49
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	49
รูปที่ 4.53 กราฟแสดง envelope Noise โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	50
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	50
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB	51
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO	51
รูปที่ 4.57 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO	52
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงสัญญาณรบกวน Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.59 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO	53
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO	53
รูปที่ 4.61 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO	54
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO	54
รูปที่ 4.63 กราฟแสดง envelope Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO	55
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO	55
รูปที่ 4.65 กราฟแสดง envelope Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO	56
รูปที่ 4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO	56
รูปที่ 4.67 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO	57
รูปที่ 4.68 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO	57
รูปที่ 4.69 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO	58
รูปที่ 4.71 กราฟแสดง envelop เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO	59
รูปที่ 4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.73 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO	60
รูปที่ 4.74 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวน Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO	60
รูปที่ 4.75 กราฟแสดง envelop เปรียบเทียบ Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO	61



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

เนื่องจากห้องปฏิบัติการความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ได้มีโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network: LISN) ประจำห้องปฏิบัติการ เนื่องด้วยการเล็งเห็นความสำคัญของ โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ ในการศึกษา และวิจัย ทางด้านผลกระทบของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Electromagnetic Interference (EMI) ที่แพร่ทางสายตัวนำ จากความจำเป็นดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่อยากจะศึกษาหลักการทํางาน และทำการออกแบบ LISN เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษาทำการวิจัย ต่อไปในภายหน้า

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการทำงานของ LISN และทำการออกแบบ สร้าง LISN ให้สามารถใช้งานได้จริง ซึ่งเงื่อนไขที่กำหนดไว้จากมาตรฐาน CISPR 16 คือ ต้องมีความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance: Z) ด้านออกมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม (ohm: Ω) ตลอดย่านความถี่ใช้งานทางด้านสายตัวนำ เริ่มที่ความถี่ 150 kHz ถึง 30 MHz

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เข้าใจหลักการทํางานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตอบสนองต่อความถี่ เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง อุปกรณ์ดังกล่าวคือ ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor: L) และตัวเก็บประจุ (Capacitor: C) จากการเปลี่ยนแปลงต่อความถี่ของอุปกรณ์ดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องทราบองค์ประกอบภายใน ต่อความถี่สูง เมื่อเข้าใจอุปกรณ์ดังกล่าวแล้ว จึงทำการออกแบบ ตามที่ได้คำนวณ

1.3 เป้าหมายของโครงการ

สามารถออกแบบโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ ให้สามารถใช้งานได้จริงตรงตามมาตรฐาน CISPR 16 กำหนดไว้ คือ มี output impedance 50 Ω ตลอดช่วงความถี่ 150 kHz – 30 MHz มีพิกัดกระแสใช้งาน 10 A โดยประมาณ และใช้งานที่พิกัดแรงดัน 220 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ

2.1 วัตถุประสงค์

ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ เพื่อให้ทราบถึงความหมายของนิยาม และเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์และการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงพื้นฐานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2 ความรู้พื้นฐานด้าน EMC

2.2.1 ความหมาย

Electromagnetic Compatibility (EMC) คือ ความสามารถของ องค์ประกอบดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ เช่น IC Transistor Sensor
- เครื่องมือ เช่น เครื่องมือวัด เครื่องใช้ไฟฟ้า
- ระบบ เช่น ระบบสถานีรับ-ส่งสัญญาณ

ที่ทำงานได้ตามต้องการ ภายใต้สิ่งแวดล้อมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic: EM) นั้นๆ โดยไม่ทำให้เกิดการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสิ่งใด

ซึ่ง EMC จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (Electromagnetic Interference Source) เป็นแหล่งที่กำเนิดคลื่นความถี่เข้ามารบกวนระบบ เช่น จากมอเตอร์ เป็นต้น
2. ส่วนที่ได้รับผลกระทบของ EMI ในบางครั้งอาจเรียกว่า “แหล่งรับ (Receptor)” หรือในบางครั้งก็เรียกว่า “(Victim)” ซึ่งมักเป็นอุปกรณ์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น
3. การเชื่อมต่อระหว่างสองส่วนแรก (Coupling) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อผ่านทางสายตัวนำต่างๆ เช่น สายสัญญาณ สายเมน ซึ่งการเชื่อมต่อแบบนี้เราจะเรียกว่า “(Conduction)” กับอีกเส้นทางหนึ่ง คือ การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายผ่านไป ในอากาศโดยเสมือนว่ามีอากาศเป็นตัวนำ หรือที่เรียกว่า “(Radiation)”

Electromagnetic Disturbance (EMD) หมายถึง สิ่งรบกวนที่เป็นสาเหตุให้เกิดการรบกวนขึ้นในรูปคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า เช่น สัญญาณที่เข้ามาแทรกสัญญาณหลัก

Electromagnetic Interference (EMI) หมายถึง ผลของการรบกวนที่เกิดขึ้นในรูปของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า เช่น การเกิดเสียงดังขึ้นในลำโพงเนื่องมาจากสัญญาณความถี่ของโทรศัพท์ไร้สาย โดยการเกิดเสียงคือ EMI ส่วนคลื่นความถี่ของโทรศัพท์ไร้สายคือ EMD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ชนิดของ Electromagnetic Interference (EMI)

EMI แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ EMI ที่เกิดโดยผลจากมนุษย์สร้างขึ้น และผลจากธรรมชาติ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมักเกิดจากสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้นเป็นส่วนใหญ่เพราะเนื่องจากผลของธรรมชาติที่ทำให้เกิดคลื่นความถี่ได้นั้นมีไม่มาก เช่น การเกิดฟ้าผ่า และการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าปรากฏการณ์ที่ว่าไม่ได้เกิดขึ้นบ่อยครั้ง แต่ผลที่เกิดจากมนุษย์ เช่น ระบบจุดสตาร์ทรถยนต์ สวิตช์ โหมดเพาเวอร์ซัพพลาย เครื่องจักรกลไฟฟ้า คอนเวอเตอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เรดาร์ เครื่องส่งวิทยุ การอาร์คหรือเกิดโคโรนาในสายส่ง และ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

โดยที่ EMI ที่มนุษย์สร้างขึ้นจะแยกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. Inter-System เป็นระบบที่คำนึงถึง EMC จะเกี่ยวข้องกับการวางแผน การควบคุม และเป็นที่มาของการกำหนดข้อตกลงร่วมกันหรือออกเป็นกฎหมายในการใช้ย่านความถี่ หรือการกำหนดที่ตั้งของสถานีวิทยุ และการกำหนดห้วงเวลาที่ใช้
2. Intra-System เป็นระบบที่คำนึงถึง EMC ภายในระบบนั้นๆ จะมีผลต่อการออกแบบ อุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน เช่น ออกแบบไอซี เป็นต้น

2.3 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)

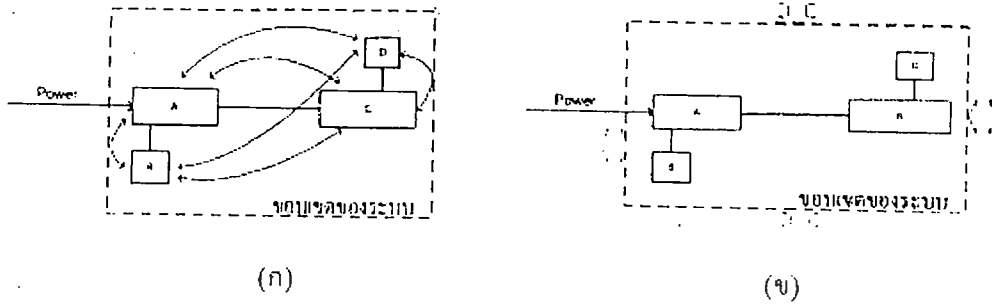
การรบกวนทางแม่เหล็ก (Electromagnetic Interference :EMI) เป็นส่วนหนึ่งของศาสตร์ที่ว่าด้วยเรื่อง ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นหัวข้อที่ว่าด้วยเรื่องการเกิดการรบกวนกัน (Interference) หรือความทนทานต่อสัญญาณรบกวน (Immunity) หรือความสามารถในการรับสัญญาณรบกวน (Susceptibility) ของระบบหรืออุปกรณ์ใด ๆ โดยนิยามของ EMC คือ “ความสามารถของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบ ที่สามารถทำงานอยู่ได้ในสภาวะแวดล้อมนั้น” สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งมาจากตัวระบบเดียวกันเอง และจากระบบภายนอก ดังนั้น EMC จึงแบ่งได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบเดียวกัน (Intra-system EMC) และความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบภายนอก (Inter-system EMC) ซึ่งนิยามของทั้งสองประเภทเป็นดังนี้

1) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ คือ ความสามารถของส่วนประกอบภายในระบบที่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ภายในระบบเดียวกัน และไม่สร้างรบกวนในระดับที่อุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบเดียวกันทนไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก)

2) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบภายนอก คือ ความสามารถในการทำงานของระบบทั้งระบบที่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สร้างโดย

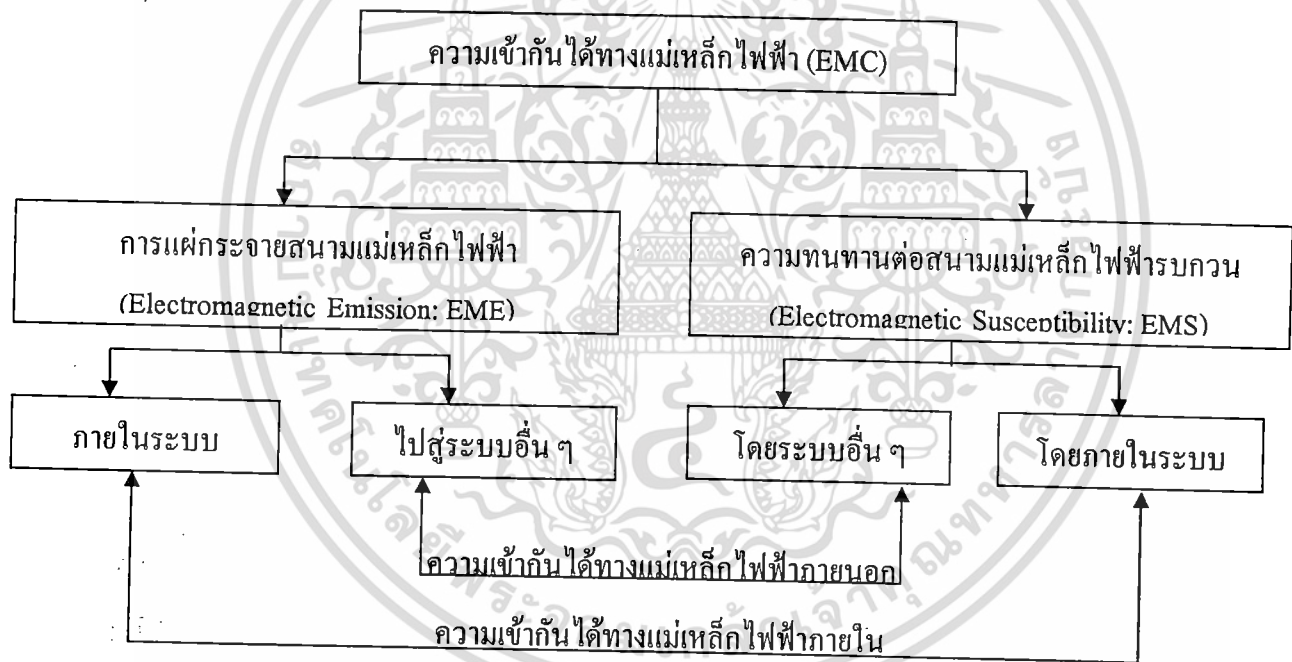
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบภายนอก และไม่สร้างสัญญาณรบกวนในระดับที่ระบบอื่นภายนอกไม่สามารถทำงานได้ดัง
แสดงในรูปที่ 2.1 (ข)



รูปที่ 2.1 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ
(ข) ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบภายนอก

จะสามารถสรุปความสัมพันธ์ของนิยามต่าง ๆ ของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



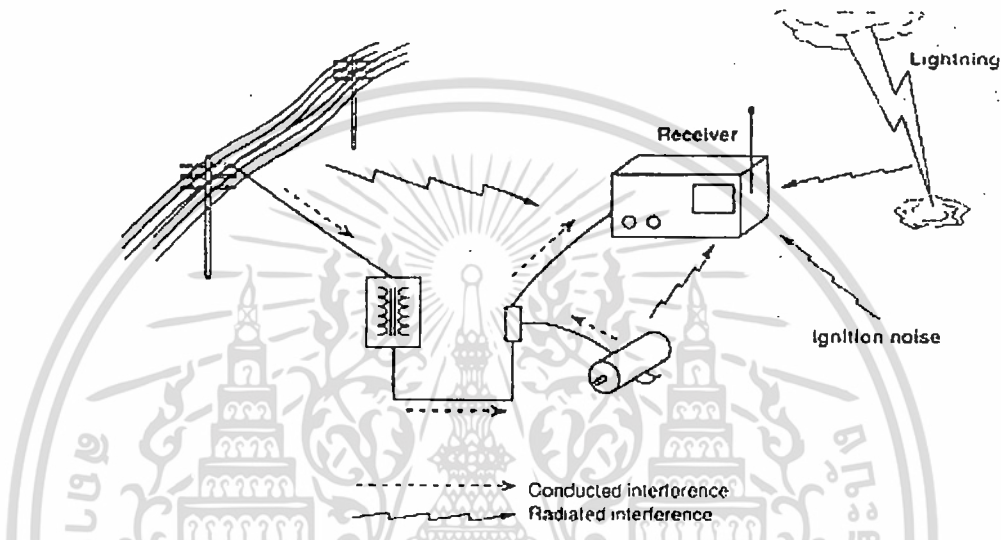
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของนิยามของ ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4 สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวน (Noise) คือ สัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นในระหว่างที่อุปกรณ์หรือระบบใด ๆ ทำงานอยู่ หรือปนเข้ามา กับสัญญาณที่พึงประสงค์ บ่อยครั้งสัญญาณรบกวนนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้การทำงานของอุปกรณ์หรือระบบเกิดการผิดพลาด ถ้าระดับสัญญาณรบกวนมีหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณเสียง สัญญาณไฟฟ้า และอื่น ๆ สัญญาณรบกวนนี้เกิดได้จากที่สร้างโดยธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าก็เป็นสัญญาณรบกวนอีกประเภทหนึ่งที่จะเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้นำมาวิเคราะห์ โดยการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated) และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางตัวนำ (Conducted)



รูปที่ 2.3 สัญญาณรบกวนที่สร้างโดยธรรมชาติและมนุษย์

2.4.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถจะแบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ ที่เกิดจากธรรมชาติ และจากมนุษย์ซึ่งสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนมากมาจากการกระทำของมนุษย์ โดยจะเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่มนุษย์สร้างขึ้นสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากธรรมชาตินั้นส่วนใหญ่จะเป็นการแพร่กระจายทางอากาศ ที่เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น

- สัญญาณรบกวนในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric noise) เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าระหว่างเกิดฝนตกฟ้าคะนอง หรือฟ้าผ่า
- สัญญาณรบกวนคอสมิก (Cosmic noise) จากดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ กลุ่มดาวขนาดใหญ่ หรือแกแลกซี่ โดยจะก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าแม่เหล็กแพร่กระจายออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังโลก

- ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic discharge: ESD)

สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์นั้น จะมีทั้งการแพร่กระจายทางอากาศและทางตัวนำ โดยเป็นผลเนื่องมาจากการที่มนุษย์ได้สร้างสิ่งอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และเมื่ออุปกรณ์เหล่านี้ทำงานก็จะสร้างสัญญาณรบกวนออกมาสู่ระบบเดียวกันและระบบอื่น ๆ โดยรอบ ทั้งทางอากาศและสายตัวนำการรบกวนที่เกิดขึ้นจะมีผลต่ออุปกรณ์ภายในระบบเดียวกันเองและระบบภายนอกด้วย ตัวอย่าง การเกิดสัญญาณรบกวนหลักที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ

- เครื่องเชื่อม
- เครื่องให้ความร้อนโดยใช้ความถี่ RF
- สายส่งกำลังงานไฟฟ้าแรงดันสูง
- หลอดฟลูออเรสเซนต์
- การสั่นคัปของเครื่องยนต์
- เตอบไมโครเวฟ
- ระบบการสื่อสาร
- มอเตอร์ไฟฟ้า และอื่น ๆ

2.4.2 ทางเดินของสัญญาณรบกวน ทางเดินของสัญญาณรบกวนนั้นเป็นตัวกลางที่สำคัญสำหรับการนำพาสัญญาณรบกวนออกไปสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งมีหลายทางเดินทั้งโดยธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น

- พื้นดิน
- กลุ่มเมฆ
- สิ่งก่อสร้าง และยานพาหนะ
- ตัวถังของอุปกรณ์
- การเดินสายสัญญาณบน PCB หรือสายตัวนำในวงจรหรือระบบ
- ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เป็นต้น

2.4.3 แหล่งสิ่งที่ได้รับผลกระทบและผลของสัญญาณรบกวน

สำหรับสิ่งที่รับผลกระทบ (Victim) คือ อุปกรณ์หรือระบบใดๆ ที่ไม่สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งผลของสัญญาณรบกวนส่งผลให้อุปกรณ์เครื่องมือหรือระบบทำงานไม่เป็นดังเป้าหมายหรือไม่ทำงานเลย หรืออาจเกิดความเสียหายขึ้นได้ ตัวอย่างของสิ่งที่ได้รับผลกระทบ เช่น

- ตัวขยายสัญญาณ
- ตัวรับสัญญาณ

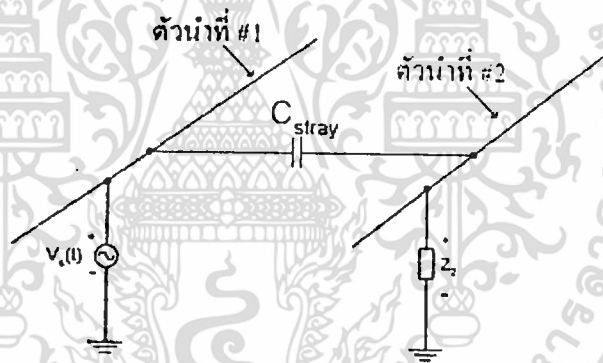
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คอมพิวเตอร์
- เครื่องวัดทางอุตสาหกรรม และเครื่องมือทางการแพทย์

2.5 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ

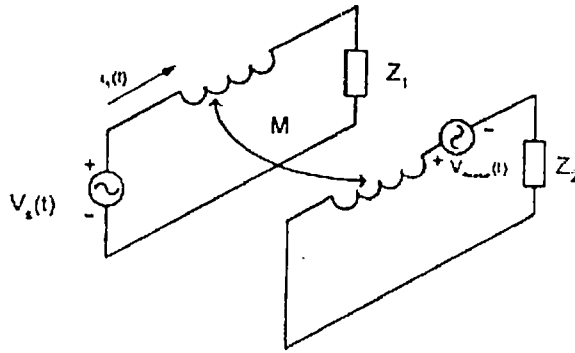
การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำคือสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่ส่งออกมาทางสายตัวนำ ซึ่งเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ การเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ การเกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม (Common Mode) และโหมดแตกต่าง (Difference Mode) โดยจะอธิบายในหัวข้อถัดไป และการเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการส่งผ่านพลังงานของการเกิดสัญญาณรบกวนไปสู่ตัวที่ได้รับผลกระทบ การส่งผ่าน (Coupling และการกระจาย (Propagation) การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือการส่งผ่านด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitive coupling) และการส่งผ่านด้วยการเหนี่ยวนำ (Inductive coupling)

การส่งผ่านด้วยตัวเก็บประจุ (Stray capacitance) ไปยังตัวนำอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกันซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4 และถ้ากระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุลงกราวด์จะเป็นการสร้างสัญญาณรบกวนชนิดโหมดร่วม



รูปที่ 2.4 การส่งผ่านสัญญาณรบกวนผ่านตัวเก็บประจุ

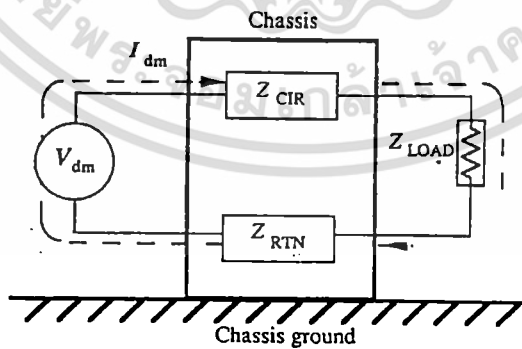
- การส่งผ่านด้วยการเหนี่ยวนำด้วยตัวเหนี่ยวนำเสมือน เป็นการส่งผ่านพลังงานของสัญญาณรบกวนโดยวิธีทางแม่เหล็ก โดยในสายตัวนำจะมีค่าการเหนี่ยวนำเสมือน (Mutual inductance: M) อยู่ เมื่อมีกระแสไหลผ่านก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น และสนามแม่เหล็กนี้ก็ไปเหนี่ยวนำกับค่าการเหนี่ยวนำของอีกตัวนำหนึ่งที่อยู่ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การส่งผ่านสัญญาณรบกวนผ่านตัวเหนี่ยวนำ

2.5.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดแตกต่าง (Difference-mode) สัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่างเกิดสัญญาณที่ได้จากการทำงาน ของวงจร อิเล็กทรอนิกส์ เช่น สัญญาณนาฬิกา หรือ รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันในวงจรใด ๆ โดยสัญญาณในโหมดแตกต่างนี้ทางเดินของกระแสหรือแรงดันจะไหลจากแหล่งจ่ายผ่านอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจร (Z_{CIR}) เพื่อไปยังโหลด และจะไหลผ่านกลับมายังแหล่งจ่ายโดยผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับดังแสดงใน รูปที่ 2.6 ซึ่งก็คือทางเดินหลักของสัญญาณในวงจรมัน เช่นนั้นทางเดินของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานของวงจรก็คือทางเดินเดียวกัน ดังนั้นเราสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าการเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดแตกต่างจะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง 2 ตัวนำในการส่งสัญญาณ คือ ตัวนำสัญญาณไปยังโหมด (Signal line) และตัวนำสัญญาณกลับ (Return line)

การทำงานของวงจรในย่านความถี่สูง ณ ย่านความถี่สูงนี้ คุณสมบัติของอุปกรณ์หรือตัวนำในวงจรอาจเปลี่ยนไป เช่น ทางเดินสัญญาณจะเกิดค่าการเหนี่ยวนำแฝงเกิดขึ้นได้ ซึ่งการป้องกันก็จะทำได้โดย การลดรูปของวงจรลง



รูปที่ 2.6 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง

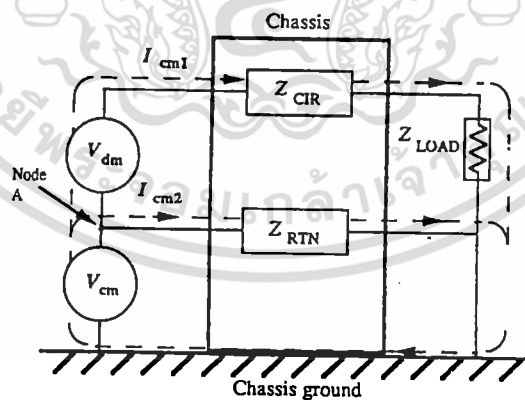
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำโหมคร่วม (Common Mode)

สำหรับการในโหมคร่วมนั้น จะพิจารณาการไหลของสัญญาณระหว่างกลุ่มของตัวนำกับกราวด์หรือกลุ่มตัวนำอื่น เป็นตัวอ้างอิง สำหรับการเกิดสัญญาณรบกวนในโหมคร่วมนั้นเราจะมีตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในโหมคร่วมคือ ตัวเก็บประจุแฝง (Parasitic capacitor) โดยตัวเก็บประจุแฝงนี้จะเส้นทางเดินสัญญาณไปยังกราวด์ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงในโหมคร่วมของทั้งสายสัญญาณ (Line) และสายป้อนกลับ (Neutral) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7 ดังนั้นถ้าปราศจากตัวเก็บประจุแฝงนี้แล้วก็จะไม่เกิดสัญญาณรบกวนในกรณีโหมคร่วม จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายสัญญาณ ($V_{noiseCIR}$) จะไม่เท่ากับสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายป้อนกลับ ($V_{noiseRTN}$) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเส้นทางของการไหลของสัญญาณรบกวนในแต่ละสายมีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน เพราะว่าการไหลของสัญญาณในสายสัญญาณจะผ่านอิมพีแดนซ์ของวงจรแล้วผ่านไปยังอิมพีแดนซ์ของโหลด ในขณะที่การไหลของสัญญาณในสายป้อนกลับจะผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สัญญาณการเกิดกรรบกวนในโหมคร่วมไม่เท่ากัน โดยจะแสดงดังสมการที่ (2.1) และ (2.2) และเมื่อกระแสโหมคร่วมไม่เท่ากันก็จะทำให้ระบบเกิดความไม่สมดุลขึ้น และกระแสโหมคร่วมในกรณีก็จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณรบกวนในโหมคร่วมแตกต่างได้ (Differential noise)

$$V_{noiseCIR} = I_{CM1} \times (Z_{CIR} + Z_{Load} + X_{Cp}) \quad (2.1)$$

$$V_{noiseRTN} = I_{CM2} \times (Z_{RTN} + X_{Cp}) \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.7 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมคร่วม

2.6 องค์ประกอบแฝงของอุปกรณ์

เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่วนประกอบของตัวต้านทานไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า และตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ความถี่สูง พฤติกรรมของอุปกรณ์เหล่านี้จะไม่สามารถ

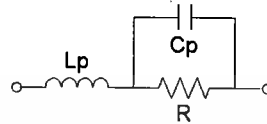
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาคุณสมบัติของมันไว้ได้ เมื่อมีการทำงานที่ความถี่สูงจะเกิดองค์ประกอบแฝงขึ้นในตัวอุปกรณ์นั้น ๆ ได้

2.6.1 ตัวต้านทานไฟฟ้า เมื่อทำงานที่ความถี่สูงจะเกิดมีค่าความเหนี่ยวนำแฝง (Parasitic Inductance: L_p) และค่าความจุไฟฟ้าแฝง (Parasitic Capacitance: C_p) เกิดขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.8 ทั้งนี้เนื่องจากขาและขั้วของตัวต้านทานไฟฟ้า ถ้าขาของตัวต้านทานไฟฟ้ายาวมากก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมาก



(ก) ในทางอุดมคติ



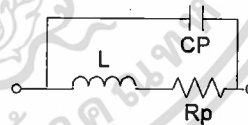
(ข) ในทางปฏิบัติ

รูปที่ 2.8 องค์ประกอบแฝงของตัวต้านทานไฟฟ้า

2.6.2 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า ในทางปฏิบัติในการทำงานของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าเมื่อทำงานที่ความถี่สูงจะปรากฏพฤติกรรมขององค์ประกอบแฝงเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างขดของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า จะเสมือนเป็นแผ่นโลหะประกบกันอยู่ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความจุไฟฟ้าแฝง (Parasitic Capacitance : C_p) เกิดขึ้นระหว่างขดของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า และในตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าก็จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าแฝง (Parasitic Resistance : R_p) เกิดขึ้นเมื่อความถี่ในการทำงานสูงขึ้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าและองค์ประกอบแฝงจะเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นการแสดงในรูปของแอดมิตแตนซ์ (Y) ที่เปลี่ยนไปตามค่าความถี่ที่เปลี่ยนไป



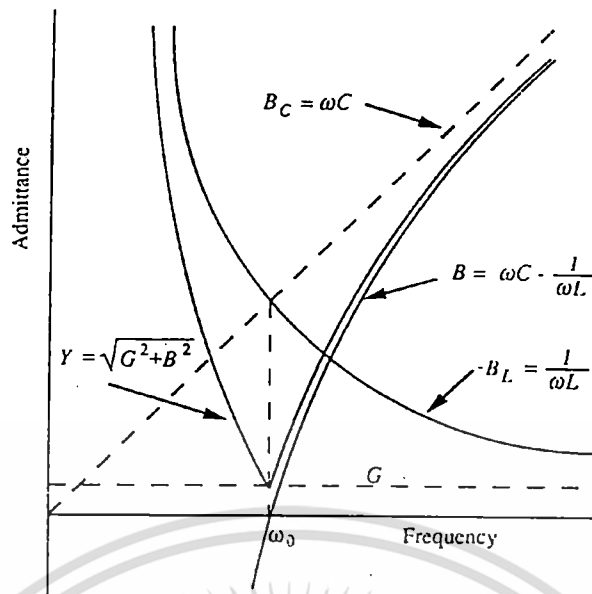
(ก) ในทางอุดมคติ



(ข) ในทางปฏิบัติ

รูปที่ 2.9 องค์ประกอบแฝงของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



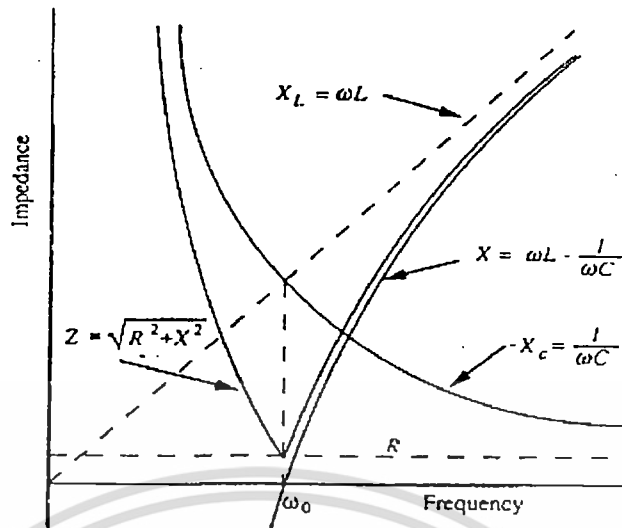
รูปที่ 2.10 ค่าแอดมิแตนซ์ต่อความถี่ของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า

2.6.3 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า เช่นเดียวกับตัวต้านทานไฟฟ้า ขาของตัวเก็บประจุไฟฟ้าสามารถที่จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าแฝง (Parasitic Resistance: R_p) และค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าแฝง (Parasitic Inductance: L_p) เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และเมื่อความถี่ในการทำงานเพิ่มขึ้นค่าของความต้านทานไฟฟ้าแฝงและค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าแฝงก็จะเปลี่ยนไป โดยจะแสดงให้เห็นรูปแบบของค่าแอดมิแตนซ์ ที่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบแฝงของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ค่าอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

2.6.4 ตัวประกอบคุณภาพ (Quality factor)

หรือค่า Q เป็นตัวประกอบคุณภาพ ใช้กับวงจรหรืออุปกรณ์ ที่เป็นสัญญาณ sine โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ [10]

$$Q = 2\pi \frac{\text{Peak Stored energy}}{\text{Energy dissipated per cycle}} \quad (2.3)$$

$$Q = 2\pi \frac{\text{ค่าพลังงานที่เก็บสะสมสูงสุด}}{\text{ค่าพลังงานที่สูญเสียต่อรอบ}} \quad (2.4)$$

พลังงานที่หายไป 1 Cycle โดยค่า Q ยิ่งมีค่ามากยิ่งดี

2.6.5 ประสิทธิภาพของวงจรกรอง (Insertion loss)

ในการกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่ที่ทำการทดสอบ จะต้องทำการพิจารณาถึง ประสิทธิภาพของวงจรกรอง โดยพิจารณาจากสมการที่ 2.5 ซึ่งจะพิจารณาจาก อัตราส่วนของพิกัด แรงดันขาออก ของแหล่งจ่ายแรงดันที่ไม่มีวงจรกรองต่ออยู่ (V_1) กับพิกัดแรงดันขาออก ของ แหล่งจ่ายแรงดันที่มีวงจรกรองต่ออยู่ (V_2)

$$IL = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ IL : Insertion loss (dB)

V_1 : พิกัดแรงดันขาออกของแหล่งจ่ายแรงดันที่ไม่มีวงจรกรองต่ออยู่ (V)

V_2 : พิกัดแรงดันขาออกของแหล่งจ่ายแรงดันที่มีวงจรกรองต่ออยู่ (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

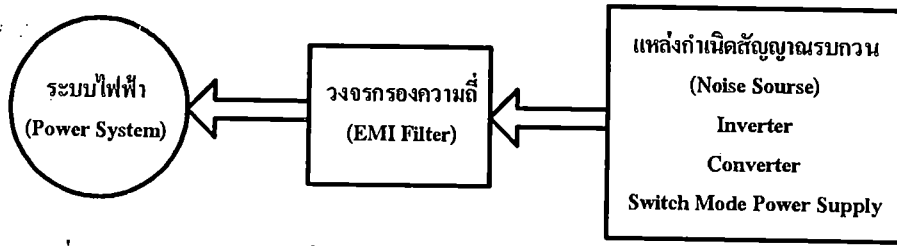
2.7 วงจรกรองความถี่ลดทอนสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

วงจรกรองความถี่จากผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ซึ่งผลจากการรบกวนทางคลื่นสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดคลื่นความถี่สูงเข้าไปรบกวนในระบบ โดยวงจรกรองคลื่นความถี่สูงไม่ให้ผ่านไปได้แต่จะยอมให้คลื่นความถี่ต่ำสามารถผ่านไปได้ ถ้าเป็นการส่งผ่านสัญญาณรบกวนทางสายตัวนำสัญญาณรบกวนความถี่สูงจะอยู่ในย่าน 150kHz – 30MHz และถ้าเป็นการส่งผ่านสัญญาณรบกวนทางอากาศสัญญาณรบกวนความถี่สูงจะอยู่ในย่าน 30MHz – 1GHz ซึ่งเราจะใช้วงจรกรองความถี่จากผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่ส่งผ่านทางสายตัวนำ

เนื่องจากสัญญาณรบกวนทางคลื่นสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดคลื่นความถี่สูงเข้าไปรบกวนในระบบจึงต้องใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ เพื่อกรองความถี่สูงไม่ให้เข้าไปรบกวนในระบบและให้ยอมคลื่นความถี่ต่ำที่เราต้องการผ่านไปได้ โดยค่าความถี่ที่วงจรกรองความถี่ต่ำสามารถกรองได้เรียกว่า Cut-Off Frequency วงจรกรองความถี่จากผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กจะมีความแตกต่างจากวงจรกรองความถี่ต่ำอื่นๆ คือ ในวงจรกรองผลจากการรบกวนของฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Filter) ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำจะมีค่าของ Cut-Off Frequency ตั้งแต่ 50Hz ขึ้นไป แต่วงจรกรองความถี่จากผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็ก จะทำงานในย่านความถี่ที่สูงคือมีค่าของ Cut-Off Frequency ที่ความถี่สูงตั้งแต่ 150 kHz – 30 MHz ซึ่งสูงกว่าวงจรกรองความถี่ผลจากการรบกวนของฮาร์โมนิกส์

กล่าวได้ว่าวงจรกรองความถี่ทั้งสองแบบทำงานในย่านความถี่ที่ต่างกัน โดยวงจรกรองผลจากการรบกวนของฮาร์โมนิกส์จะกรองคลื่นความถี่ที่เป็นจำนวนเท่าของคลื่นความถี่พื้นฐานหรือเรียกว่าเป็นลำดับของฮาร์โมนิก และยอมให้คลื่นความถี่พื้นฐานผ่านไปได้ เช่น ถ้าคลื่นความถี่พื้นฐานมีค่าเท่ากับ 50 Hz วงจรกรองผลจากการรบกวนของฮาร์โมนิกส์ก็จะกรองคลื่นความถี่ที่เป็นลำดับของฮาร์โมนิกส์ ต่างๆ เช่น ลำดับของฮาร์โมนิกส์ที่ 3 จะมีความถี่เท่ากับ 3 เท่าของคลื่นความถี่พื้นฐานคือ 150 Hz ลำดับของฮาร์โมนิกส์ที่ 5 จะมีความถี่เท่ากับ 5 เท่าของคลื่นความถี่พื้นฐานคือ 250 Hz ซึ่งต่างจากวงจรกรองความถี่จากผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะกรองคลื่นความถี่สูงตั้งแต่ 150 kHz ขึ้นไป

วงจรกรองความถี่จากผลของสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็กจะทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็ก เช่น Switch Mode Power Supply, Converter, Inverter ไม่ให้ไปรบกวนแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ได้แก่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะทั่วไปในการป้องกันสัญญาณรบกวนด้วย EMI Filter

2.7.1 วงจรกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

เป็นวงจรกรองที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านที่ง่ายที่สุดซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่ระหว่างตัวนำซึ่งมีสัญญาณรบกวนประกอบอยู่และมีสายตัวนำลงดินที่แสดงดังรูปที่ 2.14 การทำงานของวงจรโดยสัญญาณความถี่สูงจะต่อผ่านตัวเก็บประจุซึ่ง Insertion loss ของวงจรกรองนี้จะกำหนดโดย

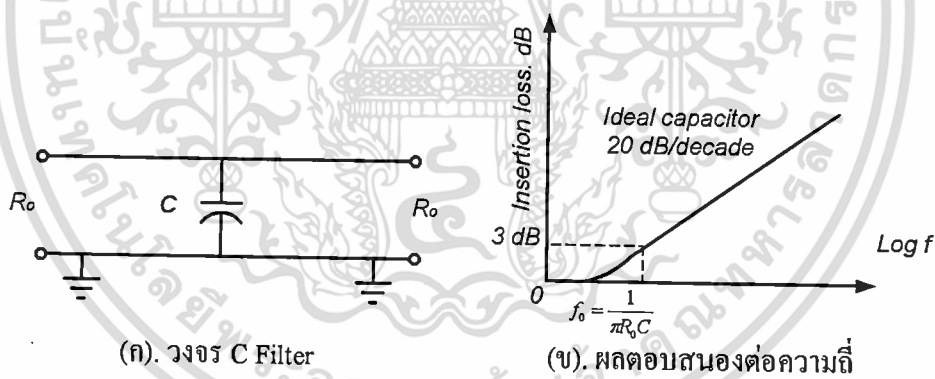
$$f_0 = \frac{1}{\pi R_0 C} \quad (2.6)$$

เมื่อ

f_0 : ความถี่ cut off (Hz)

R_0 : ความต้านทาน (Ω)

C : ตัวเก็บประจุ (ตัวต้านทานของวงจรกรอง: F)



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรกรองความถี่แบบตัวเก็บประจุ

ในทางปฏิบัติแล้วตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยทั้งค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำต่ออนุกรมอยู่ ผลนี้เกิดจากแผ่นตัวนำของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำของตัวนำ (ขาของตัวเก็บประจุ) ผลเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด จากสาเหตุเหล่านี้เองทำให้เกิดผลของการลดทอนที่ความถี่ลดทอน วงจรกรองจะมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุเมื่อก่อนถึงความถี่ลดทอนและเมื่อผ่านความถี่ลดทอนไปแล้ว ตัวเก็บประจุนี้จะประพฤติตัวเสมือนเป็นตัวเหนี่ยวนำ คุณสมบัติของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุแบบกระดาษฟอยล์อลูมิเนียม (Metalized Paper Capacitor) มีขนาดเล็กแต่จะมีประสิทธิภาพต่ำในย่านความถี่วิทยุ สาเหตุจากมีความต้านทานจุดต่อสูงและผลของความเหนี่ยวนำจากตัวนำของแผ่นฟิล์มโลหะ โดยส่วนมากจะใช้ที่ย่านความถี่ 20 MHz

ตัวเก็บประจุไมแก้วและเซรามิกเป็นตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็ก และจะใช้ย่านความถี่ประมาณ 200 MHz

Feed through Capacitor เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้งานในย่านความถี่สูงสามารถที่จะหลีกเลี่ยงผลของความถี่ลดทอนที่ความถี่สูงถึง 1 GHz Feed through เป็นตัวเก็บประจุแบบ 3 ขั้ว

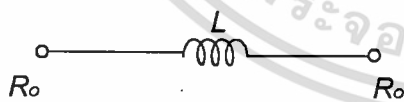
Electrolytic Capacitor มักจะใช้สำหรับ DC Filter ใช้งานที่ย่านความถี่ต่ำและมีองค์ประกอบการสูญเสียมาก

2.7.2 วงจรกรองความถี่แบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductor filter) วงจรกรองแบบนี้จะต่ออนุกรมกับตัวนำที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 2.15 จะได้ Insertion Loss ดังนี้

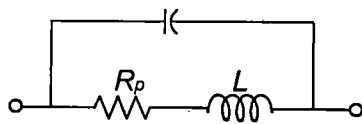
$$f_0 = \frac{R_0}{\pi L} \quad (2.7)$$

- เมื่อ
- f_0 : ค่าความถี่ cut off (Hz)
 - L : ค่าความเหนี่ยวนำ (H)
 - R_0 : ค่าความต้านทานจุดต่อ (Ω)

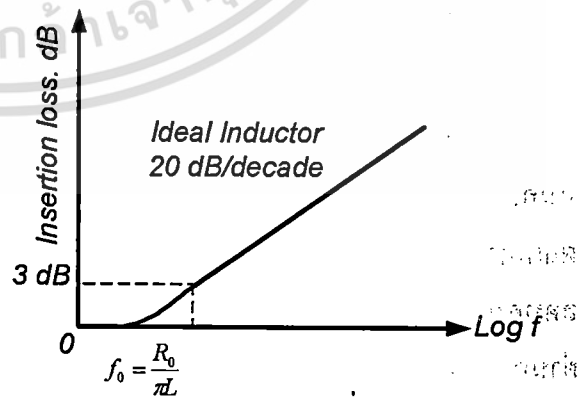
ในทางปฏิบัติแล้วตัวเหนี่ยวนำจะประกอบด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ความต้านทาน ค่าตัวเก็บประจุระหว่างขดลวดภายใน แสดงวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.15 วงจรกรองตัวเหนี่ยวนำจะมีทั้งแบบแกนอากาศ แกนเหล็กและแกนเฟอร์ไรท์ ซึ่งแกนเฟอร์ไรท์จะมีค่า μ_0 สูงทำให้ไม่เกิดการอิ่มตัว วงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทั้ง อิมพีแดนซ์ของภาระทางไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องมีค่าต่ำและค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูง



(ก) วงจรสมมูลของ L ที่ความถี่ต่ำ



(ข) วงจรสมมูลของ L ที่ความถี่สูง



(ค) ผลตอบสนองต่อความถี่

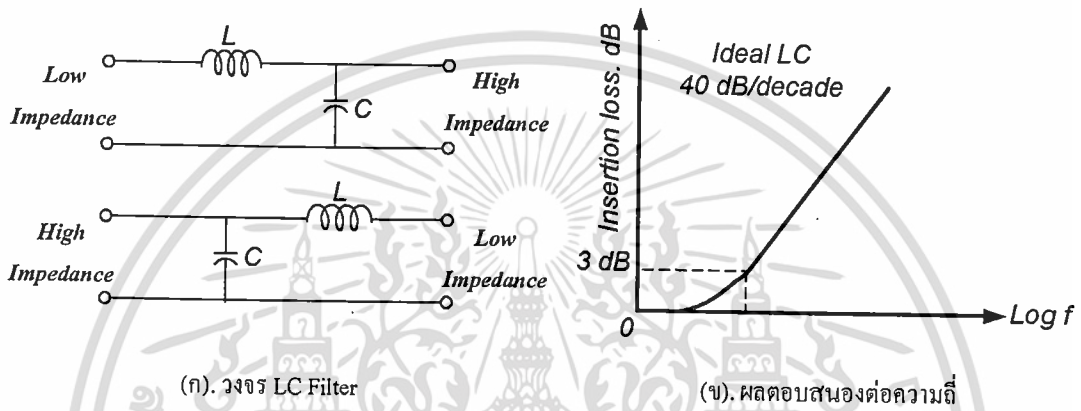
รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่แบบตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

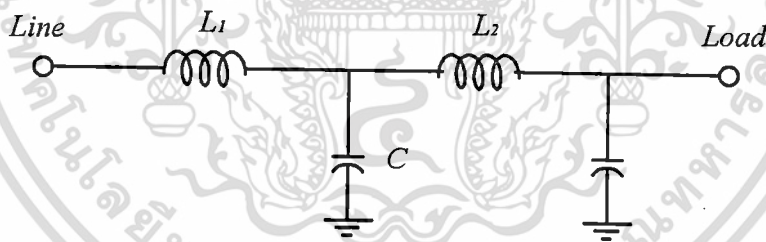
2.7.3 วงจรกรองความถี่แบบ LC (LC filter)

ค่าประสิทธิภาพการลดทอนสัญญาณรบกวนของวงจรกรองแบบ LC แสดงดังรูปที่ 2.16 เมื่อ อิมพีแดนซ์ของภาระทางไฟฟ้าและโหลดไม่เท่ากัน ค่า Insertion loss จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อค่าตัวเก็บประจุที่ต่อขนานอยู่ต้องมีค่าสูงกว่าภาระทางไฟฟ้าหรือแหล่งจ่าย เมื่ออิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย และอิมพีแดนซ์ของภาระทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากัน กำหนดให้เป็น R_0

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-K^2 & JKR_0 \\ \frac{JK}{R_0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

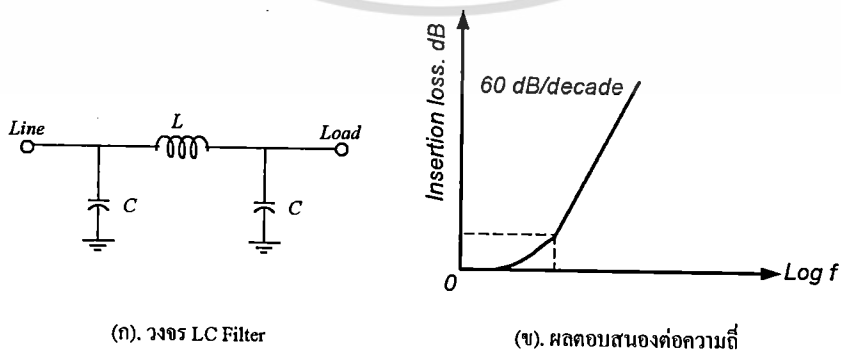


รูปที่ 2.16 วงจรกรองความถี่แบบ LC



รูปที่ 2.17 การต่อ LC Filter อนุกรม

2.7.4 วงจรกรองความถี่แบบ π (Pi filter)



รูป 2.18 แสดง π section filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

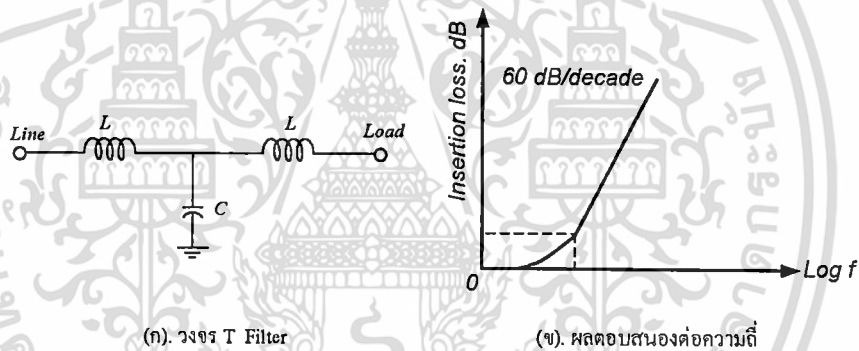
จากคุณลักษณะดังรูป วงจรความถี่แบบ π จะมีค่า Insertion loss สูงกว่าแบบอื่นๆซึ่งค่า Insertion loss ของวงจรกรองแบบ π จะมีความชันของกราฟ = 60 dB/decade วงจรกรองความถี่แบบ π จะมีประสิทธิภาพต่ำสำหรับสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบ Transient วงจรกรองแบบ π จะสามารถเพิ่มค่าความถี่ของการกรองโดยการ Shielding ด้วยกล่องโลหะ

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(2-K^2)}{2} + J0 & \frac{JKR_0(4-K^2)}{4} \\ \frac{JK}{R_0} & \frac{2-K^2}{2} + J0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

2.7.5 วงจรกรองความถี่แบบ T (T filter)

วงจรกรองที่ให้ความถี่ต่ำผ่าน ที่แสดงดังรูปที่ 2.19 ซึ่งใช้ในการลดสัญญาณรบกวนแบบ Transient

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{K^2}{2} + J0 & JKR_0 \\ \frac{JK(4-K^2)}{4R_0} & 1 - \frac{K^2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.19 วงจรกรองความถี่แบบ T

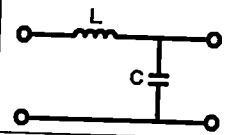
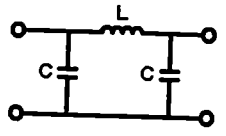
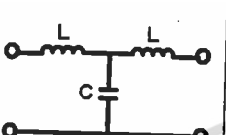
ตารางที่ 2.1 สรุปชนิดของวงจรกรองพื้นฐานและเงื่อนไขการทำงาน

ชนิดของ วงจร	รูปวงจร	สมการ	ค่า Impedance(Z) ที่เหมาะสม	
			Input	Output
L		$f_0 = \frac{R_0}{\pi L}$	Z_{LOW}	Z_{LOW}
C		$f_0 = \frac{1}{\pi R_0 C}$	Z_{HIGH}	Z_{HIGH}

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สรุปชนิดของวงจรกรองพื้นฐานและเงื่อนไขการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือเผยแพร่ไปยังถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

67393

LC		$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-K^2 & JKR_0 \\ \frac{JK}{R_0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$	Z_{LOW}	Z_{HIGH}
π		$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(2-K^2)}{2} + j0 & \frac{JKR_0(4-K^2)}{4} \\ \frac{JK}{R_0} & \frac{2-K^2}{2} + j0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$	Z_{HIGH}	Z_{HIGH}
T		$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{K^2}{2} + j0 & JKR_0 \\ \frac{JK(4-K^2)}{4R_0} & 1 - \frac{K^2}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$	Z_{LOW}	Z_{LOW}

2.8 นิยาม มาตรฐาน เครื่องวัดและขั้นตอนในการวัดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายนำ

2.8.1 นิยามของสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมและสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งได้สองรูปแบบกล่าวคือ

- สัญญาณรบกวนโหมดร่วม (Common-Mode Interference: CM)
- สัญญาณรบกวนโหมดต่าง (Differential-Mode Interference: DM)

อย่างไรก็ตามในบทความของ Dr.Dan Y. Chen และ คณะ ได้นำเสนอสัญญาณรบกวนใหม่ (new noise-coupling mode) ซึ่งโหมดการทำงานจะเหมือนกับสัญญาณรบกวนโหมดร่วม แต่สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้สามารถกำจัดได้ด้วยตัวเก็บประจุที่ใช้สำหรับกรองสัญญาณรบกวนโหมดต่าง (โดยส่วนใหญ่จะนิยมเรียกตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนใหม่ผลต่างว่า “C_x”) และด้วยเหตุนี้เองเพื่อให้เกิดความแตกต่างขึ้นจึงได้ชื่อสัญญาณรบกวนตัวใหม่นี้ว่า “Non-intrinsic Differential Mode noise” (NIDM) แต่อย่างไรก็ตาม ก่อนหน้านี้ในปี ค.ศ. 2000 Dr.Dan Y. Chen และ คณะ ได้เรียก NIDM ใหม่ว่า “Mixed-Mode noise” และในส่วนของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างแบบทฤษฎีเก่าซึ่งจะไม่เกี่ยวข้องกับกราวด์(Ground) เลยจะให้ชื่อว่า “Intrinsic Differential Mode noise”(IDM) จะขึ้นอยู่กับการกระเพื่อม (Pulsating) หรือองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าอินพุตหรือขึ้นอยู่กับการรบกวนของกระแสไฟฟ้า(Ripple current)

ส่วนกรณีของ NIDM จะปรากฏเมื่อระบบมีกราวด์ต่อรวมอยู่ในวงจรเสมอและส่วนที่คล้ายสัญญาณรบกวนโหมดร่วมอย่างมากได้แก่การที่ทั้งคู่ต่างก็ขึ้นอยู่กับการเก็บประจุแฝง (Parasitic capacitances) ที่แฝงอยู่ในวงจรอย่างไรก็ตามเนื่องจากนิยามการแบ่งโหมด การรบกวนตามรูปแบบดังกล่าวยังไม่นิยามแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

สงวนลิขสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในกรณีวงจรไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่งประกอบด้วยสายไลน์ (L) สายนิวตรอน (N) และสายกราวด์หรือสายดิน (G) จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าโหมดผลรวม (common mode voltage) และค่าแรงดันไฟฟ้าโหมดผลต่าง (differential mode voltage) ดังต่อไปนี้

$$V_c = \frac{(V_{LG} + V_{NG})}{2} \quad (2.11)$$

$$V_d = \frac{(V_{LG} - V_{NG})}{2} \quad (2.12)$$

โดยที่ V_{LG} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับกราวด์ (V)

V_{NG} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวตรอนกับกราวด์ (V)

V_{LN} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับนิวตรอน (V)

ซึ่งการเดินทางของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าโหมดต่างและโหมดรวมที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเดินทางของกระแสไฟฟ้าในโหมดผลรวมจะเดินทางผ่านตัวเก็บประจุแฝงของวงจร ในขณะที่กระแสในโหมดผลต่างจะไม่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุแฝงดังกล่าว

2.8.2 มาตรฐานสำหรับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

สาเหตุสำคัญที่ต้องมีการกำหนดขีดจำกัดและมาตรฐานสำหรับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำก็เพราะว่าต้องการจำกัดกระแสสัญญาณรบกวน (Noise current) ที่เกิดจากตัวสินค้าผ่านออกมาทางสายไฟฟ้า (AC power core) ผ่านตัวรับ และจากนั้นจะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มที่ถูกรวมสายไฟฟ้า (Common power distribution system) ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะสามารถแผ่กระจายและเกิดการรบกวนต่อระบบโดยรวมได้เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การผ่านการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว มิได้เป็นการรับประกันว่าผ่านการทดสอบนั้นจะไม่เกิดการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพียงแค่เป็นการยอมรับหรือจำกัดการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของสินค้าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.8.2.1 CISPR

CISPR ย่อมาจาก International Special Committee on Radio Interference (จริงๆ แล้วย่อมาจากคำเต็มซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศสคือ Comite International Special des Perturbations Radio electrique) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1933 เพื่อหาวิธีการวัดและขีดจำกัดของการรบกวนในย่านความถี่วิทยุสำหรับนานาชาติ นอกจากนั้น CISPR ไม่ได้เป็นกฎข้อบังคับหรือมาตรฐานบังคับใช้แต่อย่างใด แต่มาตรฐานดังกล่าวจะถูกดัดแปลงโดยรัฐบาลของแต่ละประเทศให้เป็นมาตรฐานบังคับใช้ภายในประเทศ จึงกลายเป็นมาตรฐานสากลไปโดยปริยาย โดยมาตรฐาน CISPR publication 22 เป็นการออกมาเพื่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากกรณีของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment) ซึ่งก็หมายถึงอุปกรณ์ดิจิทัล (digital electronics) ซึ่งได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

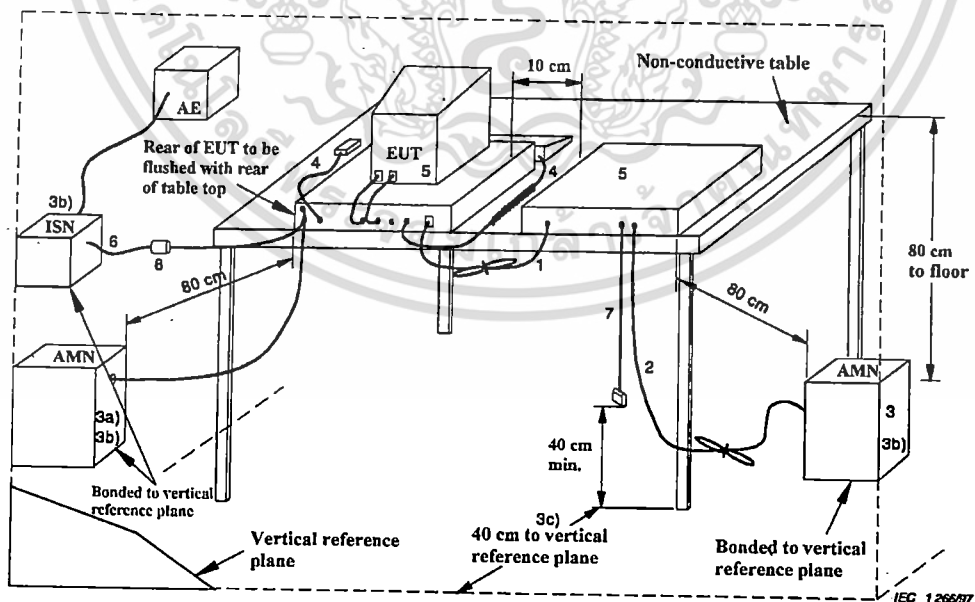
เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1985 และหลังจากนั้นหลาย ๆ ประเทศทางยุโรปหรืออาจจะกล่าวได้ว่าทั่วโลกได้นำมาตรฐานดังกล่าวออกบังคับใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติของตน (national standard) เช่น ประเทศญี่ปุ่น ได้ออกมาตรฐาน VCCI โดยใช้เส้นขีดจำกัดตาม CISPR publication 22 เว้นเพียงแต่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแก่ตัวถูกทดสอบ (EUT) จะแตกต่างกันโดยที่ VCCI จะทดสอบที่แรงดันอินพุตของตัวถูกทดสอบเท่ากับ 100 โวลต์ เป็นต้น

2.8.2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยเพิ่งได้มีการเริ่มต้นนำมาตรฐานนานาชาติมาปรับใช้เป็นมาตรฐานภายในประเทศอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 โดยมีการนำมาปรับปรุงแก้ไข CISPR 15 และ CISPR 22 เป็นภาษาไทยแล้วได้แก่ มอก. 1955-2542 (บริษัทส่งสว่างและบริษัทที่คล้ายกัน : ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) ซึ่งเป็นมาตรฐานบังคับใช้ และ มอก. 1956-2542 (บริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) แต่ไม่ได้มีการบังคับใช้แต่อย่างใดเป็นเพียงแค่การแนะนำเบื้องต้น (voluntary) เท่านั้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากมาตรฐานที่ได้กล่าว มาตรฐานที่เหลือที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากมาตรฐานที่ได้กล่าว มาตรฐานที่เหลือที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากมาตรฐานให้เป็นภาษาไทยเท่านั้นแต่เนื้อหาภายในจะเหมือนต้นฉบับ

2.9 การติดตั้งเครื่องมือวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางตัวนำ แบบวางอุปกรณ์บนโต๊ะ

รูปที่ 2.20 จะเป็นตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางตัวนำแบบวางอุปกรณ์บนโต๊ะ ซึ่งมีเงื่อนไขการติดตั้งดังนี้ [7,8]



- AMN : Artificial mains network
- AE : Associated equipment
- EUT : Equipment under test
- ISN : Impedance stabilization network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางตัวนำ แบบวางอุปกรณ์บนโต๊ะ

1. ถ้าสายตัวนำซึ่งห้อยอยู่ต่ำกว่า 40 เซนติเมตร เหนือแนวระดับของแผ่นกราวด์และไม่สามารถทำให้สั้นได้ จะต้องมัดทาบปลายสายให้มีความยาวระหว่าง 30 ถึง 40 เซนติเมตร
2. สายไฟจากแหล่งจ่ายจะต้องมัดทาบกันให้สายสั้นที่สุด
3. อุปกรณ์ที่ต้องการจะวัดต้องต่ออยู่กับ AMN/LISN 1 ตัว โดยที่ AMN/LISN และ ISN ทุกตัวจะต้องต่อเข้ากับแผ่นกราวด์ที่อยู่ในแนวระดับ
 - a) แหล่งจ่ายไฟทุกส่วนของระบบจะต้องต่อมาจาก AMN/LISN ตัวที่ 2 โดยสามารถติดตั้งให้มีปลายแบบใช้ได้หลายอุปกรณ์
 - b) AMN/LISN และ ISN ที่ใช้เป็นที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงจะต้องวางห่างจากอุปกรณ์ที่ทำการวัด 80 เซนติเมตร และอย่างน้อย 80 เซนติเมตร จากอุปกรณ์อื่นๆ และแผ่นโลหะอื่นๆ
 - c) สายไฟหลักและสายสัญญาณควรวางให้ห่างกันมากที่สุดเท่าที่ทำได้และจะต้องอยู่สูงจากแผ่นกราวด์อ้างอิง 40 เซนติเมตร
4. สายของเครื่องมือที่ใช้ร่วมในการวัด เช่น สายเคเบิล สายเมาส์ และอื่นๆ ให้วางในเหมือนการใช้งานทั่วไป
5. สิ่งที่อยู่รอบๆ ภายนอกจะต้องอยู่ห่างอย่างน้อย 10 เซนติเมตร จากอุปกรณ์อื่นข้างเคียงและจากตัวควบคุม ยกเว้นจอภาพซึ่งต้องใช้ในการทดสอบ สามารถวางอยู่บนตัวควบคุมได้
6. มีสายสัญญาณเข้าออก สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
7. ที่ปลายสายสัญญาณเข้าออกที่ไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ช่วยสามารถปล่อยลอยเอาไว้ หรืออาจต่อเข้ากับอิมพีแดนซ์ก็ได้ ถ้าจำเป็นต้องใช้ current probe ควรวางห่างจาก ISN ไม่น้อยกว่า 0.1 เมตร

2.10 ทฤษฎีการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

ขั้นตอนการออกแบบหาจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำ L_1, L_2, L_3 และ L_4 เมื่อเราทราบค่าตัวเหนี่ยวนำ จากวงจร เราคำนวณรอบได้โดย

$$N = \frac{L I_m}{A_c B_m} \quad (2.13)$$

$$\text{เมื่อ } B = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 \mu_r \frac{N I_m}{l_m} \quad (2.14)$$

$$N = \frac{L I_m l_m}{A_c \mu_0 \mu_r N I_m} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N^2 = \frac{L l_m}{A_c \mu_0 \mu_r} \quad (2.16)$$

$$N = \sqrt{\frac{L l_m}{A_c \mu_0 \mu_r}} \quad (2.17)$$

- โดย N คือ จำนวนรอบของขดลวด (turns)
 L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (Henry: H)
 l_m คือ ความยาวของขดลวด (mm)

คำนวณหาขนาดตัวนำของขดลวด

$$a = \frac{I}{J} \quad (2.18)$$

- โดย a คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวด (mm^2)
 I คือ กระแสที่เลือกใช้ในการออกแบบ (A)
 J คือ ความหนาแน่นของกระแส (A/mm^2)

2.11 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน ซึ่งมีความหมายของนิยามต่างๆ ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่ผ่านทางสายตัวนำ รวมถึงวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบพื้นฐาน รวมถึงทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ การคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวด การหาขนาดของตัวนำ เพื่อให้สามารถ

บทที่ 3

การจำลองระบบ

3.1 บทนำ

ในการศึกษาหรือการทำวิจัยนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจำลองการทำงานของวงจรที่จะใช้ก่อนทำการทดลองจริงเสมอ เพื่อที่จะได้ทราบแนวโน้มหรือผลการทำงานเบื้องต้นว่าเป็นไปตามหลักการ ตามทฤษฎีหรือการออกแบบหรือไม่ และใช้เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการวัดจริง เพื่อยืนยันความสอดคล้องกันระหว่างทฤษฎี การจำลองและผลการทดลอง

การจำลองนั้นสามารถทำได้โดยง่าย สะดวก และรวดเร็ว ทั้งประหยัดค่าใช้จ่าย โดยทำให้ทราบแนวโน้มของผลการทดลองโดยไม่ต้องทำการทดลองจริงก่อน และในที่นี้จะใช้โปรแกรม PSpice ในการจำลอง ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง และเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก

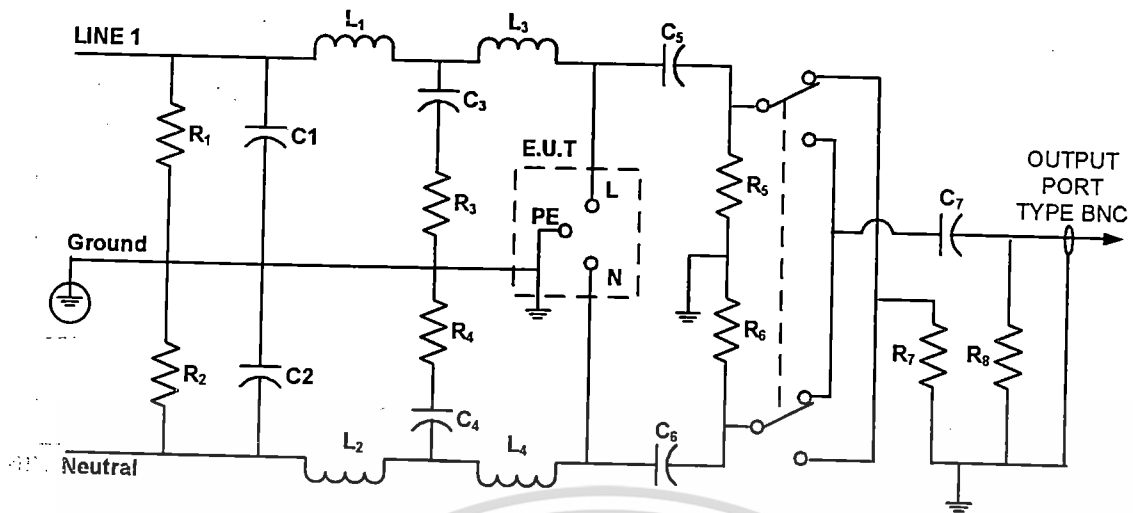
ในบทนี้จะนำเสนอผลของการจำลองระบบ (Simulation) การทำงานของวงจรโครงข่ายรักษาเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใส่ในวงจรเป็นค่าอุปกรณ์จริงที่นำมาต่อในวงจร (LISN) ที่ได้ทำการออกแบบไว้

3.2 วัตถุประสงค์ของการจำลองระบบ

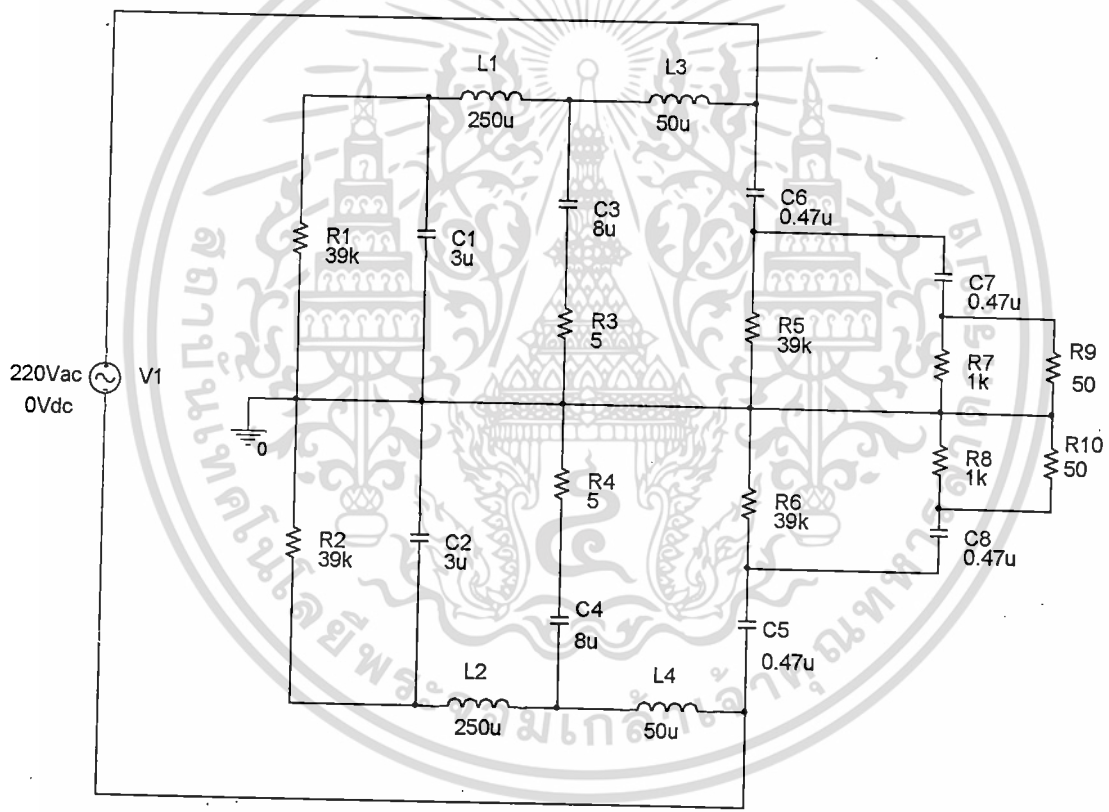
เพื่อจะได้ทราบแนวโน้มเบื้องต้นของผลจากการจำลองระบบ และผลของ output impedance ว่ามีค่าเป็นอย่างไร มีแนวโน้มตรงกับตามที่มาตรฐาน CISPR 16 กำหนดไว้หรือไม่

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 10.5
2. แผ่น CD-R และ แผ่นดิสก์ สำหรับบันทึกข้อมูล
3. วงจร LISN

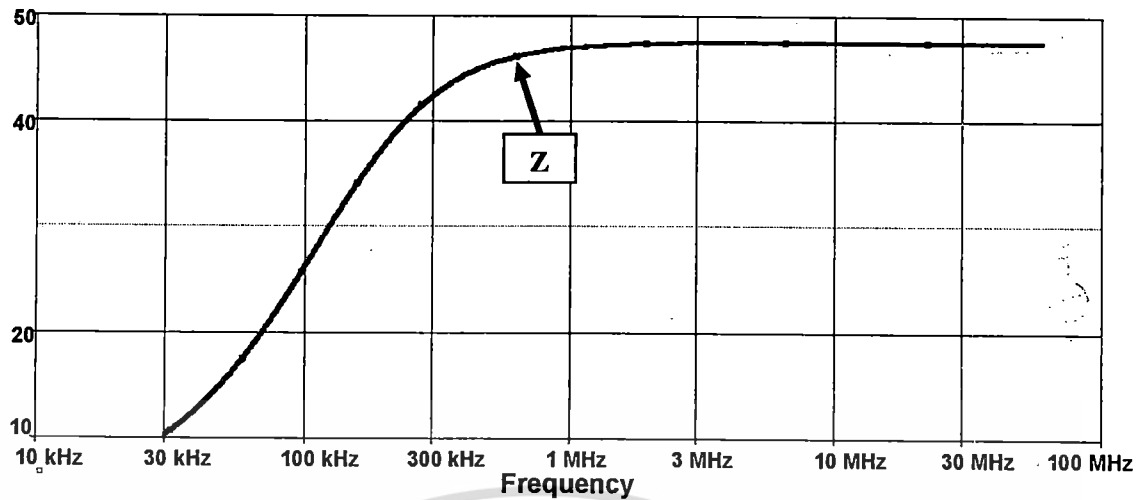


รูปที่ 3.1 วงจรภายในของ LISN



รูปที่ 3.2 วงจรภายในของ LISN เมื่อป้อนใส่โปรแกรม PSpice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ผลของเอ๊าท์พุทอิมพีแดนซ์

3.4 สรุป

จากผลการจำลองระบบของวงจร ในรูปที่ 4.2 ทำการวัดแรงดันและกระแสต้านออก จากนั้นนำผลที่ได้มาหารกัน ดังสมการที่ 4.1

$$Z = \frac{V}{I} \quad (4.1)$$

โดย Z คือ ความต้านทานเชิงซ้อน (Ω)
 V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt: V)
 A คือ กระแสไฟฟ้า (Ampere: A)

ผลจากการจำลองระบบ พบว่าช่วงความถี่แรกที่พิจารณา คือ 150 kHz จะมีค่าความต้านทานเชิงซ้อนประมาณ 40 Ω และมีค่าความต้านทานเชิงซ้อน ใกล้เคียง 50 Ω ตลอดจนถึงความถี่ 30 MHz ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบ พิสูจน์ให้เห็นว่าสอดคล้องกับทฤษฎี และมาตรฐาน CISPR 16 ที่กำหนด

บทที่ 4

การออกแบบและการทดสอบ

4.1 รายละเอียดอุปกรณ์

อุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาประกอบเป็นวงจร LISN จำเป็นที่ต้องเรียนรู้ และศึกษาผลของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงต่อความถี่ ดังนั้นจึงต้องทำการวัดค่าของอุปกรณ์ ณ ความถี่สูง ด้วยเครื่องมือวัด Impedance Gain/Phase Analyzer

4.1.1 แกนอากาศ

แกนอากาศที่นำมาใช้เพื่อออกแบบตัวเหนี่ยวนำ สาเหตุที่ต้องหาอุปกรณ์มาทำเป็นแกน เพราะต้องการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ โดยมีการพันขดลวดที่แน่นหนา จึงใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูก และมีความสามารถในการทนความร้อนได้ในระดับหนึ่ง อุปกรณ์ที่เลือกนำมาใช้งานคือ แกนที่ทำจากสาร โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC)



รูปที่ 4.1 แกนตัวเหนี่ยวนำ

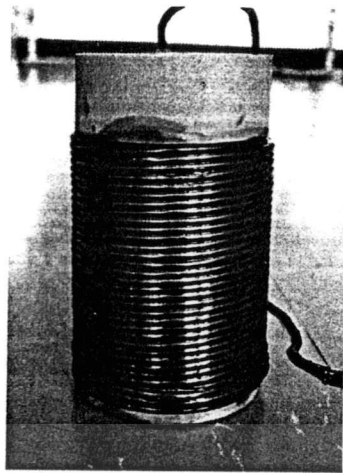
4.1.2 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่ การเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลต่อสภาพการทำงาน เนื่องจากองค์ประกอบภายในของตัวเหนี่ยวนำเอง

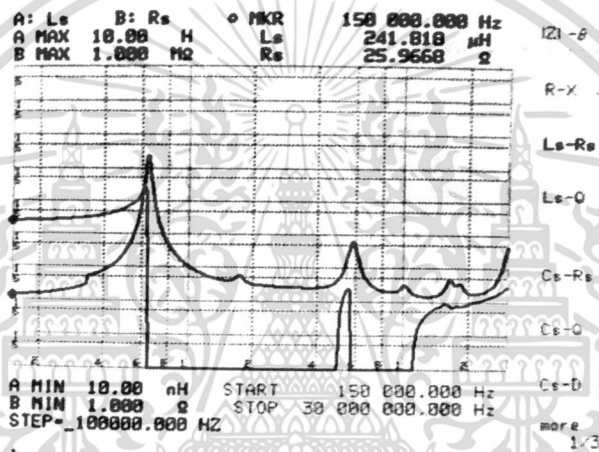
4.1.2.1 ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2

ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 มีค่า $250 \mu\text{H}$ ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 14 แกน ท่อPVC เบอร์ 40 ($1\frac{1}{2}$) นิ้ว PVC 5 สูง 10 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง $48 \pm 0.15 \text{ mm}$. หนา $1.5 \pm 0.15 \text{ mm}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเหนี่ยวนำ $L_1, L_2 = 250 \mu\text{H}$

N	FREQUENCY [Hz]	Ls [H]	Rs [Ω]
1	150 000.000	241.739 μ	33.1510
2	195 498.198	251.329 μ	35.4775
3	254 796.970	269.688 μ	39.1798
4	332 082.323	308.512 μ	49.0762
5	432 809.972	409.399 μ	66.4512
6	564 090.464	915.220 μ	549.637
7	735 191.128	-754.098 μ	717.891
8	958 190.272	-187.466 μ	113.505
9	1 248 829.611	-81.0880 μ	64.4371
10	1 627 626.519	-39.8520 μ	56.8000
11	2 121 320.344	-21.8801 μ	43.9951
12	2 764 762.032	-11.2432 μ	40.3172
13	3 603 373.302	-5.28405 μ	39.9634
14	4 696 353.250	-1.15861 μ	50.5808
15	6 120 857.320	-5.57808 μ	186.494
16	7 977 443.845	-1.24925 μ	40.8863
17	10 397 172.647	-219.155 μ	49.5345
18	13 550 856.785	499.793 μ	35.4862
19	17 661 128.560	734.405 μ	51.8881
20	23 018 114.970	1.10712 μ	37.8357
21	30 000 000.000	2.61642 μ	263.752

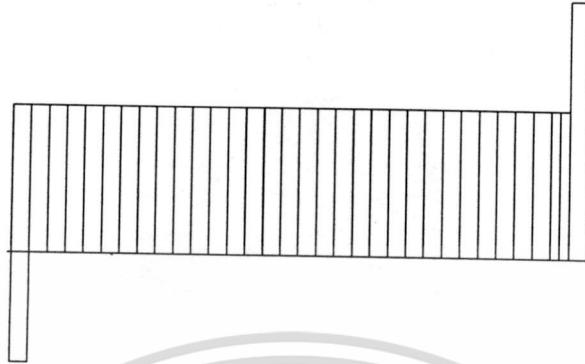
MEASURE N= 20 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 \rightarrow 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP= 1500000.000 HZ

รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเหนี่ยวนำที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

จากผลการทดสอบ สังเกตเห็นว่า ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 ที่ออกแบบสร้างขึ้นมานี้ จะมีค่าความเหนี่ยวนำ $250 \mu\text{H}$ ที่ความถี่ประมาณ 195 kHz และจะเสียสภาพความเป็นตัวเหนี่ยวนำ (Self resonance frequency: SRF) ที่ความถี่ ประมาณ 735 kHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 ที่ออกแบบมีรูปแบบการพันขดลวด ดังนี้

๕๖ ๕๗ ๕๘ ๕๙ ๖๐ ๖๑ ๖๒ ๖๓ ๖๔ ๖๕ ๖๖ ๖๗ ๖๘ ๖๙ ๗๐ ๗๑ ๗๒ ๗๓ ๗๔ ๗๕ ๗๖ ๗๗ ๗๘ ๗๙ ๘๐ ๘๑ ๘๒ ๘๓ ๘๔ ๘๕ ๘๖ ๘๗ ๘๘ ๘๙ ๙๐ ๙๑ ๙๒ ๙๓ ๙๔ ๙๕ ๙๖
 ๕๖ ๕๗ ๕๘ ๕๙ ๖๐ ๖๑ ๖๒ ๖๓ ๖๔ ๖๕ ๖๖ ๖๗ ๖๘ ๖๙ ๗๐ ๗๑ ๗๒ ๗๓ ๗๔ ๗๕ ๗๖ ๗๗ ๗๘ ๗๙ ๘๐ ๘๑ ๘๒ ๘๓ ๘๔ ๘๕ ๘๖ ๘๗ ๘๘ ๘๙ ๙๐ ๙๑ ๙๒ ๙๓ ๙๔ ๙๕ ๙๖
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32



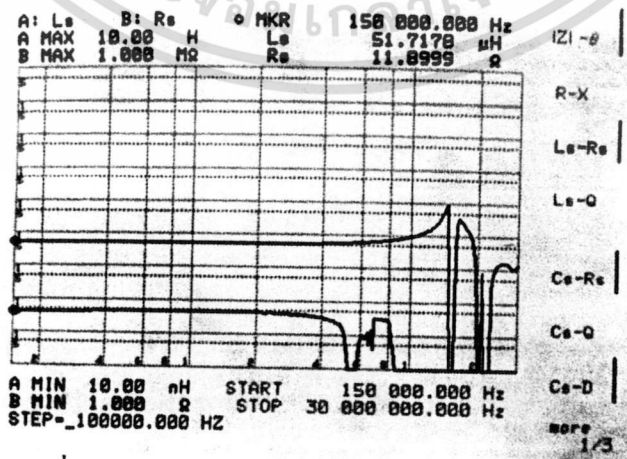
รูปที่ 4.5 การพันขดลวด L_1 และ L_2

4.1.2.2 ตัวเหนี่ยวนำ L_3 และ L_4

ตัวเหนี่ยวนำ L_3 และ L_4 มีค่า $50 \mu\text{H}$ ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 14 แกนท่อ PVC เบอร์ 40 (1 1/2 นิ้ว) PVC 5 สูง 10.5 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง $48 \pm 0.15 \text{ mm}$. หน้า $1.5 \pm 0.15 \text{ mm}$.



รูปที่ 4.6 ตัวเหนี่ยวนำ L_3 และ L_4



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความเหนี่ยวนำ $L_3, L_4 = 50 \mu\text{H}$

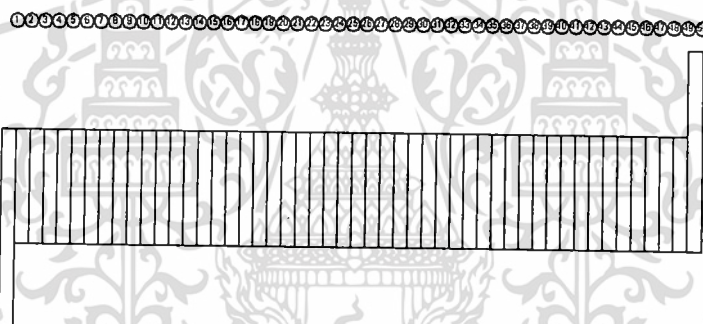
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	FREQUENCY (Hz)	Lp (uH)	Rp (ohm)	Q
1	150 000.000	51.7268	9.66246	
2	195 498.198	51.6386	9.74338	
3	254 796.970	51.5685	9.81452	
4	332 082.323	51.4795	9.93415	
5	432 889.972	51.4333	10.0590	
6	564 898.464	51.4060	10.2033	
7	735 191.128	51.3834	10.4289	
8	958 190.272	51.3247	10.5559	
9	1 248 829.811	51.5537	10.6392	
10	1 627 626.519	51.7461	10.7287	
11	2 121 320.344	52.1460	10.4556	
12	2 764 762.832	52.8553	9.99038	
13	3 603 373.302	54.1496	9.25770	
14	4 696 353.250	56.4724	7.16903	
15	6 120 857.320	61.2200	1.33630	
16	7 977 443.845	70.9104	9.19598	
17	10 397 172.647	96.9329	-45.3799	
18	13 550 856.785	273.874	-1.91718	K
19	17 661 120.560	-137.538	-277.263	
20	23 018 114.970	-25.5924	24.6278	
21	30 000 000.000	-12.7045	95.2307	

MEASURE N= 20 START 150 000.000 Hz
SWEEP N= 1 + 21 STOP 30 000 000.000 Hz
STEP= 1500000.000 HZ

รูปที่ 4.8 แสดงค่าความเหนี่ยวนำที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

จากผลการทดสอบ สังเกตเห็นว่า ตัวเหนี่ยวนำ L_3 และ L_4 ที่ออกแบบสร้างขึ้นมานี้ จะมีค่าความเหนี่ยวนำ $50 \mu\text{H}$ และจะเสียดสภาพความเป็นตัว ที่ความถี่ ประมาณ 17 MHz ตัวเหนี่ยวนำ L_3 และ L_4 ที่ออกแบบมีรูปแบบการพันขดลวด ดังนี้



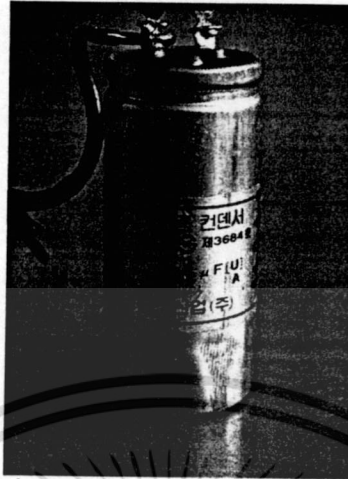
รูปที่ 4.9 การพันขดลวด L_3 และ L_4

4.1.3 ตัวเก็บประจุ

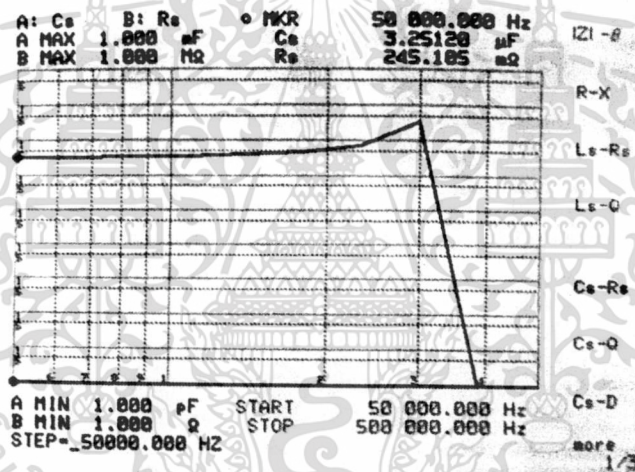
อุปกรณ์ที่มีความถี่มีผลต่อการทำงานอีกอย่างหนึ่ง ในการออกแบบวงจร LISN คือ ตัวเก็บประจุ ในที่นี้ ใช้ตัวเก็บประจุทั้งสิ้น 7 ตัว ประกอบไปด้วย C_1 และ C_2 มีค่าเท่ากับ $3 \mu\text{F}$, C_3 และ C_4 มีค่าเท่ากับ $8 \mu\text{F}$ และ C_5 และ C_6 มีค่าเท่ากับ $0.47 \mu\text{F}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.1 ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2



รูปที่ 4.10 ตัวตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความถี่ประจุของ C_1 และ C_2

N	FREQUENCY [Hz]	Ca [F]	Rs [Ω]
10	50 000.000	3.25691	243.329
11	56 100.923	3.28048	241.712
12	62 946.271	3.30192	241.620
13	70 626.877	3.34590	241.230
14	79 244.660	3.38570	240.432
15	88 913.971	3.46489	240.287
16	99 763.116	3.52728	240.794
17	111 936.057	3.64296	239.141
18	125 594.322	3.79155	239.347
19	140 919.147	3.97838	240.014
20	158 113.883	4.26511	240.018
21	177 406.695	4.69852	241.495
22	199 053.585	5.35876	242.473
23	223 341.796	6.58533	242.046
24	250 593.617	8.07056	244.769
25	281 170.663	16.2004	244.048
26	315 470.672	-221.136	247.015
27	353 972.892	-11.3973	247.572
28	397 164.117	-5.38853	249.137
29	445 625.469	-3.16024	251.450
30	500 000.000	-2.10757	255.433

MEASURE N= 21 START 50 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 500 000.000 Hz
 STEP= 23000.000 HZ

รูปที่ 4.12 ตารางแสดงผลขององค์ประกอบภายใน ของ C_1 และ C_2

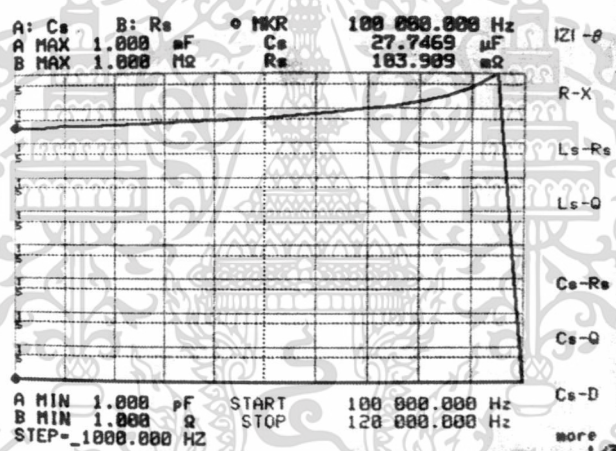
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ สังเกตเห็นว่า ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะมีค่าความเก็บประจุ $3 \mu\text{F}$ ที่ช่วงความถี่ประมาณ $50 \text{ kHz} - 88 \text{ kHz}$ และจะเสียดสภาพความเป็น ตัวเก็บประจุ SRF ที่ความถี่ประมาณ 315 kHz

4.1.3.2 ตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4



รูปที่ 4.13 ตัวตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความเก็บประจุของ C_3 และ C_4

FREQUENCY (Hz)	C_3 (pF)	R_3 (Ω)	
100 000.000	28.2710	105.997	I2I - θ
101 000.000	29.8038	104.995	
102 000.000	30.9579	105.579	
103 000.000	32.0669	105.818	R-X
104 000.000	34.0935	105.957	
105 000.000	37.2251	105.812	
106 000.000	38.1631	104.274	Ls-Rs
107 000.000	41.7163	105.716	
108 000.000	46.1689	105.839	
109 000.000	49.6167	106.489	Ls-O
110 000.000	54.3769	105.314	
111 000.000	61.2877	106.926	
112 000.000	71.6562	107.454	
113 000.000	80.0545	105.409	
114 000.000	94.5299	106.286	Co-Re
115 000.000	109.172	106.621	
116 000.000	160.241	108.210	
117 000.000	183.543	107.638	Co-O
118 000.000	401.956	105.552	
119 000.000	-7.08141	106.035	
120 000.000	-1.65274	106.206	Co-D

MEASURE N= START 100 000.000 Hz
 REEP N= 1 + 21 STOP 120 000.000 Hz
 STEP= 1000.000 Hz

รูปที่ 4.15 ตารางแสดงผลขององค์ประกอบภายใน ของ C_3 และ C_4

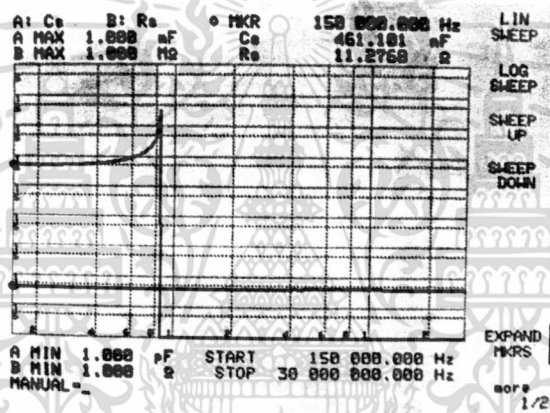
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ สังเกตเห็นว่าค่าความถี่ประจุของคาปาซิเตอร์จะแปรผันตามค่าความถี่
ตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4 จะมีค่าความถี่ประจุ $8 \mu\text{F}$ ที่ช่วงความถี่ต่ำและจะเสียดสภาพความเป็น ตัว
เก็บประจุ ที่ความถี่ ประมาณ 119 kHz

4.1.3.3 ตัวเก็บประจุ C_5 , C_6 และ C_7



รูปที่ 4.16 ตัวเก็บประจุ C_5 , C_6 และ C_7



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าความถี่ประจุของ C_5 , C_6 และ C_7

N	FREQUENCY (Hz)	Ca (pF)	Ra (Ω)	Lin
1	150 000.000	459.586	18.0047	SWEET
2	195 498.198	466.197	18.7921	
3	254 796.970	487.281	18.7851	LOG
4	332 882.323	524.268	18.7841	SWEET
5	432 889.972	594.908	18.7778	
6	564 898.464	782.831	18.7766	SWEET
7	735 191.128	1,707.69	18.7783	UP
8	958 198.272	-1,818.96	18.7887	
9	1 248 829.811	-395.782	18.7853	SWEET
10	1 627 626.519	-171.812	18.7893	DOWN
11	2 121 328.344	-87.3158	18.7974	
12	2 764 762.832	-47.7633	18.7999	
13	3 683 373.382	-27.8087	18.8084	
14	4 896 353.258	-15.6098	18.8188	
15	6 128 857.328	-9.18283	18.8285	
16	7 977 443.845	-5.33518	18.8493	
17	10 397 172.647	-3.13978	18.8662	
18	13 958 856.785	-1.85488	18.8873	
19	17 661 128.568	-1.09484	18.9849	
20	23 818 114.978	-645.873	18.9358	
21	30 888 888.888	-381.128	18.9286	EXPAND

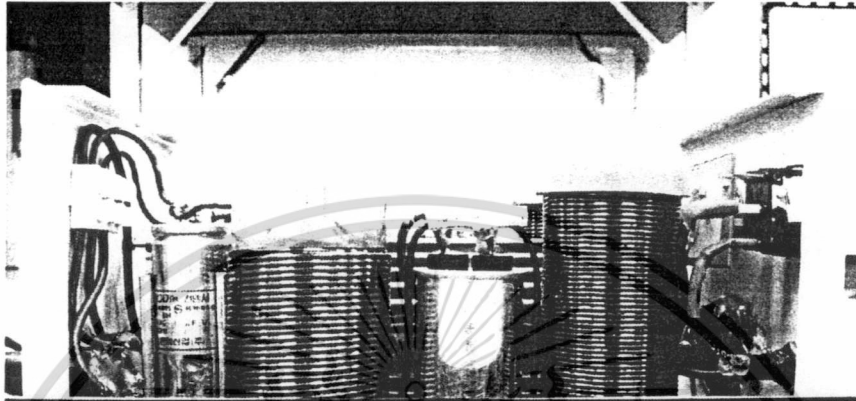
MEASURE N= 2 START 150 000.000 Hz
SWEET N= 1 c 21 STOP 30 000 000.000 Hz
STEP= 1500000.000 Hz

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความถี่ประจุของ C_5 , C_6 และ C_7

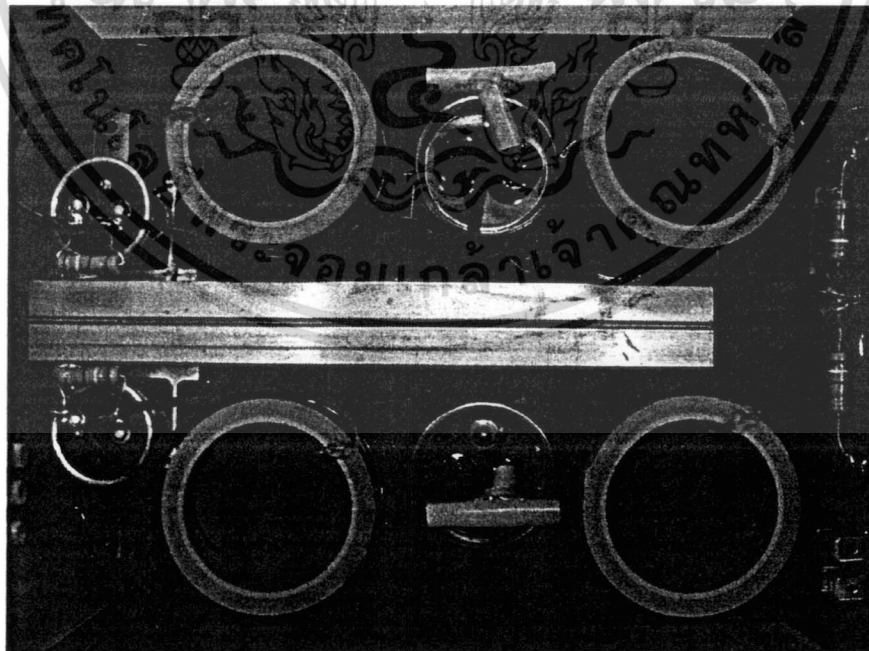
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 รูปแบบภายในและลักษณะการวางอุปกรณ์ของ LISN EMC LAB

ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงภาพลักษณะการวางอุปกรณ์ต่างๆภายในและรูปร่างภายนอกของตัว LISN EMC LAB รวมไปถึงรูปลักษณะการต่อทดสอบ LISN EMC LAB กับเครื่องมือที่ใช้ทดสอบเพื่อวัดหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ

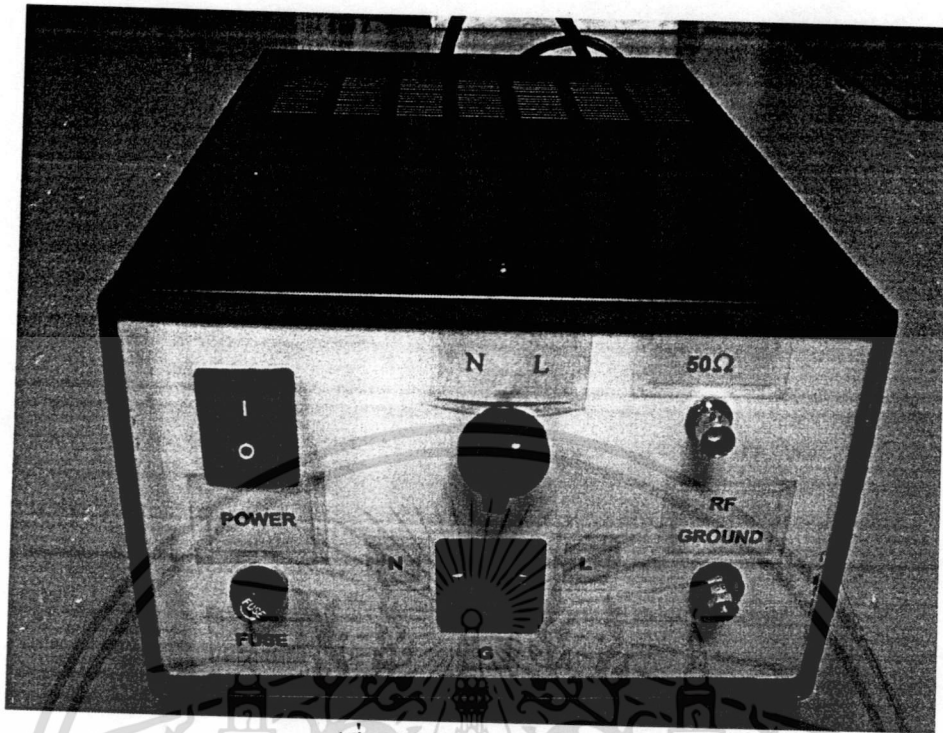


รูปที่ 4.19 การต่อและการวางอุปกรณ์ภายใน LISN EMC LAB

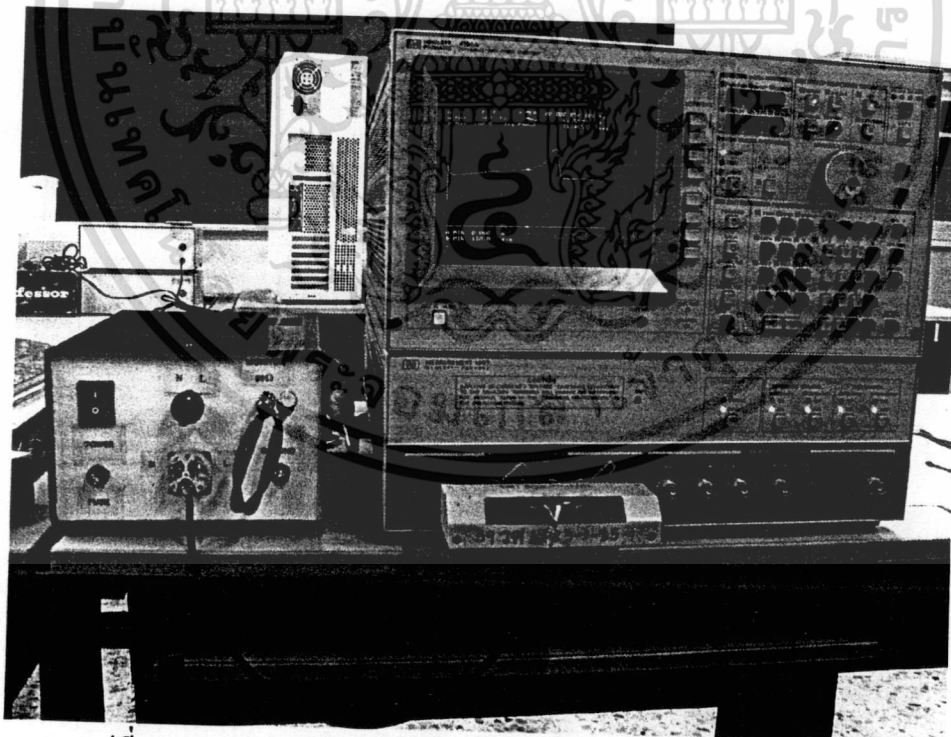


รูปที่ 4.20 การต่อและการวางอุปกรณ์ภายใน LISN EMC LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 LISN EMC LAB



รูปที่ 4.22 การต่อทดสอบ LISN EMC LAB กับเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

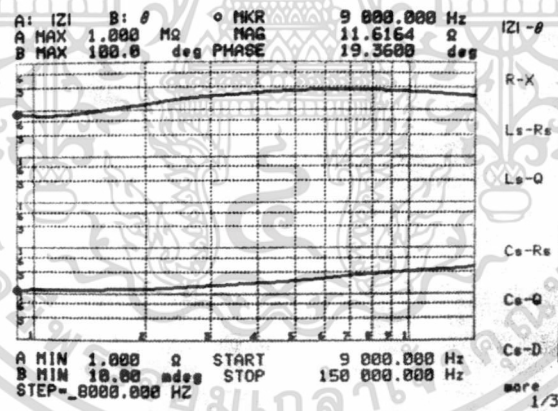
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติอิมพีแดนซ์ด้านออกของ LISN EMC LAB



รูปที่ 4.23 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Line to Ground (L-G)

จากรูป เป็นลักษณะการต่อเพื่อวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยในที่นี้เป็นการเลือกวัดค่าอิมพีแดนซ์ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอิมพีแดนซ์นั้น จำเป็นต้องต่อ Broadband Load เพื่อเป็นการรักษาอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีสถานะคงที่ 50 Ω ตลอดการทดสอบ



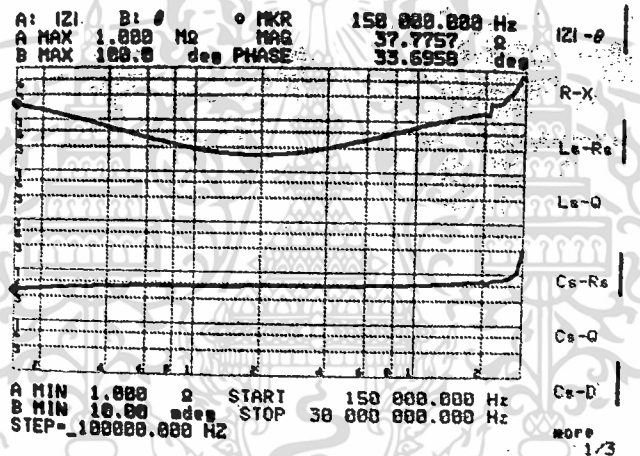
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	FREQUENCY [Hz]	MAG (Ω)	PHASE [deg]
10	9 000.000	11.7399	19.8992
11	10 522.598	11.8124	17.8964
12	12 302.786	11.9128	16.6387
13	14 304.142	12.0031	20.3943
14	16 817.617	12.3848	22.8918
15	19 662.781	12.8350	25.5596
16	22 989.283	13.4318	28.3927
17	26 878.555	14.2377	31.2962
18	31 425.884	15.2242	33.8628
19	36 742.346	16.4489	36.2712
20	42 958.328	17.9263	38.2509
21	50 225.915	19.6824	39.7779
22	58 723.015	21.6849	40.6411
23	68 657.633	23.9569	40.9674
24	80 272.967	26.4784	40.6621
25	93 853.355	29.1695	39.6682
26	109 731.240	31.9833	38.1853
27	128 295.308	34.8245	36.1688
28	150 000.000	37.5960	33.8418

MEASURE N= 18 START 9 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 19 STOP 150 000.000 Hz
 STEP= 8000.000 HZ

รูปที่ 4.25 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

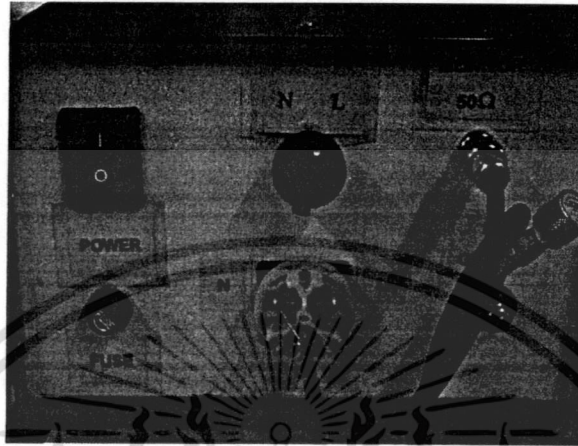
N	FREQUENCY [Hz]	MAG (Ω)	PHASE [deg]
19	150 000.000	37.7897	33.6645
20	195 498.198	42.8654	29.1323
21	254 796.978	45.5782	24.5278
22	332 882.323	48.2212	20.2132
23	432 889.972	50.8828	16.4828
24	564 890.464	51.3299	13.4653
25	735 191.128	52.1536	11.1287
26	958 198.272	52.7884	9.44778
27	1 248 829.811	53.0919	8.32628
28	1 627 626.519	53.3969	7.77671
29	2 121 328.344	53.6877	7.68929
30	2 764 762.832	54.0026	8.18285
31	3 603 373.382	54.4382	9.08863
32	4 696 353.258	55.0312	10.5135
33	6 128 857.328	56.8658	12.4056
34	7 977 443.845	57.4172	15.1786
35	10 397 172.647	59.7945	18.6325
36	13 558 856.785	63.6393	22.2688
37	17 661 128.568	68.7979	26.8041
38	23 818 114.978	74.2875	36.3697
39	30 000 000.000	347.228	108.974

MEASURE N= 19 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP= 1500000.000 HZ

รูปที่ 4.27 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

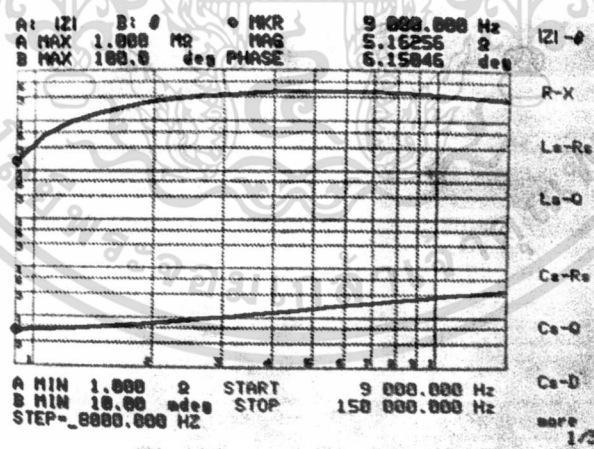
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิตช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 30 MHz จะเห็นว่า ค่าอิมพีแดนซ์จะแปรผันตามความถี่ โดยจากการทดสอบ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ 50 Ω ที่ความถี่ประมาณ 432 kHz



รูปที่ 4.28 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Neutral to Ground (N-G)

จากรูป เป็นลักษณะการต่อเพื่อวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยในที่นี้เป็นการเลือกวัดค่าอิมพีแดนซ์ ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิดสวิตช์ไปที่ โหมด Line (L) ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอิมพีแดนซ์นั้นจำเป็นต้องต่อ Boardband Load เพื่อเป็นการรักษาอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีสถานะคงที่ 50 Ω ตลอดการทดสอบ



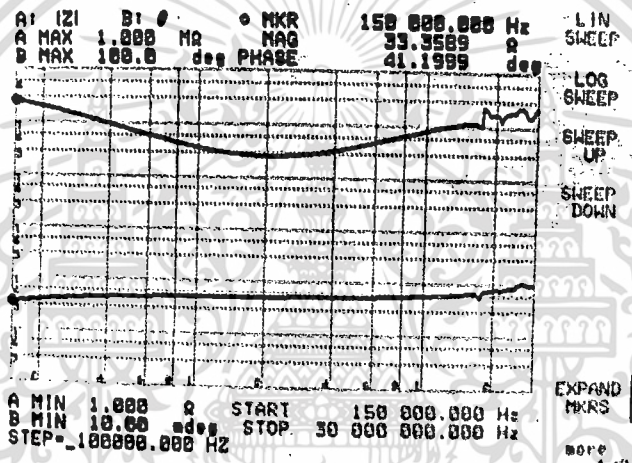
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิดสวิตช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]	
9	000.000	5.17283	6.12348	Iz-O
10	522.598	5.36629	13.7423	
12	302.786	5.67134	20.8707	R-X
14	584.142	6.10569	27.5362	
16	817.617	6.66026	33.8433	
18	662.781	7.35934	39.1497	
22	959.283	8.21656	42.4335	LS-Rs
26	878.555	9.22659	46.0265	
31	425.604	10.4802	48.7291	
36	742.346	11.8025	50.8072	LS-O
42	559.328	13.4044	52.1959	
50	225.915	15.2435	52.9167	
58	733.015	17.3060	52.8703	
68	557.653	19.6079	52.2451	
80	272.967	22.1171	51.0846	CS-Rs
93	853.355	24.8100	49.2215	
109	731.248	27.6330	46.9997	
128	295.300	30.5021	44.2185	CS-O
150	882.000	33.3255	41.2249	CS-D

MEASURE N= 10 START 9 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 19 STOP 150 000.000 Hz
 STEP= 8000.000 HZ

รูปที่ 4.30 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยปิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยปิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

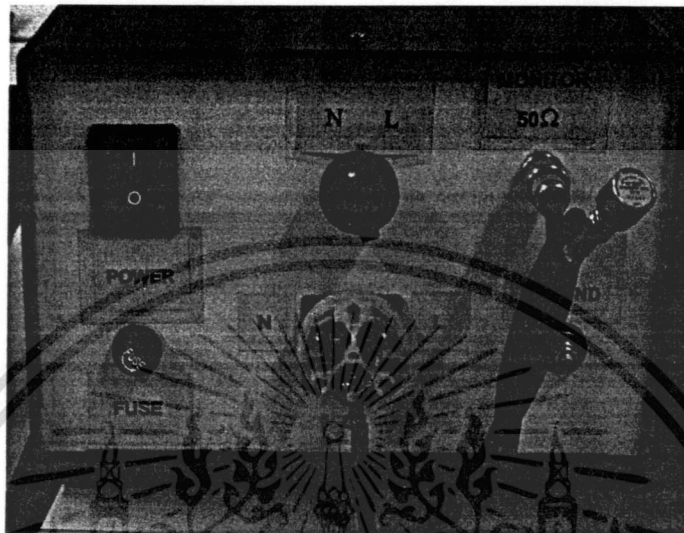
N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]	
10	150 000.000	33.3579	41.2063	Iz-O
11	195 498.198	37.8256	35.5803	
12	254 796.970	41.6060	29.9316	
13	332 082.323	44.5264	24.6627	R-X
14	432 009.972	46.6298	20.0735	
15	564 890.464	48.0520	16.3035	
16	735 191.128	48.9805	13.4131	LS-Rs
17	958 190.272	49.6055	11.2761	
18	1 248 829.811	50.0568	9.75685	
19	1 627 626.519	50.3843	8.94277	LS-O
20	2 111 328.344	50.6653	8.69224	
21	2 764 762.032	51.0271	8.99473	
22	3 603 373.302	51.4785	9.87989	
23	4 696 353.250	52.1658	11.3661	
24	6 120 857.320	53.2948	13.4565	CS-Rs
25	7 977 443.845	54.9918	16.1625	
26	10 397 172.647	57.7341	19.4887	
27	13 550 856.785	62.2899	22.8573	CS-O
28	17 661 128.560	68.7359	26.2441	
29	23 018 114.970	76.1819	32.6738	
30	30 000 000.000	86.6802	37.8393	CS-D

MEASURE N= 20 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP= 150000.000 HZ

รูปที่ 4.32 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยปิดสวิทช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 150 Hz – 30 MHz

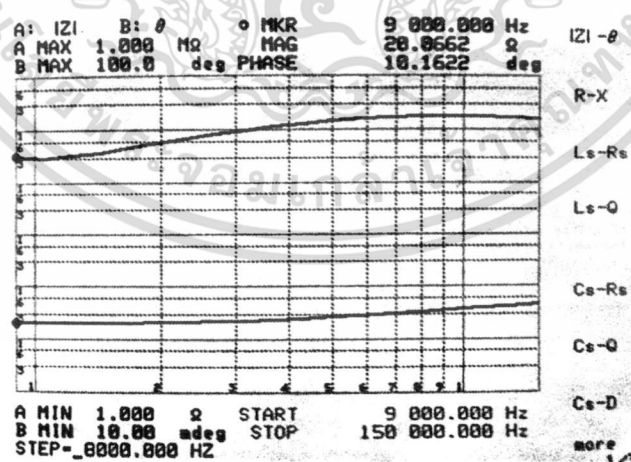
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Line (L) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz จะเห็นว่า ค่าอิมพีแดนซ์จะแปรผันตามความถี่ โดยจากการทดสอบ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ 50 Ω ที่ความถี่ช่วงประมาณ 1.2 MHz – 2.1 MHz



รูปที่ 4.33 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Line to Ground (L-G)

จากรูป เป็นลักษณะการต่อเพื่อวัดค่าอิมพีแดนซ์โดยในที่นี้เป็นการเลือกวัดค่า Impedance ใน โหมด Line to Ground (L-G) โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอิมพีแดนซ์นั้น จำเป็นต้องต่อ Broadband Load เพื่อเป็นการรักษาอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีสถานะคงที่ 50 Ω ตลอดการทดสอบ



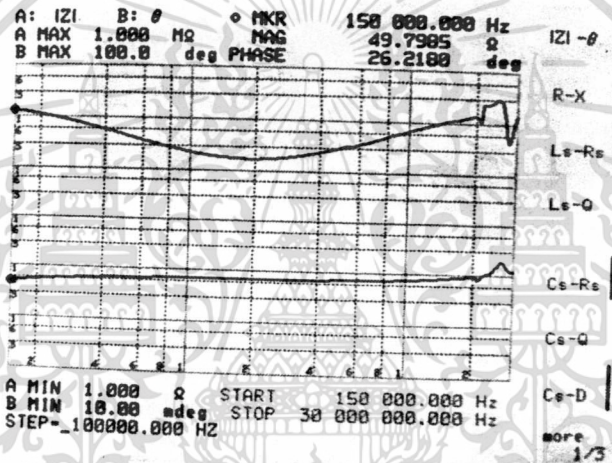
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]	
10	9 000.000	26.4335	7.66172	IZI-θ
10	10 522.590	26.5100	7.17303	
10	12 302.786	26.5109	7.51295	
10	14 384.142	26.5202	8.50885	R-X
10	16 817.617	26.7149	9.84794	
10	19 662.781	26.9597	11.3125	
10	22 989.263	27.3292	12.9107	Le-Rs
10	26 878.555	27.8469	14.7415	
10	31 425.884	28.5137	16.6442	
10	36 742.346	29.3966	18.6726	Le-Q
10	42 958.328	30.5135	20.6722	
10	50 225.915	31.9281	22.6620	
10	60 723.015	33.6494	24.3558	
10	68 657.633	35.6986	25.8476	
10	80 272.967	38.0855	26.9282	Cs-Rs
10	93 853.355	40.7844	27.4763	
10	109 731.240	43.7180	27.5614	
10	128 295.300	46.8349	27.0406	Cs-Q
10	150 000.000	49.9758	26.1244	Cs-D

MEASURE N= 10 START 9 000.000 Hz STOP 150 000.000 Hz
SWEEP N= 1 → 19 STEP= 0000.000 HZ

รูปที่ 4.35 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

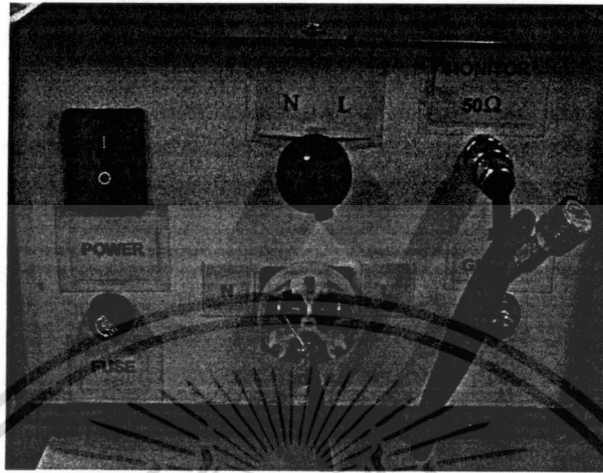
N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]	
15	150 000.000	49.8628	26.1784	IZI-θ
15	195 498.198	54.9604	23.6448	
15	254 796.970	59.3644	20.5087	
15	332 082.323	62.7988	17.2254	R-X
15	432 809.972	65.2550	14.2320	
15	564 090.464	66.9388	11.6834	
15	735 191.128	68.0349	9.67851	Le-Rs
15	958 198.272	68.7460	8.21191	
15	1 248 829.811	69.2427	7.20435	
15	1 627 626.519	69.5964	6.71096	Le-Q
15	2 121 320.344	69.8872	6.61883	
15	2 764 762.032	70.1827	6.96914	
15	3 603 373.302	70.5825	7.79170	
15	4 696 353.250	71.1550	9.20747	
15	6 120 857.320	72.2433	10.8878	Cs-Rs
15	7 977 443.845	73.5712	13.6017	
15	10 397 172.647	76.3417	17.0994	
15	13 550 856.785	81.0682	20.9035	Cs-Q
15	17 661 120.568	89.0665	24.8419	
15	23 018 114.970	105.430	38.7102	
15	30 000 000.000	119.697	27.8553	Cs-D

MEASURE N= 15 START 150 000.000 Hz STOP 30 000 000.000 Hz
SWEEP N= 1 → 21 STEP= 150000.000 HZ

รูปที่ 4.37 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

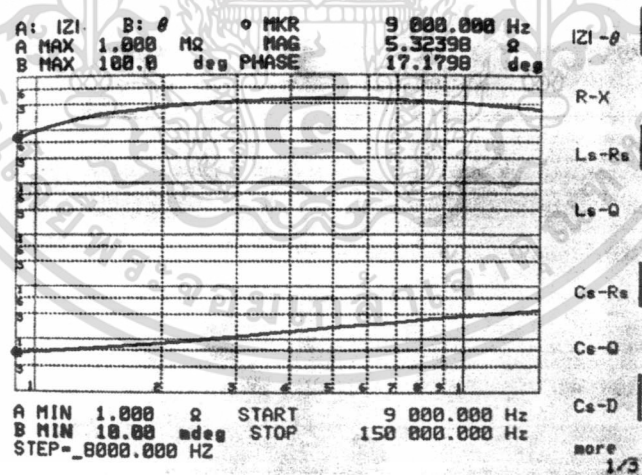
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ในโหมด Line to Ground (L-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะเห็นว่า ค่าอิมพีแดนซ์จะแปรผันตามความถี่ โดยจากการทดสอบ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ 50 Ω ที่ความถี่ประมาณ 150 kHz



รูปที่ 4.38 การต่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) โหมด Neutral to Ground (N-G)

จากรูป เป็นลักษณะการต่อเพื่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ โดยในที่นี้เป็นการเลือกวัดค่าอิมพีแดนซ์ ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอิมพีแดนซ์นั้น จำเป็นต้องต่อ Broadband Load เพื่อเป็นการรักษาอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีสถานะคงที่ 50 Ω ตลอดการทดสอบ



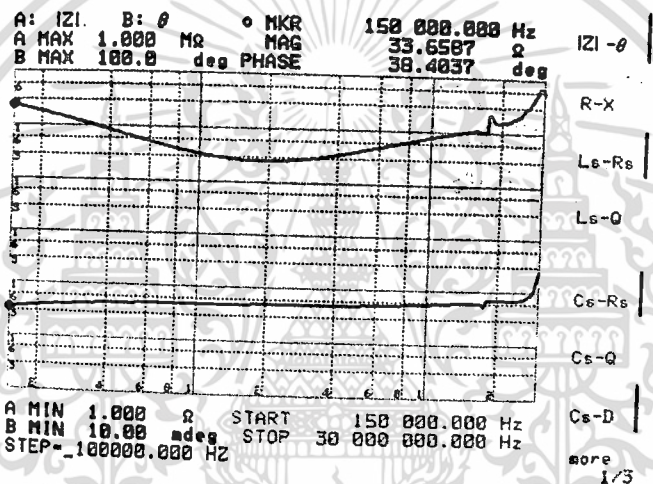
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิดสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]	
9	000.000	5.32527	17.2721	Z1-θ
10	522.598	5.68184	23.3829	
11	302.786	6.16185	28.8773	
12	384.142	6.72546	33.6307	R-X
13	817.617	7.40521	37.8538	
14	662.781	8.18671	41.3710	
15	989.283	9.10174	44.3461	Ls-Rs
16	878.555	10.1741	46.7921	
17	425.804	11.3933	48.6900	
18	742.346	12.8042	50.0796	Ls-Q
19	958.328	14.4171	50.9286	
20	225.915	16.2599	51.2168	
21	723.015	18.3038	50.8550	
22	657.633	20.5725	49.9868	
23	272.967	23.0287	48.6800	Cs-Rs
24	853.355	25.6285	46.5951	
25	731.240	28.3168	44.2636	
26	295.308	31.0149	41.4223	Cs-Q
27	000.000	33.6198	38.4231	Cs-D

MEASURE N= 10 START 9 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 19 STOP 150 000.000 Hz
 STEP= 8000.000 Hz

รูปที่ 4.40 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

N	FREQUENCY [Hz]	MAG [Ω]	PHASE [deg]	
150	000.000	33.6484	38.4242	Z1-θ
195	498.198	37.6691	32.8995	
254	796.970	40.9722	27.5011	
332	882.323	43.4660	22.5856	R-X
432	809.972	45.2173	18.3823	
564	890.464	46.4132	15.0114	
735	191.128	47.3040	12.4193	
958	190.272	47.7335	10.5336	Ls-Rs
1 248	829.811	48.1338	9.30536	
1 627	626.519	48.4592	8.67886	
2 121	320.344	48.8038	8.60895	Ls-Q
2 764	762.832	49.2018	9.05262	
3 603	373.302	49.7410	9.98648	
4 696	353.250	50.5275	11.5158	
6 120	857.320	51.8195	13.4804	Cs-Rs
7 977	443.845	53.5198	15.8978	
10 397	172.647	56.0832	18.7224	
13 558	856.785	59.7017	21.2836	Cs-Q
17 661	120.560	52.7289	36.2539	
23 018	114.978	68.2865	32.0285	
30 000	000.000	263.936	85.6077	Cs-D

MEASURE N= 20 START 150 000.000 Hz
 SWEEP N= 1 → 21 STOP 30 000 000.000 Hz
 STEP= 150000.000 Hz

รูปที่ 4.42 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิทช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบวัดค่าอิมพีแดนซ์ในโหมด Neutral to Ground (N-G) โดยบิตสวิตช์ไปที่ โหมด Neutral (N) ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz จะเห็นว่า ค่าอิมพีแดนซ์จะแปรผันตามความถี่ โดยจากการทดสอบ จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ 50 Ω ที่ความถี่ประมาณ 4.6 MHz

จากการทดสอบเก็บค่าอิมพีแดนซ์ของ LISN EMC LAB ในโหมดต่างๆเพื่อพิสูจน์ว่า LISN EMC LAB ตัวนี้ สามารถรักษาอิมพีแดนซ์ได้ 50 Ω จริง โดยต้องมีความผิดพลาดไม่เกิน 20 % ในทุกย่านความถี่ใช้งาน คือ ที่ 150 kHz – 30 MHz จะเห็นว่า LISN EMC LAB ตัวนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ในย่านความถี่ใช้งานที่สามารถยอมรับได้

เมื่อได้ผลดังนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทดสอบประสิทธิภาพในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยทำการวัดเก็บถึง 2 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อความแน่นอนเมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปเทียบกับผลที่ได้จาก LISN EMCO ซึ่งเป็น LISN ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการทดสอบของ LISN ทั้ง 2 แบบ โดยยึดถือค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าเดียวกัน



4.4 การทดสอบวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ภายในที่ขนาดกระแสไหลแตกต่างกัน



รูปที่ 4.43 การต่อ LISN EMC LAP ในห้องเพื่อทำการทดสอบ

อุณหภูมิของอุปกรณ์ (เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที)

เมื่อทำการทดสอบกับ EMC Tool kit

กระแส (I) = 0.5 A แรงดัน (V) = 220V

$$L_1 = 250\mu\text{H} = 26.1^\circ\text{C}$$

$$L_2 = 250\mu\text{H} = 25.0^\circ\text{C}$$

$$L_3 = 50\mu\text{H} = 25.1^\circ\text{C}$$

$$L_4 = 50\mu\text{H} = 24.7^\circ\text{C}$$

$$C_1 = 3\mu\text{F} = 25.3^\circ\text{C}$$

$$C_2 = 3\mu\text{F} = 25.0^\circ\text{C}$$

$$C_3 = 8\mu\text{F} = 27.5^\circ\text{C}$$

$$C_4 = 8\mu\text{F} = 24.8^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิของอุปกรณ์ (เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที.)

เมื่อทำการทดสอบกับโหลด

กระแส (I) = 7.5 A แรงดัน (V) = 220V

$$L_1 = 250\mu\text{H} = 37.9^\circ\text{C}$$

$$L_2 = 250\mu\text{H} = 41.0^\circ\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_3 = 50\mu\text{H} = 39.0^\circ\text{C}$$

$$L_4 = 50\mu\text{H} = 42.7^\circ\text{C}$$

$$C_1 = 3\mu\text{F} = 32.7^\circ\text{C}$$

$$C_2 = 3\mu\text{F} = 29.8^\circ\text{C}$$

$$C_3 = 8\mu\text{F} = 39.0^\circ\text{C}$$

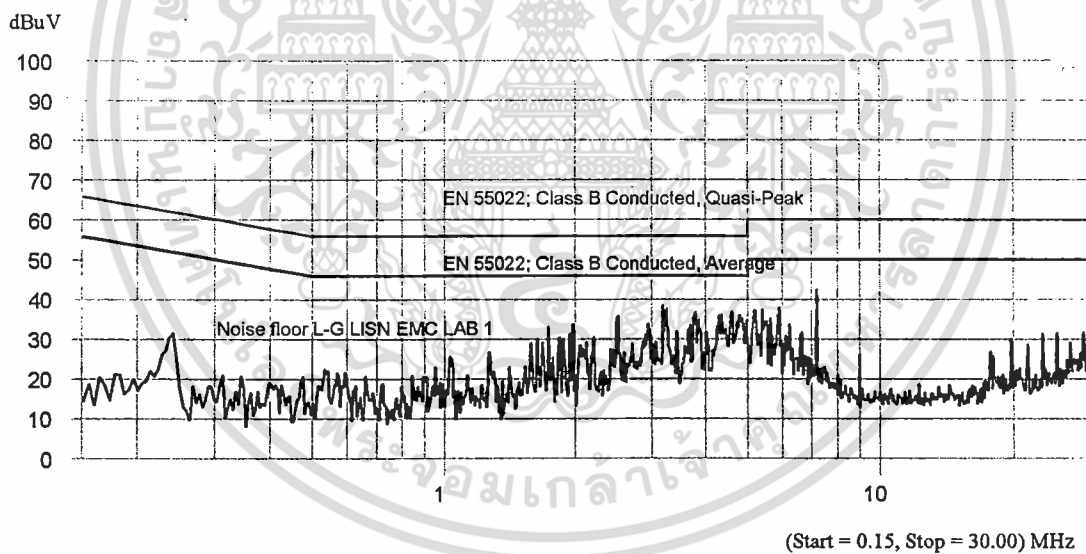
$$C_4 = 8\mu\text{F} = 39.7^\circ\text{C}$$

จากการทดสอบจะเห็นว่าอุณหภูมิของอุปกรณ์ภายใน LISN EMC LAB ที่โหลดกระแสสูง 7.5 A นั้นมีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก โดยเฉพาะตัวเหนี่ยวนำ L1, L2, L3, L4 ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าพิกัดของท่อพีวีซีที่ใช้ทำแกนคือที่พิกัดไม่เกิน 60°C

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (NOISE)

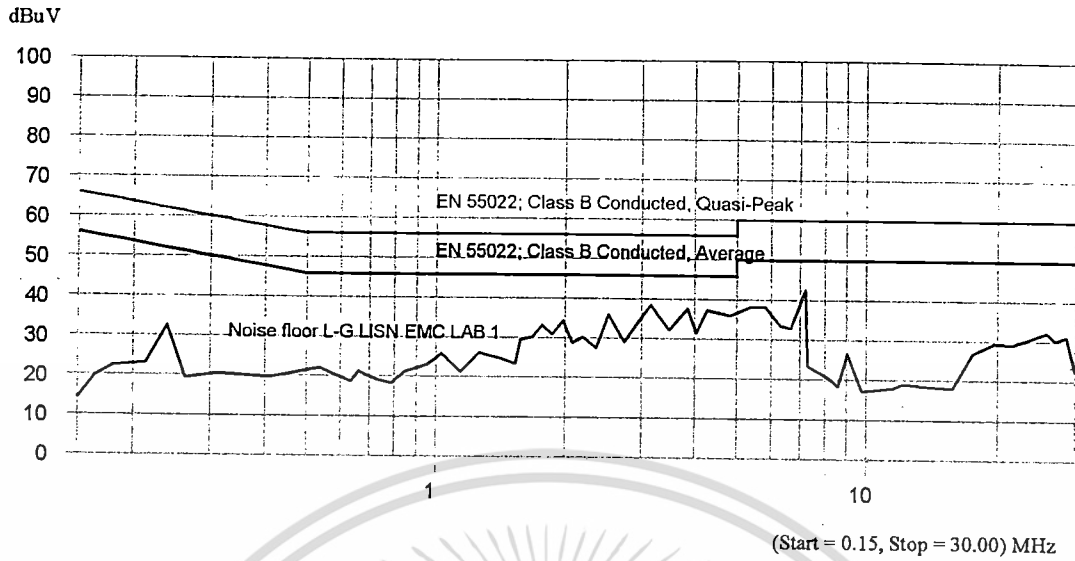
4.5.1 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise floor) ของ LISN EMC LAB

1. Noise floor (L-G) ของ LISN EMC LAB



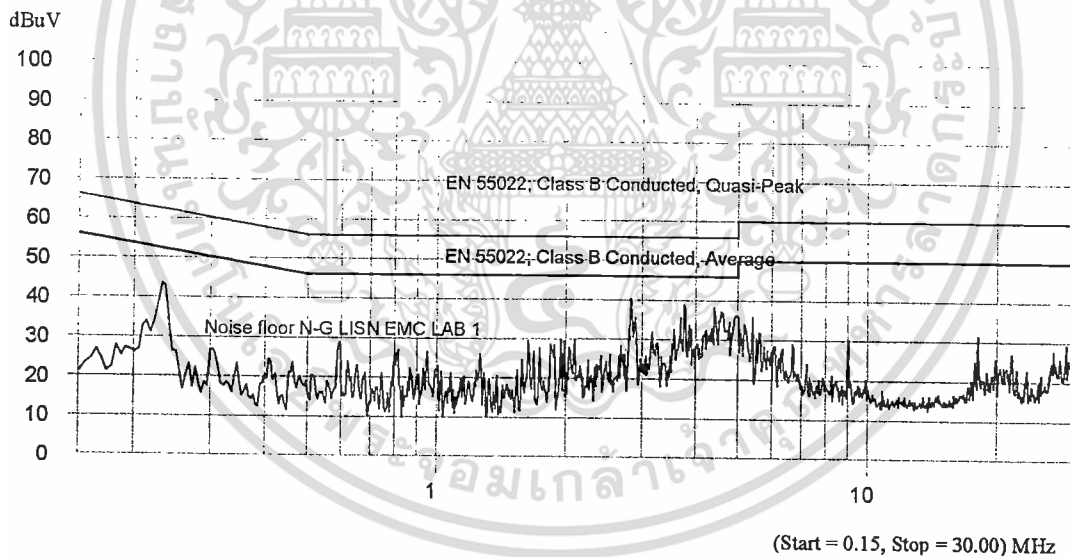
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



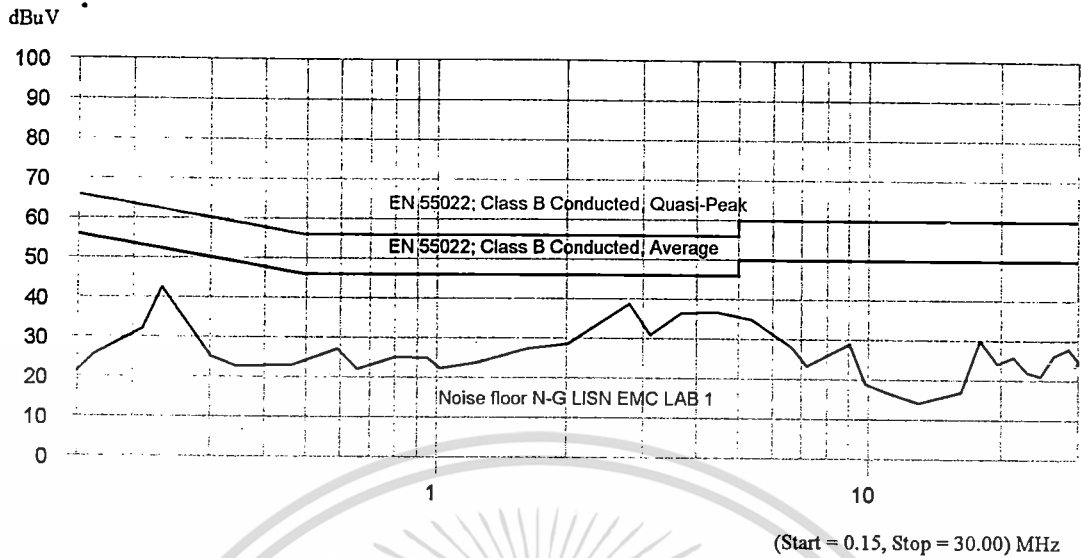
รูปที่ 4.45 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB

2. Noise floor (N - G) ของ LISN EMC LAB



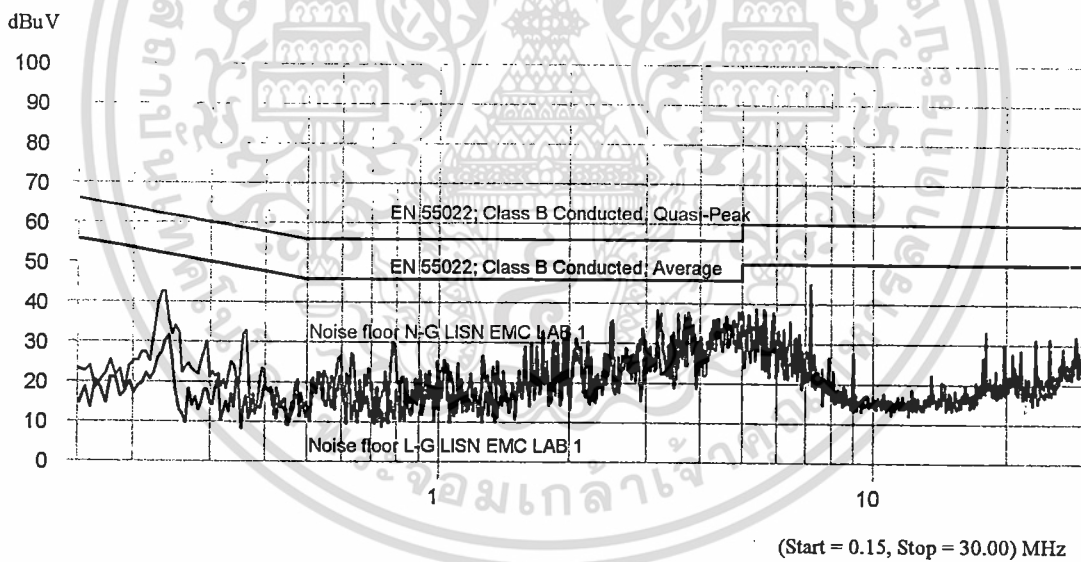
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



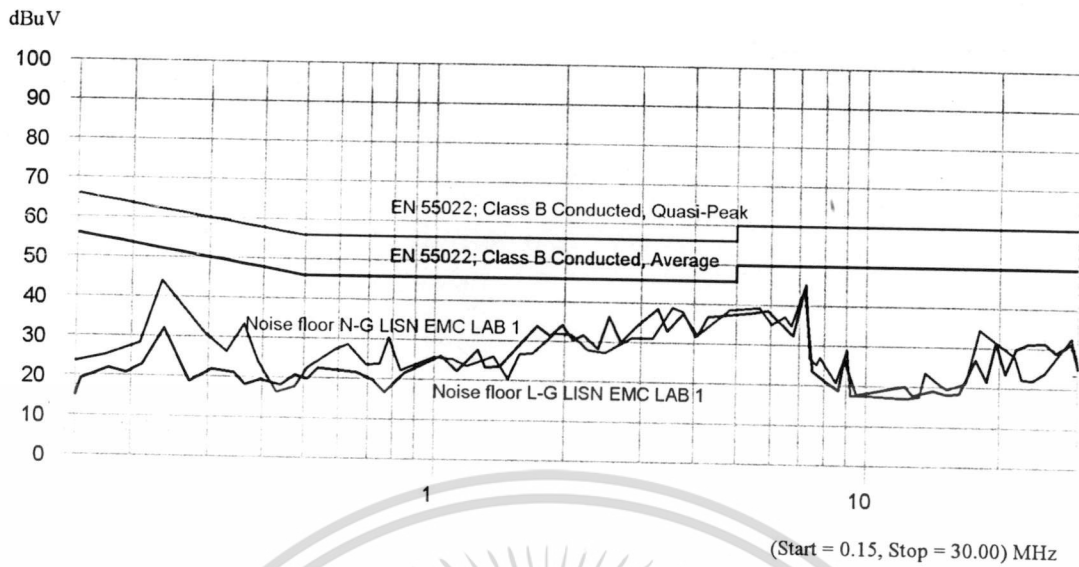
รูปที่ 4.47 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

3.เปรียบเทียบ Noise floor L - G, N - G ของ LISN EMC LAB



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

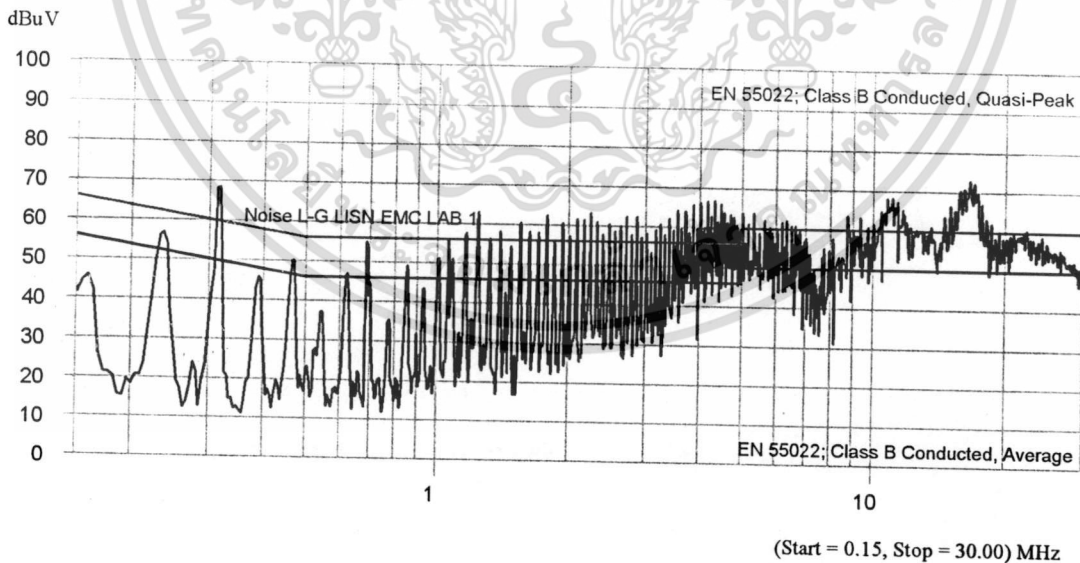


รูปที่ 4.49 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กทางไฟฟ้า Noise floor ระหว่าง Line (L) กับ Neutral (N) ในการทดสอบครั้งที่ 1 ของ LISN EMC LAB มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในช่วงความถี่ 0.15 – 1 MHz แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 1 MHz ไปจนถึง 30 MHz จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน

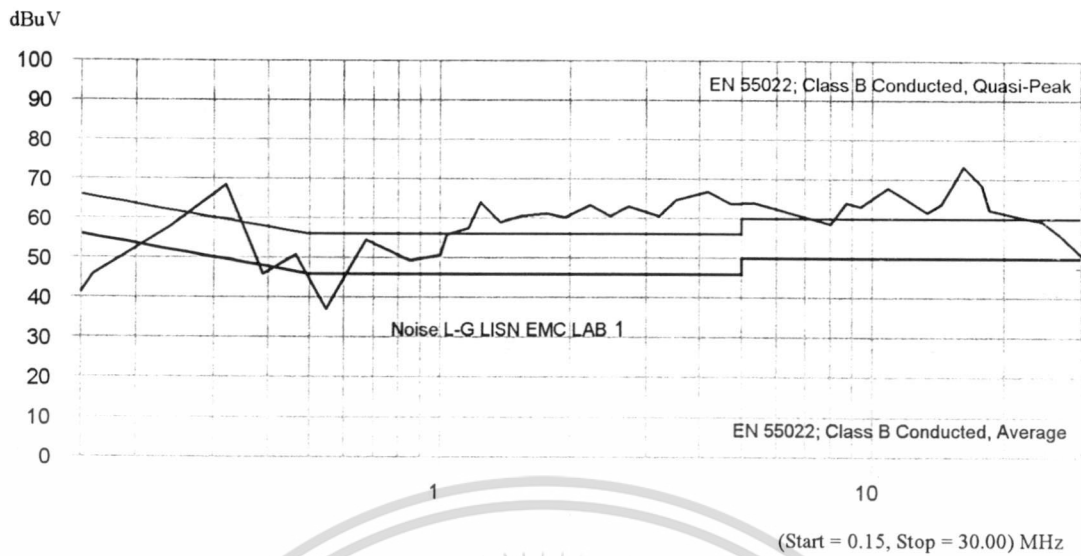
4.5.2 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) ของ LISN EMC LAB

1. สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) L - G ของ LISN EMC LAB



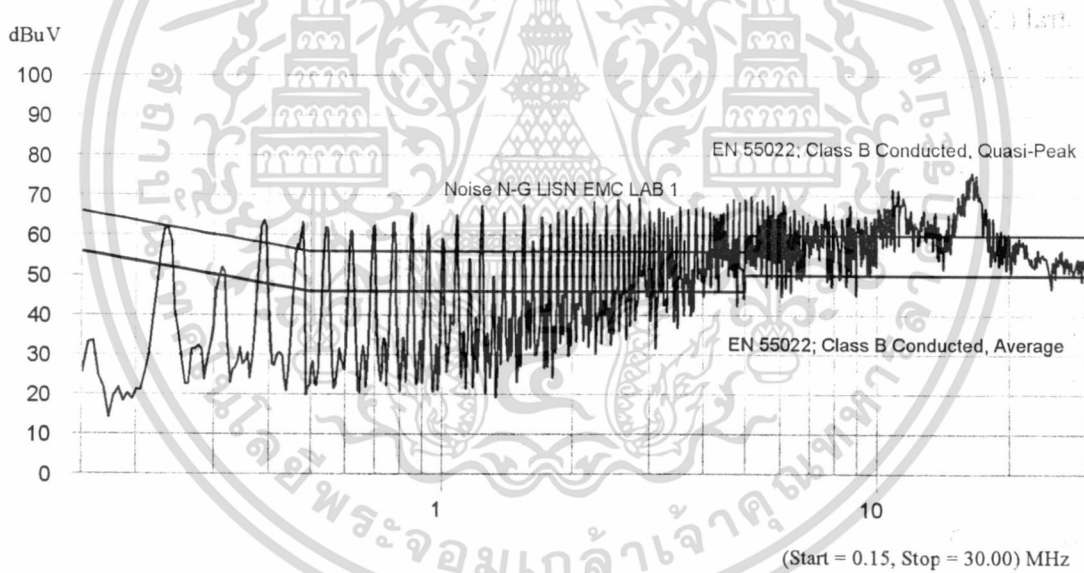
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



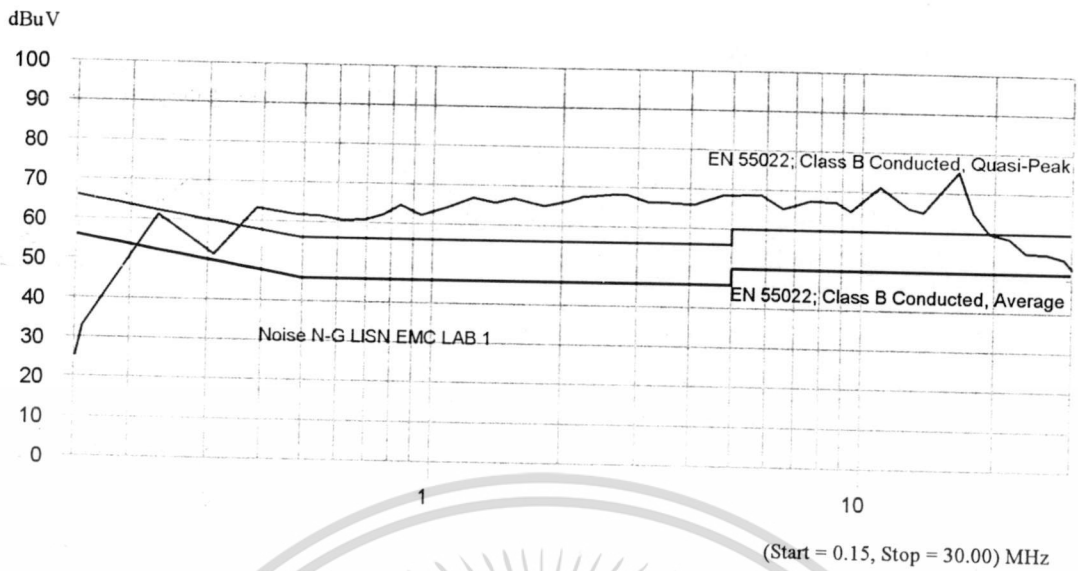
รูปที่ 4.51 กราฟแสดง envelop Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMC LAB

2. สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) N - G ของ LISN EMC LAB



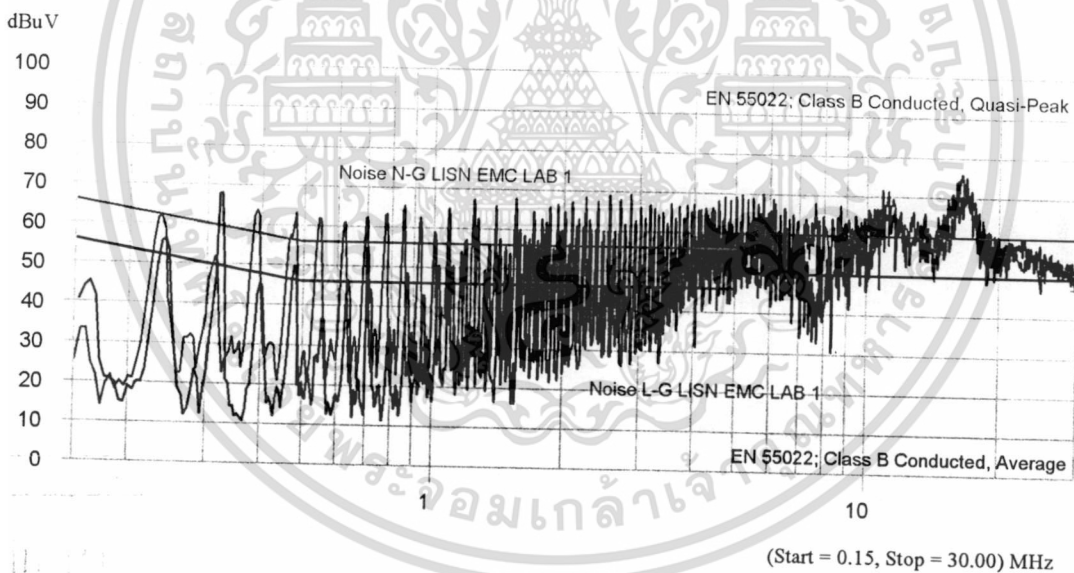
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



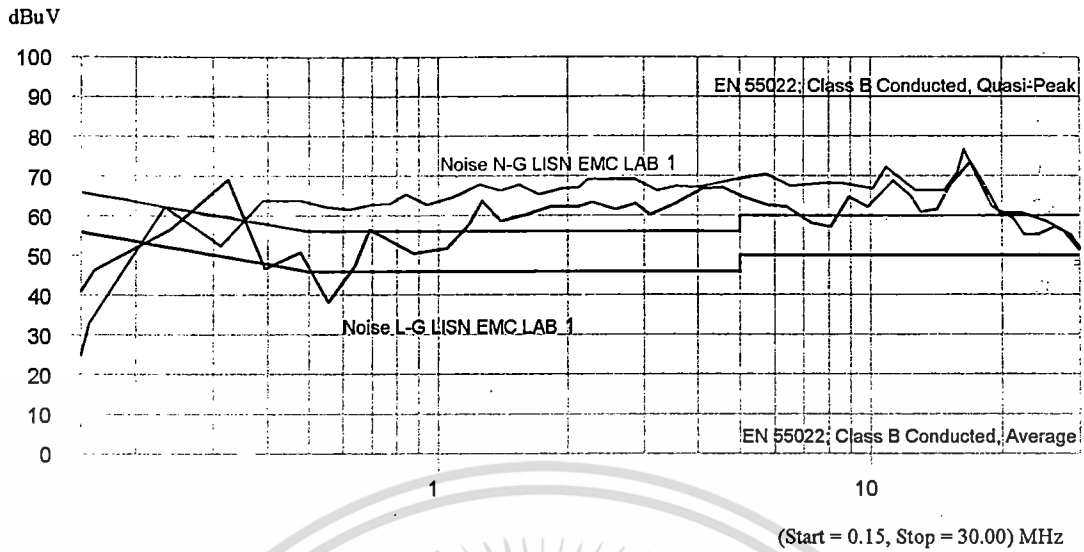
รูปที่ 4.53 กราฟแสดง envelope Noise โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

3. เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) L - G, N - G ของ LISN EMC LAB



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

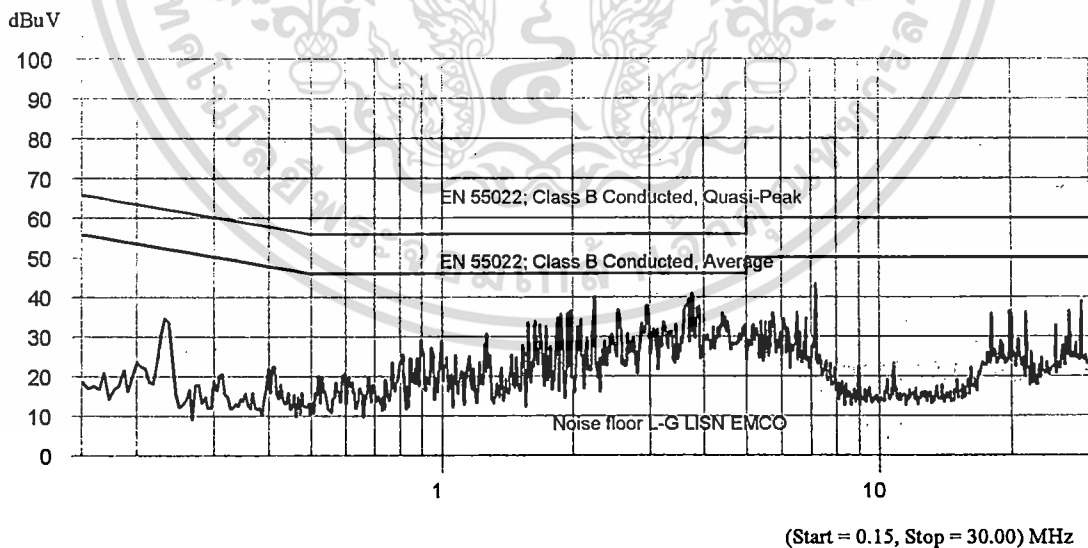


รูปที่ 4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิต
สวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMC LAB

จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) ระหว่าง Line to Ground (L – G) กับ Neutral to Ground (N – G) ของ LISN EMC LAB มีความแตกต่างกันบ้างที่ตลอดช่วงความถี่แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากในช่วงความถี่ 15 MHz - 30 MHz

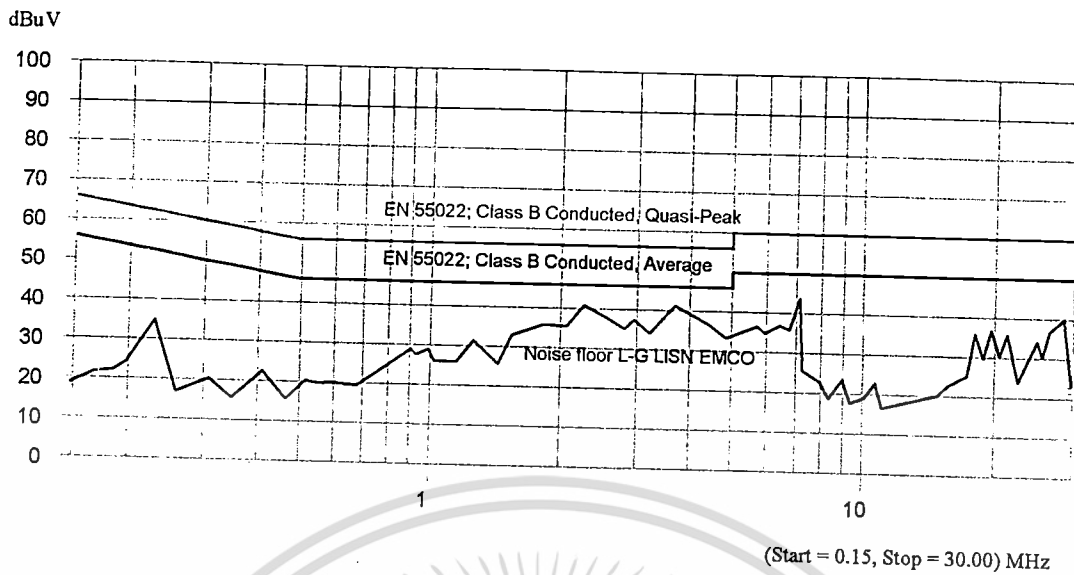
4.5.3 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise floor) ของ LISN EMCO

1. Noise floor L – G ของ LISN EMCO



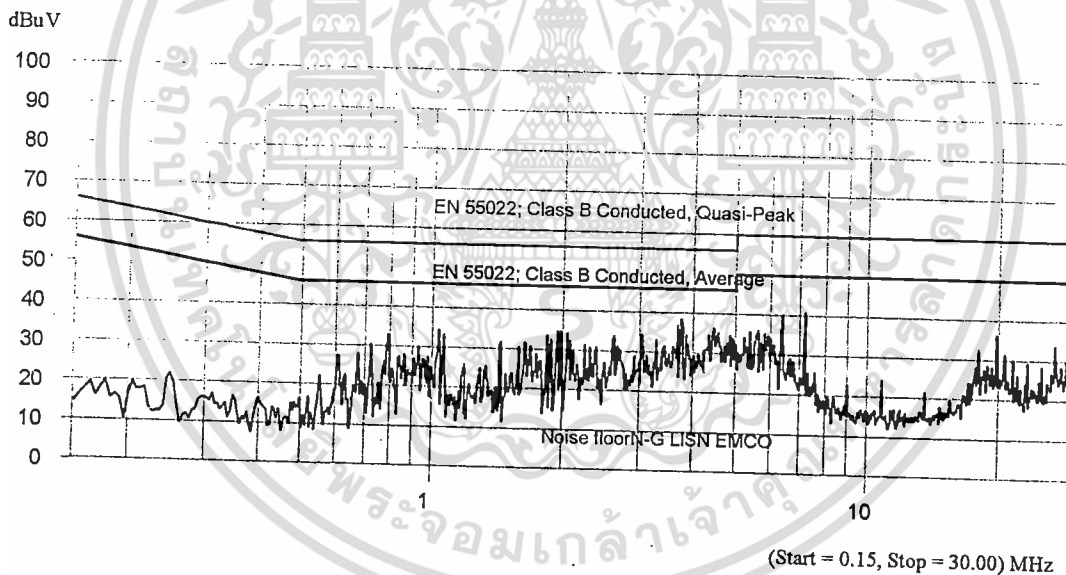
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด
Line (L) ของ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



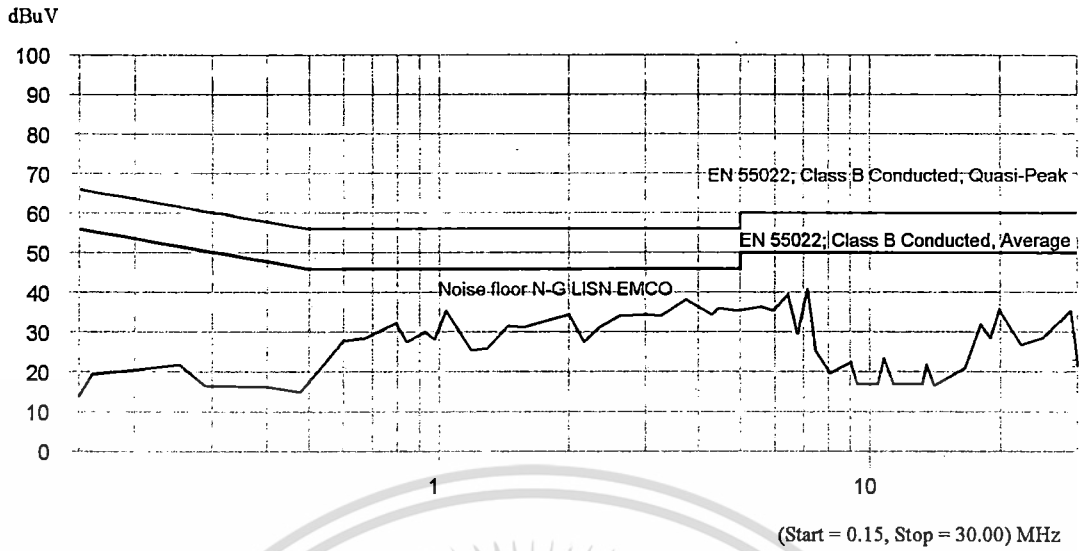
รูปที่ 4.57 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO

2. Noise floor N - G ของ LISN EMCO



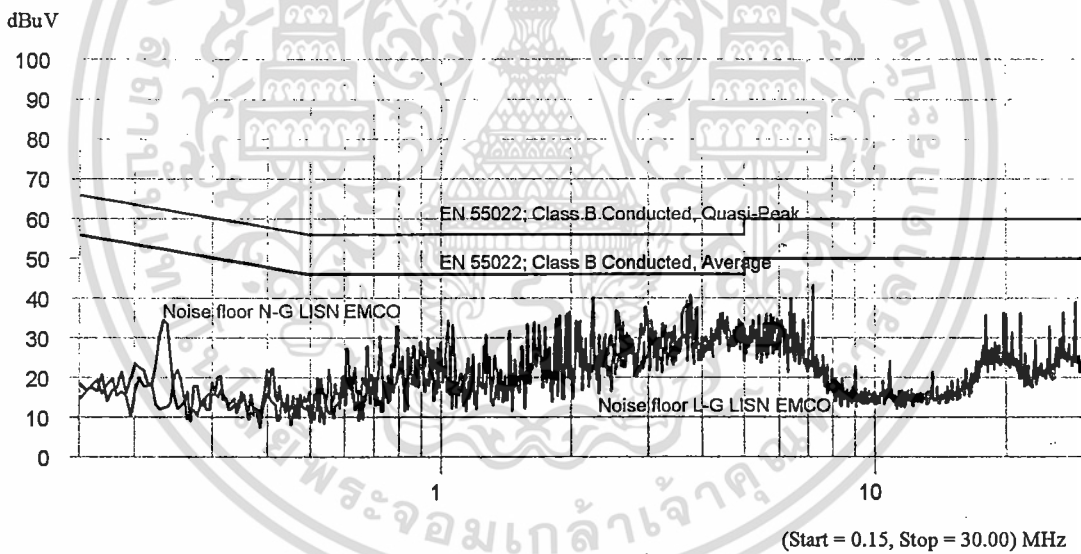
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงสัญญาณรบกวน Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



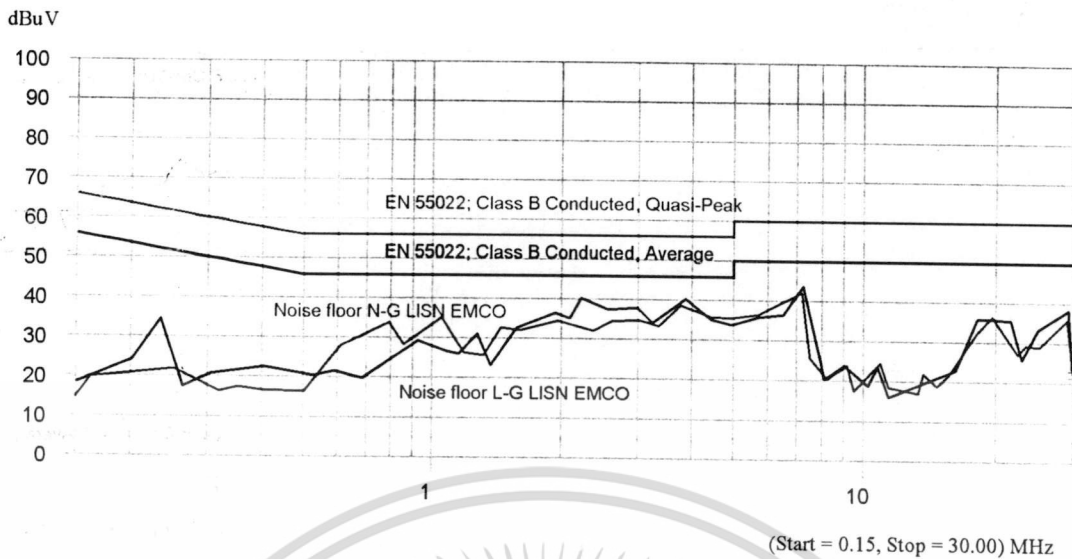
รูปที่ 4.59 กราฟแสดง envelope Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO

3. เปรียบเทียบ L - G, N - G ของ LISN EMCO



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

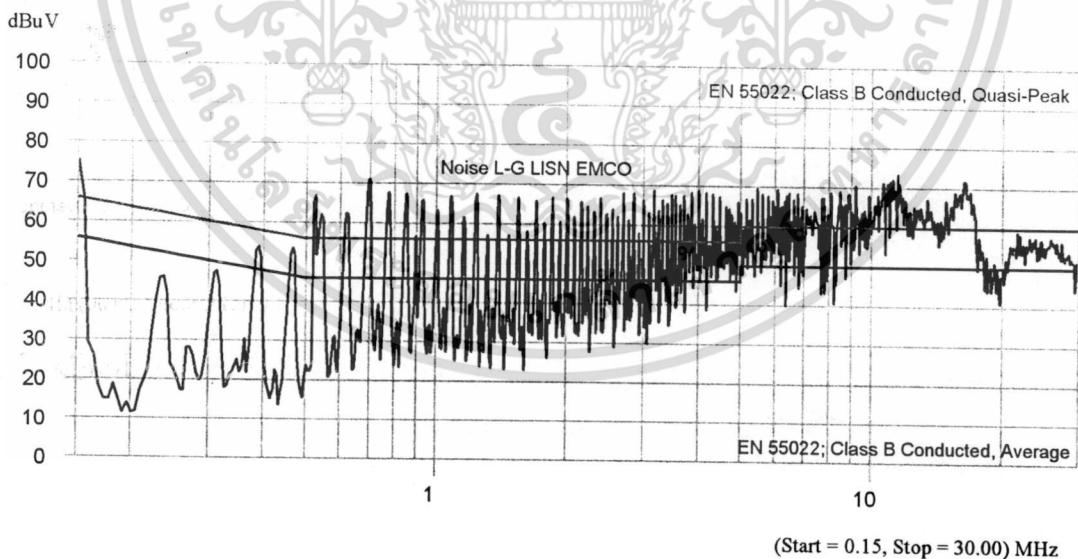


รูปที่ 4.61 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise floor โดยบิดสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO

จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) ระหว่าง Line (L) กับ Neutral (N) มีความใกล้เคียงกันในทุกช่วงความถี่การใช้งาน คือ 150 kHz - 30 MHz

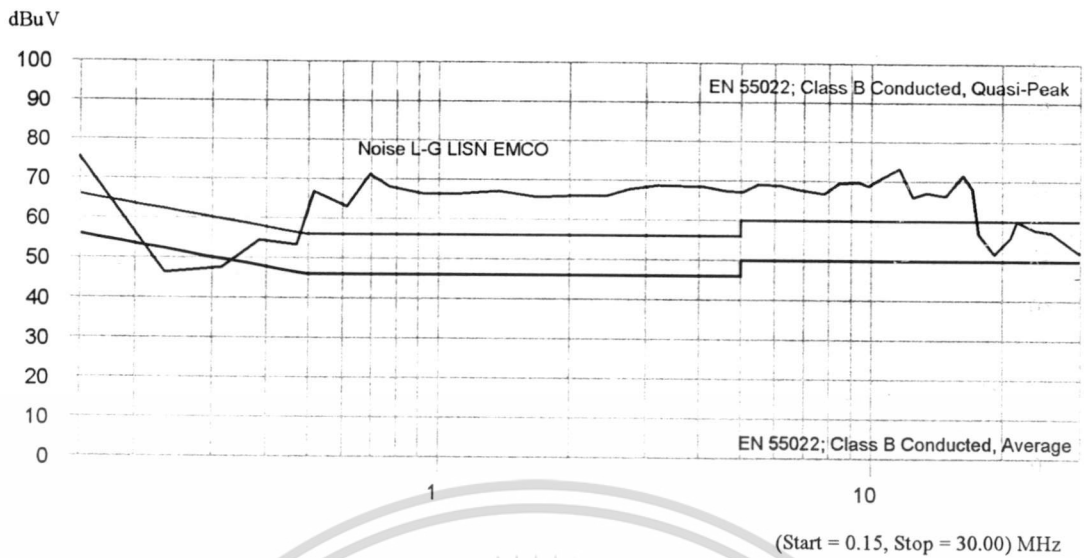
4.5.4 สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) ของ LISN EMCO

1. สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) L - G ของ LISN EMCO



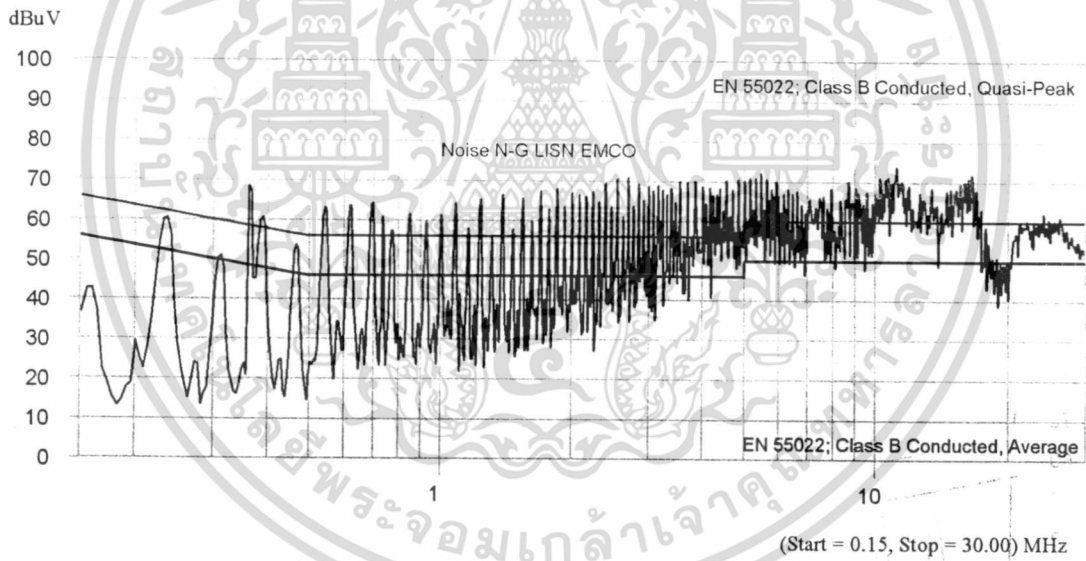
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



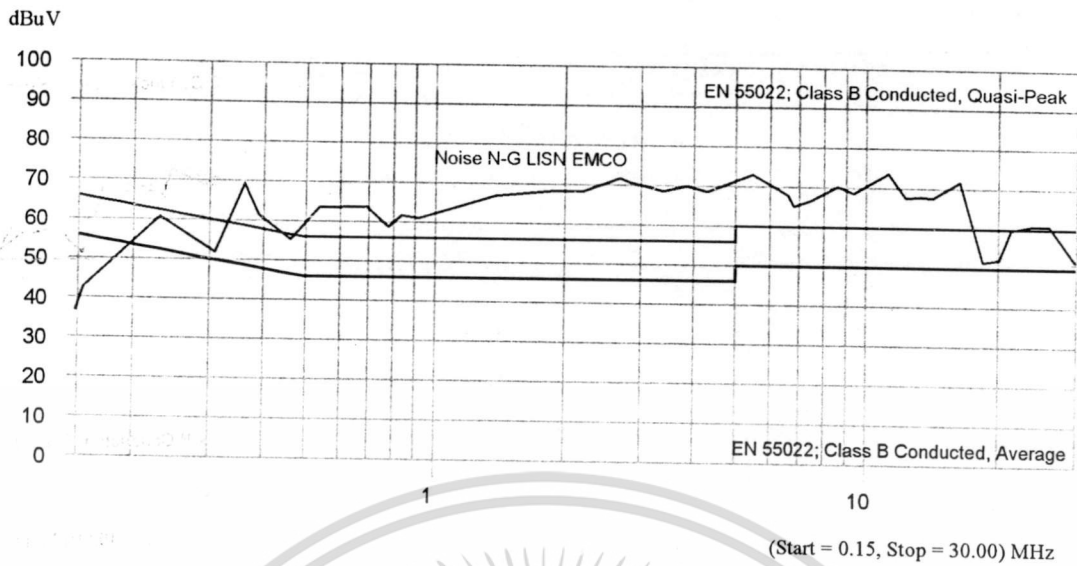
รูปที่ 4.63 กราฟแสดง envelope Noise โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ของ LISN EMCO

2. สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) N-G ของ LISN EMCO



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO

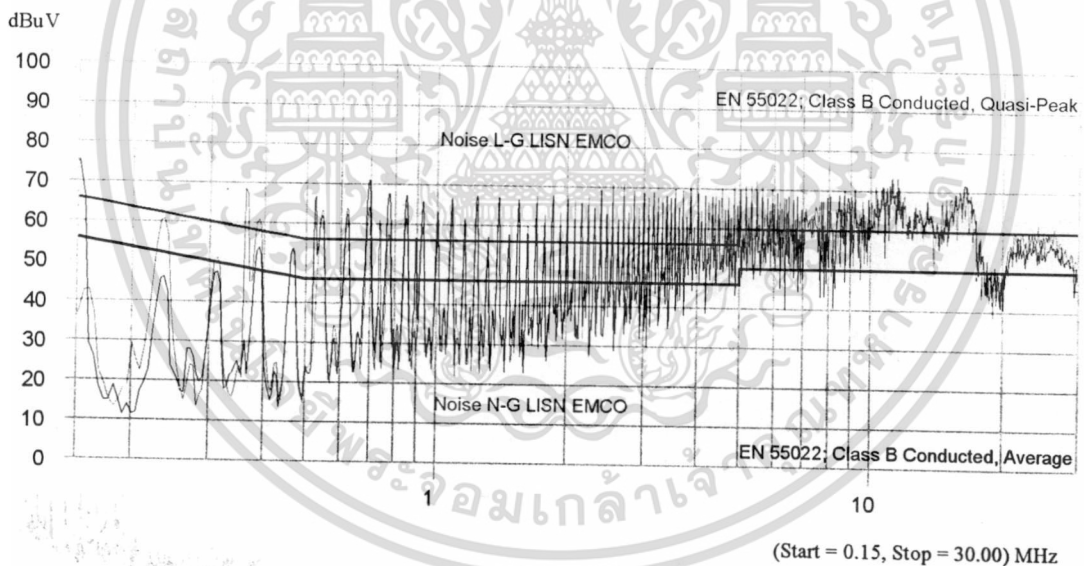
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.65 กราฟแสดง envelope Noise โดยบิตสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ของ LISN EMCO

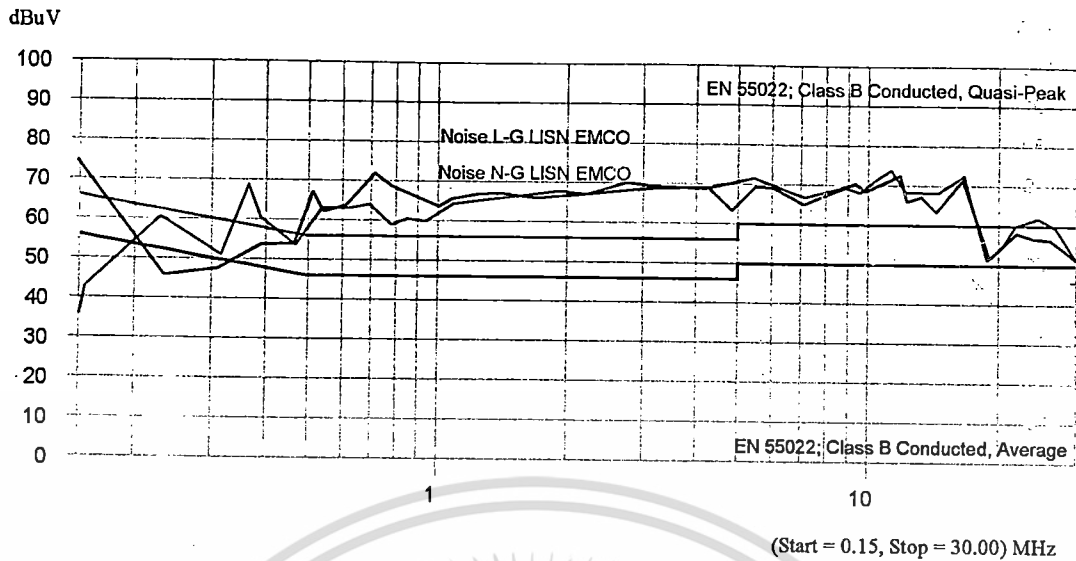
3. เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) L - G, N - G ของ LISN

EMCO



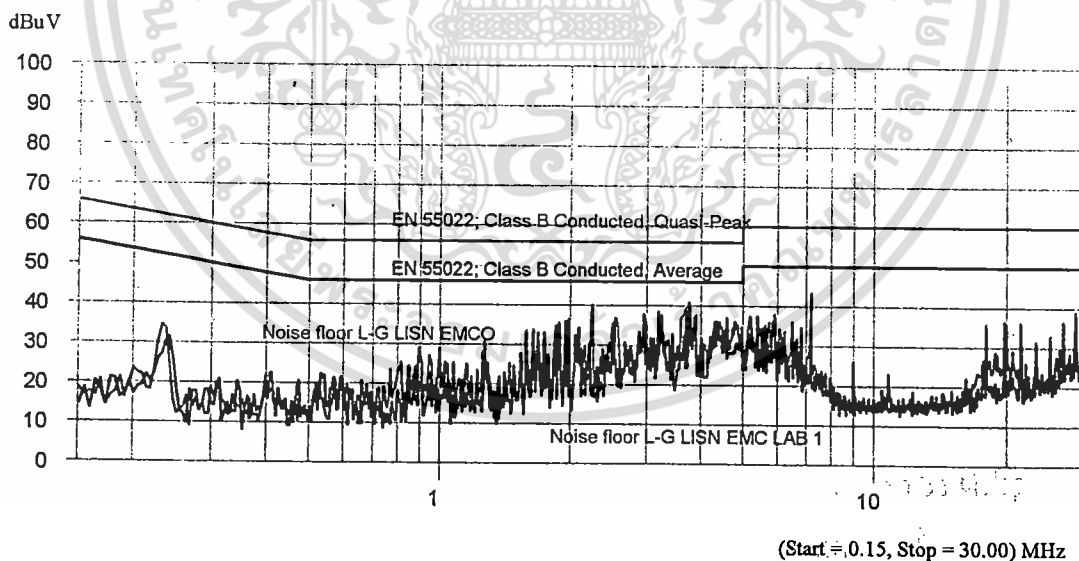
รูปที่ 4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิตสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



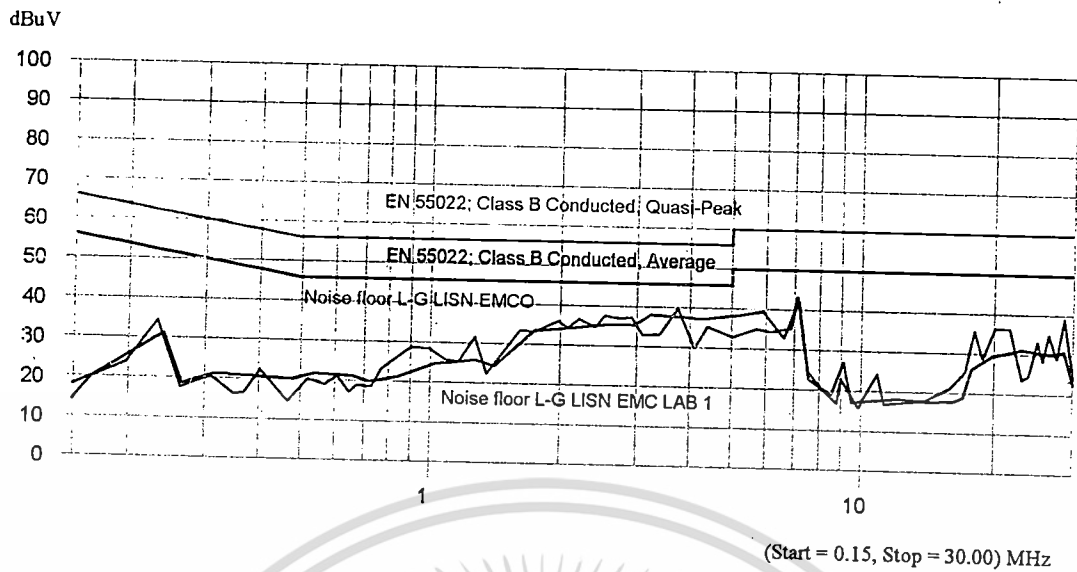
รูปที่ 4.67 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) และ Neutral (N) ของ LISN EMCO จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) ระหว่าง Line (L) กับ Neutral (N) มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ 1 MHz - 30 MHz

4.5.5 การเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ของ LISN EMC LAB กับ LISN EMCO
 1. เปรียบเทียบ Noise floor L - G ของ LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO



รูปที่ 4.68 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO

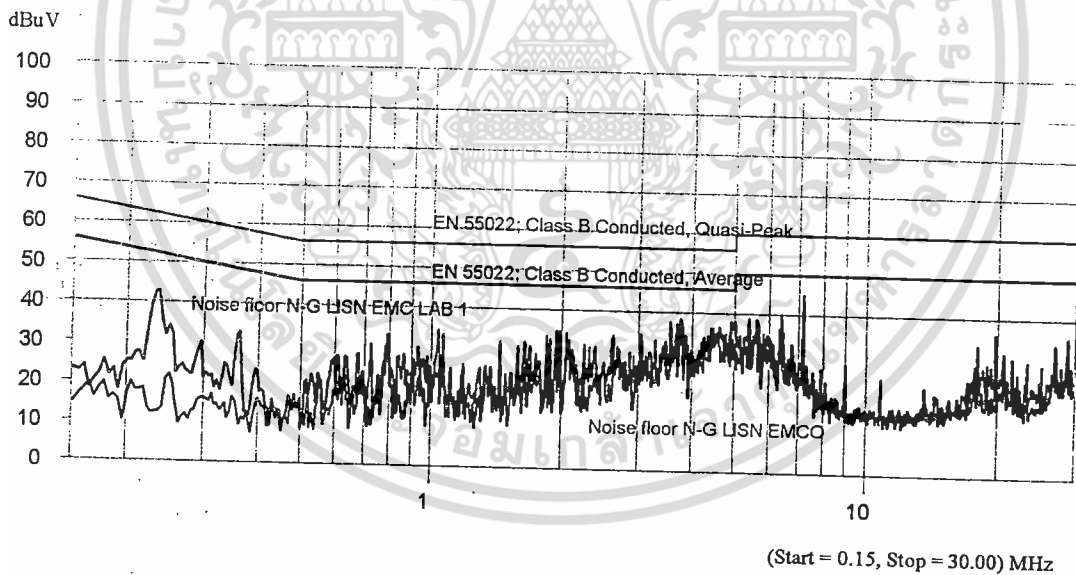
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.69 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO

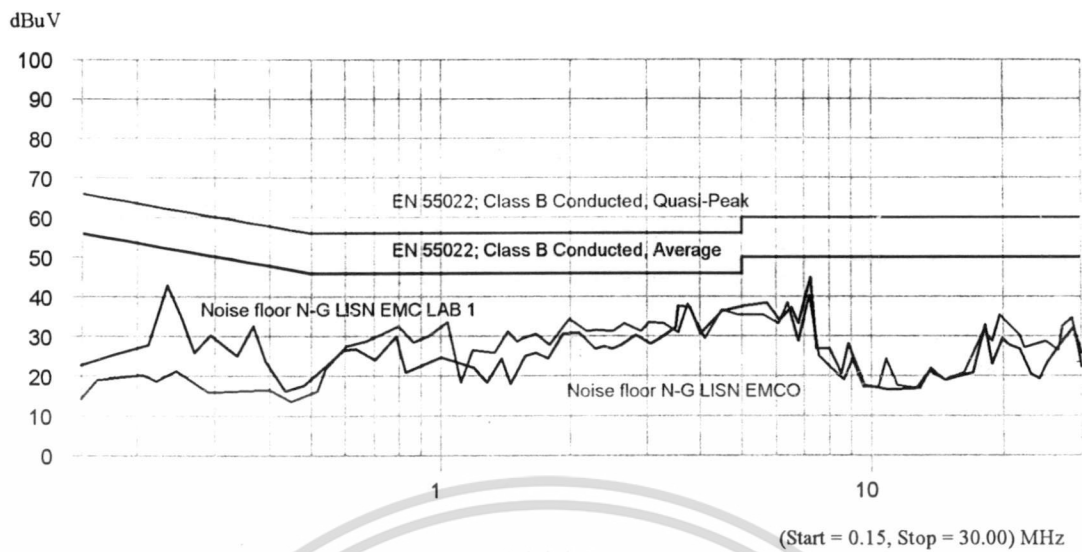
จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 และ LISN EMCO ค่าสัญญาณมีความใกล้เคียงในทุกช่วงความถี่ใช้งาน

2. เปรียบเทียบ Noise floor N - G ของ LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO



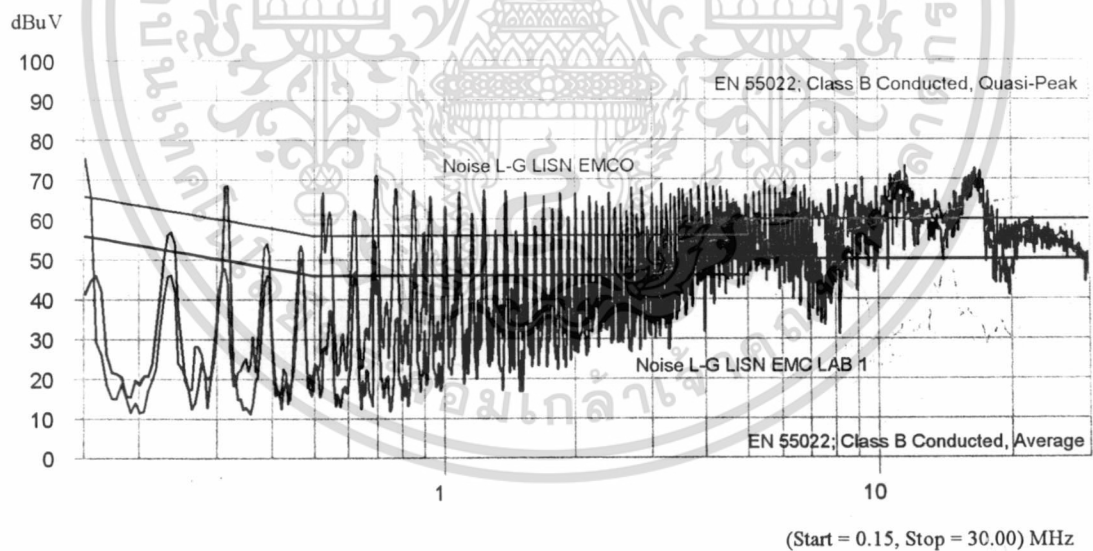
รูปที่ 4.70 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดยบิตสวิตช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



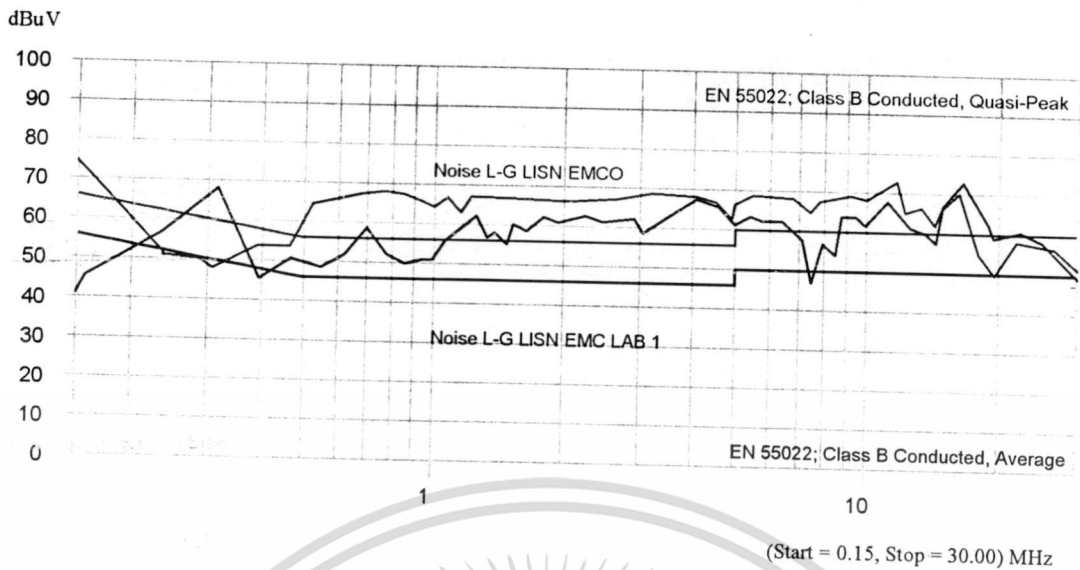
รูปที่ 4.71 กราฟแสดง envelop เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โดย บิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 กับ LISN EMCO จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Noise floor โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 และ LISN EMCO ค่าสัญญาณมีความใกล้เคียงกัน

3. เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) L - G ของ LISN EMC LAB กับ LISN EMCO



รูปที่ 4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดยบิดสวิทช์ ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO

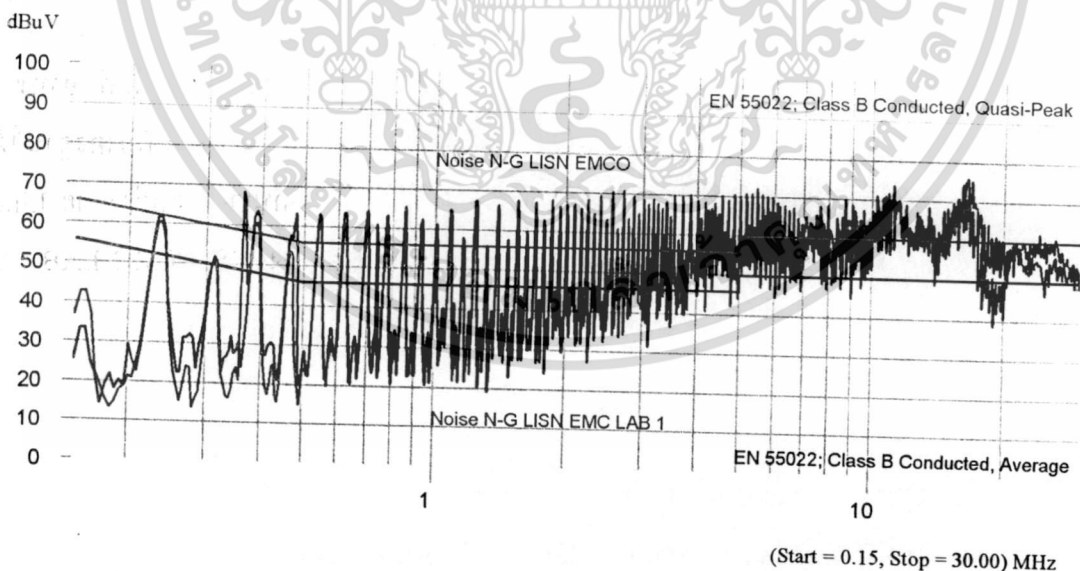
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.73 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โดย บิดสวิทช์ไปที่โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO

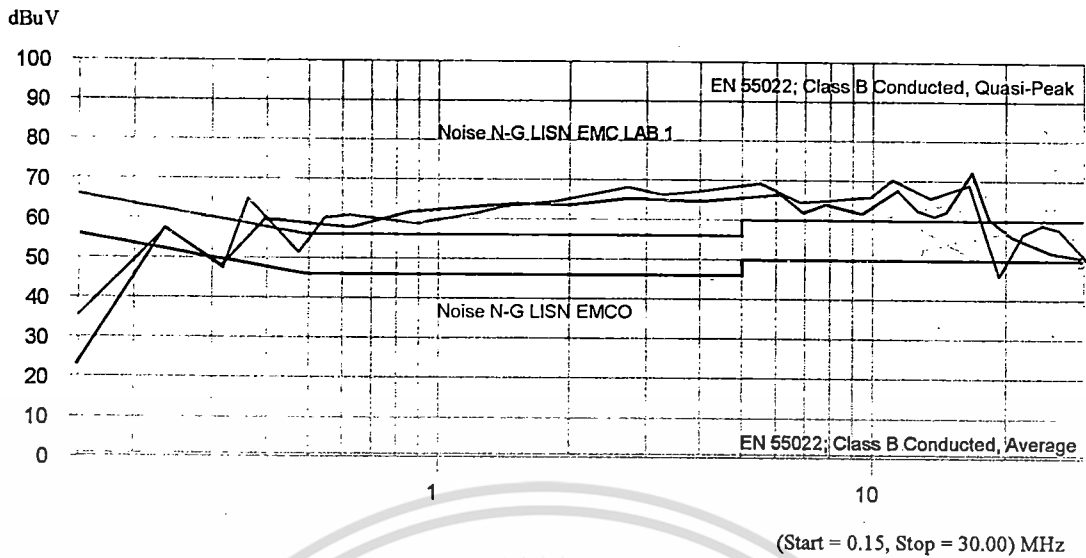
จากการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) โหมด Line (L) ระหว่าง LISN EMC LAB ครั้งที่ 1 และ LISN EMCO ค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) ของทั้งคู่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยในช่วงความถี่เริ่มต้นแต่มีค่าใกล้เคียงกัน

4. เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Noise) N-G ของ LISN EMC LAB กับ LISN EMCO



รูปที่ 4.74 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวน Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.75 กราฟแสดง envelope เปรียบเทียบ Noise โดยบิดสวิทช์ไปที่โหมด Neutral (N) ระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO

จากการเปรียบเทียบสัญญาณ Noise โหมด Noise (N) ระหว่าง LISN EMC LAB และ LISN EMCO ค่าสัญญาณ Noise ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน

4.6 สรุป

จากผลการทดสอบต่างๆ ทั้งการวัดเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ และการทำการวัดสัญญาณรบกวนทั้งที่ noise floor และการวัดสัญญาณรบกวนขณะต่อเข้ากับ EUT ผลที่ได้จากการวัดค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าใกล้เคียง 50 Ω ตลอดย่านทำการทดสอบที่ 150 kHz – 30 MHz ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ อีกทั้งผลที่ได้จากการวัดสัญญาณรบกวนเมื่อทำการเปรียบเทียบกันเอง ระหว่างสาย Line กับสาย Neutral มีผลที่ใกล้เคียงกันมาก และผลของการเปรียบเทียบระหว่าง LISN EMC LAB กับ LISN EMCO ที่มีขายตามท้องตลาดก็มีผลใกล้เคียงกัน

(Handwritten signature and notes)

บทที่ 5

สรุป ข้อเสนอแนะ และงานวิจัยที่คาดว่าจะทำต่อไป

5.1 สรุป

ในการทำการวิจัยโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ ได้ทำการแบ่งหัวข้อวิจัยออกเป็น 3 หัวข้อหลักด้วยกัน คือ

1. การจำลองระบบ Simulation
2. การทดสอบวัดเอาท์พุทอิมพีแดนซ์
3. การทดสอบวัดสัญญาณรบกวน Noise floor และ สัญญาณรบกวนที่ต่อเข้ากับ EUT

ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบ ทำให้ทราบว่าวงจรโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ มีอิมพีแดนซ์ด้านเอาท์พุทใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ ประมาณ 50Ω ในย่านการทดสอบที่ $150 \text{ kHz} - 30 \text{ MHz}$

ผลจากการทดสอบวัดเอาท์พุทอิมพีแดนซ์จริง ก็มีผลที่สอดคล้องกับผลการจำลองระบบ โดยแบ่งการวัดออกเป็น การทดสอบเอาท์พุททางด้าน Line และทางด้าน Neutral เพื่อยืนยันการทำการสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ทั้ง Line และ Neutral โดยผลที่ได้ มีค่าประมาณ 50Ω

การทดสอบวัดสัญญาณรบกวนเป็นการทดสอบการทำงานจริงของระบบที่ทำการออกแบบ เพื่อตรวจสอบสถานะการทำงาน ซึ่งในที่นี้ได้รวมถึงการวัดอุณหภูมิของอุปกรณ์ในขณะที่ทำงานไว้ด้วย ผลที่ได้ก็คือ มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดช่วงเวลาทำงานโดยจ่ายกระแสผ่านโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยประมาณ 8 A และการวัดสัญญาณรบกวนมีการเปรียบเทียบกับ Line - Neutral และการเปรียบเทียบระหว่าง LISN ที่ออกแบบ - กับ LISN ที่มีขายในท้องตลาด ผลที่ได้ทั้งหมดสามารถยืนยันการทำงานของโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ที่ทำการออกแบบไว้ ว่าสามารถใช้งานได้จริง ตรงตามที่มาตรฐาน CISPR กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทำการทดสอบวัดจริงทุกครั้งควรมีการวัดซ้ำเพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้ และทำให้ผลการทดสอบนั้นๆ มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อีกทั้งการต่อวัดจริงนั้น เช่นการวัดเพื่อหาค่า เอชฟูด อิมพีแดนซ์ จำเป็นต้องอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีกำหนดไว้ เช่นกันกับ การจำลองระบบก็ควรจะมีการทำซ้ำ

การจัดหาอุปกรณ์ จากที่พบว่าการคำนวณจะได้ค่าที่ทำการคำนวณออกมา แต่ในความเป็นจริงนั้น ไม่สามารถหาค่าของอุปกรณ์ตรงตามกับที่คำนวณไว้ได้ จึงจำเป็นต้องทำการซื้ออุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาใช้งาน ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่ทำให้ผลการทดสอบจริงมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากทางอุดมคติบ้าง แต่ต้องไม่ให้เกินขอบเขตที่สามารถยอมรับได้

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายใน ต้องทำให้สายนั้นมีระยะสั้นที่สุดเท่าที่สามารถทำได้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบนั้นต้องนำมาใช้งานที่ความถี่สูง เนื่องจากสายที่ยาวในทางความถี่สูงก็จะมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาจากสายตัวนำเหล่านั้น

5.3 งานวิจัยที่คาดว่าจะทำต่อไป

งานวิจัยที่คาดว่าจะทำต่อไปก็คือ การออกแบบโครงของอุปกรณ์ เนื่องจากความถี่สูงและประหัย ในการออกแบบครั้งนี้ไม่ได้มีการคำนึงถึงการแผ่สัญญาณรบกวนทางอากาศ (Radiated Emission) เพราะว่าเป็นโครงที่ใช้ในขณะนี้ เป็นโครงที่มีโครงสร้างภายในทำจากโลหะ และมีการเจาะรูเพื่อทำการระบายความร้อน จึงอยากให้มีการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการแผ่ไปทางอากาศ ซึ่งยังคงต้องอ้างอิงจากมาตรฐานเช่นเดิม แต่เป็นมาตรฐานของการแผ่สัญญาณรบกวนทางอากาศ เพื่อทำการออกแบบอุปกรณ์กันการแผ่ของสัญญาณรบกวนทางอากาศ (Shielding)

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราชีรเศรษฐ์, *อิเล็กทรอนิกส์กำลัง*, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2547
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “*ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม*”: มอก. 17-2532
- [3] *C.I.S.P.R. Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods*. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1999.
- [4] David Morgan, *A handbook for EMC testing and measurement*. Peter Peregrinus Ltd., 1994.
- [5] Laszlo Tihanyi, *Electromagnetic compatibility in Power Electronics*, IEEE Press, 1995.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้