



ชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับวิศวกรด้วยตัวเอง
EMI SELF-LEARNING TOOLKIT FOR ENGINEERS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61798
วัน,เดือน,ปี..... 2 1 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปฏิญานพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับวิศวกรด้วยตัวเอง
EMI SELF-LEARNING TOOLKIT FOR ENGINEERS

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|-------------|-----------------------|
| 1. นายจักรี | วงศ์เมือง | รหัสประจำตัว 45015092 |
| 2. นายธีรศักดิ์ | สมภาร จันทร | รหัสประจำตัว 45015104 |
| 3. นายวิทยา | ทาศรี | รหัสประจำตัว 45015119 |
| 4. นายวีระชาติ | บุญเป็ง | รหัสประจำตัว 45015167 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. รอ. ดร. วีระเชษฐ ชื่นเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับวิศวกรด้วยตัวเอง

นายจักรี วงศ์เมือง	45015092
นายธีรศักดิ์ สมภาร จันทร์	45015104
นายวิทยา ทาศรี	45015119
นายวีระชาติ บุญเป็ง	45015167
รศ. ร.อ. ดร. วีระเชษฐุ์ ชันเงินอาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2547	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ผลอย่างง่ายของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการแนะนำผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ โดยเกิดจากความถี่รีโซแนนซ์ของตัวอุปกรณ์เอง (SRF) ของอุปกรณ์ที่เป็นพาสซีฟ ระยะเวลาในการฟื้นตัวของไดโอดความถี่ สวิตซ์ิ่ง สัญญาณพัลส์ วงจรสับเบอร์ ตัวเหนี่ยวนำแผ่ระหว่างอุปกรณ์สวิตซ์ิ่งกับแผ่นระบายความร้อนวงจรของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter) ความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกส์(THD) ซึ่งปรากฏการณ์พื้นฐานเหล่านี้ วิศวกรที่ออกแบบและนักศึกษาต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) โดยชุดศึกษาที่สนใจเฉพาะการแพร่กระจายทางสายตัวนำ(conducted emission)และได้มีการทดลองเป็นลำดับขั้นตอนพร้อมด้วยการจำลองระบบ

EMI SELF-LEARNING TOOLKIT FOR ENGINEERS

Jakgree Wongmuang
 Teerasak Sompanchan
 Wittaya tarsi
 Veerachad Boonpeng
 Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern Advisor

ABSTRACT

This thesis presents a simplified conducted EMI toolkit based on the basic circuit and concepts of power electronics. The simplified results of the EMI toolkit is to introduce the effect of the conducted EMI caused by self-resonant frequency (SRF) of the passive component, reverse recovery time of diode, switching frequencies, gate drive control, snubber circuit, parasitic capacitor of heat-sink, EMI filter, total harmonic distortion (THD) and conducted EMI. Those basic phenomena can lead designing engineers and students to understand the EMC concept. The work is focused on conducted emission only, using step-by-step of the experiment and the simulation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ร.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้และคอยแนะนำเกี่ยวกับโครงสร้างของโครงการ ตลอดจนการดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดีและได้ให้ออกาสในการเรียนรู้และประสบการณ์อันมีค่าในการปฏิบัติงานจริงทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ อ.วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒองค์รักษ์ ที่เสียสละเวลามาดูแลโครงการ คอยชี้แนะทางเมื่อโครงการเกิดปัญหา แนะนำการทำงานอย่างมีระบบแบบแผน และเป็นแรงผลักดันให้โครงการนี้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโทห้องแลป EMC ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและสอนวิธีการใช้เครื่องมือวัดในห้องแลปเป็นอย่างดีรวมทั้งมิตรจิตอันดีต่อผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	XVII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีมอสเฟตกำลัง	3
2.2 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	10
2.3 ทฤษฎีวงจรถนั้บเบอร์	18
2.4 แกนแม่เหล็กความถี่สูง	24
บทที่ 3 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า	27
3.1 ประวัติและความเป็นมา	27
3.2 นิยามของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าและความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า	28
3.3 หลักการพื้นฐานของการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	32
3.4 การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบและภายในระบบ	34
3.5 วงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)	39
3.6 นิยาม มาตรฐาน เครื่องมือวัดและขั้นตอนในการวัดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ	41
บทที่ 4 การออกแบบ	52
4.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	52
4.2 การเลือกมอสเฟตกำลัง	54
4.3 การเลือกไดโอดกำลัง	54
4.4 การออกแบบควบคุมสัญญาณพัลส์	54
4.5 วงจรถนั้บเบอร์	56
4.6 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5	ขั้นตอนการศึกษาการจำลองการทดลองและผลการทดลอง	60
	5.1 กรณีศึกษาจากการจำลอง	61
	5.2 การเปรียบเทียบการจำลองกับผลการทดลอง	75
บทที่ 6	ขั้นตอนการศึกษา	87
	6.1 โครงสร้างโดยรวมของชุดศึกษาระบบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	88
	6.2 โครงสร้างส่วนประกอบภายในของชุดศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	88
	6.3 ส่วนประกอบหลักของชุดศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	89
	6.4 ส่วนประกอบร่วมในการวัดสัญญาณระบบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของชุดศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	89
บทที่ 7	คู่มือการใช้งานชุดศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	94
	7.1 แนะนำหน้าปกการใช้งาน	94
	7.2 รายละเอียดที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	96
	7.3 ขั้นตอนการต่อใช้งานชุดศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	101
	7.4 ขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาระบบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	104
บทที่ 8	สรุปผลการวัดสัญญาณระบบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ	171
	8.1 Component	171
	8.2 Signal spectra	174
	8.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI filter)	178
	8.4 THD	200
	8.5 FERRITE SHIELD	205
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก ตารางสายตัวนำที่ใช้จำนวนบทที่ 4	
	ภาคผนวก ข ขนาดของ Toroid Iron Powder Cores และค่า SRF ของตัวเหนี่ยวนำ	
	ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	
	ภาคผนวก ง DATA SHEET	
	ภาคผนวก จ บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า	
รูปที่ 2.1	สัญลักษณ์ของมอสเฟตกำลังชนิด N-MOS และ P-MOS	3
รูปที่ 2.2	การไบอัสให้มอสเฟตชนิด N-MOS และ P-MOS	3
รูปที่ 2.3	ค่าตัวเก็บประจุแฝงภายในมอสเฟตกำลัง	4
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{GS} และประจุ Q_g	5
รูปที่ 2.5	พิกัดความปลอดภัยของมอสเฟต	6
รูปที่ 2.6	แสดงการเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขณะนำกระแสและหยุดนำกระแส	7
รูปที่ 2.7	แสดงวงจรสมมูลย์การถ่ายเทความร้อนของมอสเฟตกำลังในรูปแบบของความต้านทาน	9
รูปที่ 2.8	วงจรมูลต์คอนเวอร์เตอร์	11
รูปที่ 2.9	วงจรมูลต์เมื่อสวิตช์นำกระแส	11
รูปที่ 2.10	(ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	12
รูปที่ 2.11	วงจรมูลต์เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	12
รูปที่ 2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้แรงดันกับ D	15
รูปที่ 2.13	กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ	17
รูปที่ 2.14	(ก) วงจรมูลต์คอนเวอร์เตอร์ (ข) วงจรมูลต์ของวงจรมูลต์คอนเวอร์เตอร์ (ค) รูปคลื่นแรงดัน (E) และ กระแส (I) ของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง	19
รูปที่ 2.15	วงจรมูลต์เบอร์ขณะ i_{CS} เป็นศูนย์ที่เวลา $t = 0$	20
รูปที่ 2.16	เส้นทางของการสวิตช์ในช่วงเวลาของสัญญาณขณะหยุดนำกระแสเมื่อ C_S มีการเปลี่ยนแปลง	21
รูปที่ 2.17	ผลกระทบของตัวเก็บประจุสับเบอร์ (C_S) ที่มีต่อ (ก) ช่วง turn-off transient ในขณะที่มี (ข) ช่วง turn-off transient ในขณะที่มี R_S	22
รูปที่ 2.18	การกระจายพลังงานขณะสัญญาณหยุดนำกระแส ของมอสเฟตกำลังและความต้านทานของสับเบอร์ที่เป็นฟังก์ชันของ C_S	23
รูปที่ 2.19	แกนแม่เหล็กแบบทอรอยด์	25
รูปที่ 2.20	ตัวอย่างสารประกอบภายในแกนผงโลหะอัด	25
รูปที่ 3.1	พิสัยความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	29
รูปที่ 3.2	สเปกตรัมและการประยุกต์แม่เหล็กไฟฟ้า	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปแบบการรับกานทางแม่เหล็กไฟฟ้าศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4	องค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดการส่ง-รับแม่เหล็กไฟฟ้า	32
รูปที่ 3.5	หลักการเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.6	ตัวอย่างการเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	33
รูปที่ 3.7	ตัวอย่างการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบ	34
รูปที่ 3.8	ตัวอย่างการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ	35
รูปที่ 3.9	ตัวอย่างองค์ประกอบแฝงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	37
รูปที่ 3.10	ตัวอย่างผลของช่วงเวลาคลื่นตัวย้อนกลับของไดโอด ขณะนำและไม่นำกระแส	37
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างผลขององค์ประกอบแฝงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ขณะสวิตช์เปิดและปิดวงจร	37
รูปที่ 3.12	ตัวอย่างองค์ประกอบแฝงในหม้อแปลงความถี่สูงและฟาราเดย์ชนิดคัลด์	38
รูปที่ 3.13	ตัวอย่างผลขององค์ประกอบแฝงในตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำหม้อแปลงไฟฟ้าและสายไฟฟ้าที่ความถี่สูง	39
รูปที่ 3.14	แสดงการต่อวัดหาค่า EMI ซึ่งรวมกับ LISN	39
รูปที่ 3.15	วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)	41
รูปที่ 3.16	นิยามและทิศทางการเดินทางของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.17	ตัวอย่างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	44
รูปที่ 3.18	ตัวอย่างเส้นขีดจำกัดและย่านความถี่ของข้อกำหนดและมาตรฐาน ทางด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ	47
รูปที่ 3.19	ตัวอย่างวงจรและคุณลักษณะของอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของ LISN	48
รูปที่ 3.20	ความแตกต่างของรูปแบบการวัดในโหมดค่าสูงสุด (Peak) กึ่งยอดเสมือน (Quasi-Peak) และค่าเฉลี่ย (Average)	49
รูปที่ 3.21	ความแตกต่างของ Broadband กับ Narrowband	50
รูปที่ 3.22	(ก) วงจรสมมูลของการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ทางสายตัวนำ (ข) การติดตั้งของการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ทางสายตัวนำ	51
รูปที่ 5.1.1(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ โหมดกระแสต่อเนื่อง	61
รูปที่ 5.1.1(ข)	กระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด กระแสต่อเนื่องกระแสต่อเนื่อง	62
รูปที่ 5.1.2(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจร บูสต์คอนเวอร์เตอร์ โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง	62
รูปที่ 5.1.2(ข)	กระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด กระแสไม่ต่อเนื่อง	63

รูปที่ 5.1.3(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีไม่ใส่สแน็บเบอร์	63
รูปที่ 5.1.3(ข)	แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่สแน็บเบอร์	64
รูปที่ 5.1.3(ค)	กระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่สแน็บเบอร์	64
รูปที่ 5.1.4(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีใส่สแน็บเบอร์	65
รูปที่ 5.1.4(ข)	แรงดัน V_{DS} กรณีใส่สแน็บเบอร์	65
รูปที่ 5.1.4(ค)	กระแส I_{DS} กรณีใส่สแน็บเบอร์	66
รูปที่ 5.1.5(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีกรณีไม่ใส่ RC gate	66
รูปที่ 5.1.5(ข)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีกรณีใส่ RC gate	66
รูปที่ 5.1.5(ค)	รูปคลื่นพัลส์ V_{GS} กรณีไม่ใส่ RC gate	67
รูปที่ 5.1.5(ง)	รูปคลื่นพัลส์ V_{GS} กรณีใส่ RC gate	67
รูปที่ 5.1.5(จ)	แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	67
รูปที่ 5.1.5(ฉ)	แรงดัน V_{DS} กรณีใส่ RC gate	67
รูปที่ 5.1.5(ช)	กระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	68
รูปที่ 5.1.5(ซ)	กระแส I_{DS} กรณีใส่ RC gate	68
รูปที่ 5.1.6(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีความถี่ของการสวิตซ์ที่ต่างกัน	69
รูปที่ 5.1.6(ข)	แรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 75kHz	69
รูปที่ 5.1.6(ค)	แรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 150kHz	69
รูปที่ 5.1.6(ง)	กระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 75kHz	70
รูปที่ 5.1.6(จ)	กระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 150kHz	70
รูปที่ 5.1.7(ก)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีโหลดความต้านทาน	70
รูปที่ 5.1.7(ข)	แรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน	71
รูปที่ 5.1.7(ค)	กระแส I_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน	71
รูปที่ 5.1.7(ง)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ กรณีโหลดความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	72
รูปที่ 5.1.7(จ)	แรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ	73
รูปที่ 5.1.7(ฉ)	กระแส I_{DS} กรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

รูปที่ 5.1.7(ข)	วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ และการวัดแรงดันด้านขาออกกรณีโหลดความต้านทาน	73
รูปที่ 5.1.7(ซ)	รูปคลื่นด้านขาออก กรณีโหลดความต้านทาน	74
รูปที่ 5.1.7(ฅ)	รูปคลื่นด้านขาออก กรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ	74
รูปที่ 5.2.1(ก)	ผลการจำลองกระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด กระแสต่อเนื่อง	75
รูปที่ 5.2.1(ข)	ผลการทดลองกระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด กระแสต่อเนื่อง	75
รูปที่ 5.2.2(ก)	ผลการจำลองกระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด กระแสไม่ต่อเนื่อง	75
รูปที่ 5.2.2(ข)	ผลการทดลองกระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด กระแสไม่ต่อเนื่อง	75
รูปที่ 5.2.3(ก)	ผลการจำลองแรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่สับเบอร์	76
รูปที่ 5.2.3(ข)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่สับเบอร์	76
รูปที่ 5.2.3(ค)	ผลการจำลองกระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่สับเบอร์	76
รูปที่ 5.2.3(ง)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่สับเบอร์	76
รูปที่ 5.2.4(ก)	ผลการจำลองแรงดัน V_{DS} กรณีใส่สับเบอร์	77
รูปที่ 5.2.4(ข)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีใส่สับเบอร์	77
รูปที่ 5.2.4(ค)	ผลการจำลองกระแส I_{DS} กรณีใส่สับเบอร์	78
รูปที่ 5.2.4(ง)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีใส่สับเบอร์	78
รูปที่ 5.2.5(ก)	ผลการจำลองผลการจำลอง รูปคลื่น V_{GS} กรณีไม่ใส่ RC gate	78
รูปที่ 5.2.5(ข)	ผลการทดลองผลการจำลอง รูปคลื่น V_{GS} กรณีไม่ใส่ RC gate	78
รูปที่ 5.2.5(ค)	ผลการจำลองรูปคลื่น V_{GS} กรณีใส่ RC gate	79
รูปที่ 5.2.5(ง)	ผลการทดลองรูปคลื่น V_{GS} กรณีใส่ RC gate	79
รูปที่ 5.2.5(จ)	ผลการจำลองผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	79
รูปที่ 5.2.5(ฉ)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	79
รูปที่ 5.2.5(ช)	ผลการจำลองผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	80
รูปที่ 5.2.5(ซ)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	80
รูปที่ 5.2.5(ฅ)	ผลการจำลองผลการจำลองกระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	80
รูปที่ 5.2.5(ฉ)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate	80
รูปที่ 5.2.5(ค)	ผลการจำลองผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีใส่ RC gate	81
รูปที่ 5.2.5(ค)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีใส่ RC gate	81
รูปที่ 5.2.6(ก)	ผลการจำลองผลการจำลองแรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 75kHz	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

รูปที่ 5.2.6(ข)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 150kHz	82
รูปที่ 5.2.6(ค)	ผลการจำลองผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 75kHz	82
รูปที่ 5.2.6(ง)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 150kHz	82
รูปที่ 5.2.6(จ)	ผลการจำลองผลการจำลองแรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 75kHz	83
รูปที่ 5.2.6(ฉ)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 150kHz	83
รูปที่ 5.2.6(ช)	ผลการจำลองผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 75kHz	83
รูปที่ 5.2.6(ซ)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ 150kHz	83
รูปที่ 5.2.7(ก)	ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน	84
รูปที่ 5.2.7(ข)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน	84
รูปที่ 5.2.7(ค)	ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน	84
รูปที่ 5.2.7(ง)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน	84
รูปที่ 5.2.7(จ)	ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ	85
รูปที่ 5.2.7(ฉ)	ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ	85
รูปที่ 5.2.7(ช)	ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ	85
รูปที่ 5.2.7(ซ)	ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีโหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ	85
รูปที่ 5.2.7(ฅ)	ผลการจำลองผลการจำลองรูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออกกรณี โหลดความต้านทาน	86
รูปที่ 5.2.7(ณ)	ผลการทดลองรูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออกกรณีโหลดความต้านทาน	86
รูปที่ 5.2.7(ญ)	ผลการจำลองรูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออกกรณีโหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ	86
รูปที่ 5.2.7(ฎ)	ผลการทดลองรูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออกกรณีโหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1	โครงสร้างโดยรวมของชุดศึกษาการรบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	88
รูปที่ 6.2	โครงสร้างส่วนประกอบภายในของชุดศึกษาการรบกวน ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	89
รูปที่ 6.5	แสดงโครงสร้างต่างๆที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวน ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	90
รูปที่ 7.1	แสดงหน้าปัดการใช้งานจริงของชุดศึกษาการรบกวน ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	94
รูปที่ 7.2	แสดงหน้าปัดการใช้งานของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณ แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจำลองจากของจริง	95
รูปที่ 7.3	แสดงโครงสร้างต่างๆที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวน ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	96
รูปที่ 7.4	แสดงโครงสร้างการต่อวงจรใช้งานของชุดศึกษาการรบกวน ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	101
รูปที่ 7.5	แสดงลำดับขั้นการตั้งค่าของวงจร Boost Converter	102
รูปที่ 7.6	แสดงหน้าปัดการต่อใช้งานเพื่อตั้งค่าต่างๆก่อนทดลองของชุดศึกษา การรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	103
รูปที่ 7.7	แสดงช่วงเวลาฟอนต์ย้อนกลับของไดโอดเบอร์ MUR 1510	104
รูปที่ 7.8	แสดงช่วงเวลาฟอนต์ย้อนกลับของไดโอดเบอร์ MUR 1560	104
รูปที่ 7.9	แสดงลำดับขั้นการทดลองเมื่อช่วงเวลาฟอนต์ย้อนกลับของไดโอด แตกต่างกัน	105
รูปที่ 7.10	แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์เลือกไดโอด D1 หรือ D2	106
รูปที่ 7.11	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อช่วงเวลาฟอนต์ ย้อนกลับของไดโอดแตกต่างกัน	106
รูปที่ 7.12	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน Heatsink	107
รูปที่ 7.13	แสดงหน้าปัดการใช้งาน Heatsink	108
รูปที่ 7.14	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อ และไม่ต่อ Heatsink	109
รูปที่ 7.15	แสดงลำดับขั้นการทดลองเมื่อเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน	110
รูปที่ 7.16	แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์เลือกตัวเหนี่ยวนำ	111
รูปที่ 7.17	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อย่านความถี่ ใช้งานสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน	111
รูปที่ 7.18	แสดงรูปคลื่นพัลส์ก่อนการต่อ RC gate	112

รูปที่ 7.20	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อหรือไม่ต่อ RC gate	113
รูปที่ 7.21	แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์เลือกต่อหรือไม่ต่อ RC gate	114
รูปที่ 7.22	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงพัลส์เกิดโดยต่อและไม่ต่อ RC gate	114
รูปที่ 7.23	แสดงลำดับขั้นการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ในการสวิตซ์ของ Gate drive	115
รูปที่ 7.24	แสดงหน้าปัดการใช้งานเมื่อสวิตซ์ที่ความถี่ 75kHz และ 150 kHz	116
รูปที่ 7.25	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากการสวิตซ์ที่ความถี่ 75kHz และ 150 kHz	117
รูปที่ 7.26	แสดงลำดับขั้นการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนโหลดจากร หรือ R-L	117
รูปที่ 7.27	แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์เลือกโหลด R หรือ R-L	118
รูปที่ 7.28	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อโหลด R หรือ R-L	118
รูปที่ 7.29	แสดงรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสเฟทเมื่อไม่ต่อวงจรสแน็บเบอร์	119
รูปที่ 7.30	แสดงรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสเฟทเมื่อต่อวงจรสแน็บเบอร์	120
รูปที่ 7.31	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อวงจรสแน็บเบอร์ที่มอสเฟท	120
รูปที่ 7.32	แสดงหน้าปัดการใช้งานวงจรสแน็บเบอร์	121
รูปที่ 7.33	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อวงจรสแน็บเบอร์	121
รูปที่ 7.34	แสดงวงจรรบายในของวงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)	122
รูปที่ 7.35	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1}	122
รูปที่ 7.36	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1}	123
รูปที่ 7.37	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อต่อและไม่ต่อ C_{x1}	124
รูปที่ 7.38	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x2}	124
รูปที่ 7.39	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x2}	125
รูปที่ 7.40	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x2}	126
รูปที่ 7.41	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1}	126
รูปที่ 7.42	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1}	127
รูปที่ 7.43	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1}	128
รูปที่ 7.44	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y2}	128
รูปที่ 7.45	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y2}	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.46	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y2}	130
รูปที่ 7.47	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{M1}	130
รูปที่ 7.48	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{M1}	131
รูปที่ 7.49	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{M1}	132
รูปที่ 7.50	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{M1} และ C_{M2}	132
รูปที่ 7.51	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{M1} และ C_{M2}	133
รูปที่ 7.52	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อไม่มีการต่อและต่อ C_{M1} และ C_{M2}	134
รูปที่ 7.53	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} และ C_{M1}	134
รูปที่ 7.54	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} และ C_{M1}	135
รูปที่ 7.55	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อไม่มีการต่อและต่อ C_{x1} และ C_{M1}	136
รูปที่ 7.56	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}	136
รูปที่ 7.57	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}	137
รูปที่ 7.58	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}	138
รูปที่ 7.59	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x2} และ C_{M1}	138
รูปที่ 7.60	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x2} และ C_{M1}	139
รูปที่ 7.61	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x2} และ C_{M1}	140
รูปที่ 7.62	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	140
รูปที่ 7.63	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	141
รูปที่ 7.64	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	142
รูปที่ 7.65	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}	142
รูปที่ 7.66	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.67	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}	144
รูปที่ 7.68	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	144
รูปที่ 7.69	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	145
รูปที่ 7.70	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	146
รูปที่ 7.71	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} และ C_{M1}	146
รูปที่ 7.72	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1} และ C_{M1}	147
รูปที่ 7.73	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} และ C_{M1}	148
รูปที่ 7.74	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}	148
รูปที่ 7.75	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}	149
รูปที่ 7.76	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}	150
รูปที่ 7.77	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}	150
รูปที่ 7.78	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}	151
รูปที่ 7.79	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}	152
รูปที่ 7.80	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	152
รูปที่ 7.81	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	153
รูปที่ 7.82	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	154
รูปที่ 7.83	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} และ C_{y1}	154
รูปที่ 7.84	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} และ C_{y1}	155
รูปที่ 7.85	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} และ C_{y1}	156
รูปที่ 7.86	แสดงลำดับชั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}	156

รูปที่ 7.88	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและ ไม่ต่อ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}	158
รูปที่ 7.89	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}	158
รูปที่ 7.90	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}	159
รูปที่ 7.91	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและ ไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}	160
รูปที่ 7.92	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}	160
รูปที่ 7.93	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}	161
รูปที่ 7.94	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและ ไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}	162
รูปที่ 7.95	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}	162
รูปที่ 7.96	แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	163
รูปที่ 7.97	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและ ไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	164
รูปที่ 7.98	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน L_{GND}	165
รูปที่ 7.99	แสดงหน้าปัดการใช้งาน L_{GND}	166
รูปที่ 7.100	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อ และไม่ต่อ L_{GND}	166
รูปที่ 7.101	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน ตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง	167
รูปที่ 7.102	แสดงหน้าปัดการใช้งานตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง	168
รูปที่ 7.103	แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโหมดกระแสต่อเนื่อง	169
รูปที่ 7.104	แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง	169
รูปที่ 7.105	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อ และไม่ต่อตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง	169
รูปที่ 7.106	แสดงระดับของสัญญาณกระแสHarmonicsเมื่อไม่ต่อ ตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง	170
รูปที่ 7.107	แสดงระดับของสัญญาณกระแสHarmonicsเมื่อต่อ ตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง	170
รูปที่ 7.108	แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการใช้และไม่ใช้งาน ferrite beads	171
รูปที่ 7.109	แสดงหน้าปัดการใช้งาน ferrite beads	172

รูปที่ 7.110	แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อคัลลิ่ง หรือ ไม่คัลลิ่งสายเสียบด้วย ferrite beads	172
รูปที่8.1(ก)	ผลจากการวัดEMI เมื่อช่วงเวลาที่พื้นตัวย้อนกลับของไดโอด แตกต่างกัน	174
รูปที่8.1(ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.1(ก)	174
รูปที่8.2(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ Heatsink ลงกราวด์	175
รูปที่8.2(ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.2(ก)	175
รูปที่8.3(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุดของตัว เหนี่ยวนำแตกต่างกัน	176
รูปที่8.3(ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.3(ก)	176
รูปที่8.4(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อหรือไม่ต่อ RC Gate	177
รูปที่8.4(ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.4 (ก)	177
รูปที่8.5(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อเพิ่มความถี่ในการสวิตชิงของ Gate drive	178
รูปที่8.5 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.5 (ก)	178
รูปที่8.6(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อทำการเปลี่ยนโหลดจาก โหลดRเป็น โหลด R-L	179
รูปที่8.6(ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.6(ก)	179
รูปที่8.7(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อและ ไม่ต่อวงจร snubber ที่มอสเฟต	180
รูปที่8.7 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.7 (ก)	180
รูปที่8.8 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{x1}	181
รูปที่8.8 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.8 (ก)	181
รูปที่8.9 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{x2}	182
รูปที่8.9 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.9 (ก)	182
รูปที่8.10(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{y1}	183
รูปที่8.10 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.10 (ก)	183
รูปที่8.11 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{y2}	184
รูปที่8.11 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.11 (ก)	184
รูปที่8.12 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{M1}	185
รูปที่8.12 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.12 (ก)	185
รูปที่8.13 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{M1} และ C_{M2}	186
รูปที่8.13 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.4.6 (ก)	186
รูปที่8.14 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{x1} และ C_{M1}	187
รูปที่8.14 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.14 (ก)	187
รูปที่8.15 (ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}	188
รูปที่8.15 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.15 (ก)	188
รูปที่8.16(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อต่อ C_{x2} และ C_{M1}	189

รูปที่ 8.16 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.16 (ก)	189
รูปที่ 8.17 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	190
รูปที่ 8.17 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.17 (ก)	190
รูปที่ 8.18 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}	191
รูปที่ 8.18 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.18 (ก)	191
รูปที่ 8.19 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}	192
รูปที่ 8.19 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.19 (ก)	192
รูปที่ 8.20 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} และ C_{M1}	193
รูปที่ 8.20 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.20 (ก)	193
รูปที่ 8.21 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}	194
รูปที่ 8.21 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.4.14 (ก)	194
รูปที่ 8.22 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}	195
รูปที่ 8.22 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.22 (ก)	195
รูปที่ 8.23 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	196
รูปที่ 8.23 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.23 (ก)	196
รูปที่ 8.24 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} และ C_{y1}	197
รูปที่ 8.24 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.24 (ก)	197
รูปที่ 8.25 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{y2} และ C_{y1}	198
รูปที่ 8.25 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.25 (ก)	198
รูปที่ 8.26 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}	199
รูปที่ 8.26 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.26 (ก)	199
รูปที่ 8.27 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}	200
รูปที่ 8.27 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.27 (ก)	200
รูปที่ 8.28 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}	201
รูปที่ 8.28 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.28 (ก)	201
รูปที่ 8.29 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ L_{GND}	202
รูปที่ 8.29 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.29 (ก)	202
รูปที่ 8.30 (ก)	ผลจากการวัด EMI เมื่อตัวเหนี่ยวนำของวงจร Boost Converter ที่อยู่โนโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง	203
รูปที่ 8.30 (ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.30 (ก)	203
รูปที่ 8.30 (ค)	แสดงกระแส Harmonics เมื่อไม่ต่อตัวเหนี่ยวนำ โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง	204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.30 (ง)	แสดงกระแสHarmonicsเมื่อต่อตัวเหนี่ยวนำ โหมคกระแสไม่ต่อเนื่อง	204
รูปที่8.31(ก)	ผลจากการวัดEMIเมื่อใช้ ferrite beads	205
รูปที่8.31(ข)	ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่8.31(ก)	205



สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตาราง 2.1	อัตราขยายแรงดันของวงจร บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D	15
ตาราง 3.1	มาตรฐานสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	46
ตาราง 5.1	แสดงสัญลักษณ์ในการจำลอง	60
ตาราง 5.2	การจำลองการทำงานของวงจร บูสต์คอนเวอร์เตอร์	61
ตาราง 6.1	แสดงรายละเอียดของการทดสอบ	93
ตาราง 7.1	แสดงส่วนต่างๆ ที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวน ของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า	100
ตาราง 7.2	แสดงข้อมูลการตั้งค่าเพื่อใช้งานของวงจร Boost converter	101



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ผลิตภัณฑ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยมากจะสร้างการรบกวนให้อุปกรณ์ เครื่องมือหรือระบบทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันให้ได้เรียกว่าปัญหาความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Compatibility:EMC) ซึ่งในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตจะทวีความเข้มงวดมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยสังเกตได้จากการออกกฎระเบียบควบคุมทั้งในระดับนานาชาติ ระดับภูมิภาค และระดับชาติในกฎระเบียบด้าน EMC

ดังนั้นเมื่อเห็นความสำคัญของปัญหาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีโครงการซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการรบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อให้ศึกษาและทำการป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นและนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรอื่นๆ ที่มีสัญญาณรบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อให้เกิดความเข้าใจในด้านสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- 1.2.2 เพื่อใช้ชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าอธิบายเกี่ยวกับ EMI
- 1.2.3 เพื่อเป็นพื้นฐานเบื้องต้น ในการประยุกต์ใช้งานเพื่อป้องกันผลกระทบจาก EMI

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 สร้างชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Toolkit) ต้นแบบ
- 1.3.2 ใช้ชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า อธิบายและแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับ EMC และ EMI
- 1.3.3 ทำการป้องกัน EMI ที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

สำหรับโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ 1.ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2.ทฤษฎีเกี่ยวกับ EMC ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ในบทที่ 2 และ 3 จากนั้นนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดทำการออกแบบชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Toolkit) ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 4

จากนั้นทำการศึกษาโดยการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Pspice และจัดทำคู่มือสำหรับชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI Tool kit) เพื่อที่จะให้ผู้ที่ต้องการศึกษา

เอกสารนี้เกี่ยวกับสารรังสีของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทำตามขั้นตอน และจะได้ประโยชน์สูงสุดจากการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการศึกษามีรายละเอียดในบทที่ 6 ส่วนบทที่ 7 จะเป็นบทสุดท้ายซึ่งจะสรุปผลของโครงการนี้
และแนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

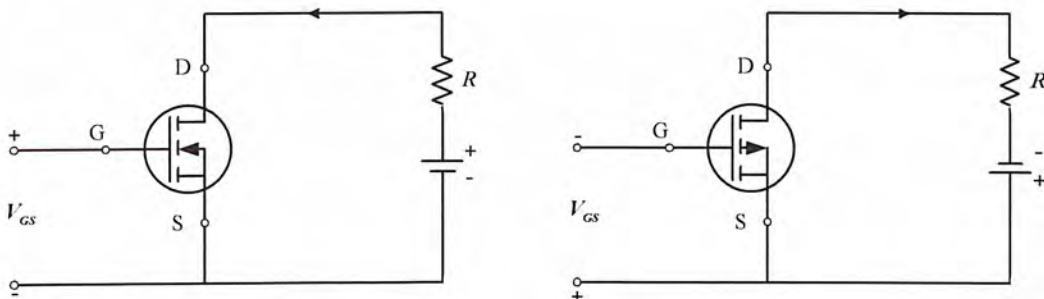
2.1 ทฤษฎีมอสเฟตกำลัง (Power MOSFETS)

มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์ประเภทเซมิคอนดักเตอร์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเนื่องจาก ใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะการทำงานที่ค่อนข้างสั้นจึงสามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่สูง โดยสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง โดยที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 KHz ดังนั้นการนำมอสเฟตกำลังมาใช้กับสวิตซ์ความเร็วสูงกำลังสูง และแรงดันก็จะลดค่า storage time ได้เกือบทั้งหมดโดยไม่มีการพังเสียหาย ส่วนวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตกำลังนั้นสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากควบคุมด้วยแรงดัน และใช้กระแสที่อินพุตมีค่าต่ำมาก และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ secondary breakdown เหมือนกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ปรากฏการณ์ secondary breakdown คือกรณีที่เรากำลังใช้งานทรานซิสเตอร์เกินขอบเขตพื้นที่ SOA (safe operating area) จนเกิดความร้อนสูงและมีกระแสที่คอลเลกเตอร์ (collector) ไหลมาจนส่งผลให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย โดยโครงสร้างของมอสเฟตกำลังจะเป็นไปได้ ทั้งในลักษณะ N-channel (N-MOS) และ P-channel (P-MOS) สัญลักษณ์

ของมอสเฟตกำลังดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของมอสเฟตกำลังชนิด N-MOS และ P-MOS



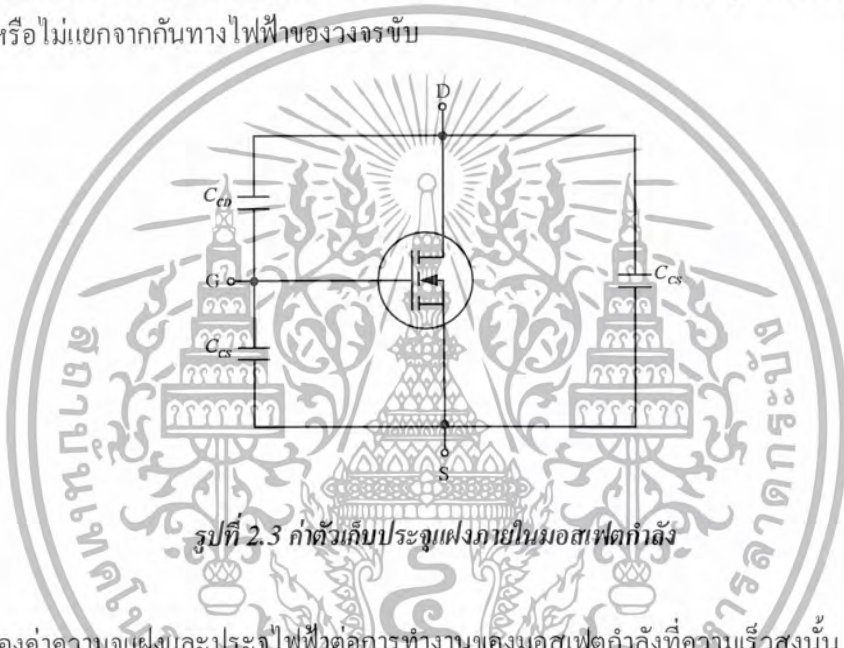
รูปที่ 2.2 การไบอัสให้มอสเฟตกำลังชนิด N-MOS และ P-MOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 การไบอัสเพื่อให้ออสเฟตกำลังสามารถทำงานได้จำเป็นที่จะต้องทำให้แรงดัน V_{GS} มีค่ามากกว่า V_T (Threshold Voltage) ซึ่งทำให้มีกระแสไหลระหว่างขาคาทรนและขาซอร์ส โดยปกติแล้วย่านการทำงานของออสเฟตกำลัง แบ่งออกเป็น 3 บริเวณ คือ

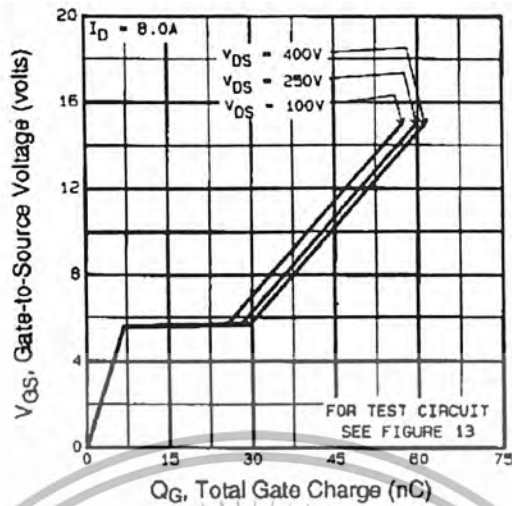
1. Cut-off เมื่อ $V_{GS} < V_T$
2. Saturation เมื่อ $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$
3. Linear หรือ Triode เมื่อ $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$

การขับออสเฟตให้ทำงานนั้นแม้จะทำได้ง่ายกว่าการทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังทำงาน แต่สิ่งที่เราต้องคำนึงถึงสำหรับวงจรที่ใช้ในการขับก็คือ แรงดันที่ใช้ในการขับอิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุตของวงจรขับและแยกจากกันทางไฟฟ้าหรือไม่แยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรขับ



รูปที่ 2.3 ค่าตัวเก็บประจุแฝงภายในออสเฟตกำลัง

ผลของค่าความจุแฝงและประจุไฟฟ้าต่อการทำงานของออสเฟตกำลังที่ความเร็วสูงนั้น พบว่าภายในออสเฟตกำลังเองมีค่าความจุแฝง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ที่จะเห็นผลกระทบต่อการเปลี่ยนสถานะจะเห็นได้ว่าออสเฟตต้องเสียเวลาในการชาร์จแรงดันเข้าสู่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมขาเกตมีค่าเท่ากับ V_T ออสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแส ในทางกลับกันการที่จะทำให้ออสเฟตกำลังหยุดนำกระแส จำเป็นต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนแรงดัน V_{GS} มีค่าต่ำกว่า V_T ออสเฟตกำลังจึงจะหยุดนำกระแส ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน V_{DS} นอกจากค่าความจุแฝงแล้ว สิ่งที่มีผลต่อความเร็วในการสวิตช์อีกอย่างหนึ่งก็คือประจุไฟฟ้าขาเกต (Q_g) การสะสมของประจุไฟฟ้าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน V_{GS} ซึ่งจะไปเป็นผลต่อช่วงเวลาที่มีออสเฟตใช้ในการคายประจุเพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาแคทรนและซอร์สมีค่าต่ำกว่าแรงดัน V_T ดังนั้นการเลือกค่าแรงดัน V_{GS} ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อความเร็วที่ใช้ในการสวิตช์ของออสเฟตกำลังซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{GS} และประจุไฟฟ้า Q_g สามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ ระหว่าง V_{GS} และประจุ Q_g

การขับมอสเฟตกำลังจะต้องทราบค่าที่เหมาะสมของแรงดัน V_{GS} ที่จะใช้ไปขับให้เพาเวอร์มอส เฟต ทำงาน แม้ว่าเงื่อนไขแรงดันที่มีค่ามากกว่าแรงดัน V_T ของมอสเฟตกำลังก็นำกระแสได้แต่สิ่งที่ต้องการอีกสิ่ง หนึ่งก็คือกระแส โดยจะต้องป้อนแรงดันที่เหมาะสมเพื่อขับให้มอสเฟตกำลังสามารถนำกระแสได้เพียงพอต่อ ความต้องการของเอาต์พุต นอกจากนี้สิ่งสำคัญในการเลือกค่าแรงดันขับที่เหมาะสมคือ ความเร็วในการเปลี่ยน สถานะ อันเป็นผลเนื่องมาจากประจุสะสมที่ขาคัด ซึ่งเป็นผลโดยตรงมาจากแรงดัน V_{GS} โดยสามารถหาค่า แรงดันขับที่เหมาะสมได้ จากกราฟการทำงานของมอสเฟตกำลังการขับมอสเฟตกำลังให้ทำงานนั้นสิ่งสำคัญก็ คือ ผลของแรงดัน V_{DS} มีผลต่อค่าความจุแฝงในมอสเฟตกำลังดังนั้น ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ ทำงานอย่างรวดเร็ว แรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ขาเดรนจะก่อให้เกิดผล dv/dt ซึ่งจะเกิดกระแสประจุให้กับค่า ประจุแฝงระหว่างขาคัดและขาเดรน Q_{GD} หากในวงจรขับมีเอาต์พุตที่มีแอมป์ที่สูงเกินไป กรณีนี้ก็จะก่อให้เกิด แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขาคัด และขาเดรนหากแรงดันนี้มีค่าสูงพอก็จะทำให้มอสเฟตกำลังนำกระแสใน ขณะที่เราไม่ต้องการได้ดังนั้นพอสรุปได้ว่า วงจรขับสำหรับมอสเฟตกำลังควรมีเอาต์พุตที่มีแอมป์ต่ำในขณะที่ มอสเฟตกำลังนำกระแสแน่นอน โดยปกติแล้ว จะมีค่าแรงดันค่าหนึ่งตกคร่อมระหว่างขาคัดและขาซอร์สซึ่งเป็นผล มาจากค่าความต้านทาน $R_{DS(ON)}$ ของมอสเฟตกำลังเองโดยที่ความต้านทานนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่รอยต่อนี้ก็คือ เหตุผลที่ไม่ทำให้มอสเฟตกำลังไม่เกิดปรากฏการณ์ secondary breakdown เหมือนกับทรานซิสเตอร์กำลังที่ เมื่อมีอุณหภูมิที่รอยต่อเพิ่มขึ้น กระแสก็จะไหลเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่า $R_{DS(ON)}$ ก็มีผลเสียเช่น ทำให้เกิดการสูญเสีย กำลังงานขึ้นที่รอยต่อขณะที่นำกระแส

ช่วงการทำงานที่ปลอดภัย ของมอสเฟตกำลัง ในกรณีใช้มอสเฟตกำลังในงานแบบสวิตช์ซึ่งนั้นจะต้อง คำนึงถึงคือ ขีดจำกัดในการที่จะใช้งานมอสเฟตกำลังในขณะที่นำกระแสและหยุดนำกระแสเพื่อป้องกันการ เสียหายของมอสเฟตกำลัง ซึ่งอาจพอสรุปได้ 4 อย่างคือ

1. ขีดจำกัดแรงดันตกคร่อมขาเดรนและขาซอร์ส V_{DS} และประจุ Q_g

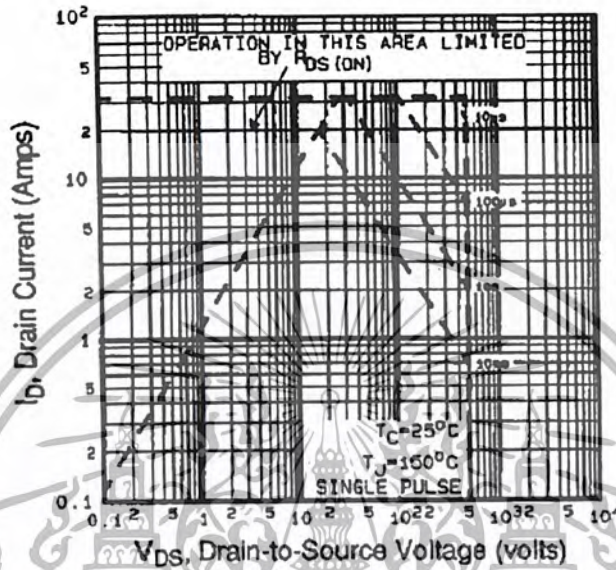
2. ค่ากระแสเดรน (I_D) สูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้โดยที่ไม่ทำให้โครงสร้างภายในเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ เจริญเลิศ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขีดจำกัดเนื่องจากค่าความต้านทานขณะนำกระแส $R_{DS(ON)}$
4. ขีดจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง

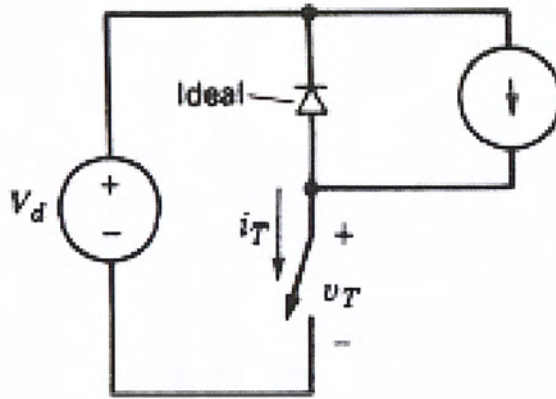
ตามปกติแล้วค่าเหล่านี้จะบอกมาใน (datasheet) ของมอสเฟตกำลังเบอร์ที่ต้องการใช้งานหรืออาจบอกมาในลักษณะของกราฟพิคัดความปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 2.5



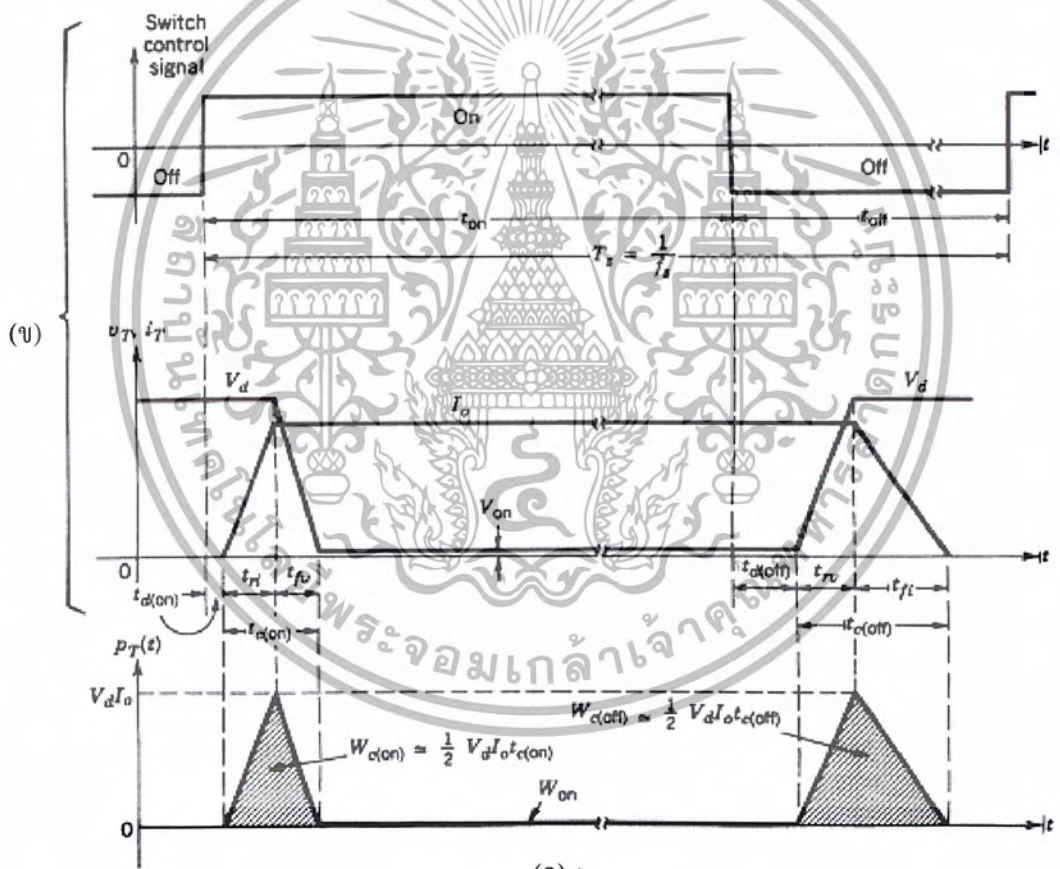
รูปที่ 2.5 พิกัดความปลอดภัยของมอสเฟตกำลัง

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น ในมอสเฟตกำลังขณะทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะคือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่สำหรับมอสเฟตกำลังจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสสั้น เพราะตามโครงสร้างของมอสเฟตกำลังจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น แต่มอสเฟตกำลังจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของมอสเฟตกำลังขณะนำกระแสจึงสูงกว่า

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของมอสเฟตกำลังจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปมอสเฟตกำลังมักถูกใช้งานที่ความถี่สูง การใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 50 kHz นั้นการคิดค่ากำลังงานสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (turn off time) กับช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (turn on time) ของมอสเฟตกำลังมีค่าใกล้เคียงกันจึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วยดังรูปที่ 2.6 ซึ่งกำลังสูญเสียของมอสเฟตกำลังขณะทำงาน P_T จะมีค่าเท่ากับสมการ 2.1-2.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนขณะนำกระแสและหยุดนำกระแส

(ก) การต่อวงจรอินดักทีฟอย่างง่าย

(ข) รูปคลื่นการสวิตช์

(ค) กำลังสูญเสียของมอสเฟตกำลังขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_{c(on)} = \frac{1}{2} V_d I_o t_{c(on)} \quad (2.1)$$

$$t_{c(on)} = t_{ri} + t_{fv} \quad (2.2)$$

$$W_{c(off)} = \frac{1}{2} V_d I_o t_{c(off)} \quad (2.3)$$

$$t_{c(off)} = t_{rv} + t_{fi} \quad (2.4)$$

$$W_{on} = V_{on} I_o t_o \quad (2.5)$$

$$P_S = \frac{1}{2} V_d I_o f_S (t_{c(on)} + t_{c(off)}) \quad (2.6)$$

$$P_{on} = V_{on} I_o \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.7)$$

$$P_T = P_S + P_{on} \quad (2.8)$$

เมื่อ	$W_{c(on)}$	คือพลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแส
	$t_{c(on)}$	คือช่วงเวลาเริ่มนำกระแส
	t_{ri}	คือช่วงเวลาที่กระแสเพิ่มขึ้นขณะเริ่มนำกระแส
	t_{fv}	คือช่วงเวลาที่แรงดันลดลงขณะเริ่มนำกระแส
	$W_{c(off)}$	คือพลังงานสูญเสียขณะหยุดนำกระแส
	$t_{c(off)}$	คือช่วงเวลาที่หยุดนำกระแส
	t_{rv}	คือช่วงเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นขณะหยุดนำกระแส
	t_{fi}	คือช่วงเวลาที่กระแสลดลงขณะหยุดนำกระแส
	W_{on}	คือพลังงานสูญเสียตลอดช่วงนำกระแส
	V_{on}	คือแรงดันช่วงนำกระแส
	I_o	คือกระแสช่วงนำกระแส
	t_o	คือช่วงเวลาช่วงนำกระแส
	P_S	คือกำลังงานสูญเสียเฉลี่ยขณะเปลี่ยนสถานะ
	P_{on}	คือกำลังงานสูญเสียเฉลี่ยขณะนำกระแส
	P_T	คือกำลังงานสูญเสียเฉลี่ยรวมของมอสเฟตกำลัง

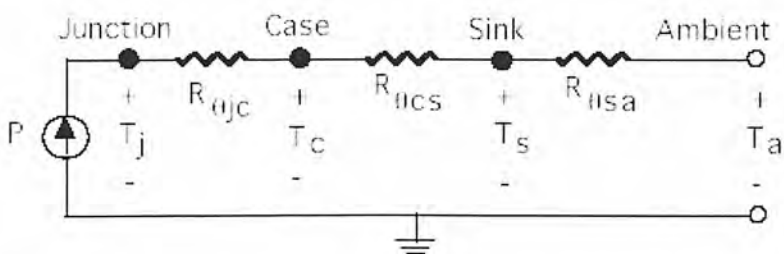
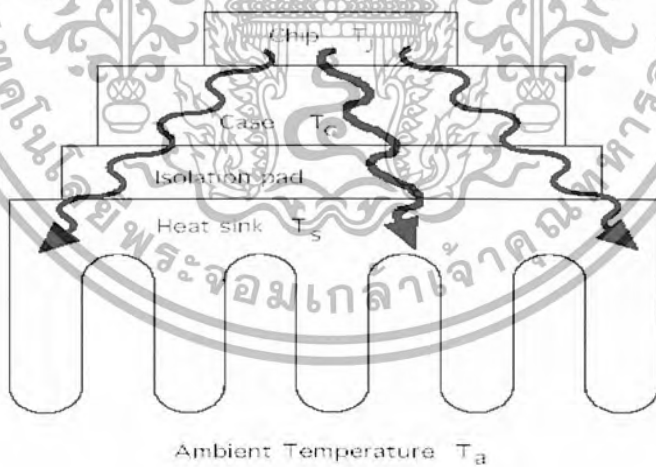
ในขณะทำงานของมอสเฟตกำลัง t_r คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของมอสเฟตกำลัง t_f คือ ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสของมอสเฟตกำลัง ซึ่งโดยทั่วไปช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสใน Data sheet ของผู้ผลิตส่วนใหญ่มีกระแสมาเป็นค่า t_r (current rise time) และ t_f (current fall time) ตามลำดับในที่นี้จึงใช้สัญลักษณ์เป็น t_r และ t_f แทน t_{on} และ t_c เมื่อเปรียบเทียบกับไบโพล่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กำลัง กำลังที่สูญเสียในรูปความร้อนของมอสเฟตกำลังขณะทำงาน เป็นเรื่องที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ไม่ทราบค่า กำลังงานสูญเสียในการคำนวณกำลังงานสูญเสียที่

ไม่ทราบค่า กำลังงานสูญเสียในการคำนวณกำลังงานสูญเสียที่

เกิดขึ้นภายในมอสเฟตกำลัง จะทำให้เกิดความร้อนที่รอยต่อและอุณหภูมิที่รอยต่อ (T_j) ของสารกึ่งตัวนำภายในมอสเฟตกำลังจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากไม่มีการระบายความร้อนออกไปจากตัวถังแล้ว อุณหภูมิที่รอยต่อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินค่าอุณหภูมิสูงสุดที่รอยต่อจะทนได้ ทำให้เกิดการพังเสียหายขึ้นในที่สุดเพาเวอร์ มอสเฟตซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอุณหภูมิที่รอยต่อ T_j สูงสุด ขณะทำงานประมาณ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำและลักษณะของตัวถังวิธีที่ง่ายที่สุดในการระบายความร้อน คือการติดแผ่นระบายความร้อนเข้ากับมอสเฟตกำลังโดยตรงการระบายความร้อนออกจากตัวมอสเฟตกำลัง จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเลือกขนาดและชนิดของแผ่นระบายความร้อนได้เหมาะสม แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และใช้พื้นที่มากในทางตรงกันข้ามแผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กจะไม่สามารถระบายความร้อนได้ไม่เพียงพอ ซึ่งจะทำให้มอสเฟตกำลังร้อนและมีอายุการใช้งานจะสั้นลง

การลดความร้อนที่รอยต่อสามารถทำได้โดย การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นออกจากรอยต่อผ่านไปยังตัวถังของมอสเฟตกำลัง และเมื่อติดแผ่นระบายความร้อนเข้าที่ตัวถังความร้อนจะถูกถ่ายเทผ่านแผ่นระบายความร้อนออกไปสู่อากาศรอบข้างจะเกิดสมดุลความร้อน ความร้อนที่รอยต่อจะลดลงได้แต่เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีการระบายความร้อนผ่านตัวมันได้ไม่เท่ากัน ความสามารถในการระบายความร้อนได้มากหรือน้อยนั้น อาจกล่าวได้ว่าวัสดุมีค่าความต้านทานทางความร้อน (thermal resistance) หรือ R_{θ} ไม่เท่ากัน คือเมื่อให้ความร้อนผ่านวัสดุแล้ววัสดุจะสามารถระบายความร้อนผ่านตัวมัน โดยไม่มีการต้านทานพลังงานความร้อนไม่ให้ผ่านไปได้ง่ายๆ ซึ่งจะทำให้ตัวมันมีอุณหภูมิสูงขึ้น การระบายความร้อนของมอสเฟตกำลังผ่านแผ่นระบายความร้อนสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลย์ในลักษณะความร้อนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรสมมูลย์การถ่ายเทความร้อนของมอสเฟตกำลังในรูปแบบของค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีขั้นสูงไปใช้

แผ่นระบายความร้อนไปยังอากาศรอบข้าง และที่อุณหภูมิที่รอยต่อ T_j หลังคิดแผ่นระบายความร้อนอาจคำนวณได้จากสมการสมมูลย์ได้ดังนี้

$$T_j = P_D (R_{\theta jC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA}) + T_A \quad (2.9)$$

เมื่อ	P_D	คือ	ค่ากำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวพาเวอร์มาสเฟดเป็น W
	T_A	คือ	ค่าอุณหภูมิแวดล้อมของระบบเป็น °C
	$R_{\theta jC}$	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างรอยต่อและตัวถังเป็น °C/W
	$R_{\theta CS}$	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างตัวถังและแผ่นระบายความร้อน °C/ W
	$R_{\theta SA}$	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างแผ่นระบายความร้อนและอุณหภูมิแวดล้อมเป็น °C/ W

โดยปกติผู้ผลิตจะระบุค่า $R_{\theta jC}$, $R_{\theta CS}$ มาพร้อมกับค่าจำกัด ส่วนค่า $R_{\theta CS}$ จะขึ้นอยู่กับวิธีการยึดติดตัวถังของมอสเฟดกำลังกับแผ่นระบายความร้อน และค่า $R_{\theta SA}$ จะขึ้นอยู่กับวัสดุและขนาดรูปร่างของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้จากสมการจะเห็นได้ว่า ค่า $R_{\theta jC}$ ยังมีค่าน้อยยังคงรักษาตัวถัง ลักษณะผิวสัมผัสและแรงกดยึดตัวถังเข้ากับแผ่นระบายความร้อนจะมีผลโดยตรงต่อค่า $R_{\theta CS}$ การใช้แผ่นฉนวนคั่นระหว่างตัวถังกับแผ่นระบายความร้อนจะทำให้ค่า $R_{\theta CS}$ เพิ่มขึ้น แต่อาจจะลดลงได้โดยการทาครีมระบายความร้อน เช่น ครีมซิลิโคน การทาครีมระบายความร้อนจะทำให้ค่า $R_{\theta CS}$ ลดลงได้เนื่องจากครีมจะช่วยลดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสให้น้อยลง

2.2 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost converter)

2.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

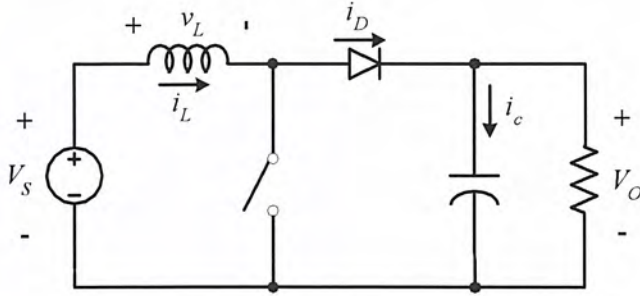
วงจรทระดับแรงดันหรือวงจร บูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกววงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านั่นเอง

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับวงจร บั๊กคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบจะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงกันด้านออกมาคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านออก กรณีที่ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์



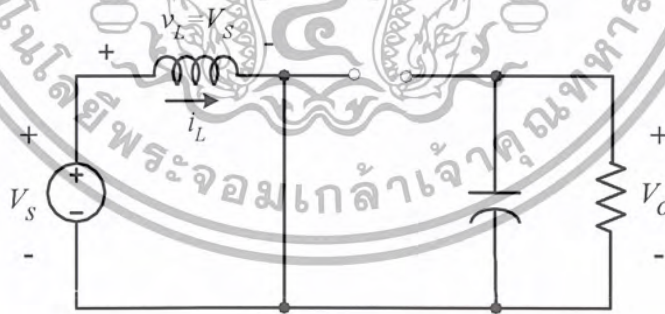
รูปที่ 2.8 วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

2.2.2 หลักการของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกรวมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

2.2.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.9 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จากกฎของเคอร์hoff จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \tag{2.10}$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ $L \frac{di_L}{dt} = V_s$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า (2.12) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \tag{2.13}$$

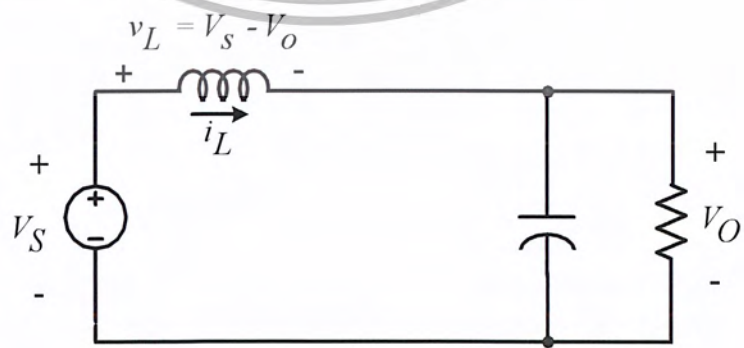
$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \tag{2.14}$$

$\Delta i_{L,on}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.10 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

2.2.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ใดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ กฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.15)$$

$$v_L = V_s - V_o$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.16)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตรการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.10 (ข) ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.17)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์จากสมการที่ (2.14) และสมการที่ (2.17) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.18)$$

$$\left(\frac{V_s}{L} \right) DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.19)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s - V_o(1-D) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.20)$$

จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน สามารถหาได้โดยวิธีการง่ายๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (2.20) ดังนี้

$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.11)

$$v_{L,on} = V_s$$

และจากสมการที่ (2.16)

$$v_{L,off} = V_s - V_o$$

$$V_{L,av} = (V_s)(t_{on}) + (V_s - V_o)(t_{off}) = 0$$

$$(V_s)(DT) + (V_s - V_o)(1-D)T = 0$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s - V_o(1-D) = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.22)$$

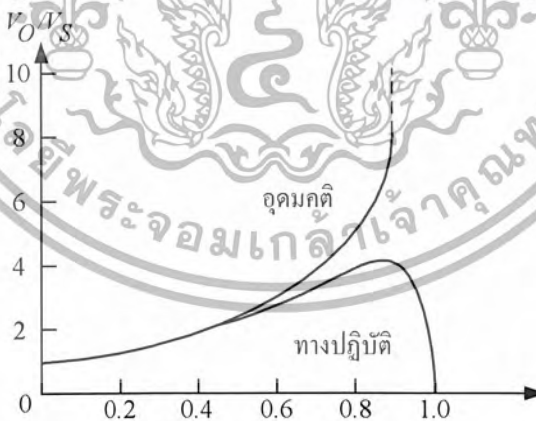
การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า จากสมการที่ (2.20) หรือ (2.22) แท้จริงแล้วมีหลักการเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่า D ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty ratio (D)	อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) (V_o/V_s)
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	∞

ตารางที่ 2.1 อัตราขยายแรงดันของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.12 เมื่อค่า D เพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำสุด คือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับ D

2.2.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

สมมุติการสูญเสียภายในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่จากแหล่งจ่าย กำลังไฟฟ้าที่กระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขนี้ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.23)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.24)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R}$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D}$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.25)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R}$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด หาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสดังในสมการที่ (2.14)

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.26)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.27)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด ที่ทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (2.28)

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right)$$

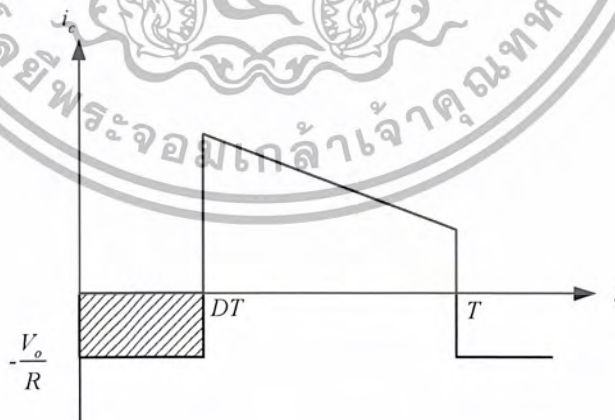
$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.29)$$

การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด จากสมการที่ (2.29) สามารถทำได้โดยการปรับค่าที่ D หรือค่าความต้านทานโหลด R หรือความถี่สวิตชิ่ง f

2.2.4 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่กว่า ได้เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากขดลวดขด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$$|\Delta Q| = C\Delta V_o = I_o\Delta t_{on} \quad (2.30)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R}$$

$$\Delta t_{on} = DT$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o\Delta t_{on}}{C} = \frac{V_oDT}{RC}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} \quad (2.31)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.32)$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก จะทำได้โดยการลดค่า D ให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตช์ให้สูงขึ้น

2.3 ทฤษฎีวงจรมินิเบอเรอร์

ในวงจรสวิตชิ่ง จำเป็นต้องมีวงจรมินิเบอเรอร์ประกอบอยู่ด้วย เพราะวงจรมินิเบอเรอร์เป็นวงจรที่ใช้ป้องกันอุปกรณ์สวิตชิ่งซึ่งที่มินิเบอเรอร์สามารถทำได้ก็คือ

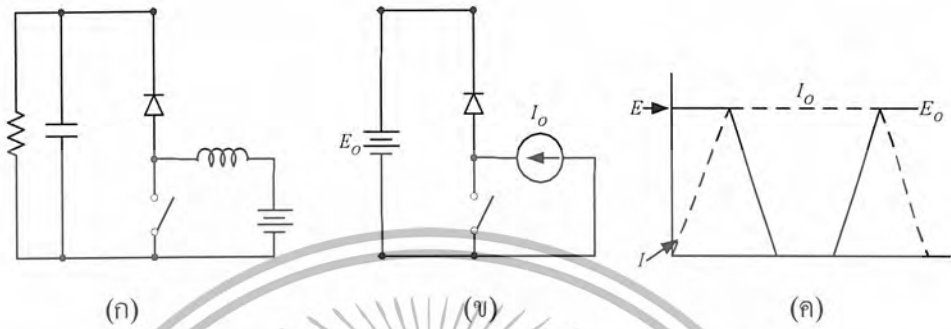
- ลดหรือกำจัดแรงดันและ กระแสสไปค
- ลด dv/dt และ di/dt
- รักษาให้ทำงานอยู่ในพื้นที่ทำงานปลอดภัย (SOA)
- กระจายกำลังจากสวิตช์ไปยังตัวต้านทาน
- ลดการสูญเสียระหว่างการสวิตชิ่ง
- ลด EMI โดย ลดแรงดันแอมป์ และ กระแสรีกิ้ง

2.3.1 รูปคลื่นของสวิตชิ่ง

ก่อนจะออกแบบมินิเบอเรอร์สิ่งสำคัญต้องเข้าใจในเรื่องรูปคลื่นที่เกิดขึ้นในวงจรกำลัง เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบ ความแตกต่างของวงจรแต่ละแบบที่ใช้ใน คอนเวอร์เตอร์ เช่น การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า, อิเล็กทรอนิกส์สวิตชิ่งและ อุปกรณ์อื่น ๆ ถึงแม้ว่าวงจรที่แตกต่างกันแต่โดยปกติแล้ววงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย สวิตช์ ไดโอดและตัวเหนี่ยวนำ การทำงานของวงจรมินิเบอเรอร์จะเป็นตัวอย่างสำหรับการประยุกต์ใช้ในออกแบบวงจรแบบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรบูสต์จะแสดงในรูปที่ 2.1(ก) สำหรับสับเบอ์จะพิจารณาการทำงานของวงจรระหว่างแต่ละคาบของการสวิตซ์ ปรกติการทำงานที่ด้านออกเป็น ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมี ระลอกคลื่นเล็กน้อย จะให้โหลดและคาปาซิเตอร์เป็นเบตเตอร์และกระแสใน ตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการทำงานและสามารถสมมุติ ตัวเหนี่ยวนำเป็นแหล่งจ่ายกระแสตัวหนึ่ง จะแสดงในรูปที่ 2.14 (ข)



รูปที่ 2.14 (ก) วงจรบูสต์ก่อนเวอร์เตอร์
 (ข) วงจรสมมุติของวงจรบูสต์ก่อนเวอร์เตอร์
 (ค) รูปคลื่นแรงดัน (E) และ กระแส (I) ของอุปกรณ์สวิตซ์

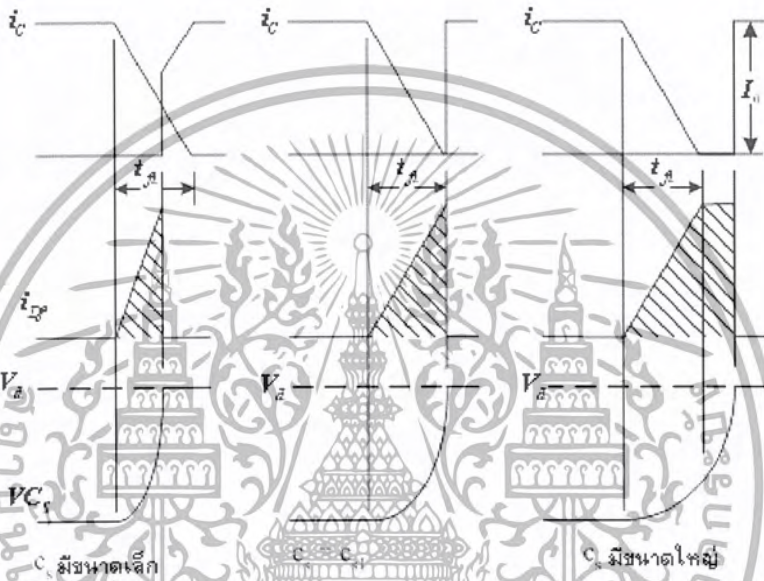
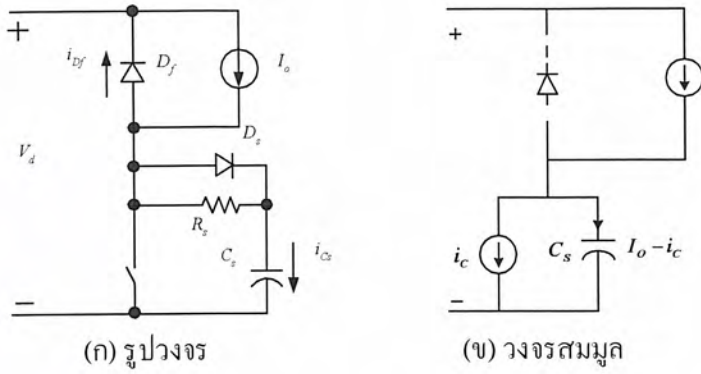
เมื่อเริ่มการทำงานสวิตซ์จะเปิดและกระแส (I_o) จะไหลผ่านไดโอดไปยังเบตเตอร์ เมื่อสวิตซ์ เริ่มนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านไดโอดจะผ่านทางสวิตซ์แทนจนแรงดันที่ตกคร่อมสวิตซ์เท่ากับ E_o กระแสทั้งหมดจะไหลเข้าสวิตซ์ แรงดันที่ตกคร่อมสวิตซ์จะเริ่มตก เมื่อสวิตซ์ เริ่มหยุดนำกระแสก็ยังคงที่จนกระทั่งแรงดันที่สวิตซ์มาถึง E_o อีกครั้งกระแสก็จะลดลง

2.3.2 วงจร RCD สับเบอ์

วงจร RCD สับเบอ์จะช่วยแก้ปัญหาขณะหยุดนำกระแส ซึ่งจะมีผลกับวงจร โดยที่จะทำให้แรงดันตกคร่อมมอสเฟตกำลังเป็นศูนย์ ในขณะที่สัญญาณหยุดนำกระแสนั้นเอง ซึ่งจะทำให้การต่อวงจร RCD ขนานกับมอสเฟตกำลัง

คังรูปที่ 2.15(ก) ที่สภาวะสัญญาณหยุดนำกระแสนั้นกระแส i_d จะลดลงด้วยอัตรา $\frac{dv}{dt}$ คงที่และกระแส $I_o - I_d$ จะไหลไปยังตัวเก็บประจุ ดังนั้นในช่วงกระแสตกลง (t_{fi}) สามารถเขียนสมการกระแสที่ตัวเก็บประจุได้เป็น

$$i_{cs} = \frac{I_o t}{t_{fi}} \quad 0 < t < t_{fi} \quad (2.33)$$



(ค) สัญญาณแรงดัน V_{DS} และกระแส I_D

รูปที่ 2.15 วงจรสับเบอรัขณะที่ i_{CS} เป็นศูนย์ที่เวลา $t = 0$

แรงดันที่ตัวเก็บประจุจะเหมือนกับแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟตกำลังนั่นเอง

$$V_{CS} = V_{DS} = \frac{1}{C_S} \int_0^t i_{CS} dt = \frac{I_{O1}^2}{2C_S t_{ft}} \tag{2.34}$$

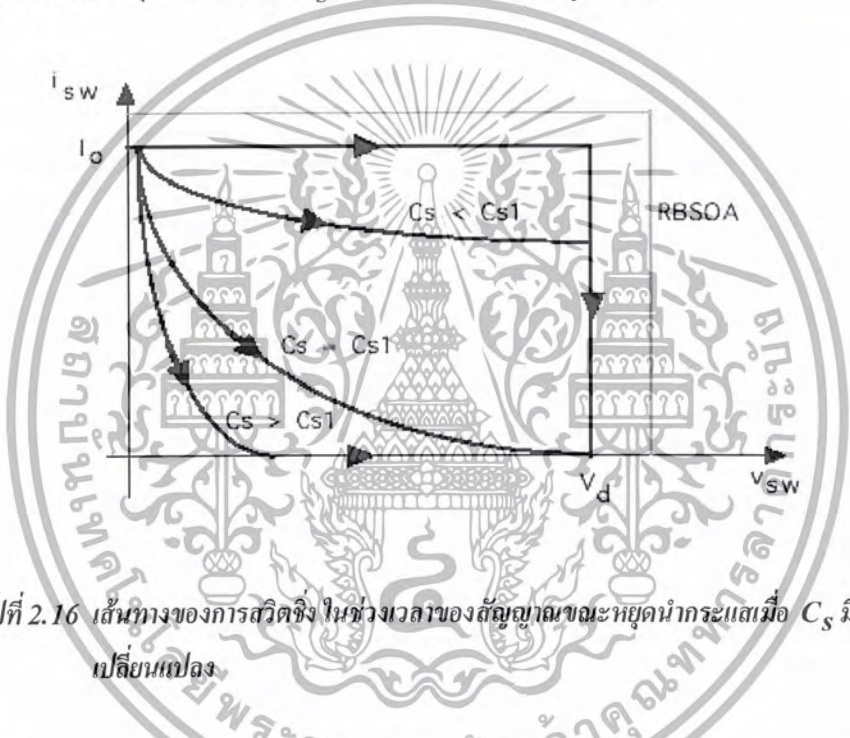
ในช่วงเวลาขณะที่กระแสตกลงนี้แรงดันที่ตัวเก็บประจุ จะน้อยกว่าหรือเท่ากับ V_d ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข) สำหรับรูปสัญญาณในรูปที่ 2.15 (ค) แสดงถึงค่าตัวเก็บประจุของสับเบอรัที่ C_S จำนวน 3 ค่า ซึ่งที่ค่า C_S น้อยนั้น V_{CS} จะเพิ่มขึ้นจนมีขนาดเท่ากับ V_d ก่อนที่สัญญาณกระแสจะตกลงถึงจุดต่ำสุดส่วนสัญญาณ i_{CS} จะตกลงถึงเป็นศูนย์ที่อัตรา $\frac{dV_{CS}}{dt}$ จะเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านรูปถัดไปเมื่อ $C_S = C_{S1}$ นั้น V_{CS} จะเพิ่มขึ้นจนเท่า V_d เมื่อสัญญาณกระแสตกลงถึงจุดต่ำสุดพอดี คือช่วงเวลา t_{fi} สำหรับ C_{S1} สามารถคำนวณได้โดยแทนค่า $t = t_{fi}$ และ $V_{CS} = V_d$ ในสมการที่ (2.34) ซึ่งจะได้เป็น

$$C_{S1} = \frac{I_o t_{fi}}{2V_d} \tag{2.35}$$

สำหรับค่าตัวเก็บประจุมากคือ $C_S > C_{S1}$ จะเห็นว่า V_{CS} เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งใช้เวลาในการเพิ่มจนถึงค่า V_d นานกว่าเวลา t_{fi} และเมื่อผ่านช่วงเวลา t_{fi} ไปแล้ว i_{CS} จะเท่ากับ I_o ส่วน V_{CS} จะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นจนถึงค่า V_d ซึ่งกราฟแสดงคุณลักษณะของ C_S ทั้งสามค่า ดังแสดงในรูปที่ 2.16



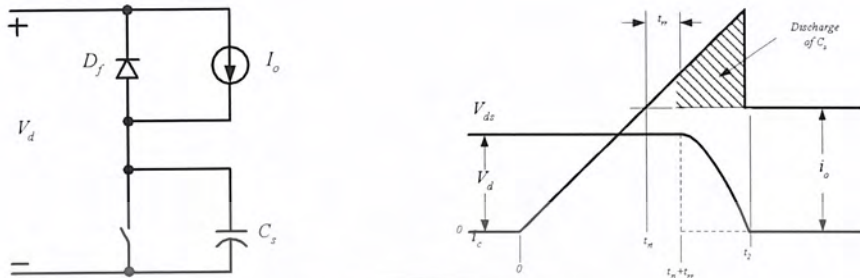
รูปที่ 2.16 เส้นทางของการสวิตชิงในช่วงเวลาของสัญญาณขณะหยุดนำกระแสเมื่อ C_S มีการเปลี่ยนแปลง

การที่จะออกแบบวงจรสวิตช์เบอร์รี่ให้ ได้ผลดี ต้องทำความเข้าใจพฤติกรรมของสัญญาณขณะที่น่ากระแสซึ่งเราสมมุติให้ R_S เป็นศูนย์ ดังนั้นก็เหลือเพียง C_S ดังในรูปที่ 2.17(ก) กระแสขณะสัญญาณนำกระแสจะเพิ่มขึ้นเมื่อ i_o และไดโอด D_f มีกระแสไหลย้อนกลับซึ่งเราสมมุติให้อัตรา $d \frac{d}{dt}$ คงที่สำหรับพื้นที่แรงงาในรูปที่ 2.17 (ง)เป็นการคายประจุของ C_S ให้กับมอดเฟตกำลัง พื้นที่นี้จะขึ้นอยู่กับค่า C_S ที่ใช้และเมื่อค่า C_S หดลงแรงดันที่มอดเฟตกำลังก็จะตกลงดังนั้นพลังงานที่ถ่ายเทไปที่มอดเฟตกำลังขณะสัญญาณหยุดนำกระแสจึงมีค่าน้อยจากรูปสัญญาณที่ปรากฏ ขณะแรงดันตกจึงเป็นค่าพลังงานที่ถ่ายเทไปนมอดเฟตกำลังนั่นเอง สำหรับพลังงานที่ถ่ายเทไปที่มอดเฟตกำลัง ขณะที่ C_S คายประจุนั้นสามารถแสดงได้เป็นสมการคือ

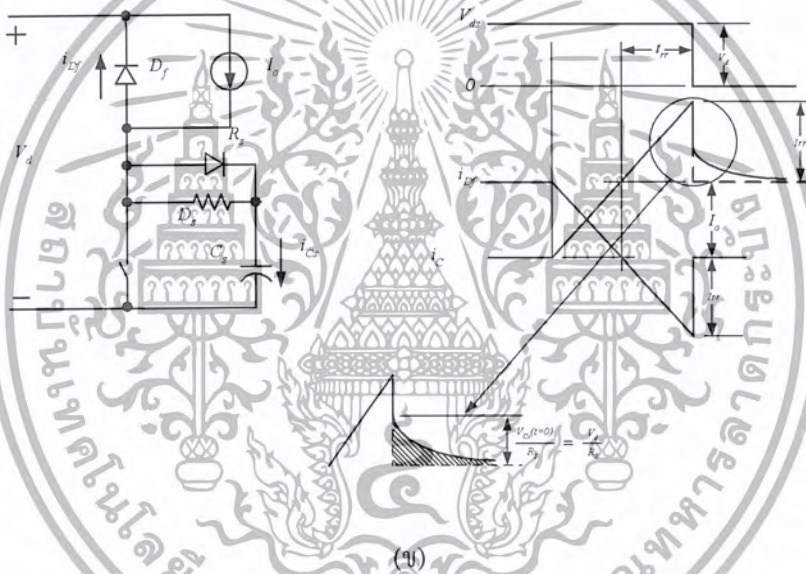
$$\Delta W_Q = \int_{t_{fi}+t_{rr}}^{t_2} i_d V_{DS} dt = \int_{t_{fi}+t_{rr}}^{t_2} i_d V_{DS} dt + \int_{t_{fi}+t_{rr}}^{t_2} I_o V_{DS} dt \tag{2.36}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเทอมแรกจะเป็นพลังงานในตัวเก็บประจุที่ถูกใช้ไปในขณะสัญญาณหยุดนำกระแส ซึ่งเมื่อกระจายสมการออกมาพลังงานที่ใช้ในเทอมที่ 2 โดยทั่วไปจะมากกว่าเทอมแรกพลังงานในส่วนนี้จะยาวตามช่วงสัญญาณแรงดันที่ตกลงก็เนื่องจากค่า C_s นั้นเอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.17 ผลกระทบของตัวเก็บประจุสับเบอรั (C_s) ที่มีต่อ
 (ก)ช่วง turn-off transient ในขณะที่ไม่มี R_s
 (ข)ช่วง turn-off transient ในขณะที่มี R_s

ทางด้านรูปสัญญาณขณะนำกระแสเมื่อต่อ R_s เป็นสับเบอรัที่แสดงในรูปที่ 2.18 (ข) จะต่างจากที่มี C_s ต่ออยู่ตัวเดียว ซึ่งพลังงานที่ถ่ายเทจาก C_s จะไม่ปรากฏที่มอสเฟตกำลัง สำหรับสัญญาณนำกระแสพลังงานของ C_s ที่ถ่ายเทไปที่ R_s นั้นแสดงได้โดย

$$W_R = \frac{C_s V_d^2}{2} \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และเมื่อได้ R_s แล้วกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านจะน้อยกว่ากระแสที่ย้อนกลับ I_{rr} ของไดโอด D_f ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_d}{R_S} < I_{rr} \quad (2.38)$$

ผู้ที่ออกแบบวงจรจะต้องพยายามจำกัดค่ากระแส I_{rr} ให้เท่ากับ $0.2I_o$ หรือน้อยกว่านั้น ดังแสดงในสมการที่ 2.38

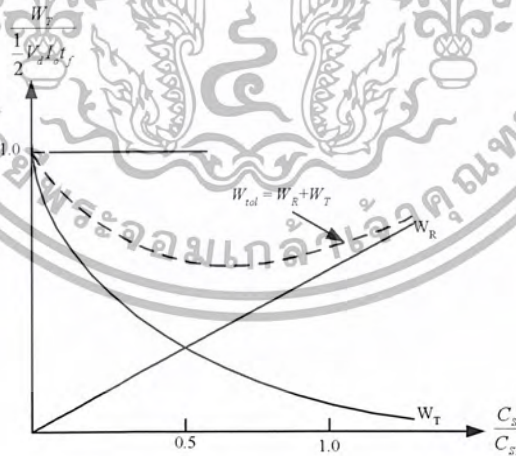
$$\frac{V_d}{R_S} = 0.2I_o \quad (2.39)$$

จากรูปที่ 2.17 เราจะเห็นผลดีของการใส่ R_S เข้าไปในวงจรคือ

1. พลังงานจาก จะไปกระจายหายไปที่แทนที่จะไปสูญเสียที่มอสเฟต
2. ไม่มีพลังงานอื่นไปปรากฏที่มอสเฟต เมื่อมีการใช้ turn-off snubber
3. กระแสสูงสุดของมอสเฟตไม่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้ turn-off snubber

การเลือกค่า C_S ที่เหมาะสมคือ

1. สอดคล้องกับการสวิตช์ขณะสัญญาณหยุดนำกระแสที่ตำแหน่งพื้นที่ทำงานปลอดภัยขณะไบแอสกลับ (RBSOA)
2. ไม่ให้มีการสูญเสียที่มอสเฟตหรือมีน้อยที่สุด
3. สอดคล้องกับกราฟแสดงลักษณะ



รูปที่ 2.18 การกระจายพลังงานขณะสัญญาณหยุดนำกระแส ของมอสเฟตกำลังและความต้านทานของ snubber ที่เป็นฟังก์ชันของ C_S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แกนแม่เหล็กความถี่สูง

แกนแม่เหล็กมีหน้าที่หลัก คือ เป็นเส้นทางเดินหลักสำหรับเส้นแรงแม่เหล็กในการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์แม่เหล็ก หรืออาจจะกล่าวได้ว่าทำหน้าที่เป็นเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานแม่เหล็กกับโหลดทางแม่เหล็กนั่นเอง

2.4.1 แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ (Tape Wound core)

แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ (Tape Wound core หรือ metal alloy tape wound cores) ซึ่งจะนิยมเรียกย่อๆ ว่า TWC จัดว่าเป็นเฟอร์โรแมกเนติกแบบอ่อน (soft ferromagnetic) โดยเกิดจากการใช้อัลลอยด์ (alloy) เช่น เพอมาลลอยด์ (permalloy) ซึ่งแกนแม่เหล็กที่ทำจากสารดังกล่าว จะมีกราฟคุณลักษณะของ ความหนาแน่นต่อความเข้มสนามแม่เหล็กใกล้เคียงอุดมคติคือเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดมีค่าสูง อย่างไรก็ตามความต้านทานไฟฟ้าภายในแกนแม่เหล็กจะมีค่าต่ำ จึงเป็นที่มาของการแบ่ง TWC ออกเป็นแผ่นบาง ๆ เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน ภายในแกนแม่เหล็ก โดยส่วนใหญ่แล้ว TWC จะนิยมใช้กับความถี่กำลัง เช่น 50, 60, และ 400 Hz เป็นต้น แต่ TWC จะไม่นิยมใช้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ ซึ่ง เพราะแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ซึ่งจะทำงานที่ความถี่สูง (ประมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 70 KHz) เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนสูง

อย่างไรก็ตาม สารโลหะผสมชนิดอะมอร์ฟัส (amorphous metal alloys) เป็นสารแม่เหล็กอัลลอยด์ชนิดใหม่ ที่ได้มีการพัฒนาค้นคว้ามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำและนิยมใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ที่ความถี่สวิตซ์ประมาณ 100 ~ 200 KHz และโดยมากจะใช้เป็นวงจรขยายแบบแม่เหล็ก (magnetic amplifier) ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์

2.4.2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด (Powder Core)

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะอัด จะเกิดจากสารอัลลอยด์ (alloy material) เป็นหลักในการทำเป็นผงแป้งดังกล่าวผสมกับสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนซึ่งทำหน้าที่ในการแยกอนุภาค (particle) ต่างๆ ออกจากกัน ซึ่งจะเปรียบเสมือนกับเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานไฟฟ้านั่นเอง จากนั้นจะนำมาขึ้นรูปแกนแม่เหล็ก ซึ่งโดยมากรูปทรงของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด มักจะอยู่ในรูปทรงทอรอยด์ (toroidal shape) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นแกนแม่เหล็กแบบผงโลหะอัด จะมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงานได้ดีจึงนิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำ และหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็ก อย่างไรก็ตามพลังงานไม่ได้สะสมอยู่ในส่วนที่มีความขยับซึมได้สูงๆ แต่จะสะสมอยู่ในย่านที่ไม่เป็นแม่เหล็ก (non-magnetic) หรือในย่านที่มีค่าขยับซึมได้ต่ำๆ ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปภายในแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด โดยที่การแบ่งประเภทของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด จะแบ่งออกตามค่าความขยับซึมได้ซึ่งจะอยู่ในย่าน $\mu_r = 15 \sim 200$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคหรือส่วนผสมต่างๆ นอกจากนั้น แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด ยังไม่นิยมใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็กจริงๆ แล้วจัดได้ว่าเป็นตัวเหนี่ยวนำ) เพราะมีความขยับซึมได้สัมพัทธ์ต่ำ เป็นผลทำให้ค่ากระแสทำแม่เหล็กจะมีค่าสูงและมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงาน (energy storage) ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าวเพราะเมื่อค่ากระแสที่ทำแม่เหล็กสูงหมายถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูง และหน้าที่หลักของหม้อแปลงไฟฟ้าคือถ่ายเทพลังงาน(energy transfer)ไม่ใช่สะสมพลังงาน

แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกเป็นสามชนิด ได้แก่ MolyPermalloy ,High Flux และ Kool Mu ซึ่งรายละเอียดของทั้งสามแบบแสดงได้ดังต่อไปนี้

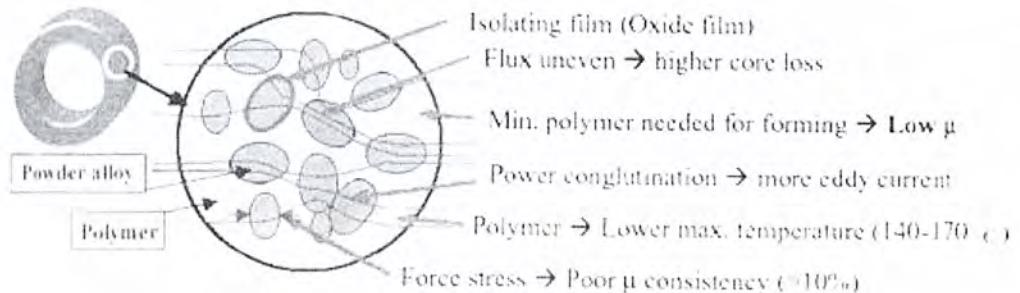


รูปที่ 2.19 แกนแม่เหล็กแบบทอรอยด์

2.4.2.1 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลิเพอมาลอยด์ (MolyPermalloy Powder (MPP) Core)

MPP จะเกิดจากเพอมาลอยด์เป็นส่วนผสม ในทำนองเดียวกันกับของกรณี TWC เพียงแต่ว่า MPP จะมีค่าความซาบซึมได้น้อยกว่า โดยจะมีให้เลือกทั้งหมด 10 ค่า ตั้งแต่ 14 ถึงประมาณ 550 ซึ่งจะแตกต่างจากสารโลหะเพอมาลอยด์ (permalloy metal) ทั่วไปที่จะมีค่าความซาบซึมได้ประมาณตั้งแต่ 10,000 ถึงประมาณ 200,000 ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทดสอบ สาเหตุที่ MPP มีค่าความซาบซึมได้ลดลงก็เพราะเกิดจากการแยกองค์ประกอบของเพอมาลอยด์ ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน(insulating medium) ซึ่งจะทำให้เกิดช่องอากาศกระจายอยู่ภายในแกน MPP ดังกล่าว และด้วยช่องอากาศที่กระจายอยู่ภายในแกนดังกล่าวเป็นผลทำให้ผงโลหะอัดเพอมาลอยด์ (permalloy powder) สามารถใช้ได้ดีกับไฟฟ้ากระแสตรงได้ดี

คุณสมบัติเด่นของแกนแม่เหล็กชนิด MPP ก็คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำมากและสะสมพลังงานได้สูง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังความถี่สูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.20 ตัวอย่างการประกอบภายในแกนผงโลหะอัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดไฮฟลักซ์ (High Flux powder Core)

เรียกย่อ ๆ ว่าไฮฟลักซ์ (High Flux) จะเกิดจากการใช้สารที่คล้ายกับ Orthonol (50Ni-50Fe) เป็นส่วนผสมแทนเฟอมาลอคอยด์ เป็นผลทำให้ได้ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุ่มีค่าสูงขึ้นกว่ากรณีเฟอมาลอคอยด์ จึงเป็นที่มาของชื่อ “ไฮฟลักซ์” นอกจากนี้คุณสมบัติก็จะคล้ายกับกรณีเฟอมาลอคอยด์ คือสะสมพลังงานได้สูงและสามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ดี และข้อเด่นของ ไฮฟลักซ์ที่เหนือกว่าเฟอมาลอคอยด์ก็คือมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าสูงกว่ากรณีเฟอมาลอคอยด์

2.4.2.3 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดคูลมู (kool Mu Powder Core)

เรียกย่อ ๆ ว่า “คูลมู”(Kool Mu) จะเกิดจากการใช้สารเฟอร์รัสอัลลอยด์(ferrous alloy)เป็นส่วนผสม โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าสูงกว่า MPP แต่จะมีราคาถูกลงกว่า ในขณะที่พลังงานสะสมมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตาม คูลมูจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำกว่ากรณี iron powder cores นอกจากนี้คุณสมบัติของ คูลมูยังนิยมใช้ทำเป็นวงจรกรองสัญญาณรบกวน(In-line noise filter) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำภายในวงจรดังกล่าวจะต้องรองรับไฟฟ้ากระแสสลับค่าสูงๆ โดยที่แกนแม่เหล็กต้องไม่เกิดการอิ่มตัว ซึ่งตัวเหนี่ยวนำที่ได้จะมีขนาดเล็กและใช้จำนวนรอบการพันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีใช้แกนเฟอร์ไรต์ คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของคูลมู ก็คือมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูง (10,000 เกาส์) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ เป็นผลทำให้คูลมูนิยมนำใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงทิศทางเดียว (unidirectional drive application) และหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรพลาซมาเป็นต้น

2.4.3 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Cores)

กรรมวิธีการผลิตเฟอร์ไรต์จะมีความแตกต่างจากสารแม่เหล็กชนิดอื่น ๆ เพราะวัตถุดิบที่ใช้ (raw materials) จะมาจากออกไซด์ของโลหะชนิดต่างๆ (oxides of various metals) เช่น เหล็ก (iron) แมงกานีส (manganese) สังกะสี (Zinc) ซึ่งโดยทั่วไป ออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็นผลทำให้เฟอร์ไรต์มีความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่ากรณีใช้อัลลอยด์ (magnetic alloys) ทำให้เหมาะกับงานที่ใช้กับความถี่สูง ๆ จนกระทั่งถึงย่านเมกะเฮิรตซ์ และด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยการเผาส่วนผสมจากออกไซด์หรือคาร์บอนเตชของนิเกิลและสังกะสี เป็นต้น ทำให้แกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นสารเซรามิกส์(ceramic material) โดยที่ MnZn Ferrite จะใช้งานที่มีความถี่สูงถึง 1-2 MHz ซึ่งหมายรวมถึง power ferrite materials ที่นิยมนำใช้ในแหล่งจ่ายสวิตชิง ในขณะที่ NiZn Ferrite ซึ่งจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ ซึ่งนิยมนำใช้ตั้งแต่ความถี่ 1 MHz จนกระทั่งถึงหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์โดยทั่วไป ค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์ของเฟอร์ไรต์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500-3,000 นอกจากนี้แกนเฟอร์ไรต์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นได้ทั้งตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า เหตุผลที่แกนเฟอร์ไรต์เป็นที่นิยมนำใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพราะว่ามีราคาถูก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำกว่าแกนที่ทำจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ

บทที่ 3

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

3.1 ประวัติและความเป็นมา

อาจจะกล่าวได้ว่าปัญหาที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าถูกค้นพบ และแก้ไขในปลายปี ค.ศ.1800 โดยนาย Marconi ส่วนในด้านของบทความวิชาการที่เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเริ่มต้นได้รับการตีพิมพ์ ประมาณปี ค.ศ.1920 ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นบทความทางด้าน สาขาอากาศและเครื่องรับเป็นต้น ในขณะที่ปัญหา สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ฯลฯ เริ่มต้นได้รับความสนใจ ประมาณปี ค.ศ.1930

สำหรับพัฒนาการทางด้านปัญหาที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถกล่าวได้ว่า ในระหว่างช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยส่วนใหญ่จะมีความหนาแน่นของอุปกรณ์น้อยซึ่ง โดยส่วนใหญ่จะได้แก่หลอดสุญญากาศ (Vacuum tube electronics) ทำให้ ปัญหาที่เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว สามารถแก้ไขโดยง่ายไม่ซับซ้อน

แต่ปัญหาที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้รับความสนใจอย่างจริงจัง เริ่มตั้งแต่การเกิดขึ้น ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความจุสูง (High-density electronic components) เช่น การเกิดขึ้นของตัว ทรานซิสเตอร์ในปี ค.ศ.1950 การเกิดขึ้นของตัววงจรรวม (IC) ในปี ค.ศ.1960 และการเกิดขึ้นของตัวไมโคร โปรเซสเซอร์ในปี ค.ศ.1970 นอกจากนั้นภายหลังจากปี ค.ศ.1970 เป็นต้นมา ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือคอมพิวเตอร์ทั้งหลายได้มีการเปลี่ยนจากการประมวลผล แบบอนาล็อก (analog signal processing) มาเป็นแบบดิจิทัล (digital signal processing) เพราะทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการสวิตช์ (switching speed) และลดจำนวนวงจรรวมลงได้ ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้ในปัจจุบันปัญหาในเรื่องของ ความเข้ากันได้ทาง แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นปัญหาหลักที่สำคัญสำหรับการติดต่อสื่อสารโดยใช้สายหรือสัญญาณวิทยุ ดังนั้น ในปี ค.ศ.1979 ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดตั้งคณะกรรมการ Federal Communications Commission (FCC) ขึ้นมาเพื่อ กำหนดขีดจำกัด (limit) สำหรับอุปกรณ์ดิจิทัล (digital devices) ให้มีการแผ่กระจายสัญญาณรบกวนแม่เหล็ก ไฟฟ้า (EMI) ให้ต่ำกว่าขีดจำกัดดังกล่าว และยังห้ามมิให้อุปกรณ์ดิจิทัลที่ไม่ผ่าน ข้อกำหนดดังกล่าวจำหน่าย สินค้าในประเทศสหรัฐอเมริกาอีกด้วย

ในขณะที่ทางยุโรป ได้เริ่มต้นก่อนทางสหรัฐอเมริกา โดยมีการเริ่มต้นกำหนดขีดจำกัดสำหรับ อุปกรณ์ ดิจิทัลในปี ค.ศ.1933 ที่ประเทศฝรั่งเศส โดยคณะกรรมการ International Electrotechnical Commission (IEC) ซึ่งได้กำหนดให้ คณะกรรมการ International Special Committee on Radio Interference (CISPR) เป็นหน่วยงานซึ่งมีหน้าที่ ในการจัดการปัญหาที่เกี่ยวกับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และในตอนแรกหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานดังกล่าวได้จัดทำเอกสารที่เกี่ยวกับ เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับหาค่าการแผ่กระจายของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และหลังจากสงครามโลกครั้งที่สองหรือในปี ค.ศ.1946 ที่ประเทศอังกฤษ ได้มีการออกเอกสารทางเทคนิคเพิ่มเติมที่เกี่ยวกับเทคนิคในการวัดและทดสอบ (measurement techniques) และรวมถึงการกำหนดขีดจำกัด (limit) ของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในตอนแรกประเทศสหรัฐอเมริกาก็ได้ใช้ขีดจำกัดดังกล่าวกำหนดเป็นขีดจำกัดสำหรับระบบที่เป็นดิจิทัล (digital system) ที่ใช้ภายในประเทศ

สำหรับทางด้านทหาร เริ่มต้นในปี ค.ศ.1960 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการออกมาตรฐาน MIL-STD-461 โดยที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดจะต้องผ่านมาตรฐานดังกล่าว นอกจากนี้ทางด้านทหารยังได้เพิ่มความสนใจที่ “ความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (susceptibility)” ของอุปกรณ์ต่างๆ อีกด้วยในขณะที่ ณเวลาปัจจุบัน (ค.ศ.2003) ทางอุตสาหกรรมทั่วไป ยังไม่ได้เน้นความสำคัญของปัญหาความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้าเลย เพราะการทดสอบความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำจะมี ปัญหาทางด้านราคาในการออกแบบและทดสอบที่เพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมการแผ่กระจายตามสายตัวนำ (emission control)

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ทางด้านที่เกี่ยวกับ “ความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (susceptibility)” ซึ่งเป็นคำนิยามของประเทศสหรัฐอเมริกา (FCC) หรือ “ภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (immunity)” ซึ่งเป็นคำนิยามของมาตรฐานนานาชาติ (IEC)

สำหรับมาตรฐานนานาชาติ จะได้แก่ IEC 1000-4-3 ถึง IEC 1000-4-6 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- IEC 1000-4-3 จะได้แก่ ภูมิคุ้มกันแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายทางอากาศ (Radiate Immunity Test)
- IEC 1000-4-4 จะได้แก่ Electrical Fast Transients (EFT)/Burst
- IEC 1000-4-5 จะได้แก่ Electrical Surges
- IEC 1000-4-6 จะได้แก่ ภูมิคุ้มกันแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายทางสายตัวนำ (Conducted Immunity Test)

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโดยส่วนใหญ่จะทดสอบความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในรูปของการแทรกสอดของสัญญาณพัลส์ (Pulse interference) เช่น Electrical Surges และ Electrical Fast Transients (EFT)/Burst เท่านั้น

3.2 นิยามของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าและความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

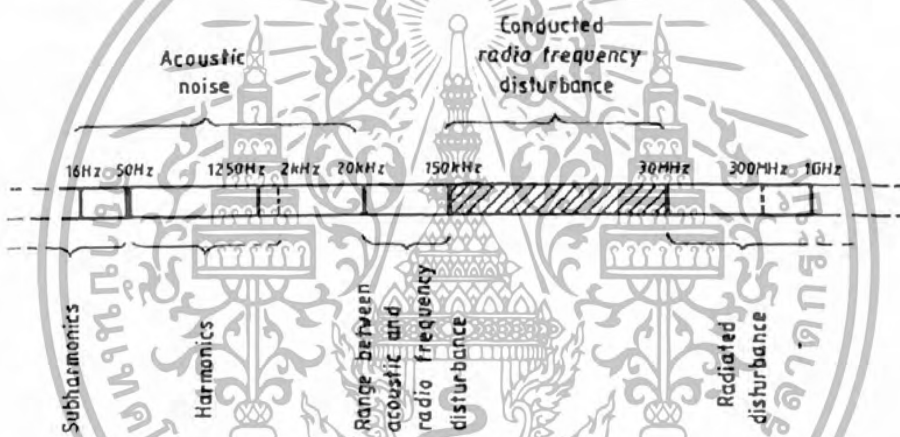
การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) อาจจะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ (device) เครื่องมือ (equipment) หรือระบบ (system) มีความผิดพลาดหรือเกิดความเสียหายได้ ซึ่งเมื่อใดก็ตามที่การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าว ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานหรือเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ (device) เครื่องมือ (equipment) หรือระบบ (system) การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าวจะเรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าหรือ EMI (Electro-Magnetic Interference) ซึ่งก็หมายถึงสัญญาณที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในระบบนั่นเอง

โดยทั่วไปการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบ ตามพิสัยความถี่ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ในพิสัย 0 Hz ถึงประมาณ 2000 Hz จะจัดอยู่ในพิสัยการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำหรือที่ นิยมเรียกกันว่า “ฮาร์มอนิก” ซึ่งจะมีผลทำให้ สัญญาณรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ากำลังมีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์และนอกจากนั้นยังเพิ่มความสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังอีกด้วย

สำหรับความถี่ในพิสัย 1.25 kHz ถึง 150 kHz ในปัจจุบัน (ค.ศ.2003) ยังไม่จัดว่าเป็นปัญหาที่จะต้องแก้ไขด้วยวิศวกรทางด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC engineers) แต่อย่างไรก็ตามมาตรฐานนานาชาติหลายฉบับได้ขยายพิสัยความถี่ฮาร์มอนิกส์ (harmonics) ให้ครอบคลุมถึงพิสัยความถี่ดังกล่าวบ้างแล้ว

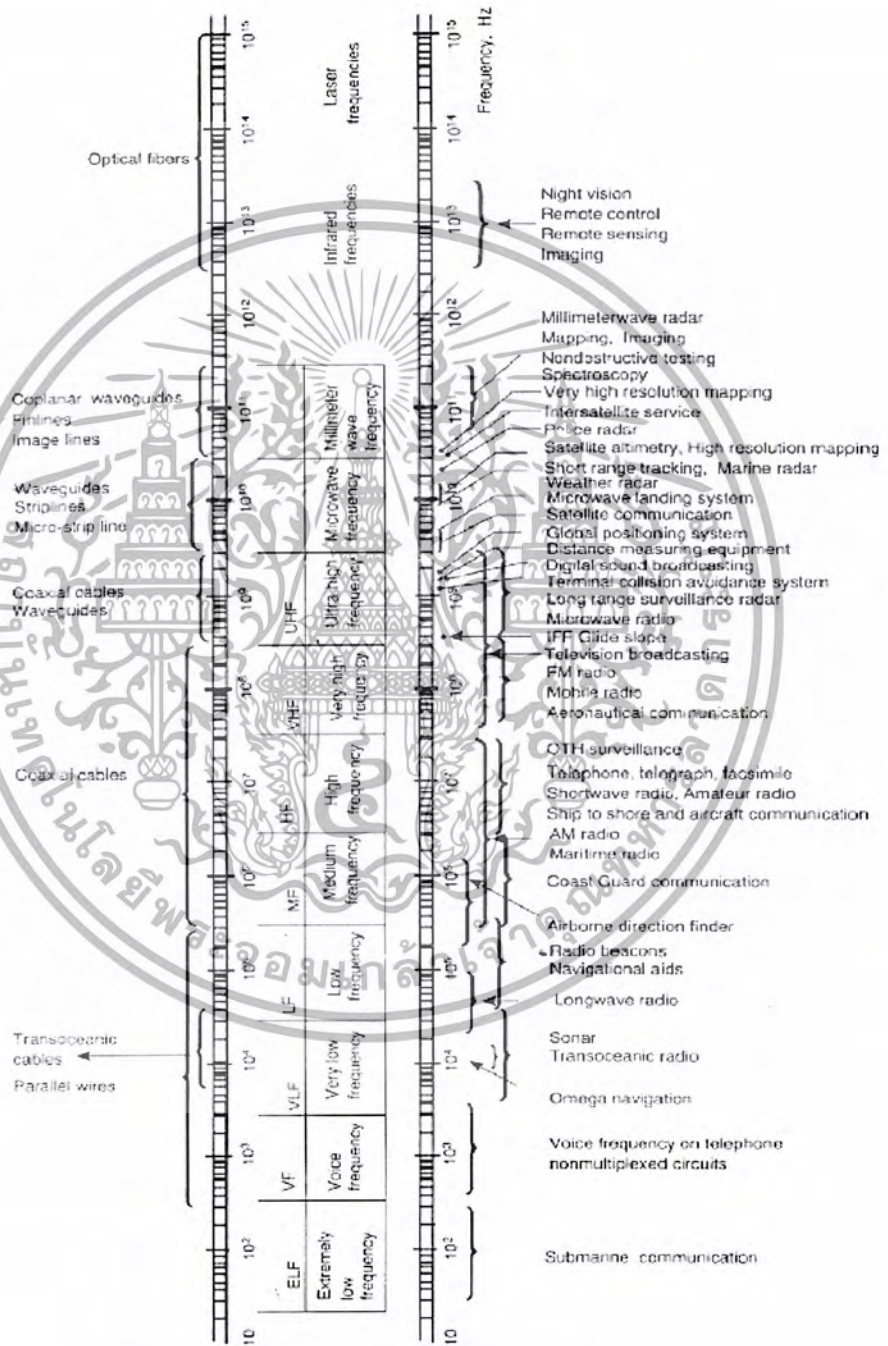


รูปที่ 3.1 พิสัยความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ส่วนพิสัยความถี่ของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าหรือบางครั้งจะเรียกแทนว่าการรบกวนความถี่วิทยุ (radio frequency disturbance) จะจัดอยู่ในการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยเริ่มพิจารณาความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 1GHzสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ ที่ความถี่ตั้งแต่ 150 kHz ถึง 30 MHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (conducted EMI) และพิสัยความถี่ ตั้งแต่ 30 MHz ถึง 1 GHz จะพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ (radiated EMI) ซึ่งทั้งสองแบบจะมีรูปแบบในการรบกวนและวิธีในการตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามโดยแท้จริงแล้วคำว่า “การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า” กับ “การรบกวนความถี่วิทยุ” จะไม่สามารถนำมาใช้ แทนกันได้ เพราะการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเพียงส่วนหนึ่งในพิสัยความถี่วิทยุเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2 กล่าวในทำนองเดียวกัน สำหรับการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกหรือการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบหรือวงจรใดๆก็ตาม ไม่ได้หมายความว่า จะเป็นการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (source) ผ่านตัวกลาง (coupling) ไปยังตัวรับผลกระทบ (receptor) ซึ่งตัวรับผลกระทบดังกล่าวอาจจะหมายถึงอุปกรณ์เครื่องมือหรือระบบก็ได้

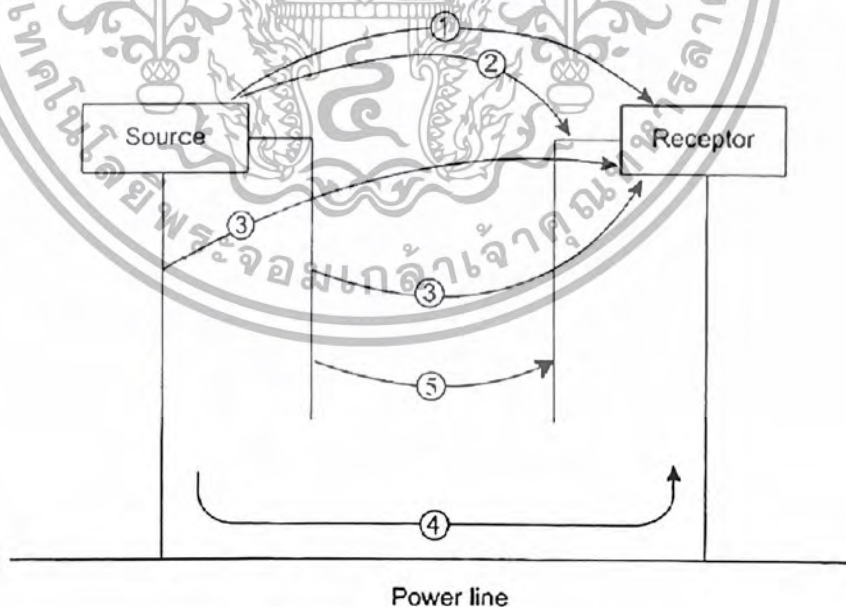


รูปที่ 3.2 สเปกตรัมและการประยุกต์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับผลกระทบ ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยผ่านทางอากาศไปยังตัวรับผลกระทบโดยตรง (รูปแบบที่1)
- แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยผ่านทางอากาศไปยังสายเคเบิลกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่เชื่อมต่อกับตัวรับผลกระทบ โดยที่สายเคเบิลดังกล่าวจะ เป็นตัวนำสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ไปยังตัวรับผลกระทบ (รูปแบบที่2)
- สายเคเบิลกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเป็นตัวแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไปยังตัวรับผลกระทบ (รูปแบบที่3)
- สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจาก แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนส่งผลกระทบ ไปยังตัวรับผลกระทบโดยผ่านทางสายเคเบิลกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่เชื่อมต่อกันกับตัวรับผลกระทบ (รูปแบบที่4)
- สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในสายเคเบิลกำลัง/สัญญาณ/ควบคุม ที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน หนีขวนำไปยังสายเคเบิลกำลัง/สัญญาณ/ควบคุมที่ต่ออยู่กับตัวรับผลกระทบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อสายดังกล่าวอยู่ใกล้กันมากเท่าไรก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวรับผลกระทบมากขึ้นเท่านั้น (รูปแบบที่5)



รูปที่ 3.3 รูปแบบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากตัวกำเนิดสัญญาณรบกวน ที่มีขนาดเกินกว่าภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic field immunity) ของตัวรับผลกระทบที่สามารถทนได้ ก็จะทำให้ตัวรับผลกระทบนั้นเกิดความเสียหายหรือเกิดความผิดพลาดในการทำงานขึ้นซึ่งนั่นก็หมายถึงการ ไม่สามารถเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้างั้นคำว่า “ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility) หรือ EMC” ก็จะหมายถึงความสามารถของตัวรับผลกระทบ (อุปกรณ์ เครื่องมือ ระบบ) ที่สามารถทำงานได้โดยปกติในสิ่งแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้า และในขณะที่เดียวกันตัวรับผลกระทบดังกล่าวจะต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่มากเกินภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทนได้ ของอุปกรณ์ เครื่องมือหรือระบบอื่นๆด้วย

3.3 หลักการพื้นฐานของการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.1 สามารถสรุปองค์ประกอบที่สำคัญ ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดการส่ง-รับแม่เหล็กไฟฟ้า

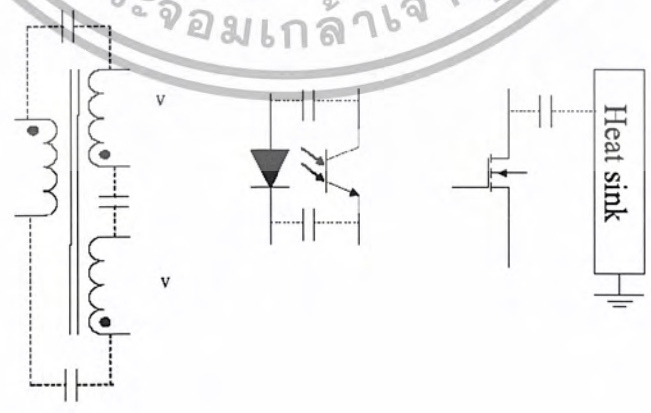
รูปที่ 3.4 ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI source) เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวน (coupling path) และตัวรับผลกระทบ (receptor) โดยที่การส่งผ่านสัญญาณรบกวนของแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งกำเนิดสัญญาณรบกวน อาจอยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าในสายตัวนำ สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กที่แผ่กระจายไปทางอากาศก็ได้

ตัวอย่างของทั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและตัวรับผลกระทบได้แสดงไว้เช่นกัน และจะสังเกตเห็นได้ว่าเครื่องมือหรือระบบบางแบบจะเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน และตัวรับผลกระทบดังแสดงในรูปที่ 3.7 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวน ระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังตัวรับผลกระทบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบด้วยกันคือ

- การแผ่กระจาย (radiation) หรือการเชื่อมต่อโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศหรือวัตถุอื่นๆ
- การเชื่อมต่อผ่านทางสายตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบและภายในระบบ

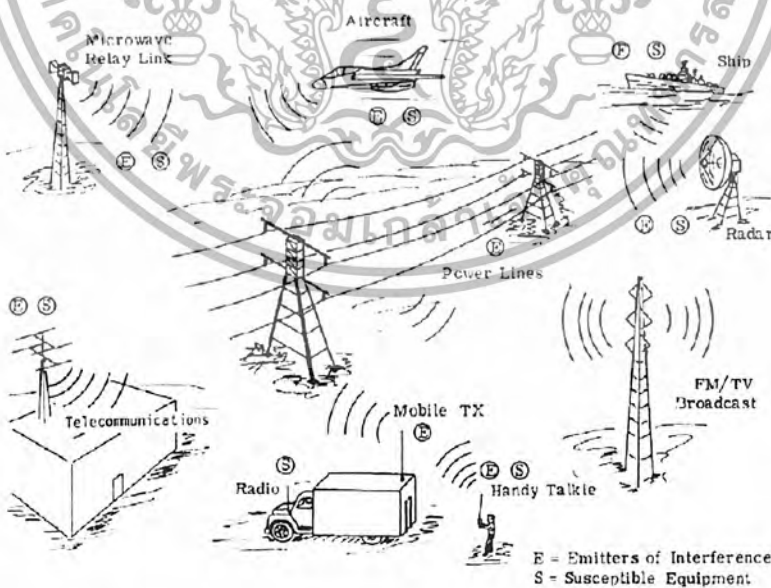
รูปแบบในการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถแบ่งออกได้เป็น สองรูปแบบกล่าวคือ ถ้าเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นระหว่างระบบใดๆ ตั้งแต่สองระบบขึ้นไปจะเรียกการรบกวนดังกล่าวว่า เป็นการรบกวนกันระหว่างระบบ (intersystem) ในทำนองเดียวกัน ถ้าเป็นการรบกวนกันระหว่างองค์ประกอบภายในที่อยู่ในระบบเดียวกัน จะเรียกการรบกวนดังกล่าวว่าเป็นการรบกวนภายในระบบ(intrasystem)

3.4.1 การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบ (Intersystem)

รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบ ซึ่งแต่ละระบบจะทำงานที่ความถี่ไม่เท่ากันพิสัยความถี่ในการทำงาน จะอยู่ระหว่างความถี่ไฟฟ้ากำลังไปจนกระทั่งถึงความถี่ในย่านไมโครเวฟ (50/60 Hz ~ GHz) พิกัดกำลังไฟฟ้าจะมีขนาดตั้งแต่ไม่กี่วัตต์ไปจนกระทั่งถึงระดับ เมกกะวัตต์ ดังนั้น เพื่อทำให้ระหว่างระบบเกิดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าจึงต้องมีการควบคุมสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากระบบต่างๆให้เหมาะสม

อย่างไรก็ตามการควบคุมดังกล่าวไม่สามารถกระทำได้โดยองค์กรใด หรือหน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งเท่านั้นแต่ต้องหมายถึงการร่วมมือกันของ สมาคมอุตสาหกรรม (industrial association) หน่วยงานอิสระ (Voluntary regulation) และรัฐบาลโดยการออกกฎหมายควบคุมจนกระทั่งถึงข้อตกลงระหว่างประเทศ

โดยทั่วไปแล้วการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบ มักจะเป็นการแผ่กระจายทางอากาศ เช่น ผ่านทางสายอากาศไปยังสายอากาศ (antenna-to-antenna) หรือจากสายอากาศไปยังสายตัวนำเป็นต้น

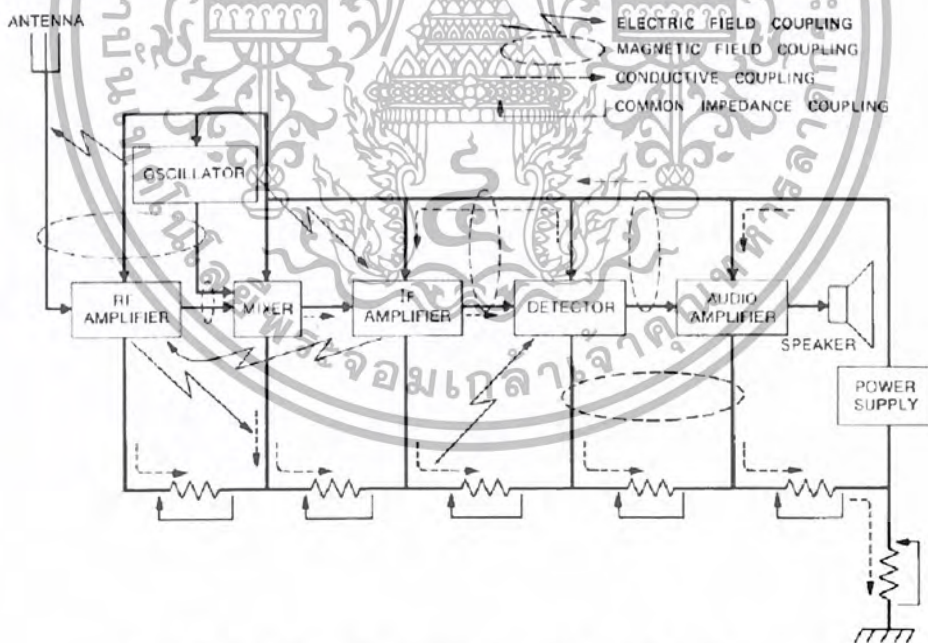


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ (Intrasystem)

การเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ภายในระบบก็จะเหมือนกับการรบกวนกันเองอยู่แต่เฉพาะภายในระบบเท่านั้น (self-jamming) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นภายในระบบ รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบตัวอย่างการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ จากตัวอย่างดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า อาจอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (transient voltage) หรือสไปร์คของกระแสไฟฟ้า (current spike) ที่มาตามสายตัวนำ ซึ่งสไปร์ค ของกระแสไฟฟ้างกล่าวอาจอยู่ในรูปของไฟฟ้า (electrically) ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปของตัวเก็บประจุ (capacitive) หรืออยู่ในรูปของแม่เหล็ก (magnetically) ก็จะแทนให้อยู่ในรูปของตัวเหนี่ยวนำ (inductively) โดยที่ ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำเหล่านี้จะเป็นตัวเชื่อมต่อในการนำสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากสายเคเบิลที่มีสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าให้สามารถส่งผ่านสัญญาณรบกวนดังกล่าวไปยังสายเคเบิลที่ไม่มีสัญญาณรบกวนนั่นเอง ดังได้แสดงรูปแบบการเชื่อมต่อในรูปที่ 3.5 สำหรับการควบคุมสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับการรบกวนภายในระบบนั้น จะแตกต่างจากการควบคุมระหว่างระบบ กล่าวคือการควบคุมดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยวิศวกรผู้ทำหน้าที่ในการออกแบบระบบหรือเครื่องมือดังกล่าว



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการเกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าภายในระบบ

3.4.2.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

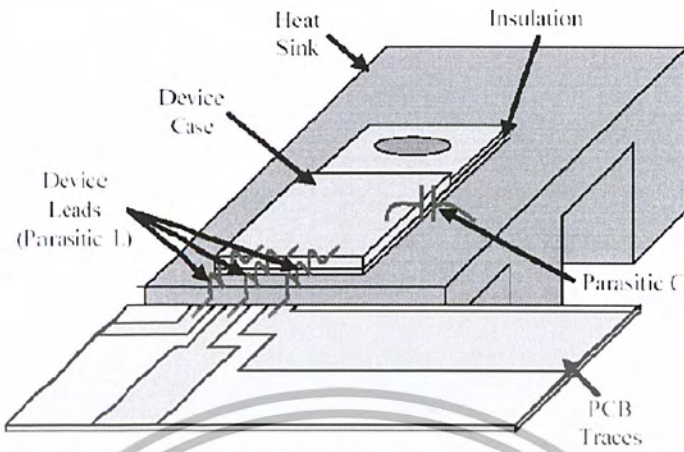
- องค์ประกอบแอ็กทีฟ (Active components)

สวิตช์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยทั่วไป จะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) เพราะองค์ประกอบแฝง (parasitic) ที่อยู่ในตัวอุปกรณ์นั่นเอง เช่น ตัวเหนี่ยวนำแฝง (L_p) ซึ่งเกิดจากความยาวขาของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ตัวเก็บประจุแฝง (C_p) ซึ่งเกิดจากการระบายความร้อนด้วย แผ่นระบายความร้อน (heat sink) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เป็นต้น

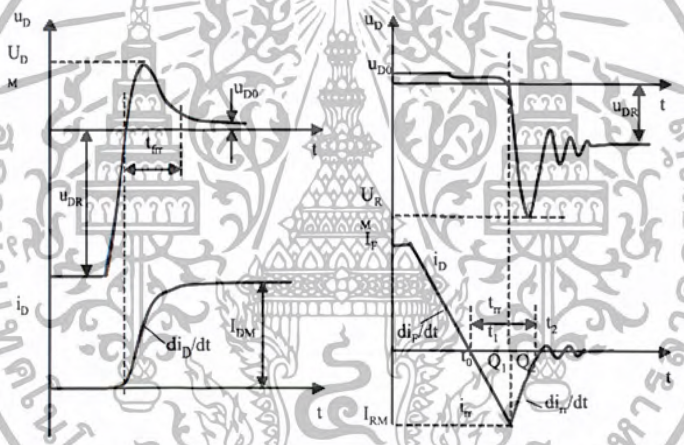
ตัวเหนี่ยวนำแฝงจะทำให้เกิดริงกิง (ringing) ความถี่สูงที่รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์ ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law: $v_p = L_p \frac{di}{dt}$) ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดแรงดันเกิน (voltage stress) ที่ตัวสวิตช์ และยังเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า ในรูปของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (Differential Mode Noise Current) อีกด้วย โดยที่สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างดังกล่าวจะเชื่อมต่อ (coupling) ไปยังความต้านทานของตัวโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN) โดยผ่านทางตัวเก็บประจุภายในสวิตช์นั่นเอง (miller capacitance) สำหรับตัวโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์จะกล่าวในรายละเอียดใน หัวข้อที่ 3.5.3.1

ในขณะที่รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างตัวอุปกรณ์กับกราวด์ จะทำให้เกิดตัวเก็บประจุแฝง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าในรูปของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม (Common Mode Noise Current) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $i_{C_{PARA}} = C_{PARA} \frac{dv}{dt}$ ซึ่งกระแสไฟฟ้าดังกล่าว จะไหลผ่านความต้านทานของตัวโครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์เช่นกัน

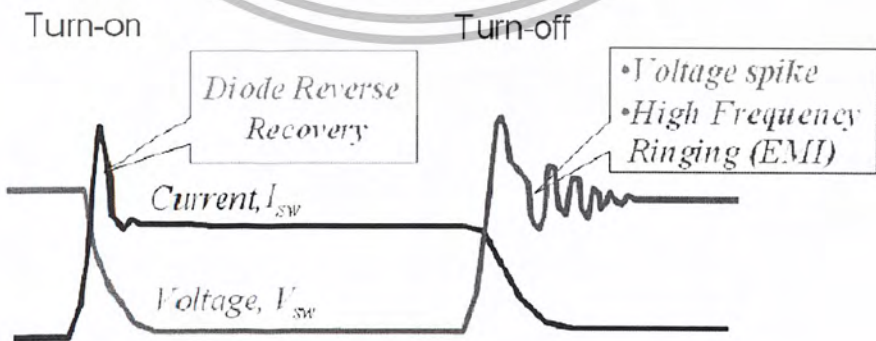
อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าเนื่องจากสมการทั่วไปของตัวเก็บประจุแฝงจะเท่ากับ $C_{PARA} = \epsilon \frac{A}{d}$ โดยที่ ϵ คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสมบูรณ์ (absolute permittivity) A คือค่าพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำ และ d คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ เมื่อพิจารณาสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ถ้าไม่ต่อ แผ่นระบายความร้อนลง กราวด์จะเปรียบเหมือนกับการทำให้ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่ามากซึ่งก็จะเป็นผลทำให้ค่าของตัวเก็บประจุแฝงมีค่าลดลง ซึ่งนั่นก็หมายถึงเป็นการตัดเส้นทางเดิน (coupling path) ของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นผลทำให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าง่ายดังกล่าวมีค่าลดลงนั่นเอง แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถทำได้เพราะเหตุผลทางด้านความปลอดภัย (safety issues) และเหตุผลทางความแข็งแรงของโครงสร้าง (mechanical consideration) นอกจากนี้สาเหตุดังกล่าวแล้วยังมีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า จากอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งอื่นๆอีก เช่น ช่วงเวลาคืนตัวย้อนกลับของไดโอด (diode reverse-recovery time) เป็นต้น



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างองค์ประกอบแฝงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างผลของช่วงเวลาคืนตัวย้อนกลับของไดโอดขณะนำและไม่นำกระแส

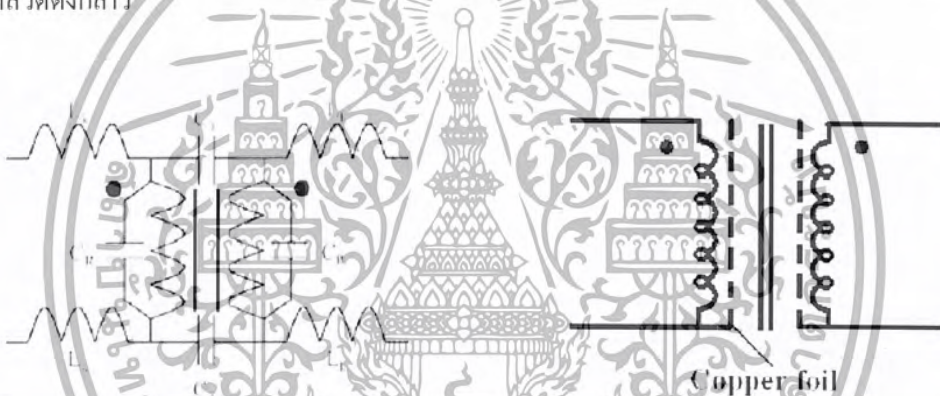


รูปที่ 3.11 ตัวอย่างผลขององค์ประกอบแฝงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังขณะสวิตช์เปิดและปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

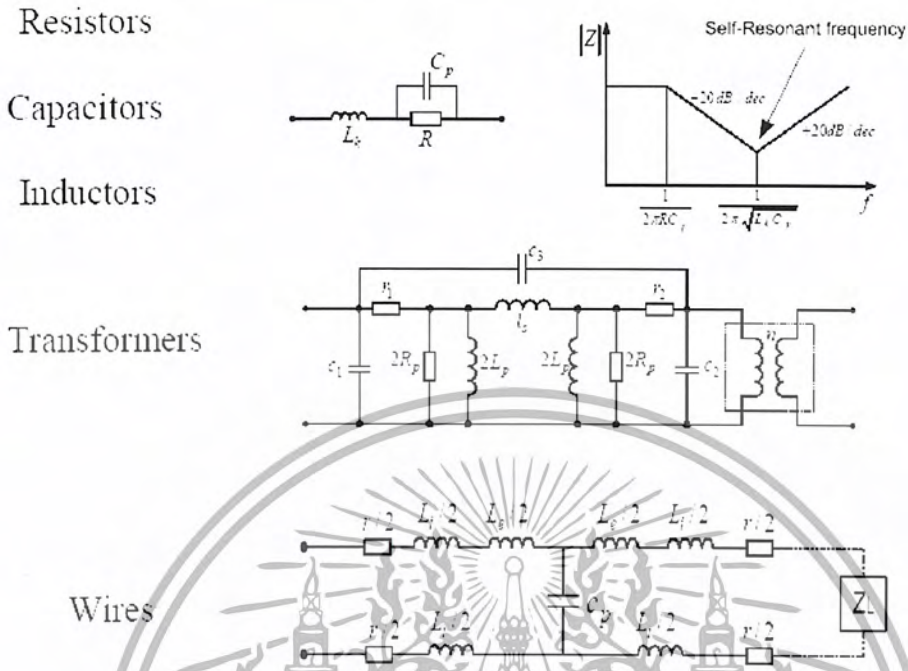
- องค์ประกอบพาสซีฟ (Passive components)

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (high frequency isolation transformer) เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โหมดผลรวม (Common Mode: CM) ที่สำคัญขององค์ประกอบพาสซีฟสำหรับสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ระหว่างขดลวด (cross-coupling capacitance) ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงดังกล่าวเป็นทางผ่านที่สำคัญของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวม ในรูปที่ 3.12 จะเห็นค่าองค์ประกอบแฝงในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง เช่น ตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล (L_k) ตัวเก็บประจุแฝงของขดลวด (C_R) และตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขดลวด (C_T) ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขดดังกล่าวสามารถทำให้มีค่าลดลงได้ด้วยการเพิ่มระยะห่างระหว่างขดลวด กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือการเพิ่มฟลักซ์รั่วไหล (leakage flux) นั้นเอง หรืออาจจะทำได้โดยการใช้ฟาราเดย์ชิลด์รอบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยที่ตัวฟาราเดย์ชิลด์จะเป็นการแยกกันระหว่างขดลวดด้วยการใช้แผ่นอลูมิเนียมหรือทองแดง (aluminum or copper foil) ต่อลงกราวด์และคั่นกลางอยู่ระหว่างขดลวดดังกล่าว



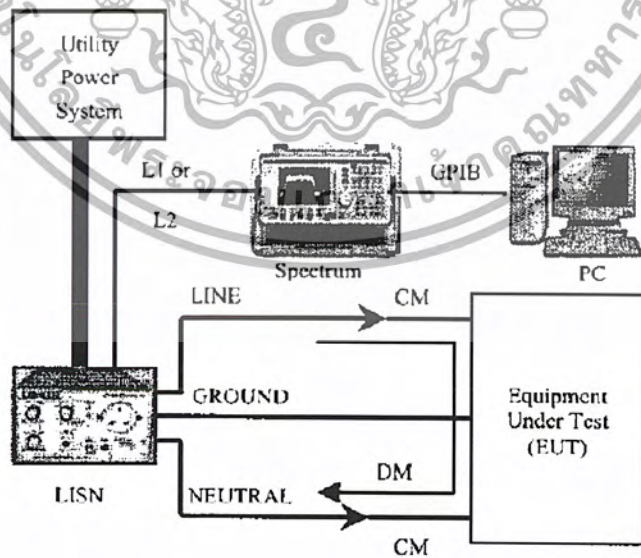
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างองค์ประกอบแฝงในหม้อแปลงความถี่สูงและฟาราเดย์ชิลด์

นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบค่าต่างๆ ที่แฝงอยู่ในตัวคั่นทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำซึ่งค่าองค์ประกอบแฝงดังกล่าวจะเป็นตัวจำกัดย่านความถี่ใช้งานสูงสุดสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัว (Self Resonant Frequency: SRF) โดยที่สำหรับตัวเก็บประจุ จะถูกจำกัดความถี่ใช้งานสูงสุดด้วยค่าความเหนี่ยวนำแฝงที่เกิดจากความขรุขระของตัวเก็บประจุเอง ในขณะที่ตัวเหนี่ยวนำจะถูกจำกัดโดยค่าตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขด และในส่วนของตัวคั่นทาน จะถูกจำกัดด้วยค่าตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุแฝง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการในการผลิตตัวคั่นทานดังกล่าว เป็นต้น



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างผลขององค์ประกอบแฝงในตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ หม้อแปลงไฟฟ้าและสายไฟฟ้าที่ความถี่สูง

3.5 วงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)



รูปที่ 3.14 แสดงการต่อวัดหาค่า EMI ใช้งานร่วมกับ LISN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการวัดสัญญาณ CM หาได้จากสายไลน์ (line) และสายนิวตรอน (neutral) เป็นขนาดที่เหมือนกันในวงจร การหาค่าสัญญาณ DM หาได้จากการวัดระหว่างสายไลน์ (line) เทียบกับสายนิวตรอน (neutral) ดังแสดงในรูปที่ 3.14

$$V_{LINE} = V_{CM} + V_{DM} \quad (3.1)$$

$$V_{NEUTRAL} = V_{CM} - V_{DM} \quad (3.2)$$

จากสมการที่(3.1),(3.2)สามารถกลับสมการหาค่า V_{CM} (Common-mode noise) และ V_{DM} (Differential-mode noise) โดยค่า V_{Line} และ $V_{Neutral}$ สามารถหาได้จากการวัดจากเครื่องวัด (spectrum analyzer) ต่อจาก LISN จะได้

$$V_{CM} = (V_{LINE} + V_{NEUTRAL}) / 2 \quad (3.3)$$

$$V_{DM} = (V_{LINE} - V_{NEUTRAL}) / 2 \quad (3.4)$$

เมื่อได้ค่า V_{CM} และ V_{DM} สามารถนำค่าที่ได้มาหาค่าที่เล็กลงเป็น required to obtain CM attenuation (V_{req-CM}) และ DM attenuation (V_{req-DM}) จะได้ว่า

$$(V_{req-CM})dB = (V_{CM})dB - (V_{LIMIT})dB + CF \quad (3.5)$$

$$(V_{req-DM})dB = (V_{DM})dB - (V_{LIMIT})dB + CF \quad (3.6)$$

เมื่อ CF(dB) เป็นค่า correction factor ที่ได้จากการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการออกแบบที่ผิดพลาดจากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความถี่ที่น้อยที่สุดแล้วจึงนำไปหาค่า L-C filter จาก $CM(f_{c-CM})$ และ $DM(f_{c-DM})$ ตามสมการนี้

$$(V_{req-CM})dB = 40 \log(f / f_{c-CM}) \quad (3.7)$$

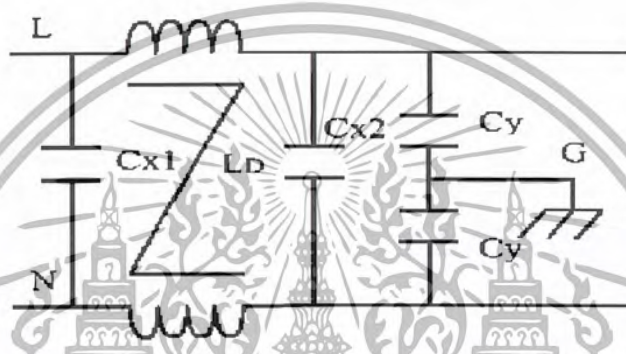
$$(V_{req-DM})dB = 40 \log(f / f_{c-DM}) \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นทำการกลับค่าหาความถี่ใช้งาน $CM(f_{c-CM})$ และ $DM(f_{c-DM})$ จะได้ตัวแปรนำไปแทนค่า เพื่อออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter) จาก CM และ DM ตามลำดับ

$$f_{c-CM} = 1/(2\pi\sqrt{L_{CM}C_{CM}}) \quad (3.9)$$

$$f_{c-DM} = 1/(2\pi\sqrt{L_{DM}C_{DM}}) \quad (3.10)$$



รูปที่ 3.15 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)

ดังนั้นถ้าต้องการหาค่าตัวเหนี่ยวนำในโหมดผลรวมและโหมดผลต่างสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการนำค่า ตัวเก็บประจุ C_x และ C_y ที่มีขายตามท้องตลาดมาแทนในสมการก็จะได้ค่า L_{DM} ในโหมดต่างๆตามต้องการ

3.6 นิยาม มาตรฐาน เครื่องมือวัดและขั้นตอนในการวัดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

3.6.1 นิยามของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมและสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งได้สองรูปแบบกล่าว คือ

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

สัญญาณรบกวนตัวใหม่ (new noise-coupling mode) ซึ่งโหมดการทำงานจะเหมือนกับสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมแต่สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้ สามารถกำจัดได้ด้วยตัวเก็บประจุที่ใช้สำหรับกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (โดยส่วนใหญ่จะนิยมเรียกตัวเก็บประจุที่ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างว่า “ C_x ”) และด้วยเหตุนี้เอง เพื่อให้เกิดความแตกต่างขึ้นจึงได้ตั้งชื่อสัญญาณรบกวนตัวใหม่นี้ว่า “Non-intrinsic Differential Mode noise” (NIDM) แต่อย่างไรก็ตาม ก่อนหน้านั้นในปีค.ศ 2000 Dr.Dan Y. Chen และคณะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียก NIDM ใหม่ว่า “Mixed-Mode noise” และในส่วนของสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างแบบทฤษฎีเก่า ซึ่งจะไม่เกี่ยวข้องกับกราวด์ (ground) เลยจะให้ชื่อว่า “Intrinsic Differential Mode noise” (IDM) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณรบกวนแบบ IDM จะขึ้นอยู่กับกรรกระเพื่อม (Pulsating) หรือองค์ประกอบฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าอินพุตหรือขึ้นอยู่กับระลอกคลื่น ของกระแสไฟฟ้า (Ripple current)

ส่วนกรณีของ NIDM จะปรากฏเมื่อในระบบมีกราวด์ต่อร่วมอยู่ในวงจรเสมอและในส่วนที่คล้ายกับสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมน้อยมากได้แก่การที่ทั้งคู่ต่างก็ขึ้นอยู่กับ ตัวเก็บประจุแฝง (parasitic capacitances) ที่แฝงอยู่ในวงจร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากนิยามการแบ่งโหมด (mode) การรบกวนตามรูปแบบดังกล่าว ยังไม่เป็นที่นิยามแพร่หลาย ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงเฉพาะนิยามการแบ่ง โหมดของสัญญาณรบกวน แม่เหล็กไฟฟ้า ตามหลักสากลนิยามเท่านั้น

สำหรับนิยามของสัญญาณรบกวน โหมดผลรวม คือ ความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในสายตัวนำเทียบกับสายกราวด์ ในขณะที่นิยามของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง คือ ความแตกต่างของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ก)

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

$$V_C = \frac{(V_{LG} + V_{NG})}{2} \quad (3.11)$$

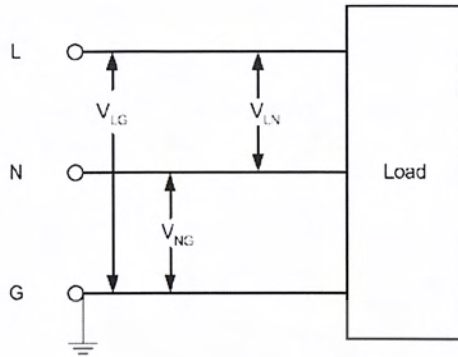
$$V_d = \frac{(V_{LG} - V_{NG})}{2} \quad (3.12)$$

โดยที่ V_{LG} = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับกราวด์

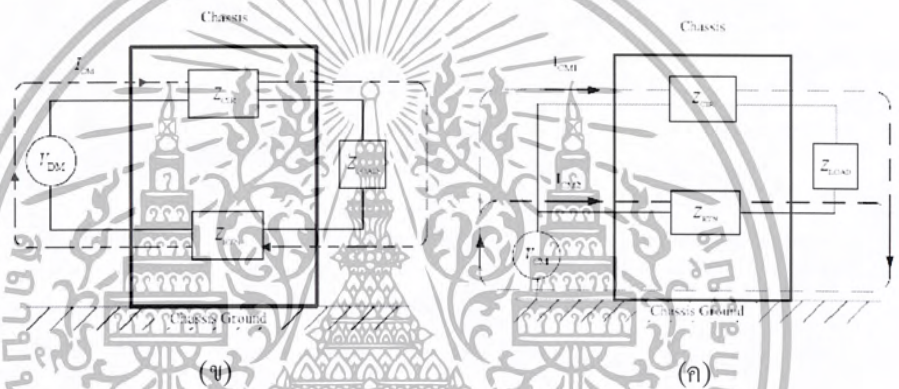
V_{NG} = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายนิวตรอนกับกราวด์

V_{LN} = แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์กับนิวตรอน

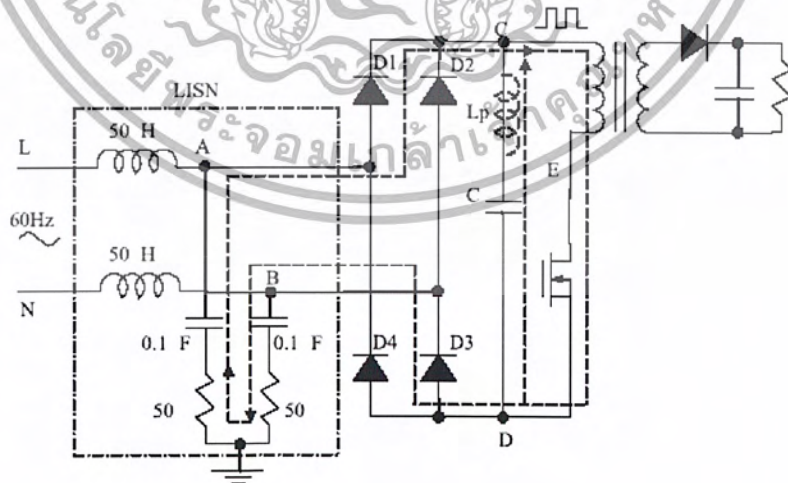
ซึ่งการเดินทางของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โหมดผลต่างและโหมดผลรวมที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางการไหลดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ข) และ (ค) ตามลำดับรูปที่ 3.17 แสดงถึงการเดินทางของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งโหมดผลต่างและโหมดผลรวมที่อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเดินทางของกระแสไฟฟ้าในโหมดผลรวมจะเดินทางผ่านตัวเก็บประจุแฝงของวงจร ในขณะที่กระแสไฟฟ้าในโหมดผลต่างจะไม่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุแฝงดังกล่าว



(ก)

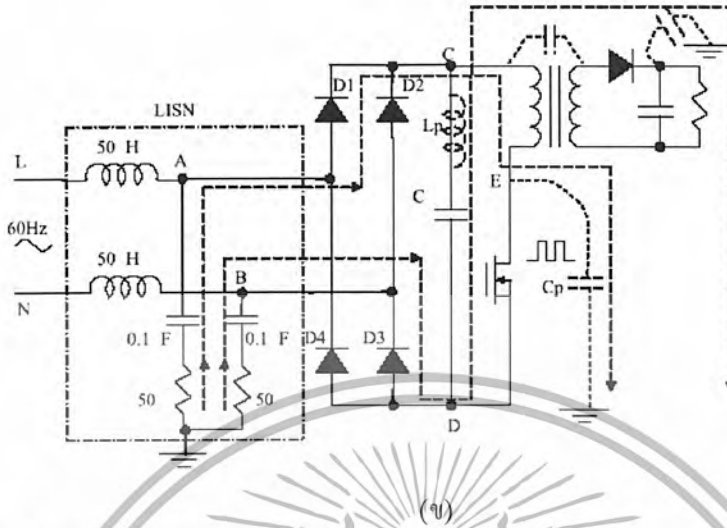


รูปที่ 3.16 นิยามและทิศทางการเดินทางของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า



(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (ก) โหมดผลต่างและ (ข) โหมดผลรวมในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

3.6.2 มาตรฐานสำหรับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

สาเหตุสำคัญที่ต้องมีการกำหนดขีดจำกัดและมาตรฐาน สำหรับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำก็เพราะว่าต้องการจำกัดกระแสสัญญาณรบกวน (noise current) ที่เกิดจากตัวสินค้าผ่านออกมาทางสายไฟฟ้า (AC power cord) ผ่านเต้ารับ และจากนั้นจะรวมกันอยู่เป็นกลุ่มที่จตุรรมสายไฟฟ้า (common power distribution system) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวจะเปรียบเสมือนกับเป็นสายอากาศขนาดใหญ่ (Antenna) เป็นผลทำให้กระแสสัญญาณรบกวนดังกล่าว สามารถแผ่กระจายและเกิดการรบกวนต่อระบบโดยรวมได้ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการผ่านการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว ก็ได้เป็นการรับประกันว่าสินค้าที่ผ่านการทดสอบนั้นจะไม่ก่อให้เกิดการรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เพียงแค่เป็นการยอมรับหรือจำกัดการสร้างสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของสินค้าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.6.2.1 FCC REGULATIONS

FCC ย่อมาจาก Federal Communications Commission เป็นของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ทำการออกกฎข้อบังคับสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร (wire and radio communications) ซึ่งก่อตั้งในปี ค.ศ.1927 และสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันกล่าวคือ Part 15 สำหรับอุปกรณ์ความถี่วิทยุ (radio-frequency devices) Part 18 สำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ และ Part 68 สำหรับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบโทรศัพท์ (telephone network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Part 15 จะแบ่งมาตรฐานออกเป็น 4 ฉบับ และยังได้นิยามความหมายของอุปกรณ์ความถี่วิทยุว่า คืออุปกรณ์ใดๆ ก็ตามที่การทำงานของมันทำให้เกิดการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่วิทยุ (radio-frequency energy) ไม่ว่าจะผ่านทางสาย (conduction) หรือทางอากาศ (radiation) ก็ตาม

โดย FCC ได้นิยามพลังงานที่ความถี่วิทยุ (Energy in the radio frequency range) ว่าคือพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุ (9 kHz – 3000 GHz) โดยมีจุดประสงค์ในการออกมาตรฐานเพื่อกำหนดการทำงานของตัวส่งสัญญาณ (transmitters) ที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำซึ่งไม่ได้มีใบอนุญาตในการติดตั้ง (radio station license) และเพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวสินค้าที่จะส่งผลกระทบต่อการใช้สื่อสารด้วยความถี่วิทยุ (radio communications) โดยอุปกรณ์ดิจิทัล (digital electronics) ก็จัดอยู่ในหมวดดังกล่าว

3.6.2.2 CISPR

CISPR ย่อมาจาก International Special Committee on Radio Interference (จริงๆแล้วย่อมาจากคำเต็มซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศสคือ Comité International Spécial des Perturbations Radioélectrique) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1933 เพื่อหาวิธีการวัดและขีดจำกัดของการรบกวนในย่าน ความถี่วิทยุสำหรับนานาชาติ นอกจากนั้นตัว CISPR ไม่ได้เป็นกฎข้อบังคับหรือมาตรฐานบังคับใช้แต่อย่างใด แต่มาตรฐานดังกล่าวจะถูกดัดแปลงโดยรัฐบาลของแต่ละประเทศให้เป็นมาตรฐานบังคับใช้ภายในประเทศ จึงกลายเป็นมาตรฐานสากลไปโดยปริยาย โดยมาตรฐาน CISPR Publication 22 เป็นการออกมาเพื่อการควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก ภูมิของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment) ซึ่งก็หมายถึงอุปกรณ์ดิจิทัล (digital electronics) ซึ่งได้เกิดขึ้นในปี ค.ศ.1985 และหลังจากนั้นหลายๆประเทศทางยุโรปหรืออาจจะกล่าวได้ว่าทั่วโลกได้นำมาตรฐานดังกล่าวออกบังคับใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติของตน (national standard) เช่นประเทศญี่ปุ่นได้ออกมาตรฐาน VCCI โดยใช้เส้นขีดจำกัดตาม CISPR Publication 22 เว้นเพียงแต่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแก่ตัวทดสอบ (EUT) จะแตกต่างกัน โดยที่ VCCI จะทดสอบที่แรงดันอินพุตของตัวทดสอบเท่ากับ 100 โวลต์ เป็นต้น

3.6.2.3 มาตรฐานทางการทหาร (Military Standards)

MIL-STD-461B และ MIL-STD-462 เป็นมาตรฐานที่ออกโดยการทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยที่ MIL-STD-461B กำหนดเส้นขีดจำกัด (limit) และ MIL-STD-462 จะกำหนดขั้นตอนและวิธีการทดสอบ โดยที่มาตรฐานดังกล่าวจะมีรายละเอียดและเข้มข้นกว่า FCC เพราะมาตรฐานดังกล่าว พิจารณาถึง “ความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (susceptibility)” และย่านความถี่ที่พิจารณาจะกว้างกว่า อีกด้วย (30 Hz – 40 GHz)

3.6.2.4 VDE

VDE ย่อมาจาก Verband Deutscher Elektrotechniker ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศเยอรมัน ซึ่งในประเทศเยอรมันได้กำหนดไว้ว่าอุปกรณ์ที่มีความถี่ในการทำงานสูงกว่า 10 kHz จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ ถ้าไม่มีใบอนุญาต ทำให้โรงงานในประเทศเยอรมันทั้งหมดต้องมีการทดสอบสินค้าตามมาตรฐานดังกล่าว โดย VDE 0875 ใช้สำหรับอุปกรณ์ที่มีย่านความถี่รบกวนที่กว้าง (broadband interference) เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน เป็นต้น ในขณะที่ VDE 0871 ใช้สำหรับย่านความถี่รบกวนที่กว้างและแคบ (broad- and narrow-band) ซึ่งได้แก่อุปกรณ์สารสนเทศ (Information Technology Equipments) เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานของประเทศเยอรมันดังกล่าวจะมีความคล้ายกับมาตรฐานของยุโรป EN 55014 และ EN 55022 ตามลำดับยกเว้นเพียงแต่ย่านความถี่ที่พิจารณาจะมีความแตกต่างกัน

3.6.2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

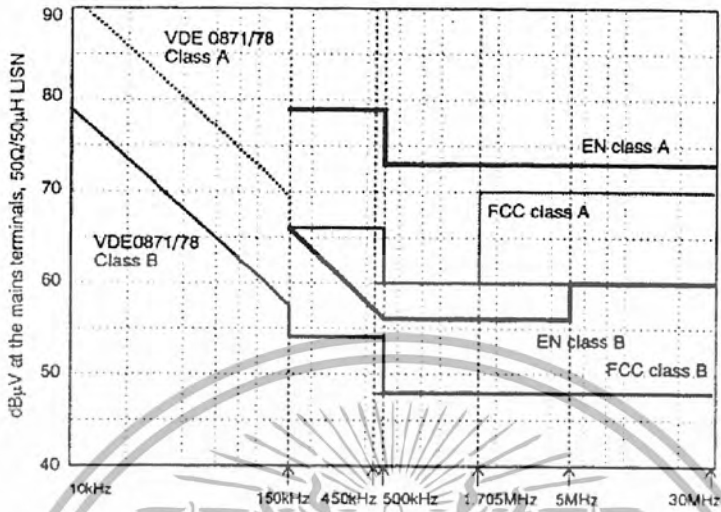
ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับประเทศไทยเพิ่งได้มีการเริ่มต้นนำมาตรฐานนานาชาติมาปรับใช้เป็นมาตรฐานภายในประเทศอย่างเป็นทางการ ตั้งแต่ปีพ.ศ.2542 โดยได้มีการนำมาปรับปรุงแก้ไข CISPR 15 และ CISPR 22 เป็นภาษาไทยแล้วได้แก่ มอก. 1955-2542 (บริษัทส่งสว่างและบริษัทที่คล้ายกัน: ชิดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) ซึ่งเป็นมาตรฐานบังคับใช้ และ มอก. 1956-2542 (บริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ: ชิดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) แต่ได้มีการบังคับใช้แต่อย่างใด เป็นเพียงแค่การแนะนำเบื้องต้น (voluntary) เท่านั้นตามลำดับ อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากมาตรฐานที่ได้กล่าว มาตรฐานที่เหลือที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากมาตรฐานนานาชาติ ให้เป็นภาษาไทยเท่านั้น แต่เนื้อหาภายในจะเหมือนตามต้นฉบับ

ตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.18 ตารางสรุปมาตรฐานและเส้นขีดจำกัดตามลำดับ

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

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



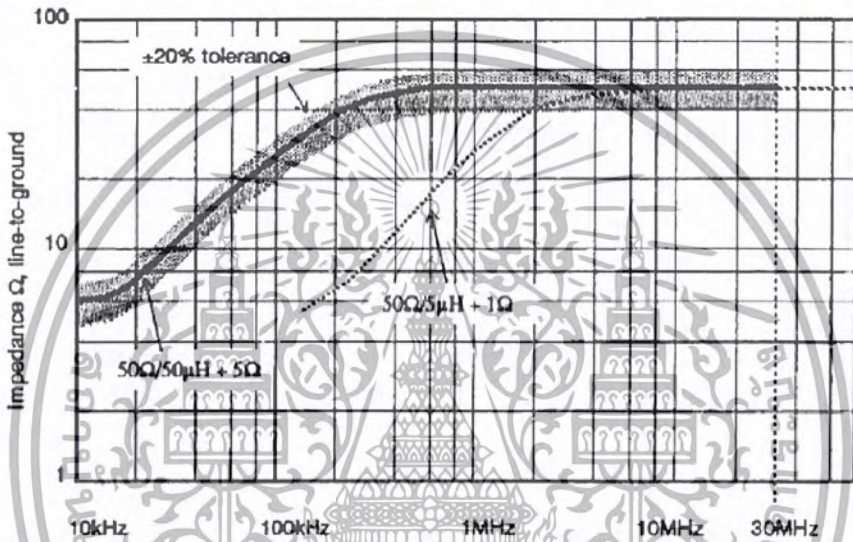
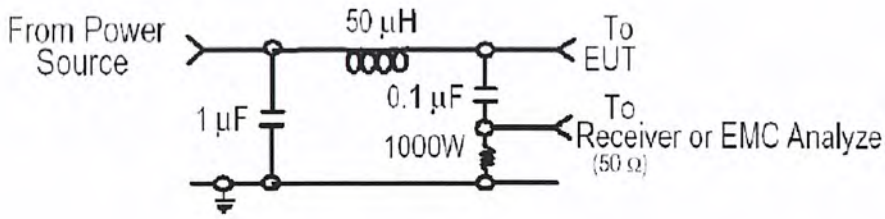
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างเส้นขีดจำกัดและย่านความถี่ของข้อกำหนดและมาตรฐานทางด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ

3.6.3 เครื่องมือวัดและเทคนิคในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

3.6.3.1 เครื่องมือวัดสำหรับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

- โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์

โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line Impedance Stabilization Network: LISN) หรืออาจจะเรียกว่า Artificial Mains Network (AMN) ก็ได้ซึ่งโดยทั่วไปตัวอุปกรณ์ดังกล่าวจะต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและตัวทดสอบ (EUT) ซึ่งหน้าที่หลักๆของตัว LISN แบ่งได้เป็นสามข้อด้วยกันคือ กำหนดค่าอิมพีแดนซ์มาตรฐาน (50Ω) ที่ความถี่สูงสำหรับตัวตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (receiver) ส่งผ่านสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำไปยังตัวตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และกำจัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆที่ไม่ได้มาจากตัวทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 นิยามตาม CISPR จะได้ว่าตัว LISN โดยทั่วไปจะมีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ $50 \parallel 50 \mu H + 5 \Omega$ ตั้งแต่ ย่านความถี่ 150 kHz ถึง 30 MHz ครอบคลุมระหว่างตัวนำใดๆเทียบกับสายกราวด์ ซึ่งกราฟอิมพีแดนซ์ของ LISN หามาจากค่าดังกล่าว โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน $20\% \pm$ ตลอดย่านความถี่เริ่มตั้งแต่ 10 kHz ถึงประมาณ 30 MHz ตามมาตรฐาน CISPR16 แต่อย่างไรก็ตามย่านความถี่อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงซึ่งรูปแบบโครงสร้างของตัว LISN ก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างวงจรและคุณลักษณะของอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ของ LISN

- ตัวตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Receiver)

ในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำสามรณแบ่ง การตรวจจับสัญญาณดังกล่าวได้ 3 รูปแบบด้วยกันกล่าวคือ ค่าสูงสุด (Peak) ค่ายอดเสมือน (Quasi-Peak) และค่าเฉลี่ย(Average) โดยที่ความแตกต่างของรูปแบบการวัดทั้งสามรูปแบบได้แสดงไว้ใน รูปที่ 3.20 สำหรับรูปแบบการวัดในโหมดค่าเฉลี่ยนั้นเหมาะสม สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำในย่านความถี่ที่กว้างและมีลักษณะไม่แน่นอน (random in nature) หรือย่านความถี่ที่แคบ (narrowband interference) แต่มีรูปแบบของสัญญาณรบกวนที่แน่นอน

สำหรับโหมดการวัดแบบค่าสูงสุดเหมาะสำหรับที่จะใช้ในการตรวจสอบ สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างหยาบๆ และต้องการเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบน้อย โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบจะเป็นเฉพาะค่าขอบของสัญญาณรบกวน (envelope) ในขณะที่โหมดการวัดแบบค่ายอดเสมือนเหมาะสมที่จะใช้กับสัญญาณที่มีอัตราการคาย (discharge time) ต่อการประจุ (chargingtime) สูงซึ่งนั้นก็หมายความว่า สัญญาณรบกวน (spikes) ที่อาจจะเกิดขึ้นมา ณ. เวลาใดๆ ก็ตาม (randomly occurring) จะไม่ได้มีผลทำให้การตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

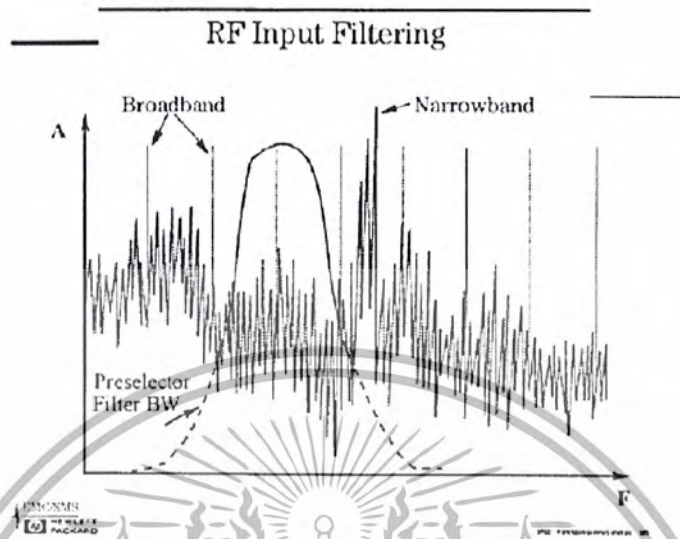
รบกวนดังกล่าวในโหมคค่ายอดเสมือนมีค่าสูง เว้นเสียแต่ว่าสัญญาณดังกล่าวมีลักษณะการเกิดขึ้นเป็นคาบเวลาอย่างต่อเนื่อง(periodic signals)

สาเหตุที่จะต้องมิโหมคการวัดแบบค่ายอดเสมือนก็เนื่องจากว่า FCC เป็นผู้ออกกฎข้อบังคับสำหรับการติดต่อสื่อสารทั้งทางสายสัญญาณและทางคลื่นวิทยุ (wire and radio communications) โดยที่การเกิดสัญญาณรบกวนดังกล่าวเพียงหนึ่งคลื่นสัญญาณ และไม่ได้เกิดขึ้นอย่างเป็นรายคาบ(periodic) จะไม่ได้ทำความรบกวนแก่ผู้ฟังอย่างมากมาช แต่เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณดังกล่าวเกิดขึ้น เป็นรายคาบอย่างต่อเนื่อง ผู้ฟังก็จะได้รับผลจากการรบกวนของสัญญาณดังกล่าวนั่นเองนอกจากนั้นทั้งมาตรฐานของ FCC และ CISPR ต่างก็กำหนดให้ทำการตรวจวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโหมคค่ายอดเสมือนและค่าเฉลี่ยแต่ย่านความถี่ที่พิจารณา จะเท่ากับ 450 kHz – 30 MHz และ 150 kHz – 30 MHz ตามลำดับ



รูปที่ 3.20 ความแตกต่างของรูปแบบการวัดในโหมคค่าสูงสุด (Peak) ค่ายอดเสมือน (Quasi-Peak) และค่าเฉลี่ย (Average)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

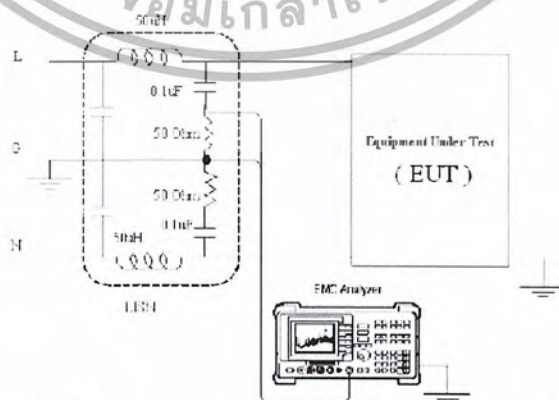


รูปที่ 3.21 ความแตกต่างของ *Broadband* กับ *Narrowband*

3..6.3.2 การติดตั้งในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

รูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างของรูปแบบ ในการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือและตัวทดสอบตามมาตรฐาน ANSI C63.2.1992 Std. (เป็นมาตรฐานสำหรับทดสอบอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศและอุปกรณ์ต่อพ่วง ต่างๆอย่างละเอียด) ซึ่งจุดประสงค์หลักในการทดสอบก็เพื่อตรวจจับระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำที่เกิดจากตัวทดสอบ โดยได้มีการกำหนดให้เป็นไปตามเงื่อนไขเดียวกัน สำหรับรายละเอียดในการติดตั้ง แลทดสอบสามารถหาได้จากมาตรฐานฉบับดังกล่าว

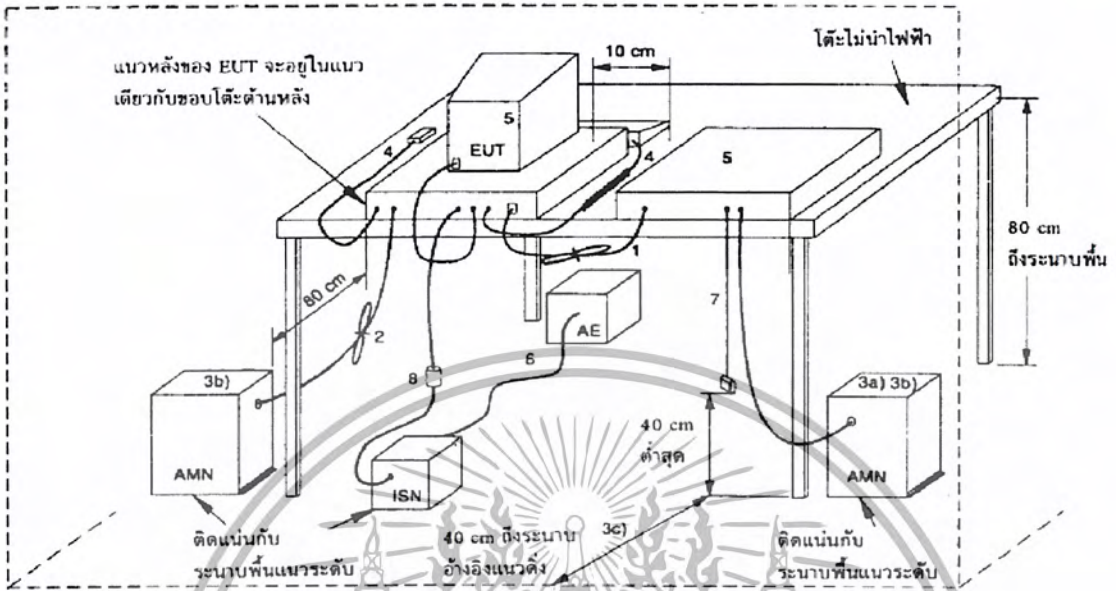
Conducted EMI Measurement Setup



LISN: Line Impedance Stabilization Network

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



AE = อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
 EUT = บริษัทที่ทำการทดสอบ
 ISN = โครงข่ายสร้างเสถียรภาพเอ็มพีแดนซ์
 (ข)

รูปที่ 3.22 (ก) วงจรสมมูลของการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ
 (ข) การติดตั้งของการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

บทที่ 4

การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบส่วนต่าง ๆ ในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ รวมทั้งขั้นตอนการศึกษาจำลอง และทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ และวงจรควบคุมสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วงจรเพิ่มระดับแรงดันแบบบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส พิกัดกำลัง พิกัดกำลัง 75 วัตต์ เพิ่มแรงดันจาก 24 โวลต์ ขึ้นเป็น 48 โวลต์ กระแสโหลด 2 แอมป์ โดยทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง และโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องและโหมดความถี่ที่ต่างกันที่ความถี่ 75 kHz , ตัวดีไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์ แรงดันระลอกไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

แทนค่าลงในสมการ

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{I}{I-D} \quad (4.1)$$

$$D = I - \frac{V_S}{V_O}$$

$$D = 1 - \frac{24}{48}$$

Duty = 0.5 หรือ เท่ากับ 50%

$$P_O = \frac{V_O^2}{R} \quad (4.2)$$

$$R = \frac{V_O^2}{P_O}$$

$$R = \frac{48^2}{75} = 30.72; 30\Omega$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{0.5 \times (1-0.5)^2 \times 30}{2 \times 75 \times 10^3}$$

ดังนั้นเลือกค่า L_{min} = 26.78 ; 27 μ H (ในโหมดกระแสต่อเนื่อง)

การออกแบบตัวเก็บประจุหาได้จากสมการ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (4.4)$$

$$C = \frac{D}{Rf \frac{\Delta V_o}{V_o}}$$

$$= \frac{0.5}{30 \times 75 \times 10^3 \times 0.05}$$

$$= 4.44 \mu\text{F}$$



4.2 การเลือกมอสเฟตกำลัง

การเลือกใช้งานมอสเฟตกำลังในการทำงานแบบสวิตช์นั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ซิดจังก์ตที่จะใช้งานมอสเฟตกำลังในขณะนำกระแสและหยุดนำกระแส เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งพอที่จะสรุปได้ 4 อย่างคือ

1. ซิดแรงดันต่ำคร่อมเดรนและ ซอร์ส V_{ds} สูงที่สุดที่สามารถทนได้
2. ค่ากระแส I_d สูงที่สุดที่สามารถไหลผ่านได้โดยไม่ทำให้โครงสร้างภายในเสียหาย
3. ซิดจังก์ตเนื่องจากค่าความต้านทานขณะที่น่ากระแส $R_{ds}(on)$
4. ซิดจังก์ตการระบายความร้อนของตัวถัง

กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตกำลังที่พิกัดเท่ากับ 2 แอมป์ โดยมีแรงดันขาออกสูงสุดของภาคกำลังคือ 48 โวลต์ ดังนั้นต้องเลือกที่พิกัดแรงดันที่มากกว่า 48 โวลต์

ดังนั้นจึงเลือกใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRFP 460 ซึ่งมีพิกัดแรงดันสูงสุด 500 โวลต์ และพิกัดกระแสสูงสุด 20 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 13 แอมป์ที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสโดยมีค่าความต้านทานขณะนำกระแส 0.27 โอห์ม

4.3 การเลือกไดโอดกำลัง

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์จะมีความถี่ในการทำงานสูงคือ 75 kHz ดังนั้น ไดโอดกำลังที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้คือ

1. มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ
2. มีเวลาดันตัวสั้น
3. สามารถทนกำลังได้สูง

ดังนั้นจึงเลือกไดโอดกำลังชนิด อุลตราฟาสต์รีฟเวอร์ โดยเลือกใช้ MUR เบอร์ 1560 มีเวลาดันตัว 60 ns ซึ่งมีค่าแรงดันขอด (peak voltage) 600 โวลต์ และเบอร์ 1510 มีเวลาดันตัว 35 ns ซึ่งมีค่าแรงดันขอด (peak voltage) 100 โวลต์ กระแสขอดเรกติไฟ์เออร์ฟลอเวอริคส์ (peak rectified forward current) เท่ากับ 15 แอมป์

4.4 การออกแบบวงจรควบคุมสัญญาณพัลส์

เลือกใช้ IC เบอร์ SG 3524 เพื่อใช้สร้างสัญญาณขับมอสเฟตกำลัง และมีเงื่อนไขในการสร้างสัญญาณคือ ต้องการความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นจะหาคาบเวลาการทำงาน (T) ได้จากสมการที่ 4.5

$$T = \frac{1}{f} \quad (4.5)$$

$$= \frac{1}{75 \times 10^3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 13.3 \mu\text{s}$$

หาค่า R_T และ C_T ซึ่งใช้ในการสร้างความถี่ โดยการกำหนดค่า C_T (ในการกำหนดค่า C_T สามารถดูได้จากกราฟใน (data sheet) แล้วนำมาคำนวณตามสมการที่ 4.6 โดยกำหนดค่า $C_T = 3nF$

$$f = \frac{1.18}{R_T C_T} \quad (4.6)$$

$$R_T = 5.24 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้นเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด $R_T = 20 \text{ k}\Omega$

4.4 การคำนวณหาจำนวนรอบการพันขดลวดของตัวเหนี่ยวนำและขนาดของขดลวด

4.4.1 ตัวเหนี่ยวนำที่ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง

- เลือกแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด (powder Core) แบบทอโรอยด์เบอร์ T130-26
- ต้องการค่าความเหนี่ยวนำ $70 \mu\text{H}$ เพราะระยะห่างระหว่างขดลวดมีผลต่อค่า self resonant Frequency ของตัวเหนี่ยวนำ
- จากข้อมูล Data sheet ค่า $AL = 81.0 \text{ nH/N}^2$

$$N^2 = \frac{70 \times 10^{-6}}{81 \times 10^{-9}}$$

$$N = \sqrt{\frac{70 \times 10^{-6}}{81 \times 10^{-9}}}$$

$$N = 29.37:29 \quad \text{รอบ}$$

- คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ

$$\text{กำหนดให้ค่า } I = 3 \text{ A, } J = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$a = \frac{I}{J}$$

$$a = \frac{3}{3} = 1 \text{ mm}^2$$

เลือกลวด SWG เบอร์ 19 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.082 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ตัวเหนี่ยวนำที่ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

- เลือกแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด (powder Core) แบบทอรอยด์เบอร์ T106-26B
- ต้องการค่าความเหนี่ยวนำ 10 μH
- จากข้อมูล Data sheet ค่า $AL = 124.0 \text{ nH/N}^2$

$$N^2 = \frac{10 \times 10^{-6}}{124 \times 10^{-7}}$$

$$N = \sqrt{\frac{10 \times 10^{-6}}{124 \times 10^{-7}}}$$

$$N = 8.98; 9$$

รอบ

- กำหนดหาขนาดของลวดตัวนำ

$$\text{กำหนดให้ค่า } I = 6 \text{ A, } J = 4 \text{ A/mm}^2$$

$$a = \frac{I}{J}$$

$$a = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ mm}^2$$

เลือกลวด SWG เบอร์ 17 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.501 mm

4.5 วงจรสับเบอร์

จากการทดสอบมอสเฟตกำลังในขณะที่ยังไม่ได้อ่างจรสับเบอร์จะได้ค่าต่างที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาขนาดของ C_S และ R_S

$$F = 75 \text{ KHz}, I_O = 3 \text{ A}, V_d = 48 \text{ V}, t_{fi} = 58 \times 10^{-9} \text{ s}$$

จากสมการที่ 2.35

$$C_S = \frac{I_O t_{fi}}{2V_d}$$

$$C_S = \frac{3 \times 58 \times 10^{-9}}{2 \times 48}$$

$$C_S = 1.81 \times 10^{-9} \text{ F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกคาปาซิเตอร์มีค่า $C_S = 1.80 \text{ nF}$

จากสมการที่ 2.39 จะได้

$$R_S = \frac{0.2I_o}{V_d}$$

$$R_S = \frac{48}{0.2 \times 3}$$

$$R_S = 80 \Omega$$

เลือกใช้ความต้านทานค่า $R_S = 82 \Omega$

4.6 การคำนวณวงจรกรองสัญญาณรบกวนไฟฟ้า (EMI filter)

ค่าที่ได้จากการวัด V_{LINE} ที่ความถี่ 10MHz = 89.1dB μ V

ค่าที่ได้จากการวัด $V_{NEUTRAL}$ ที่ความถี่ 10MHz = 80.1dB μ V

จากสมการ

$$V_{LINE} = V_{CM} + V_{DM} \quad (1)$$

$$V_{NEUTRAL} = V_{CM} - V_{DM} \quad (2)$$

ทำการกลับค่าสมการ จะได้แล้วทำการแปรงให้อยู่ในรูปโวลท์

$$89.1 \text{ dB}\mu = 20 \log(V_{LINE}/1\mu\text{V})$$

$$V_{LINE} = 0.028 \text{ V}$$

$$80.9 = 20 \log(V_{NEUTRAL}/1\mu\text{V})$$

$$V_{NEUTRAL} = 0.011 \text{ V}$$

แทนค่าในสมการที่ (3) และที่ (4) หาค่า V_{CM} , V_{DM}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} V_{CM} &= (0.028+0.011)/2 \\ &= 0.0195 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{DM} = (V_{LINE} - V_{NEUTRAL})/2 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} V_{DM} &= (0.028-0.011)/2 \\ &= 0.0085 \text{ V} \end{aligned}$$

ทำการแปลงให้อยู่ในรูป dB

$$\begin{aligned} (V_{CM})dB &= 20\log(0.0195V) \\ &= -34.2dBV \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{DM})dB &= 20\log(0.0085V) \\ &= -41.4dBV \end{aligned}$$

ค่า V_{LIMIT} มีค่า $55 \text{ dB}\mu\text{V}$ ทำการแปลงให้อยู่ในรูปของ dBV

$$\begin{aligned} 55 &= 20\log(V_{LIMIT}/1\mu\text{V}) \\ V_{LIMIT} &= 0.056\mu\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{LIMIT})dB &= 20\log(0.056\mu\text{V}) \\ &= -65dBV \end{aligned}$$

ค่า CF(dB) correction factor มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิดในการคำนวณจะได้

$$(V_{req-CM})dB = (V_{CM})dB - (V_{LIMIT})dB + CF \quad (5)$$

$$\begin{aligned} (V_{req-CM})dB &= -34.2dBV - (-65dBV) \\ &= 30.8dBV \end{aligned}$$

$$(V_{req-DM})dB = (V_{DM})dB - (V_{LIMIT})dB + CF \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (V_{req-DM})dB &= -41.4dBV - (-65dBV) \\ &= 23.8dBV \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้มาแทนในสมการเพื่อหาความถี่ในย่านต่างๆ โดยใช้ความถี่เริ่มต้นที่ 150 kHz

$$(V_{req-CM})dB = 40\log(f/f_{C-CM}) \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$30.8dBV = 40\log(150kHz/f_{C-CM})$$

$$f_{C-CM} = 25.47kHz$$

$$(V_{req-DM})dB = 40\log(f/f_{C-DM}) \quad (8)$$

$$23.8dB = 40\log(150kHz/f_{C-DM})$$

$$f_{C-DM} = 38.1kHz$$

เมื่อได้ความถี่ที่ต้องการในโหมดต่างๆแล้วนำไปแทนเพื่อหาค่า L_{DM} และ L_{CM} ที่ต้องการได้โดยการเลือกใช้ C_{CM} และ C_{DM} ที่มีค่าตามมาตรฐานในท้องตลาดได้โดยในที่นี้จะเลือกใช้

$$C_{CM} = 4700PF \times 2$$

$$C_{DM} = 0.47\mu F \times 4$$

แทนค่าในสมการที่ (9), (10)

$$f_{C-CM} = 1/(2\pi\sqrt{L_{CM}C_{CM}}) \quad (9)$$

$$25.4kHz = 1/(2\pi\sqrt{L_{CM}4700 \times 10^{-9} \times 2})$$

$$L_{CM} = 4.15\mu H$$

$$f_{C-DM} = 1/(2\pi\sqrt{L_{DM}C_{DM}}) \quad (10)$$

$$38.1kHz = 1/(2\pi\sqrt{L_{DM}0.47 \times 10^{-6} \times 4})$$


$$L_{DM} = 9.28\mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ขั้นตอนการศึกษาการจำลองการทดลองและผลการทดลอง

การจำลองจะใช้โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 ในการจำลอง โดยที่วงจรในการจำลอง ประกอบด้วย ไดโอด เบอร์ MUR1510 มอสเฟต เบอร์ IRFP460 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 24 โวลต์ และใช้แหล่งจ่ายพัลส์ในการสร้างพัลส์ให้กับมอสเฟต เวลาเริ่มต้น (starting time:0 μ s) เวลาสิ้นสุด (stopping time:30 ms) ขั้นตอนเวลาสูงสุด (maximum step:1 ms) คิวดีไซเคิล 50% ความถี่สวิตชิ่ง 75 kHz ในการจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ จะมีการปรับปรุงแก้ไข ค่าพารามิเตอร์ในการจำลองเล็กน้อย และสัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำลอง แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ส่วนประกอบ	สัญลักษณ์
สาย	
ตัวเก็บประจุ	
ตัวเหนี่ยวนำ	
มอสเฟต	
ไดโอด	
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	

ตารางที่ 5.1 แสดงสัญลักษณ์ในการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาการจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ จะประกอบไปด้วย 7 ภารกิจต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ลำดับ	กรณีศึกษา
1	การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง
2	การทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง
3	ไม่ใส่สแน็บเบอร์
4	ใส่สแน็บเบอร์
5	ใส่ RC gate และไม่ใส่วงจรกรองแบบ RC gate
6	เพิ่ม-ลด ความถี่ในการสวิตซ์จาก 75 kHz เป็น 150 kHz
7	โพลความต้านทาน และ โพลความต้านทานกับโพลความเหนี่ยวนำ

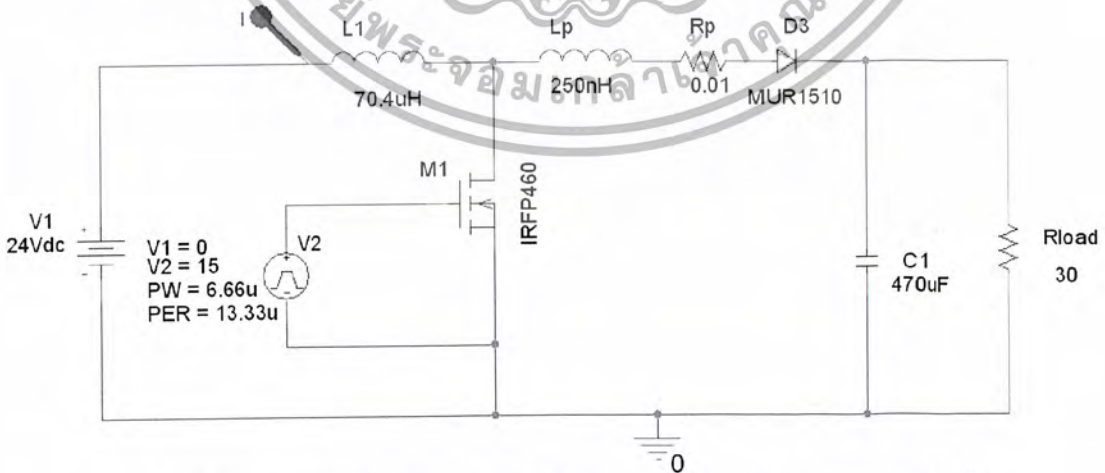
ตารางที่ 5.2 การจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

การศึกษาจะแยกออกเป็นสองส่วนคือ กรณีศึกษาจากการจำลองและกรณีการเปรียบเทียบการจำลองกับผลการทดลอง

5.1 กรณีศึกษาจากการจำลอง

5.1.1 การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง

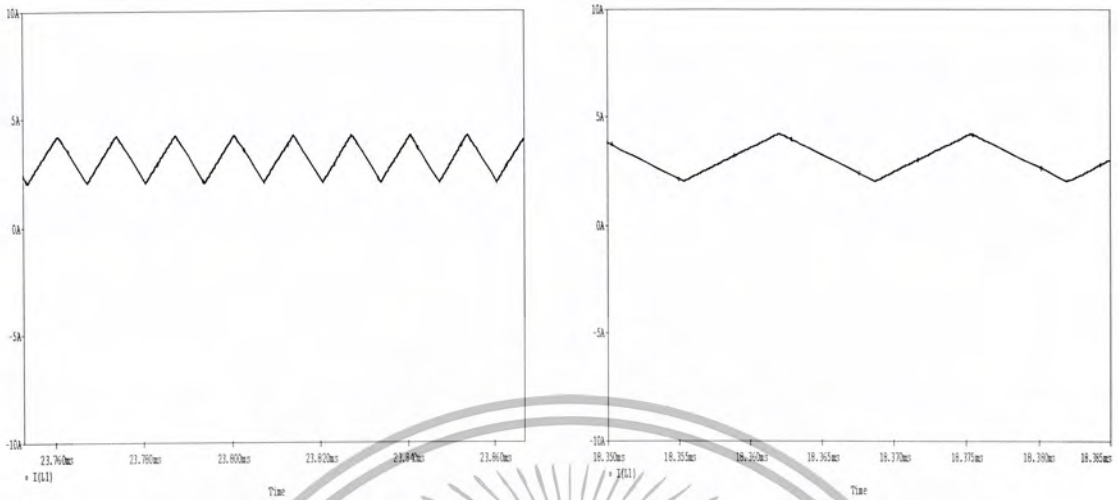
การจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ในโหมดกระแสต่อเนื่องมีค่าพารามิเตอร์และรูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.1(ก)



รูปที่ 5.1.1(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ใน โหมดกระแสต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลอง

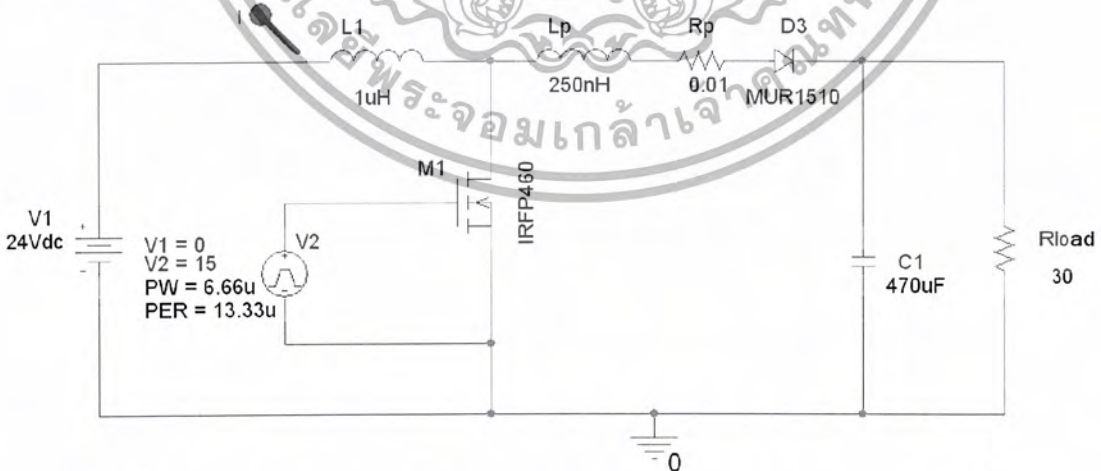


รูปที่ 5.1.1(ข) กระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด ภาพขยาย
กระแสต่อเนื่องกระแสต่อเนื่อง

จากรูปที่ 5.1.1(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ใน โหมด กระแสต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่ารูปของกระแส I_L จะมีลักษณะที่ต่อเนื่องไม่ขาดตอนหรือตกลงถึงค่าศูนย์

5.1.2 การทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

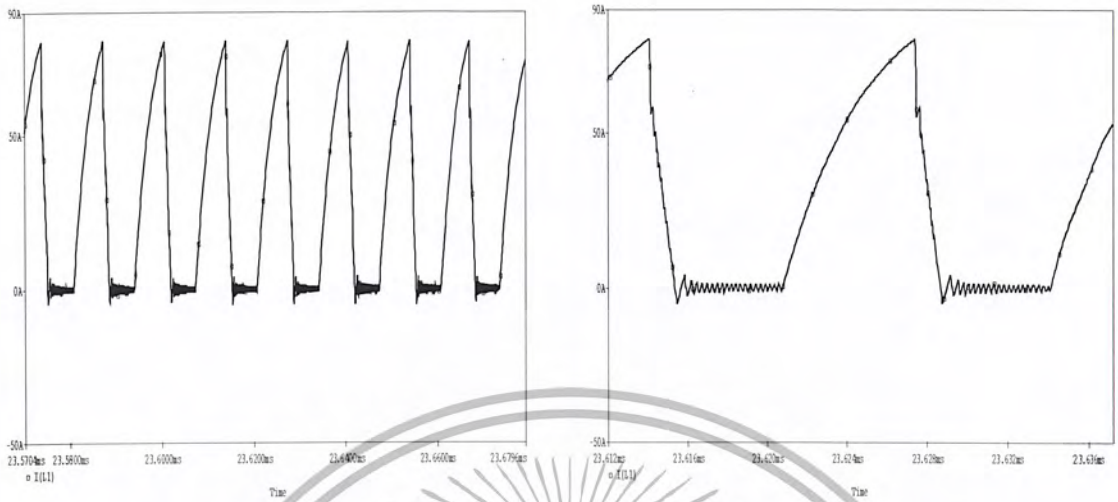
การจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง มีค่าพารามิเตอร์ และ รูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.2(ก)



รูปที่ 5.1.2(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ใน โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลอง

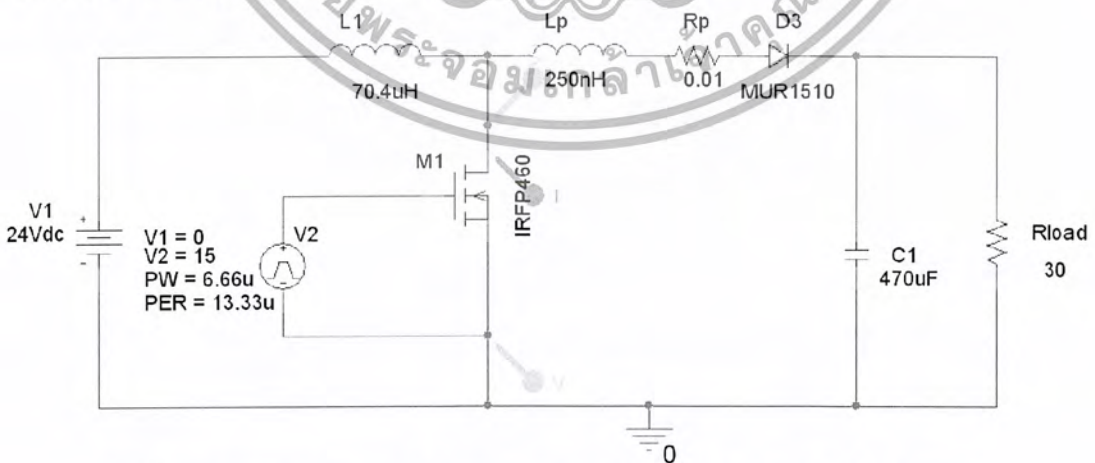


รูปที่ 5.1.2(ข) กระแส I_L กรณีการทำงานในโหมด ภาพขยาย
กระแสไม่ต่อเนื่อง

จากรูปที่ 5.1.2(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ในโหมด กระแสไม่ต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่ารูปของกระแส I_L จะมีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องจะขาดตอนและตกลงถึงค่า ศูนย์

5.1.3 กรณีไม่ใส่สแน็บเบอร์

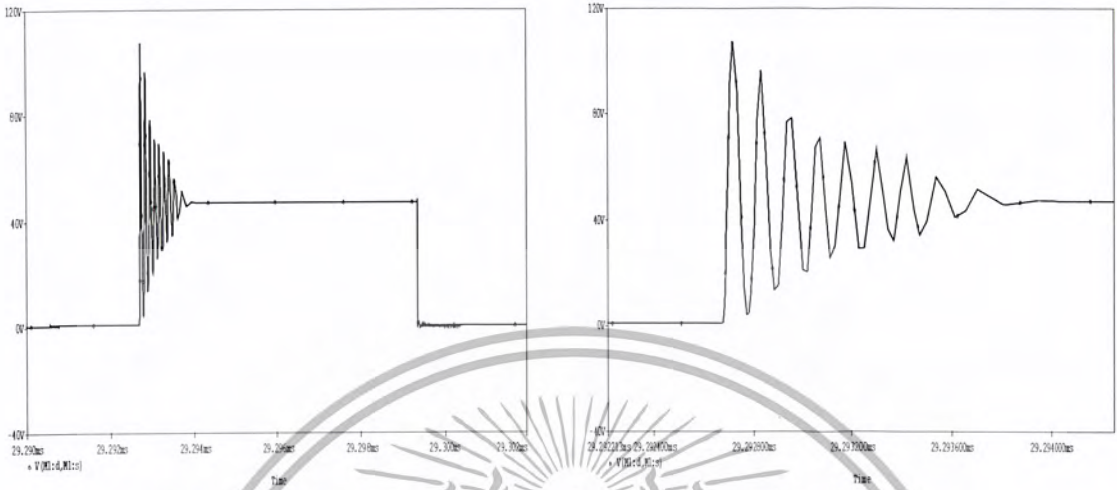
การจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีไม่ใส่สแน็บเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตชิง มีค่าพารามิเตอร์และ รูปของวงจรจำลองดังรูปที่ 5.1.3(ก)



รูปที่ 5.1.3(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีไม่ใส่สแน็บเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

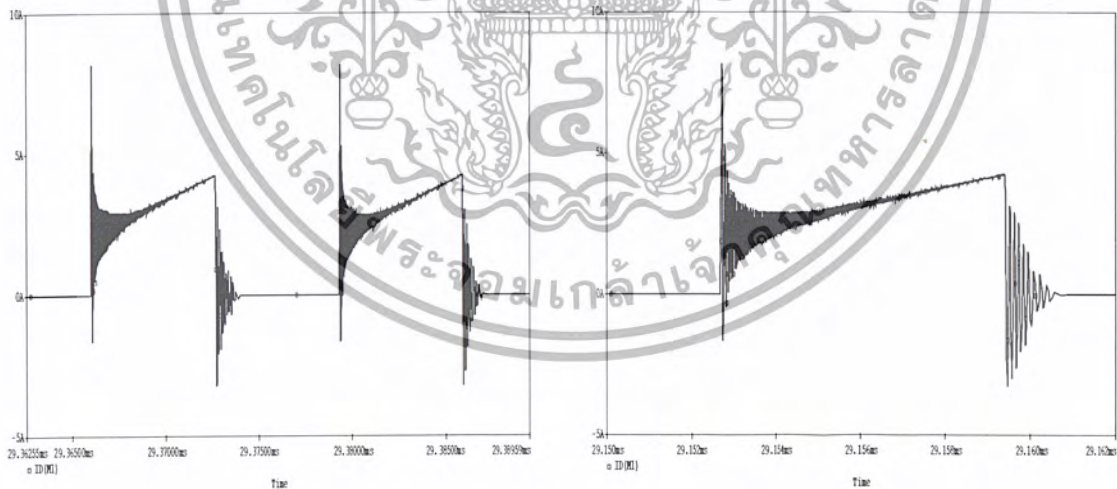
ผลการจำลอง



รูปที่ 5.1.3(ข) แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่สับเบอร์

ภาพขยาย

จากรูปที่ 5.1.3(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ไม่ใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตซิ่ง จะเห็นได้ว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้งในช่วงเริ่มหยุดการสวิตซิ่ง



รูปที่ 5.1.3(ค) กระแส I_{DS} กรณีไม่ใส่สับเบอร์

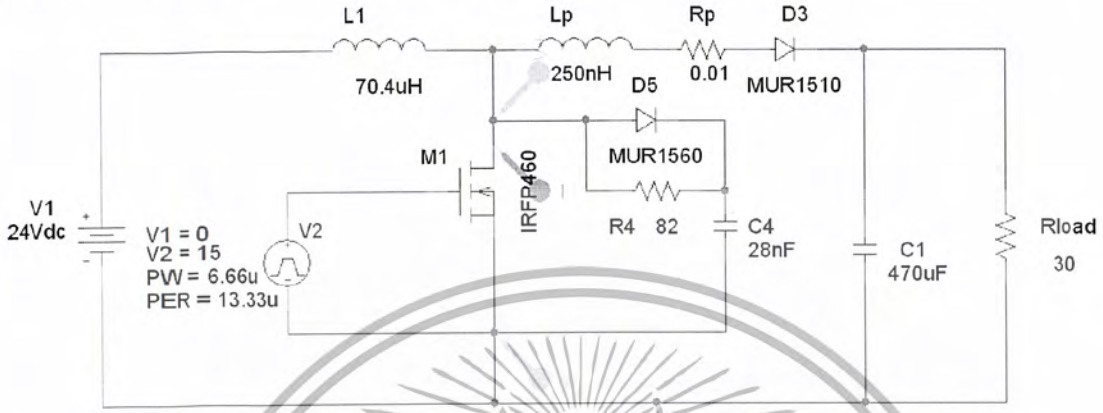
ภาพขยาย

จากรูปที่ 5.1.3(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ไม่ใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตซิ่ง จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้งในช่วงเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

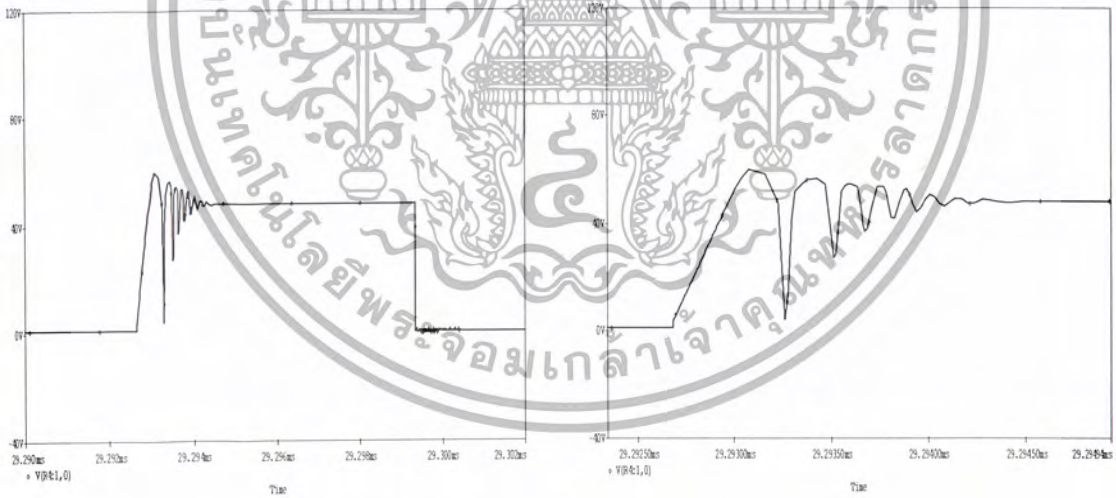
5.1.4 กรณีใส่สับเบอร์

การจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตชิ่งมีค่าพารามิเตอร์และ รูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.4(ก)



รูปที่ 5.1.4(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีใส่สับเบอร์

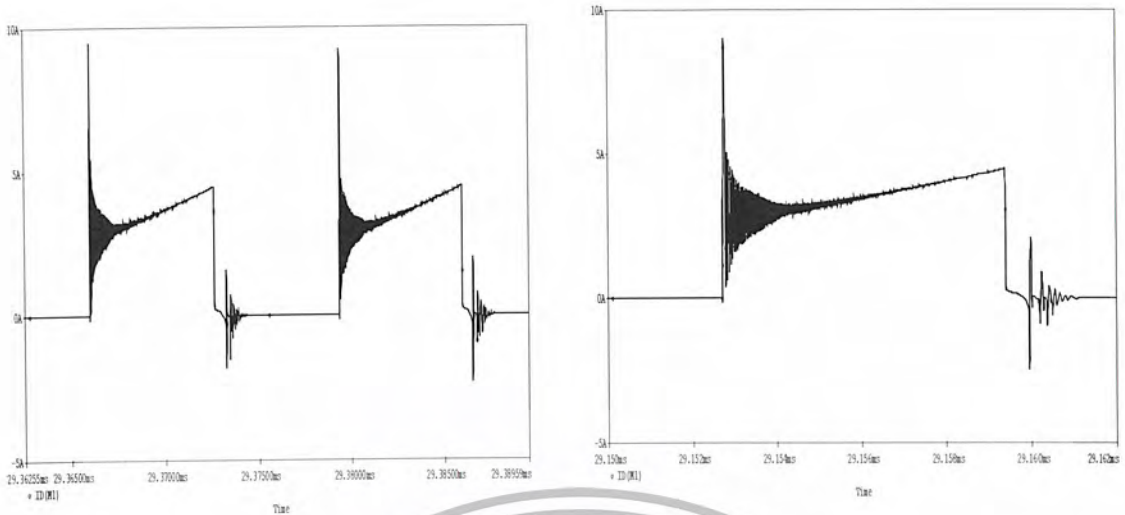
ผลการจำลอง



รูปที่ 5.1.4(ข) แรงดัน V_{DS} กรณีใส่สับเบอร์

ภาพขยาย

จากรูปที่ 5.1.4(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตชิ่ง จะเห็นได้ว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่มีขนาดสปร๊อคลดลงแต่ค่ารีงกิ้งในช่วงเริ่มหยุดการสวิตชิ่งยังคงมีอยู่



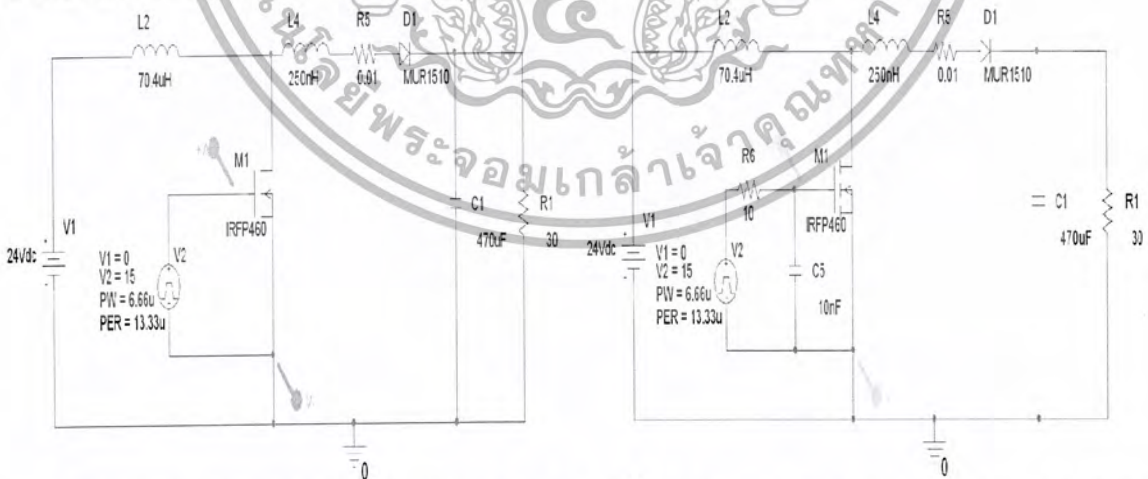
รูปที่ 5.1.4(ค) กระแส I_{DS} กรณีใส่สับเบอร์

ภาพขยาย

จากรูปที่ 5.1.4(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ไม่ใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตชิง จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วยสไปร์คและริงกิ้งในช่วงเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส แต่ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสริงกิ้งจะมีขนาดเล็ก

5.1.5 กรณีใส่ RC gate และไม่มี RC gate

การจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีใส่และไม่ใส่ตัวกรองแบบ RC มีค่าพารามิเตอร์และ รูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.5(ก) และรูปที่ 5.15(ข)

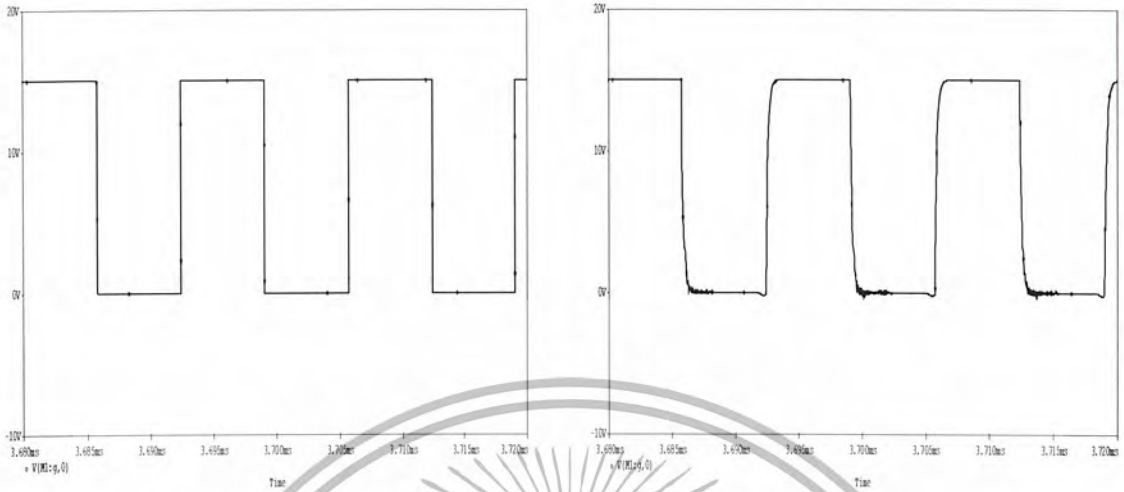


รูปที่ 5.1.5(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีไม่มี RC gate

รูปที่ 5.1.5(ข) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีมี RC gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

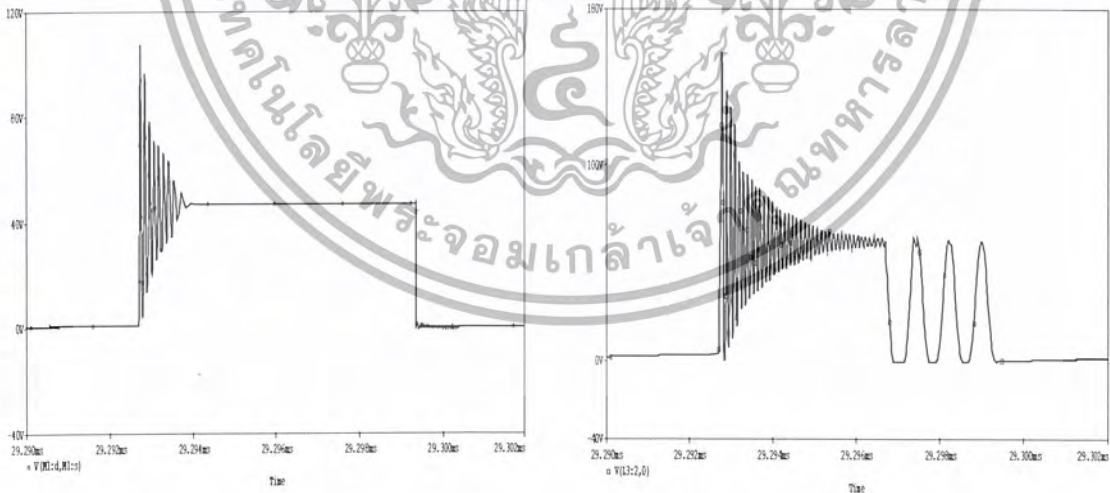
ผลการจำลอง



รูปที่ 5.15(ค) รูปคลื่นพัลส์ V_{GS} กรณิที่ไม่ใส่ RC gate รูปที่ 5.15(ง) รูปคลื่นพัลส์ V_{GS} กรณิที่ใส่ RC gate

จากรูปที่ 5.1.5(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณิที่ไม่ใส่ RC gate โดยจะเห็นว่ารูปคลื่นพัลส์ V_{GS} จะมีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมและมีความชัน

จากรูปที่ 5.1.5(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณิที่ใส่ RC gate โดยจะเห็นว่ารูปคลื่นพัลส์ V_{GS} จะมีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมลดลงและมีความชันลดลง



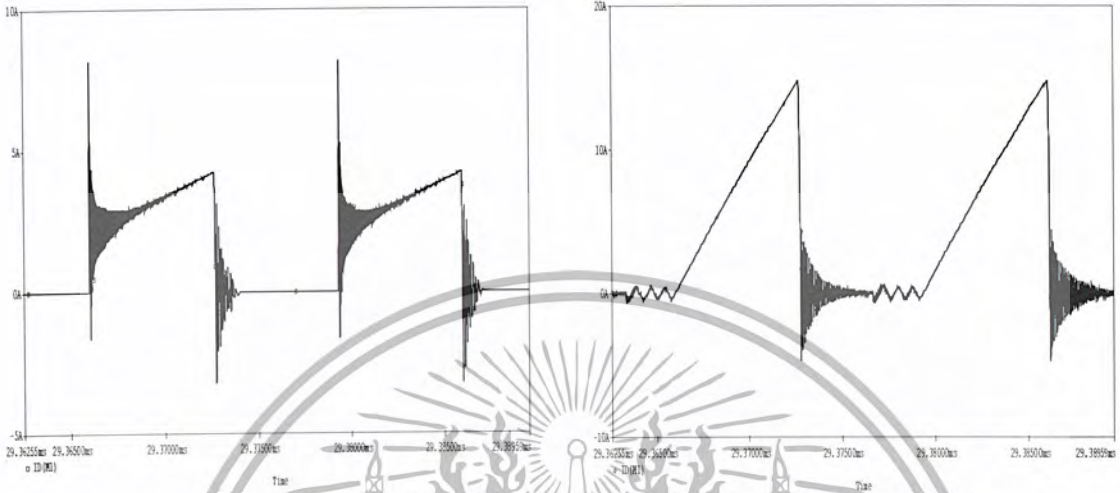
รูปที่ 5.1.5(จ) แแรงดัน V_{DS} กรณิที่ไม่ใส่ RC gate

รูปที่ 5.1.5(ฉ) แแรงดัน V_{DS} กรณิที่ใส่ RC gate

จากรูปที่ 5.1.5(จ) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณิที่ไม่ใส่ RC gate โดยจะเห็นว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิง ในช่วงเริ่มหยุดการสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1.5(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ใส่ RC gate โดยจะเห็นว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้ง ในช่วงเริ่มหยุดการสวิตช์ซึ่งแต่ช่วงเริ่มการสวิตช์จะมีสไปร์คอยู่ด้วย



รูปที่ 5.1.5(ข) กระแส I_{DS} กรณีไม่ได้ RC gate

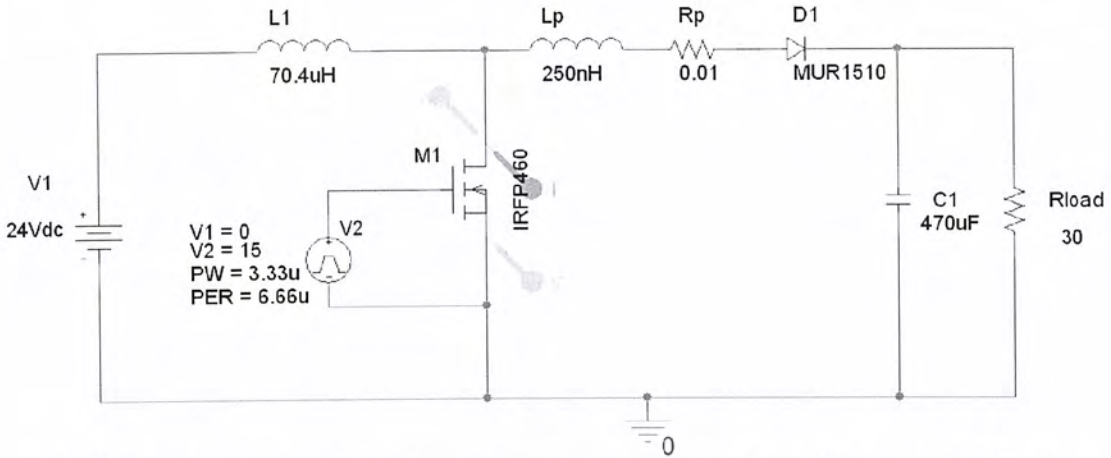
รูปที่ 5.1.5(ค) กระแส I_{DS} กรณีใส่ RC gate

จากรูปที่ 5.1.5(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ไม่ได้ใส่ RC gate จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้ง ในช่วงเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

จากรูปที่ 5.1.5(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ใส่ RC gate จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นสไปร์คและริงกิ้งในช่วงเริ่มนำกระแสจะมีขนาดลดลงแต่ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะยังมีสไปร์คและริงกิ้ง

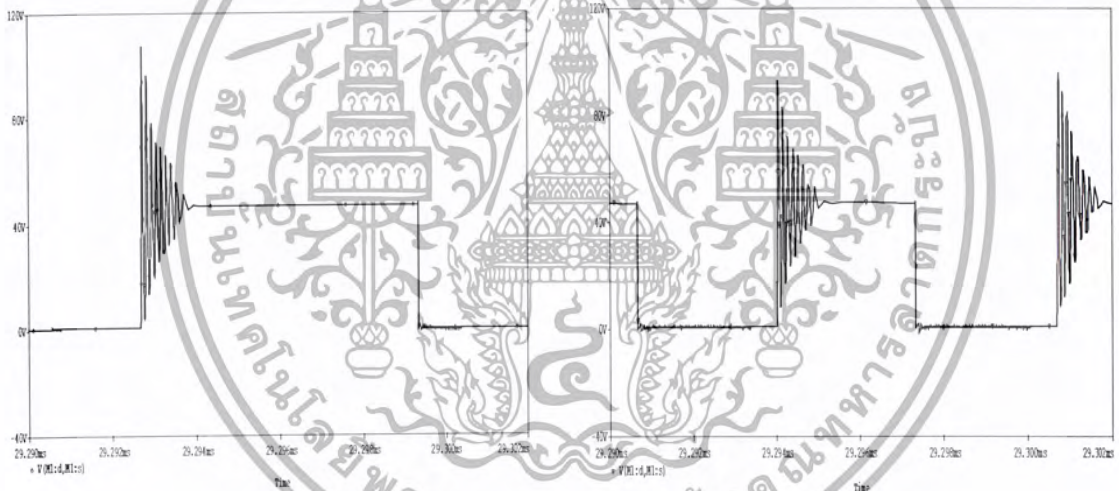
5.1.6 เพิ่ม-ลด ความถี่ในการสวิตช์

การจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีเพิ่ม-ลดความถี่ในการสวิตช์ มีค่าพารามิเตอร์และ รูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.6(ก)



รูปที่ 5.1.6(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรมุสตัคคอนเวอเตอร์ กรณีความถี่ของการสวิตซิ่งที่ต่างกัน

ผลการจำลอง

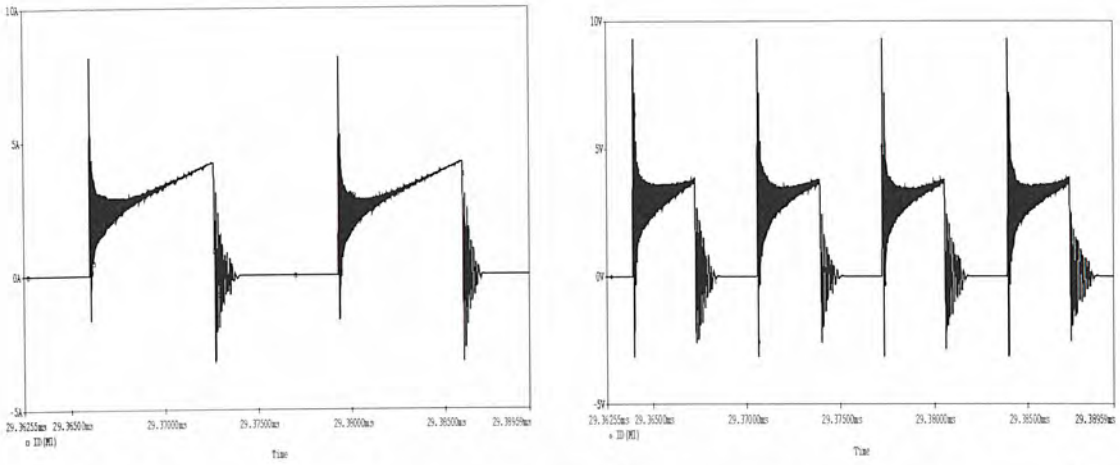


รูปที่ 5.1.6(ข) แรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซิ่ง 75kHz รูปที่ 5.1.6(ค) แรงดัน V_{DS} ที่ความถี่ของการสวิตซิ่ง 150kHz

จากรูปที่ 5.1.6(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรมุสตัคคอนเวอเตอร์ในกรณีที่ ความถี่ของการสวิตซิ่งที่ 75kHz โดยจะเห็นว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปรค์และริงกิ้งในช่วงเริ่มหยุดการสวิตซิ่ง

จากรูปที่ 5.1.6(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรมุสตัคคอนเวอเตอร์ในกรณีที่ ความถี่ของการสวิตซิ่งที่ 150kHz โดยจะเห็นว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปรค์และริงกิ้งในช่วงเริ่มหยุดการสวิตซิ่งเหมือนกับการสวิตซิ่งที่ความถี่ 75kHz แต่ความถี่ของ แรงดันที่ตกคร่อมตัวสวิตซ์จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



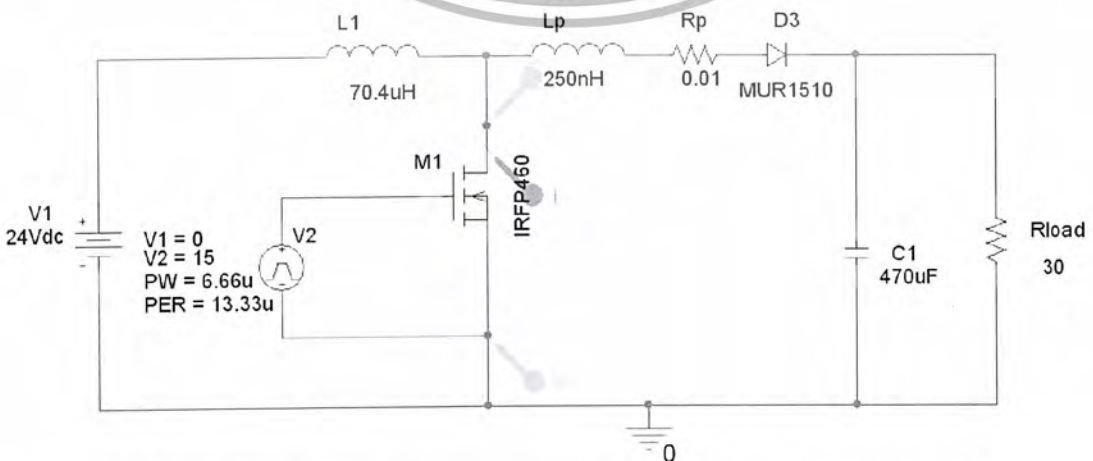
รูปที่ 5.1.6(ง) กระแส I_{DS} กรณีความถี่ของการสวิตซ์ที่ 75kHz รูปที่ 5.1.6(จ) กระแส I_{DS} ที่ความถี่ของการสวิตซ์ที่ 150kHz

จากรูปที่ 5.1.6(ง) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่มีความถี่ของการสวิตซ์ที่ 75kHz จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้งในช่วงร่นำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

จากรูปที่ 5.1.6(จ) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่มีความถี่ของการสวิตซ์ที่ 150kHz จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้งในช่วงร่นำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสเหมือนกับการสวิตซ์ที่ความถี่ 75kHz แต่ความถี่ของการนำกระแสและหยุดนำกระแสของตัวสวิตซ์จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่า

5.1.7 โหลดความต้านทาน และโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

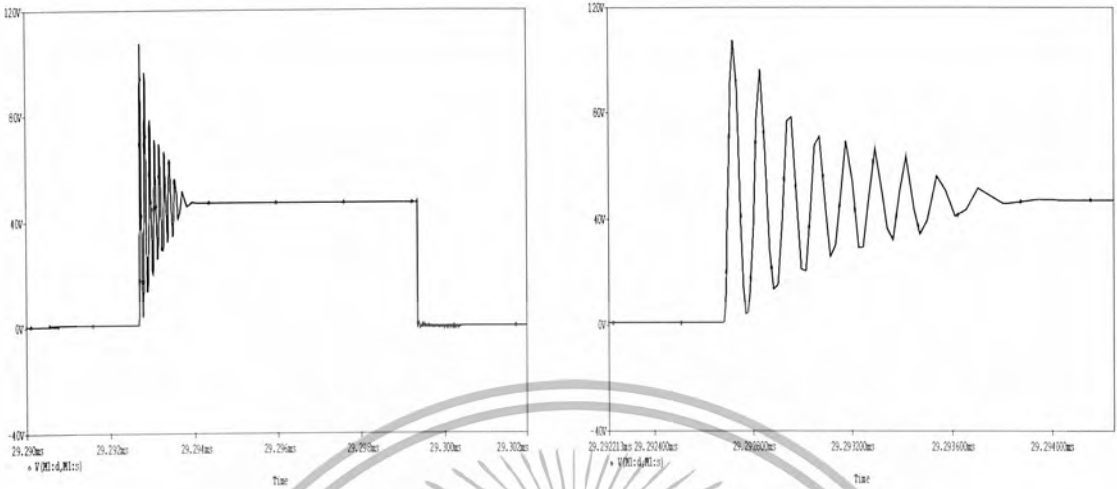
การจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีโหลดความต้านทาน มีค่าพารามิเตอร์ และ รูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.7(ก)



รูปที่ 5.1.7(ก) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีโหลดความต้านทาน

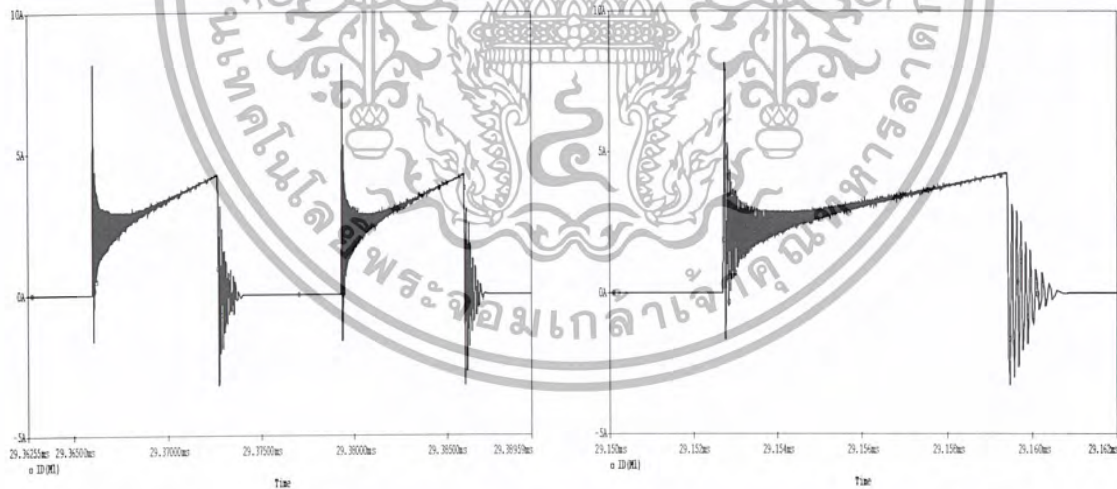
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อภาคอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาเอกสารฉบับนี้

ผลการจำลอง



รูปที่ 5.1.7(ข) แรงดัน V_{DS} กรณีโหนดความต้านทาน ภาพขยาย

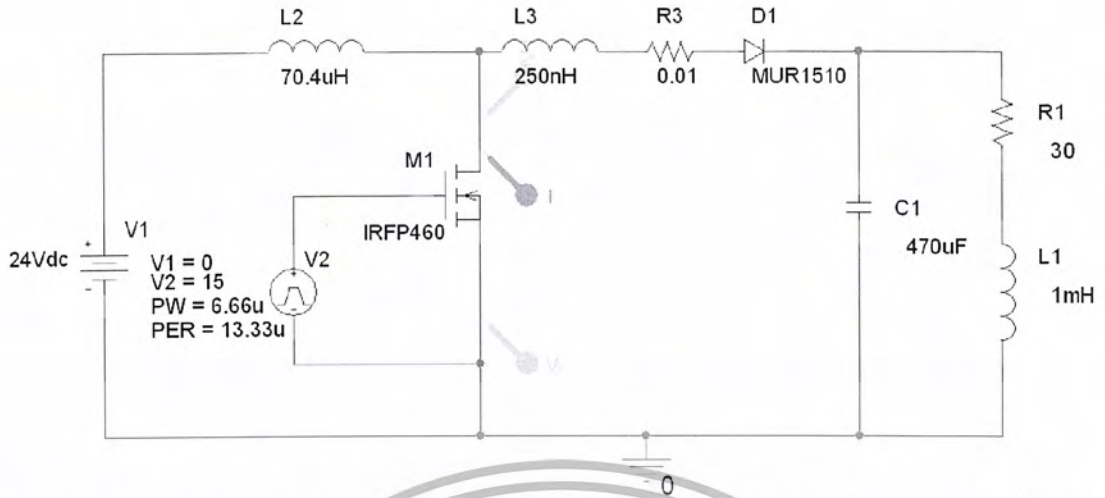
จากรูปที่ 5.1.7(ข) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีโหนดความต้านทาน จะเห็นได้ว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้งในช่วงเริ่มหยุดการสวิตช์



รูปที่ 5.1.7(ค) กระแส I_{DS} กรณีโหนดความต้านทาน ภาพขยาย

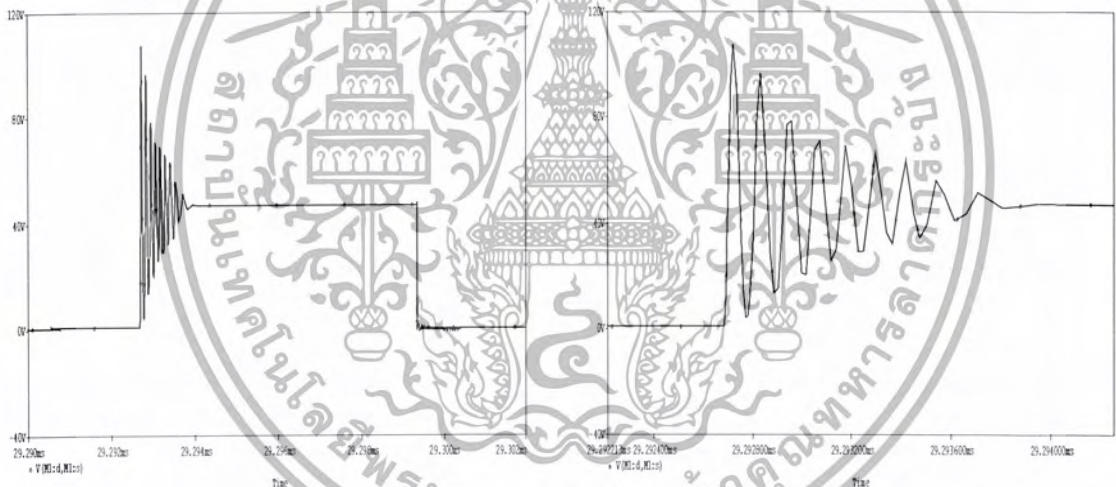
จากรูปที่ 5.1.3(ค) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีโหนดความต้านทาน จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและริงกิ้งในช่วงเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

การจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีโหนดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มีค่าพารามิเตอร์และ รูปของวงจรการจำลองดังรูปที่ 5.1.7(ง) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



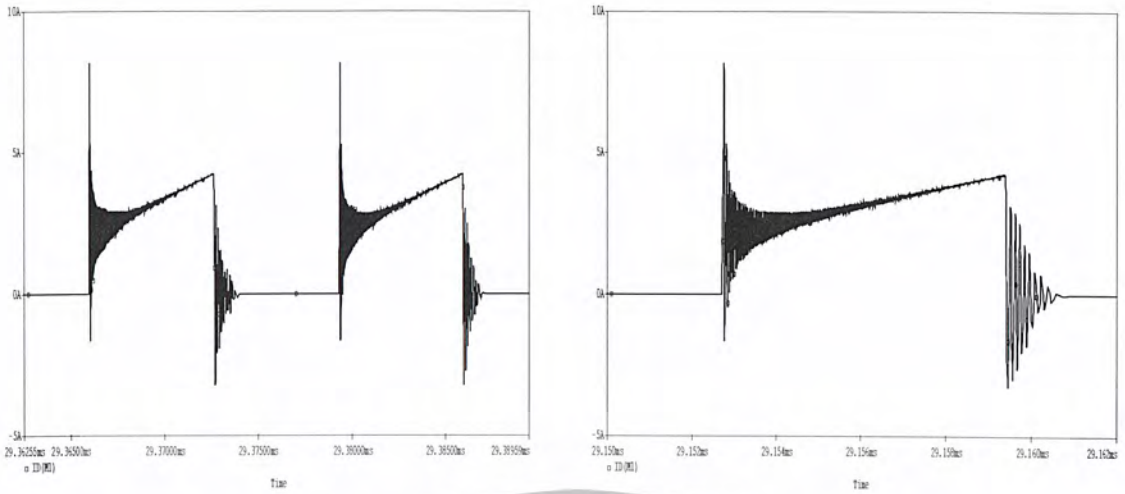
รูปที่ 5.1.7(จ) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ กรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

ผลการจำลอง



รูปที่ 5.1.7(จ) แรงดัน V_{DS} กรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ ภาพขยาย

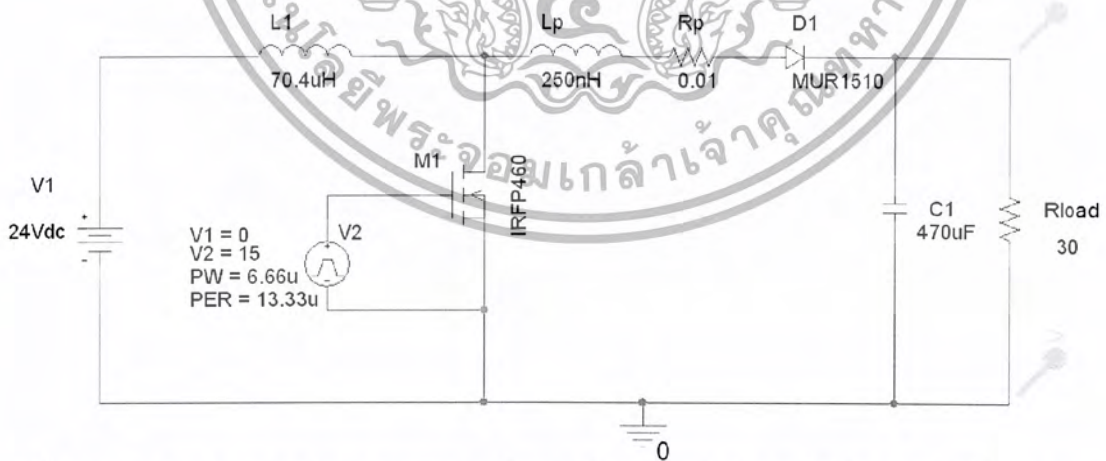
จากรูปที่ 5.1.7(จ) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีในกรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ จะเห็นได้ว่ารูปแรงดัน V_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปรคและริงกิ้งในช่วงเริ่มหยุดการสวิตซ์



รูปที่ 5.1.7(ฉ) กระแส I_{DS} กรณีโหนดความต้านทานกับ ตัวเหนี่ยวนำ ภาพขยาย

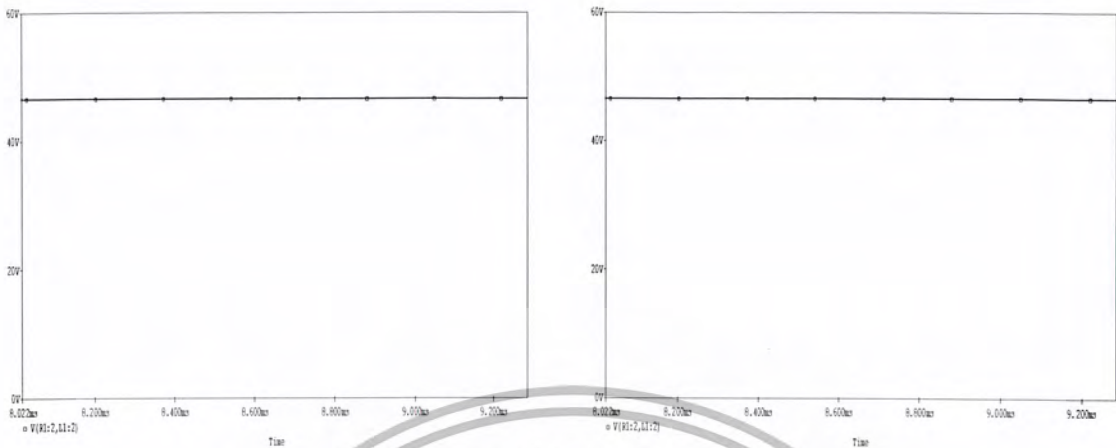
จากรูปที่ 5.1.7(ฉ) เป็นผลของการจำลองการทำงานของ วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ในกรณีโหนดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ จะเห็นได้ว่ารูปกระแส I_{DS} จะมีลักษณะของรูปคลื่นที่ประกอบไปด้วย สไปร์คและ ริงกิ้งในช่วงเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

การจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ในกรณีแรงดันค้ำขาออกของโหนดความต้านทาน จะมีการวัดผลการจำลองดังรูปที่ 5.1.7(ช) และในกรณีของโหนดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ ก็ทำการวัดผลการจำลองเหมือนกับรูปที่ 5.1.7(ฉ) เช่นกัน



รูปที่ 5.1.7(ช) วงจรจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์และการวัดแรงดันค้ำขาออกกรณีโหนดความต้านทาน

ผลการจำลอง



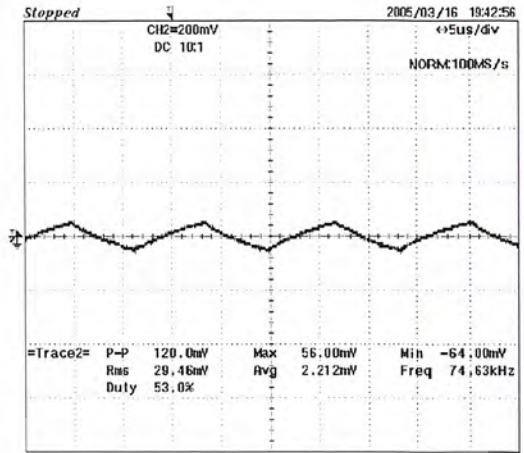
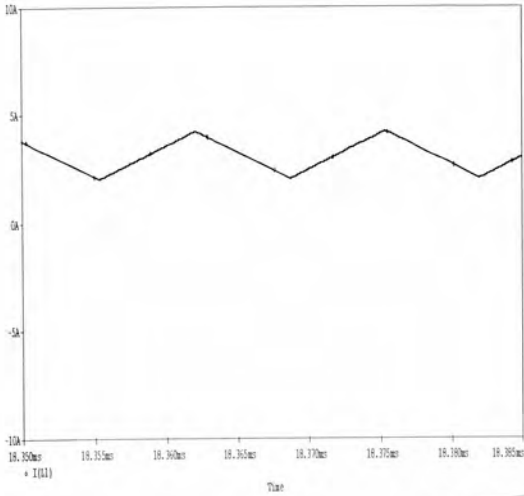
รูปที่ 5.1.7(ซ) รูปคลื่นแรงดันด้านขาออก กรณีโหลด ความต้านทาน รูปที่ 5.1.7(ฅ) รูปคลื่นแรงดันด้านขาออก กรณีโหลด ความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 5.1.7(ซ) เป็นผลของการจำลองรูปคลื่นด้านขาออก กรณีโหลดความต้านทาน ของ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ และรูปที่ 5.1.7(ฅ) เป็นผลของการจำลองด้านขาออกกรณี โหลดความต้านทาน กับตัวเหนี่ยวนำ ของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ และจากรูปคลื่นด้านขาออกของทั้งสองกรณีสถิตยณะที่ คล้ายกัน

5.2 การเปรียบเทียบการจำลองกับผลการทดลอง

5.2.1 การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง

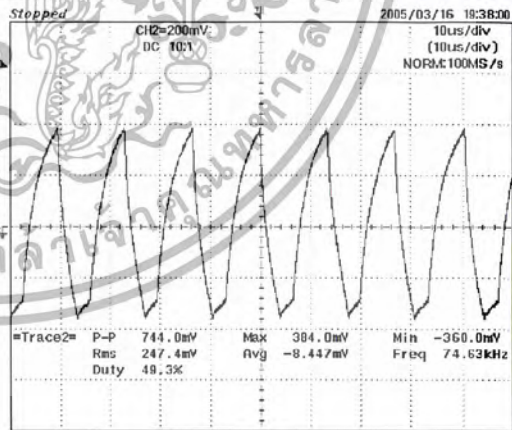
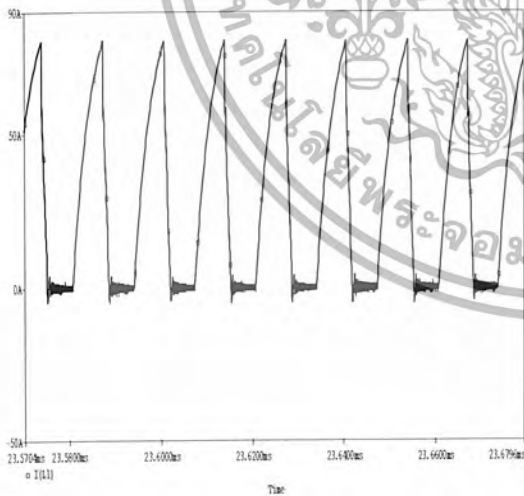
การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องผลที่ได้เป็นดัง รูปที่ 5.2.1(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.1(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่ารูปที่ได้มี ลักษณะที่คล้ายกัน



รูปที่ 5.2.1(ก) ผลการจำลองกระแส I_L กรณีการทำงาน รูปที่ 5.2.1(ข) ผลการทดลองกระแส I_L กรณีการทำงาน
ในโหมด กระแสต่อเนื่อง ในโหมด กระแสต่อเนื่อง

5.2.2 การทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

การเปรียบเทียบระหว่างกราฟการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องผลที่ได้เป็น ดังรูปที่ 5.2.2(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.2(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่ารูปที่ได้ มีลักษณะที่คล้ายกัน

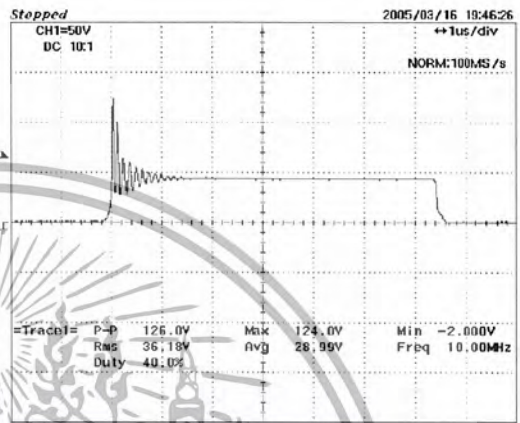
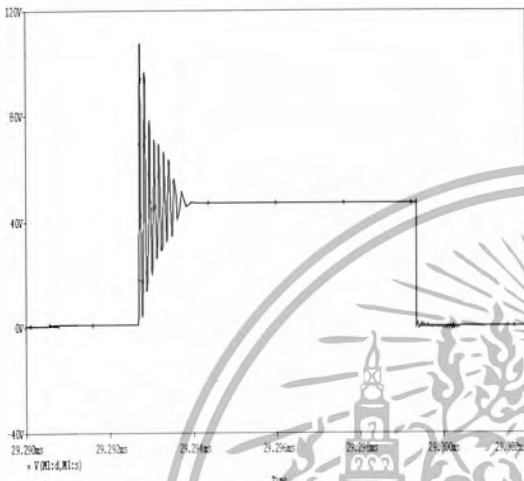


รูปที่ 5.2.2(ก) ผลการจำลองกระแส I_L กรณีการทำงาน รูปที่ 5.2.2(ข) ผลการทดลองกระแส I_L กรณีการทำงาน
ในโหมด กระแสไม่ต่อเนื่อง ในโหมด กระแสไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

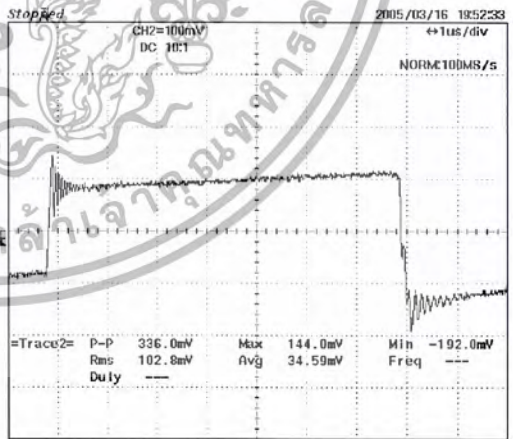
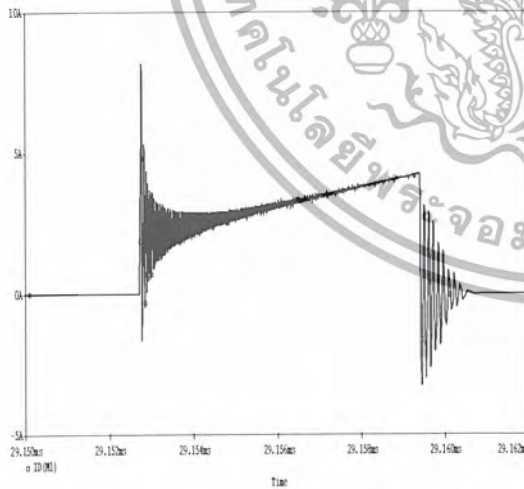
5.2.3 กรณีไมใส่สับเบอร์

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีไมใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ผลที่ได้เป็น ดังรูปที่ 5.2.3(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.3(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของ แรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน



รูปที่ 5.2.3(ก) ผลการจำลองแรงดัน V_{DS} กรณีไมใส่ สับเบอร์

รูปที่ 5.2.3(ข) ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีไมใส่ สับเบอร์



รูปที่ 5.2.3(ค) ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีไมใส่ สับเบอร์

รูปที่ 5.2.3(ง) ผลการทดลอง กระแส I_{DS} กรณีไมใส่ สับเบอร์

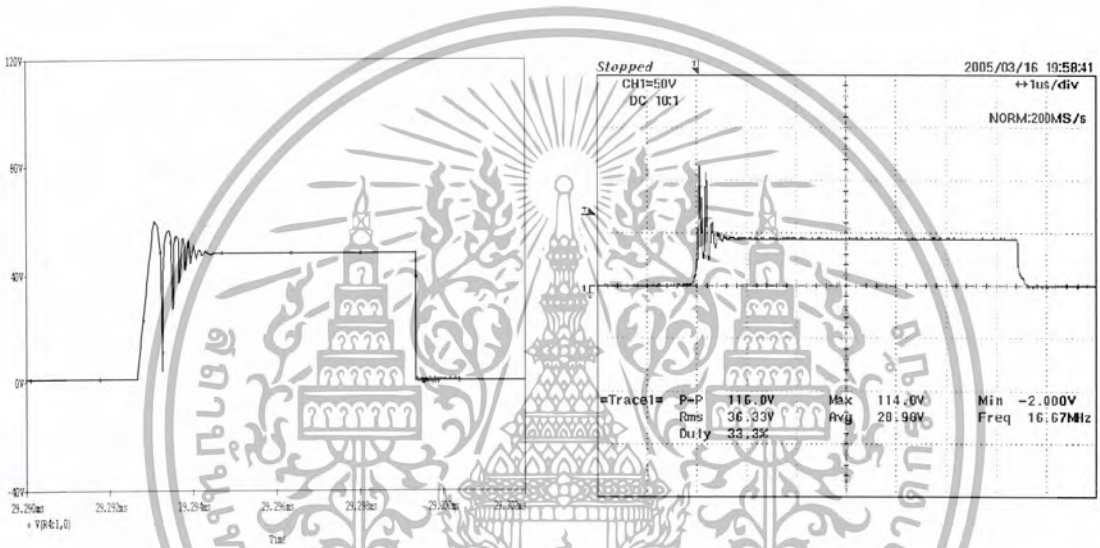
การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีไมใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ผลที่ได้เป็น

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 5.2.3(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.3(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

5.2.4 กรณีใส่สับเบอร์

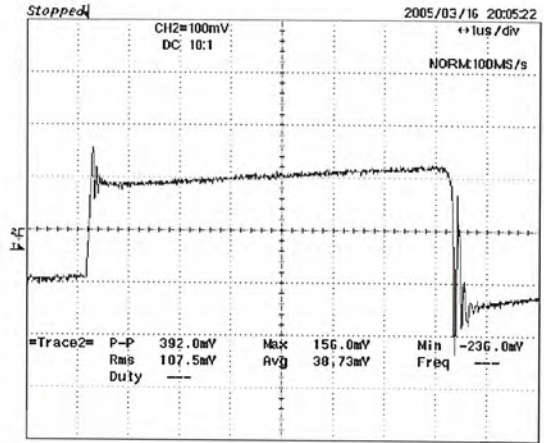
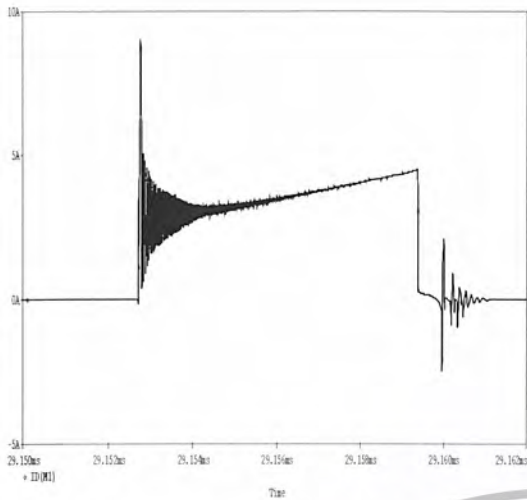
การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.4(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.4(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่ต่างกันผลที่ได้จากการทดลองจะมีสไปร์คที่สูงกว่าผลที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 5.2.4(ก) ผลการจำลองแรงดัน V_{DS} กรณีใส่สับเบอร์

รูปที่ 5.2.4(ข) ผลการทดลองแรงดัน V_{DS} กรณีใส่สับเบอร์

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีใส่สับเบอร์ให้กับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.4(ค) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.4(ง) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

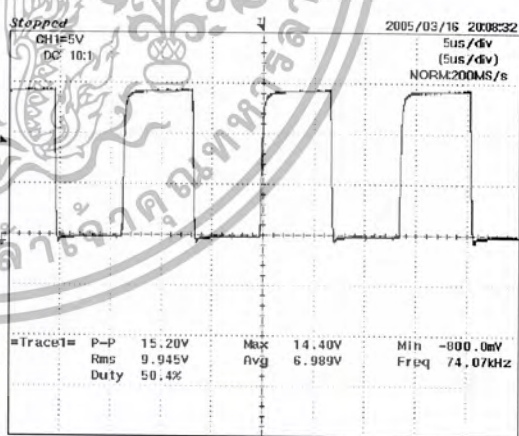
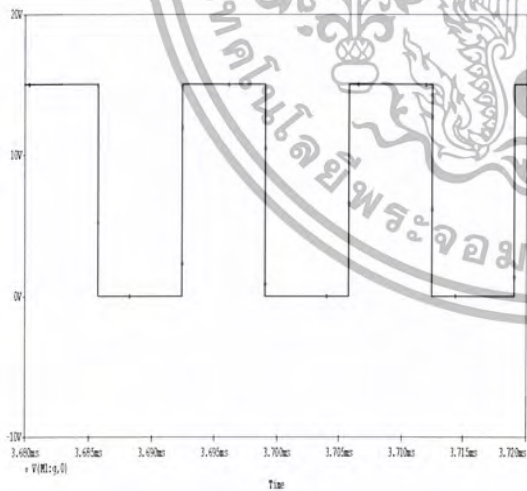


รูปที่ 5.2.4(ค) ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีใส่ สหับเบอร์

รูปที่ 5.2.4(ง) ผลการทดลอง กระแส I_{DS} กรณีใส่ สหับเบอร์

5.2.5 กรณีใส่ RC gate และไมใส่ RC gate

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีไมใส่ RC gate ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.5(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.5(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของรูปคลื่นพัลส์ V_{GS} ที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันเล็กน้อย



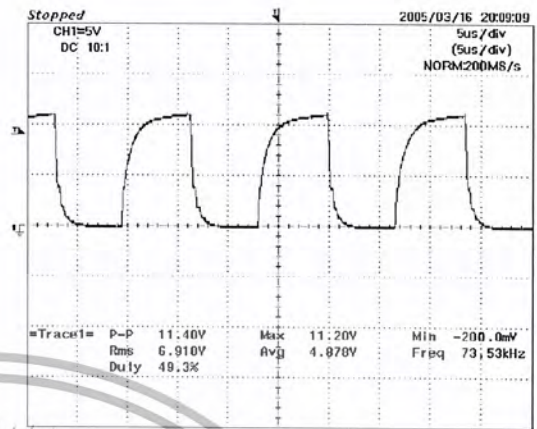
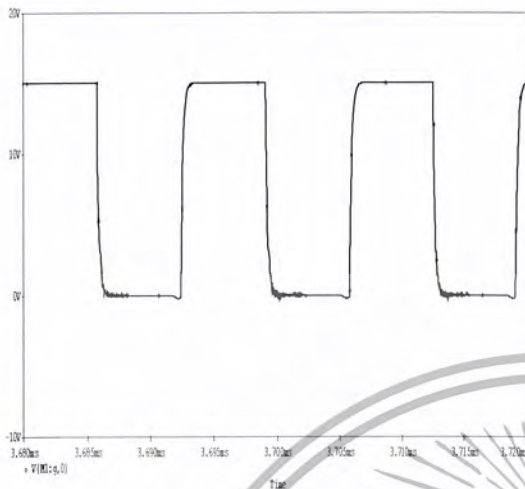
รูปที่ 5.2.5(ก) ผลการจำลอง รูปคลื่น V_{GS} กรณีไมใส่ RC gate

รูปที่ 5.2.5(ข) ผลการทดลอง รูปคลื่น V_{GS} กรณีไมใส่ RC gate

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม

PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีใส่ RC gate ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.5(ค) ซึ่งเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

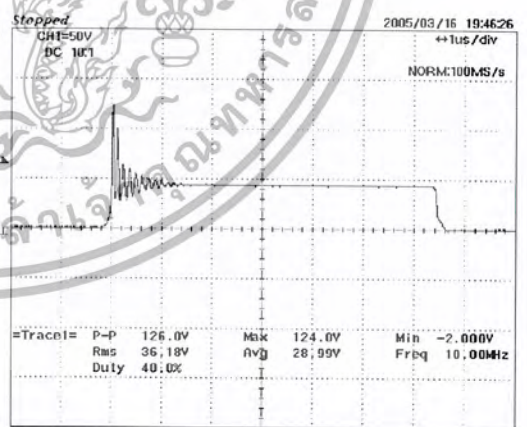
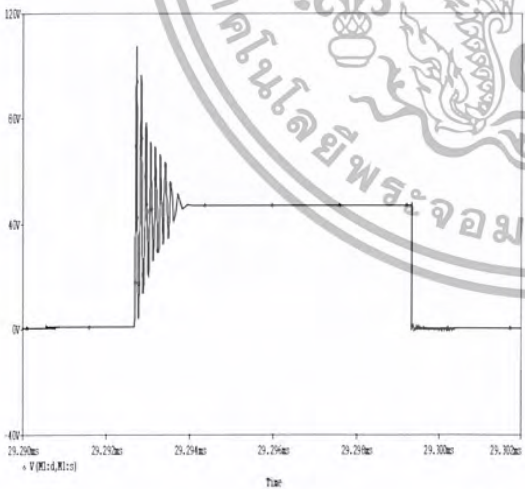
ผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.5(ง) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของรูปคลื่นพัลส์ V_{GS} ที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันมากพอสมควร



รูปที่ 5.2.5(ค) ผลการจำลอง รูปคลื่น V_{GS} กรณีใส่ RC gate

รูปที่ 5.2.5(ง) ผลการทดลอง รูปคลื่น V_{GS} กรณีใส่ RC gate

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีไม่ใส่ RC gate ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.5(จ) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.5(ฉ) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน



รูปที่ 5.2.5(จ) ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate

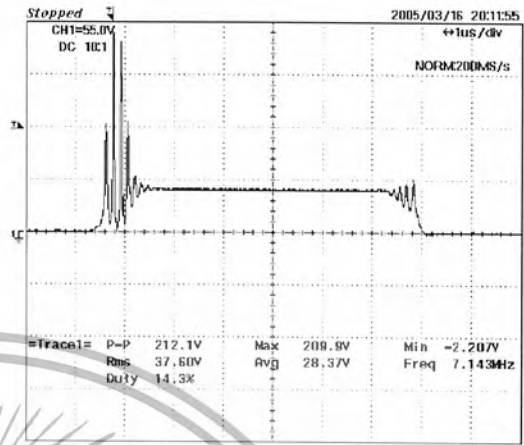
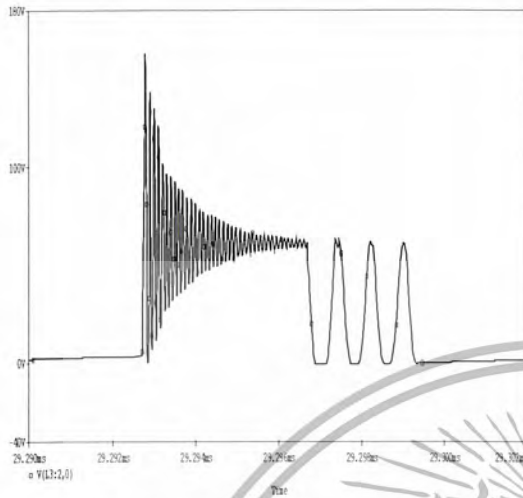
รูปที่ 5.2.5(ฉ) ผลการทดลอง แรงดัน V_{DS} กรณีไม่ใส่ RC gate

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีใส่ RC gate ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.5(ข) ซึ่งเป็น

ผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.5(ซ) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

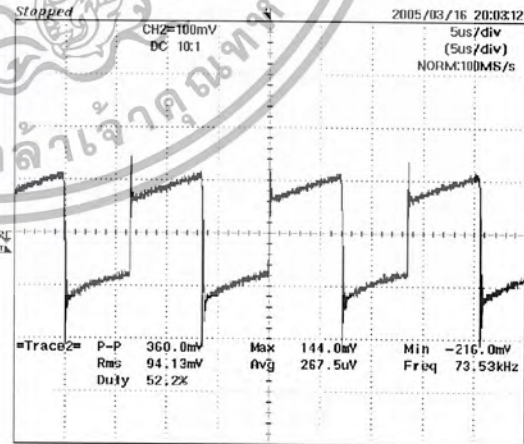
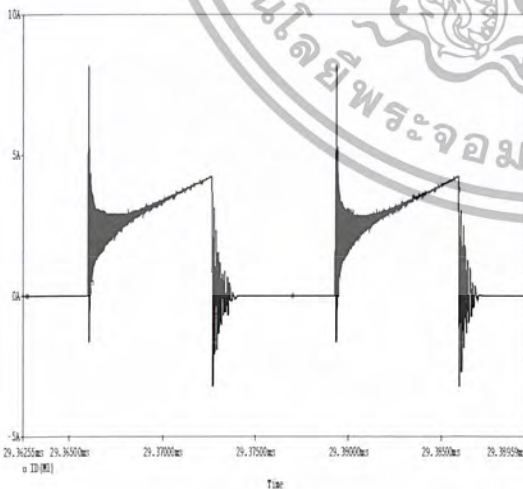
ลักษณะที่แตกต่างกันผลที่ได้จากการจำลอง จะมีค่าสไปร์กและริงกิงตอนเริ่มสวิตช์ซึ่งมากกว่าผลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 5.2.5(ข) ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีไม้ RC gate

รูปที่ 5.2.5(ข) ผลการทดลอง แรงดัน V_{DS} กรณีไม้ RC gate

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมอสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีไม้ RC gate ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.4(ข) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.4(ง) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

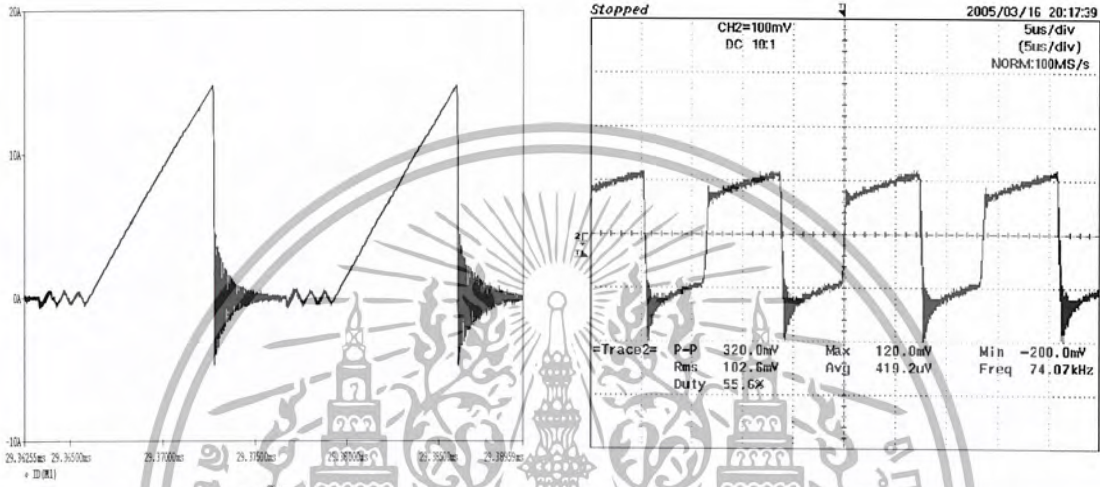


รูปที่ 5.2.5(ง) ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีไม้ RC gate

รูปที่ 5.2.5(ง) ผลการทดลอง กระแส I_{DS} กรณีไม้ RC gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

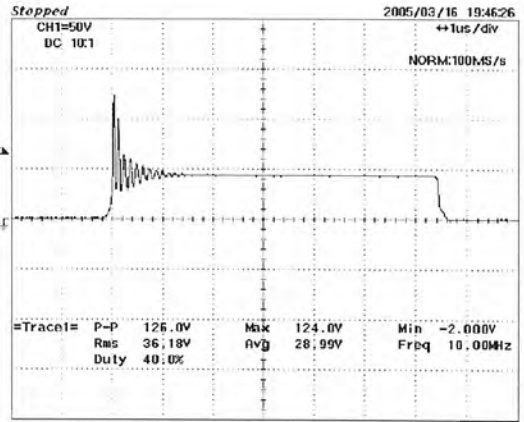
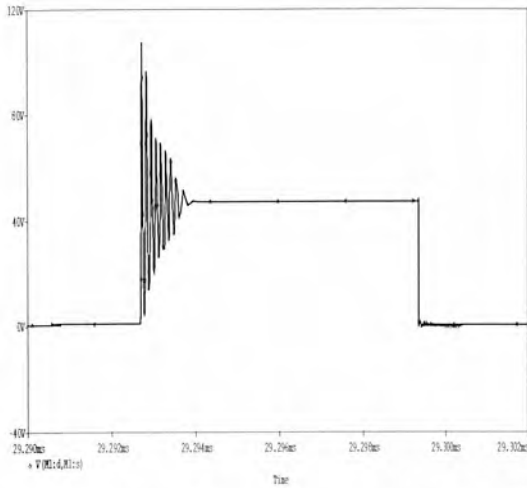
การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีใส่ RC gate ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.4(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.4(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยที่ผลของการจำลองค่าของริงกิ้งและสไปรต์คอนเริ่มนำกระแส จะลดมากกว่าผลจากการทดลอง



รูปที่ 5.2.5(ก) ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีใส่ RC gate รูปที่ 5.2.5(ข) ผลการทดลอง กระแส I_{DS} กรณีใส่ RC gate

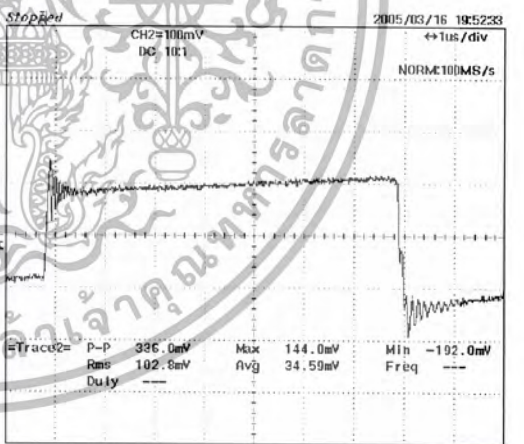
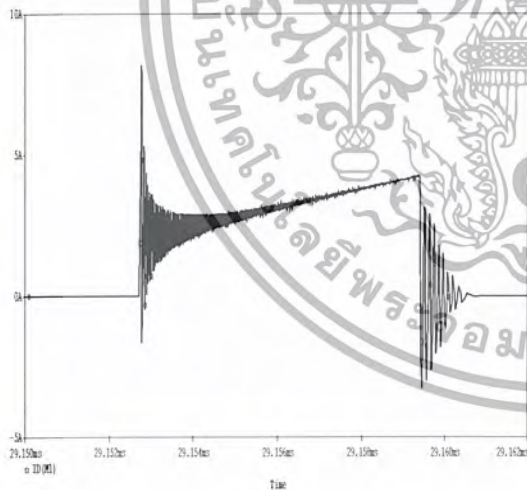
5.2.6 เพิ่ม-ลด ความถี่ในการสวิตชิ่ง

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีความถี่ของการสวิตชิ่งที่ 75kHz ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.6(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.6(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน



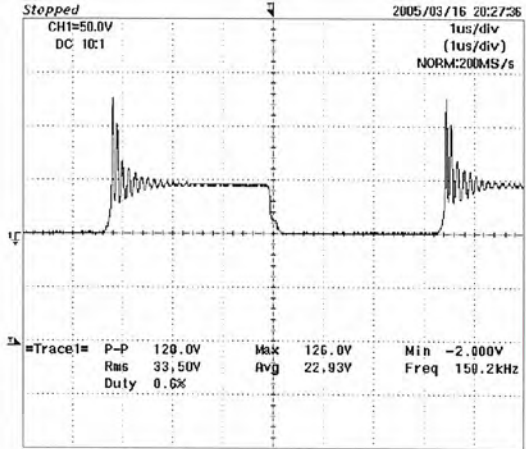
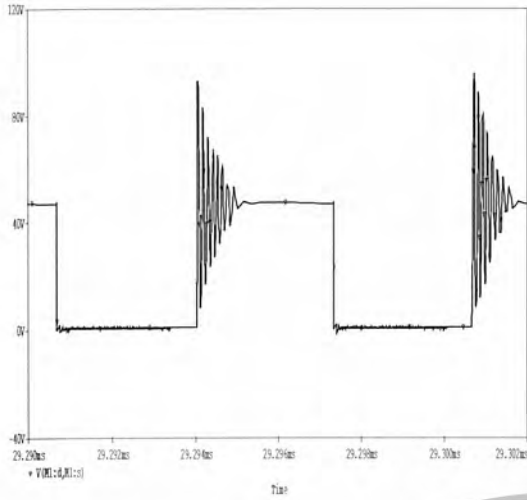
รูปที่ 5.2.6(ก) ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ รูปที่ 5.2.6(ข) ผลการทดลอง แรงดัน V_{DS} ที่ความถี่ของ การสวิตซ์ 75kHz การสวิตซ์ 150kHz

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมอเตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีความถี่ของการสวิตซ์ที่ 75kHz ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.6(ค) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.6(ง) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน



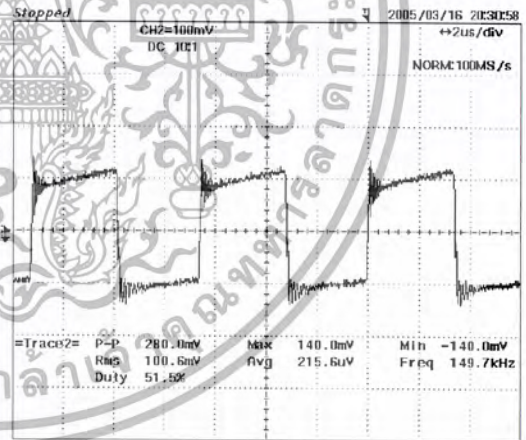
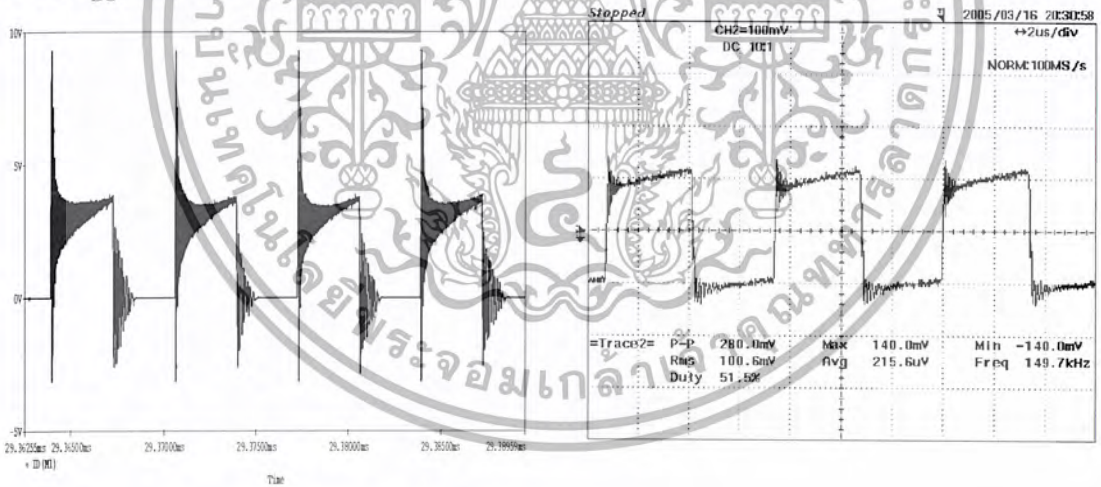
รูปที่ 5.2.6(ค) ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีความถี่ รูปที่ 5.2.6(ง) ผลการทดลอง กระแส I_{DS} ที่ความถี่ของ การสวิตซ์ 75kHz 150kHz

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมอเตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีความถี่ของการสวิตซ์ที่ 150kHz ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.6(จ) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.6(ฉ) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน



รูปที่ 5.2.6(จ) ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีความถี่ รูปที่ 5.2.6(ฉ) ผลการทดลอง แรงดัน V_{DS} ที่ความถี่
ของการสวิตซ์ 75kHz ของ การสวิตซ์ 150kHz

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีความถี่ของการสวิตซ์ที่ 150kHz ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.6(ข) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.6(ค) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน



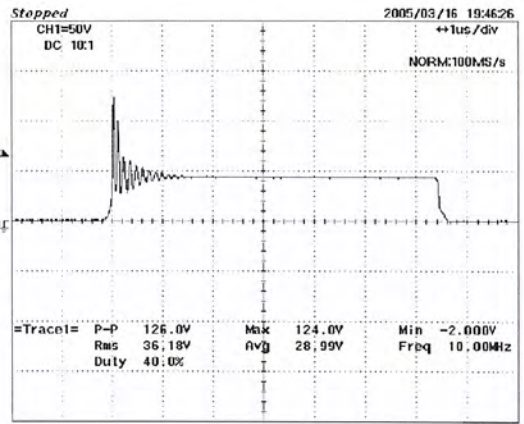
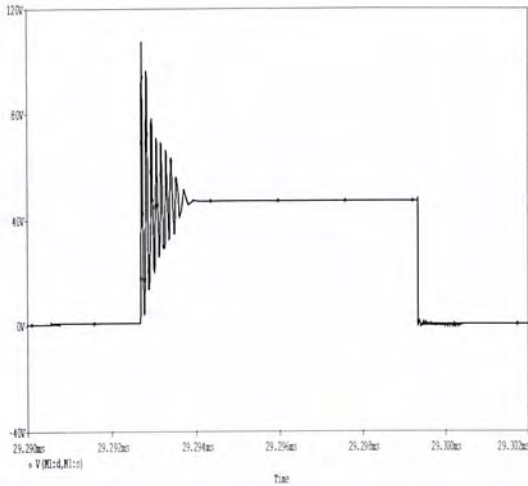
รูปที่ 5.2.6(ข) ผลการจำลอง กระแส I_{DS} กรณีความถี่ รูปที่ 5.2.6(ค) ผลการทดลอง กระแส I_{DS} ที่ความถี่
ของการสวิตซ์ 75kHz ของ การสวิตซ์ 150kHz

5.2.7 โหลดความต้านทาน และโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีโหลดความต้านทาน ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.7(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.7(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้

มีลักษณะที่คล้ายกัน

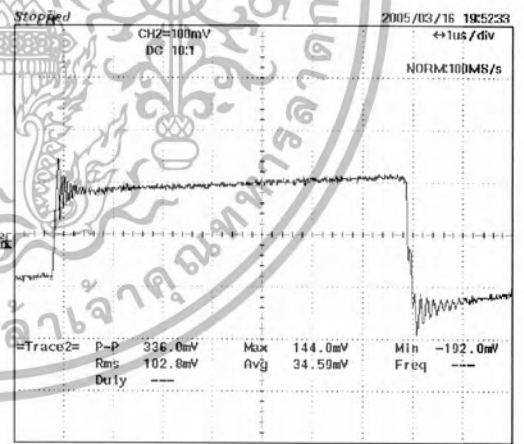
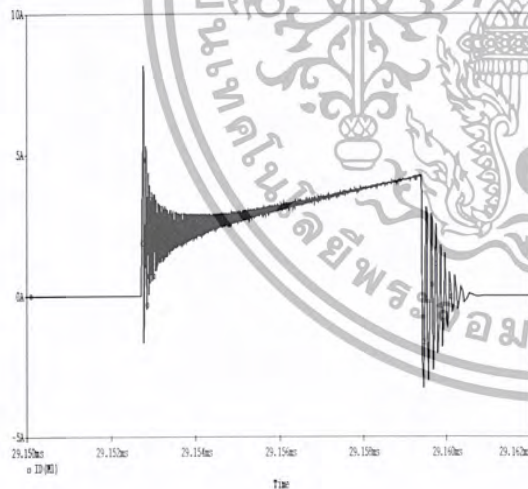
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2.7(ก) ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณี โหลด ความต้านทาน

รูปที่ 5.2.7(ข) ผลการทดลอง แรงดัน V_{DS} กรณี โหลดความต้านทาน

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีโหลดความต้านทาน ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.7(ก) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.7(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของกระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

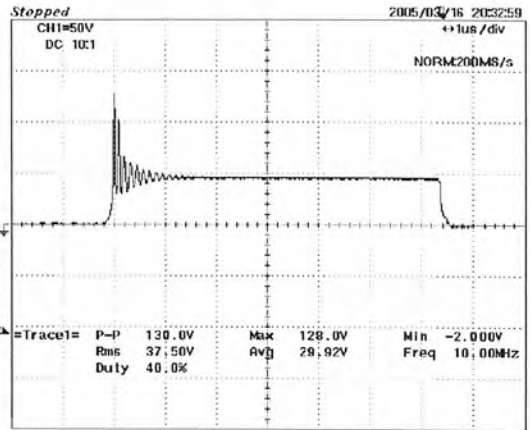
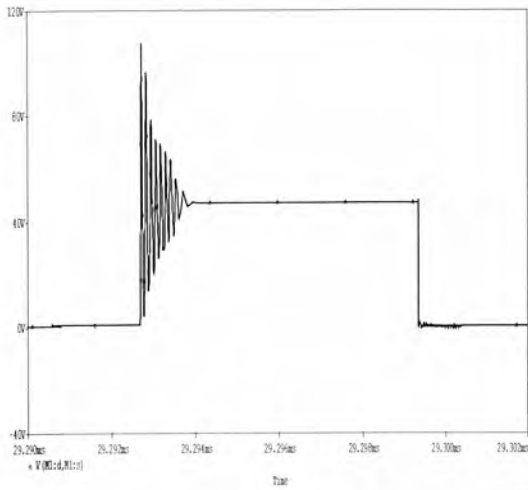


รูปที่ 5.2.7(ค) ผลการจำลองกระแส I_{DS} กรณี โหลดความต้านทาน

รูปที่ 5.2.7(ง) ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณี โหลดความต้านทาน

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีโหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.7(ค) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.7(ง) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของแรงดัน V_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

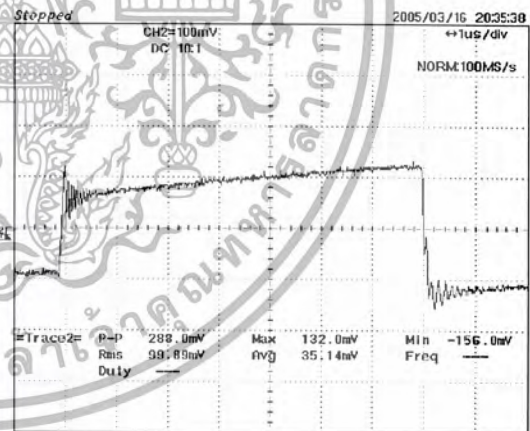
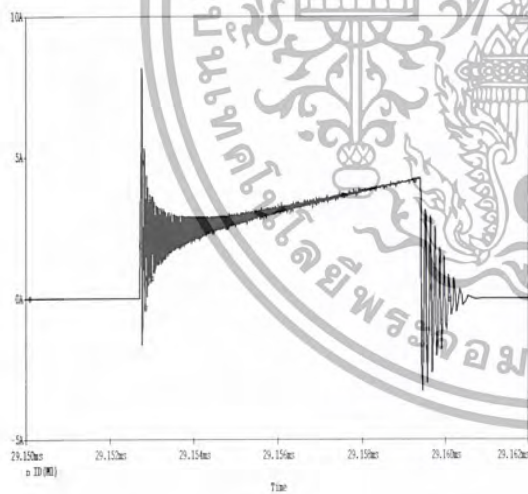
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2.7(จ) ผลการจำลอง แรงดัน V_{DS} กรณีโหนด ความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 5.2.7(ข) ผลการทดลอง แรงดัน V_{DS} กรณีโหนด ความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีโหนดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ ผลที่ได้เป็น ดังรูปที่ 5.2.7(จ) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.7(ข) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของ กระแส I_{DS} ที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน

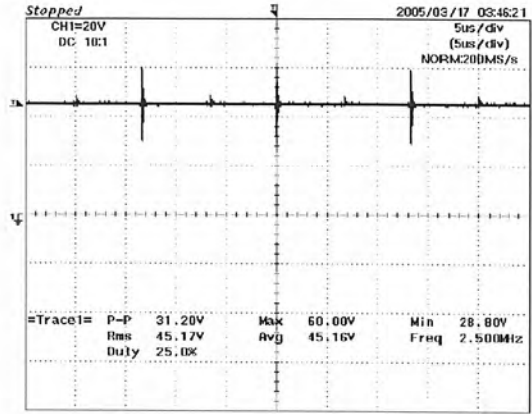
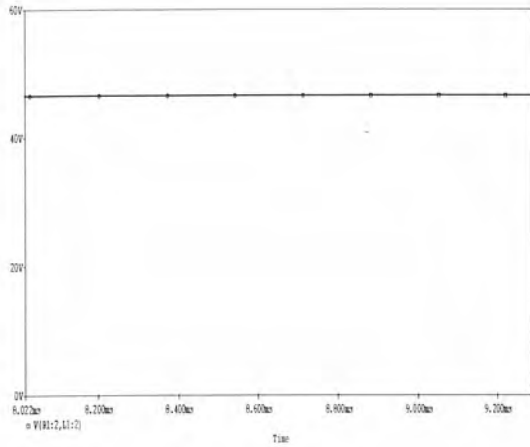


รูปที่ 5.2.7(ง) ผลการจำลองกระแส I_{DS} กรณีโหนด ความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 5.2.7(ฉ) ผลการทดลองกระแส I_{DS} กรณีโหนด ความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

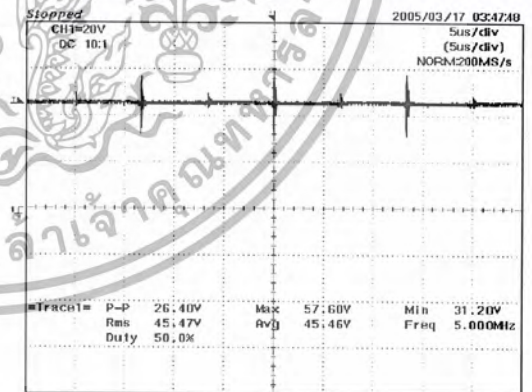
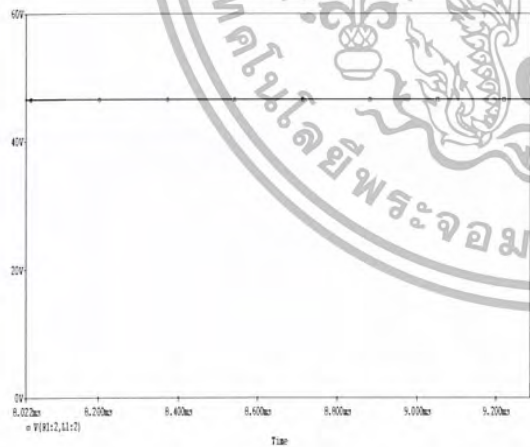
การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีรูปคลื่นแรงดันด้านขาออกกรณีโหนดความ ต้านทาน ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.7(ง) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.7(ฉ) ซึ่งเป็นผลจากการ ทดลอง จะเห็นว่าผลของรูปคลื่นแรงดันด้านขาออก ที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย ผลจากการจำลอง

รูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจะเรียบกว่าผลการทดลอง



รูปที่ 5.2.7(ฉ) ผลการจำลอง รูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออก กรณี โหลดความต้านทาน รูปที่ 5.2.7(ง) ผลการทดลอง รูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออกกรณี โหลดความต้านทาน

การเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานของวงจรนิวส์คอนเวอร์เตอร์ด้วย โปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 กับผลของการทดลองจริงในกรณีรูปคลื่นแรงดันด้านขาออกกรณี โหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.7(ฉ) ซึ่งเป็นผลจากการจำลอง และรูปที่ 5.2.7(ง) ซึ่งเป็นผลจากการทดลอง จะเห็นว่าผลของรูปคลื่นแรงดันด้านขาออก ที่ได้มีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย ผลจากการจำลองรูปคลื่นแรงดันด้านขาออกจะเรียบกว่าผลการทดลอง



รูปที่ 5.2.7(ฉ) ผลการจำลอง รูปคลื่นแรงดัน ด้านขาออก กรณี โหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ รูปที่ 5.2.7(ง) ผลการทดลอง รูปคลื่น ด้านขาออกกรณี โหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ

จากการทำการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice เวอร์ชัน 9.1 และทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริง โดยผลของการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลองมีค่าที่ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกันดังในการออกแบบวงจรใดๆ สามารถที่จะใช้การจำลองวงจรโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะทำการออกแบบจริงต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ขั้นตอนการศึกษา

6.1 โครงสร้างโดยรวมของชุดศึกษาการรบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

โครงสร้างของชุดศึกษาการรบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรวมมีลักษณะดังรูปที่ 6.1 ซึ่งประกอบไปด้วย

แหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 Vac

ชุด Power Analyzer และ EMI Receiver

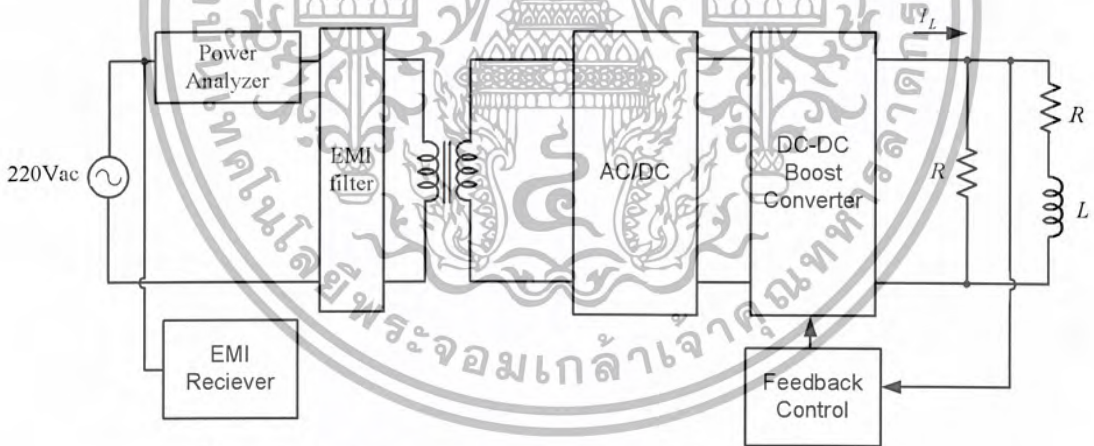
ชุด EMI filter

หม้อแปลงไฟฟ้า 220 Vac/21 Vac

ชุด AC/DC

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์มีสัญญาณป้อนกลับ

โหลดความต้านทานและ โหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ



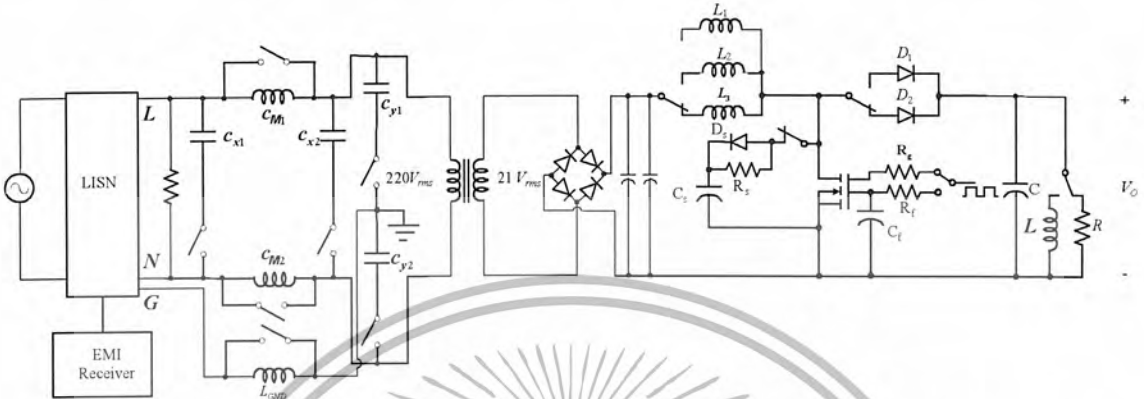
รูปที่ 6.1 โครงสร้างโดยรวมของชุดศึกษาการรบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

6.2 โครงสร้างส่วนประกอบภายในของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

โครงสร้างส่วนประกอบภายในของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 6.2 ส่วนที่สำคัญคือชุด EMI filter ส่วนของตัวเหนี่ยวนำสามตัวคือ L1 69.2 μH มีค่าความถี่ SRF ที่ 7.6 MHz L2 70.4 μH จะมีค่าความถี่ SRF ที่ 14.8 MHz ซึ่งมีค่า SRF ที่แตกต่างกัน และ L3 ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำที่ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ส่วนไดโอด D1 เบอร์ MUR 1510 มีค่า

เอกสารนี้เขียนขึ้นจากความคิดเห็นส่วนตัวของผู้ใช้และไม่รับผิดชอบต่อเนื้อหาและข้อมูลใดๆ ที่ปรากฏในเอกสารนี้ หากมีข้อผิดพลาดใดๆ โปรดแจ้งให้เราทราบทันที

ช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดที่ 60 ns ส่วนของสแน็บเบอร์จะเป็นชนิด RCD ซึ่งมีค่าความต้านทาน 30 Ω ตัวเก็บประจุเซรามิก 100 nF และไดโอดเบอร์ MUR 1510 ส่วนชุด RC Gate ใช้ความต้านทานเซรามิก 10 Ω ตัวเก็บประจุ 100 nF ส่วนของโหลดมีค่าความต้านทาน 30 Ω 30 W และตัวเหนี่ยวนำมีค่า 1 mH



รูปที่ 6.2 โครงสร้างส่วนประกอบภายในของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

6.3 ส่วนประกอบหลักของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

ส่วนประกอบหลักของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย

- หม้อแปลงไฟฟ้า 220/21 Vac
- วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter)
- วงจร AC/DC Converter (Bridge rectifier)
- วงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost converter)
- วงจรควบคุม (Gate drive circuit)
- วงจรควบคุมการป้อนกลับ (Feedback control)
- โหลดความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

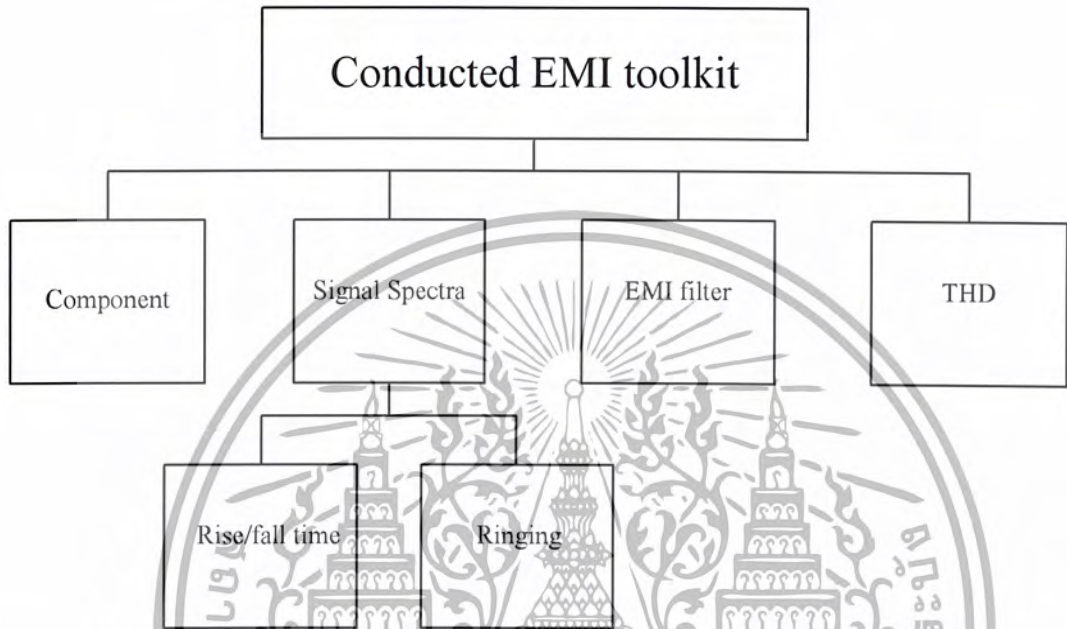
6.4 ส่วนประกอบร่วมในการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

- โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (LISN)
- เครื่องวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI receiver) ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
- ในการวัดจะอ้างอิงมาตรฐาน CISPR 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 รายละเอียดในการศึกษา

รายละเอียดในการศึกษาชุดศึกษาการรบกวนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ามีการแยกเป็นหัวข้อต่างๆดังรูปที่6.5 และได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่6.1



รูปที่ 6.5 แสดงโครงสร้างต่างๆที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

หัวข้อศึกษา	ส่วนย่อยศึกษา	ศึกษาผล
Component	Active device	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอด (Diode reverse – recovery time)แตกต่างกัน
	Passive device	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด (Self resonant frequency : SRF) ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal spectra	Rise / fall time	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาขาขึ้นและขาลงของพัลส์ของ Gate drive โดยการต่อและไม่ต่อ RC Gate
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ของ Gate drive
	Ringing	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringing เมื่อมีการเปลี่ยนโหลดจาก R เป็น โหลด R-L
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringing เมื่อมีการสวิตช์ที่มอสเฟต โดยการต่อ และไม่ต่อวงจร snubber ที่มอสเฟต
EMI filter	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก สัญญาณรบกวนโหมดผลร่วม (CM) และสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง(DM)	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1}
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{X2}
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{Y1}
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{Y2}
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ CM1
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ CM1 และ CM2 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} และ CM1 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X2} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} และ CM1 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} , CM1 และ ร่วมกัน CM2
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} และ CM1 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} , C_{Y2} และ CM1 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} , C_{Y2} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} และ C_{Y1} ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{Y1} และ C_{Y2} ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} และ C_{Y1} ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} , C_{Y1} และ C_{Y2} ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} , C_{Y1} , C_{Y2} , $CM1$ และ $CM2$ ร่วมกัน
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ L_{GND}
THD	อ้างอิงมาตรฐาน IEC-1000-3-2	ศึกษาผล เมื่อตัวเหนี่ยวนำของวงจร Boost converter อยู่ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DCM mode) และสังเกตค่า THD และ EMI ที่มาตามสายตัวนำ
FERRI SHIELD	Ferrite bead	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ Ferrite bead

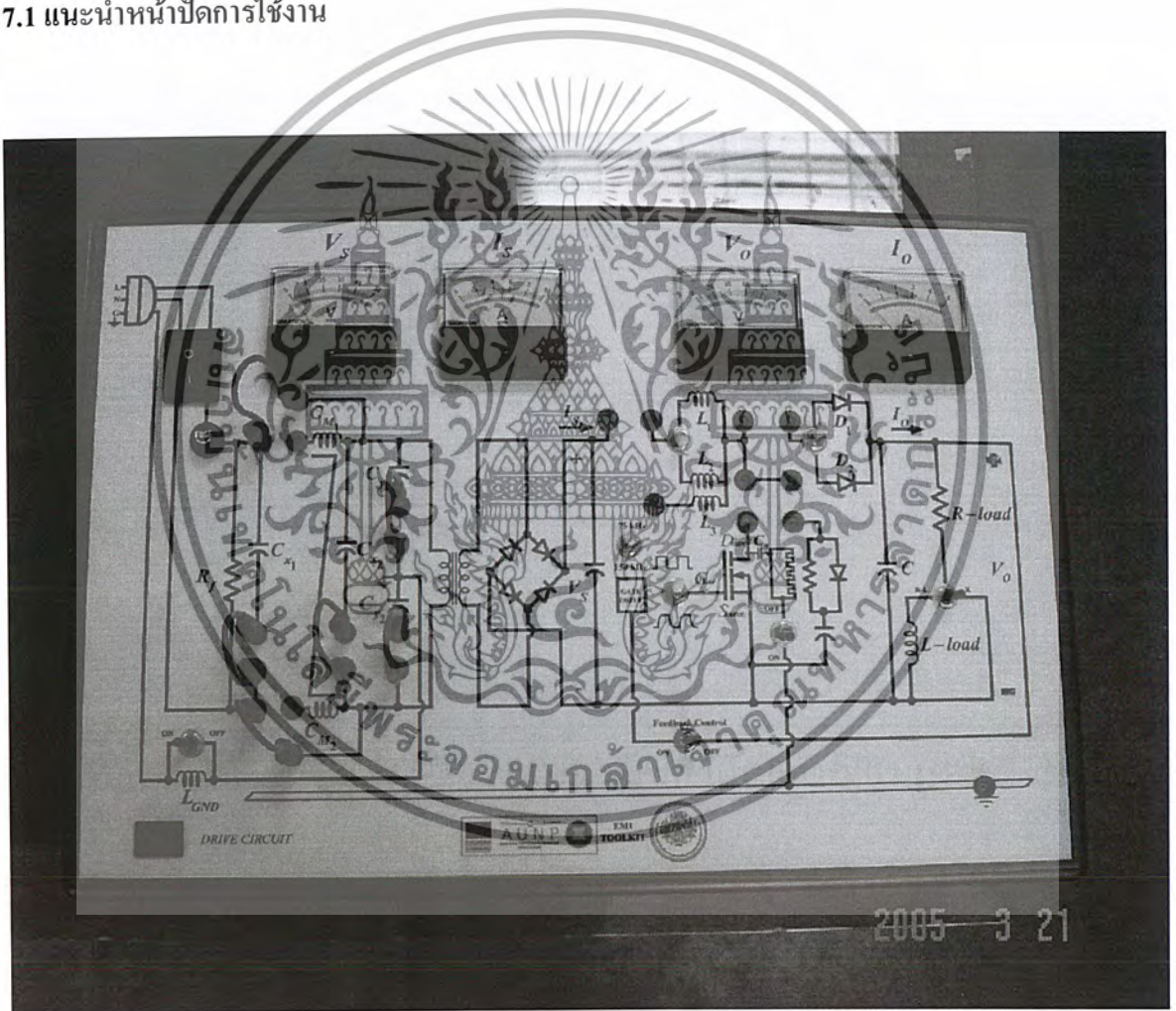
ตารางที่ 6.1 แสดงรายละเอียดของการทดสอบ

บทที่ 7

คู่มือการใช้งานชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

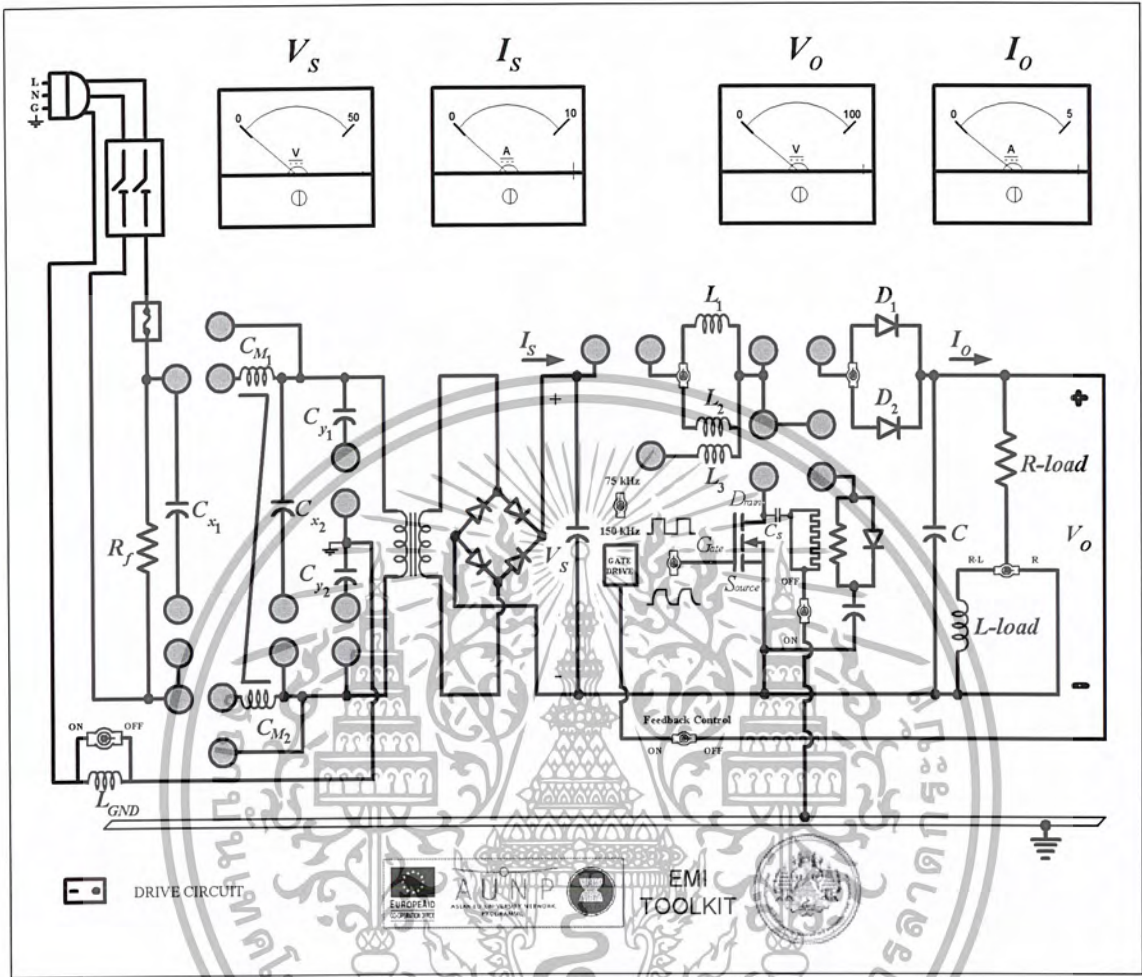
คู่มือการใช้งานชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า จะอธิบายถึงโครงสร้าง ส่วนประกอบ และแนะนำการนำไปใช้งาน เพื่อที่จะให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นและนำชุดศึกษานี้ไปทดลอง เพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับการรบกวนของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาตามสายตัวนำได้อย่างเข้าใจ

7.1 แนะนำหน้าปัดการใช้งาน



รูปที่ 7.1 แสดงหน้าปัดการใช้งานจริงของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

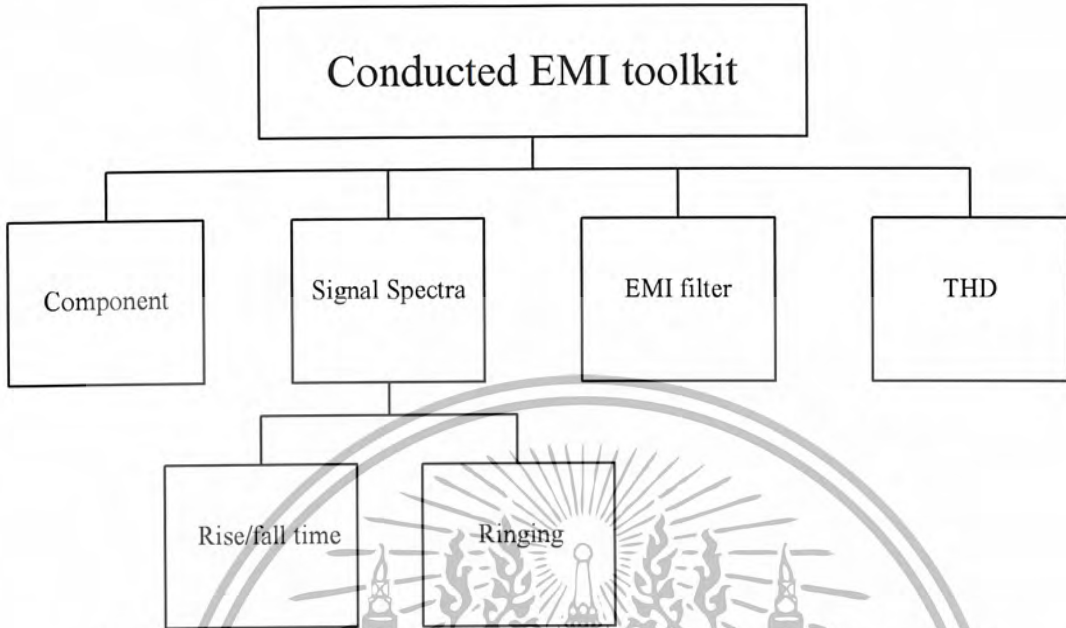
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แสดงหน้าปัดการใช้งานของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจำลองจากของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 รายละเอียดที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 7.3 แสดงโครงสร้างต่างๆที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

หัวข้อศึกษา	ส่วนย่อยศึกษา	ศึกษาผล	หัวข้อการทดลอง
Component	Active device	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อช่วงเวลาในตัวย้อนกลับของไดโอด (Diode reverse – recovery time) แตกต่างกัน	7.4.1.1.1
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำเมื่อต่อ Heatsink ลงกราวด์	7.4.1.1.2
	Passive device	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด (Self resonant frequency : SRF) ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน	7.4.1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal spectra	Rise / fall time	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาขาขึ้นและขาลงของพัลส์ของ Gate drive โดยการต่อและไม่ต่อ RC filter	7.4.2.1.1
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อเพิ่มความถี่ในการสวิตช์จิ่งของ Gate drive	7.4.2.1.2
	Ringng	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringng เมื่อมีการเปลี่ยนโหลดจาก R เป็น โหลด R-L	7.4.2.2.1
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringng เมื่อมีการสวิตช์จิ่งที่มอสเฟต โดยการต่อและไม่ต่อวงจรสแน็บเบอร์ที่มอสเฟต	7.4.2.2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EMI filter	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจากสัญญาณรบกวนโหมคผลร่วม และสัญญาณรบกวนโหมคผลต่าง	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{X1}	7.4.3.1
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{X2}	7.4.3.2
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{Y1}	7.4.3.3
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{Y2}	7.4.3.4
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ CM1	7.4.3.5
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ CM1 และ CM2 ร่วมกัน	7.4.3.6
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} และ CM1 ร่วมกัน	7.4.3.7
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน	7.4.3.8
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X2} และ CM1 ร่วมกัน	7.4.3.9
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{X2} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน	7.4.3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

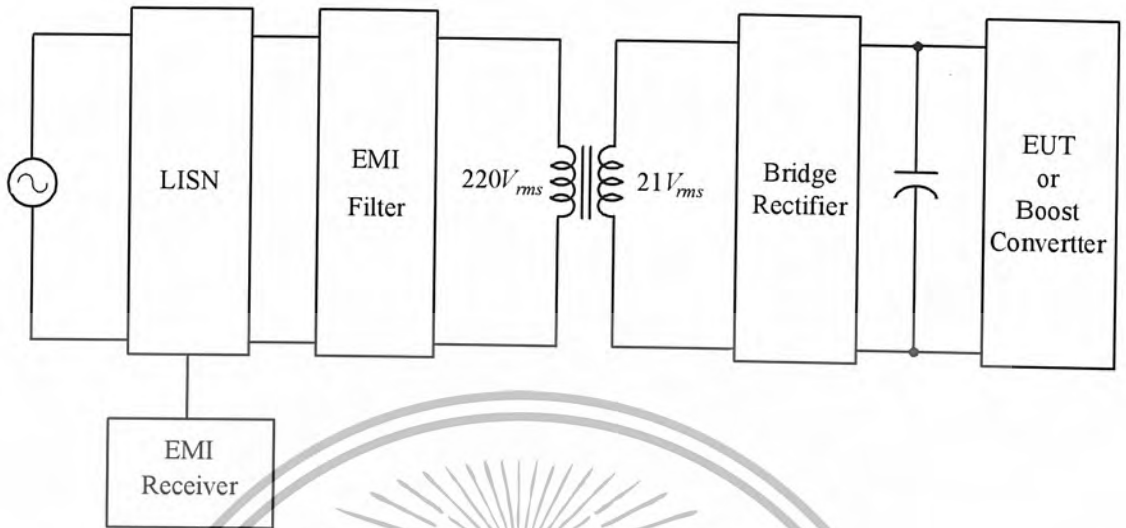
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} และ CM1 ร่วมกัน	7.4.3.11
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} , CM1 และ ร่วมกัน CM2	7.4.3.12
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} และ CM1 ร่วมกัน	7.4.3.13
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} , CM1 และ ร่วมกัน CM2	7.4.3.14
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} , C_{Y2} และ CM1 ร่วมกัน	7.4.3.15
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{Y1} , C_{Y2} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน	7.4.3.16
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} และ C_{Y1} ร่วมกัน	7.4.3.17
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{Y1} และ C_{Y2} ร่วมกัน	7.4.3.18
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} และ C_{Y1} ร่วมกัน	7.4.3.19
	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} , C_{Y1} และ C_{Y2} ร่วมกัน	7.4.3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ C_{X1} , C_{X2} , C_{Y1} , C_{Y2} , CM1 และ CM2 ร่วมกัน	7.4.3.21
		ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ L_{GND}	7.4.3.22
THD	อ้างอิงมาตรฐาน IEC-1000-3-2	ศึกษาผล เมื่อตัวเหนี่ยวนำของ วงจร Boost converter อยู่ใน โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DCM mode) และสังเกตค่า THD และ EMI ที่มาตาม สายตัวนำ	7.4.4
FERRI SHIELD	Ferrite bead	ศึกษาผลของ EMI ที่มาตาม สายตัวนำโดยใช้ Ferritebead	7.4.5

ตารางที่ 7.1 แสดงส่วนต่างๆที่สามารถศึกษาได้จากชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

7.3 ขั้นตอนการต่อใช้งานชุดศึกษาการบวกรวมของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 7.4 แสดงโครงสร้างการต่อวงจรการใช้งานของชุดศึกษาการบวกรวมของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

7.3.1 ลำดับขั้นตอนการตั้งค่าเพื่อใช้งานของวงจร Boost Converter

ขั้นตอนแรกต้องต่อวงจร โดยเสียบสายใช้งานเหมือนหน้าปัดในรูปที่ 7.6 ก่อนจากนั้นเราต้องทำการตั้งค่าต่างๆของวงจร Boost Converter ซึ่งเป็นวงจรหลักที่จะใช้ศึกษาเกี่ยวกับการบวกรวมของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าดังนี้

ข้อมูลสำหรับการตั้งค่าเพื่อใช้งานของวงจร Boost converter

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาเข้า = $24 V_{dc}$

กระแสไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาเข้า = $3.5 A$

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออก = $46 V_{dc}$

กระแสไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออก = $1.5 A$

Duty cycle = 50%

Switching frequency = $75 kHz_z$

V_s	I_s	V_o	I_o	Duty Cycle	Switching Frequency
$24 V_{dc}$	$3.5 A$	$46 V_{dc}$	$1.5 A$	50%	$75 kHz_z$

ตารางที่ 7.2 แสดงข้อมูลการตั้งค่าเพื่อใช้งานของวงจร Boost converter

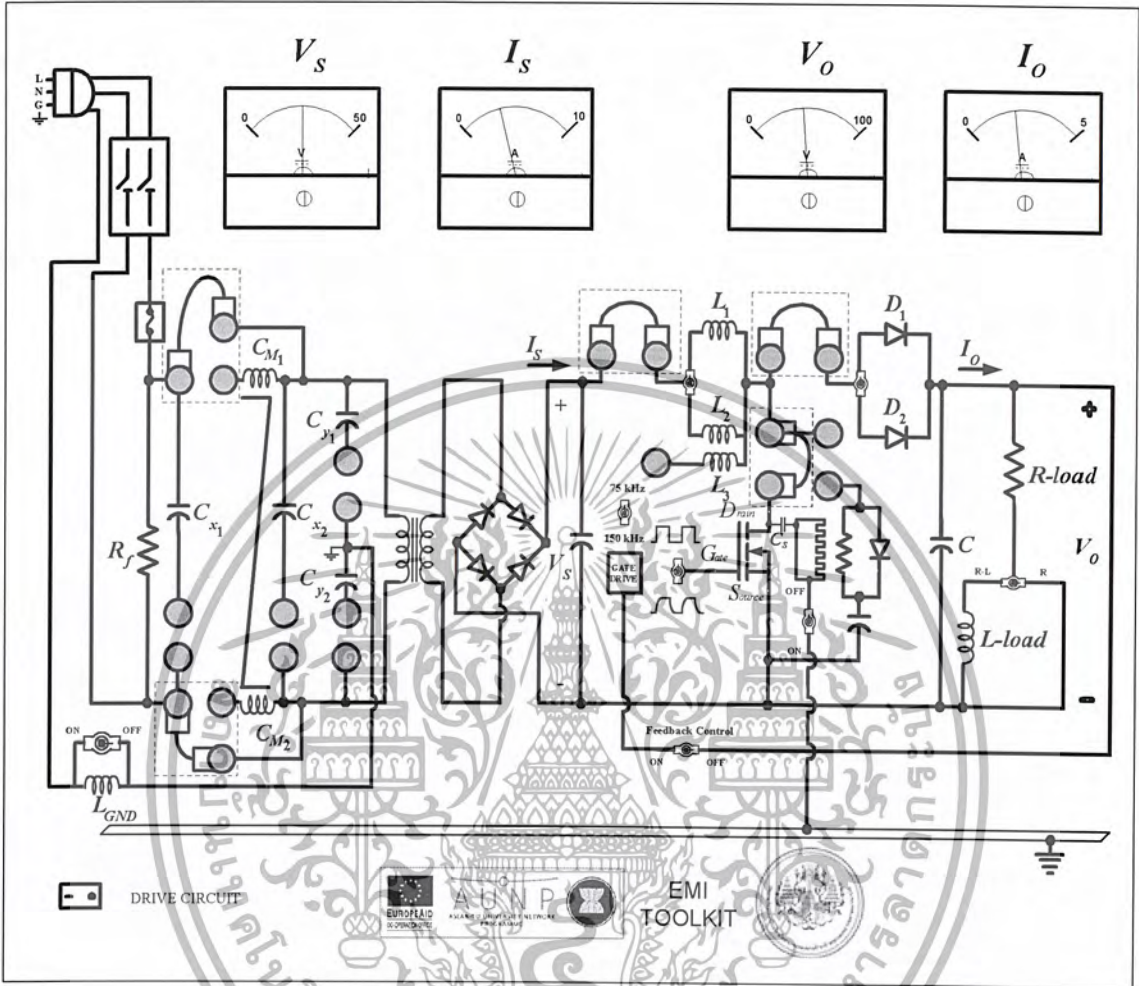
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทำการตั้งค่าสำหรับใช้งานวงจร Boost Converter ได้ง่ายขึ้นซึ่งเป็นวงจรหลักที่ใช้ในการศึกษาเพื่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามมา สายตัวนำจึงได้ทำบล็อกโคอะแกรมไว้ให้เพื่อจะปฏิบัติได้ตามลำดับขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 7.5 แสดงลำดับขั้นตอนการตั้งค่าของวงจร Boost Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 แสดงหน้าปัดการต่อใช้งานเพื่อตั้งค่าต่างๆก่อนทดสอบของชุดศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

หมายเหตุ ในรูปสี่เหลี่ยมเส้นประหมายถึงการเสียบสายต่อใช้งานในส่วนต่างๆของวงจร Boost Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 ขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

จากวงจร Boost Converter ที่ตั้งค่าไว้และทำงานอยู่ไปทดสอบเกี่ยวกับหัวข้อต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการรบกวนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าดังหัวข้อต่อไปนี้

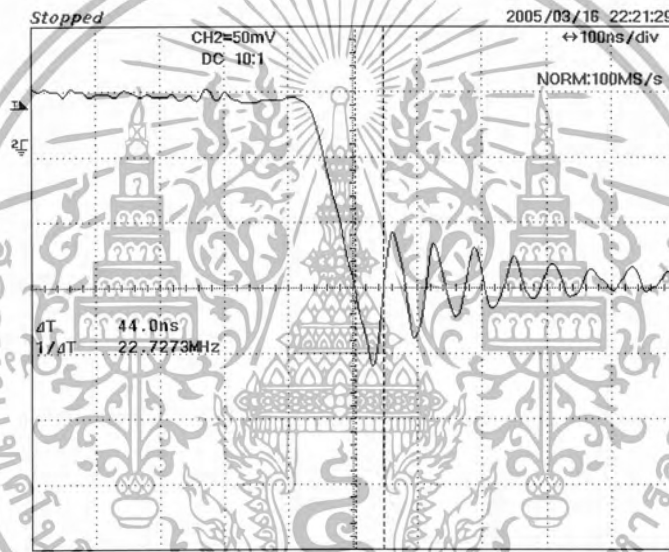
7.4.1 Component มี 2 ส่วนคือ

7.4.1.1 Active device

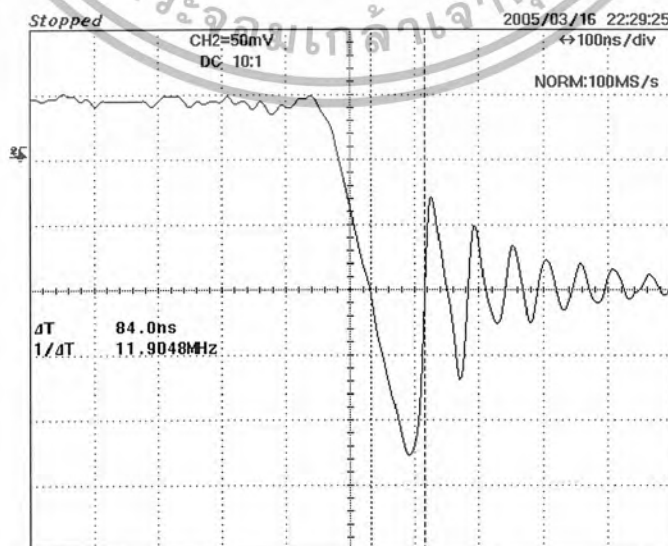
7.4.1.1.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอด (Diode reverse-recovery time) แตกต่างกัน

โดยใช้ไดโอด 2 ตัวที่ช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับแตกต่างกันคือ

1. ไดโอด D1 (MUR1510) ช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ 35 ns
2. ไดโอด D2 (MUR1560) ช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ 60 ns



รูปที่ 7.7 แสดงช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดเบอร์ MUR 1510



รูปที่ 7.8 แสดงช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดเบอร์ MUR 1560

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

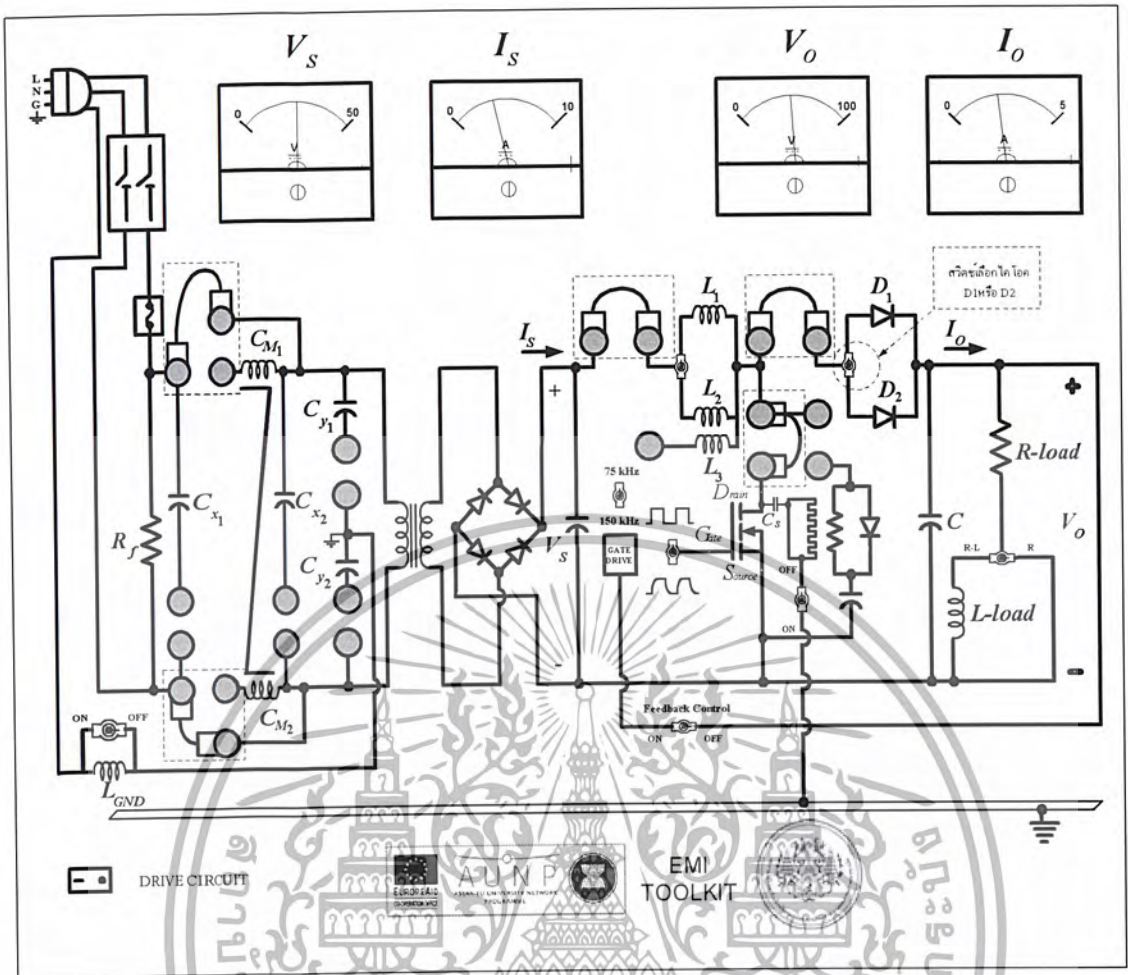


รูปที่ 7.9 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองเมื่อช่วงเวลาในตัวย้อนกลับของไดโอดแตกต่างกัน

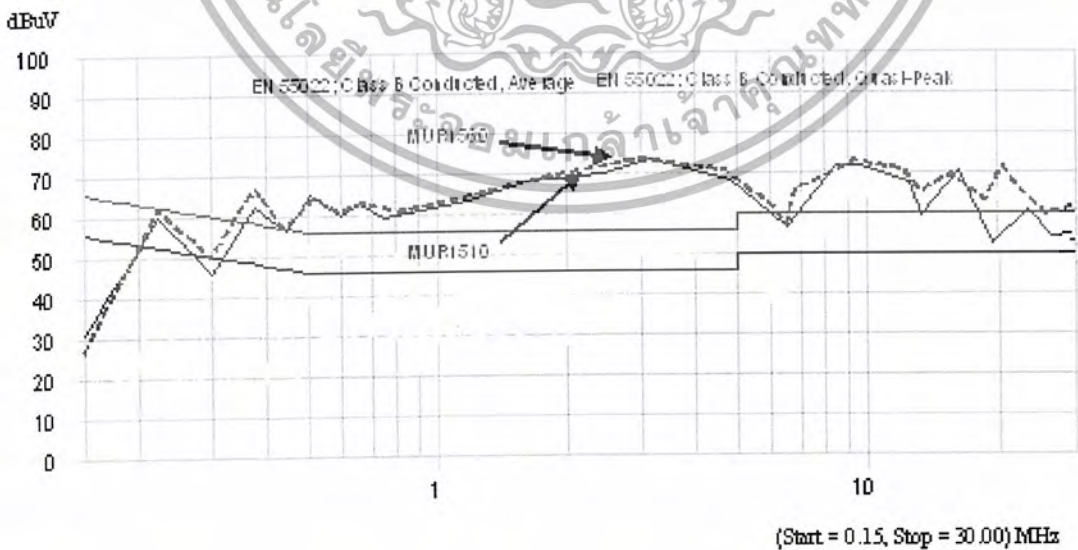
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.10และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราสวิตช์เลือกไปที่ไดโอดD1(MUR 1510) แล้วทำการ On switchใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuitดังรูปที่ 7.10 สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. Off switch ใช้งานวงจร Boost Converterและ Drive Circuit เปลี่ยนไดโอดจากD1(MUR 1510) เป็นไดโอดD2(MUR 1560) โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการใช้งานดังรูปที่ 7.10 แล้ว On switch ใช้งานวงจร Boost Converterและ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiverซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตซ์เลือกไดโอด D1 หรือ D2



รูปที่ 7.11 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อช่วงเวลาที่พื้นตัวย้อนกลับของไดโอดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอด (Diode reverse – recovery time)แตกต่างกัน ไดโอด D1(MUR1510)ที่มีช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ35ns จะมีส่งผลของสัญญาณรบกวน EMI น้อยกว่าไดโอด D2(MUR1560)ที่มีช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ60nsในย่านความถี่ประมาณ 10-30MHz แต่จะส่งผลมากกว่าในช่วงประมาณ 0.1-0.3MHz ซึ่งเกิดจากช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักจึงไม่ค่อยเห็นผลเด่นชัดเท่าที่ควร

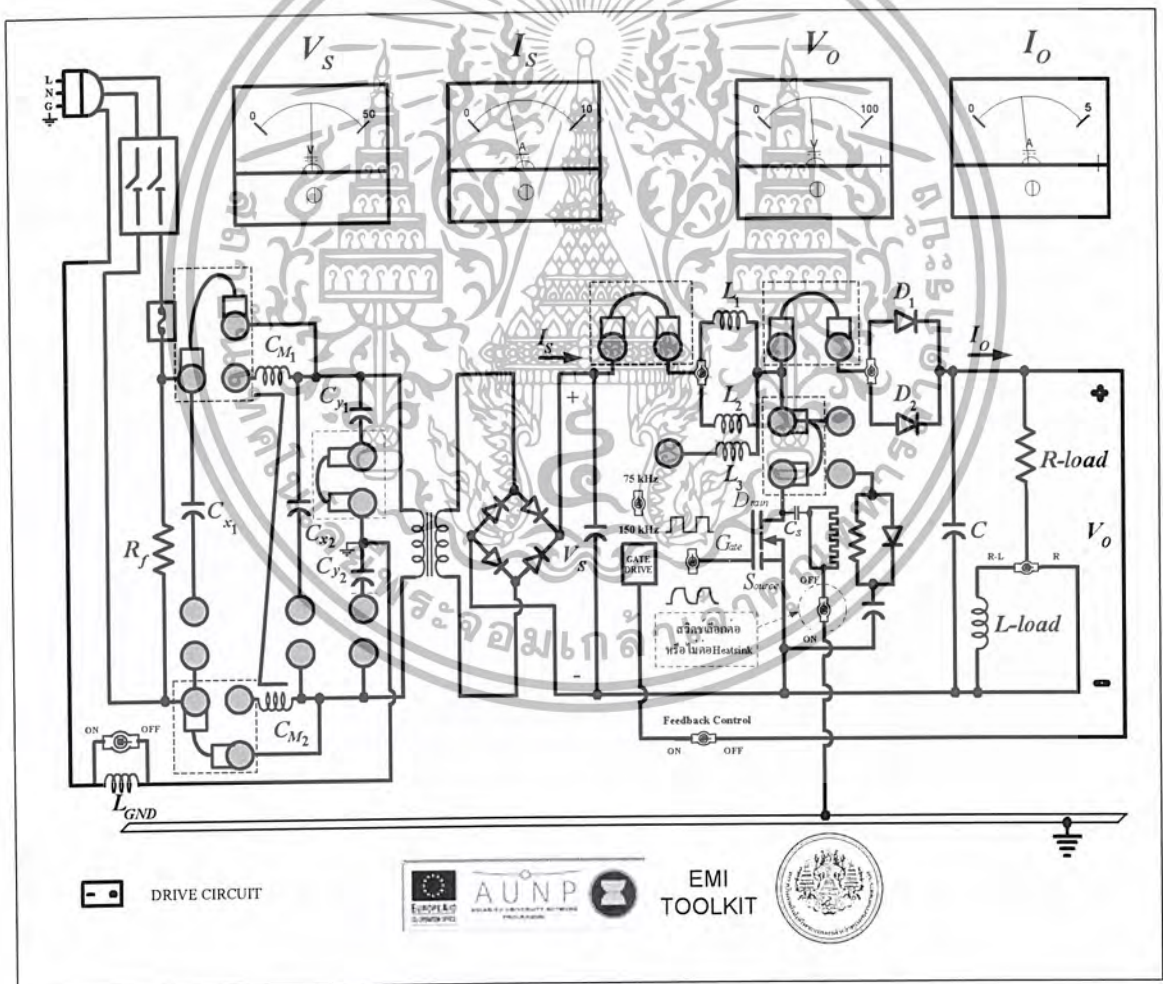
7.4.1.1.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยต่อหรือไม่ต่อ Heatsink ลงกราวด์



รูปที่ 7.12 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน Heatsink

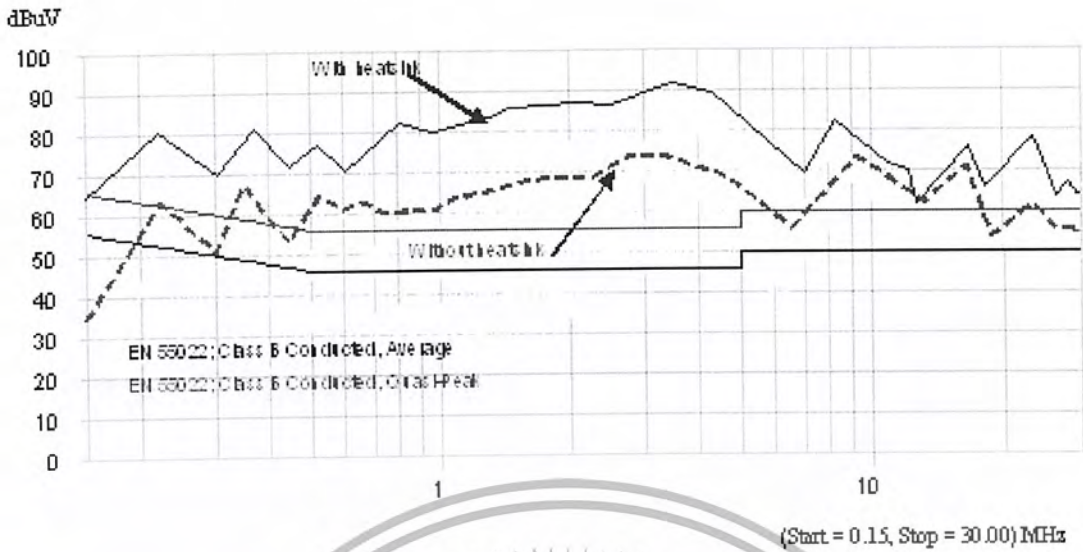
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.13 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ Heatsink โดยไม่ต้องสวิตซ์ใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.13 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ Heatsink เข้ากับวงจรการทดลองโดยสวิตซ์ใช้งาน ดังรูปที่ 7.13 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.13 แสดงหน้าปัดการใช้งาน Heatsink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.14 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ Heatsink

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

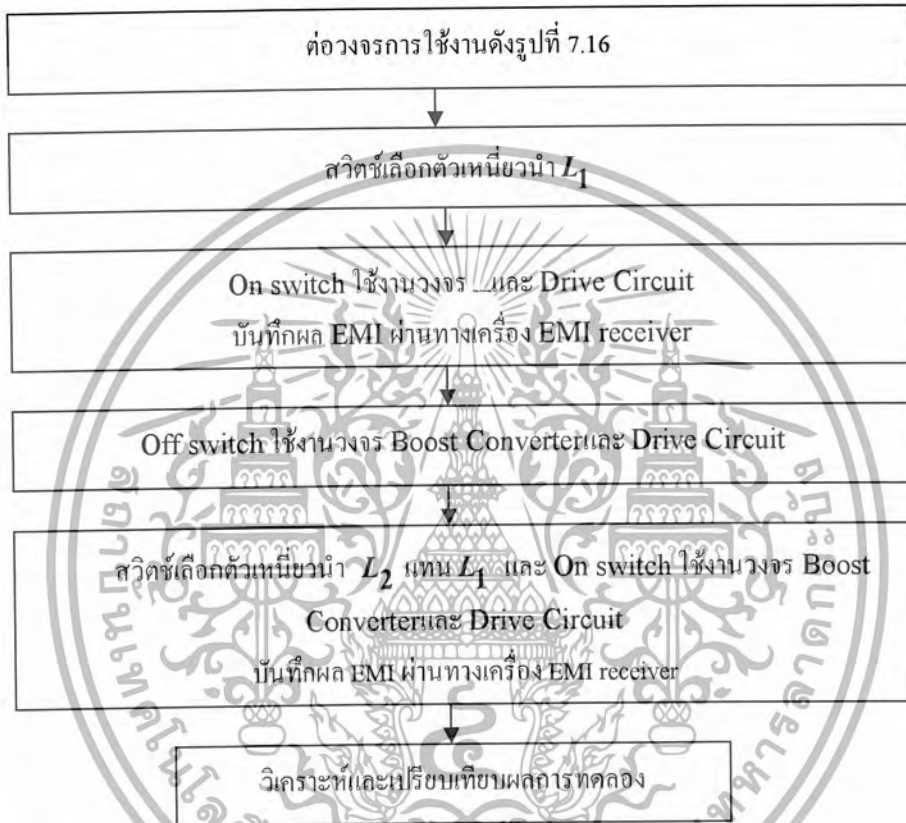
จากการทดลองเมื่อไม่ต่อ Heatsink กับระบบกราวด์เปรียบเสมือนทำให้ค่าระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่ามาก ส่งผลให้ตัวเก็บประจุแผ่นมีค่าลดลงซึ่งเป็นการตัดเส้นทางเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้สัญญาณรบกวน EMI ลดลง แต่เมื่อต่อ Heatsink เข้ากับระบบกราวด์จะทำให้เกิดความปลอดภัยและความแข็งแรงของโครงสร้างในทางปฏิบัติจะส่งผลให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ EMI ที่เพิ่มขึ้นในเกือบทุกย่านความถี่ตั้งแต่ 0.15-30MHz เนื่องจากมีกระแส common mode ไหลลงกราวด์

7.4.1.2 Passive device ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด (Self resonant frequency :SRF) ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน

โดยใช้ตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ค่าเดียวกันแต่ย่านความถี่ใช้งานสูงสุดแตกต่างกันคือ

1. ตัวเหนี่ยวนำ L_1 ความถี่ใช้งานสูงสุดที่ 7 MHz
2. ตัวเหนี่ยวนำ L_2 ความถี่ใช้งานสูงสุดที่ 14 MHz

ลำดับขั้นตอนการทดลอง



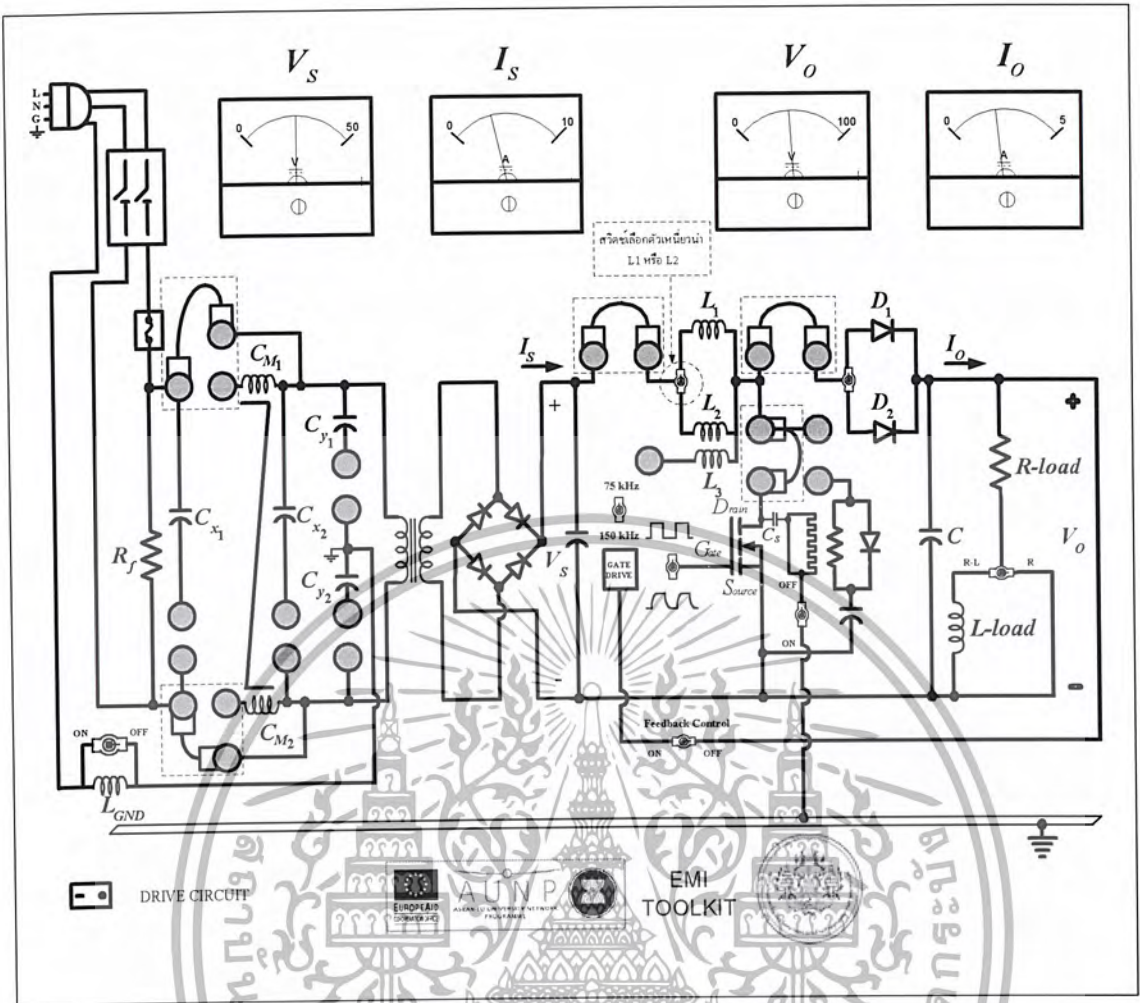
รูปที่ 7.15 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองเมื่อเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

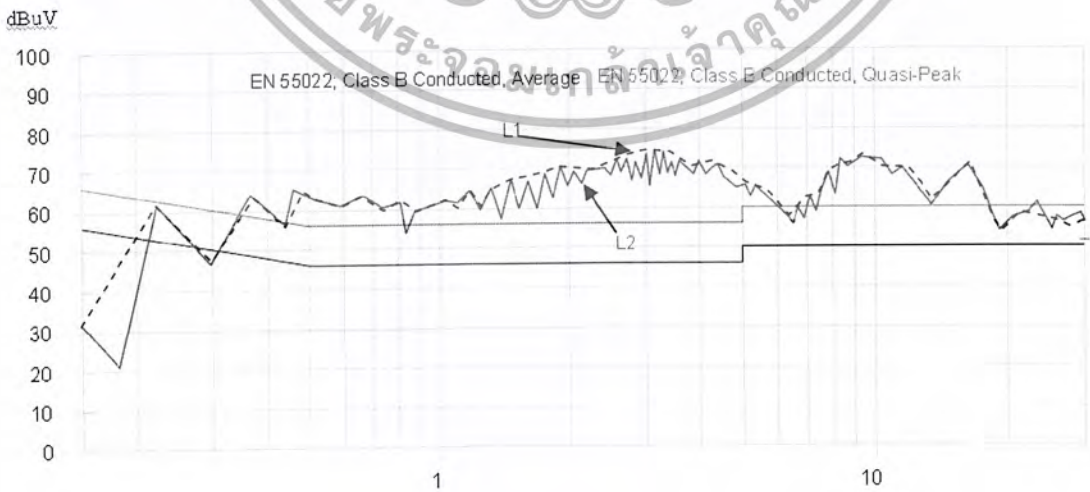
1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.16 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราสวิตช์เลือกไปที่ตัวเหนี่ยวนำ L_1 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ดังรูปที่ 7.16 สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit เปลี่ยนตัวเหนี่ยวนำ L_1 เป็นตัวเหนี่ยวนำ L_2 โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการ ใช้งานดังรูปที่ 7.16 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.16 แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์เลือกตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 7.17 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

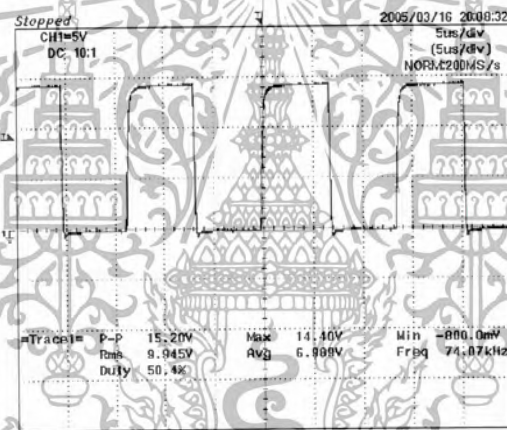
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด (Self resonant frequency :SRF) ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน จะเห็นว่าผลของสัญญาณรบกวนEMIที่ตัวความเหนี่ยวนำ ความถี่ 7 MHz (L_1) จะมีค่ามากกว่าตัวความเหนี่ยวนำ ความถี่ 14MHz (L_2) เพียงเล็กน้อยอันเนื่องมาจากตัวความเหนี่ยวนำ ความถี่ 7 MHz (L_1) พันขดลวดชิดมากกว่าทำให้ระยะห่างระหว่างขดลวดน้อยกว่าจึงทำให้เกิดค่าตัวเก็บประจุแฝงที่มีค่ามากกว่าส่งผลให้EMIมีค่ามากกว่าแต่ในการทดลองนี้ยังไม่เห็นความแตกต่างของสัญญาณรบกวนEMIมากนักเพราะตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ทดลองต้องมีค่าเท่ากันแต่ค่าความถี่ใช้งานสูงสุดยังไม่ห่างกันมากนัก

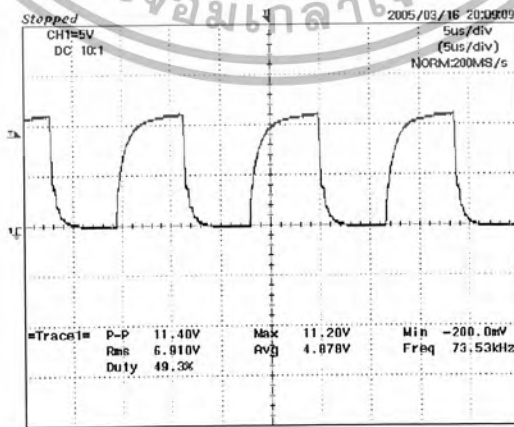
7.4.2 Signal spectra มี 2 ส่วนคือ

7.4.2.1 Rise / fall time

7.4.2.1.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาขาขึ้นและขาลงของพัลส์ของ Gate drive โดยการต่อหรือไม่ต่อ RC filter



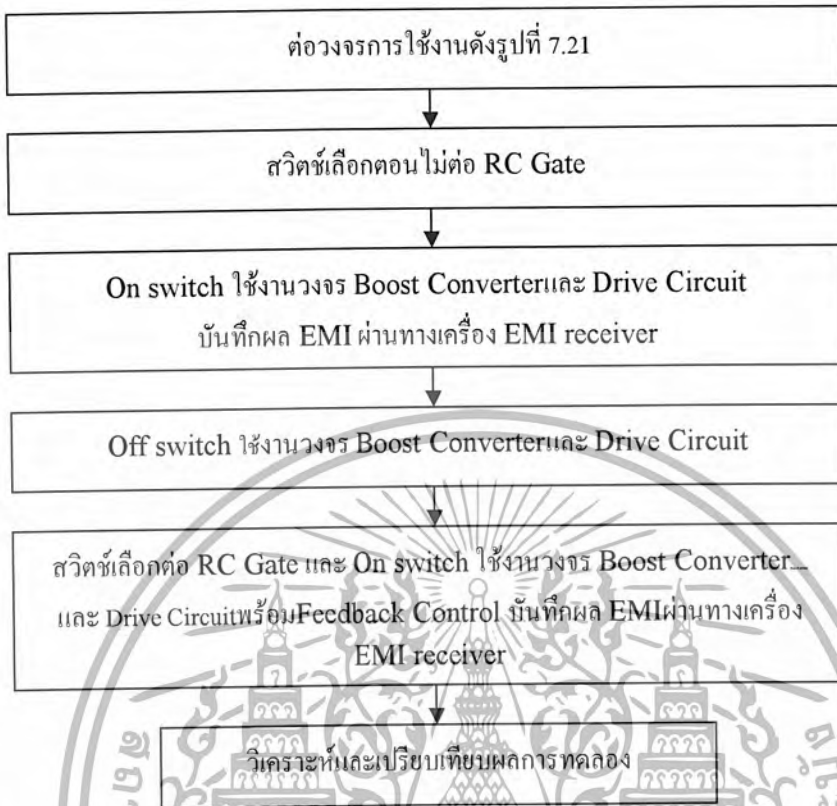
รูปที่ 7.18 แสดงรูปคลื่นพัลส์ก่อนการต่อ RC Gate



รูปที่ 7.19 แสดงรูปคลื่นพัลส์หลังการต่อ RC Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

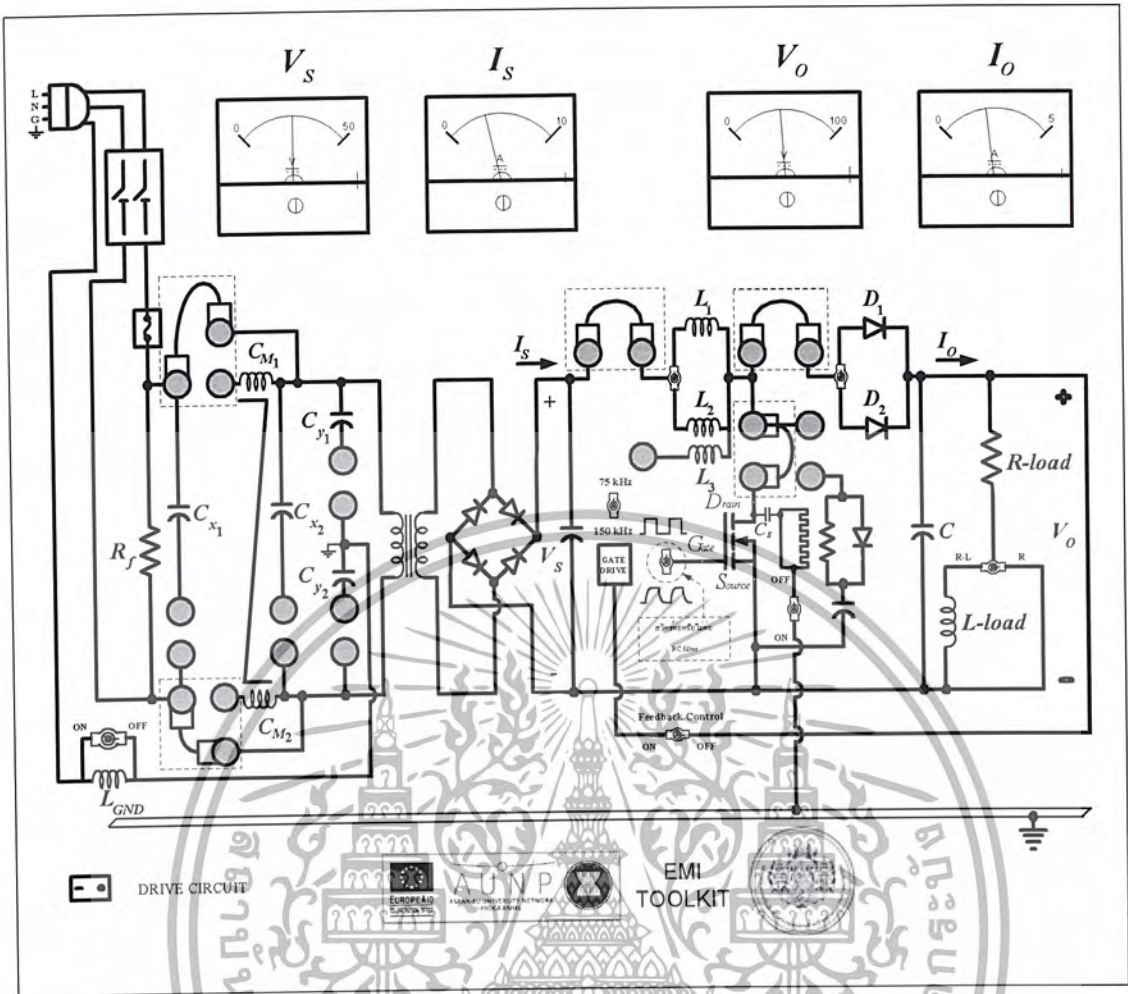


รูปที่ 7.20 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อหรือไม่ต่อ RC Gate

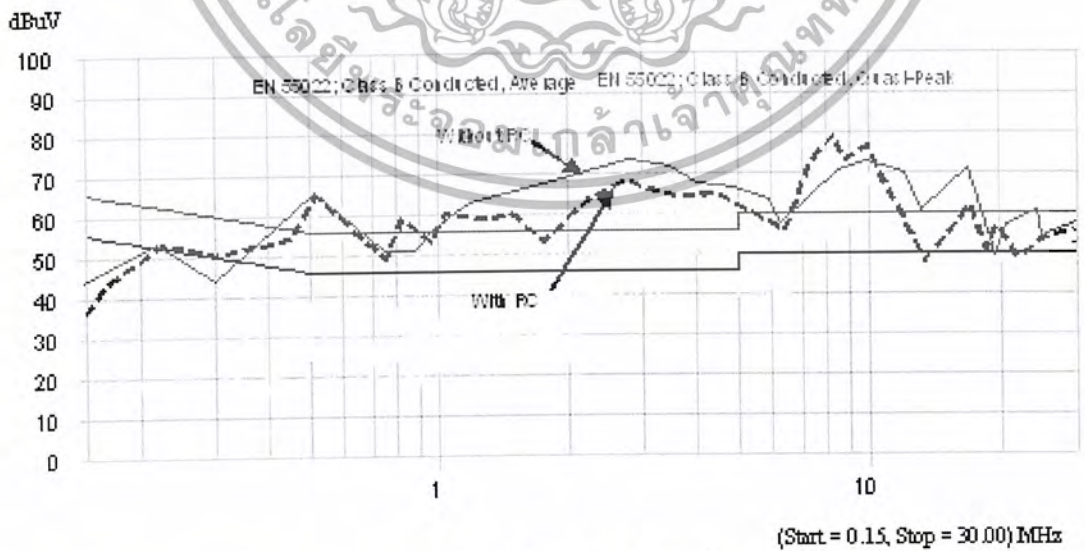
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.21 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ซึ่งตอนนี้เราสวิตช์เลือกไม่ต่อ RC Gate ดังรูปที่ 7.21 สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ RC Gate โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการใช้งานดังรูปที่ 7.21 ทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit พร้อมด้วย Feedback Control สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

หมายเหตุ เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนมาต่อ RC Gate จะทำให้แรงดันด้านขาออกลดลงดังนั้นต้องมีการ Feedback Control เพื่อให้แรงดันด้านขาออกมีค่าคงที่



รูปที่ 7.21 แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์เลือกต่อหรือไม่ต่อ RC Gate



รูปที่ 7.22 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงพัลส์เกตโดยต่อและไม่ต่อ RC Gate

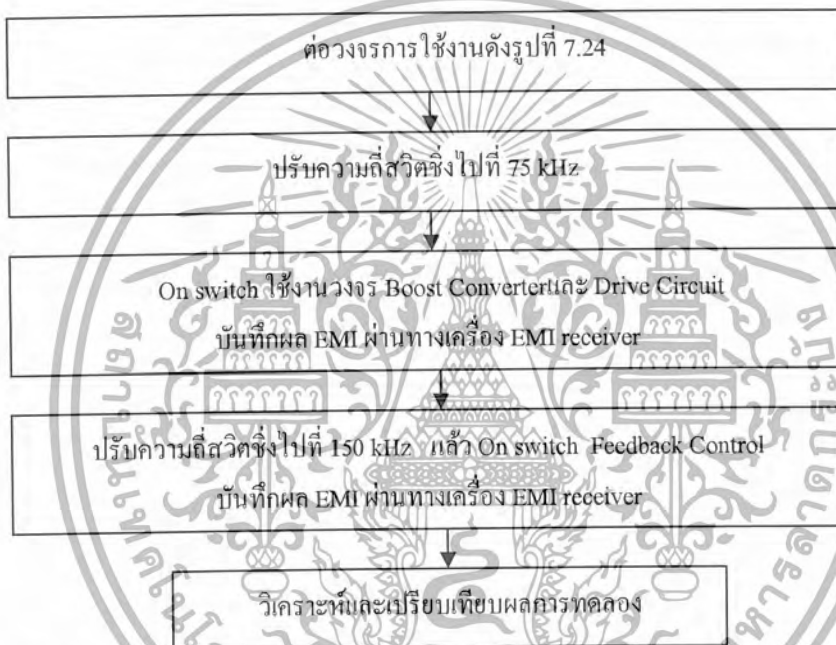
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาขาขึ้นและขาลงของพัลส์ของ Gate drive โดยการต่อหรือไม่ต่อ RC filter จะเห็นว่าเมื่อต่อ RC filter สัญญาณรบกวน EMI จะมีค่าน้อยกว่าตอนที่ไม่มีต่อ RC filter เนื่องจากการลดค่า dv/dt จกรูปคลื่นพัลส์ของ Gate drive

7.4.2.1.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อเพิ่มพิกัดในการสวิตช์ของ Gate drive โดยใช้ความถี่ในการสวิตช์ 2 ค่าคือ 75 kHz และ 150 kHz

ลำดับขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 7.23 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ในการสวิตช์ของ Gate drive

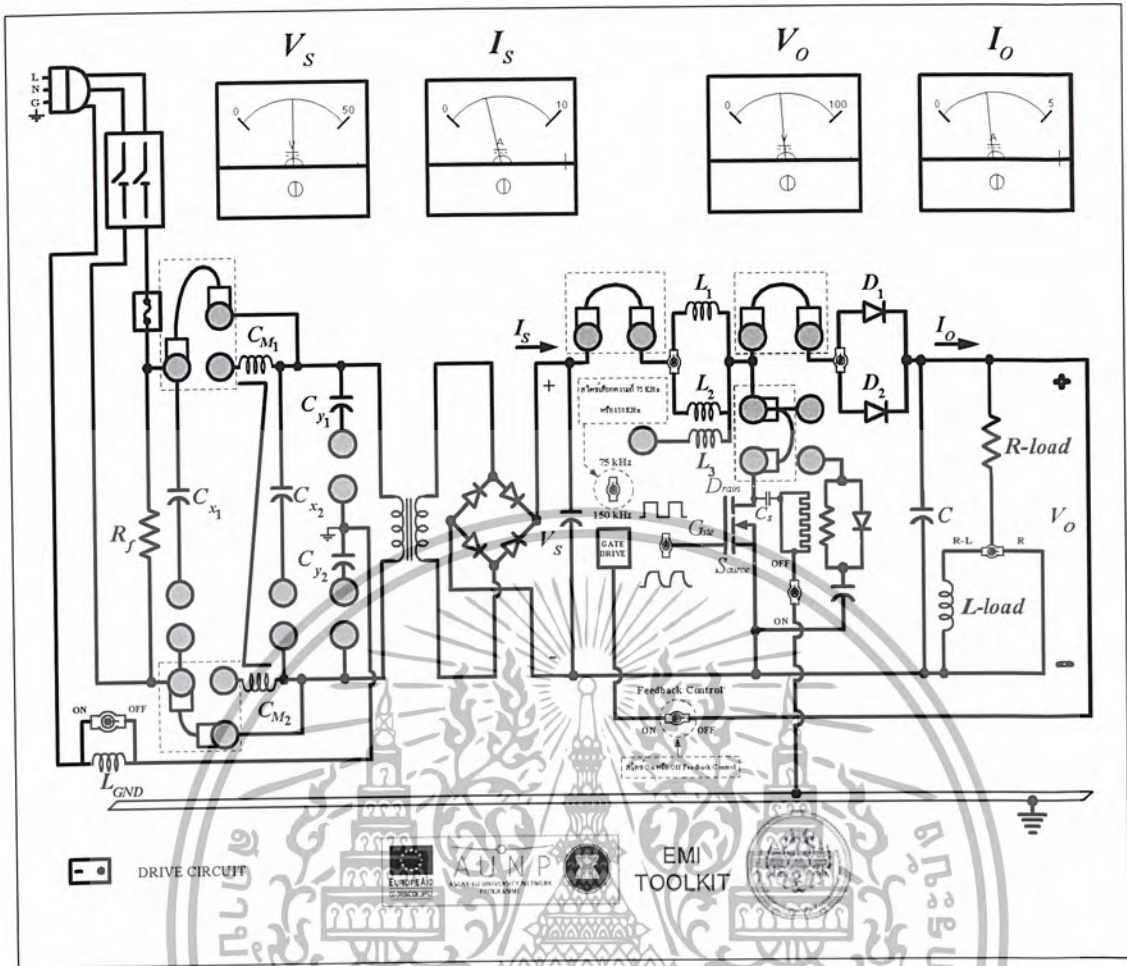
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.24 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราปรับความถี่สวิตช์ไปที่ 75 kHz โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการใช้งานดังรูปที่ 7.24 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการเปลี่ยนความถี่สวิตช์จาก 75 kHz เป็น 150 kHz แล้ว On switch Feedback Control เพื่อให้แรงดันด้านขาออกมีค่าคงที่ โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการใช้งานดังรูปที่ 7.24 สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

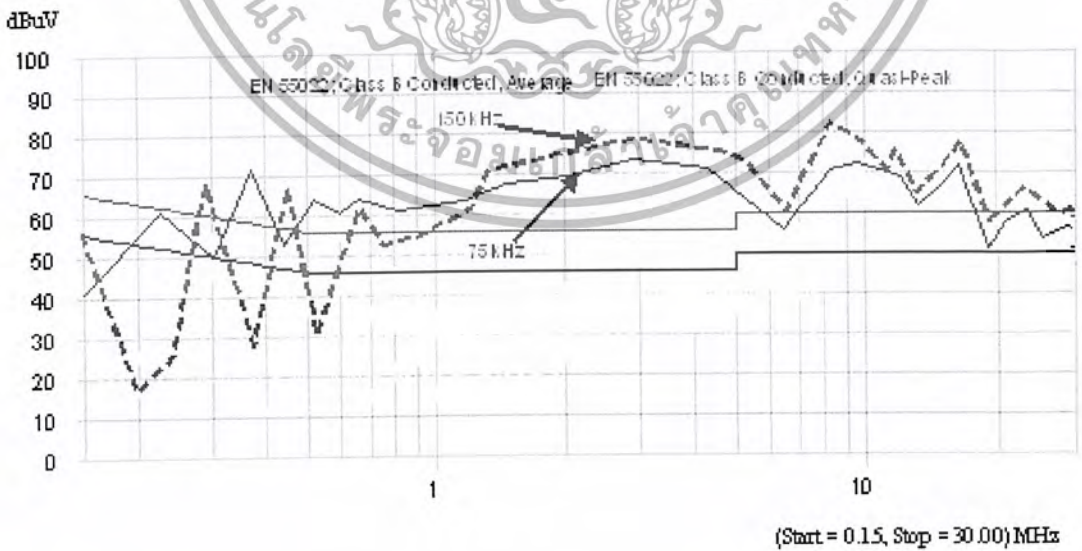
หมายเหตุ เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่สวิตช์จาก 75kHz เป็น 150kHz จะทำให้ Duty cycle ลดลงทำให้

แรงดันด้านขาออกก็จะลดลงด้วยดังนั้นต้องมีการ Feedback Control เพื่อให้แรงดันด้านขาออกมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.24 แสดงหน้าปัดการใช้งานเมื่อสวิตซ์ที่ความถี่ 75kHz และ 150 kHz



รูปที่ 7.25 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจากการสวิตซ์ที่ความถี่ 75kHz และ 150 kHz

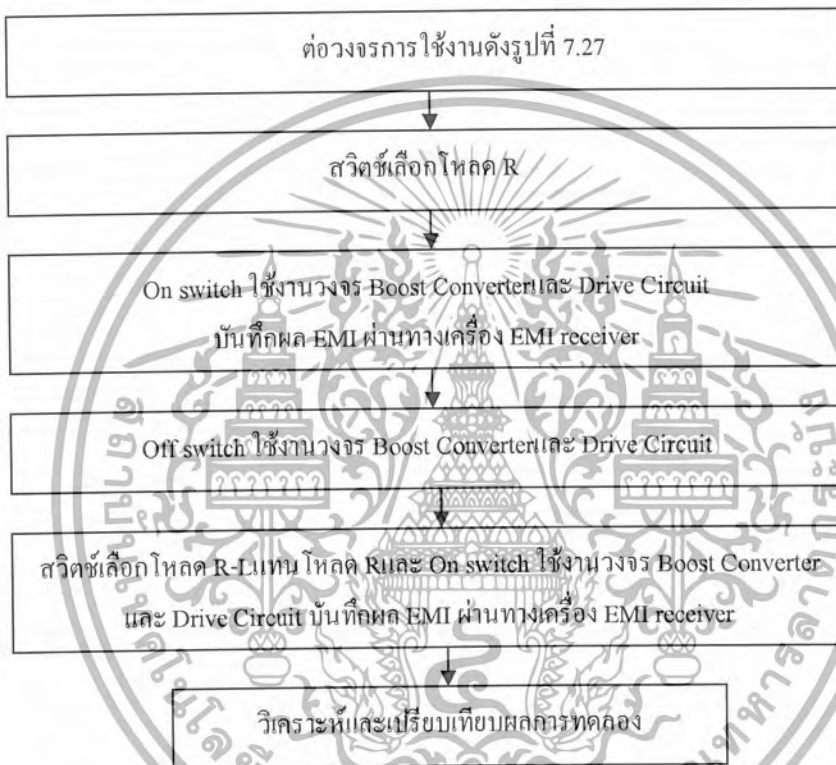
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ในการสวิตช์ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณรบกวน EMI จะมีค่าเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการสวิตช์ซึ่งที่ความถี่สูง

7.4.2 .2 Ringing

7.4.2 .2 .1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringing เมื่อมีการเปลี่ยนโหลดจาก R เป็น โหลด R-L ลำดับขั้นตอนการทดลอง



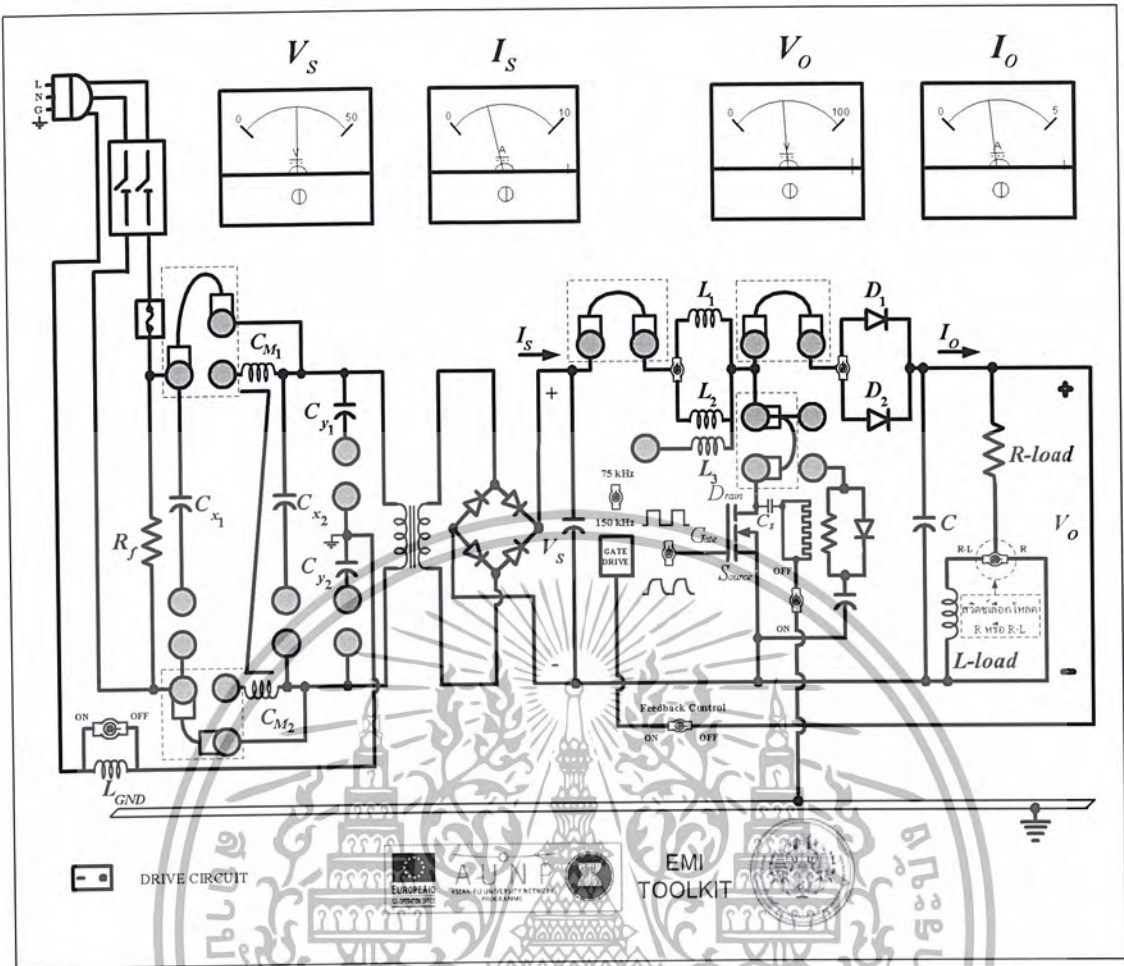
รูปที่ 7.26 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนโหลดจาก R หรือ R-L

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

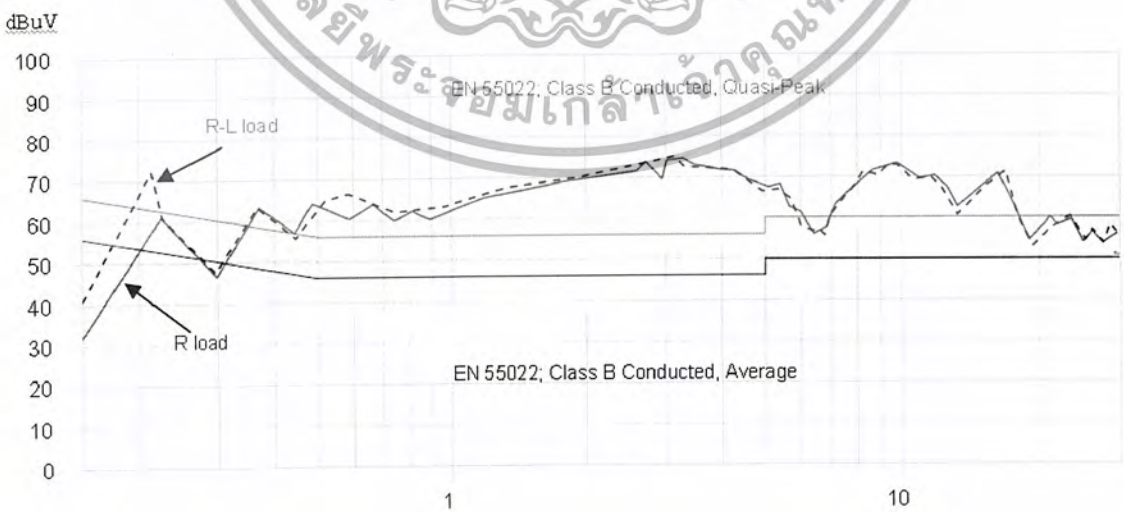
1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.27 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ซึ่งตอนนี้เราสวิตช์เลือกโหลด R โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการใช้งานดังรูปที่ 7.27 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการเปลี่ยนจากโหลด R เป็น โหลด R-L โดยการสวิตช์เลือกตรงหน้าปัดการใช้งานดังรูปที่ 7.27 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.27 แสดงหน้าปัดการใช้งานสวิตช์โหลด R หรือ R-L



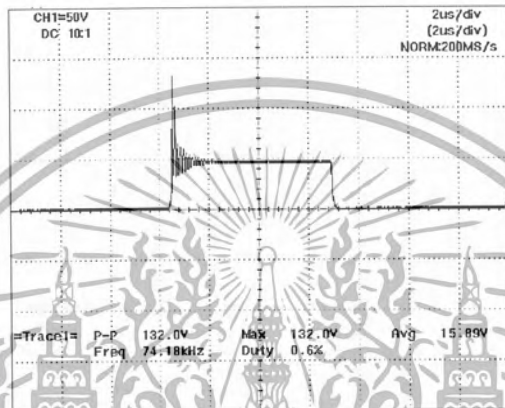
รูปที่ 7.28 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเป็นโหลด R หรือ R-L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

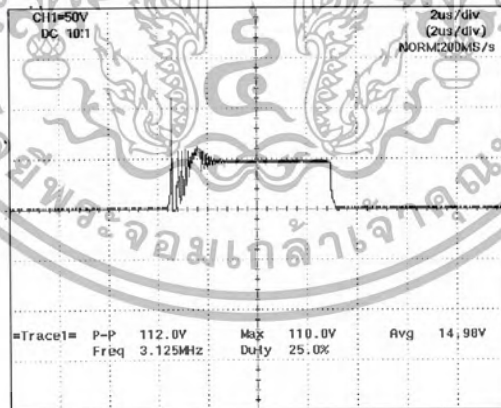
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อมีการใช้งานโหลด R หรือ R-L จะมีผลต่อสัญญาณ EMI ที่เกิดจากรingingในตัวเหนี่ยวนำแต่ในการทดลองยังไม่ค่อยเห็นผลแตกต่างกันมากนักอันเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำมีค่าน้อย

7.4.2.2 .2ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจากรinging เมื่อมีการสวิตซ์ิ่งที่มอสเฟต โดยการต่อและไม่ต่อวงจรสับเบอ์ที่มอสเฟต



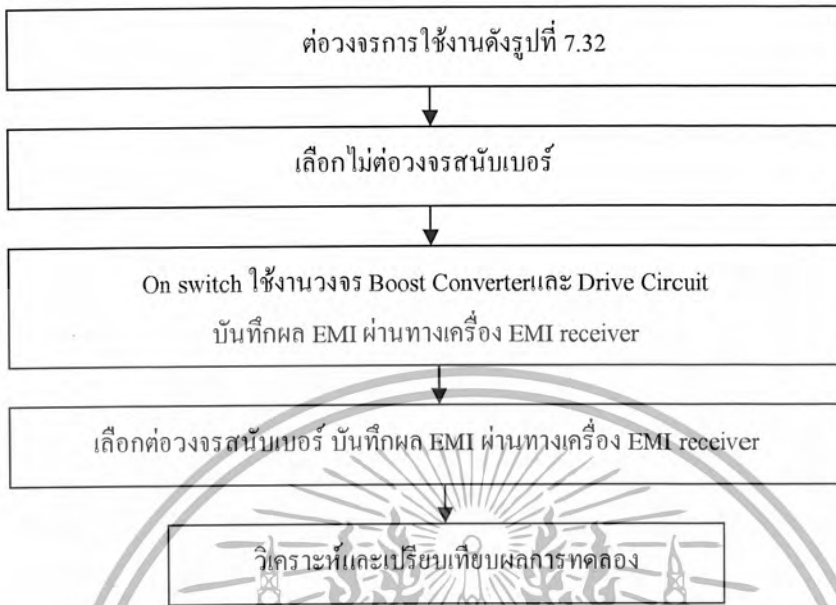
รูปที่ 7.29 แสดงรูปคลื่นแรงดันตกรวมมอสเฟตเมื่อไม่ต่อวงจรสับเบอ์



รูปที่ 7.30 แสดงรูปคลื่นแรงดันตกรวมมอสเฟตเมื่อต่อวงจรสับเบอ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

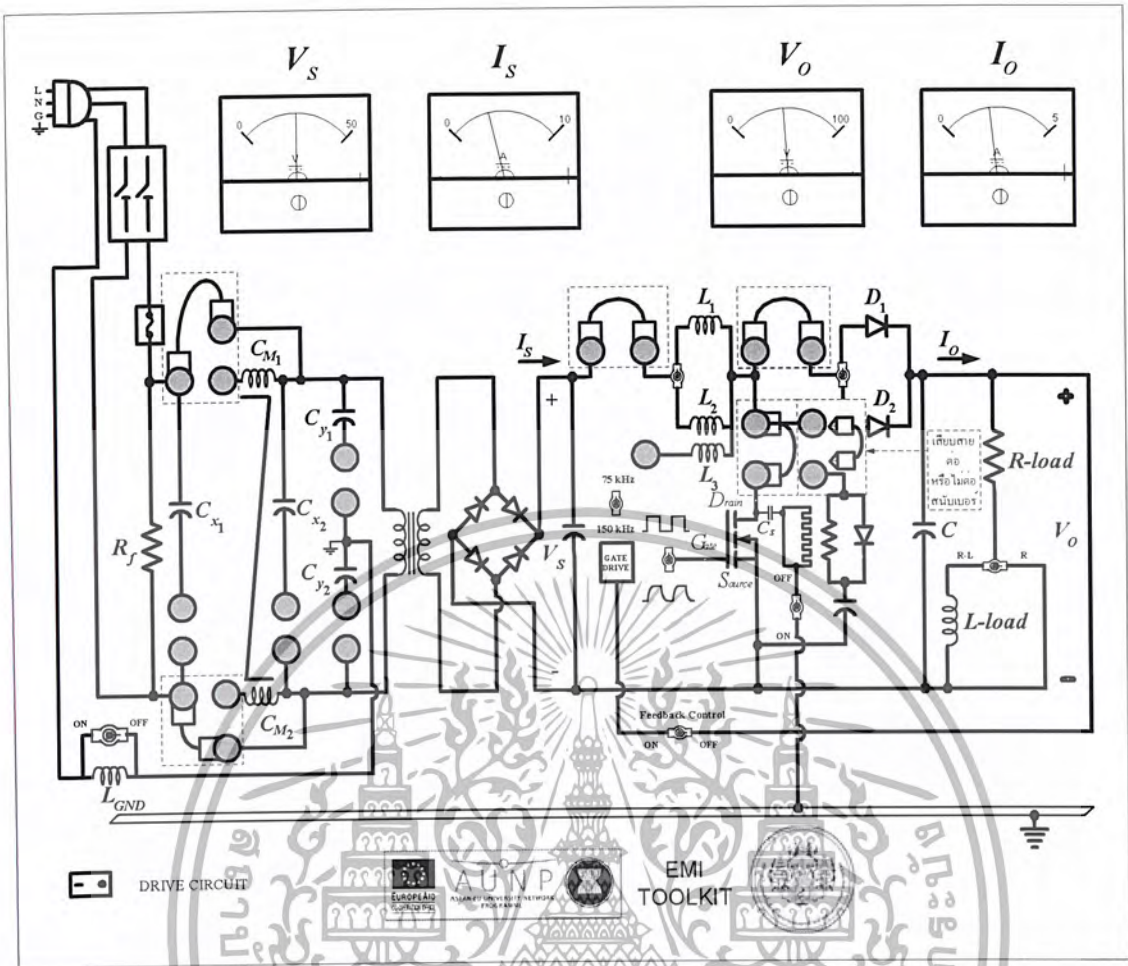
ลำดับขั้นตอนการทดลอง



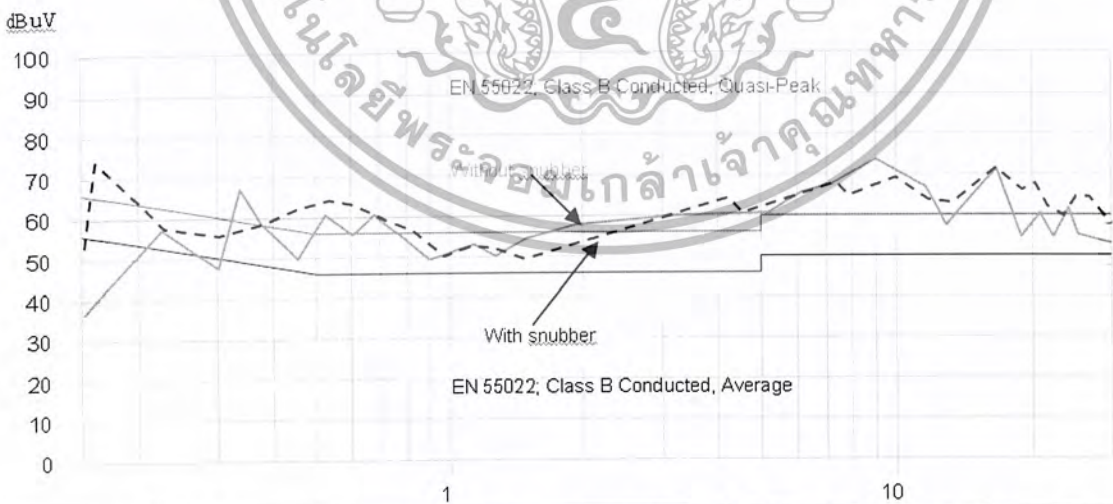
รูปที่ 7.31 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อวงจรสับเบอร์ที่มอดสเฟท

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.32 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนีเราเลือกไม่ต่อวงจรสับเบอร์โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งาน ดังรูปที่ 7.32 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการต่อวงจรสับเบอร์เข้ากับวงจรการทดลอง โดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.32 สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.32 แสดงหน้าปัดการใช้งานวงจรสับเบอร์



รูปที่ 7.33 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อวงจรสับเบอร์

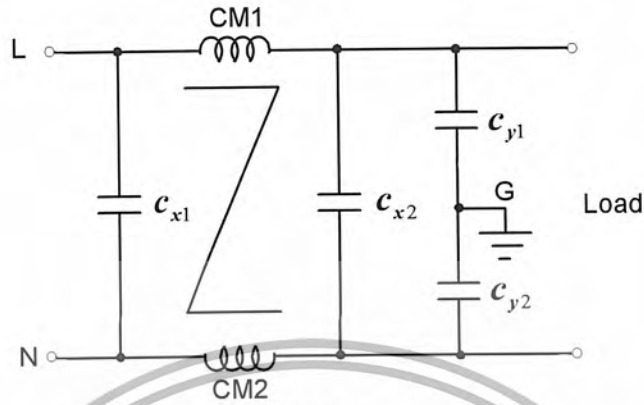
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อวงจรสับเบอร์จะช่วยลดผลของสัญญาณ EMI ได้เนื่องจากช่วยลดการสไปร์ค

และringing ที่แรงดันตกคร่อมมอสเฟตแต่ก็มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากแรงดันตกคร่อมมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 วงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI filter) ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจากสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วม (CM) และสัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (DM)



รูปที่ 7.34 แสดงวงจรภายในของ EMI filter

7.4.3.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1}

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

ต่อวงจรการใช้นางดังรูปที่ 7.36

เลือกไม่ต่อ C_{x1} ของชุด EMI filter

On switch ใช้นางวงจร Boost Converter และ Drive Circuit
บันทึกผล EMI ผ่านทางเครื่อง EMI receiver

Off switch ใช้นางวงจร Boost Converter และ Drive Circuit

เลือกต่อ C_{x1} ของชุด EMI filter จากนั้น On switch ใช้นางวงจร Boost Converter และ Drive Circuit บันทึกผล EMI ผ่านทางเครื่อง EMI receiver

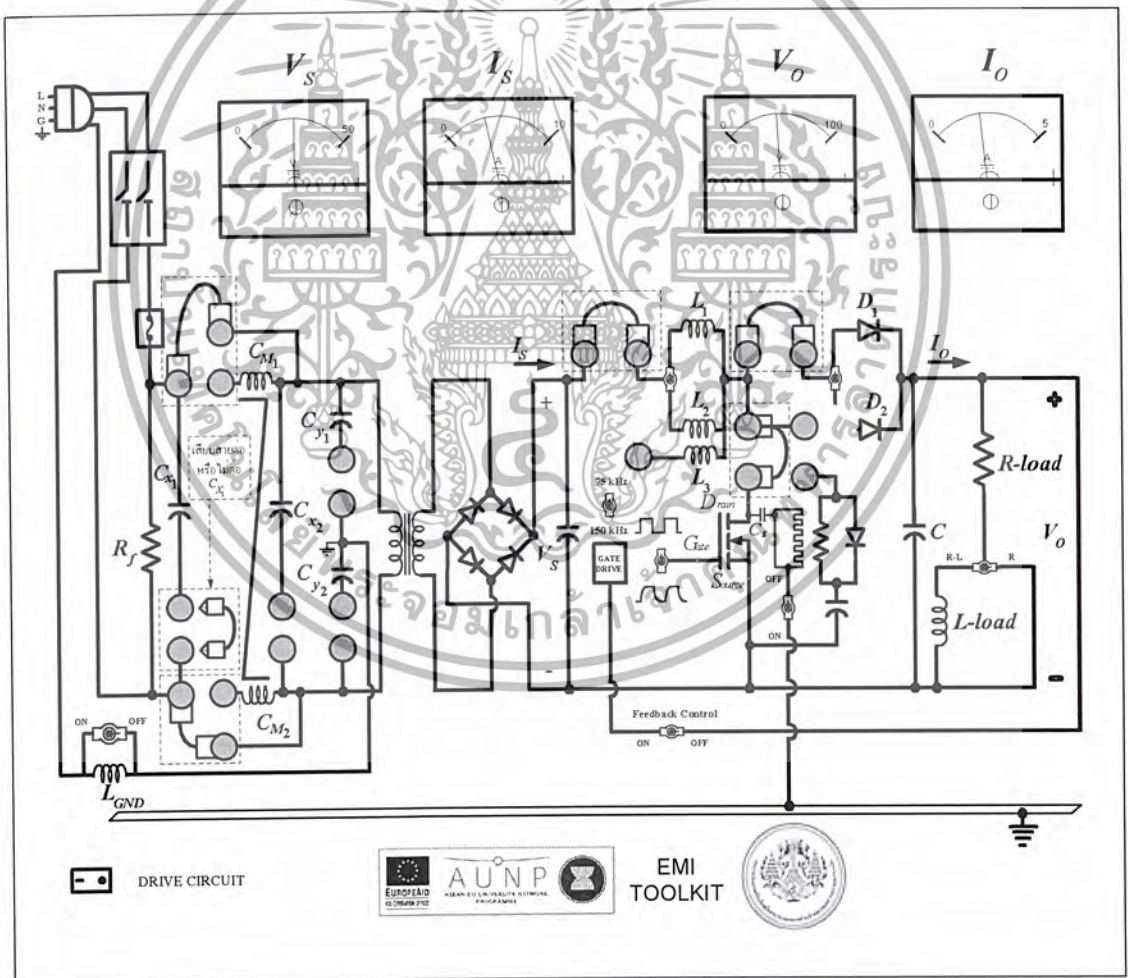
วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

รูปที่ 7.35 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

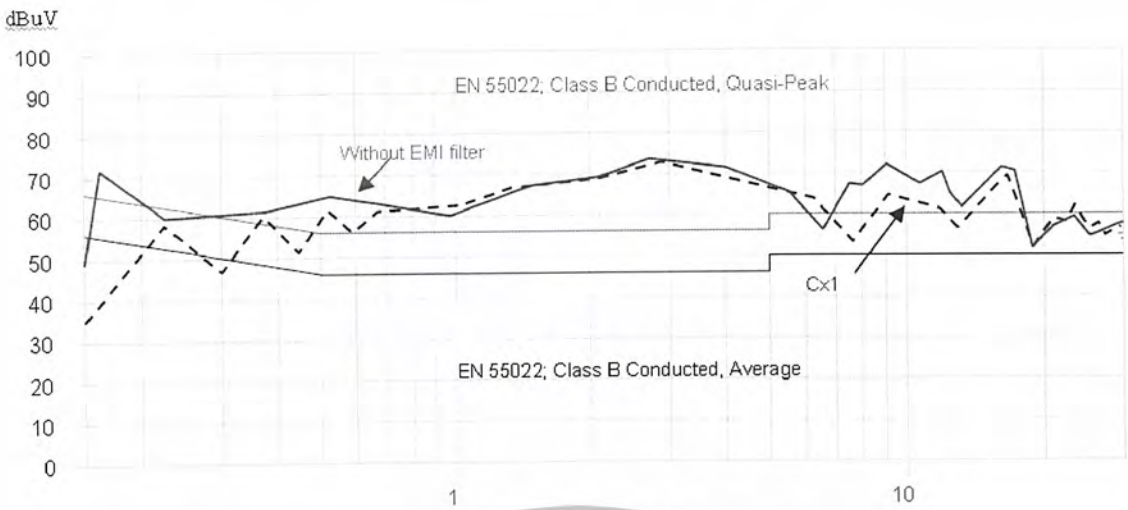
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเทียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.36 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} โดยไม่ต้องเทียบสายใช้งานและไม่ต้องเทียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.36 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเทียบสายใช้งานแต่ไม่ต้องเทียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.36 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.36 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.37 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อต่อและไม่ต่อ C_{x1}

7.4.3.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{x2}

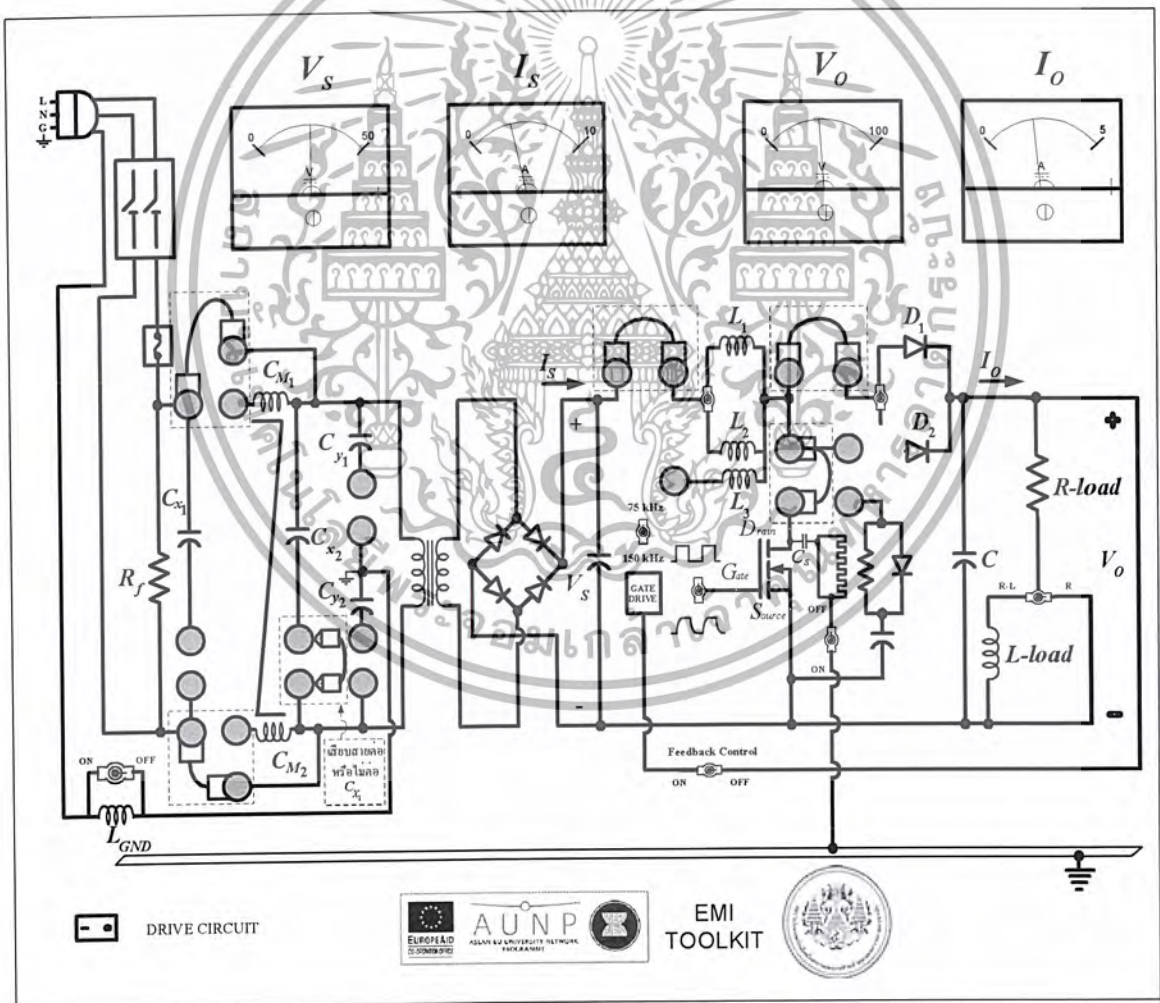


รูปที่ 7.38 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

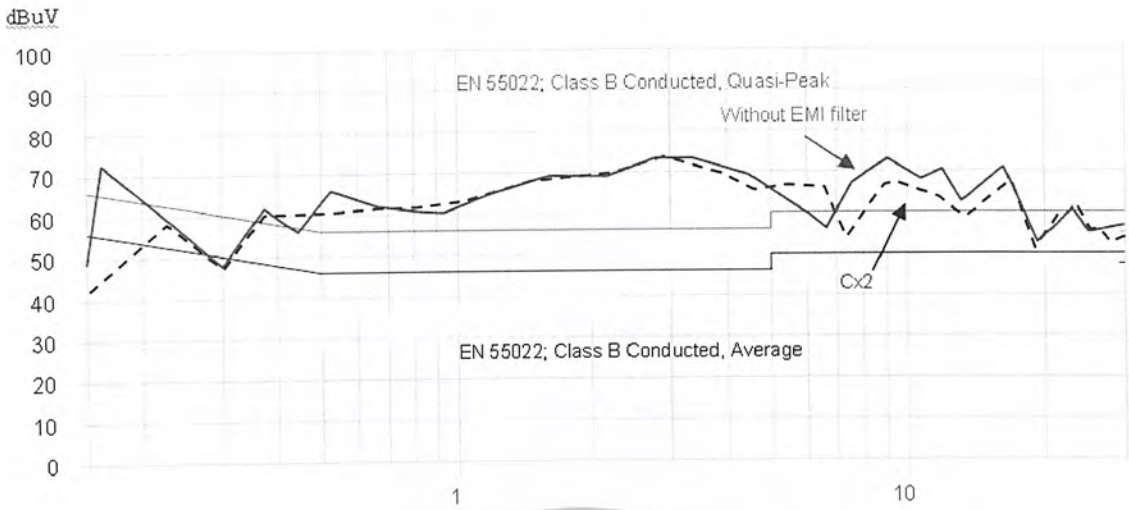
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเทียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.39 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x2} โดยไม่ต้องเทียบสายใช้งานและไม่ต้องเทียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.39 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเทียบสายใช้งานและไม่ต้องเทียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.39 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



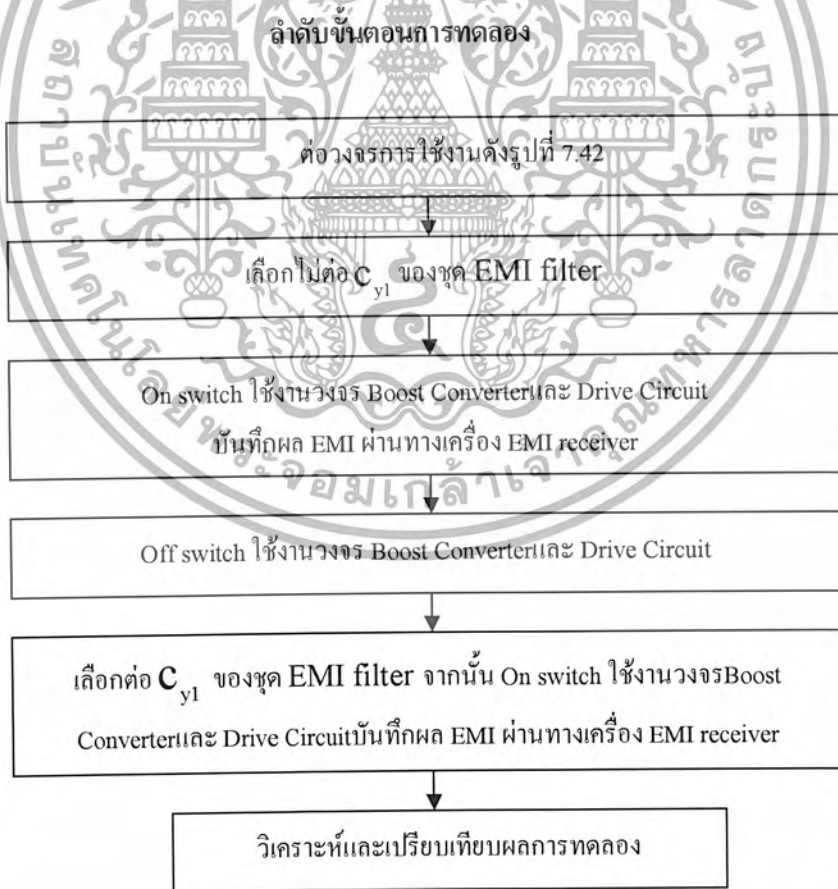
รูปที่ 7.39 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.40 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x2}

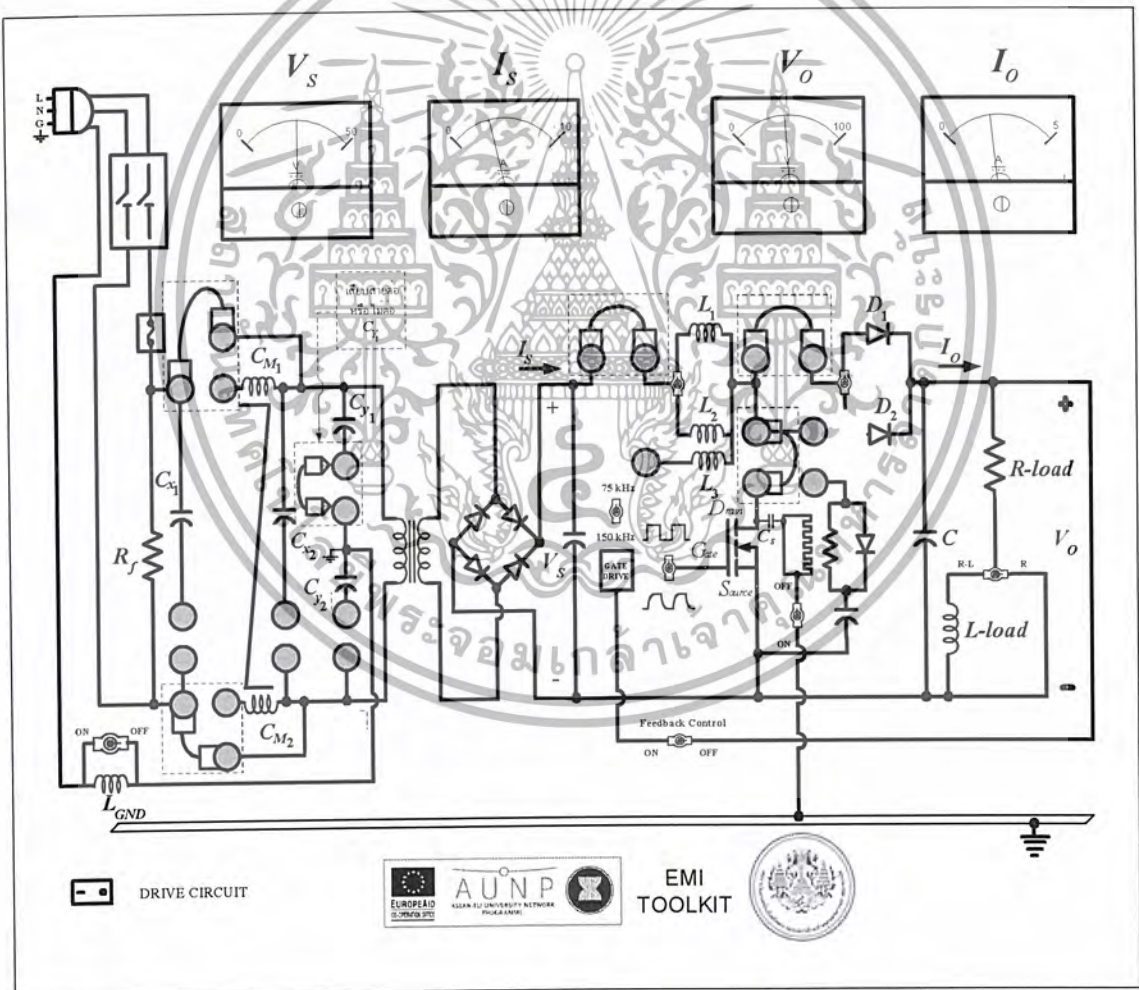
7.4.3.3 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{y1}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

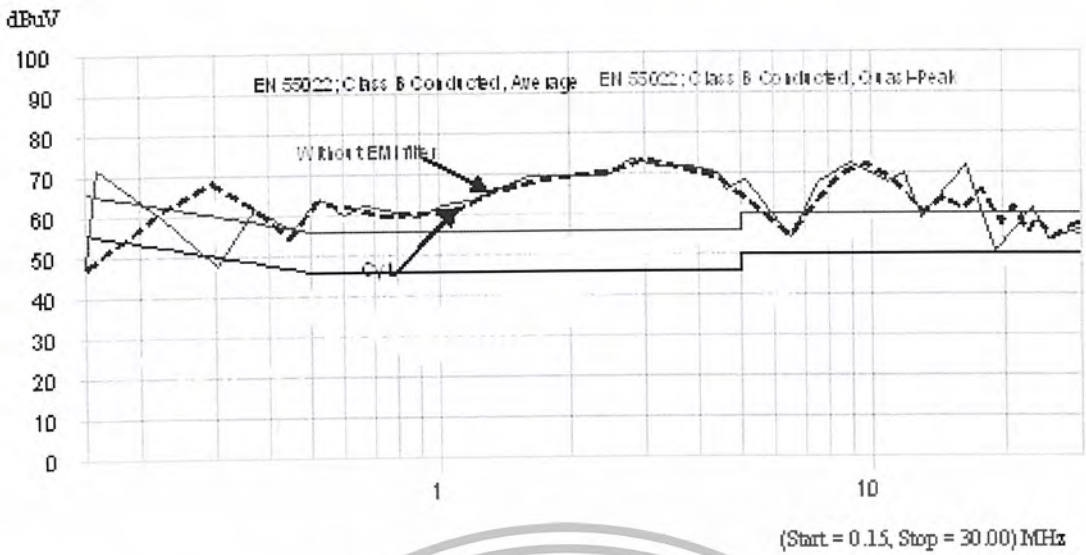
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.42 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{y1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.42 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{y1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานแต่ไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.42 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



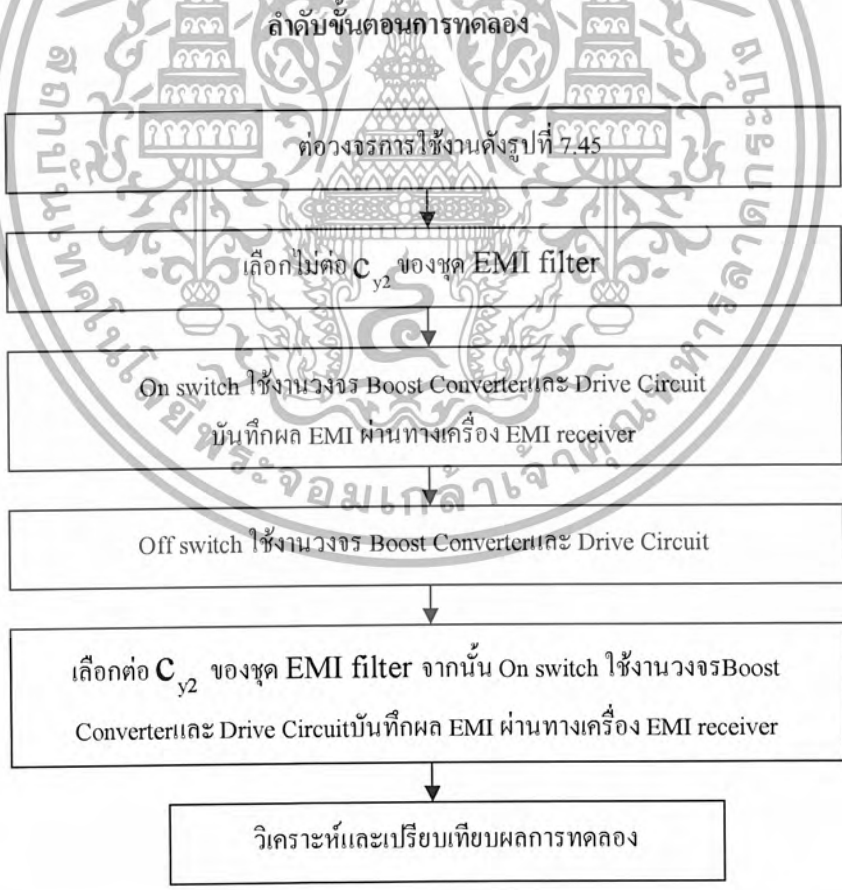
รูปที่ 7.42 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.43 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1}

7.4.3.4 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y2}

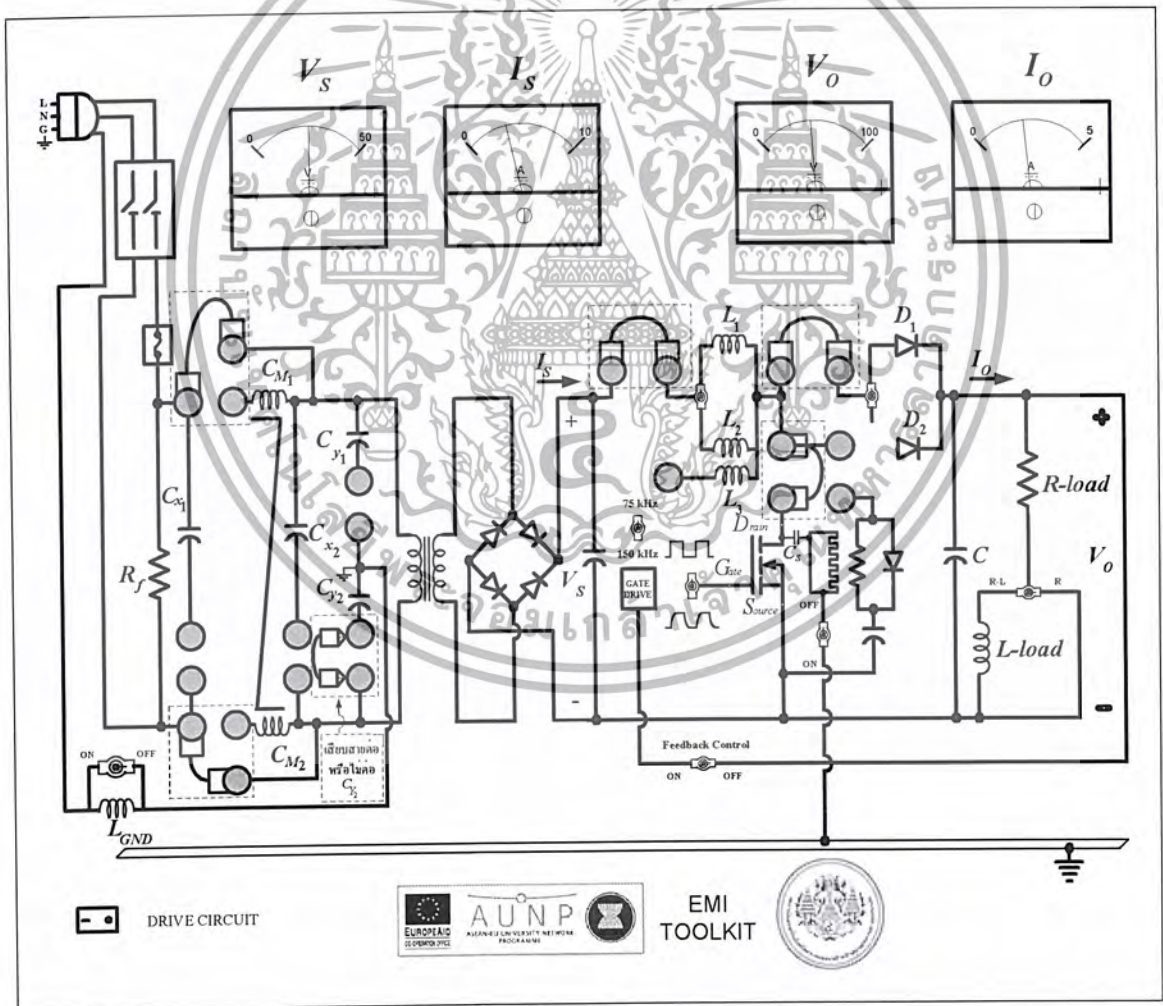


รูปที่ 7.44 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

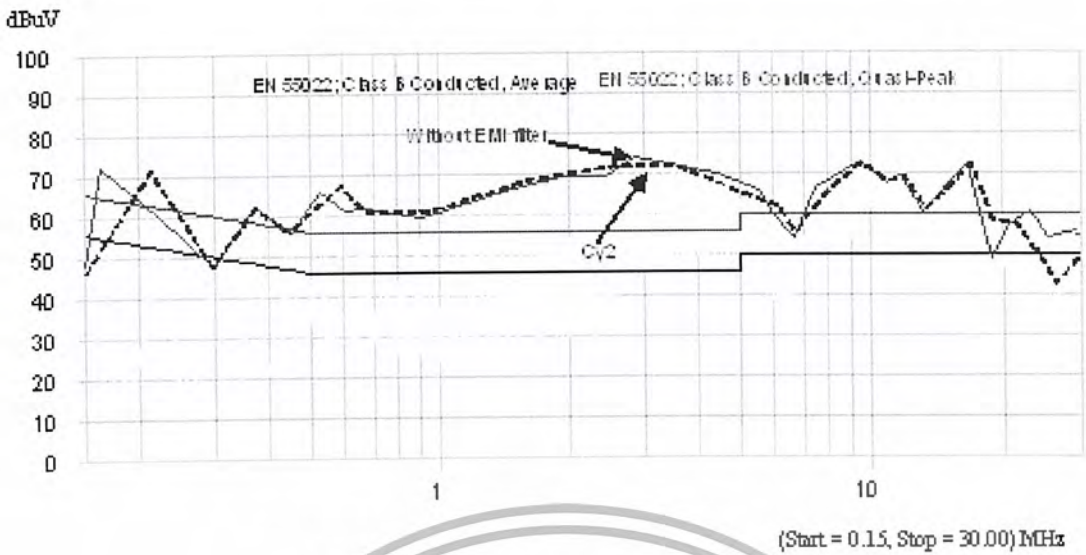
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.45 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{y2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.45 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{y2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.45 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



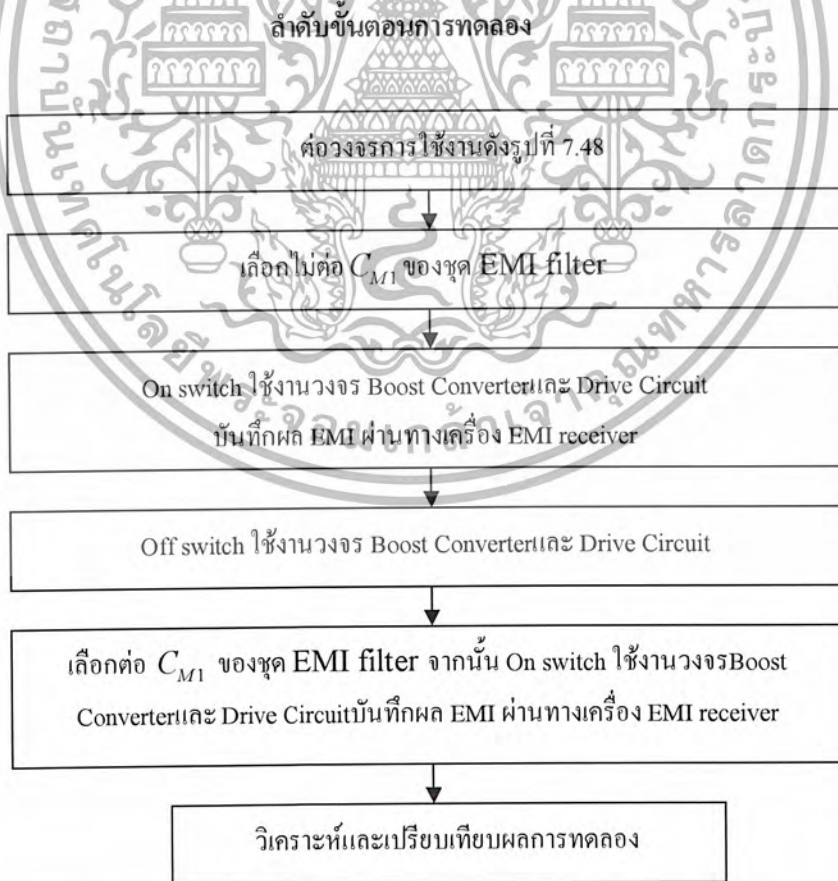
รูปที่ 7.45 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



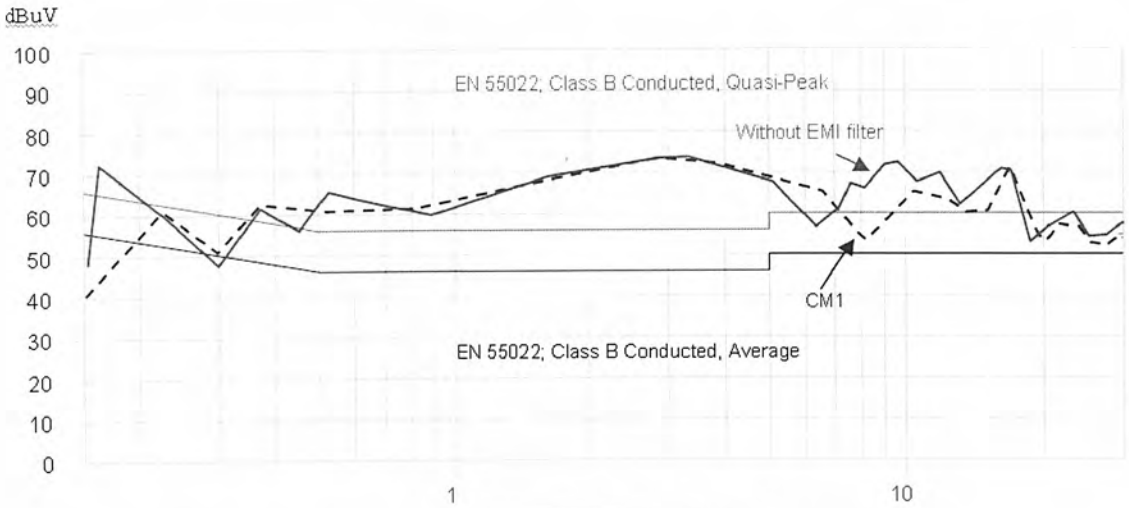
รูปที่ 7.46 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในการต่อและไม่ต่อ C_{y2}

7.4.3.5 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{M1}



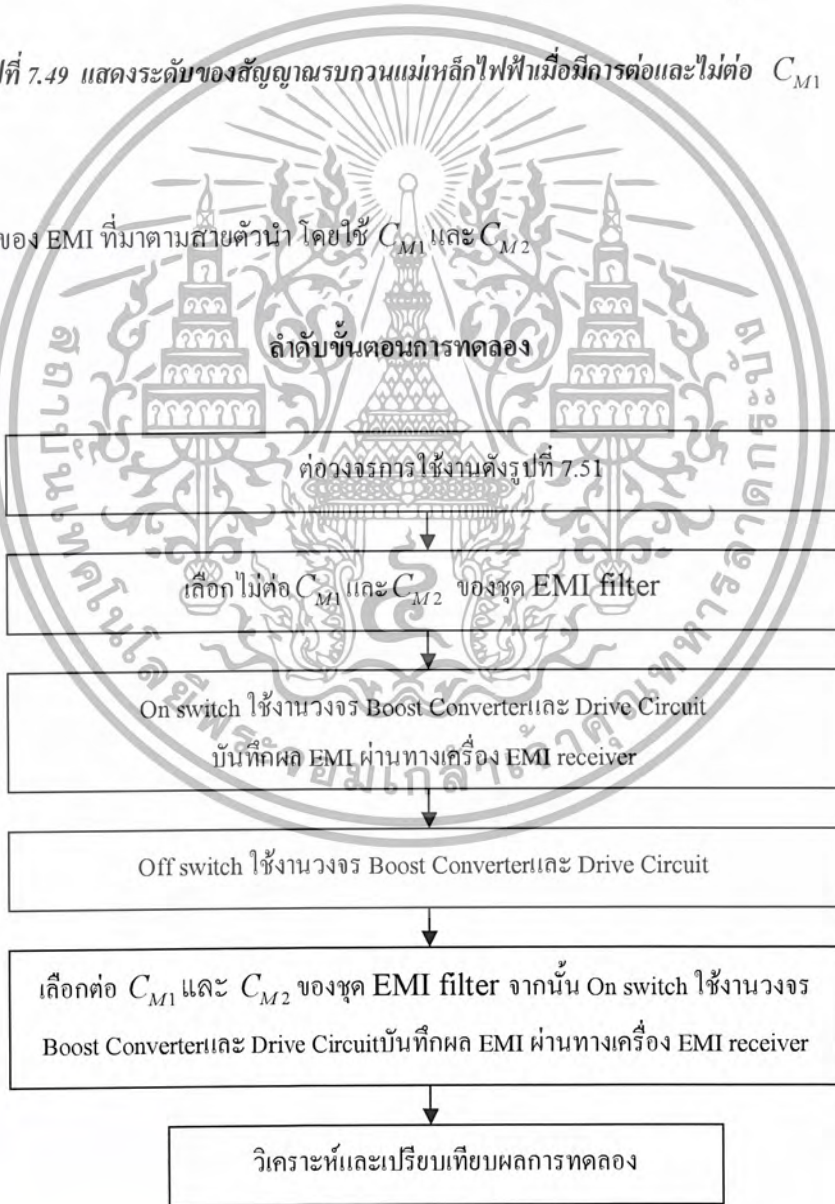
รูปที่ 7.47 แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{M1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.49 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{M1}

7.4.3.6 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{M1} และ C_{M2}

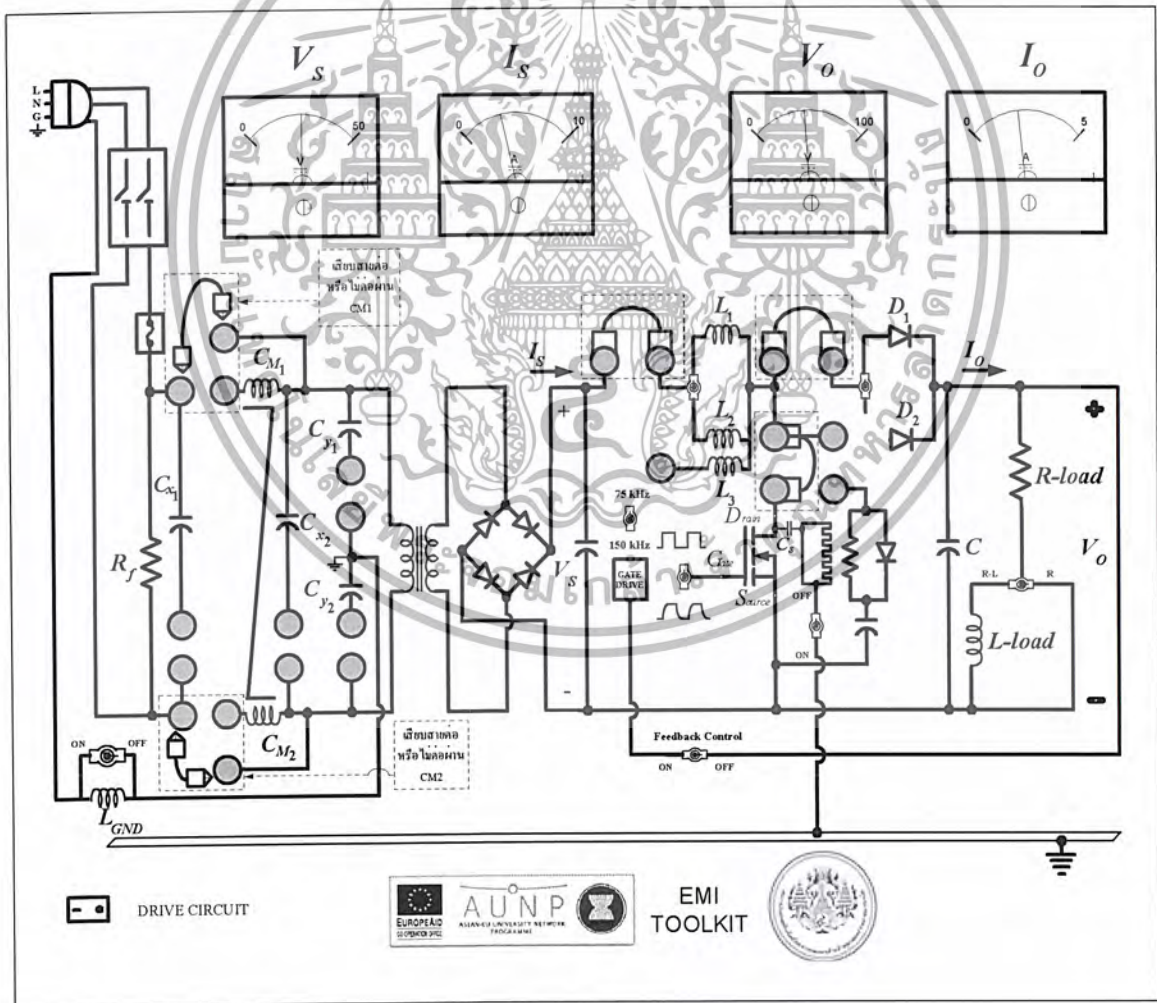


รูปที่ 7.50 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

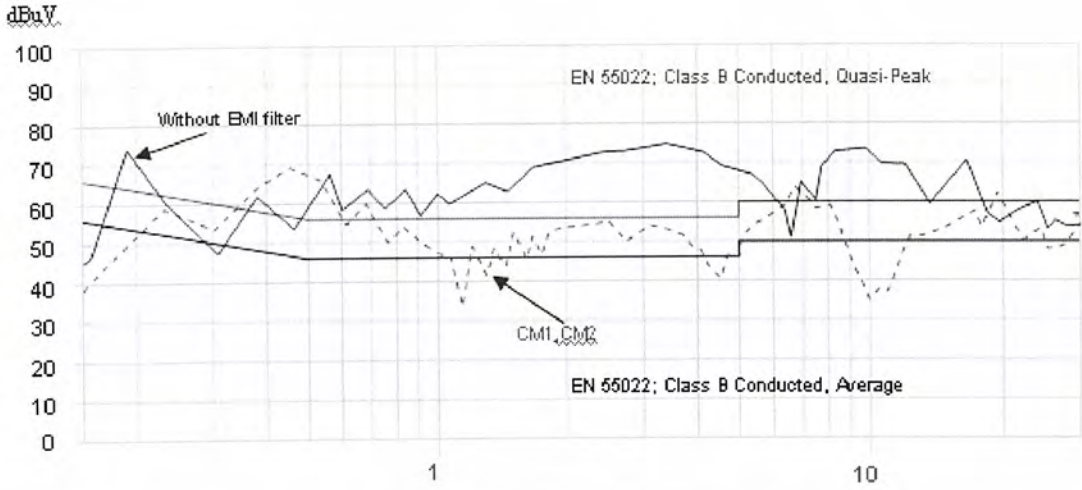
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.51 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไมต่อ C_{M1} และ C_{M2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.51 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.51 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



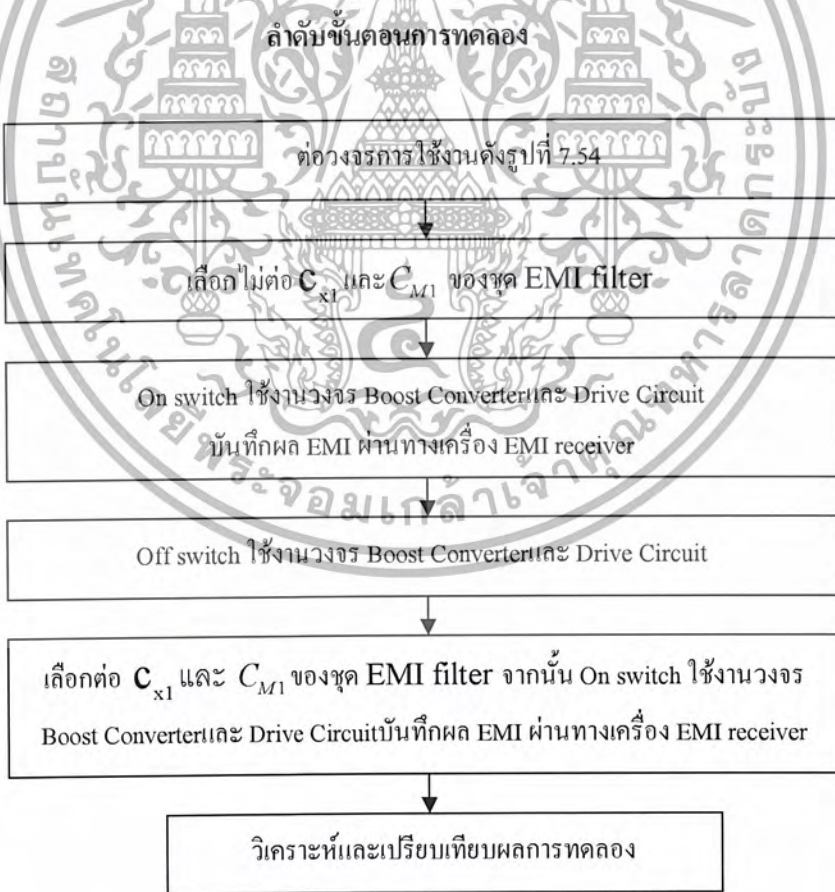
รูปที่ 7.51 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.52 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อไม่มีการต่อและต่อ C_{M1} และ C_{M2}

7.4.3.7 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} และ C_{M1}

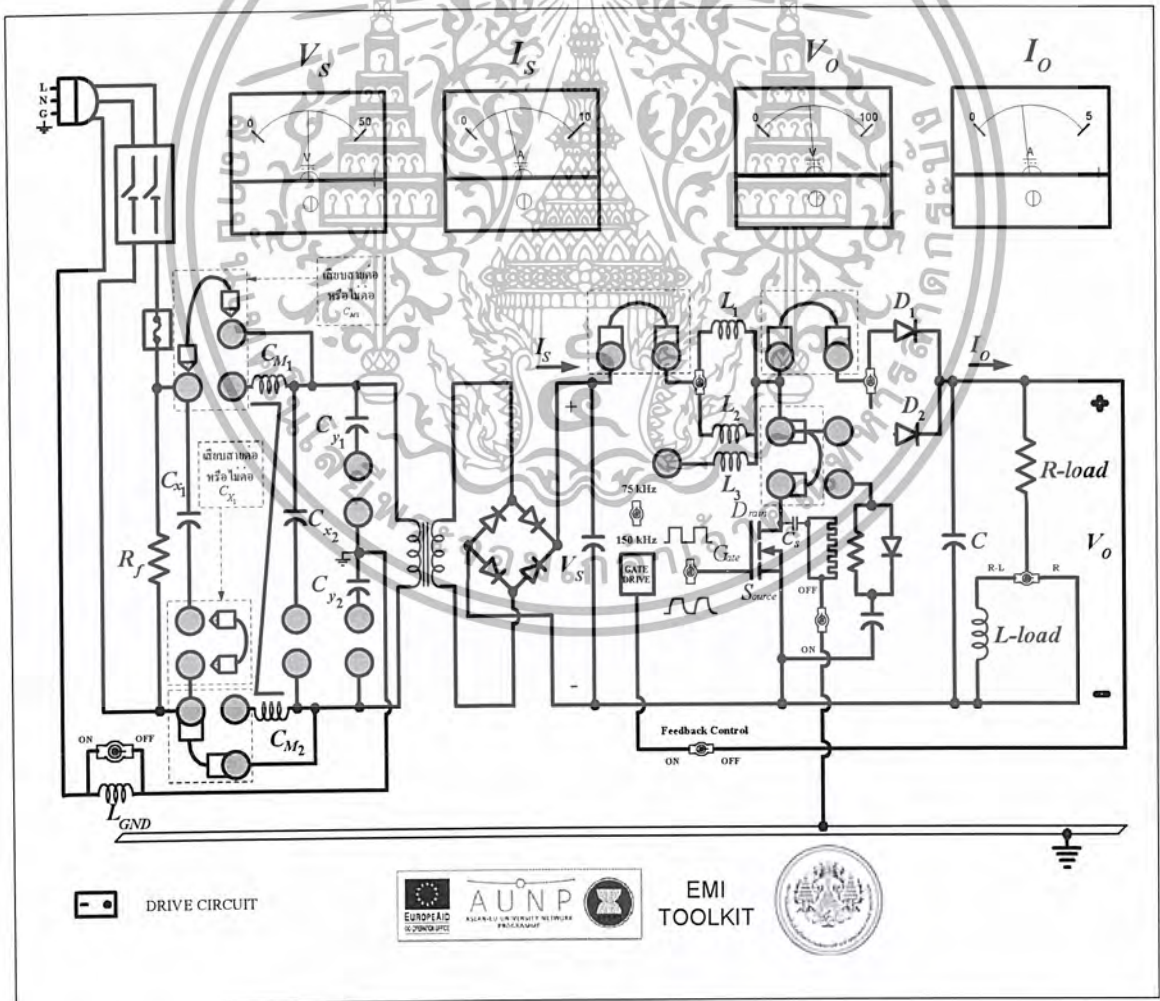


รูปที่ 7.53 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} และ C_{M1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

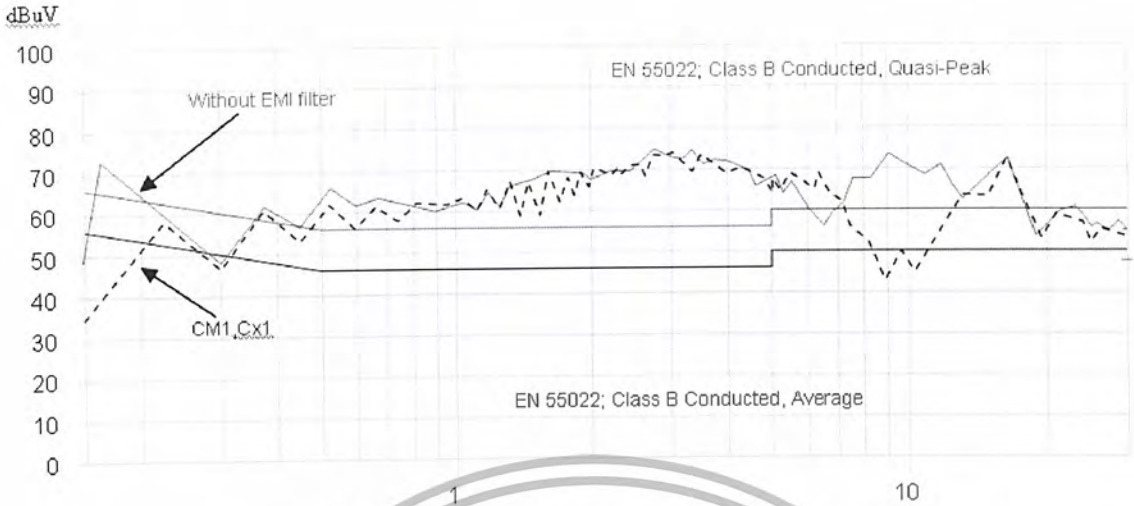
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.54 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} และ C_{M1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อผ่าน C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.54 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งาน C_{x1} และ C_{M1} ของชุด EMI filter แต่ไม่ต่อผ่าน C_{M2} ดังรูปที่ 7.54 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



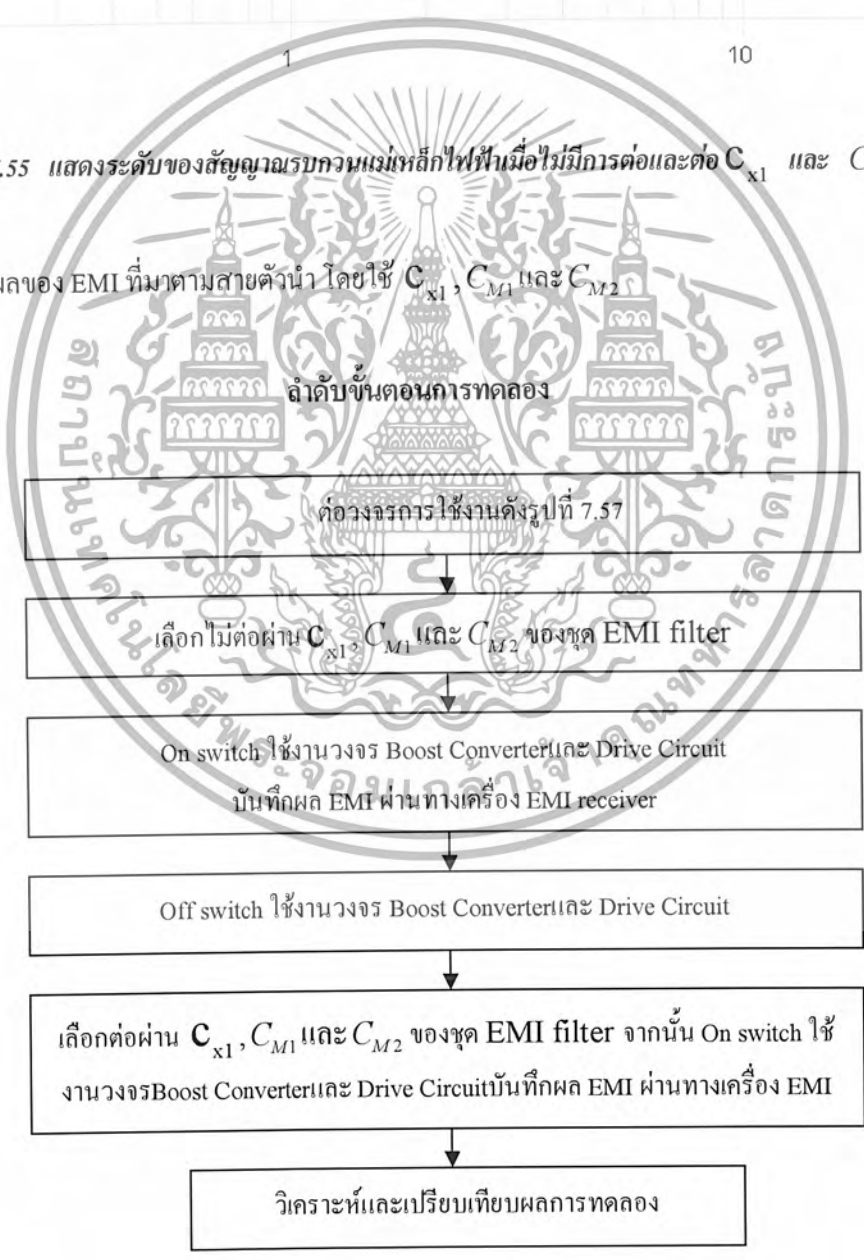
รูปที่ 7.54 แสดงหน้าปิดการใช้งาน C_{x1} และ C_{M1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.55 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อไม่มีการต่อและต่อ C_{x1} และ C_{M1}

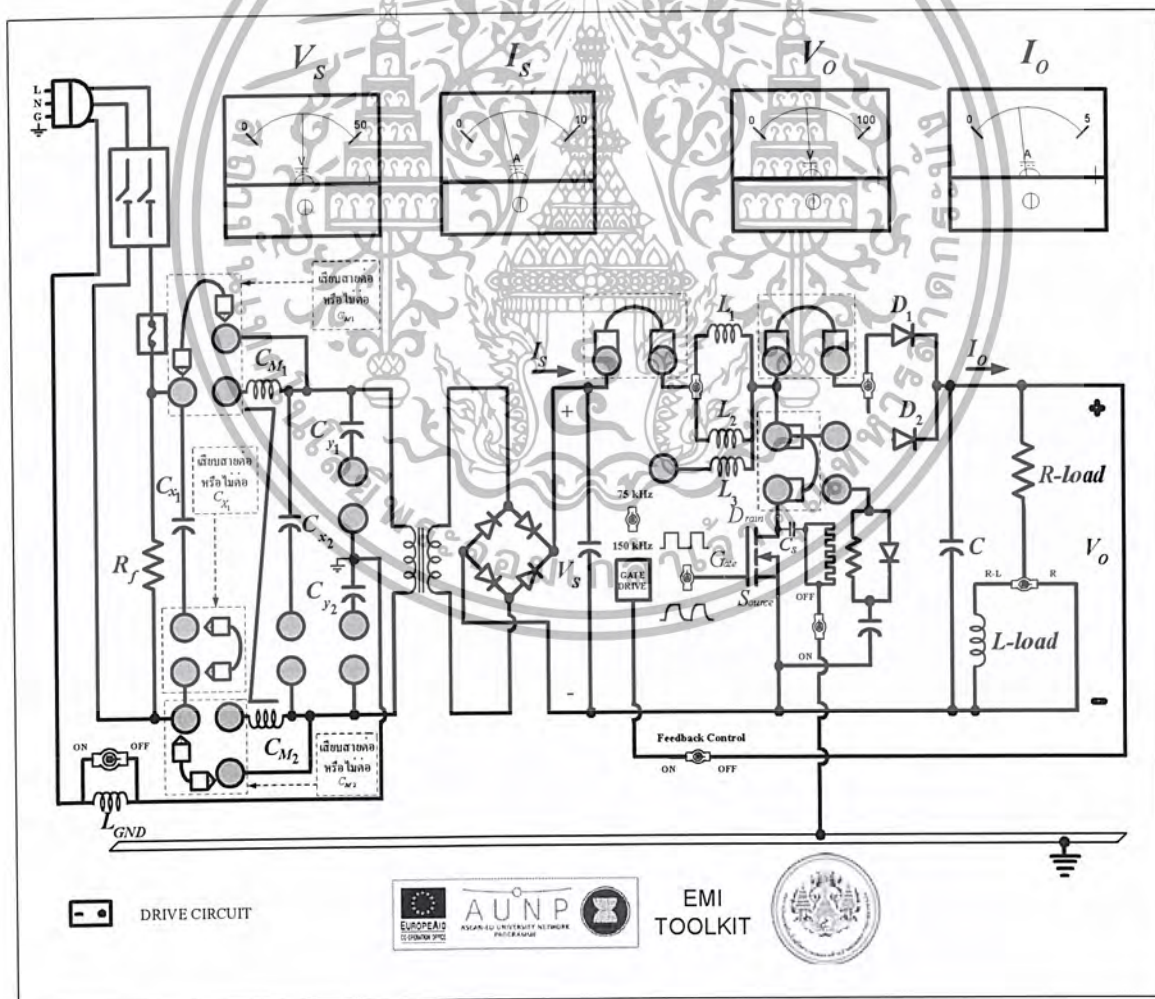
7.4.3.8 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 7.56 แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2} ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

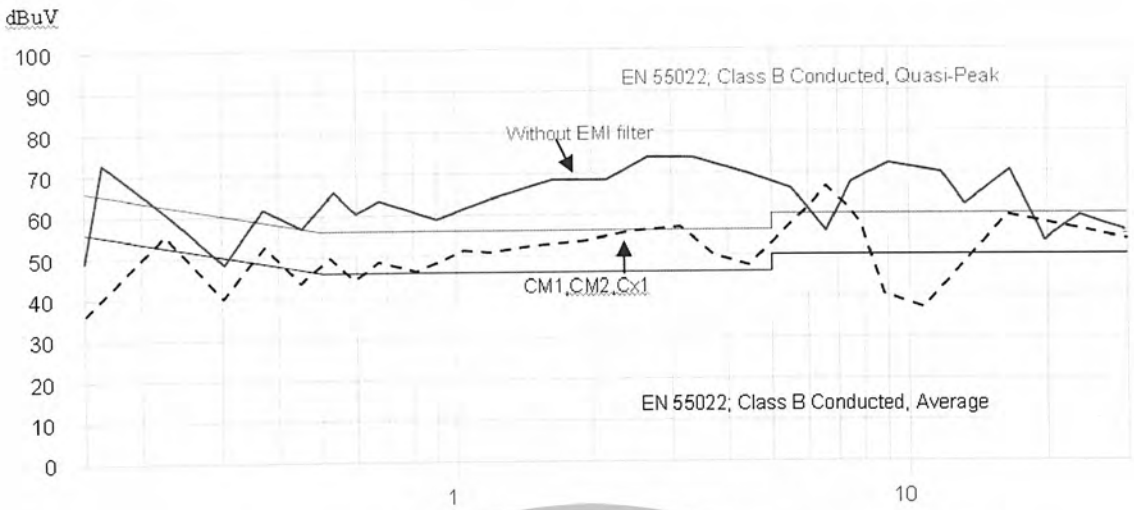
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.57 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายผ่าน C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.57 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ตั้งเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานผ่าน C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.57 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ตั้งเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



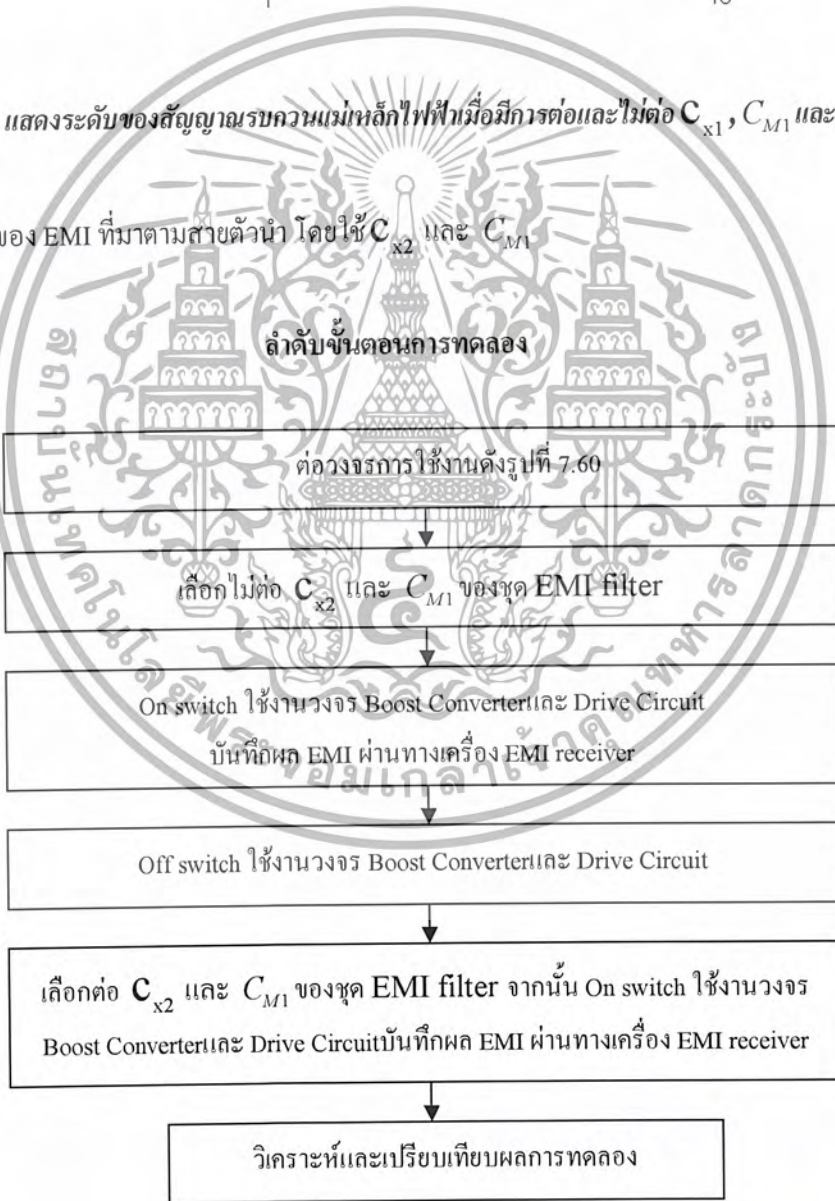
รูปที่ 7.57 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.58 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}

7.4.3.9 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{x2} และ C_{M1}

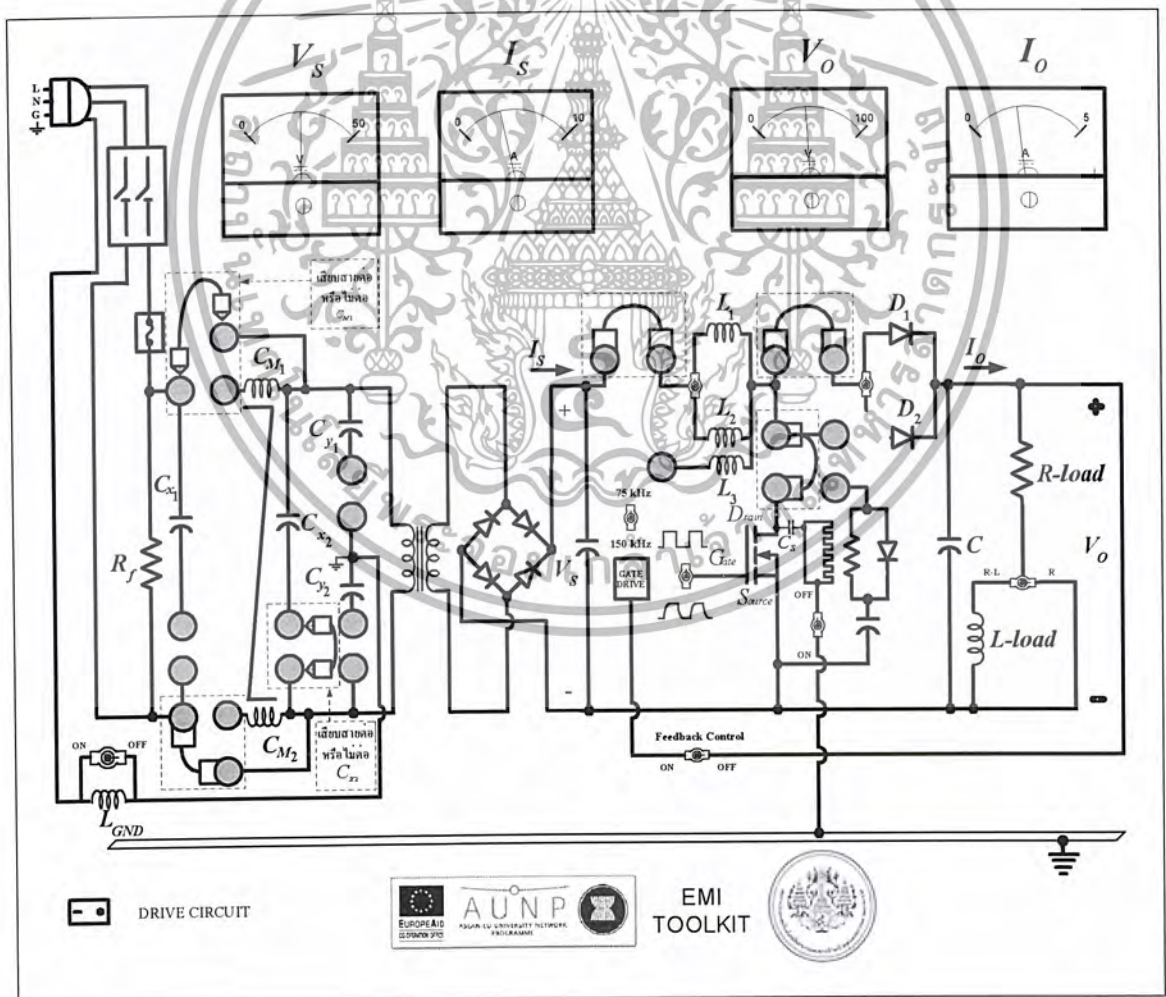


รูปที่ 7.59 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x2} และ C_{M1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

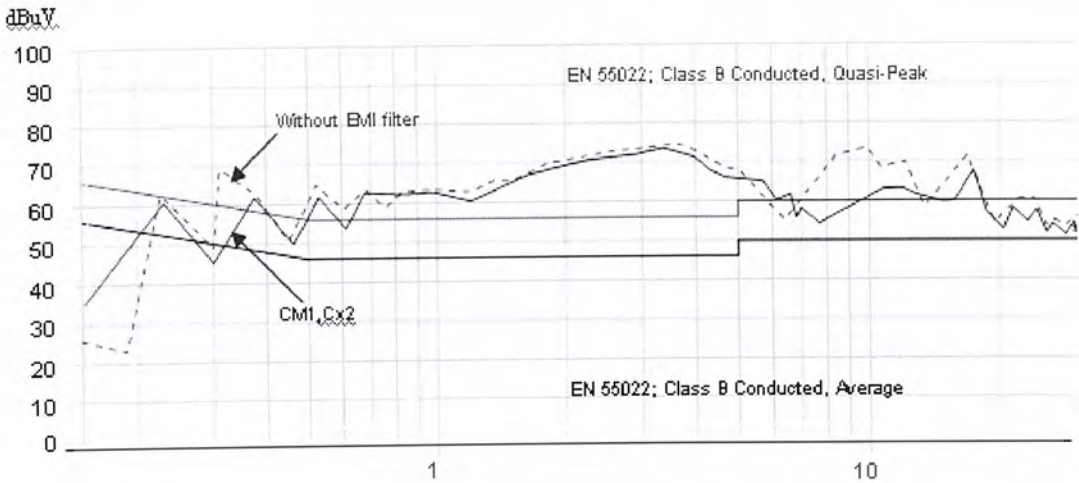
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.60 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x2} และ C_{M1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.60 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x2} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งาน C_{x2} และ C_{M1} ของชุด EMI filter แต่ไม่ต่อเข้า C_{M2} ดังรูปที่ 7.60 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.60 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x2} และ C_{M1}

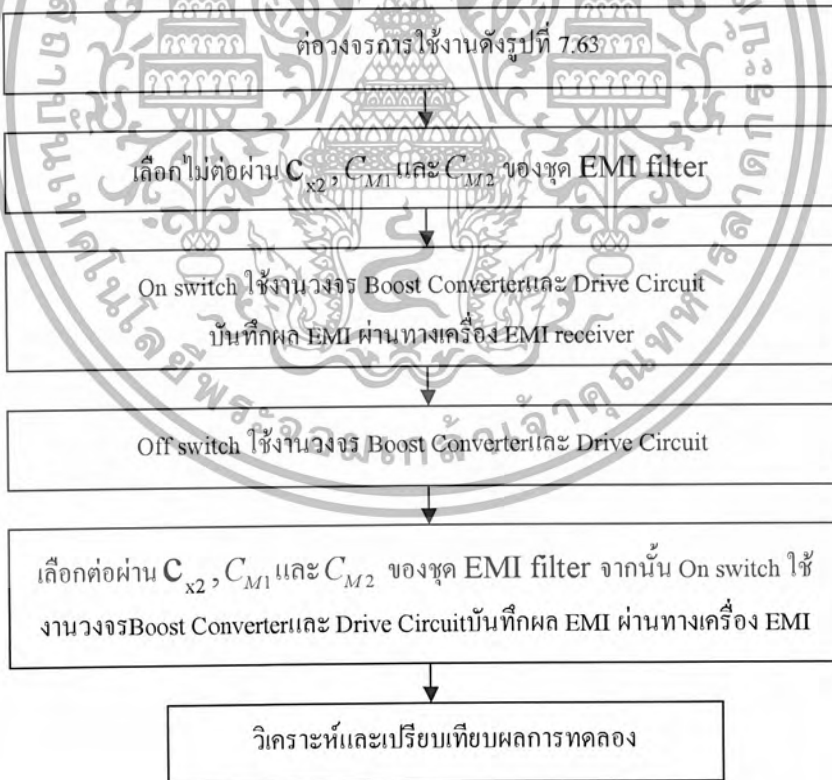
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.61 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x2} และ C_{M1}

7.4.3.10 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายค่านำ โดยใช้ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

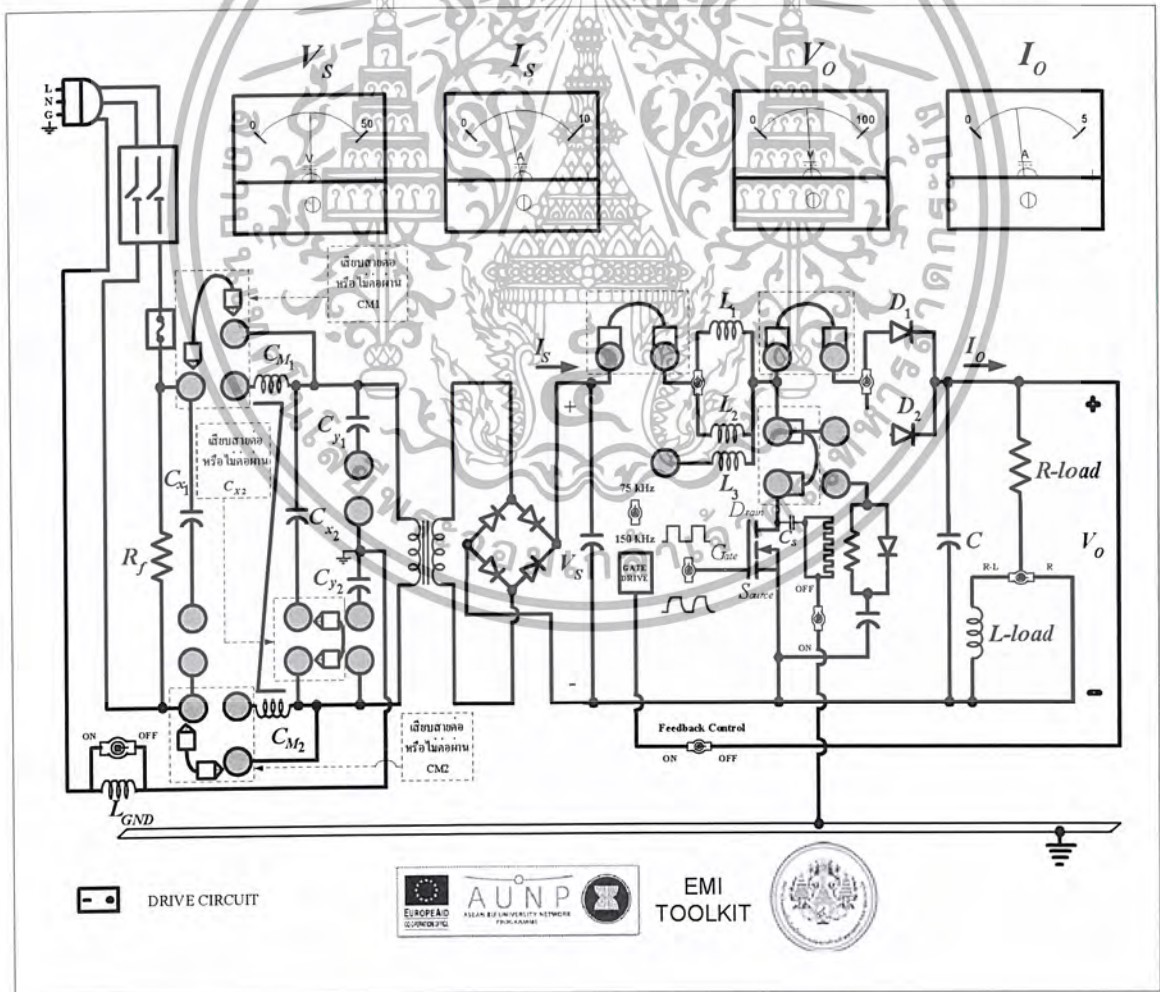


รูปที่ 7.62 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

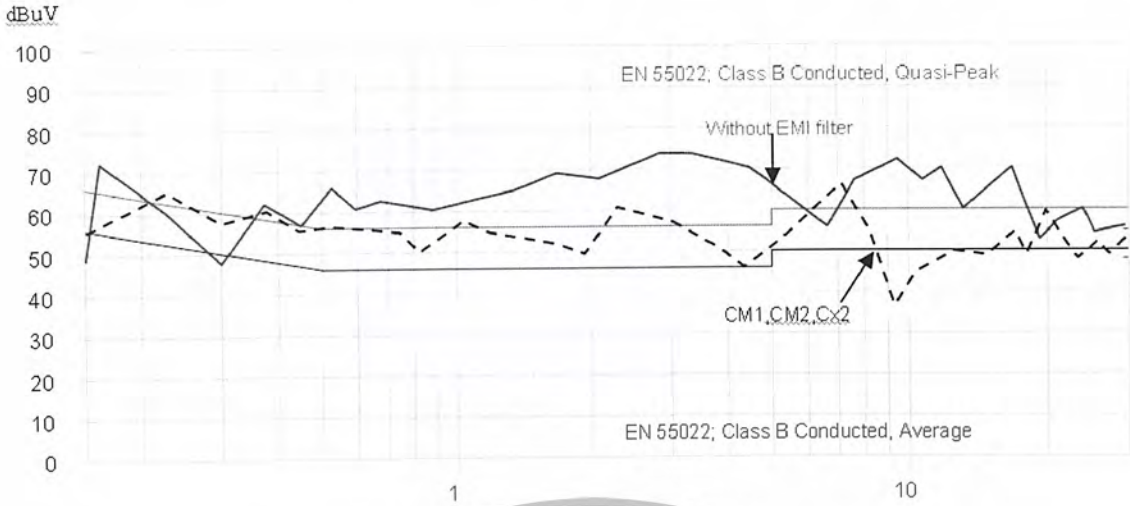
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.63 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.63 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.63 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



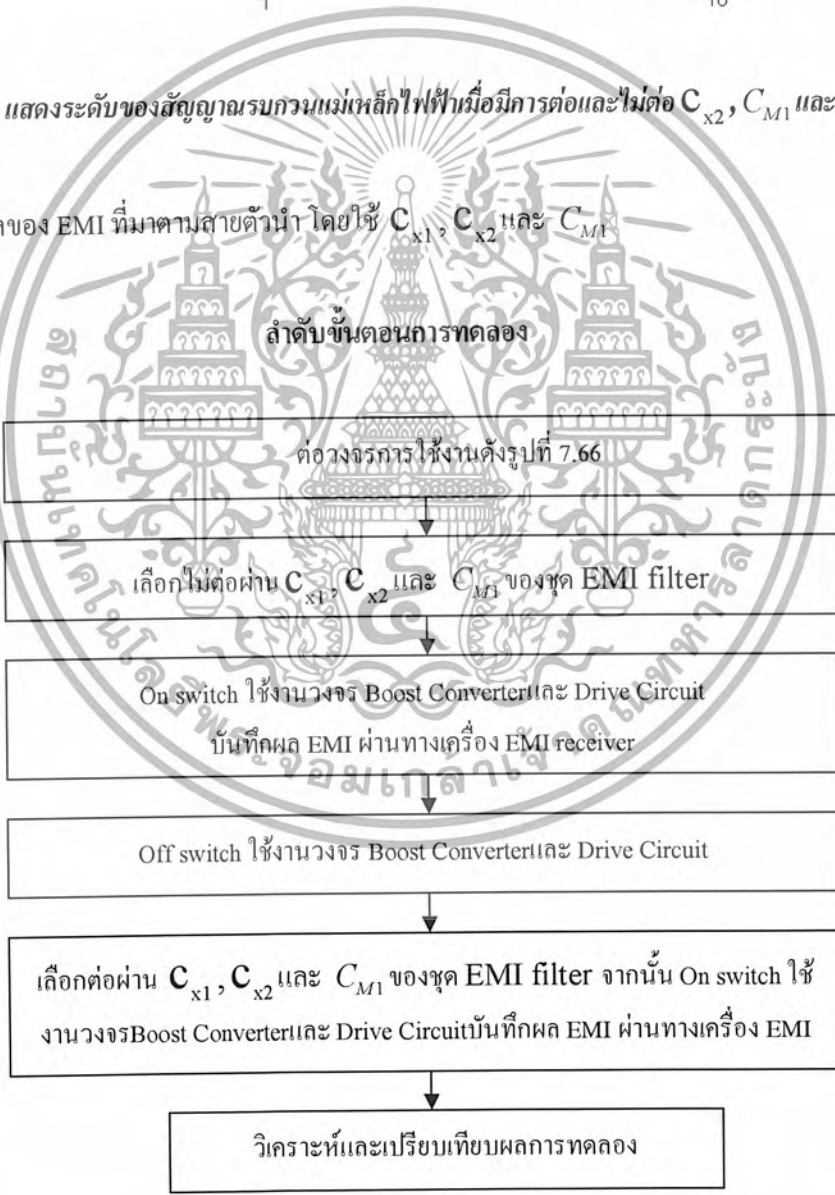
รูปที่ 7.63 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.64 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

7.4.3.11 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}

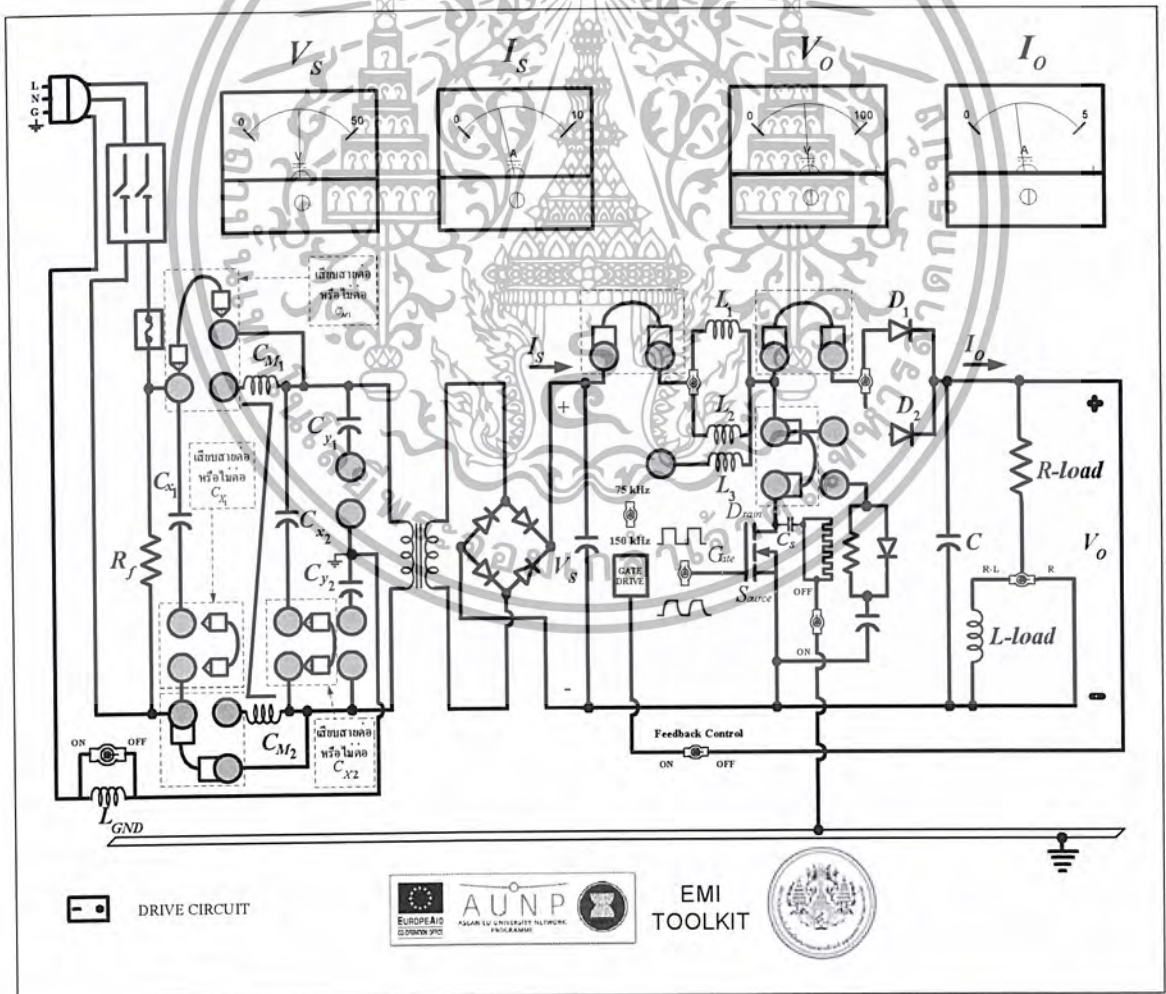


รูปที่ 7.65 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

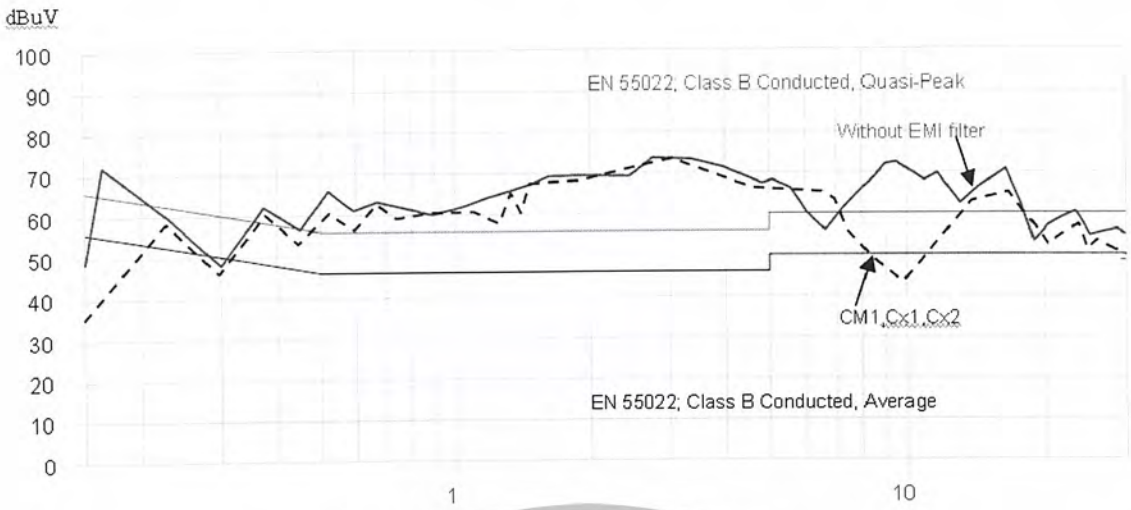
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.66 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม้มต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.66 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1} ของชุด EMI filter แต่ไม่ต่อเข้า C_{M2} ดังรูปที่ 7.66 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.66 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.67 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}

7.4.3.12 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายค่านำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

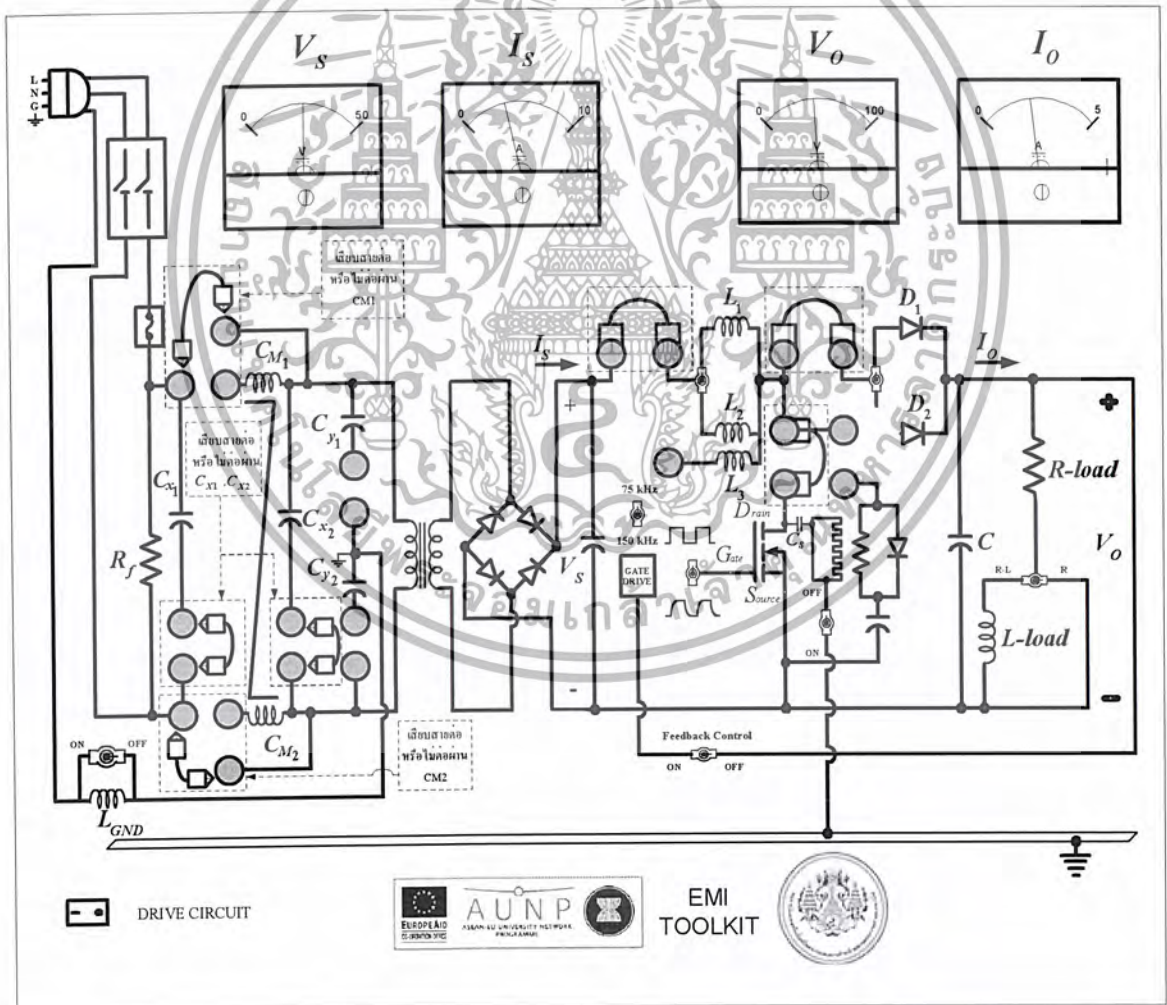


รูปที่ 7.68 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

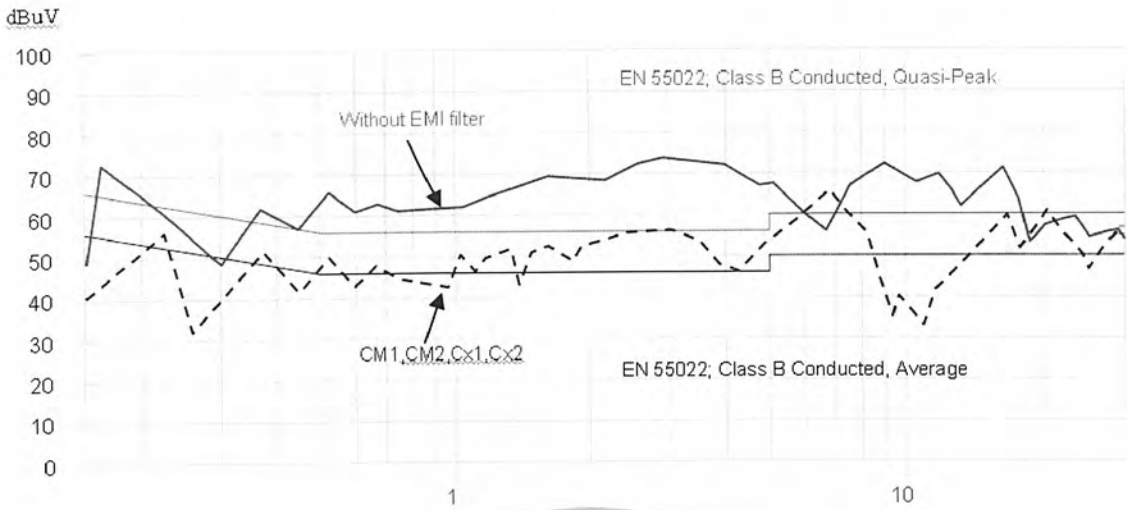
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.69 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.69 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.69 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.69 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.70 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}

7.4.3.13 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} และ C_{M1}

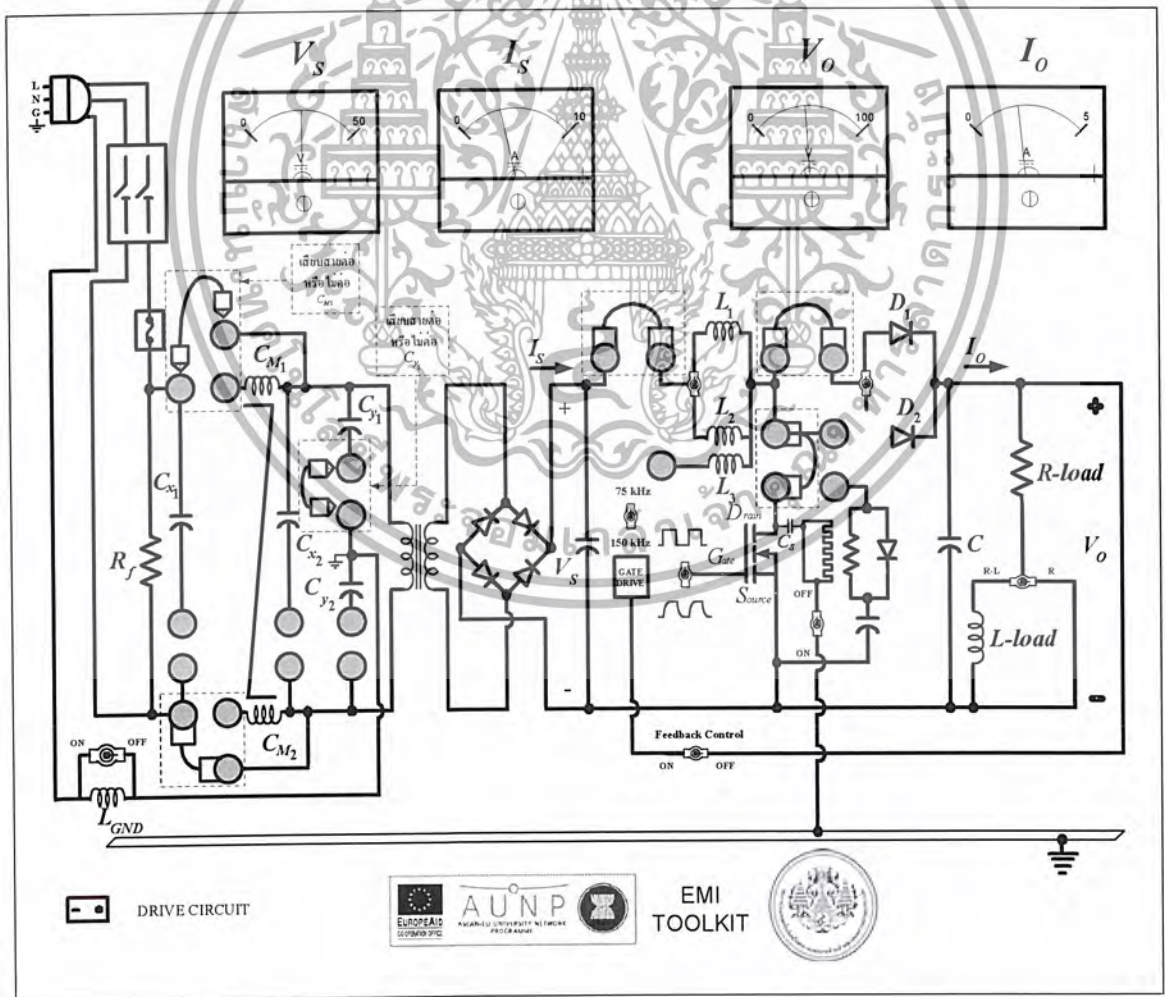


รูปที่ 7.71 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} และ C_{M1}

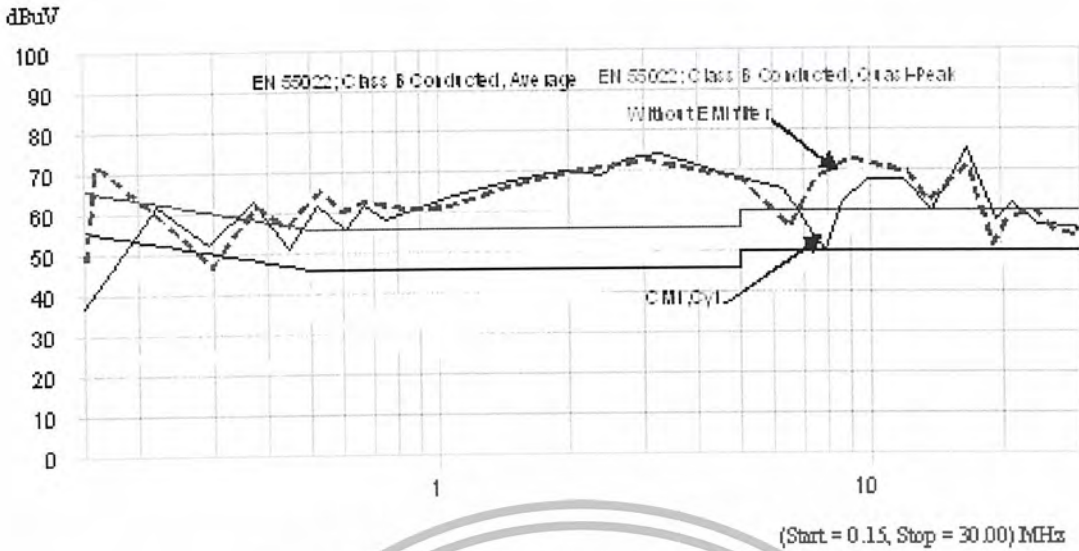
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.72 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{y1} และ C_{M1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.72 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ตั้งเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{y1} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{y1} และ C_{M1} ของชุด EMI filter แต่ไม่ต่อเข้า C_{M2} ดังรูปที่ 7.72 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ตั้งเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

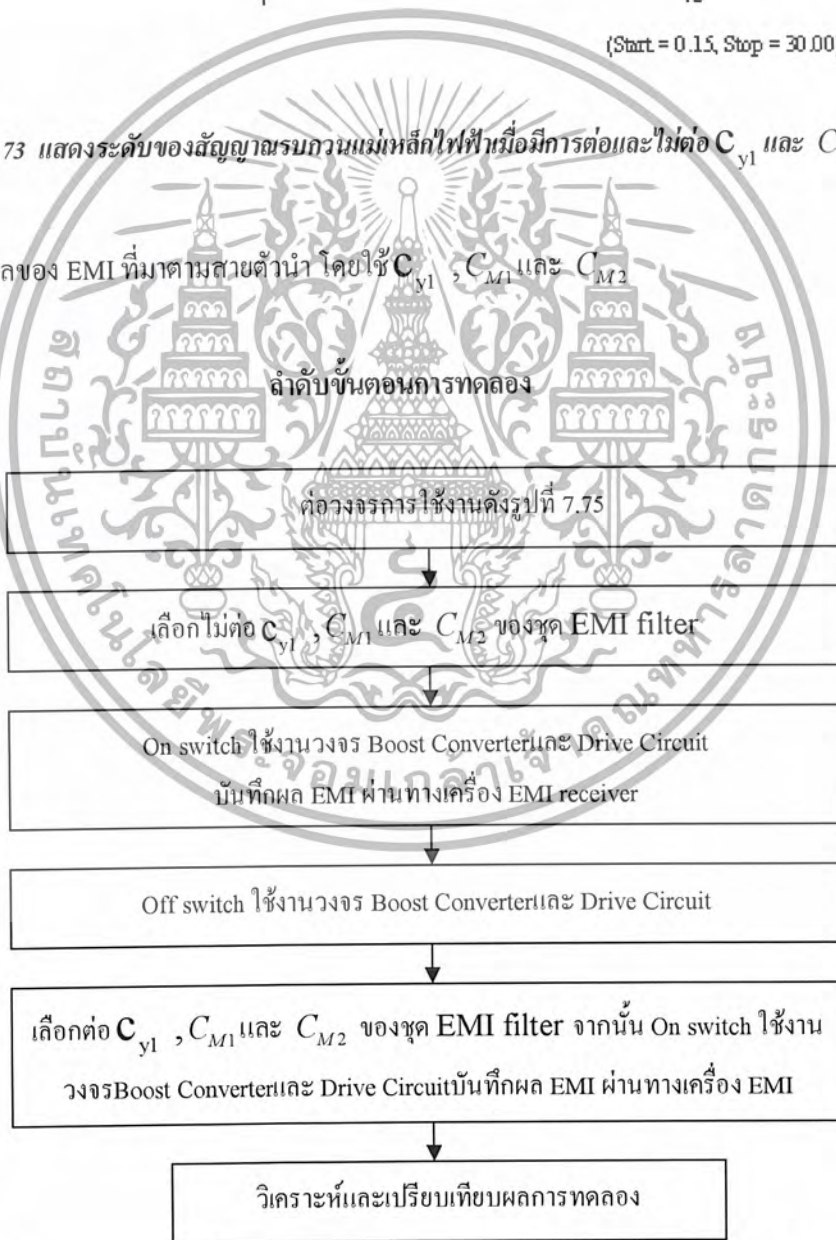


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 7.72 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1} และ C_{M1} ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



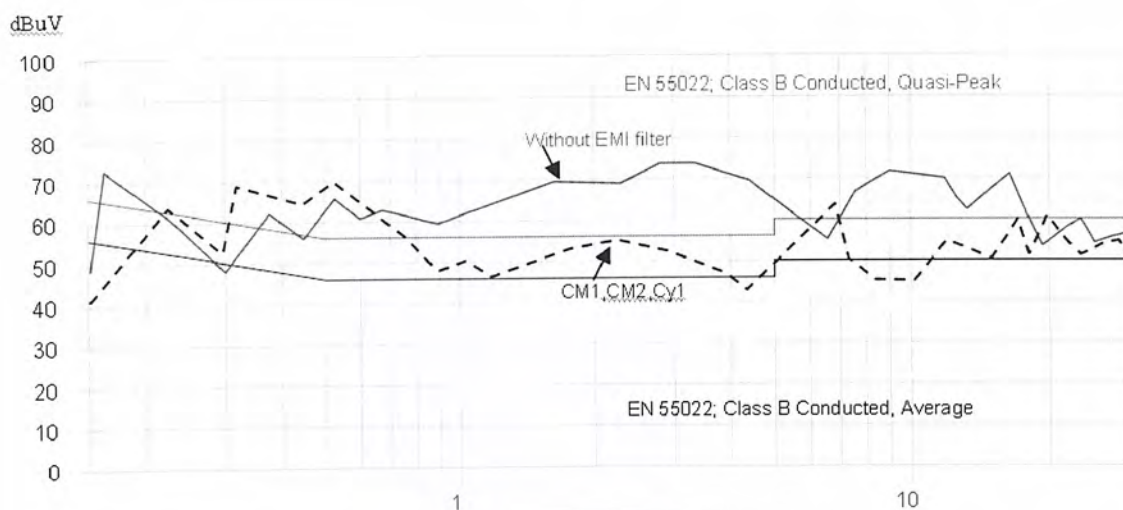
รูปที่ 7.73 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} และ C_{M1}

7.4.3.14 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}



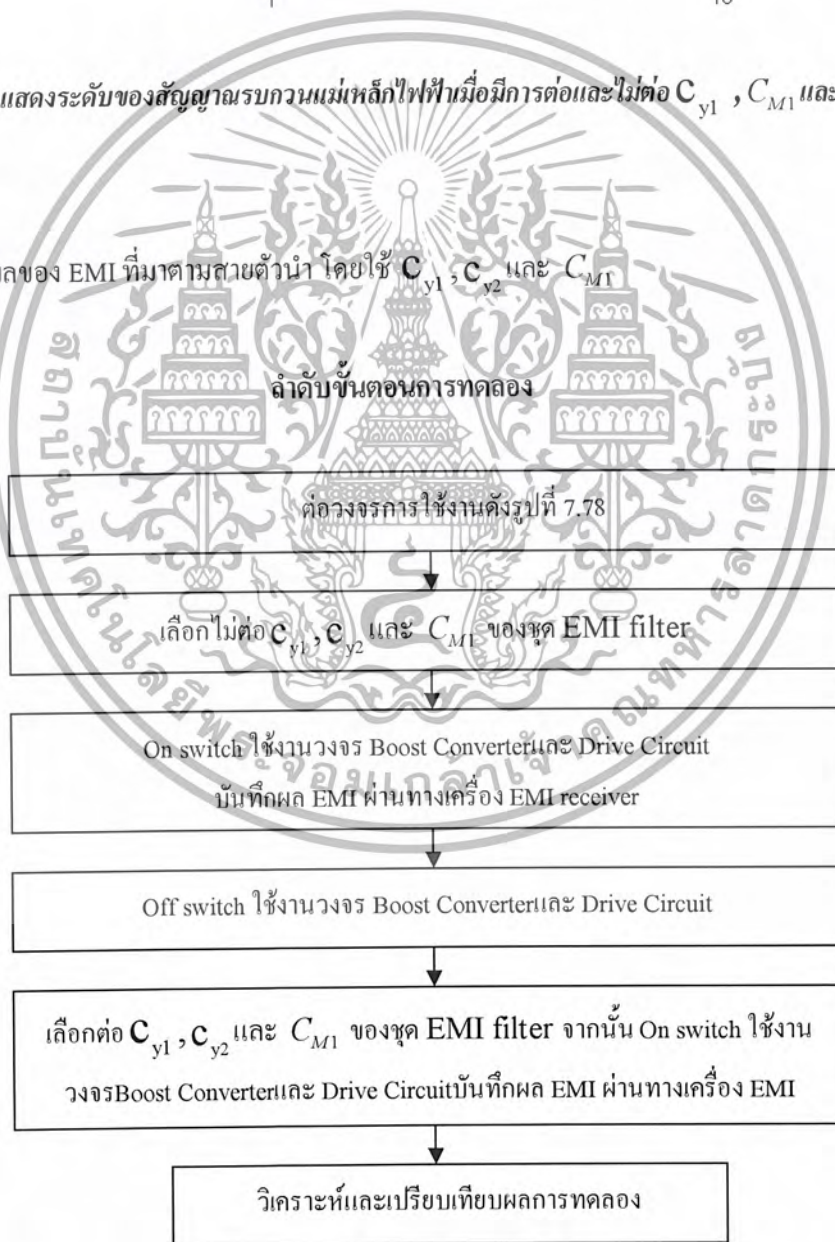
รูปที่ 7.74 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.76 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}

7.4.3.15 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}

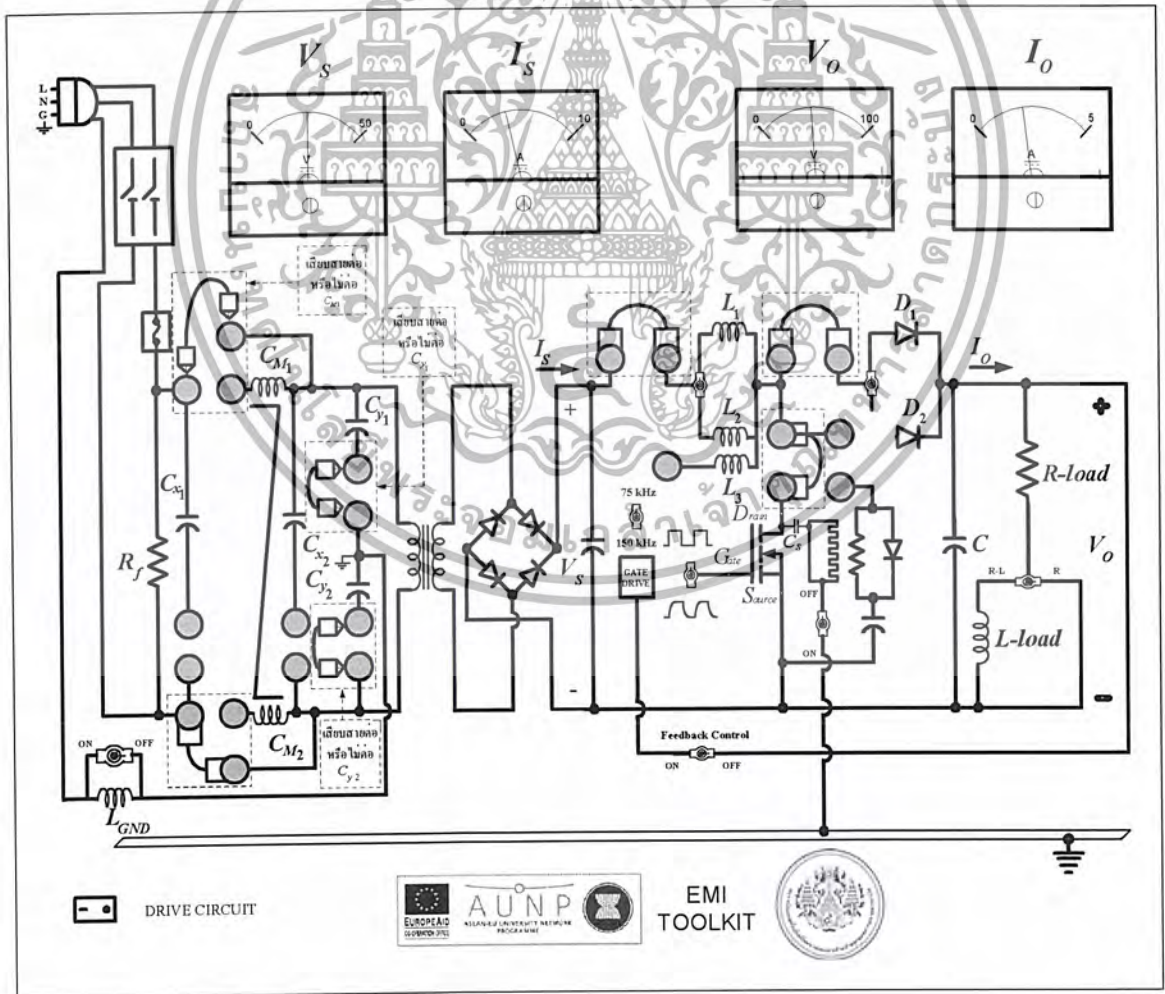


รูปที่ 7.77 แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}

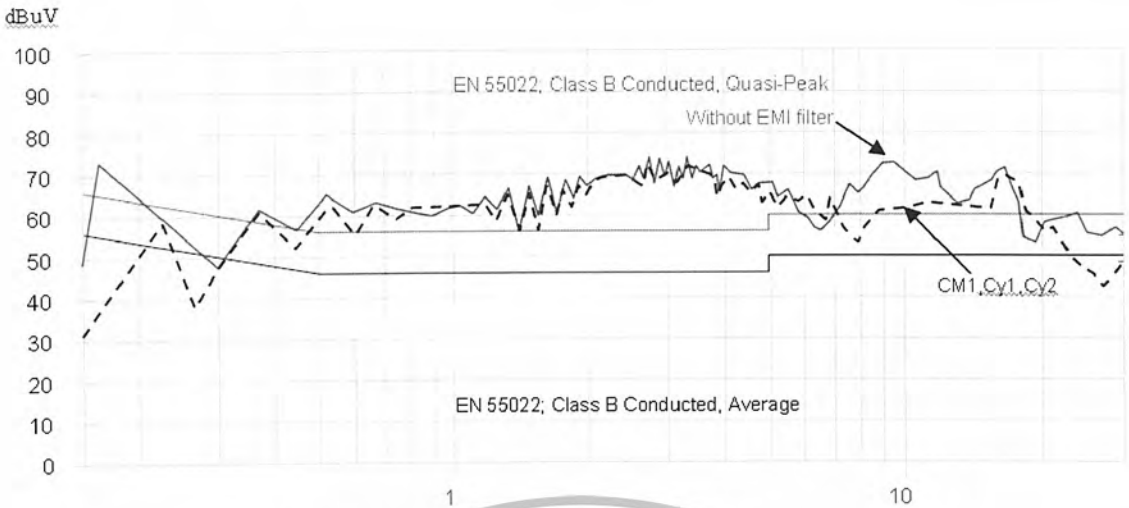
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.78 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.78 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งาน C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1} ของชุด EMI filter แต่ไม่ต่อเข้า C_{M2} ดังรูปที่ 7.78 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022

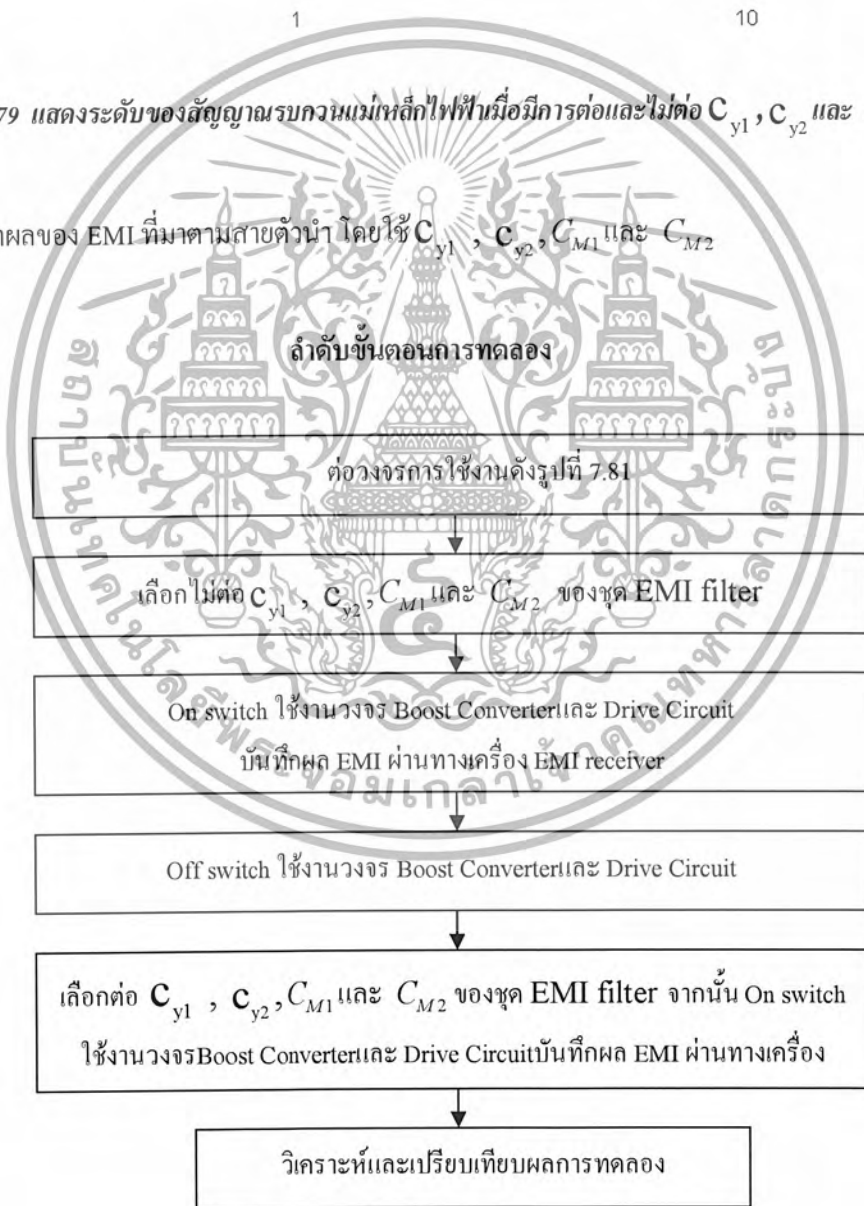


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 7.78 แสดงหน้าที่การใช้งาน C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1} ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.79 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}

7.4.3.16 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}

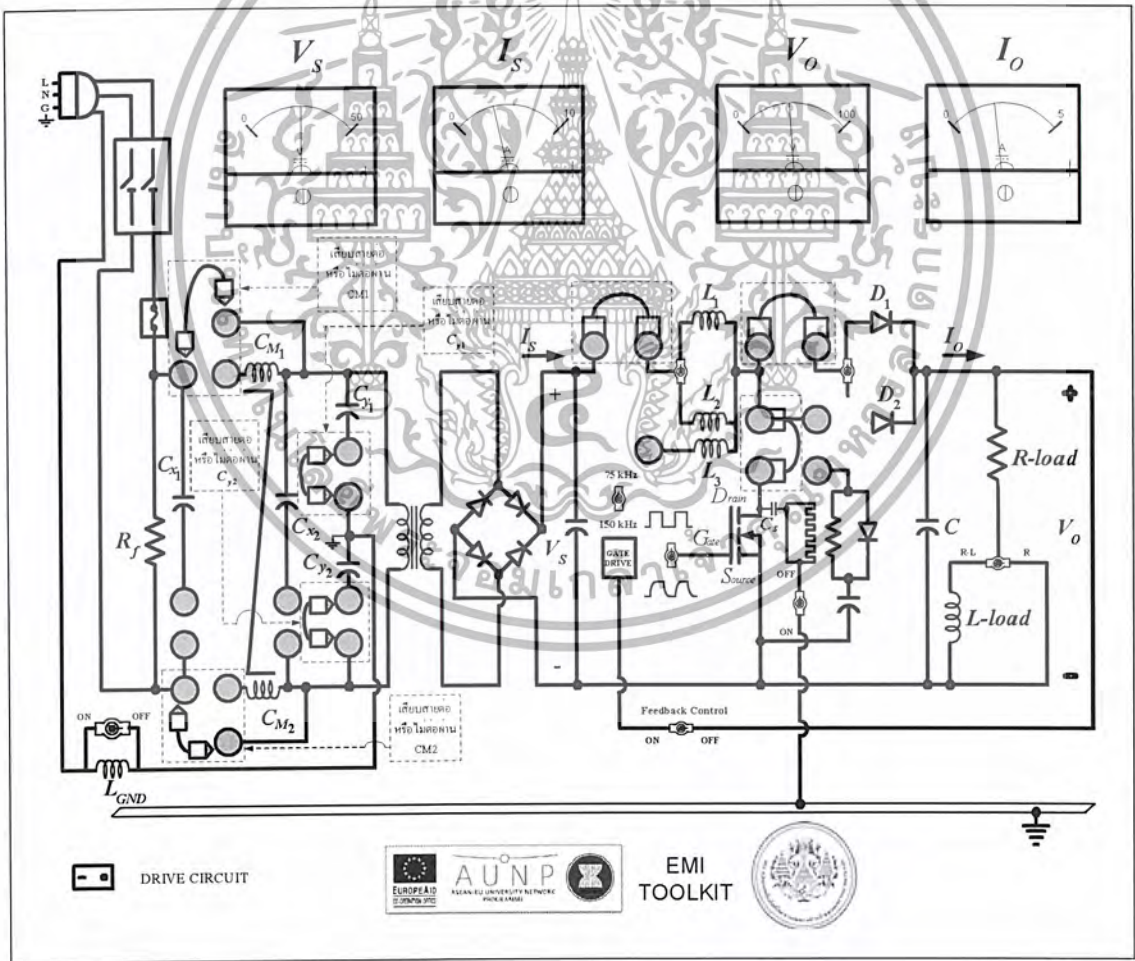


รูปที่ 7.80 แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

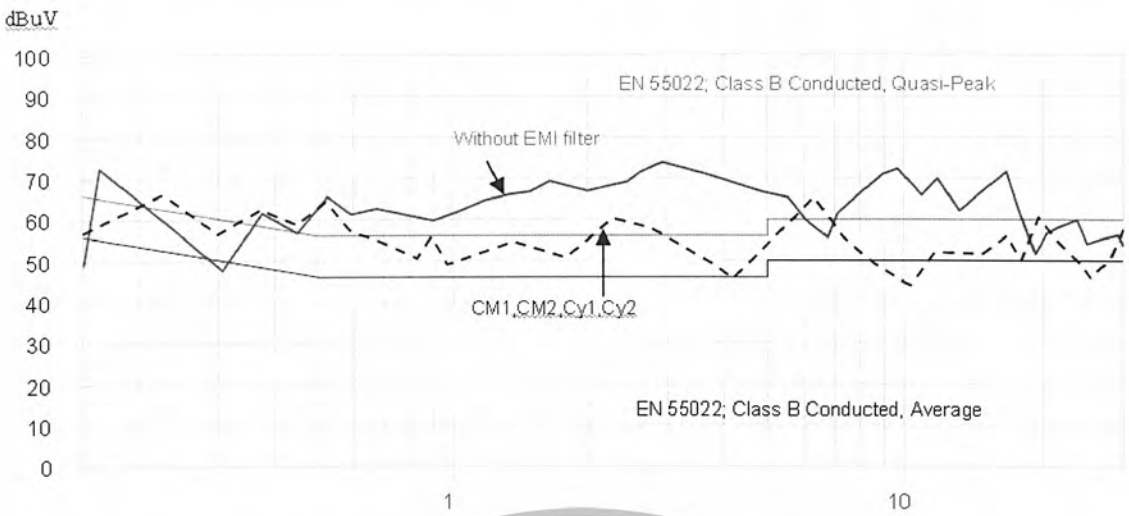
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.81 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องต่อเข้า C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.81 จากนั้นทำการ On switch ใช้งาน วงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งาน วงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานเข้า C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.81 แล้วทำการ On switch ใช้งาน วงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.81 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.82 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}

7.4.3.17 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} และ C_{y1}

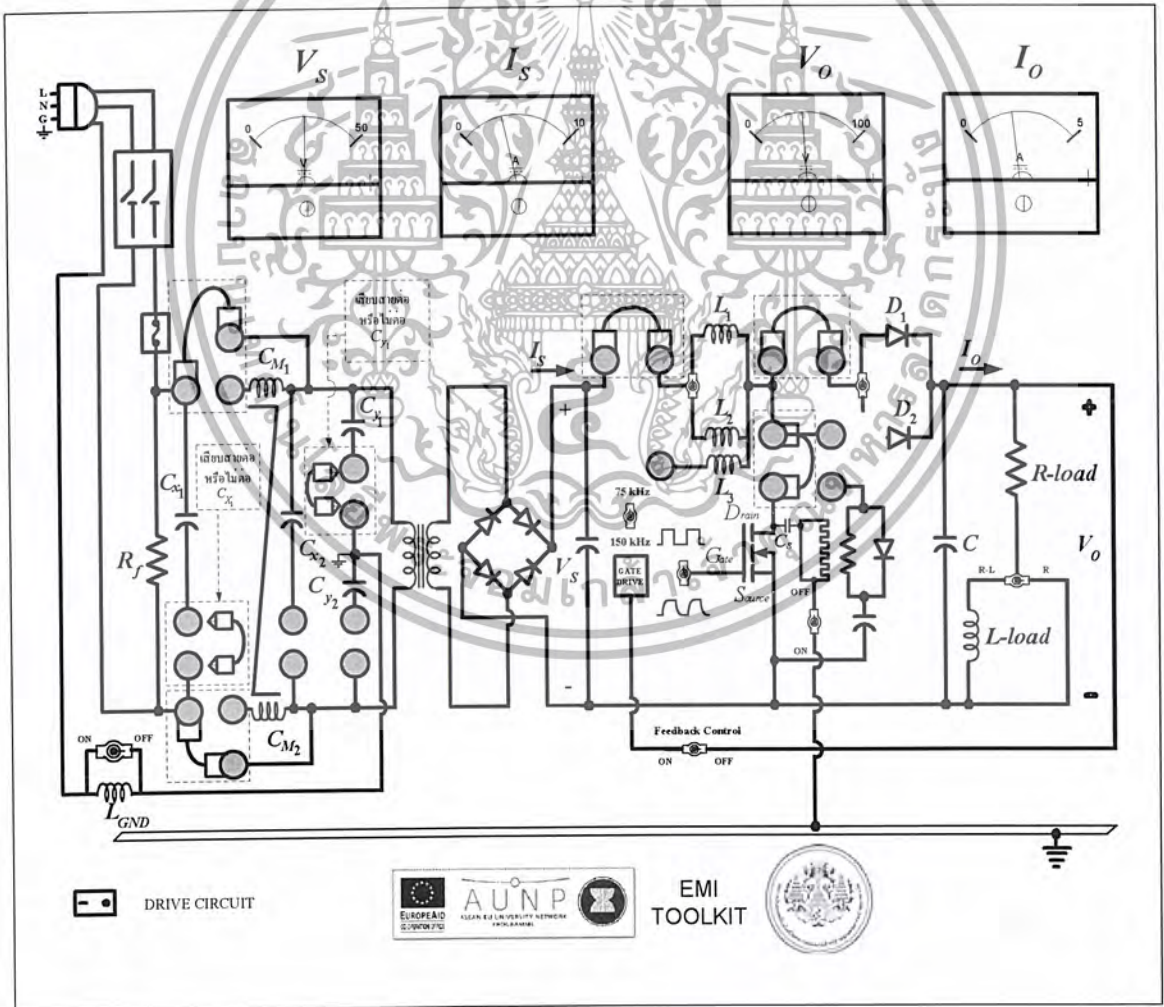


รูปที่ 7.83 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} และ C_{y1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

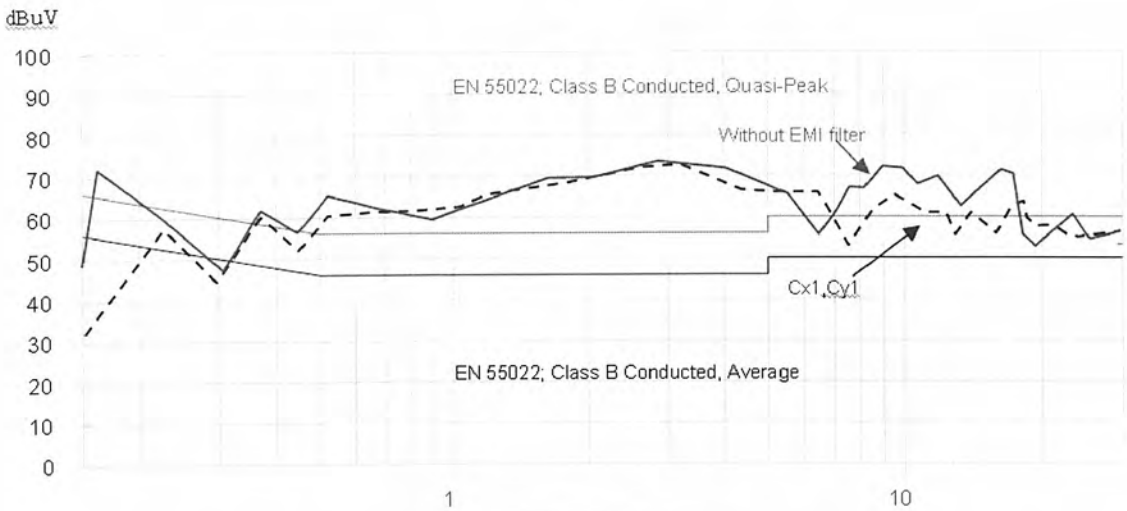
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.84 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} และ C_{y1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{x1} , C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.84 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} และ C_{y1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} และ C_{y1} ของชุด EMI filter แต่ไม่ต้องต่อเข้า C_{M1} และ C_{M2} ดังรูปที่ 7.84 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.84 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} และ C_{y1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.85 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} และ C_{y1}

7.4.3.18 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}

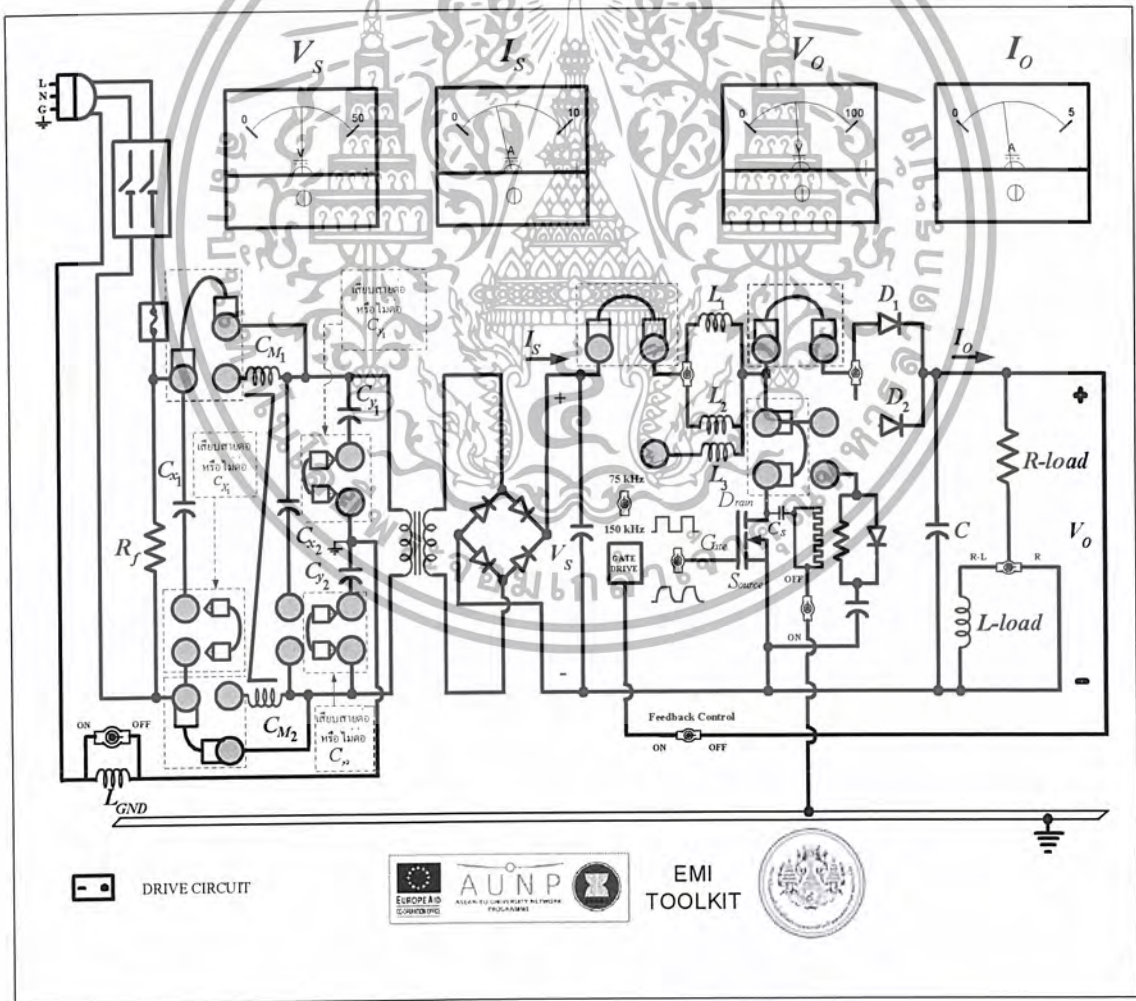


รูปที่ 7.86 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

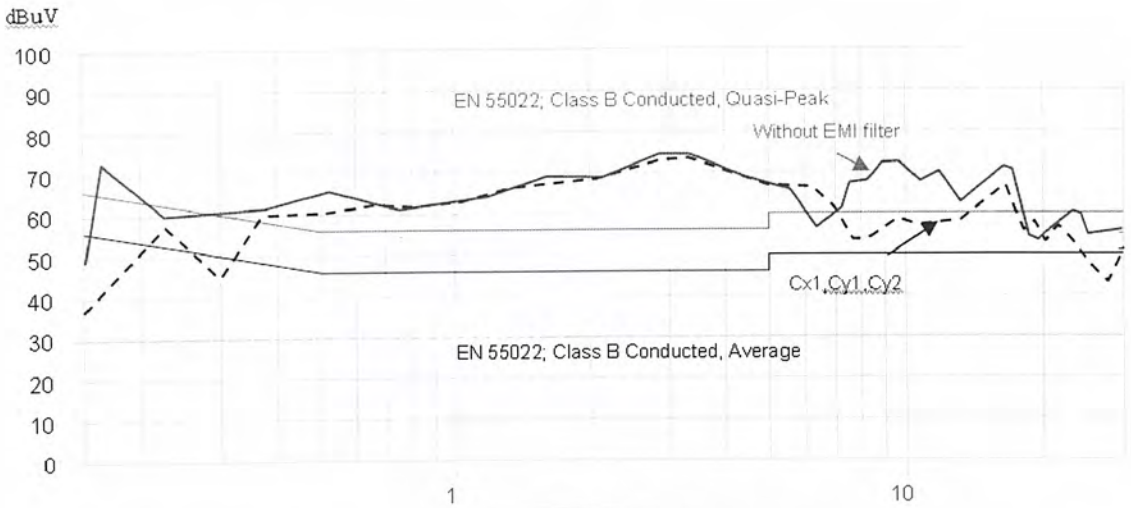
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.87 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{x1} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.87 จากนั้นทำการ On switch ใช้งาน วงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งาน วงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.87 แล้วทำการ On switch ใช้งาน วงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.87 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.88 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}

7.4.3.19 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}

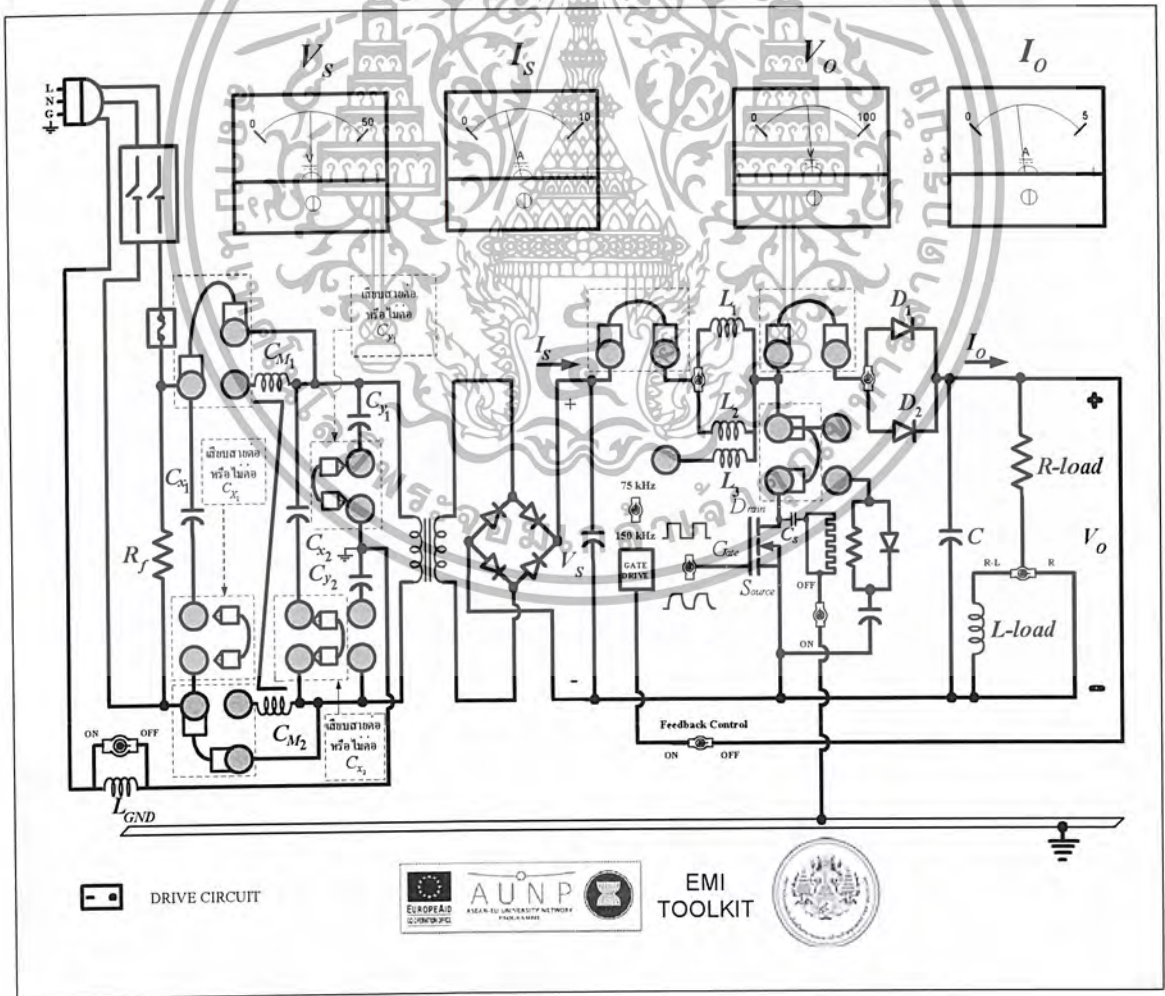


รูปที่ 7.89 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}

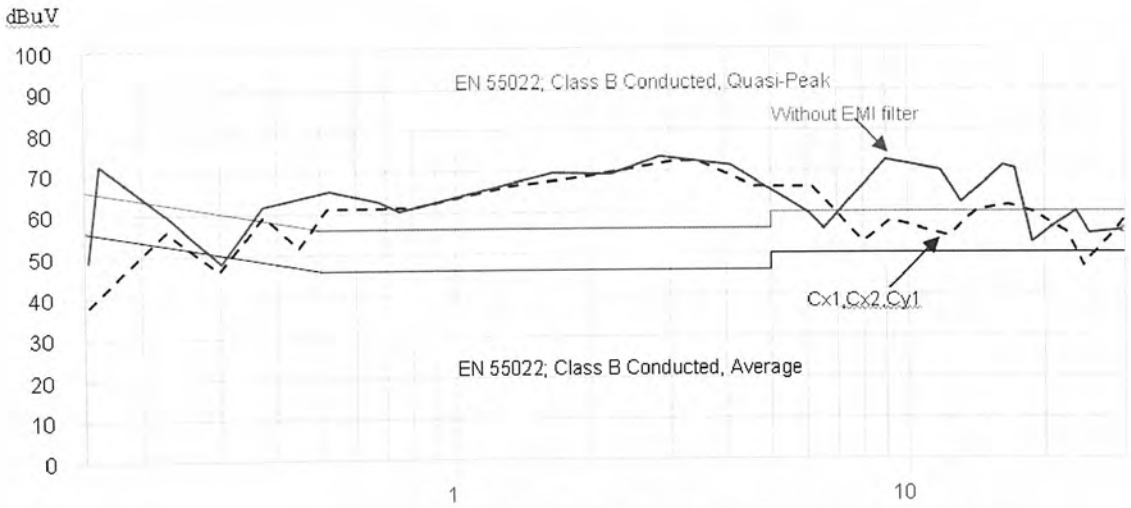
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.90 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.90 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.90 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 7.90 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1} ไม่ควรแก้ไขโดยไม่ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.91 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}

7.4.3.20 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายต้านำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}

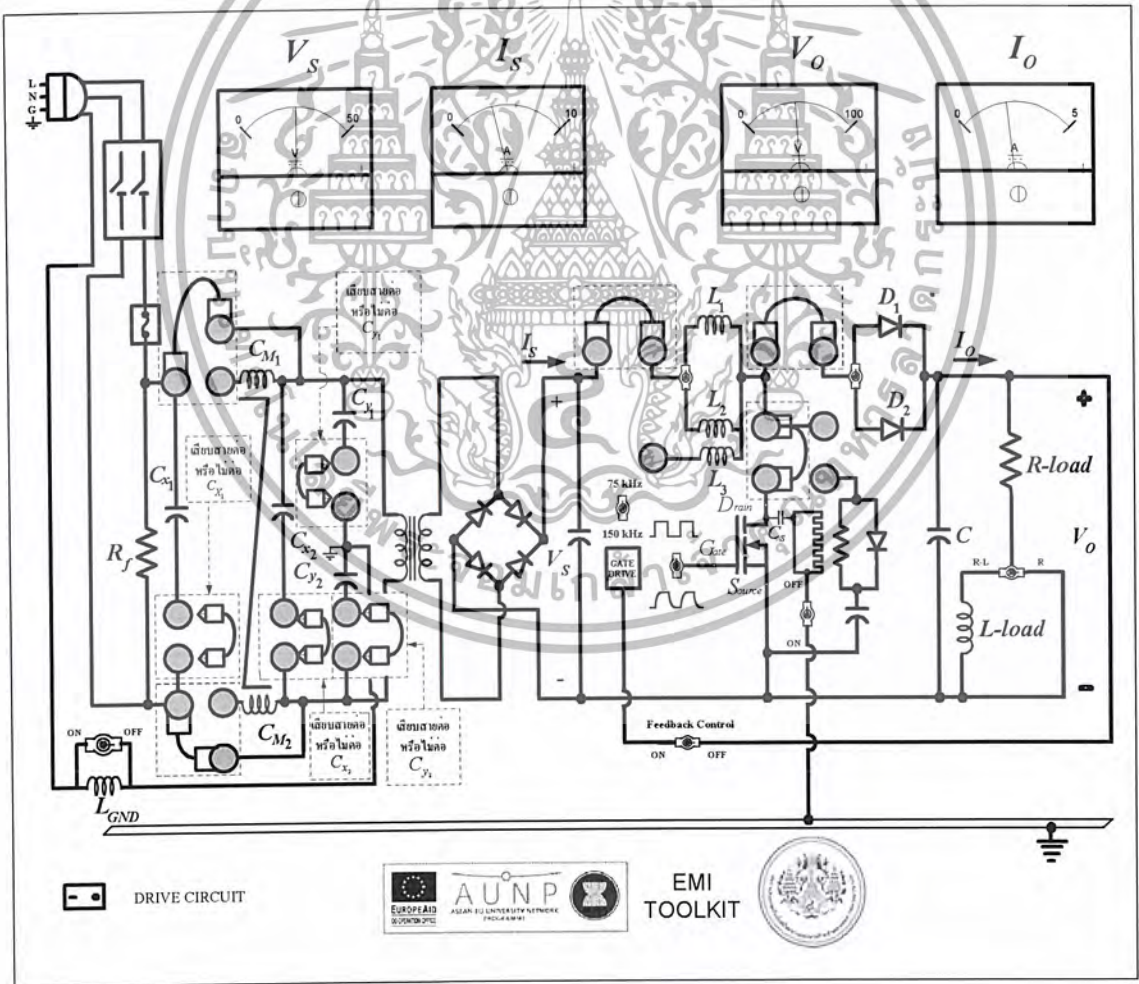


รูปที่ 7.92 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์โดยที่รณรงค์เพื่อสิทธิการแก้ไขในกรณีฉุกเฉิน ไม่ใช่วาระโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น' อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

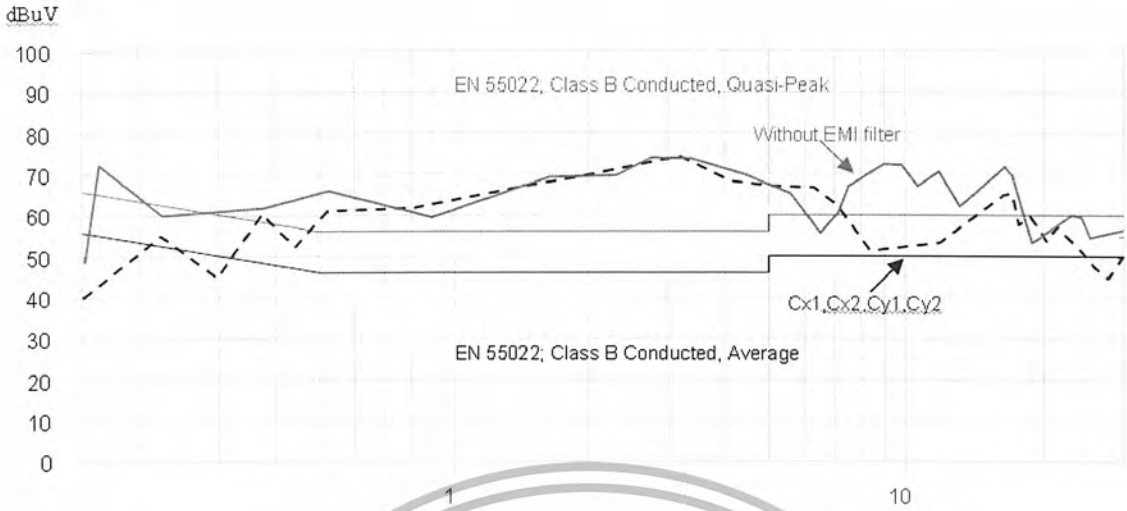
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.93 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.93 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.93 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



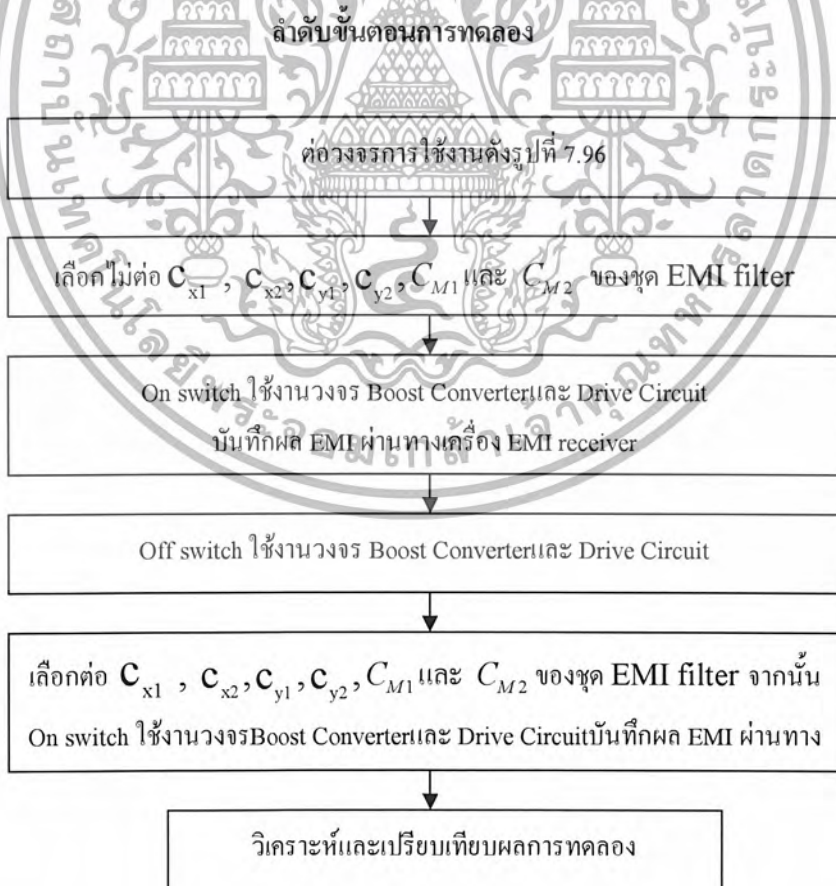
รูปที่ 7.93 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.94 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}

7.4.3.21 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายค้ำนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}

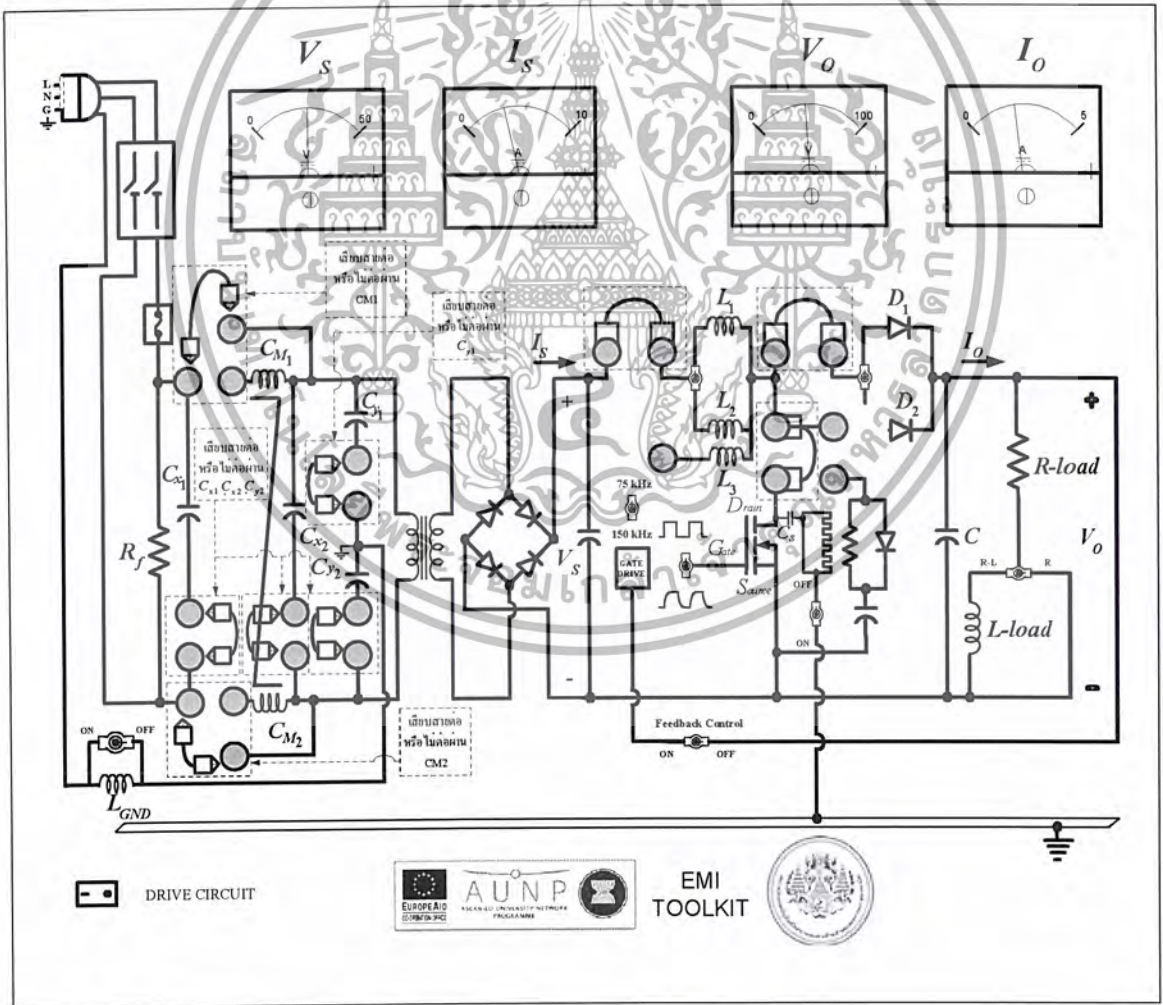


รูปที่ 7.95 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

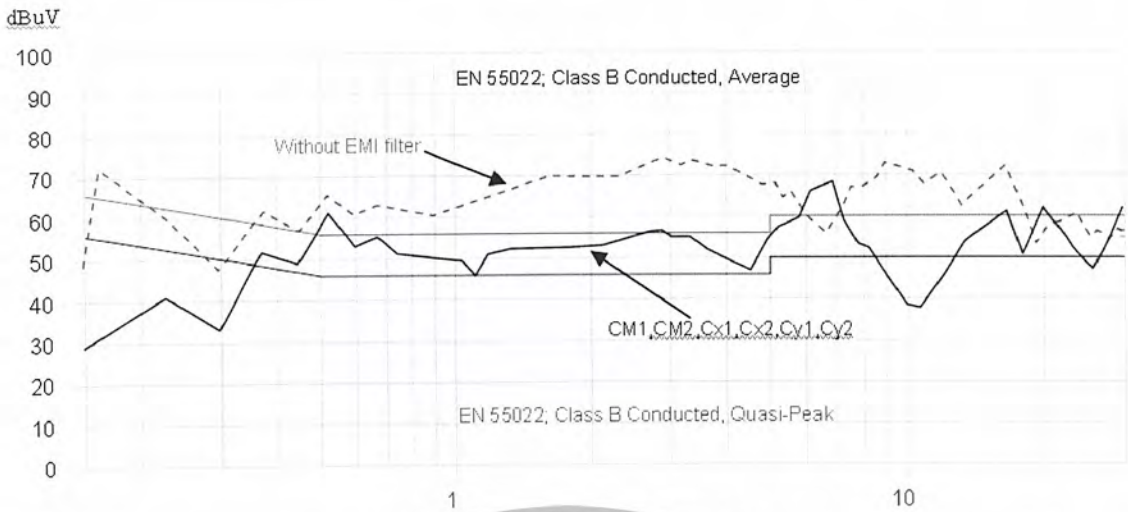
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.96 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} โดยไม่ต้องเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.96 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสายใช้งานต่อเข้า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.96 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.96 แสดงหน้าปัดการใช้งาน C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.97 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนของ EMI Filter

ในโหมดของสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างจะอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 0.15-1MHz โดยสังเกตได้จากกราฟแสดงผลจะเห็นว่าตัวเก็บประจุ C_{x1} , C_{x2} ทำให้สัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างลดลงและ Common mode choke (C_{M1} , C_{M2}) ยังสามารถลดสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่างได้ด้วย

ในโหมดของสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมจะอยู่ในย่านความถี่ตั้งแต่ประมาณ 1MHz เป็นต้นไปในส่วนสัญญาณโหมดผลรวมจะเห็นว่าตัวเก็บประจุ C_{y1} , C_{y2} และ Common mode choke (C_{M1} , C_{M2}) จะช่วยลดสัญญาณโหมดผลรวมได้เป็นอย่างดี

7.4.3.22 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ L_{GND}

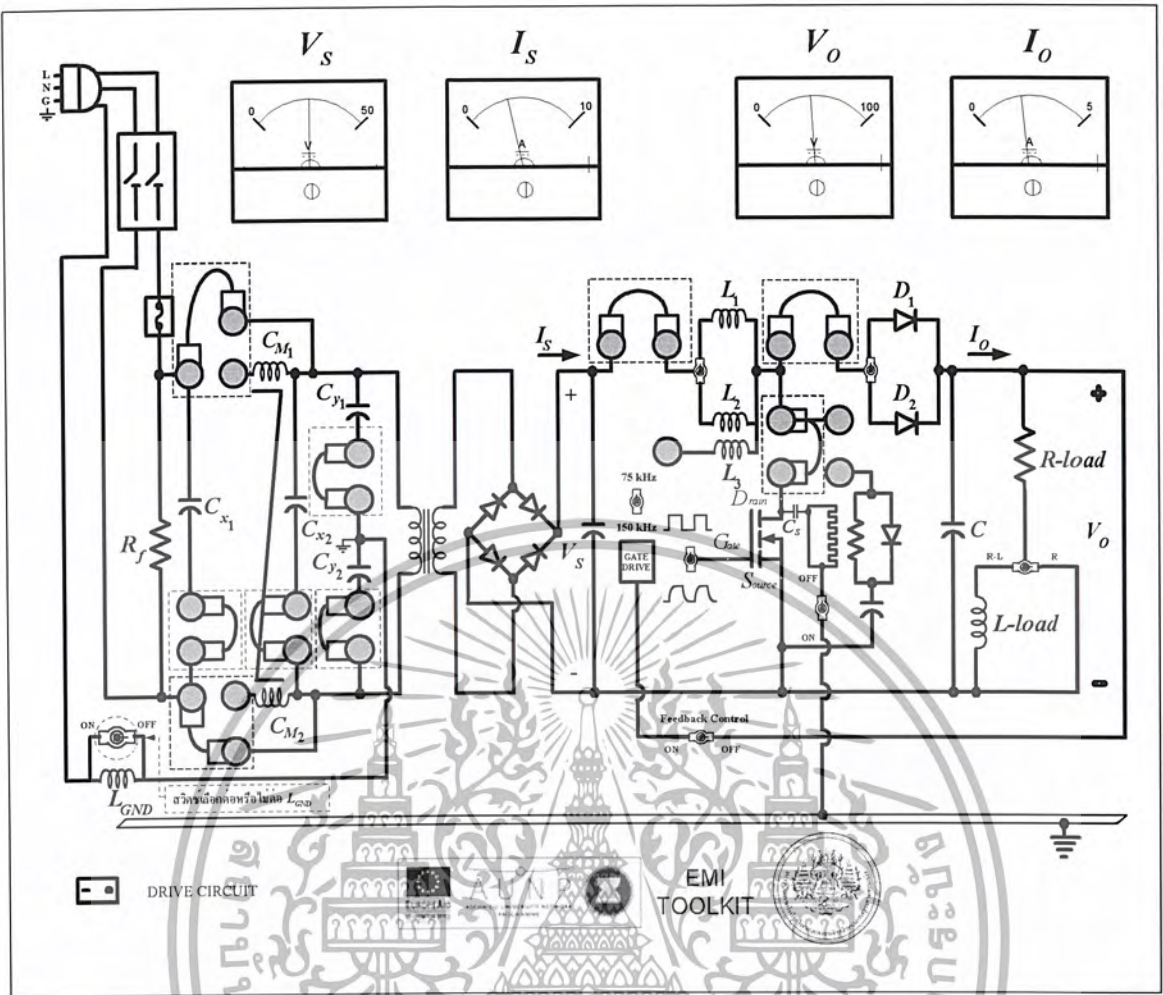
ลำดับขั้นตอนการทดลอง



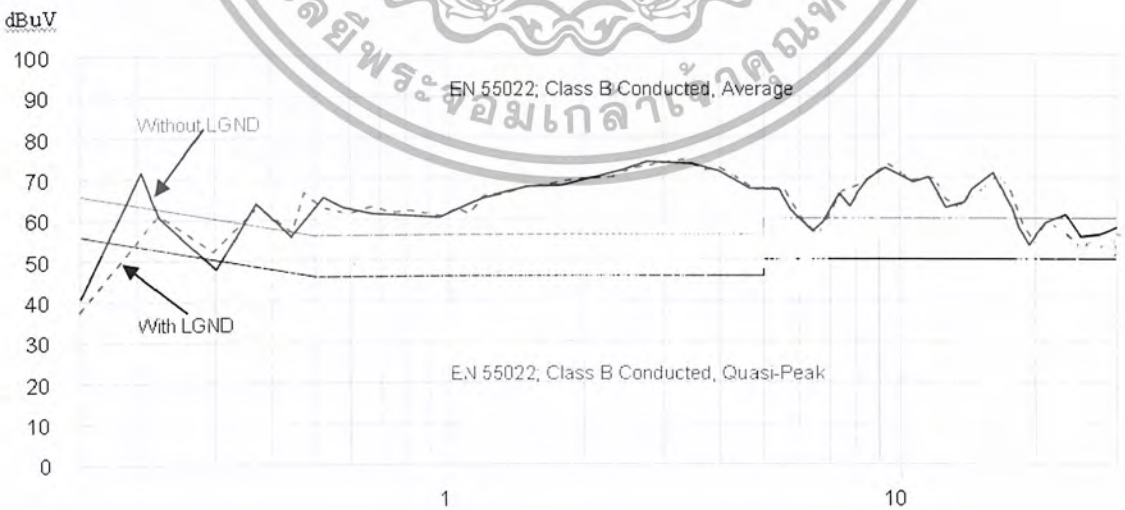
รูปที่ 7.98 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน L_{GND}

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.99 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ L_{GND} โดยสวิตซ์ใช้งาน ดังรูปที่ 7.99 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อ L_{GND} เข้ากับวงจรการทดลองโดยสวิตซ์ใช้งาน ดังรูปที่ 7.99 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



รูปที่ 7.99 แสดงหน้าปัดการใช้งาน L_{GND}



รูปที่ 7.100 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อ L_{GND}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทดลองต่อ L_{GND} เข้ากับกราวด์ของระบบจะเห็นว่าสัญญาณรบกวน EMI จะมีค่าลดลงเนื่องจากมีกระแส common mode ไหลไปหักล้างจึงส่งผลให้สัญญาณรบกวน EMI มีค่าลดลง

7.4.4 THD อ้างอิงมาตรฐาน IEC-1000-3-2

ศึกษาผลตัวเหนี่ยวนำของวงจร Boost Converter ที่อยู่ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DMC mode) สังเกตค่า THD และ EMI ที่มาตามสายตัวนำ

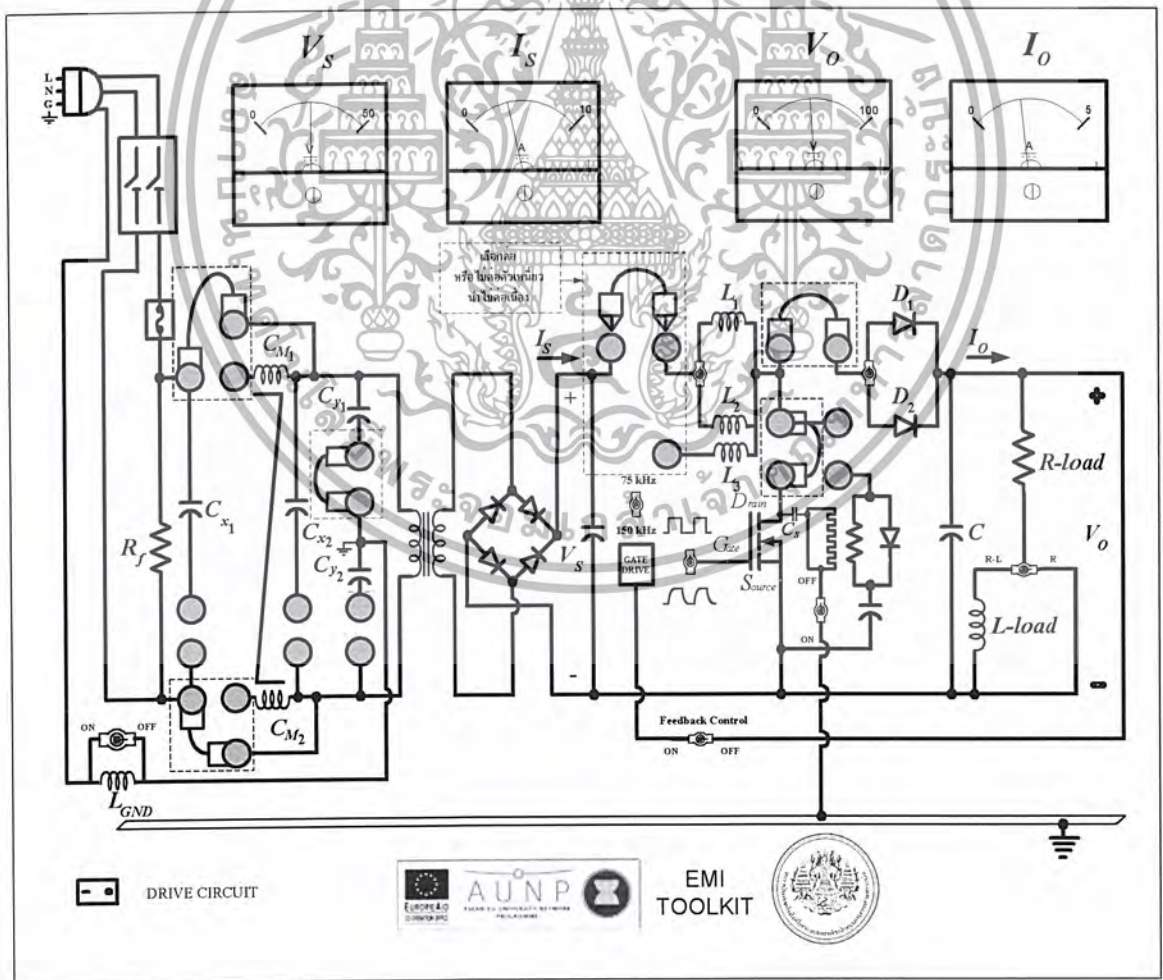


รูปที่ 7.101 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการต่อและไม่ต่อใช้งาน ตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง

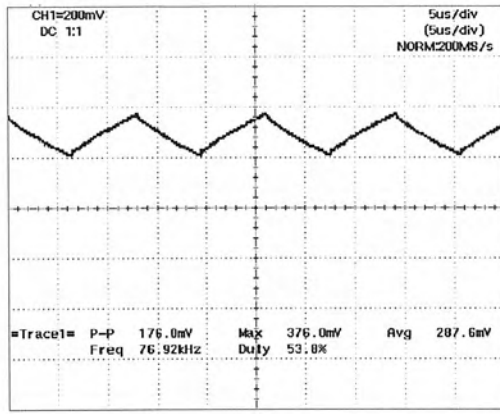
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

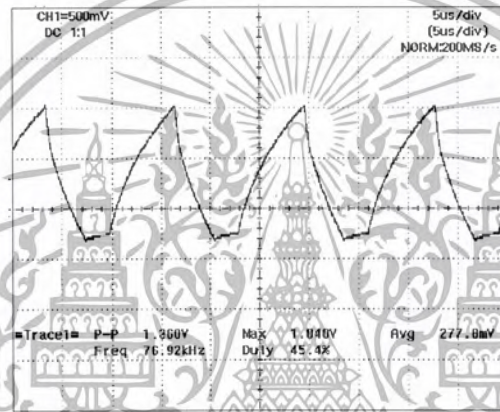
1. ทำการต่อวงจรโดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.102 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกต่อตัวเหนี่ยวนำกระแสต่อเนื่อง (L_1 หรือ L_2) โดยเสียบสายใช้งานและไม่ต้องเสียบสายผ่าน C_{M1} และ C_{M2} ของชุด EMI filter ดังรูปที่ 7.102 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลอง THD ผ่านทางเครื่อง Power Quality Analyzer และ EMI ผ่านทางเครื่อง EMI receiver ได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการต่อตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง (L_3) เข้ากับวงจรการทดลองโดยเสียบสาย ดังรูปที่ 7.102 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลอง THD ผ่านทางเครื่อง Power Quality Analyzer และ EMI ผ่านทางเครื่อง EMI receiver ได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)



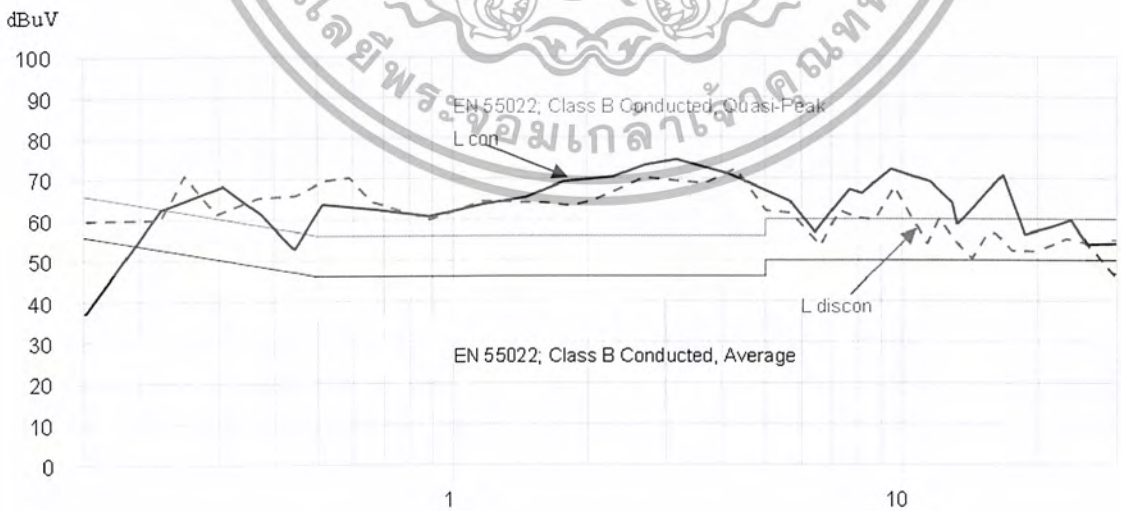
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.103 แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโหมดกระแสต่อเนื่อง

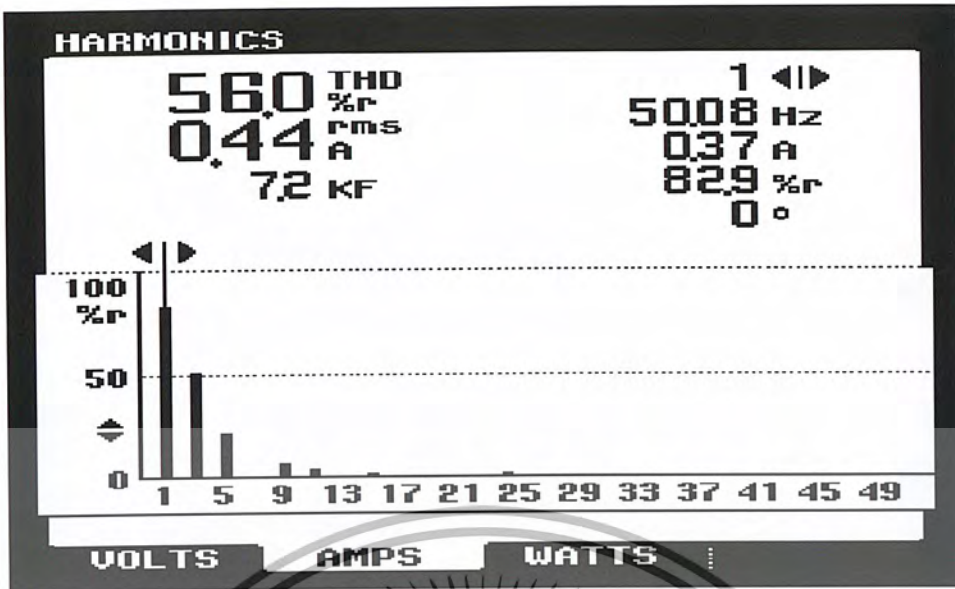


รูปที่ 7.104 แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

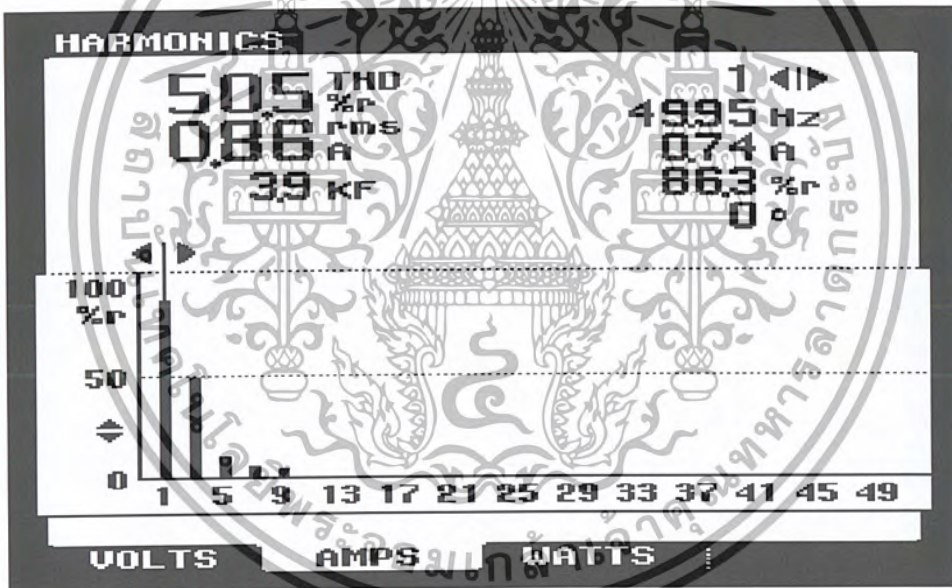


รูปที่ 7.105 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีการต่อและไม่ต่อตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.106 แสดงกระแส Harmonics เมื่อไม่ต่อตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 7.107 แสดงกระแส Harmonics เมื่อต่อตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่อง

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อใช้งานตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่องจะมีผลทำให้สัญญาณ EMI มีค่าลดลงอันเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำกระแสไม่ต่อเนื่องจะเป็นตัวปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(PFC)โดยอัตโนมัติในระบบไฟฟ้าและส่งผลให้มีค่ากระแส THD มีค่าลดลงจาก 56% ลงมาเป็น 50.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.5 FERRITESHIELD

ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้เฟอร์ไรต์บีส(ferrite bead)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

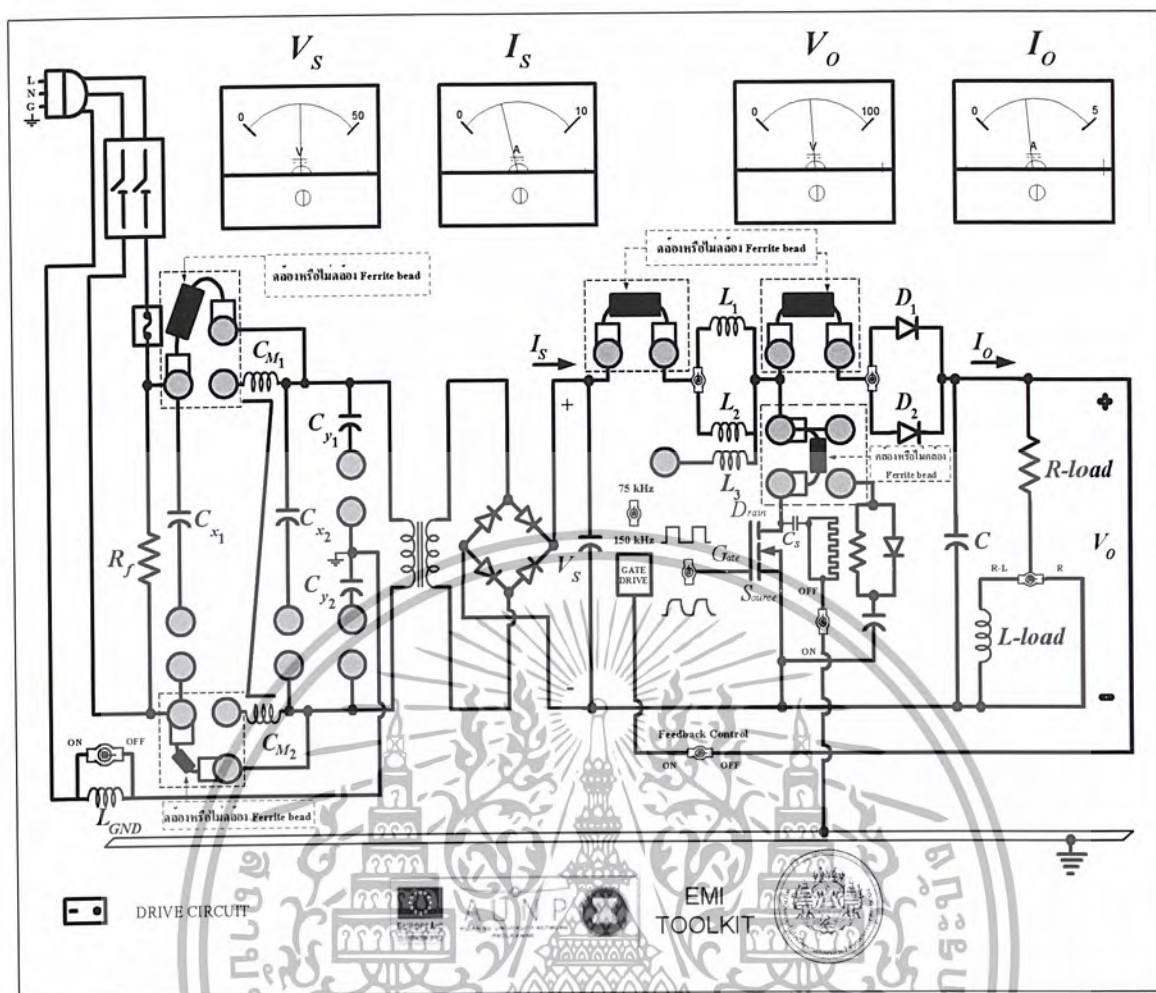


รูปที่ 7.108 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลองโดยการใช้และไม่ใช้งาน ferrite beads

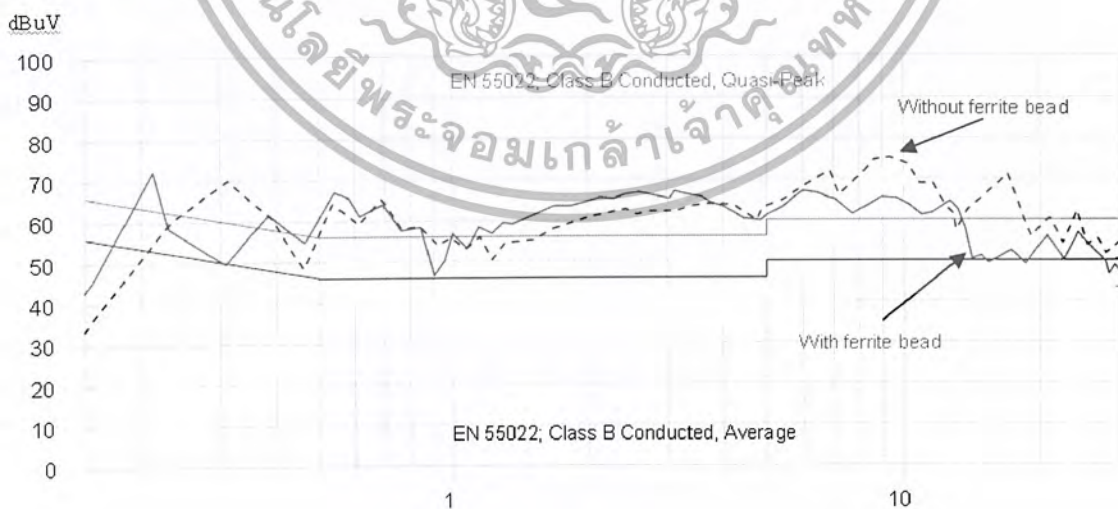
รายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจร โดยเสียบสายใช้งานดังรูปที่ 7.109 และเช็ควงจรก่อนการทดลอง
2. ตอนนี้เราเลือกไม่ต่อ ferrite beads โดยไม่ต้องคล้อง ferrite beads ที่สายเสียบใช้งาน ดังรูปที่ 7.109 จากนั้นทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
3. ทำการ Off switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit ทำการคล้อง ferrite beads ที่สายเสียบใช้งาน ดังรูปที่ 7.109 แล้วทำการ On switch ใช้งานวงจร Boost Converter และ Drive Circuit สังเกตและบันทึกผลการทดลองได้จากเครื่อง EMI receiver ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน CISPR 22 (EN 5022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.109 แสดงหน้าปัดการใช้งาน ferrite beads



รูปที่ 7.110 แสดงระดับของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อคล้องหรือไม่คล้องสายเสียบด้วย ferrite beads

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อคล้อง ferrite beads ที่สายเสียบใช้งานในวงจรการทดลองจะเห็นว่าผลทำให้ สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI) มีค่าลดลงชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 5-30MHz อันเนื่องมาจาก ferrite beads เป็นแกนเหล็กความถี่สูงมีคุณสมบัติเป็นค่าความเหนี่ยวนำที่สามารถรองความถี่สูงแต่ ความถี่ต่ำสามารถผ่านได้จึงทำให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูงมีค่าลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

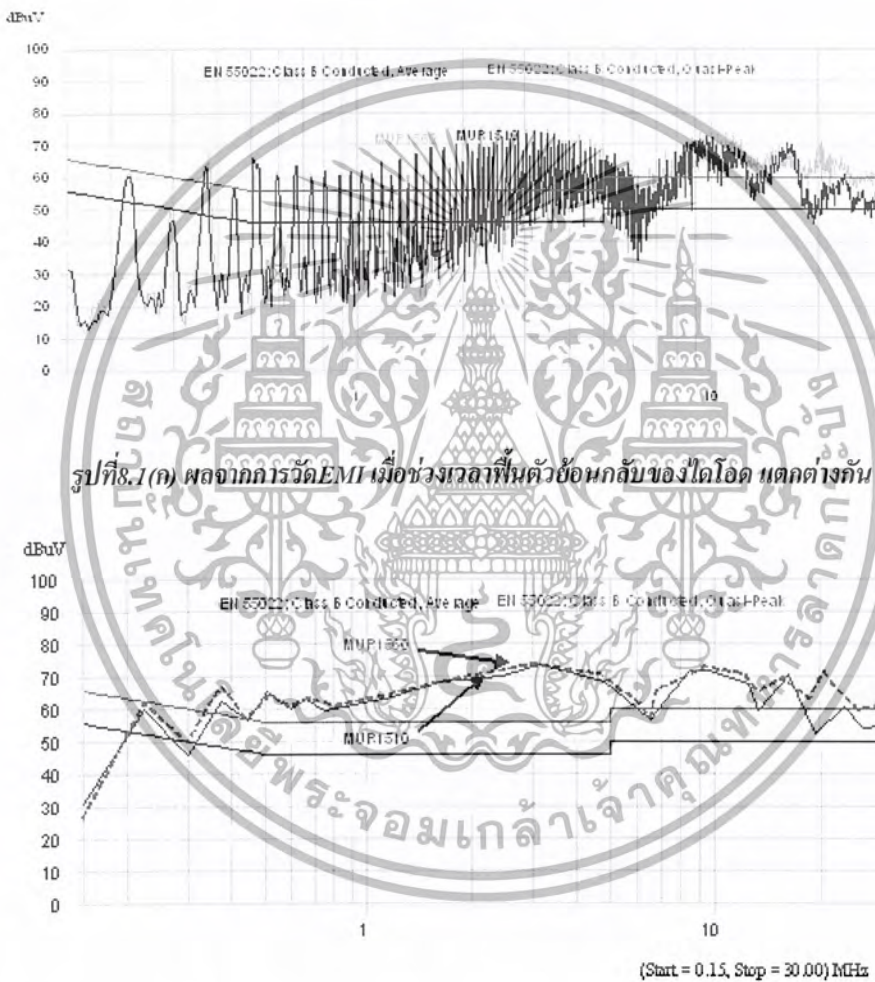
บทที่ 8

สรุปผลการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

8.1 Component มี 2 ส่วนคือ

8.1.1 Active device

8.1.1.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอด (Diode reverse – recovery time) แตกต่างกัน



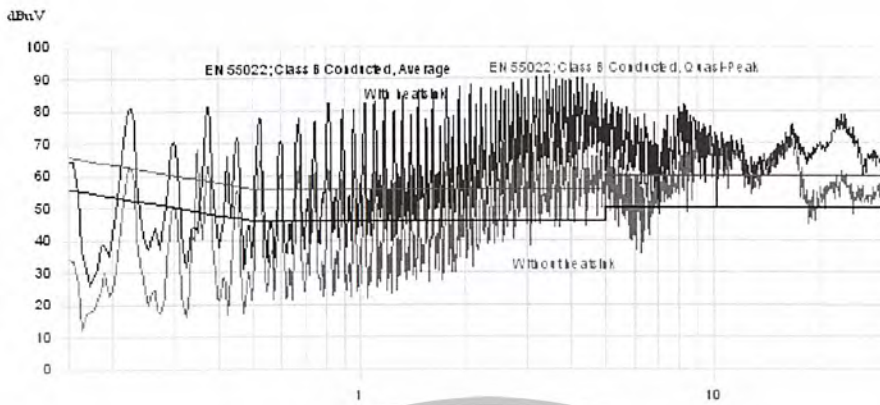
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอด (Diode reverse – recovery time) แตกต่างกัน ไดโอด D1(MUR1510) ที่มีช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ 35ns จะมีส่งผลของสัญญาณรบกวน EMI น้อยกว่าไดโอด D2(MUR1560) ที่มีช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ 60ns ในย่านความถี่ประมาณ 10-30MHz แต่จะส่งผลมากกว่าในช่วงประมาณ 0.1-0.3MHz ซึ่งเกิดจากช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักจึงไม่ค่อยเห็น

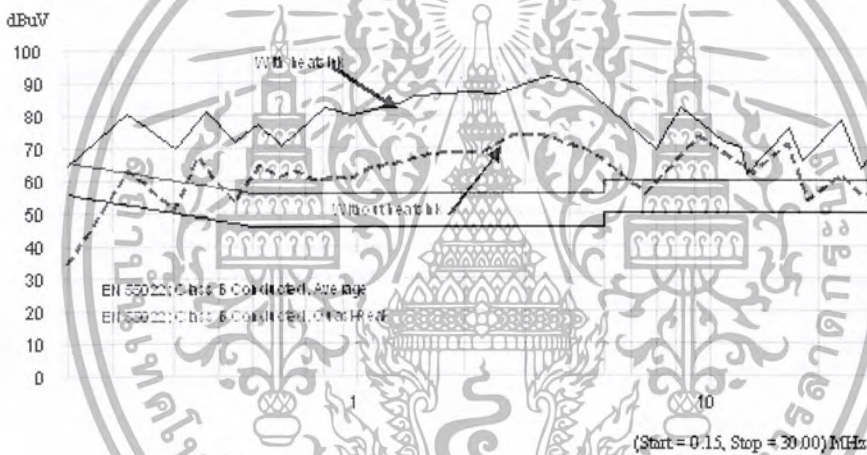
ผลเด่นชัดเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.1.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยต่อหรือไม่ต่อ Heatsink ลงกราวด์



รูปที่ 8.2(ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ Heatsink ลงกราวด์



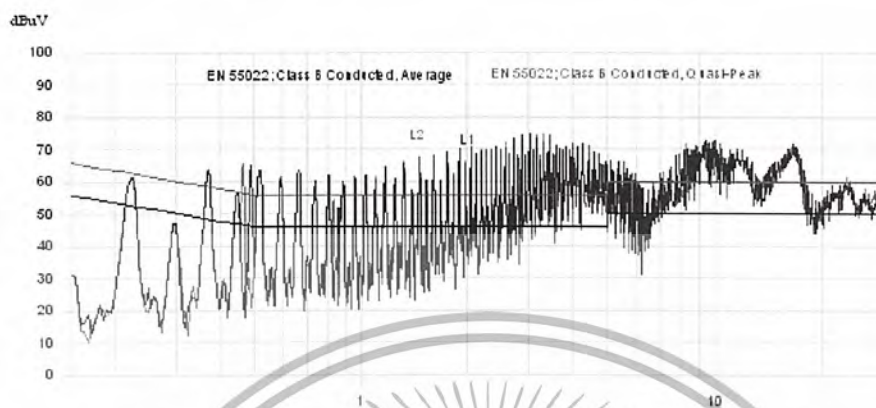
รูปที่ 8.2(ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.2(ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

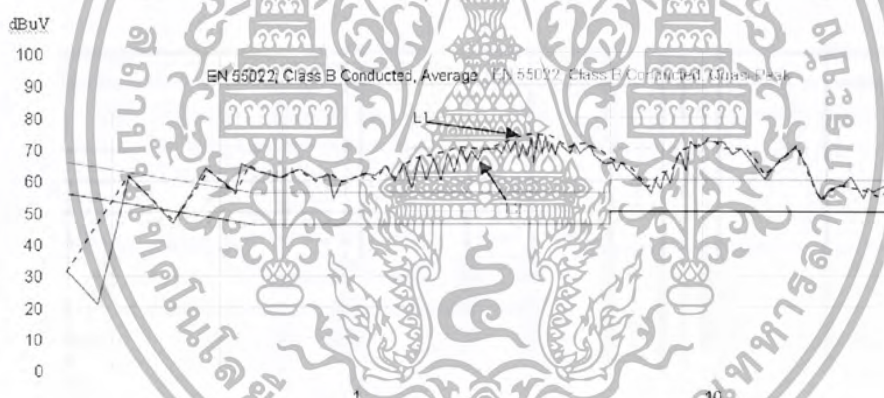
จากการทดลองเมื่อไม่ต่อ Heatsink กับระบบกราวด์เปรียบเสมือนทำให้ค่าระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำมีค่ามากส่งผลให้ตัวเก็บประจุแผ่นมีค่าลดลงซึ่งเป็นการตัดเส้นทางเชื่อมต่อของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้สัญญาณรบกวน EMI ลดลง แต่เมื่อต่อ Heatsink เข้ากับระบบกราวด์จะทำให้เกิดความปลอดภัยและความแข็งแรงของโครงสร้างในทางปฏิบัติแต่ละจะส่งผลให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ EMI ที่เพิ่มขึ้นในเกือบทุกย่านความถี่ตั้งแต่ 0.15-30MHz

8.1.2 Passive device

ศึกษาผลของEMIที่มาตามสายตัวนำเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด(Self resonant frequency :SRF) ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน



รูปที่ 8.3(ก) ผลจากการวัดEMIเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน



รูปที่ 8.3(ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.3(ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

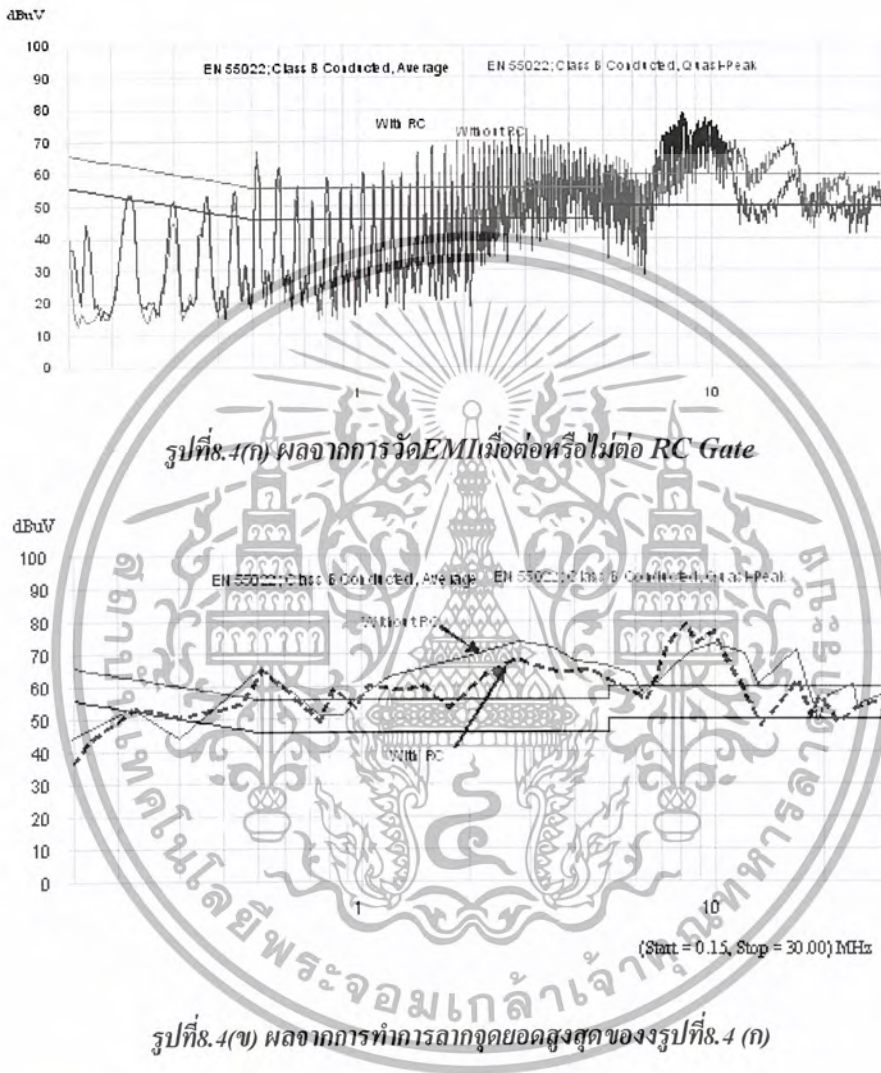
จากการทดลองเมื่อย่านความถี่ใช้งานสูงสุด (Self resonant frequency :SRF) ของตัวเหนี่ยวนำแตกต่างกัน จะเห็นว่าผลของสัญญาณรบกวนEMIที่ตัวความเหนี่ยวนำ ความถี่ 7 MHz (L_1) จะมีค่ามากกว่าตัวความเหนี่ยวนำ ความถี่ 14MHz (L_2) เพียงเล็กน้อยอันเนื่องมาจากตัวความเหนี่ยวนำ ความถี่ 7 MHz (L_1) พ้นขีดลดขีดมากกว่าทำให้ระยะห่างระหว่างขดลวดน้อยกว่าจึงทำให้เกิดค่าตัวเก็บประจุแฝงที่มีค่ามากกว่าส่งผลให้EMI มีค่ามากกว่าแต่ในการทดลองนี้ยังไม่เห็นความแตกต่างของสัญญาณรบกวนEMIมากนักเพราะตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ทดลองต้องมีค่าเท่ากันแต่ค่าความถี่ใช้งานสูงสุดยังไม่ห่างกันมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 Signal spectra มี 2 ส่วนคือ

8.2.1 Rise / fall time

8.2.1.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาขาขึ้นและขาลงของพัลส์ของ Gate drive โดยการต่อหรือไม่ต่อ RC Gate

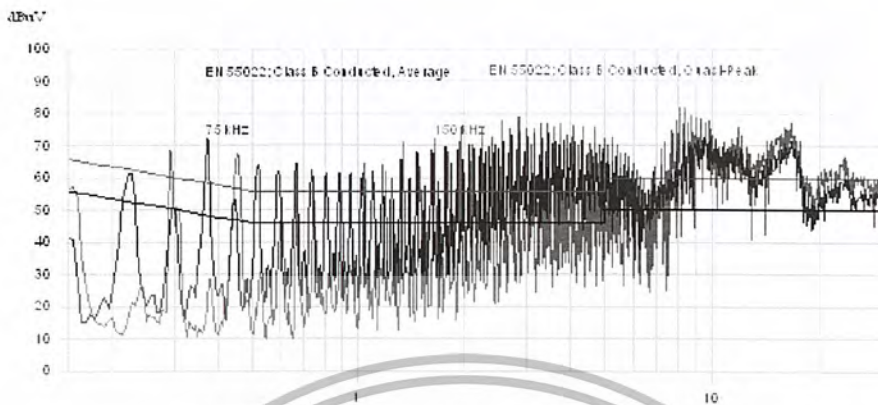


สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาขาขึ้นและขาลงของพัลส์ของ Gate drive โดยการต่อหรือไม่ต่อ RC Gate จะเห็นว่าเมื่อต่อ RC Gate สัญญาณรบกวน EMI จะมีค่าน้อยกว่าตอนที่ไม่มีต่อ RC filter เนื่องจากการลดค่า dv/dt จกรูปคลื่นพัลส์ของ Gate drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.1.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ เมื่อเพิ่มความถี่ในการสวิตซ์ของ Gate drive โดยใช้ความถี่ในการสวิตซ์ 2 ค่าคือ 75 kHz และ 150 kHz



รูปที่ 8.5 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อเพิ่มความถี่ในการสวิตซ์ของ Gate drive



รูปที่ 8.5 (ข) ผลจากการทำการสากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.5 (ก)

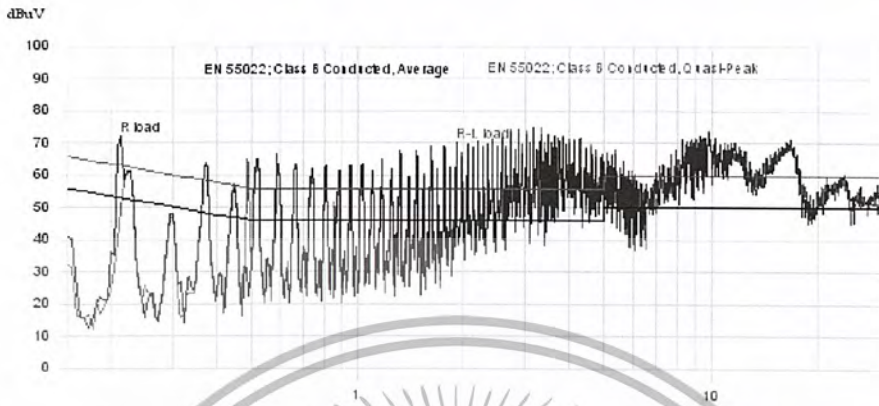
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ในการสวิตซ์ โดยการเพิ่มความถี่สวิตซ์จาก 75 kHz เป็น 150 kHz สัญญาณรบกวน EMI จะมีค่าสูงขึ้นอันเนื่องมาจากการสวิตซ์ที่ความถี่สูงทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) จึงทำให้สัญญาณรบกวน EMI สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2 Ringing มี 2 ส่วนคือ

8.2.2.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringing เมื่อมีการเปลี่ยน โหลดจาก R เป็น โหลด R-L



รูปที่ 8.6(ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อทำการเปลี่ยน โหลดจาก โหลด R เป็น โหลด R-L



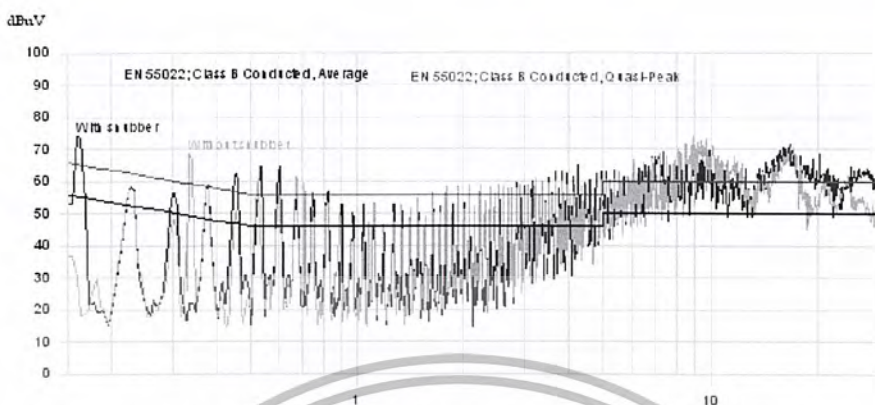
รูปที่ 8.6(ข) ผลจากการทำการลดจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.6(ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

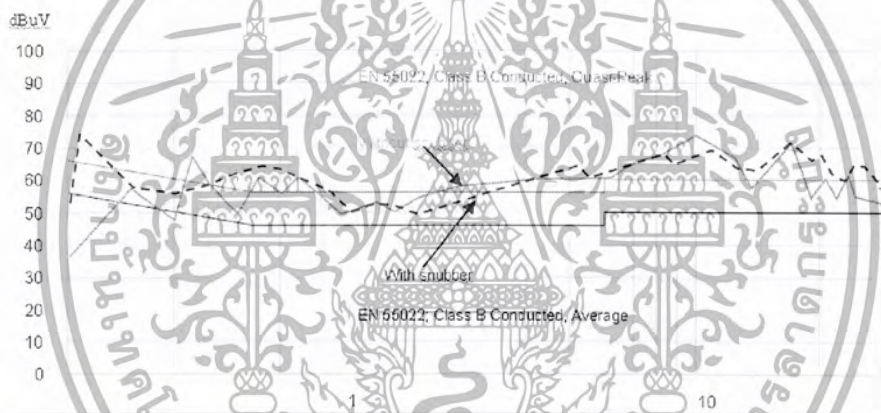
จากการทดลองเมื่อมีการใช้งาน โหลด R หรือ R-L จะมีผลต่อสัญญาณรบกวน EMI ที่เกิดจาก ringing ในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่ง โหลด R-L จะมีสัญญาณรบกวน EMI มากกว่า โหลด R แต่ในการทดลองยังไม่ค่อยเห็นผลแตกต่างกันมากนักอันเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจาก ringing เมื่อมีการสวิตซ์ที่มอสเฟต โดยการต่อและไม่ต่อวงจรสับเบอร์ที่มอสเฟต



รูปที่ 8.7 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อและไม่ต่อวงจรสับเบอร์ที่มอสเฟต



รูปที่ 8.7 (ข) ผลจากการทำการหาค่าจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.7 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อวงจรสับเบอร์ที่มอสเฟตจะช่วยลดผลของสัญญาณรบกวน EMI ได้เนื่องจากช่วยลดการสไปร์คและ ringing ที่แรงดันตกคร่อมมอสเฟตแต่ก็มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบทดลองเนื่องจากเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มอสเฟตสูงขึ้น และในการทดลองนี้สัญญาณรบกวน EMI ลดลงช่วงความถี่ประมาณ 10-30 MHz ในช่วงความถี่อื่นยังไม่เห็นเด่นชัดอันเนื่องมาจากวงจรสับเบอร์ที่ใช้ยังลดการสไปร์คและ ringing ไม่ได้มากเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 วงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI filter)

ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำที่เกิดจากสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วม (CM) และสัญญาณรบกวน โหมดผลต่าง (DM)

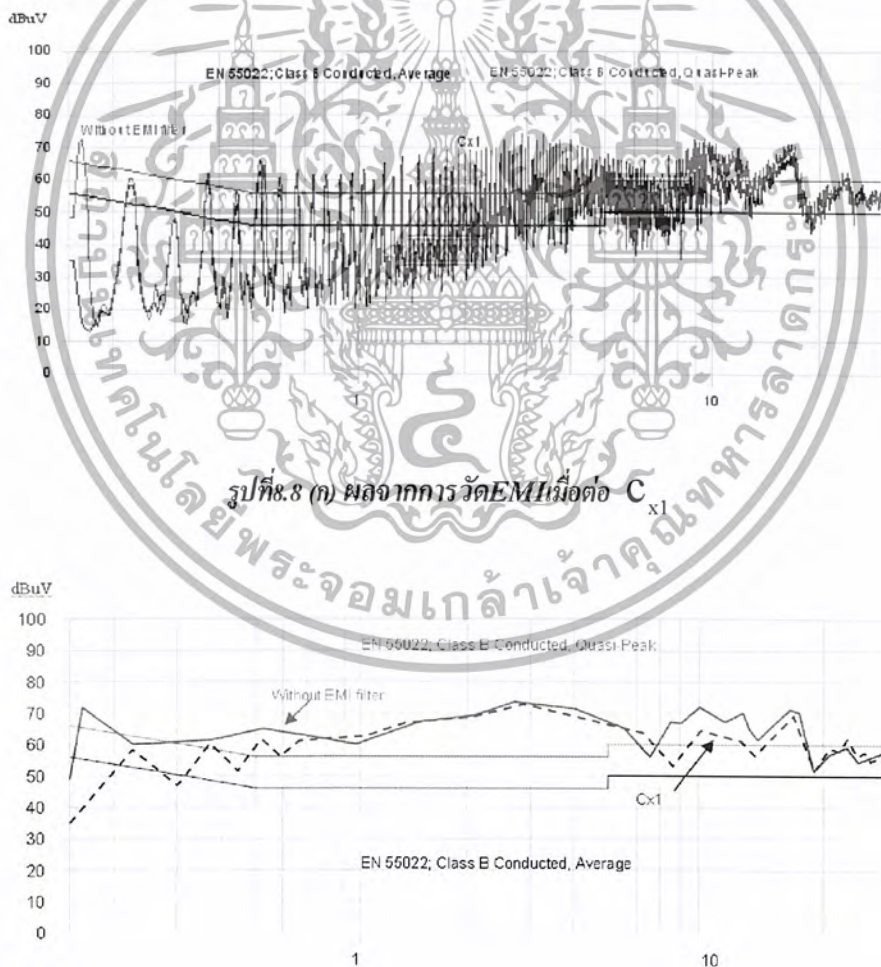
จากกราฟการวัดระดับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

ย่านความถี่ 0.15-1MHz จะแสดงผลในส่วนของสัญญาณรบกวน โหมดผลต่าง (DM)

ย่านความถี่ 1-10MHz จะแสดงผลในส่วนของสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างและผลร่วมรวมกัน(DM+CM)

ย่านความถี่ 10-30MHz จะแสดงผลในส่วนของสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วม(CM)

8.3.1 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1}



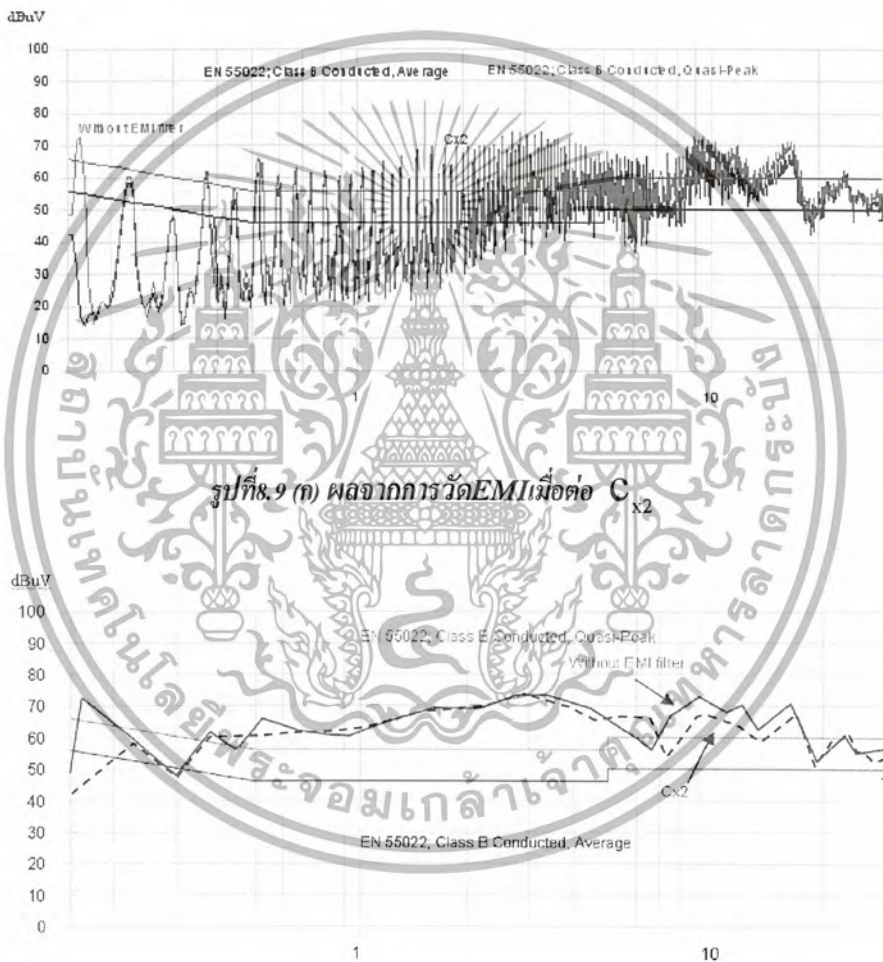
รูปที่ 8.8 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.8 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} ช่วยลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างในย่านความถี่ประมาณ 0.15-0.7 MHz ได้ชัดเจนและยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลรวมได้ชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 10-17 MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างและโหมดผลรวมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 7-10 MHz

8.3.2 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{x2}



รูปที่ 8.9 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x2}

รูปที่ 8.9 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.9 (ก)

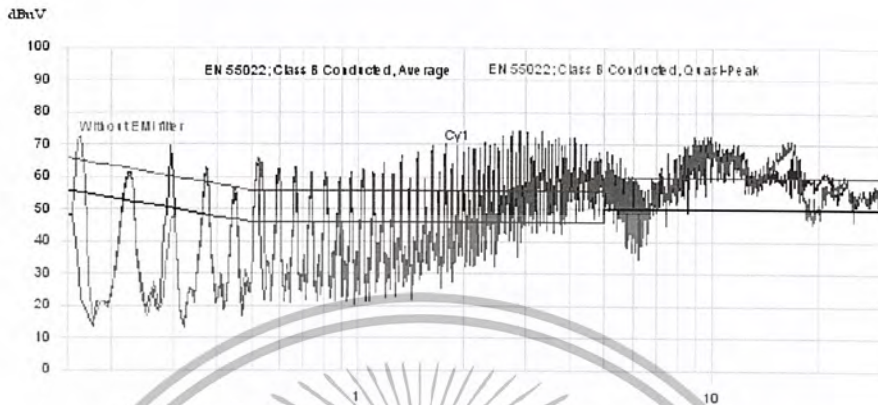
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x2} ยังไม่สามารถช่วยลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างเท่าที่ควรแต่ยังสามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่

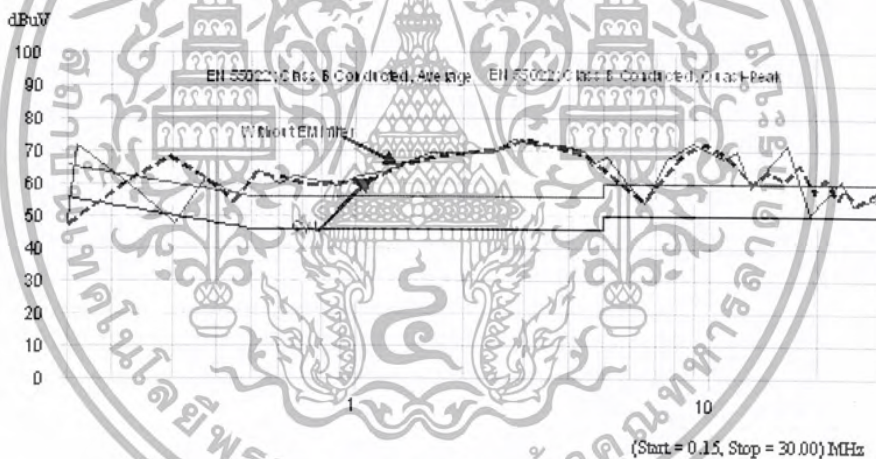
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 10-17 MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างและ โหมดผลร่วมนั้นที่ย่านความถี่ ประมาณ 7-10 MHz

8.3.3 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้ C_{y1}



รูปที่ 8.10 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1}



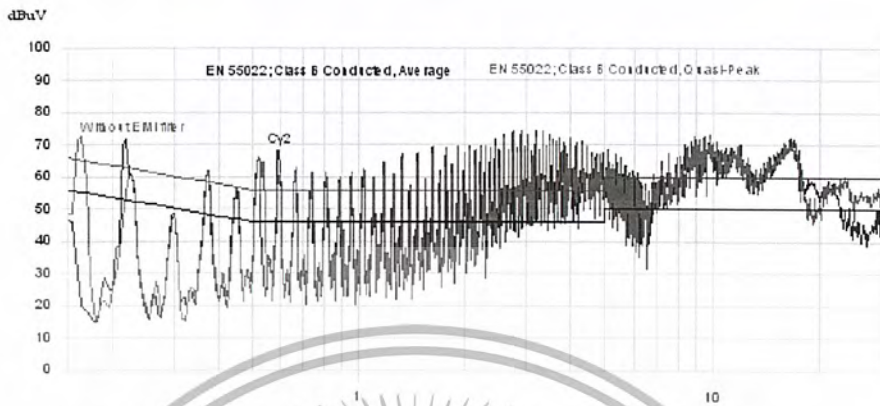
รูปที่ 8.10 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.10 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

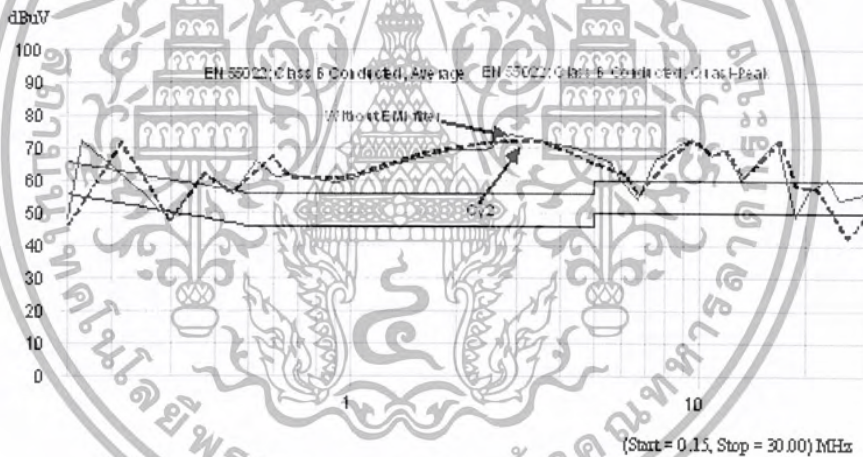
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{y1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{y1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วมนั้นได้ในช่วงความถี่ประมาณ 15-18 MHz แต่ย่านความถี่บางย่านยังเห็นไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.4 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y2}



รูปที่ 8.11 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y2}



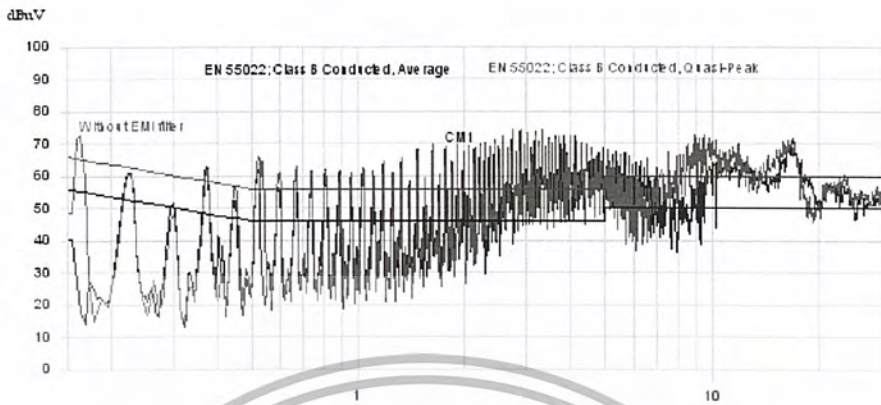
รูปที่ 8.11 (ข) ผลจากการทำการลดจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.11 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{y2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{y2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 20-30 MHz แต่ช่วงความถี่บางย่านยังเห็นไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.5 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{M1}



รูปที่ 8.12 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{M1}

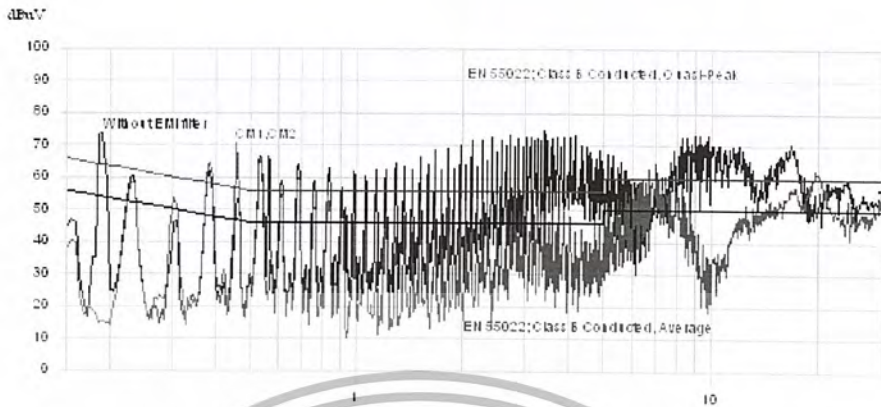


รูปที่ 8.12 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.12 (ก)

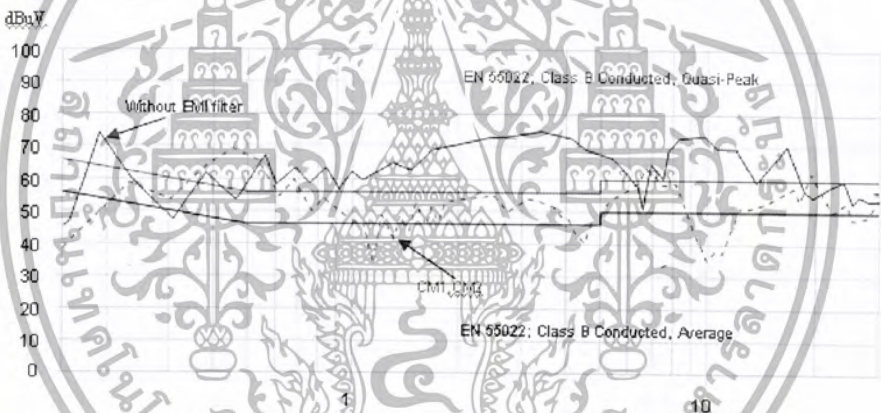
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{M1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วมได้ชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 10-17MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างและ โหมดผลร่วมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 7-10MHz

8.3.6 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.13 (ค) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{M1} และ C_{M2}

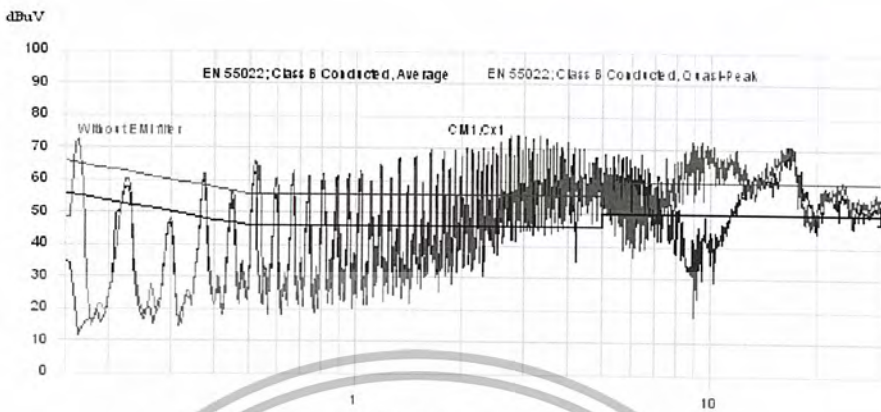


รูปที่ 8.13 (ข) ผลจากการทำการถากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.4.6 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้ชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 10-19 MHz และ 20-30 MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างในย่านความถี่ประมาณ 0.6-1 MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลรวมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 1-6 MHz และ 8-10 MHz

8.3.7 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} และ C_{M1}



รูปที่ 8.14 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} และ C_{M1}



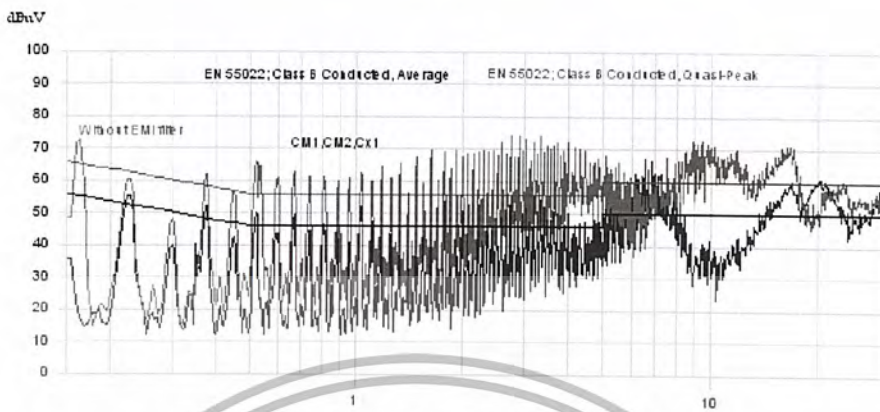
รูปที่ 8.14 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.14 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

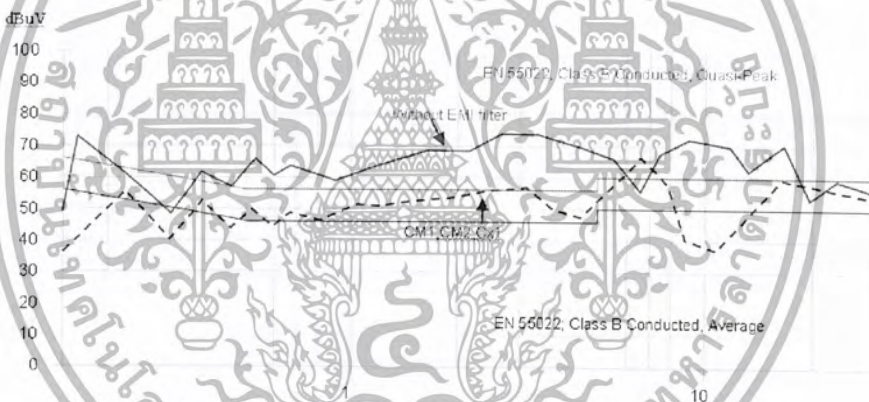
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} และ C_{M1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างได้ในย่านความถี่ประมาณ 0.3-0.7MHz แต่ยังคงไม่ชัดเจนมากนัก และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลร่วมในย่านความถี่ประมาณ 10-13MHzรวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างและโหมคผลร่วมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.8 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.15 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2}



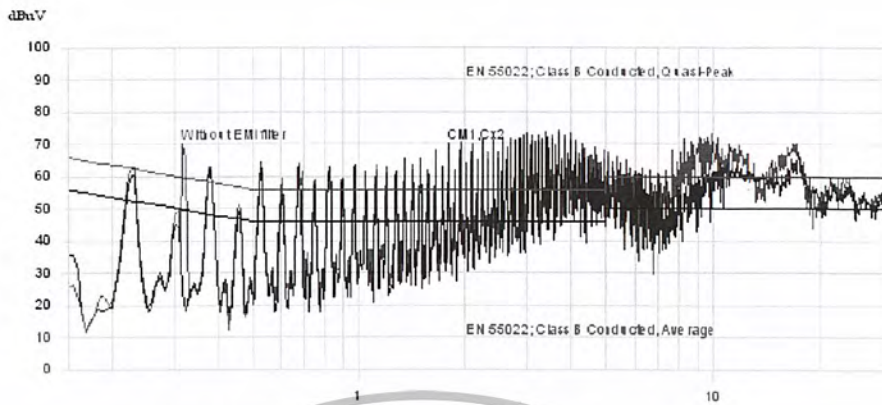
รูปที่ 8.15 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.15 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

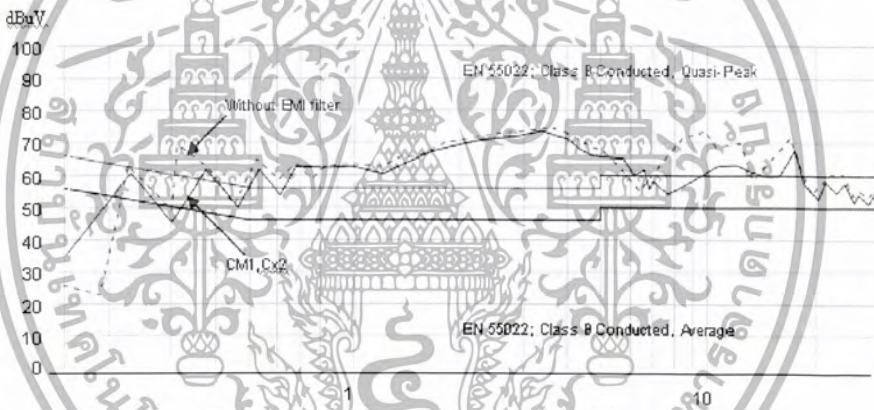
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-1MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-17MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและ โหมดผลรวมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 1-6MHz และ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.9 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x2} และ C_{M1}



รูปที่ 8.16 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x2} และ C_{M1}



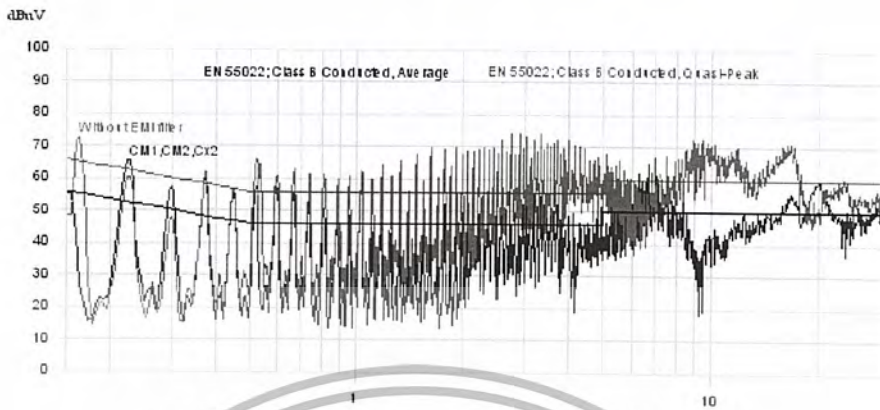
รูปที่ 8.16 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.16 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x2} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x2} และ C_{M1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้ในย่านความถี่ประมาณ 0.15-0.7MHz แต่ยังไม่ชัดเจน และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมได้ชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 10-15MHz และ 16-18MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลร่วมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.10 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.17 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}



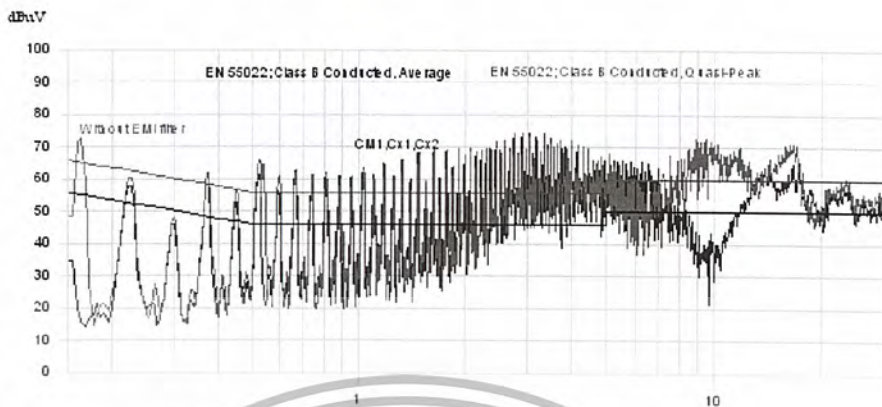
รูปที่ 8.17 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.17 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

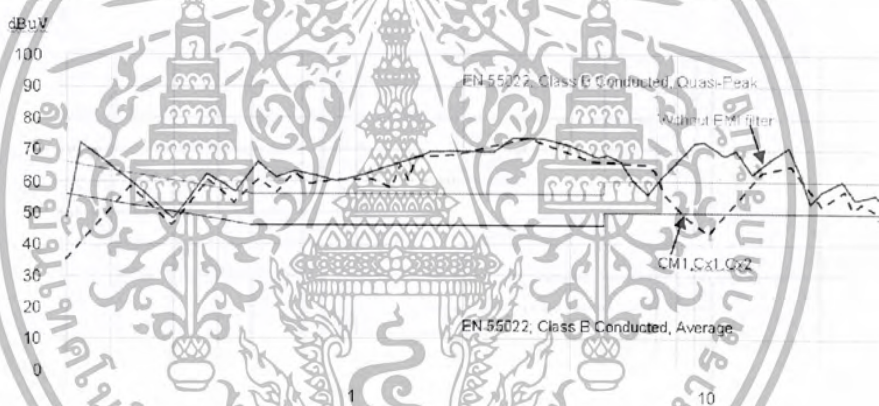
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลต่างได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 0.4-1MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลร่วมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-19MHz และ 22-30MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลต่างและโหมมผลร่วมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 1-6MHz และ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.11 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}



รูปที่ 8.18 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1}



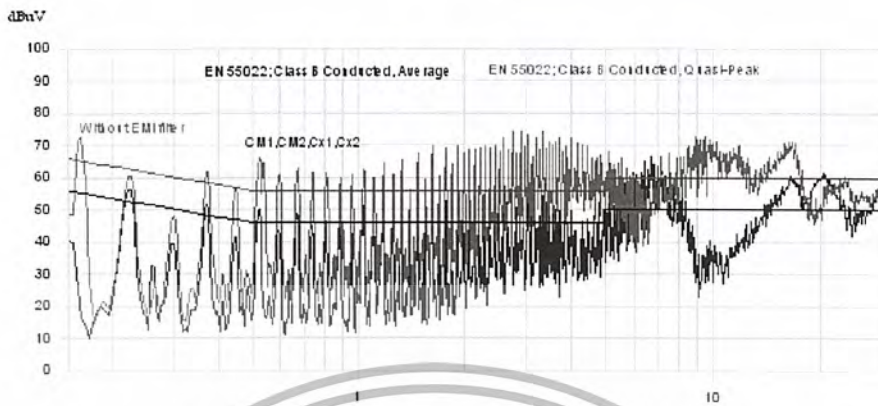
รูปที่ 8.18 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.18 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{x2} และ C_{M1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้ในย่านความถี่ประมาณ 0.15-0.9MHz แต่ยังไม่ชัดเจน และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมได้ชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 10-17MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลร่วมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.12 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.19 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2}



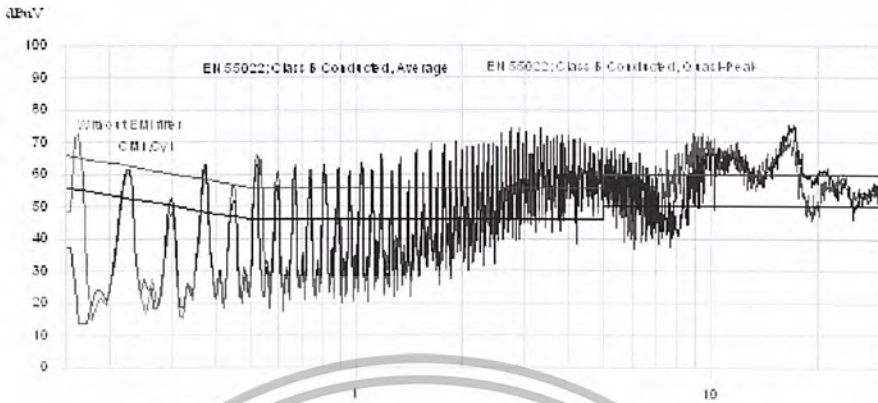
รูปที่ 8.19 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.19 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

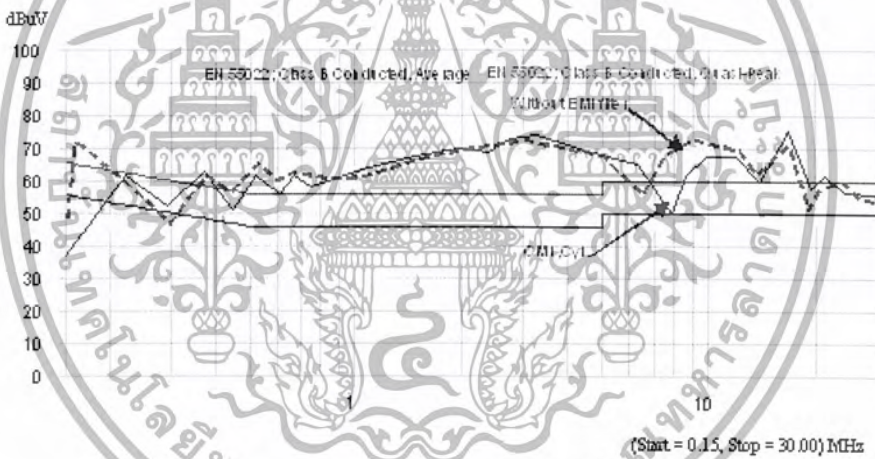
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{x2} , C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-1MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-18MHz และ 22-28MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลรวมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 1-6MHz และ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.13 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} และ C_{M1}



รูปที่ 8.20 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} และ C_{M1}



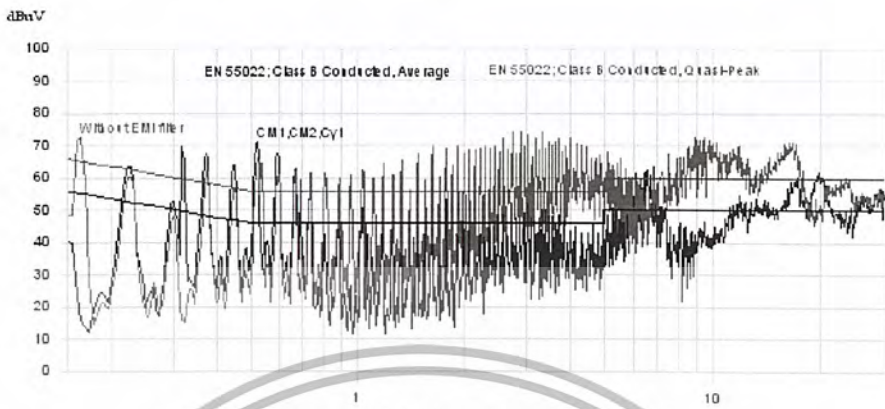
รูปที่ 8.20 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.20(ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{y1} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{y1} และ C_{M1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลร่วมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-15 MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างในช่วงความถี่ประมาณ 0.3-0.9 MHz แต่ไม่ชัดเจนมากนักรวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลร่วมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 7-10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.14 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.21 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2}

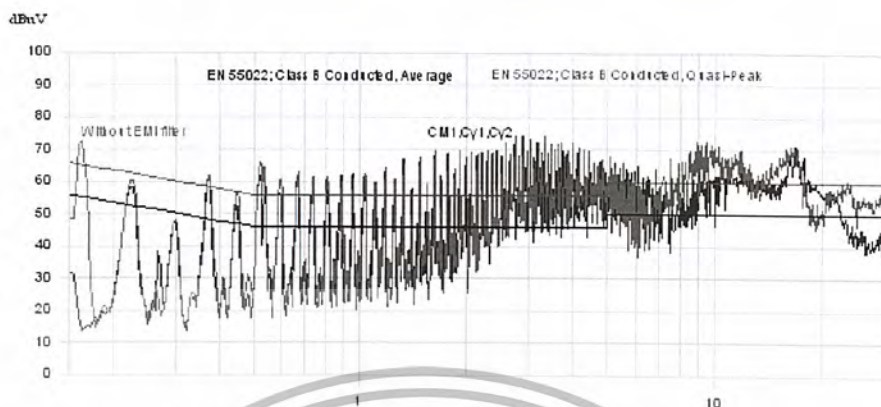


รูปที่ 8.21 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.4.14 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{y1} , C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผสมรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-15 MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผสมต่างในช่วงความถี่ประมาณ 0.7-1 MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผสมต่างและใหม่ผสมรวมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 10-16 MHz และ 17-20 MHz

8.3.15 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}



รูปที่ 8.22 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1}



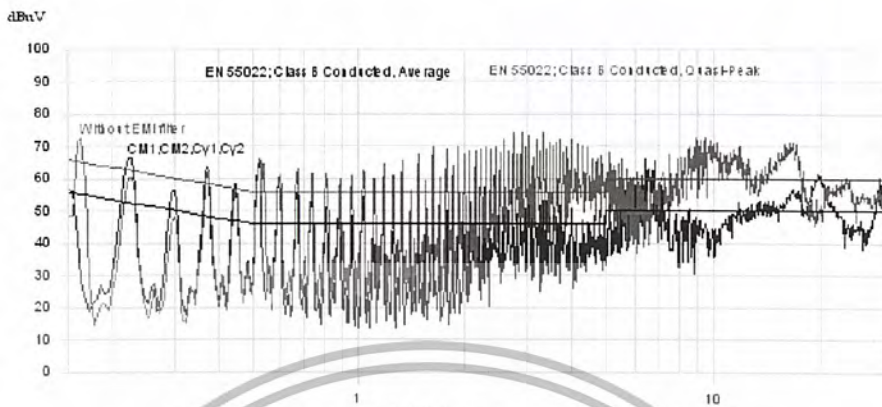
รูปที่ 8.22 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.22 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

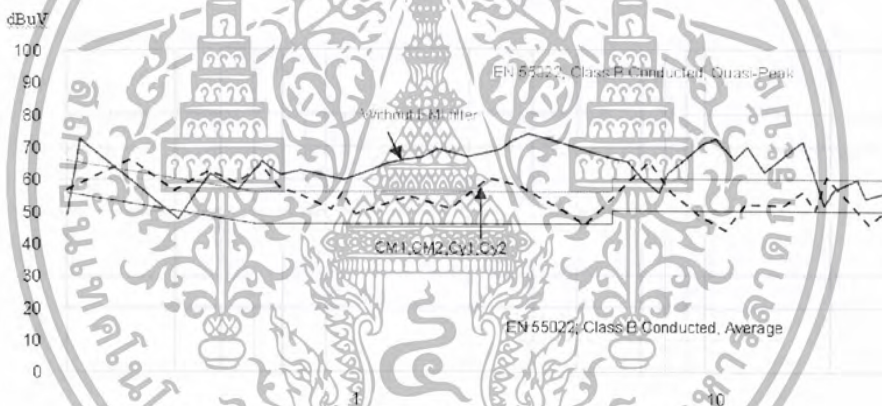
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{y1} , C_{y2} และ C_{M1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผสมรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-15 MHz และ 20-30 MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผสมต่างในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-0.8 MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผสมต่างและใหม่ผสมรวมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 1-10 MHz แต่ยังไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.16 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.23 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}



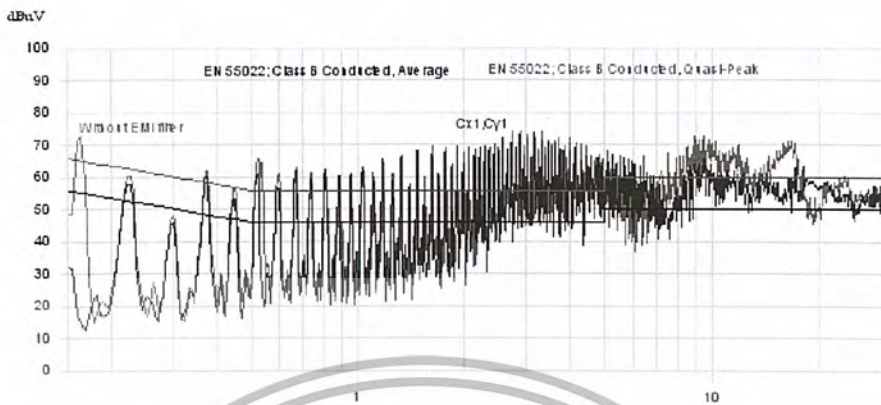
รูปที่ 8.23 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.23 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

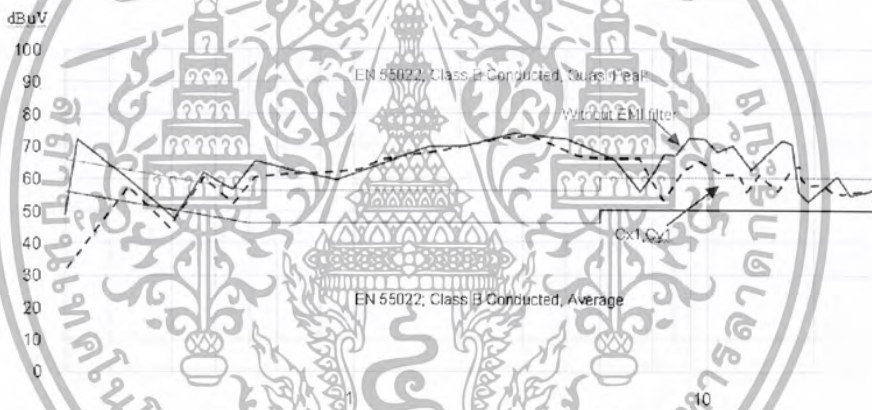
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรทดลองจะเห็นว่า C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-19MHz และ 20-30MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างในช่วงความถี่ประมาณ 0.4-1MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลรวมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 1-6MHz และ 7-10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.17 ศึกษาผลของ EMI ที่มาจากสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} และ C_{y1}



รูปที่ 8.24 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} และ C_{y1}



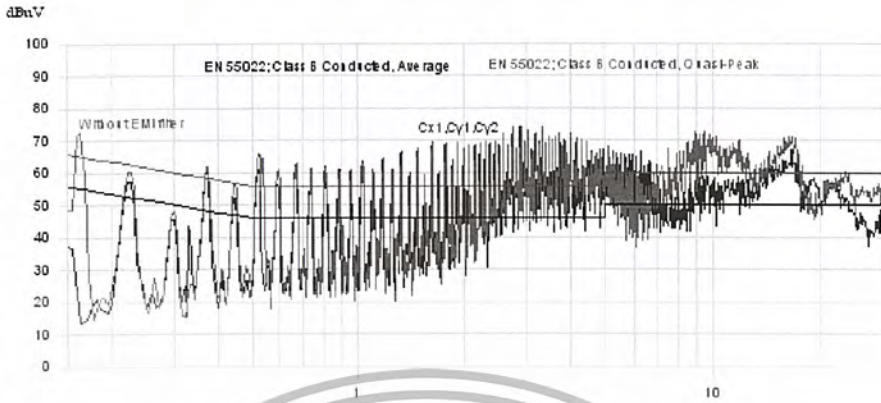
รูปที่ 8.24 (ข) ผลจากการทำการลดจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.24 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

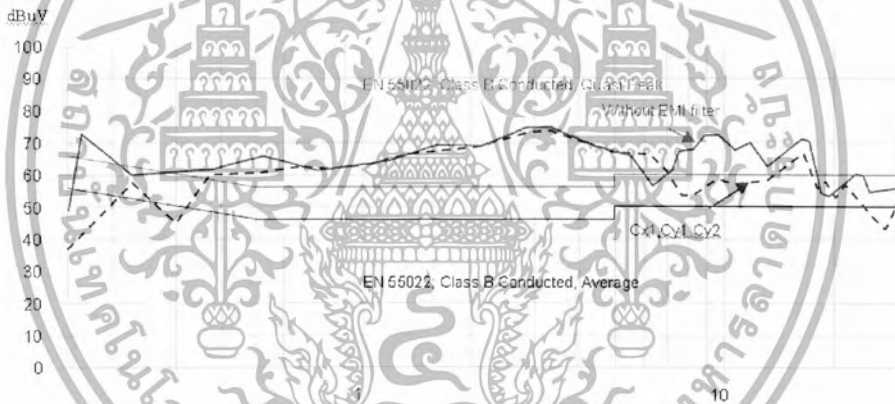
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} และ C_{y1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} และ C_{y1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลร่วมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-18 MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลต่างในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-0.6 MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลต่างและโหมมผลร่วมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 7-10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.18ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}



รูปที่ 8.25 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2}



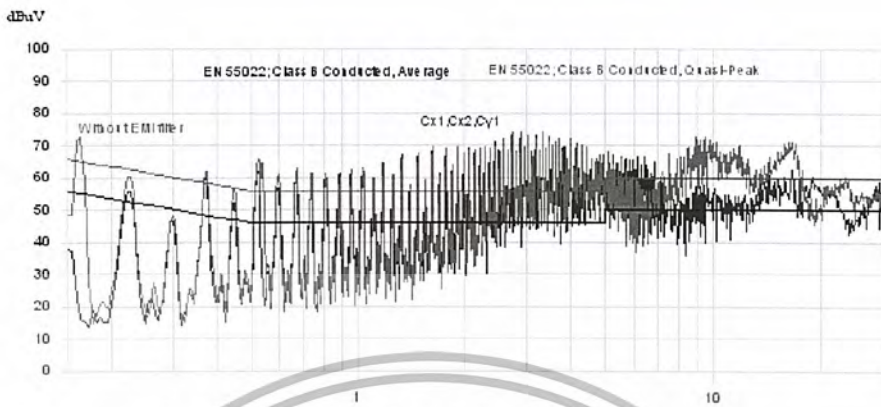
รูปที่ 8.25 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.25 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

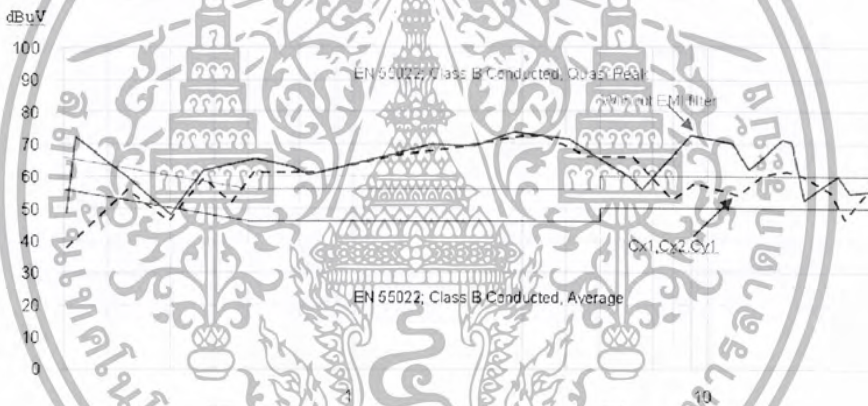
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{y1} และ C_{y2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลร่วมได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 10-18MHz และ 22-30MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-0.6MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวน โหมดผลต่างและโหมดผลร่วมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.19 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}



รูปที่ 8.26 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1}



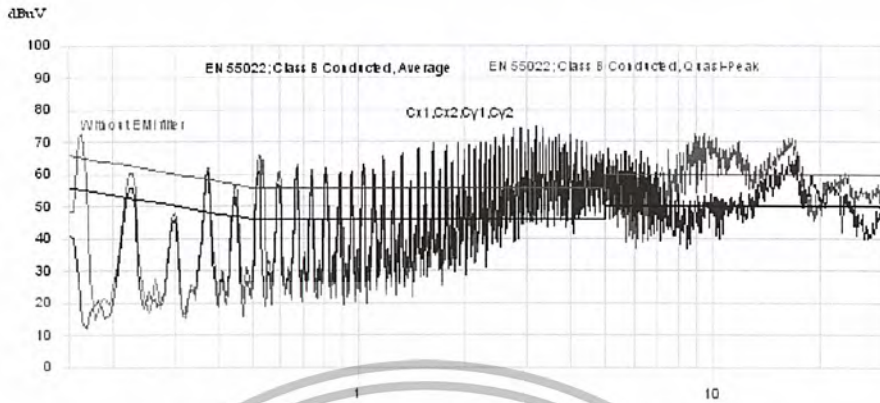
รูปที่ 8.26 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.26 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

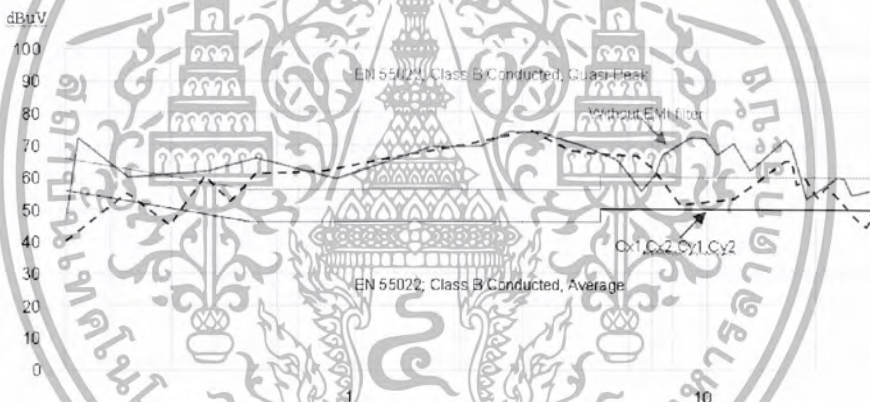
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{x2} และ C_{y1} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผลต่างได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-0.7MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผลรวมในช่วงความถี่ประมาณ 10-18MHz และ 22-28MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนใหม่ผลต่างและใหม่ผลรวมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.20 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}



รูปที่ 8.27 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2}



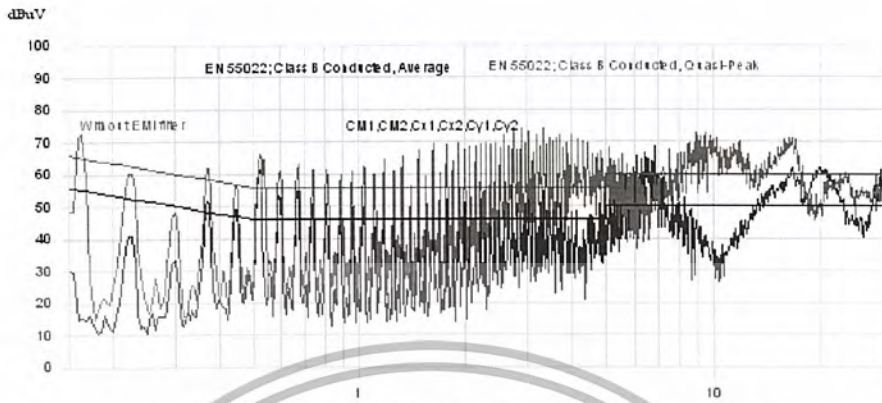
รูปที่ 8.27 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.27 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

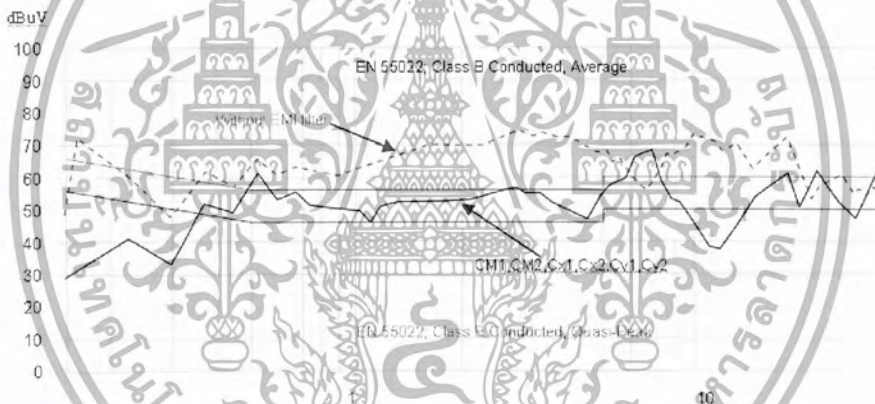
จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} และ C_{y2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างได้ชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 0.15-0.7MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลร่วมในช่วงความถี่ประมาณ 10-18MHz และ 22-30MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคผลต่างและโหมคผลร่วมรวมกันที่ช่วงความถี่ประมาณ 7-10MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.21 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}



รูปที่ 8.28 (ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2}



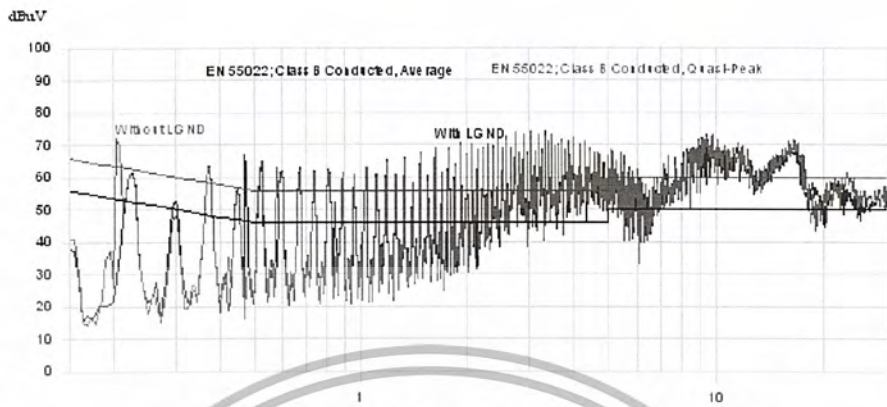
รูปที่ 8.28 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.28 (ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า C_{x1} , C_{x2} , C_{y1} , C_{y2} , C_{M1} และ C_{M2} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างได้ชัดเจนในย่านความถี่ประมาณ 0.15-1MHz และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลรวมในย่านความถี่ประมาณ 10-18MHz และ 22-28MHz รวมทั้งลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดผลต่างและโหมดผลรวมรวมกันที่ย่านความถี่ประมาณ 1-6MHz และ 7-10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.22 ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำ โดยใช้ L_{GND}



รูปที่ 8.29 (ก) ผลจากการวัด EMI ต่อ L_{GND}



รูปที่ 8.29 (ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.29 (ก)

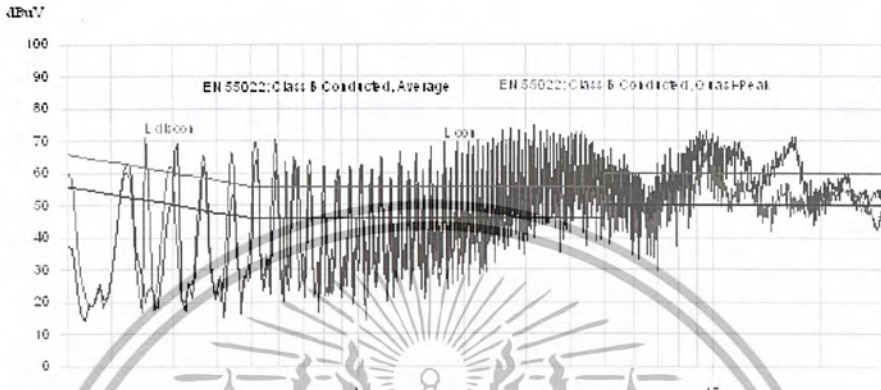
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อต่อ L_{GND} เข้ากับวงจรการทดลองจะเห็นว่า L_{GND} สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมมผลร่วมได้ในย่านความถี่ประมาณ 20-30 MHz แต่ในย่านความถี่อื่นยังเห็นไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4THD

ศึกษาผลตัวเหนี่ยวนำของวงจร Boost Converter ที่อยู่ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DMC mode) สังเกตค่า THD และ EMI ที่มาตามสายตัวนำ

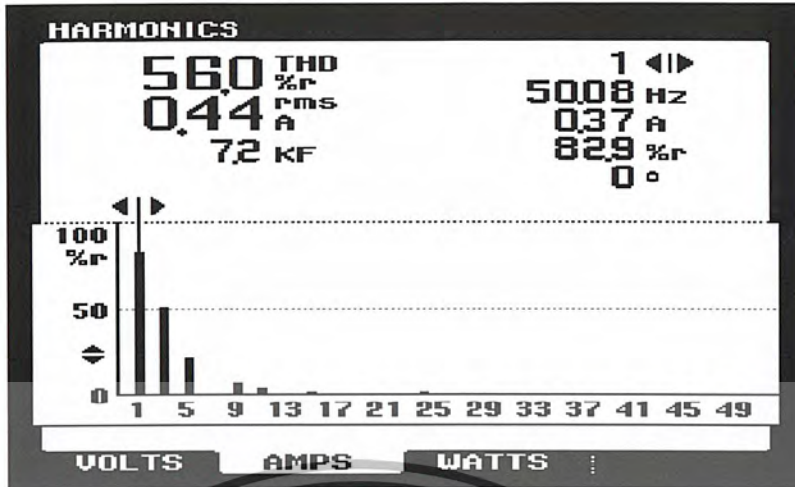


รูปที่ 8.30(ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อ ตัวเหนี่ยวนำของวงจร Boost Converter ที่อยู่ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

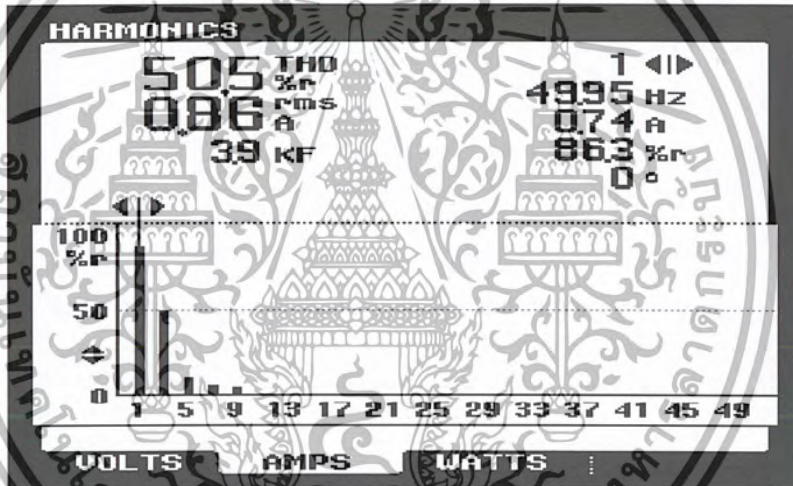


รูปที่ 8.30(ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.30(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.30(ค) แสดงกระแสHarmonicsเมื่อไม่ต่อตัวเหนี่ยวนำโหมตกระแสไม่ต่อเนื่อง



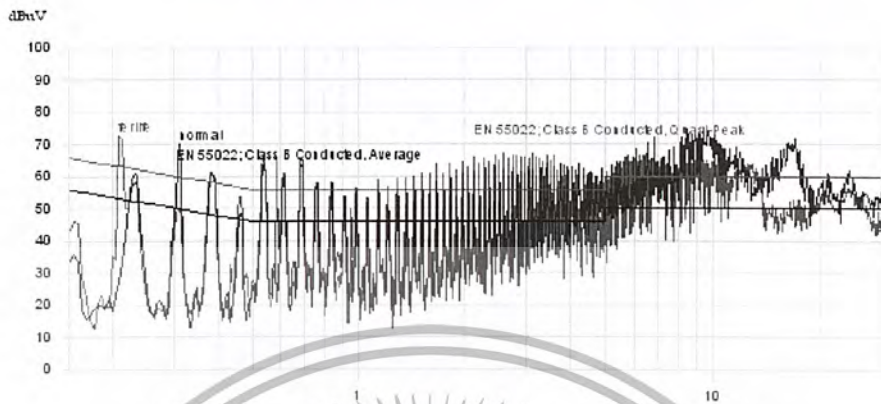
รูปที่ 8.30(ง) แสดงกระแสHarmonicsเมื่อต่อตัวเหนี่ยวนำโหมตกระแสไม่ต่อเนื่อง

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อตัวเหนี่ยวนำในโหมตกระแสไม่ต่อเนื่องเข้ากับวงจรการทดลองแทนตัวเหนี่ยวนำโหมตกระแสต่อเนื่องจะเห็นว่าสัญญาณรบกวน EMI มีค่าลดลงและ THDของกระแสมีค่าลดลงจาก56%มาเป็น50.5% อันเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำในโหมตกระแสไม่ต่อเนื่องเป็นตัวช่วยปรับปรุงตัวประกอบกำลังของวงจร(PFC)

8.5 FERRITESHIELD

ศึกษาผลของ EMI ที่มาตามสายตัวนำโดยใช้เฟอร์ไรต์บีส(ferrite beads)



รูปที่ 8.31(ก) ผลจากการวัด EMI เมื่อใช้ ferrite beads



รูปที่ 8.31(ข) ผลจากการทำการลากจุดยอดสูงสุดของรูปที่ 8.31(ก)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อคล้อง ferrite beads ที่สายเสียบใช้งานในวงจรทดลองจะเห็นว่าผลทำให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า(EMI) มีค่าลดลงชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 5-30 MHz อันเนื่องมาจาก ferrite beads เป็นแกนเหล็กความถี่สูงมีคุณสมบัติเป็นค่าความเหนี่ยวนำที่สามารถรองความถี่สูงแต่ความถี่ต่ำสามารถผ่านได้จึงทำให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูงมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

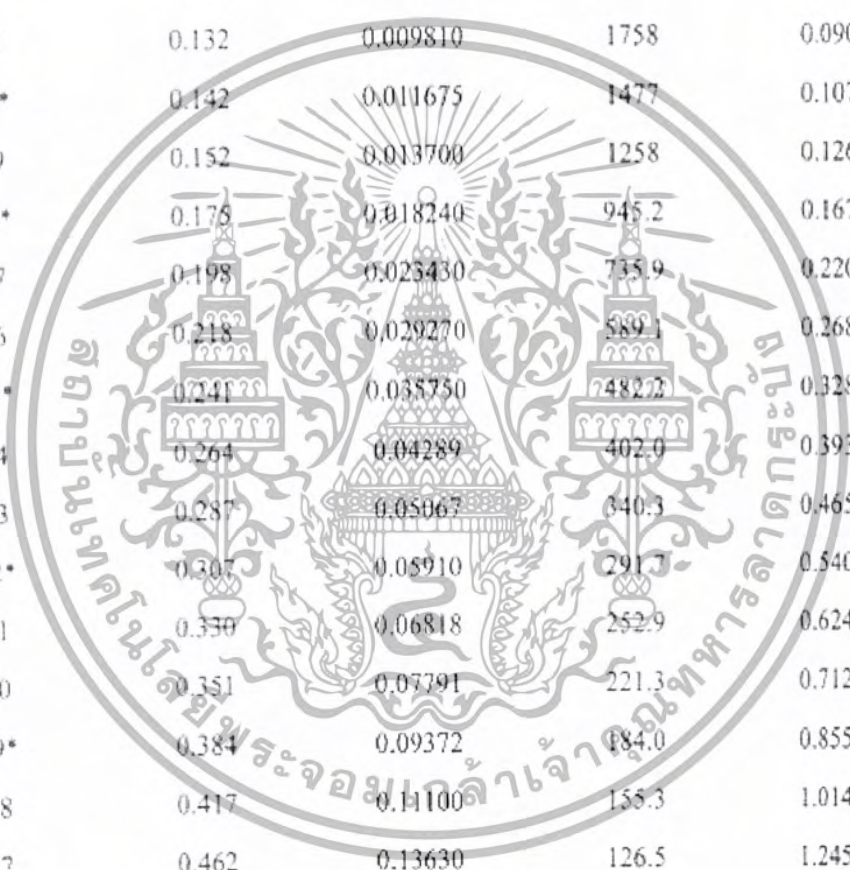
ตารางสายตัวนำที่ใช้ในการคำนวณบทที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Wire Gauge Data

SWG	Diameter with Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm ²)	R/Km@20°C (ohms)	Weight (Kg/km)
45*	0.086	0.003973	4340	0.0369
44	0.097	0.005189	3323	0.0481
43	0.109	0.006567	2626	0.0610
42	0.119	0.008107	2127	0.0750
41	0.132	0.009810	1758	0.0908
40*	0.142	0.011675	1477	0.1079
39	0.152	0.013700	1258	0.1262
38*	0.175	0.018240	945.2	0.1679
37	0.198	0.023430	735.9	0.2202
36	0.218	0.029270	589.1	0.2686
35*	0.241	0.035750	482.2	0.3281
34	0.264	0.04289	402.0	0.3932
33	0.287	0.05067	340.3	0.4650
32*	0.307	0.05910	291.7	0.5408
31	0.330	0.06818	252.9	0.6245
30	0.351	0.07791	221.3	0.7121
29*	0.384	0.09372	184.0	0.8559
28	0.417	0.11100	155.3	1.0140
27	0.462	0.13630	126.5	1.2450
26*	0.505	0.16420	105.0	1.4990
25	0.561	0.20270	85.1	1.8510



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWG	Diameter with Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm ²)	R/Km@20°C (ohms)	Weight (Kg/km)
24*	0.612	0.24520	70.3	2.2330
23	0.665	0.29190	59.1	2.6550
22*	0.770	0.39730	43.4	3.6070
21	0.874	0.51890	33.2	4.7020
20*	0.978	0.65670	26.3	5.9390
19	1.082	0.81070	21.3	7.3240
18*	1.293	1.16700	14.8	10.5370
17	1.501	1.58900	10.8	14.3130
16	1.709	2.07500	8.3	18.6780
15	1.920	2.62700	6.6	23.6400
14*	2.129	3.24300	5.3	29.1500
13	2.441	4.28900	4.0	38.5600
12	2.756	5.48000	3.1	49.2200
11	3.068	6.81800	2.5	61.0000
10	3.383	8.30200	2.1	74.0000
9	3.800	10.5100	1.6	94.0000
8	4.219	12.9700	1.3	116.0000

* Standardized at CEDT

** L. UMANAND and S.R. BHAT, "Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converters", Wiley Eastern Limited, 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

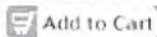
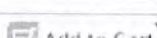
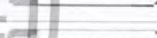

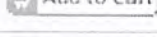
**ขนาดของ Toroid Iron Powder Cores
และค่า SRF ของตัวเหนี่ยวนำ**



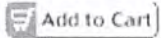
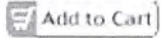
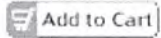
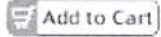
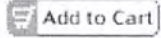
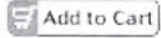
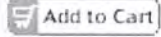
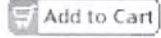
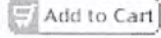
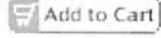
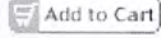
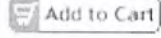
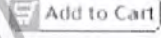
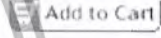
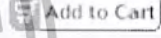
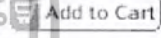
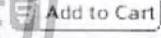
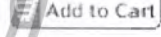
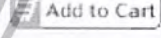
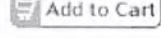
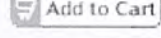
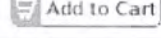
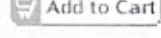
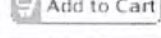
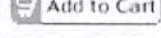
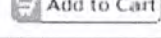
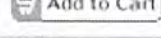
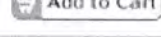
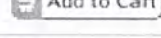
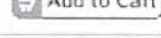
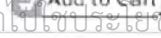
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CWS Bytemark PN	AL mH/Sq.N	O.D	I.D	Hgt	Material	U=	Price	Shop
T16-18	9.5	0.16 inch	0.070 inch	0.060 inch	18	55	\$0.40	Add to Cart
T16-26	14.5	0.16 inch	0.070 inch	0.060 inch	26	75	\$0.40	Add to Cart
T16-40	12.5	0.16 inch	0.070 inch	0.060 inch	40	60	\$0.46	Add to Cart
T16-52	13.5	0.16 inch	0.070 inch	0.060 inch	52	75	\$0.40	Add to Cart
T16-8	6	0.16 inch	0.070 inch	0.060 inch	8	35	\$0.40	Add to Cart
T20-26	18.5	0.20 inch	0.080 inch	0.070 inch	26	75	\$0.40	Add to Cart
T20-40	16.0	0.20 inch	0.080 inch	0.070 inch	40	60	\$0.48	Add to Cart
T20-52	17.5	0.20 inch	0.080 inch	0.070 inch	52	75	\$0.40	Add to Cart
T20-8	7.8	0.20 inch	0.080 inch	0.070 inch	8	35	\$0.40	Add to Cart
T25-18	17.0	0.25 inch	0.120 inch	0.100 inch	18	55	\$0.40	Add to Cart
T25-26	24.5	0.25 inch	0.120 inch	0.100 inch	26	75	\$0.40	Add to Cart
T25-40	20.5	0.25 inch	0.120 inch	0.100 inch	40	60	\$0.40	Add to Cart
T25-52	23.0	0.25 inch	0.120 inch	0.100 inch	52	75	\$0.40	Add to Cart
T25-8	10.0	0.25 inch	0.120 inch	0.100 inch	8	35	\$0.40	Add to Cart
T30-18	22.0	0.30 inch	0.150 inch	0.130 inch	18	55	\$0.50	Add to Cart
T30-26	33.5	0.30 inch	0.150 inch	0.130 inch	26	75	\$0.50	Add to Cart
T30-40	28	0.30 inch	0.150 inch	0.130 inch	40	60	\$0.50	Add to Cart
T30-52	30.5	0.30 inch	0.150 inch	0.130 inch	52	75	\$0.50	Add to Cart
T30-8	14.0	0.30 inch	0.150 inch	0.130 inch	8	35	\$0.50	Add to Cart
T37-18	19.0	0.37 inch	0.200 inch	0.130 inch	18	55	\$0.55	Add to Cart
T37-26	28.5	0.37 inch	0.200 inch	0.130 inch	26	75	\$0.55	Add to Cart
T37-40	24.5	0.37 inch	0.200 inch	0.130 inch	40	60	\$0.55	Add to Cart
T37-52	26.0	0.37 inch	0.200 inch	0.130 inch	52	75	\$0.55	Add to Cart
T37-8	12.0	0.37 inch	0.200 inch	0.130 inch	8	35	\$0.55	Add to Cart
T44-18	25.5	0.44 inch	0.230 inch	0.160 inch	18	55	\$0.60	Add to Cart
T44-26	37.0	0.44 inch	0.230 inch	0.160 inch	26	75	\$0.60	Add to Cart
T44-40	31.0	0.44 inch	0.230 inch	0.160 inch	40	60	\$0.60	Add to Cart
T44-52	35.0	0.44 inch	0.230 inch	0.160 inch	52	75	\$0.60	Add to Cart
































เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T44-8	18.0	0.44 inch	0.230 inch	0.160 inch	8	35	\$0.60	 Add to Cart
T50-18	24.0	0.50 inch	0.300 inch	0.190 inch	18	55	\$0.65	 Add to Cart
T50-26	33.0	0.50 inch	0.300 inch	0.190 inch	26	75	\$0.65	 Add to Cart
T50-40	29.5	0.50 inch	0.300 inch	0.190 inch	40	60	\$0.65	 Add to Cart
T50-52	33.0	0.50 inch	0.300 inch	0.190 inch	52	75	\$0.65	 Add to Cart
T50-8	17.5	0.50 inch	0.300 inch	0.190 inch	8	35	\$0.65	 Add to Cart
T68-18	29.0	0.68 inch	0.370 inch	0.190 inch	18	55	\$0.90	 Add to Cart
T68-26	43.5	0.68 inch	0.370 inch	0.190 inch	26	75	\$0.90	 Add to Cart
T68-40	35.0	0.68 inch	0.370 inch	0.190 inch	40	60	\$0.90	 Add to Cart
T68-52	40.0	0.68 inch	0.370 inch	0.190 inch	52	75	\$0.90	 Add to Cart
T68-8	19.5	0.68 inch	0.370 inch	0.190 inch	8	35	\$0.90	 Add to Cart
T80-18	31.0	0.80 inch	0.490 inch	0.250 inch	18	55	\$1.20	 Add to Cart
T80-26	46.0	0.80 inch	0.490 inch	0.250 inch	26	75	\$1.20	 Add to Cart
T80-40	39.5	0.80 inch	0.490 inch	0.250 inch	40	60	\$1.20	 Add to Cart
T80-52	42.0	0.80 inch	0.490 inch	0.250 inch	52	75	\$1.20	 Add to Cart
T80-8	18.0	0.80 inch	0.490 inch	0.250 inch	8	35	\$1.20	 Add to Cart
T94-18	42.0	0.94 inch	0.560 inch	0.310 inch	18	55	\$1.50	 Add to Cart
T94-26	60.0	0.94 inch	0.560 inch	0.310 inch	26	75	\$1.20	 Add to Cart
T94-40	49.0	0.94 inch	0.560 inch	0.310 inch	40	60	\$1.50	 Add to Cart
T94-52	57.0	0.94 inch	0.560 inch	0.310 inch	52	75	\$1.50	 Add to Cart
T94-8	25.0	0.94 inch	0.560 inch	0.310 inch	8	35	\$1.50	 Add to Cart
T106-18	70.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	18	55	\$2.00	 Add to Cart
T106-26	93.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	26	75	\$1.50	 Add to Cart
T106-28	30.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	28	22	\$1.80	 Add to Cart
T106-33	40.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	33	33	\$1.80	 Add to Cart
T106-40	81.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	40	60	\$1.50	 Add to Cart
T106-52	95.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	52	75	\$1.50	 Add to Cart
T106-8	45.0	1.06 inch	0.560 inch	0.440 inch	8	35	\$2.46	 Add to Cart
T130-18	58.0	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	18	55	\$2.80	 Add to Cart
T130-26	81.0	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	26	75	\$1.50	 Add to Cart
T130-28	25.0	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	28	22	\$1.80	 Add to Cart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T130-33	33.5	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	33	33	\$1.50	 Add to Cart
T130-40	69.0	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	40	60	\$1.50	 Add to Cart
T130-52	79.0	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	52	75	\$1.50	 Add to Cart
T130-8	35.0	1.30 inch	0.750 inch	0.440 inch	8	35	\$3.19	 Add to Cart
T157-18	73.0	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	18	55	\$3.50	 Add to Cart
T157-26	100.00	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	26	75	\$1.50	 Add to Cart
T157-28	31.5	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	28	22	\$1.80	 Add to Cart
T157-33	43.5	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	33	33	\$1.50	 Add to Cart
T157-40	86.0	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	40	60	\$1.50	 Add to Cart
T157-52	99.0	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	52	75	\$1.50	 Add to Cart
T157-8	42.0	1.57 inch	0.950 inch	0.570 inch	8	35	\$3.50	 Add to Cart
T184-18	116.0	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	18	55	\$5.00	 Add to Cart
T184-26	169.0	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	26	75	\$2.50	 Add to Cart
T184-28	51	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	28	22	\$1.80	 Add to Cart
T184-33	70	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	33	33	\$2.50	 Add to Cart
T184-40	143	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	40	60	\$2.50	 Add to Cart
T184-52	159	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	52	75	\$2.50	 Add to Cart
T184-8	72	1.84 inch	0.960 inch	0.710 inch	8	35	\$5.50	 Add to Cart
T200-18	67.0	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	18	55	\$4.00	 Add to Cart
T200-18B	120.0	2.00 inch	1.250 inch	1.000 inch	18	55	\$5.50	 Add to Cart
T200-26	92.0	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	26	75	\$2.50	 Add to Cart
T200-26B	160.0	2.00 inch	1.250 inch	1.000 inch	26	75	\$2.50	 Add to Cart
T200-28	T-200-28	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	28	22	\$3.00	 Add to Cart
T200-33	37.0	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	33	33	\$3.75	 Add to Cart
T200-40	79.0	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	40	60	\$2.50	 Add to Cart
T200-40B	142	2.00 inch	1.250 inch	1.000 inch	40	60	\$3.60	 Add to Cart
T200-52	92	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	52	75	\$2.50	 Add to Cart
T200-52B	155	2.00 inch	1.250 inch	1.000 inch	52	75	\$3.25	 Add to Cart
T200-8	42.5	2.00 inch	1.250 inch	0.550 inch	8	35	\$6.00	 Add to Cart
T200-8B	78.,5	2.00 inch	1.250 inch	1.000 inch	8	35	\$8.50	 Add to Cart
T225-18	67.0	2.25 inch	1.400 inch	0.550 inch	18	55	\$5.00	 Add to Cart

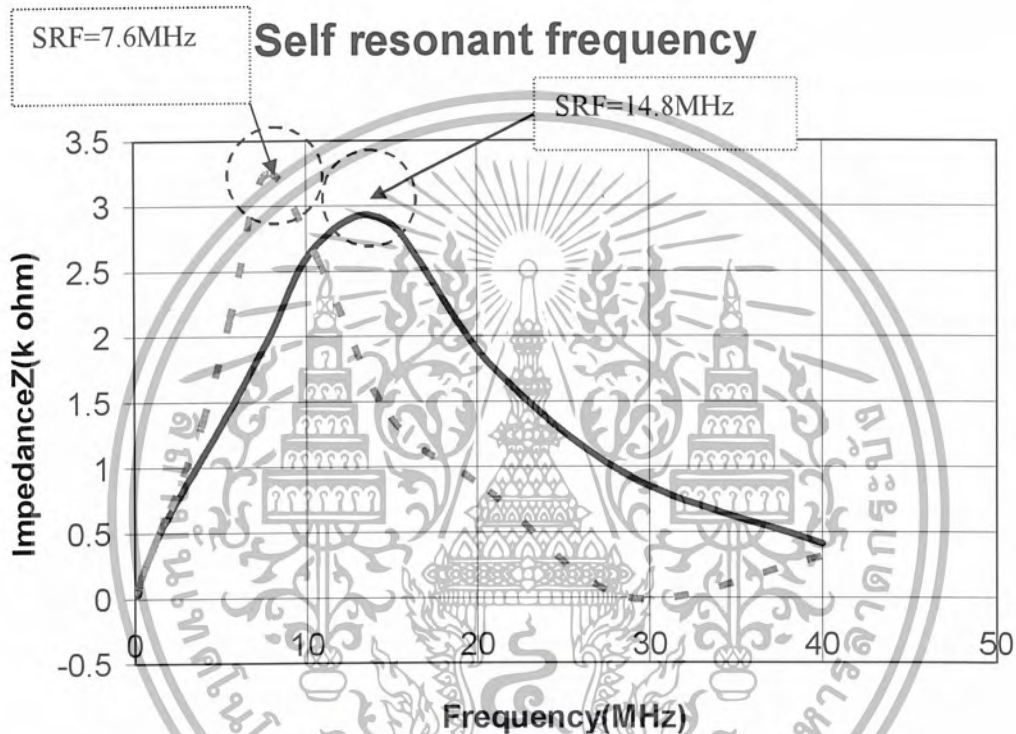
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T225-26	98.0	2.25 inch	1.400 inch	0.550 inch	26	75	\$3.00	 Add to Cart
T225-26B	160.0	2.25 inch	1.400 inch	1.000 inch	26	75	\$3.00	 Add to Cart
T225-28	21.5	2.25 inch	1.400 inch	0.550 inch	28	22	\$3.00	 Add to Cart
T225-33	37.0	2.25 inch	1.400 inch	0.550 inch	33	33	\$3.00	 Add to Cart
T225-52	92.0	2.25 inch	1.400 inch	0.550 inch	52	75	\$3.00	 Add to Cart
T225-52B	155	2.25 inch	1.400 inch	1.000 inch	52	75	\$3.00	 Add to Cart
T225-8	42.5	2.25 inch	1.400 inch	0.550 inch	8	35	\$6.00	 Add to Cart
T300-18	58.0	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	18	55	\$6.50	 Add to Cart
T300-26	80.0	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	26	75	\$5.00	 Add to Cart
T300-26D	160.0	3.00 inch	1.920 inch	1.000 inch	26	75	\$7.00	 Add to Cart
T300-28	23.0	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	28	22	\$5.00	 Add to Cart
T300-33	34.5	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	33	33	\$5.00	 Add to Cart
T300-33D	69.0	3.00 inch	1.920 inch	1.000 inch	33	33	\$7.00	 Add to Cart
T300-40	71.0	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	40	60	\$5.00	 Add to Cart
T300-40D	142.0	3.00 inch	1.920 inch	1.000 inch	40	60	\$7.00	 Add to Cart
T300-52	80.0	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	52	75	\$5.00	 Add to Cart
T300-8	37.0	3.00 inch	1.920 inch	0.500 inch	8	35	\$9.50	 Add to Cart
T400-18	96.0	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	18	55	\$17.00	 Add to Cart
T400-26	131.0	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	26	75	\$8.00	 Add to Cart
T400-26D	262.0	4.00 inch	2.250 inch	1.300 inch	26	75	\$10.00	 Add to Cart
T400-28	40.5	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	28	22	\$10.00	 Add to Cart
T400-28D	81.0	4.00 inch	2.250 inch	1.300 inch	28	22	\$18.00	 Add to Cart
T400-33	55.0	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	33	33	\$8.00	 Add to Cart
T400-33D	110.0	4.00 inch	2.250 inch	1.300 inch	33	33	\$14.00	 Add to Cart
T400-40	115.0	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	40	60	\$8.00	 Add to Cart
T400-40D	230.0	4.00 inch	2.250 inch	1.300 inch	40	60	\$10.00	 Add to Cart
T400-52	131.0	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	52	75	\$8.00	 Add to Cart
T400-8	60.0	4.00 inch	2.250 inch	0.650 inch	8	35	\$25.00	 Add to Cart
T520-26	149.0	5.20 inch	3.080 inch	0.800 inch	26	75	\$12.00	 Add to Cart
T520-28	45.0	5.20 inch	3.080 inch	0.800 inch	28	22	\$18.00	 Add to Cart
T520-33	65	5.20 inch	3.080 inch	0.800 inch	33	33	\$16.50	 Add to Cart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Self Resonant Frequency: SRF

องค์ประกอบต่างๆที่แฝงอยู่ในตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ จะเป็นตัวจำกัดย่านใช้งานสูงสุดของอุปกรณ์ ซึ่งจุดที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าคือจุดความถี่ SRF และในชุดการศึกษาสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้ามีอุปกรณ์ที่มีความถี่ SRF ที่แตกต่างกันคือ ตัวเหนี่ยวนำของวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์ โดยตัวเหนี่ยวนำที่มีค่า $70.4 \mu\text{H}$ จะมีค่าความถี่ SRF ที่ 14.8 MHz และตัวเหนี่ยวนำที่มีค่า $69.2 \mu\text{H}$ มีค่าความถี่ SRF ที่ 7.6 MHz ดังรูป



รูปแสดงจุด SRF ของตัวเหนี่ยวนำในวงจรชุดคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

รายการอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงรายการอุปกรณ์ชุดพัฒนาระบบอากาศยาน

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน
1	หม้อแปลงไฟฟ้า 220/15 V 800mA	1
2	ชุด Bridge rectifier	2
3	IC Regulator เบอร์ 7812	2
4	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 470 μ F	2
5	ตัวต้านทาน 5 k Ω	2
6	พัลลวม 12 V_{DC}	4
7	หลอดไฟแสดงสัญญาณ(LED)	2

ตารางแสดงรายการอุปกรณ์ชุดวงจรกำลังของวงจรมอดูเลเตอร์

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน
1	หม้อแปลงไฟฟ้า 220/21V	1
2	ชุด Bridge rectifier	1
3	มอสเฟต เบอร์ IRFP 460	1
4	ตัวเหนี่ยวนำ 70.4 μ H	2
5	ตัวเหนี่ยวนำ 10 μ H	1
6	ตัวเหนี่ยวนำ 1 mH	1
7	ไดโอด เบอร์ MUR 1510	2
8	ไดโอด เบอร์ MUR 1560	1
9	ตัวเก็บประจุ WIMA 1800 pF	1
10	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 10000 μ F 100V	2
11	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 470 μ F 250 V	1
12	ตัวต้านทาน 30 Ω 5 w	1
13	ตัวต้านทาน 30 Ω 30 w	4
14	ตัวเก็บประจุเซรามิก 100 nF	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงรายการอุปกรณ์ชุดวงจรกรองสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน
1	ตัวเก็บประจุ C_X	4
2	ตัวเก็บประจุ C_Y	6
3	ตัวต้านทาน 10 M Ω	1
4	ตัวเหนี่ยวนำ L_{CM} 10 mH	1
5	ตัวเหนี่ยวนำ L_{GND} 0.5 mH	1

ตารางแสดงรายการอุปกรณ์ชุดคอนโทรล

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน
1	IC เบอร์ SG 3524	1
2	IC เบอร์ IR 2110/2113	1
3	หม้อแปลงไฟฟ้า 220/18 V300mA	1
4	ชุด Bridge rectifier	1
5	IC Regulator เบอร์ 7815	1
6	IC Regulator เบอร์ 7812	1
7	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 2200 μ F 50V	1
8	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 220 μ F 35V	2
9	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 1 μ F 25V	1
10	ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ 4.7 μ F 25V	1
11	หลอดไฟแสดงสัญญาณ(LED)	1
12	ตัวเก็บประจุเซรามิก 0.1 μ F	4
13	ตัวเก็บประจุเซรามิก 3 nF	1
14	ตัวต้านทาน 330 Ω	1
15	ตัวต้านทาน 2 k Ω	2
16	ตัวต้านทาน 10 k Ω	1
17	ตัวต้านทาน 3 k Ω	1
18	ตัวต้านทาน 10 Ω	2
19	ตัวต้านทานปรับค่าได้ 20 k Ω	2
20	ตัวต้านทานปรับค่าได้ 50 k Ω	1
21	ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 k Ω	1
22	รีเลย์ 12 V _{DC}	4
23	ซีเนอร์ไดโอด 15 V	1
24	ไดโอดเบอร์ 1N4007	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

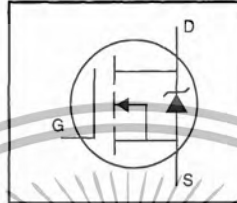
DATA SHEETS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

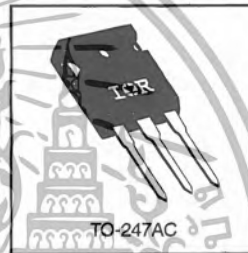


$V_{DSS} = 500V$
 $R_{DS(on)} = 0.27\Omega$
 $I_D = 20A$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	13	A
I_{DM}	80	A
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	280	W
Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	±20	V
E_{AS}	960	mJ
I_{AR}	20	A
E_{AR}	28	mJ
dv/dt	3.5	V/ns
T_J	-55 to +150	°C
T_{STG}	300 (1.6mm from case)	°C
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	°C
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	—	—	40	

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V _{(BR)DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V _{GS} =0V, I _D =250μA
ΔV _{(BR)DSS/ΔT_J}	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D =1mA
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V _{GS} =10V, I _D =12A ④
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V _{DS} =V _{GS} , I _D =250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	V _{DS} =50V, I _D =12A ④
I _{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V _{DS} =500V, V _{GS} =0V
		—	—	250	μA	V _{DS} =400V, V _{GS} =0V, T _J =125°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V _{GS} =20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V _{GS} =-20V
Q _g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I _D =20A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	V _{DS} =400V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	V _{GS} =10V See Fig. 6 and 13 ④
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V _{DD} =250V
t _r	Rise Time	—	59	—	ns	I _D =20A
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	R _G =4.3Ω
t _f	Fall Time	—	58	—	ns	R _D =13Ω See Figure 10 ④
L _D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L _S	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C _{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V _{GS} =0V
C _{oss}	Output Capacitance	—	870	—	pF	V _{DS} =25V
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	f=1.0MHz See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I _{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80	A	
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T _J =25°C, I _S =20A, V _{GS} =0V ④
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T _J =25°C, I _F =20A
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	di/dt=100A/μs ④
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _S +L _D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② V_{DD}=50V, starting T_J=25°C, L=4.3mH R_G=25Ω, I_{AS}=20A (See Figure 12)
- ③ I_{SD}≤20A, di/dt≤160A/μs, V_{DD}≤V_{(BR)DSS}, T_J≤150°C
- ④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

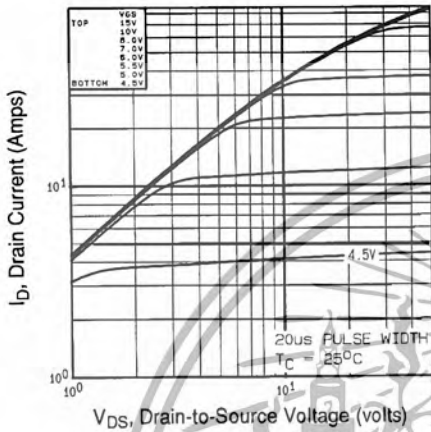


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_c=25^\circ\text{C}$

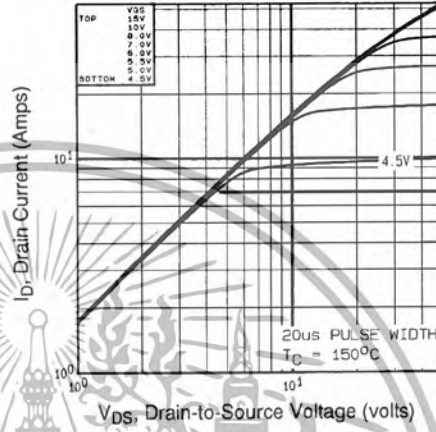


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_c=150^\circ\text{C}$

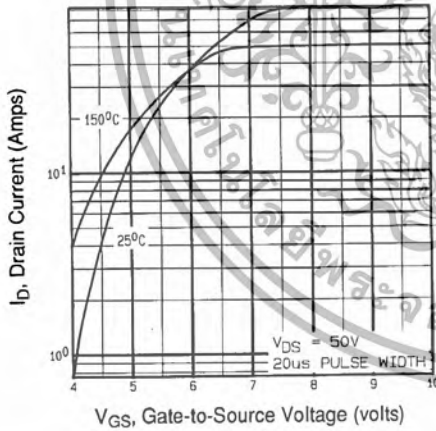


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

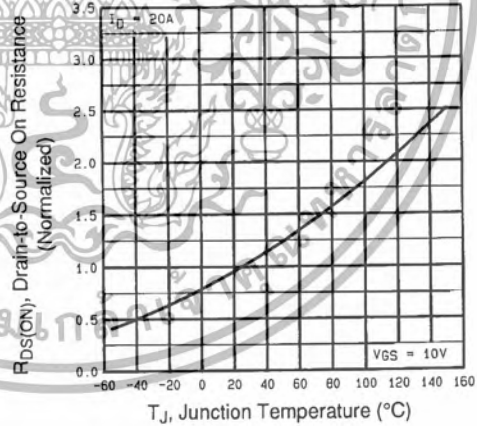


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

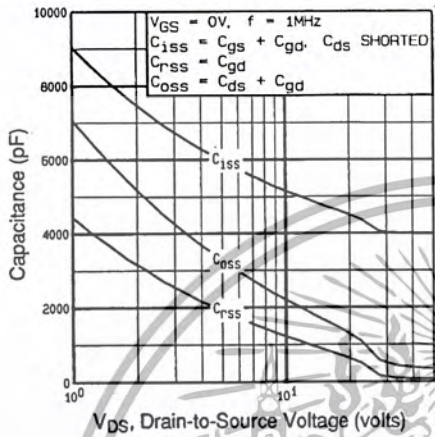


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

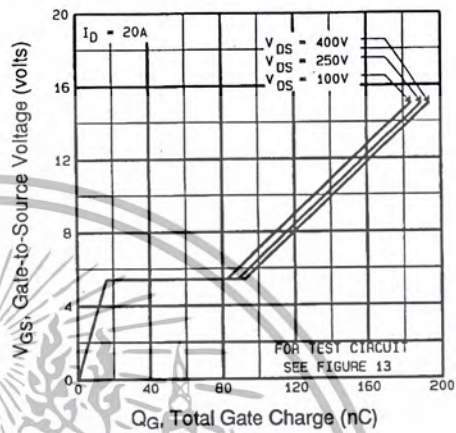


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

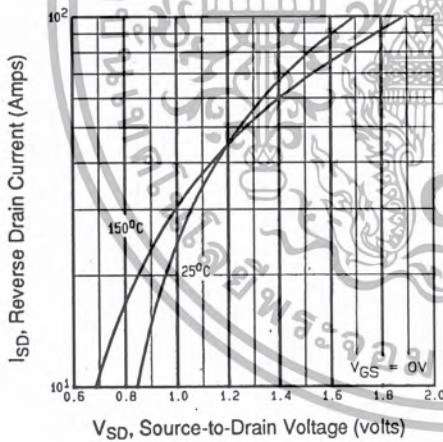


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

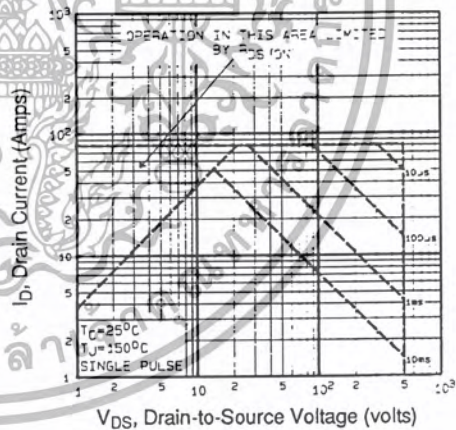


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

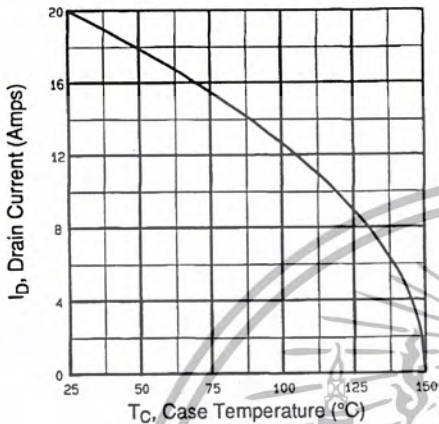


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

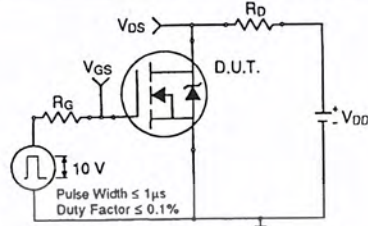


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

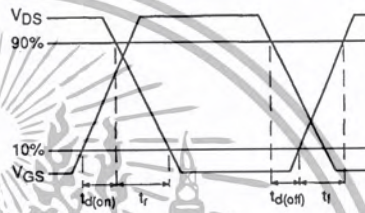


Fig 10b. Switching Time Waveforms

DATA SHEETS

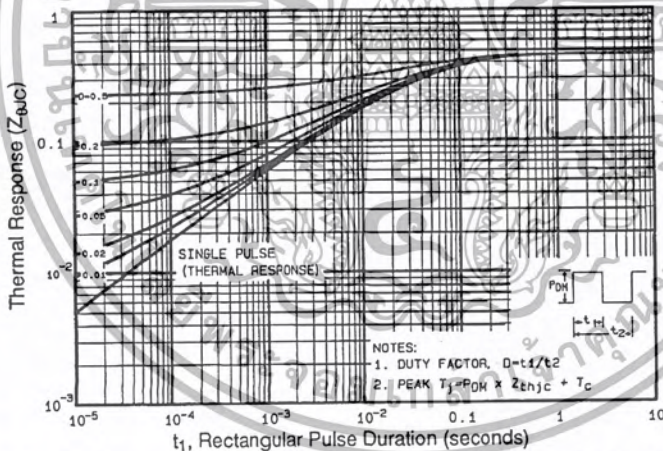


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

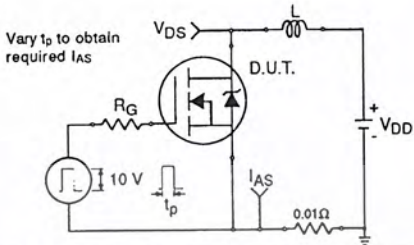


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

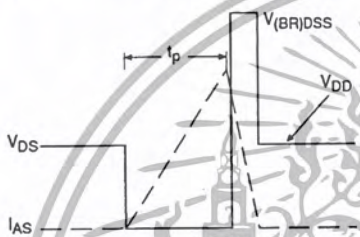


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

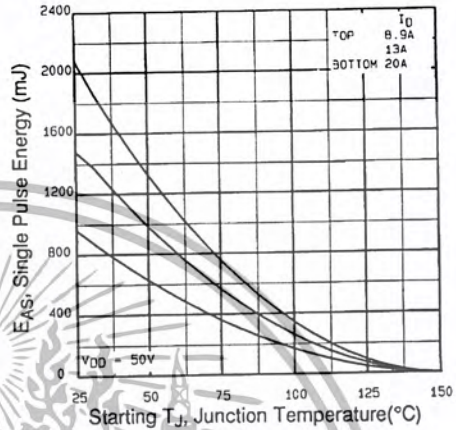


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

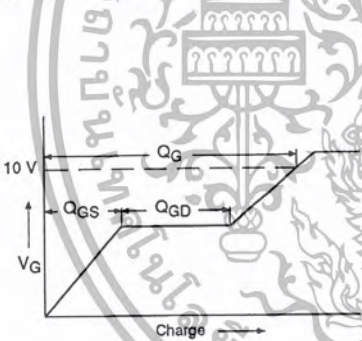


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

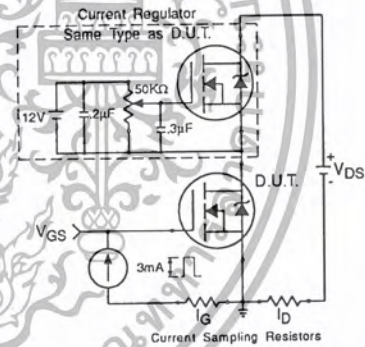


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

Preferred Devices

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

... designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- Popular TO-220 Package
- High Voltage Capability to 600 Volts
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 units per plastic tube
- Marking: U1510, U1515, U1520, U1540, U1560

MAXIMUM RATINGS

Please See the Table on the Following Page



ON Semiconductor™

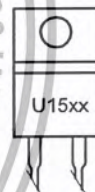
<http://onsemi.com>

**ULTRAFAST
RECTIFIERS
15 AMPERES
100-600 VOLTS**



TO-220AC
CASE 221B
PLASTIC

MARKING DIAGRAM



U15xx = Device Code
xx = 10, 15, 20,
40 or 60

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MUR1510	TO-220	50 Units/Rail
MUR1515	TO-220	50 Units/Rail
MUR1520	TO-220	50 Units/Rail
MUR1540	TO-220	50 Units/Rail
MUR1560	TO-220	50 Units/Rail

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR					Unit
		1510	1515	1520	1540	1560	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	100	150	200	400	600	Volts
Average Rectified Forward Current (Rated V_R)	$I_{F(AV)}$	15 @ $T_C = 150^\circ\text{C}$			15 @ $T_C = 145^\circ\text{C}$		Amps
Peak Rectified Forward Current (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz)	I_{FRM}	30 @ $T_C = 150^\circ\text{C}$			30 @ $T_C = 145^\circ\text{C}$		Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	200			150		Amps
Operating Junction Temperature and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +175					$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Maximum Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
--	-----------------	-----	---------------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1.) ($I_F = 15$ Amps, $T_C = 150^\circ\text{C}$) ($I_F = 15$ Amps, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.85 1.05	1.12 1.25	1.20 1.50	Volts
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1.) (Rated dc Voltage, $T_C = 150^\circ\text{C}$) (Rated dc Voltage, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	i_R	500 10	500 10	1000 10	μA
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0$ Amp, $di/dt = 50$ Amps/ μs)	t_{rr}	35		60	ns

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

MUR1510, MUR1515, MUR1520

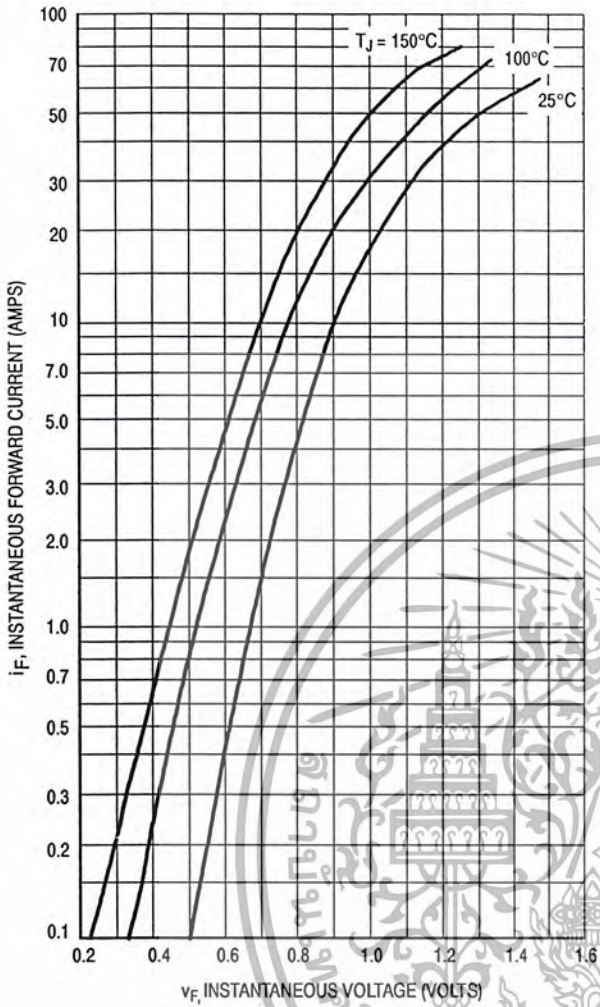


Figure 1. Typical Forward Voltage

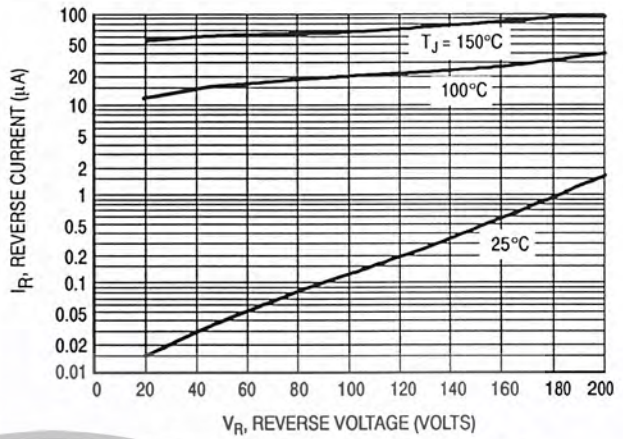


Figure 2. Typical Reverse Current

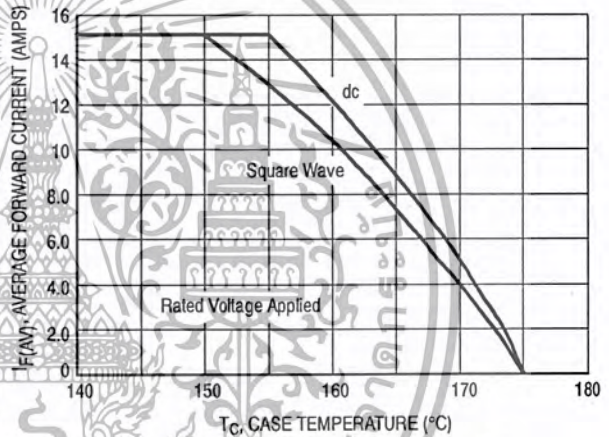


Figure 3. Current Derating, Case

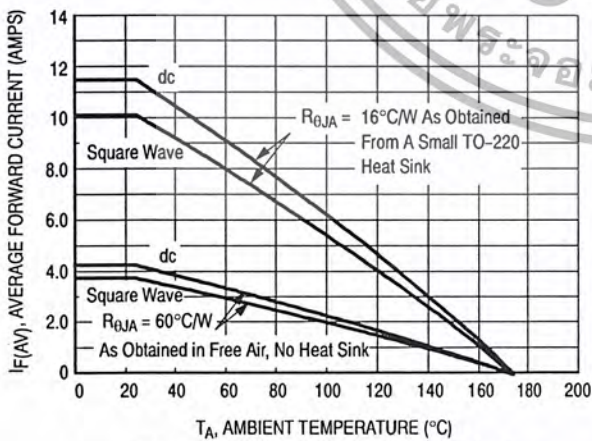


Figure 4. Current Derating, Ambient

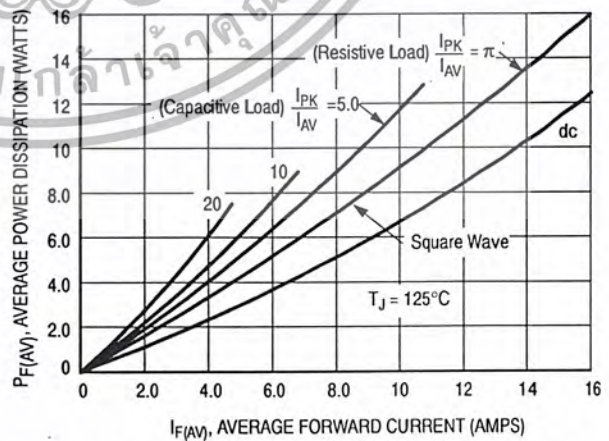


Figure 5. Power Dissipation

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

MUR1540

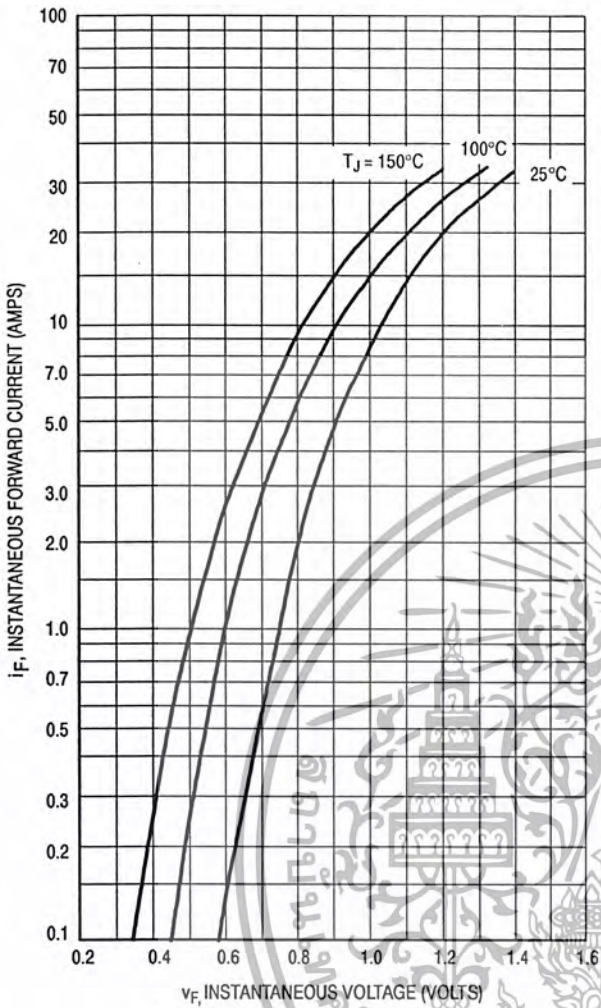


Figure 6. Typical Forward Voltage

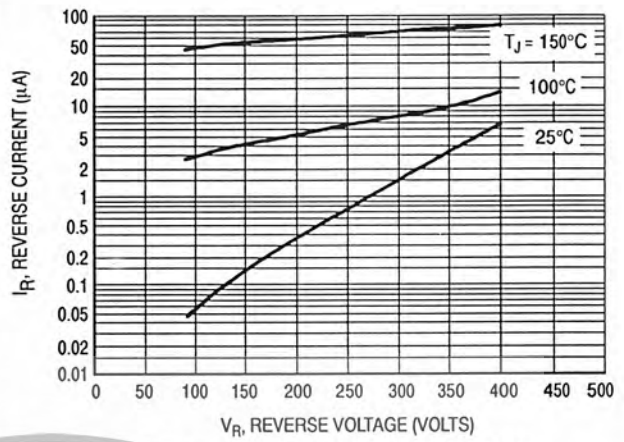


Figure 7. Typical Reverse Current

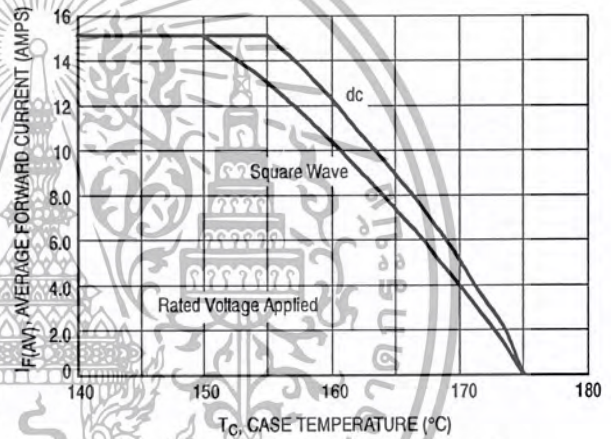


Figure 8. Current Derating, Case

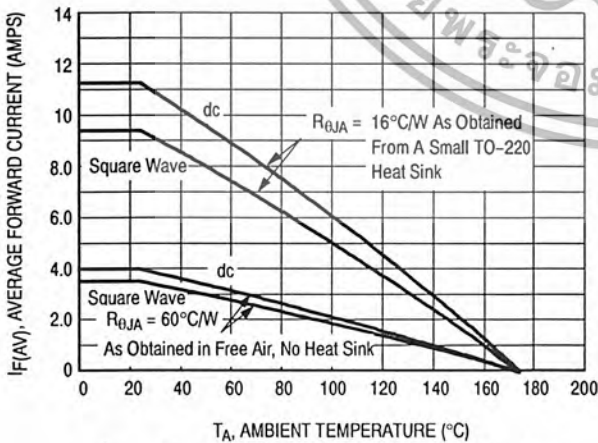


Figure 9. Current Derating, Ambient

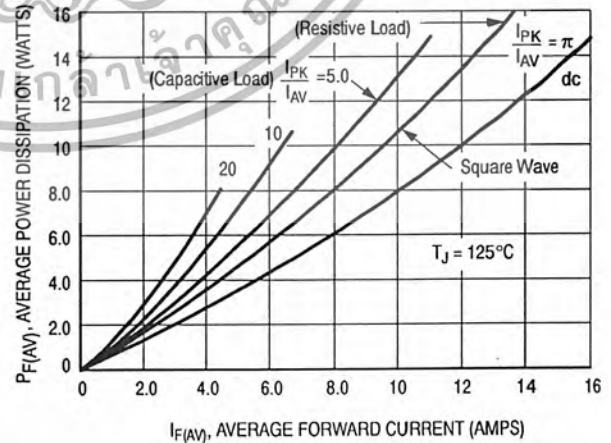


Figure 10. Power Dissipation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

MUR1560

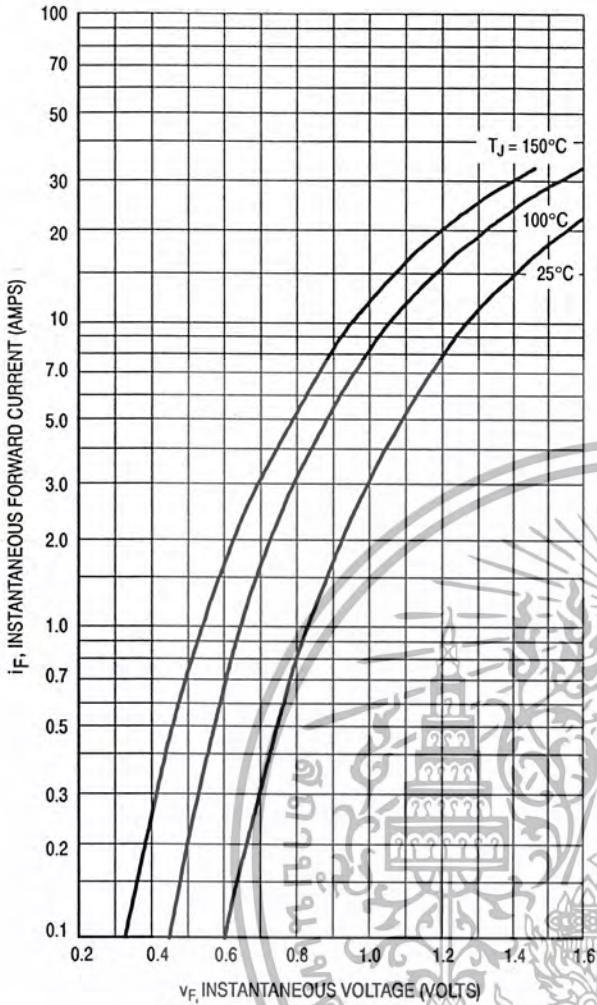


Figure 11. Typical Forward Voltage

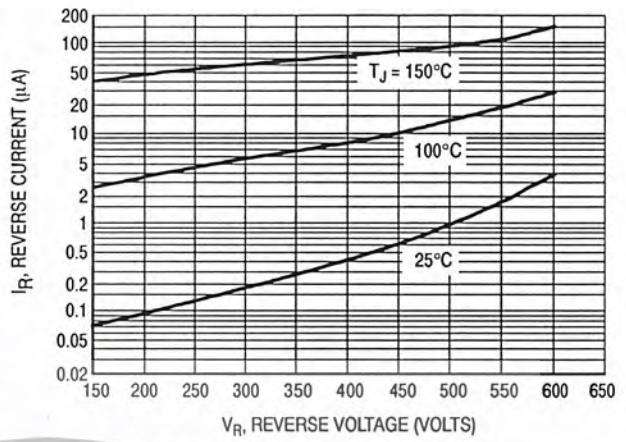


Figure 12. Typical Reverse Current

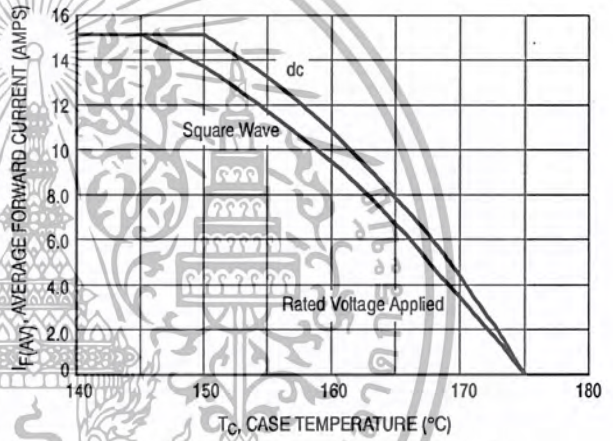


Figure 13. Current Derating, Case

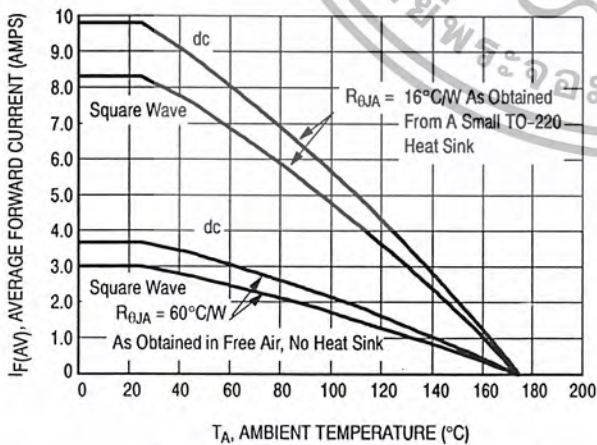


Figure 14. Current Derating, Ambient

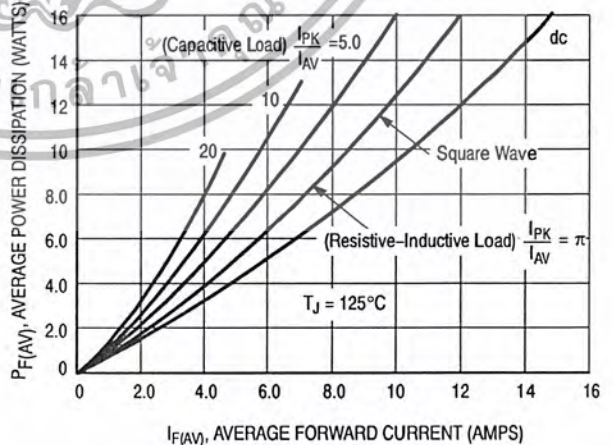


Figure 15. Power Dissipation

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

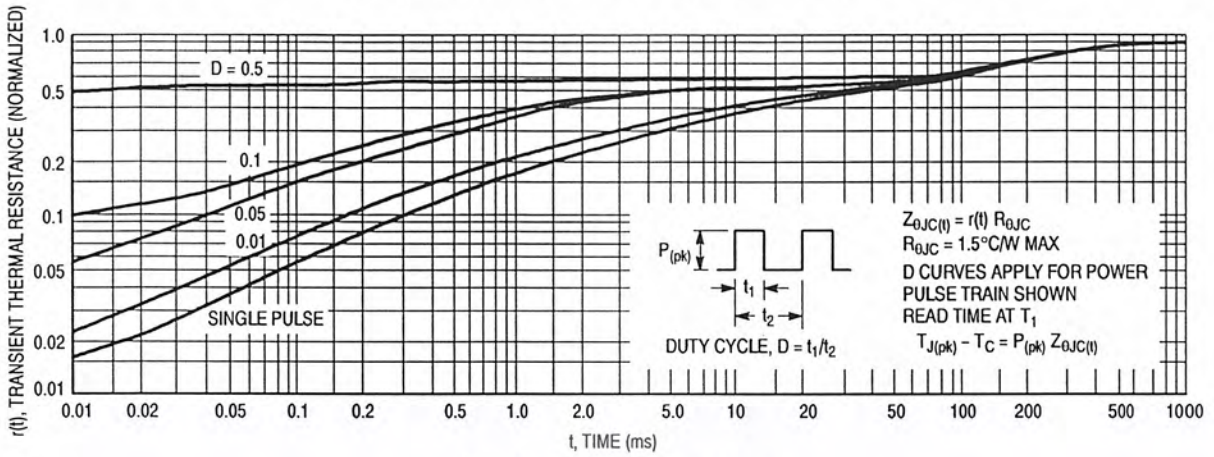


Figure 16. Thermal Response

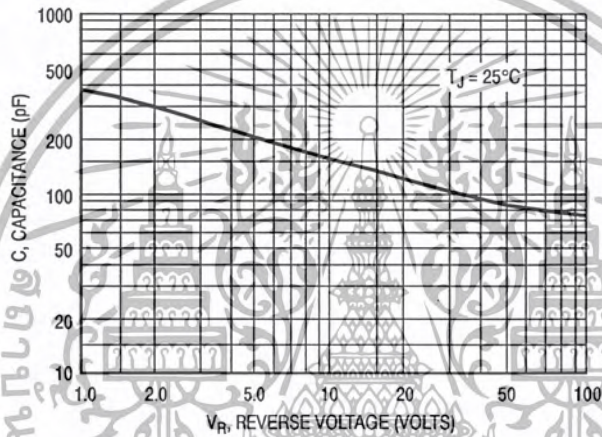


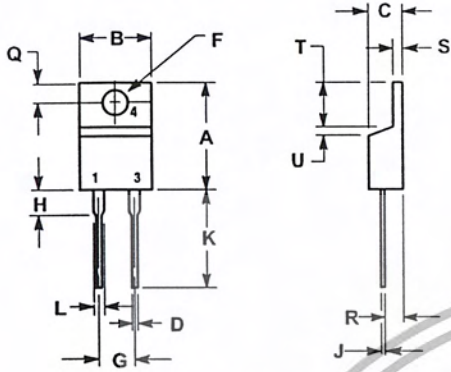
Figure 17. Typical Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220 TWO-LEAD
CASE 221B-04
ISSUE D



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.620	15.11	15.75
B	0.380	0.405	9.65	10.29
C	0.160	0.190	4.06	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.89
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.190	0.210	4.83	5.33
H	0.110	0.130	2.79	3.30
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.14	1.52
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.14	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.48
U	0.000	0.050	0.000	1.27



SMPS control circuit

SG3524

DESCRIPTION

This monolithic integrated circuit contains all the control circuitry for a regulating power supply inverter or switching regulator. Included in a 16-pin dual-in-line package is the voltage reference, error amplifier, oscillator, pulse-width modulator, pulse steering flip-flop, dual alternating output switches and current-limiting and shut-down circuitry. This device can be used for switching regulators of either polarity, transformer-coupled DC-to-DC converters, transformerless voltage doublers and polarity converters, as well as other power control applications. The SG3524 is designed for commercial applications of 0°C to +70°C.

FEATURES

- Complete PWM power control circuitry
- Single ended or push-pull outputs
- Line and load regulation of 0.2%
- 1% maximum temperature variation
- Total supply current is less than 10mA
- Operation beyond 100kHz

PIN CONFIGURATION

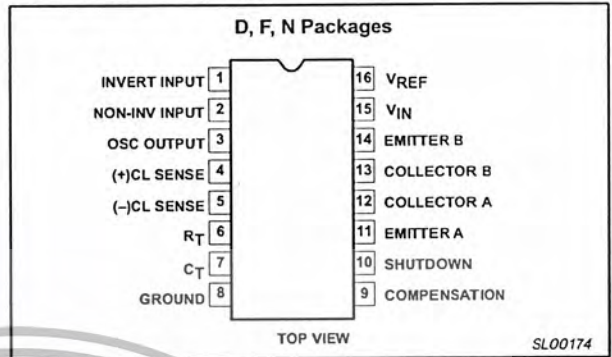


Figure 1. Pin Configuration

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	SG3524N	SOT38-4
16-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to +70°C	SG3524F	0582B
16-Pin Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	SG3524D	SOT109-1

BLOCK DIAGRAM

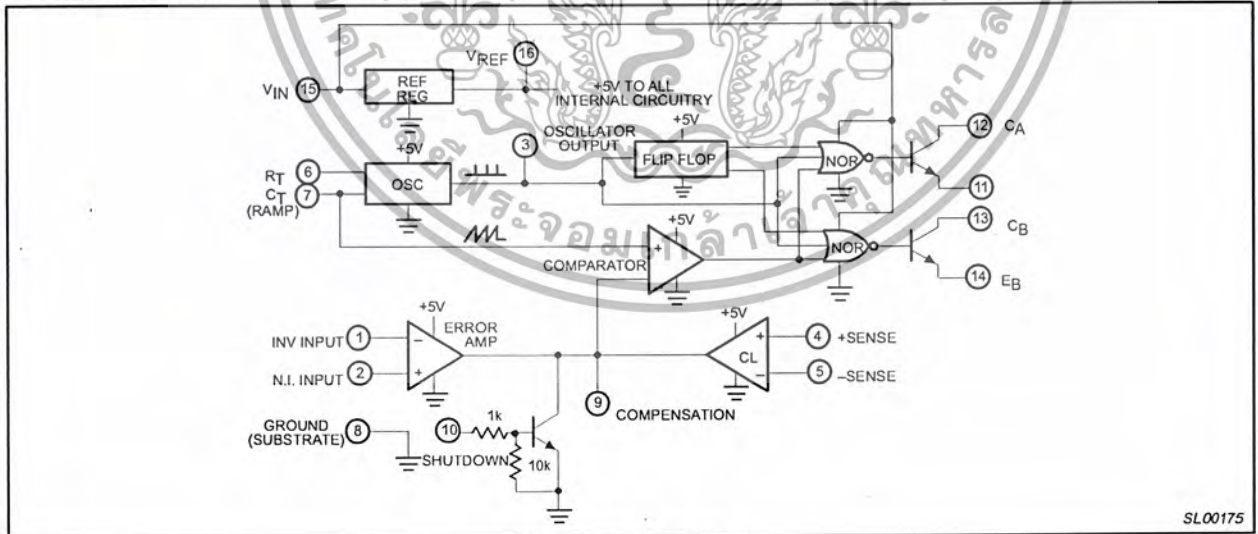


Figure 2. Block Diagram

SMPS control circuit

SG3524

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{IN}	Input voltage	40	V
I_{OUT}	Output current (each output)	100	mA
I_{REF}	Reference output current	50	mA
	Oscillator charging current	5	mA
P_D	Power dissipation	1000	mW
	Package limitation	8	mW/°C
	Derate above 25°C		
T_A	Operating temperature range	0 to +70	°C
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	°C

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A=0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $V_{IN}=20\text{V}$, and $f=20\text{kHz}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
Reference section						
V_{OUT}	Output voltage		4.6	5.0	5.4	V
	Line regulation	$V_{IN}=8$ to 40V		10	30	mV
	Load regulation	$I_L=0$ to 20mA		20	50	mV
	Ripple rejection	$f=120\text{Hz}$, $T_A=25^\circ\text{C}$		66		dB
I_{SC}	Short circuit current limit	$V_{REF}=0$, $T_A=25^\circ\text{C}$		100		mA
	Temperature stability	Over operating temperature range		0.3	1	%
	Long-term stability	$T_A=25^\circ\text{C}$		±20		mV/kHz
Oscillator section						
f_{MAX}	Maximum frequency	$C_T=0.001\ \mu\text{F}$, $R_T=2\text{k}\Omega$		300		kHz
	Initial accuracy	R_T and C_T constant		5		%
	Voltage stability	$V_{IN}=8$ to 40V , $T_A=25^\circ\text{C}$			1	%
	Temperature stability	Over operating temperature range			2	%
	Output amplitude	Pin 3, $T_A=25^\circ\text{C}$		3.5		V_P
	Output pulse width	$C_T=0.01\ \mu\text{F}$, $T_A=25^\circ\text{C}$		0.5		μs
Error amplifier section						
V_{OS}	Input offset voltage	$V_{CM}=2.5\text{V}$		2	10	mV
I_{BIAS}	Input bias current	$V_{CM}=2.5\text{V}$		2	10	μA
	Open-loop voltage gain		68	80		dB
V_{CM}	Common-mode voltage	$T_A=25^\circ\text{C}$	1.8		3.4	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	$T_A=25^\circ\text{C}$		70		dB
BW	Small-signal bandwidth	$A_V=0\text{dB}$, $T_A=25^\circ\text{C}$		3		MHz
V_{OUT}	Output voltage	$T_A=25^\circ\text{C}$	0.5		3.8	V
Comparator section						
	Duty cycle	% each output "ON"	0		45	%
	Input threshold	Zero duty cycle		1		V
	Input threshold	Maximum duty cycle		3.5		V
I_{BIAS}	Input bias current			1		μA
Current limiting section						
	Sense voltage	Pin 9=2V with error amplifier set for maximum out, $T_A=25^\circ\text{C}$	180	200	220	mV
	Sense voltage T.C.			0.2		mV/°C
V_{CM}	Common-mode voltage		-1		+1	V

SMPS control circuit

SG3524

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $V_{IN} = 20\text{V}$, and $f = 20\text{kHz}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
Output section (each output)						
	Collector-emitter voltage (breakdown)		40			V
	Collector-leakage current	$V_{CE}=40\text{V}$		0.1	50	μA
	Saturation voltage	$I_C=50\text{mA}$		1	2	V
	Emitter output voltage	$V_{IN}=20\text{V}$	17	18		V
t_R	Rise time	$R_C=2\text{k}\Omega$, $T_A=25^\circ\text{C}$		0.2		μs
t_F	Fall time	$R_C=2\text{k}\Omega$, $T_A=25^\circ\text{C}$		0.1		μs
Total standby current						
	(excluding oscillator charging current, error and current limit dividers, and with outputs open)	$V_{IN}=40\text{V}$		8	10	mA

THEORY OF OPERATION

Voltage Reference

An internal series regulator provides a nominal 5V output which is used both to generate a reference voltage and is the regulated source for all the internal timing and controlling circuitry. This regulator may be bypassed for operation from a fixed 5V supply by

connecting Pins 15 and 16 together to the input voltage. In this configuration, the maximum input voltage is 6.0V.

This reference regulator may be used as a 5V source for other circuitry. It will provide up to 50mA of current itself and can easily be expanded to higher currents with an external PNP as shown in Figure 3.

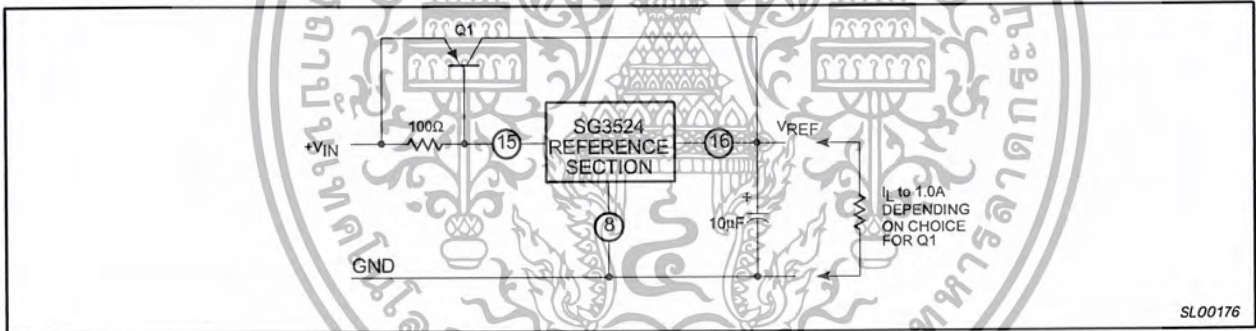


Figure 3. Expanded Reference Current Capability

TEST CIRCUIT

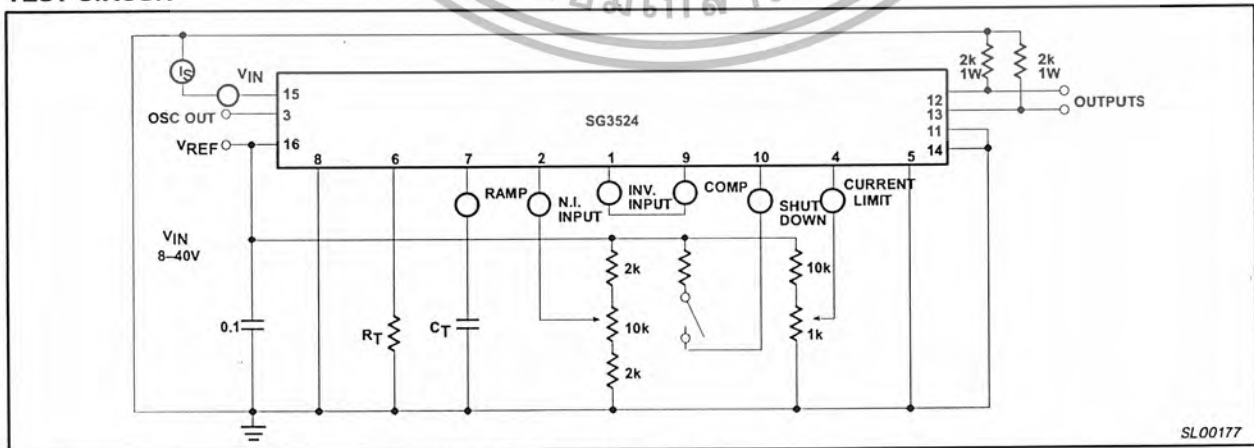


Figure 4. Test Circuit

SMPS control circuit

SG3524

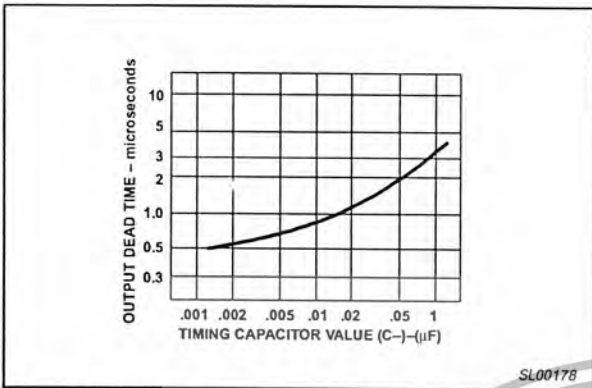


Figure 5. Output Stage Dead Time as a Function of the Timing Capacitor Value

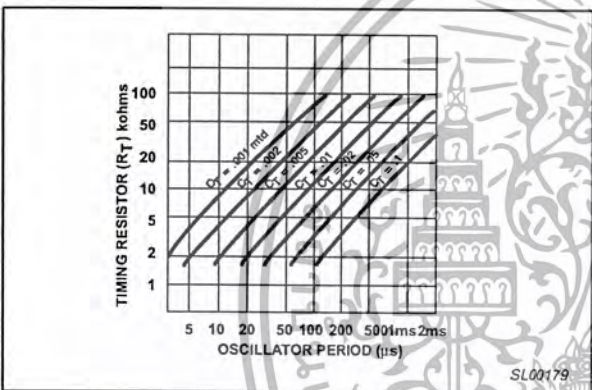


Figure 6. Oscillator Period as a Function of R_T and C_T

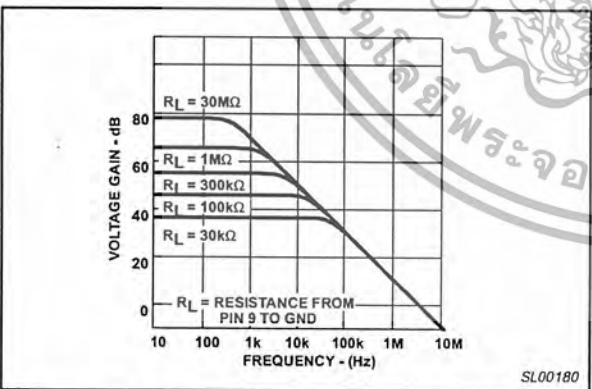


Figure 7. Amplifiers Open-Loop Gain as a Function of Frequency and Loading on Pin 9

Oscillator

The oscillator in the SG3524 uses an external resistor (R_T) to establish a constant charging current into an external capacitor (C_T). While this uses more current than a series-connected RC, it provides a linear ramp voltage on the capacitor which is also used as a reference for the comparator. The charging current is equal to

$3.6 V + R_T$ and should be kept within the approximate range of $30\mu A$ to $2mA$; i.e., $1.8k < R_T < 100k$.

The range of values for C_T also has limits as the discharge time of C_T determines the pulse-width of the oscillator output pulse. This pulse is used (among other things) as a blanking pulse to both outputs to insure that there is no possibility of having both outputs on simultaneously during transitions. This output dead time relationship is shown in Figure 5. A pulse width below approximately $0.5\mu s$ may allow false triggering of one output by removing the blanking pulse prior to the flip-flop's reaching a stable state. If small values of C_T must be used, the pulse-width may still be expanded by adding a shunt capacitance ($\approx 100pF$) to ground at the oscillator output. [(Note: Although the oscillator output is a convenient oscilloscope sync input, the cable and input capacitance may increase the blanking pulse-width slightly.)] Obviously, the upper limit to the pulse width is determined by the maximum duty cycle acceptable. Practical values of C_T fall between 0.001 and $0.1\mu F$.

The oscillator period is approximately $t = R_T C_T$ where t is in microseconds when $R_T = \Omega$ and $C_T = \mu F$. The use of Figure 6 will allow selection of R_T and C_T for a wide range of operating frequencies. Note that for series regulator applications, the two outputs can be connected in parallel for an effective 0-90% duty cycle and the frequency of the oscillator is the frequency of the output. For push-pull applications, the outputs are separated and the flip-flop divides the frequency such that each output's duty cycle is 0-45% and the overall frequency is one-half that of the oscillator.

External Synchronization

If it is desired to synchronize the SG3524 to an external clock, a pulse of $\approx +3V$ may be applied to the oscillator output terminal with $R_T C_T$ set slightly greater than the clock period. The same considerations of pulse-width apply. The impedance to ground at this point is approximately $2k\Omega$.

If two or more SG3524s must be synchronized together, one must be designated as master with its $R_T C_T$ set for the correct period. The slaves should each have an $R_T C_T$ set for approximately 10% longer period than the master with the added requirement that C_T (slave) = one-half C_T (master). Then connecting Pin 3 on all units together will insure that the master output pulse—which occurs first and has a wider pulse width—will reset the slave units.

Error Amplifier

This circuit is a simple differential input transconductance amplifier. The output is the compensation terminal, Pin 9, which is a high-impedance node ($R_L \approx 5M\Omega$). The gain is

$$A_V = g_m R_L = \frac{8 I_C R_L}{2kT} \approx 0.002 R_L$$

and can easily be reduced from a nominal of 10,000 by an external shunt resistance from Pin 9 to ground, as shown in Figure 7.

In addition to DC gain control, the compensation terminal is also the place for AC phase compensation. The frequency response curves of Figure 7 show the uncompensated amplifier with a single pole at approximately 200Hz and a unity gain crossover at 5MHz.

Typically, most output filter designs will introduce one or more additional poles at a significantly lower frequency. Therefore, the best stabilizing network is a series RC combination between Pin 9 and ground which introduces a zero to cancel one of the output filter poles. A good starting point is $50k\Omega$ plus $0.001\mu F$.

SMPS control circuit

SG3524

One final point on the compensation terminal is that this is also a convenient place to insert any programming signal which is to override the error amplifier. Internal shutdown and current limit circuits are connected here, but any other circuit which can sink 200µA can pull this point to ground, thus shutting off both outputs.

While feedback is normally applied around the entire regulator, the error amplifier can be used with conventional operational amplifier feedback and is stable in either the inverting or non-inverting mode. Regardless of the connections, however, input common-mode limits must be observed or output signal inversions may result. For conventional regulator applications, the 5V reference voltage must be divided down as shown in Figure 8. The error amplifier may also be used in fixed duty cycle applications by using the unity gain configuration shown in the open-loop test circuit.

Current Limiting

The current limiting circuitry of the SG3524 is shown in Figure 9.

By matching the base-emitter voltages of Q1 and Q2, and assuming a negligible voltage drop across R1:

$$\text{Threshold} = V_{BE}(Q1) + I_1 R_2 - V_{BE}(Q2)$$

$$\approx I_1 R_2 \approx 200\text{mV}$$

Although this circuit provides a relatively small threshold with a negligible temperature coefficient, there are some limitations to its use, the most important of which is the ±1V common-mode range which requires sensing in the ground line. Another factor to consider is that the frequency compensation provided by R1, C1 and Q1 provides a roll-off pole at approximately 300Hz.

Since the gain of this circuit is relatively low, there is a transition region as the current limit amplifier takes over pulse width control from the error amplifier. For testing purposes, threshold is defined as the input voltage required to get 25% duty cycle with the error amplifier signaling maximum duty cycle.

In addition to constant current limiting, Pins 4 and 5 may also be used in transformer-coupled circuits to sense primary current and to shorten an output pulse, should transformer saturation occur. Another application is to ground Pin 5 and use Pin 4 as an additional shutdown terminal: i.e., the output will be off with Pin 4 open and on when it is grounded. Finally, foldback current limiting can be provided with the network of Figure 10. This circuit can reduce the short-circuit current (I_{SC}) to approximately one-third the maximum available output current (I_{MAX}).

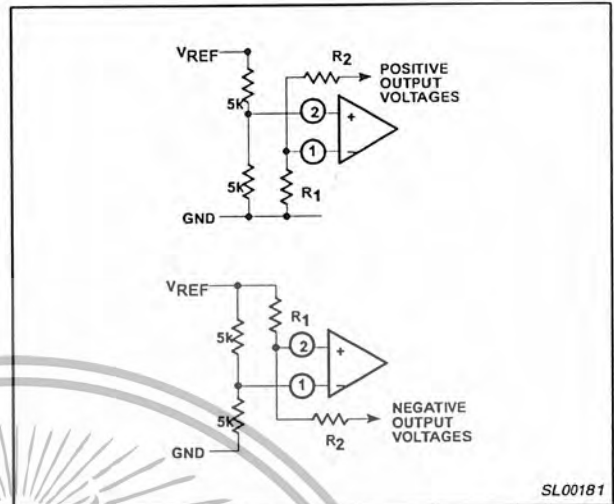


Figure 8. Error Amplifier Biasing Circuits

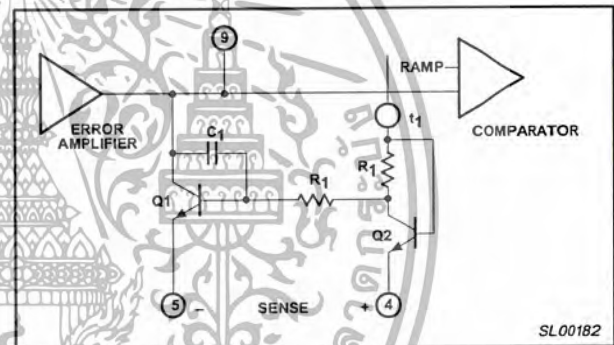


Figure 9. Current Limiting Circuitry of the SG3524

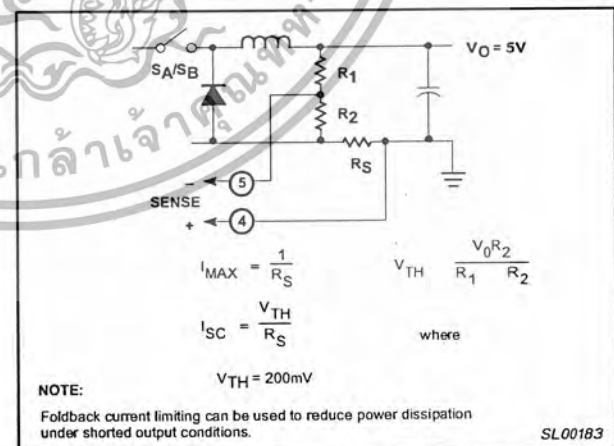


Figure 10. Foldback Current Limiting

IR2110

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- Separate logic supply range from 5 to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

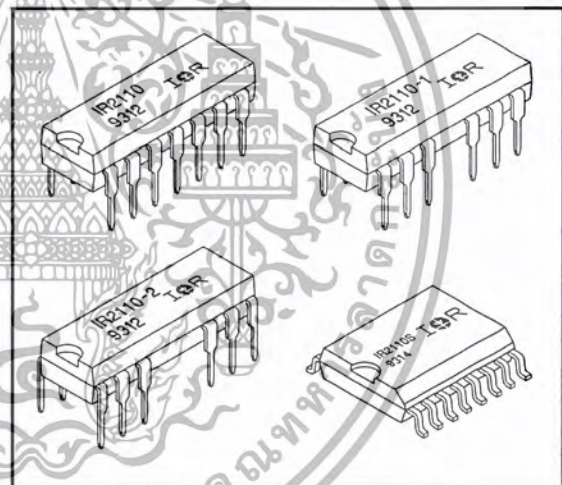
Description

The IR2110 is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL outputs. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 volts.

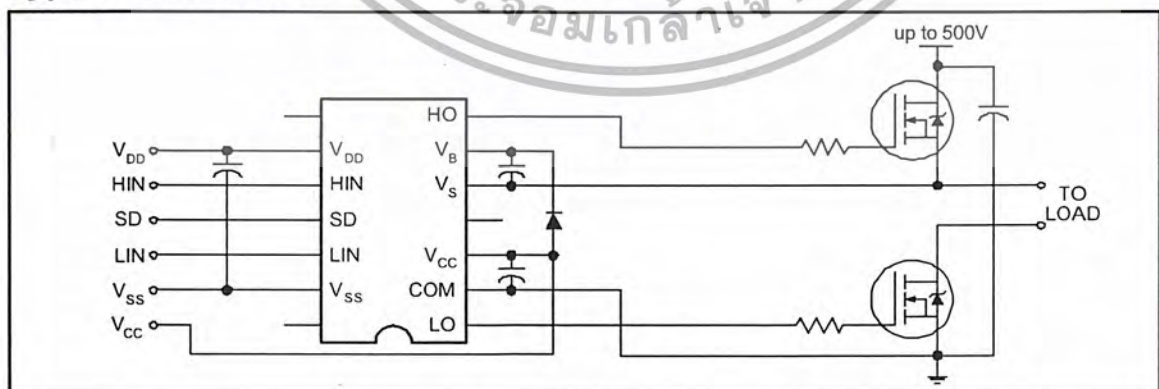
Product Summary

V_{OFFSET}	500V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching	10 ns

Packages



Typical Connection



IR2110

Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The Thermal Resistance and Power Dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V _B	High Side Floating Supply Voltage	-0.3	525	V
V _S	High Side Floating Supply Offset Voltage	V _B - 25	V _B + 0.3	
V _{HO}	High Side Floating Output Voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3	
V _{CC}	Low Side Fixed Supply Voltage	-0.3	25	
V _{LO}	Low Side Output Voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3	
V _{DD}	Logic Supply Voltage	-0.3	V _{SS} + 25	
V _{SS}	Logic Supply Offset Voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3	
V _{IN}	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3	
dV _g /dt	Allowable Offset Supply Voltage Transient (Figure 2)	—	50	V/ns
P _D	Package Power Dissipation @ T _A ≤ +25°C (14 Lead DIP)	—	1.6	W
	(14 Lead DIP w/o Lead 4)	—	1.5	
	(16 Lead DIP w/o Leads 5 & 6)	—	1.6	
	(16 Lead SOIC)	—	1.25	
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient (14 Lead DIP)	—	75	°C/W
	(14 Lead DIP w/o Lead 4)	—	85	
	(16 Lead DIP w/o Leads 5 & 6)	—	75	
	(16 Lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction Temperature	—	150	°C
T _S	Storage Temperature	-55	150	
T _L	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The Input/Output logic timing diagram is shown in Figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in Figures 36 and 37.

Symbol	Parameter Definition	Value		Units
		Min.	Max.	
V _B	High Side Floating Supply Absolute Voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High Side Floating Supply Offset Voltage	Note 1	500	
V _{HO}	High Side Floating Output Voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low Side Fixed Supply Voltage	10	20	
V _{LO}	Low Side Output Voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic Supply Voltage	V _{SS} + 5	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic Supply Offset Voltage	-5	5	
V _{IN}	Logic Input Voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient Temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_Bs.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
t_{on}	Turn-On Propagation Delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-Off Propagation Delay	8	—	94	125		$V_S = 500V$
t_{sd}	Shutdown Propagation Delay	9	—	110	140		$V_S = 500V$
t_r	Turn-On Rise Time	10	—	25	35		
t_f	Turn-Off Fall Time	11	—	17	25		
MT	Delay Matching, HS & LS Turn-On/Off	—	—	—	10		

Static Electrical Characteristics

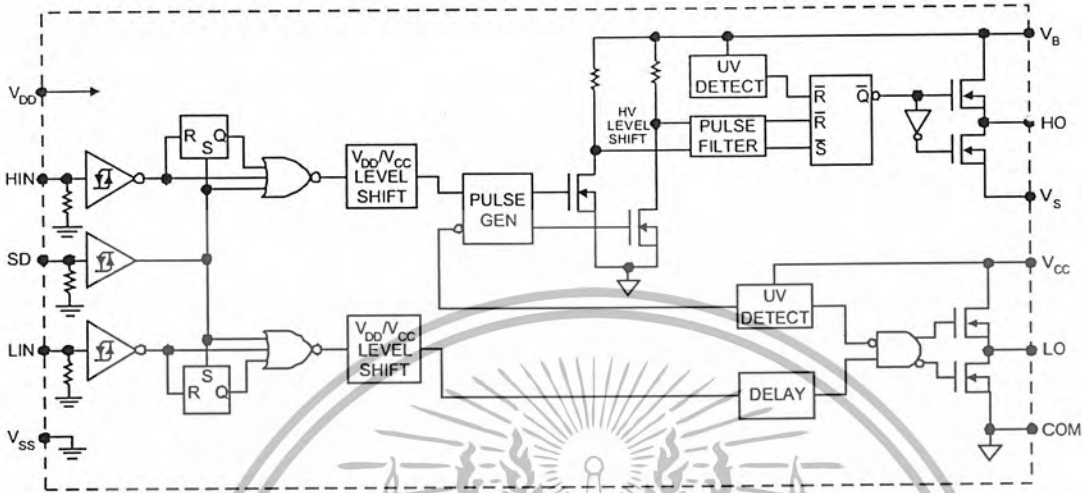
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Parameter Definition	Figure	Value			Units	Test Conditions
			Min.	Typ.	Max.		
V_{IH}	Logic "1" Input Voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" Input Voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High Level Output Voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low Level Output Voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset Supply Leakage Current	16	—	—	50		$V_B = V_S = 500V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} Supply Current	17	—	125	230	μA	$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} Supply Current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} Supply Current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" Input Bias Current	20	—	20	40	V	$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" Input Bias Current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} Supply Undervoltage Positive Going Threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} Supply Undervoltage Negative Going Threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output High Short Circuit Pulsed Current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V, V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output Low Short Circuit Pulsed Current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V, V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

IR2110

International
IOR Rectifier

Functional Block Diagram



Lead Definitions

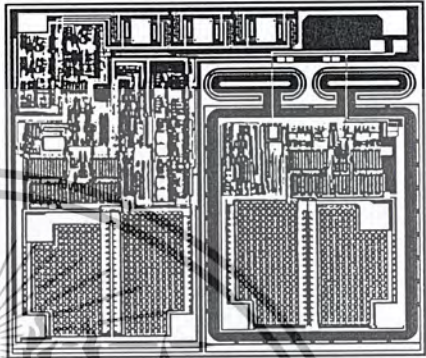
Lead Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
Vs	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments

<p>14 Lead DIP</p>	<p>14 Lead DIP w/o Lead 4</p>	<p>16 Lead DIP w/o Leads 4 & 5</p>	<p>16 Lead SOIC (Wide Body)</p>
Part Number			
IR2110 IR2110-1 IR2110-2 IR2110S			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Device Information

Process & Design Rule		HVDCMOS 4.0 μm	
Transistor Count		220	
Die Size		100 X 117 X 26 (mil)	
Die Outline			
Thickness of Gate Oxide		800Å	
Connections	Material	Poly Silicon	
	First Layer	Width	4 μm
		Spacing	6 μm
		Thickness	5000Å
	Second Layer	Material	Al - Si (Si: 1.0% \pm 0.1%)
		Width	6 μm
Spacing		9 μm	
Contact Hole Dimension		8 μm X 8 μm	
Insulation Layer	Material	PSG (SiO ₂)	
	Thickness	1.5 μm	
Passivation (1)	Material	PSG (SiO ₂)	
	Thickness	1.5 μm	
Passivation (2)	Material	Proprietary*	
	Thickness	Proprietary*	
Method of Saw		Full Cut	
Method of Die Bond		Ablebond 84 - 1	
Wire Bond	Method	Thermo Sonic	
	Material	Au (1.0 mil / 1.3 mil)	
Leadframe	Material	Cu	
	Die Area	Ag	
	Lead Plating	Pb : Sn (37 : 63)	
Package	Types	14 & 16 Lead PDIP / 16 Lead SOIC	
	Materials	EME6300 / MP150 / MP190	
Remarks:		* Patent Pending	

ภาคผนวก จ.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ใน

SPI WORKSHOP, HANNOVER, GERMANY, MAY-13-2005



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electromagnetic Interference Self-learning Toolkit in Switched-Mode Power Supplies

Werachet Khan-ngern¹, Vuttipon Tarateeraseth², Jakkrit Arthitthang¹, Jakkree Wongmuang¹,
Therasak Sompanchan¹, Werachat Boonpeng¹ and Wittaya Tasri¹

¹Research Center for Communications and Information Technology,

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

²Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak, Thailand

E-mail: kkveerac@kmitl.ac.th, vuttipon@swu.ac.th

Abstract

This paper presents a simplified conducted EMI toolkit based on the basic circuits and concepts of power electronics. The simplified results of the EMI toolkit is to introduce the effect of conducted EMI caused by self-resonant frequency (SRF) of the passive components, reverse recovery time of diodes, switching frequencies, gate drive control, snubber circuit, parasitic capacitor of heat sink, EMI filtering, total harmonic distortion (THD) and conducted EMI. Those basic phenomena can lead designing engineers and students to understand the EMC concept, focused on only conducted emission, using step-by-step of the experiment.

I. Introduction

The development of semiconductor in switching frequency response, higher operating temperature range and control methodology can affect on the power electronics application such as switched-mode power supplies (SMPS). The regulation and standards of electromagnetic compatibility (EMC) has led the manufacture awareness. Electrical engineers, who involve with EMC design, need to understand the basic and phenomena of EMC and electromagnetic interference (EMI). The EMI may unfamiliar concept for most engineers while many companies and manufactories would like to have engineers who can ready to serve in those electrical and electronics areas. EMI studies in terms of theory and practice for SMPS are developed and proposed with the simplified learning toolkit.

Most of learning toolkits are selected based on the guideline the engineers to understand about the EMI. Section II describes the main EMI phenomena such as components and it's parasitic on-off transition and filtering parameters. The proposed EMI toolkit is presented in section III. The matrix of the experiment, component rise time - fall time parameters, filtering and harmonics (total harmonic distortion: THD) issues are introduced. Section IV shows some examples of EMI toolkit aspects in SMPS and some discussions. Test setup for the EMI measurement is also described. Finally, the conclusion is presented in section V.

II. EMI phenomena in SMPS

Typical SMPS main parts are composed of rectifier unit and DC/DC converter. In this work, the DC/DC converter is a conventional boost converter.

The rectifier is the linear power supply. The reason to use a linear power supply is to focus the EMI effect from a boost converter not from SMPS itself.

Simplified EMI studies focused on power electronics and SMPS have been published [1, 2]. One key EMI phenomena

in SMPS is the switching transition as noise sources. The rise time and fall time of the switching device, di/dt and dv/dt can be controlled by the gate control at the switching device. Self-resonant frequency (SRF) of the passive component can generate the unintended EMI.

Switching frequency is also one of key parameters to generate their harmonics.

The development of switching power supplies leads to a significant benefit in reductions to both physical sizes and high efficiency. However, they increase the conducted electromagnetic interference appearing in high-frequency range. The conducted EMI is generated by high frequencies inherent in their fast-transition voltage and current waveforms. To reduce the physical size of switching power supply, the switching frequency should be extremely high but it also affects to increase the number of fast-transition of voltage and current waveform.

Normally, the conducted EMI of switching power supply is composed of switching frequency of switching devices, which is mainly differential mode problem, below 2 MHz. In addition, above 2 MHz, both the SRF of components and finally the printed circuit layout resonances in which they are mainly common mode problem [4].

III. Proposed of simplified SMPS EMI toolkits

The concept of EMI toolkit is to guide the engineers who involve with SMPS design, production and testing, to understand the key conducted EMI issues. The proposed EMI issue in SMPS is included in figure 1. The issues, parameters and the contents of EMI toolkit for the SMPS are summarized in table 1.

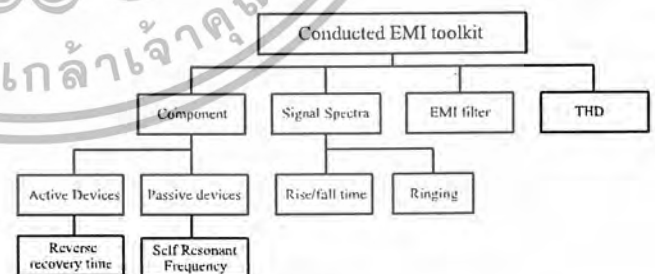


Figure 1 Proposed SMPS EMI toolkit.

Practically, the causes of conducted EMI are widely spread. Thus, the EMI toolkit can not cover all of them such as the EMI toolkit is not focused on the effect due to printed circuit layout resonances.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Conducted EMI toolkit

Issues	Parameters	Contents
Component	Active device	1. To observe the influence of reverse recovery time of diode affects to conducted EMI.
	Passive device	1. To observe the influence of SRF of inductors affect to conducted EMI. 2. To observe the influence of parasitic capacitance of Heat sink to ground plane affects to conducted EMI.
Signal Spectra	Rise/Fall time	1. To observe the influence of rising time and falling time of gate drive pulse, Increasing by adding the RC filter, affect to conducted EMI. 2. To observe the influence of switching frequencies affect to conducted EMI.
	Ringing	1. To observe the influence of ringing across switching device affects to conducted EMI by changing the load from R load to R-L load and by reducing the ringing with RCD snubber circuit.
EMI filter	C_x C_y CM-choke DM-choke L_{GND}	1. To observe the influence of EMI filter parameters affects to conducted EMI
THD	IEC-1000-3-2	1. To observe the influence of input current waveform and THD affects to conducted EMI by decreasing the duty cycle of boost converter until DCM mode operation.

ground plane affects to conducted EMI is also demonstrated. Some experimental results are shown in Figures 2, 3 and 4, respectively.

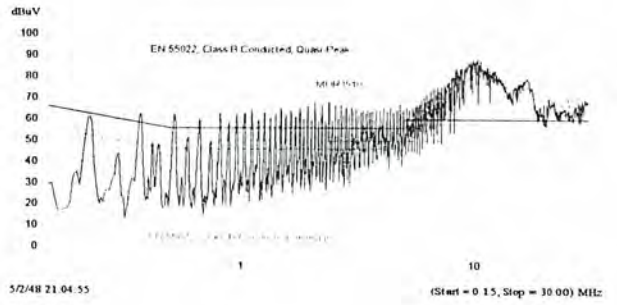


Figure 2 Conducted EMI characteristics of different reverse recovery time of diode

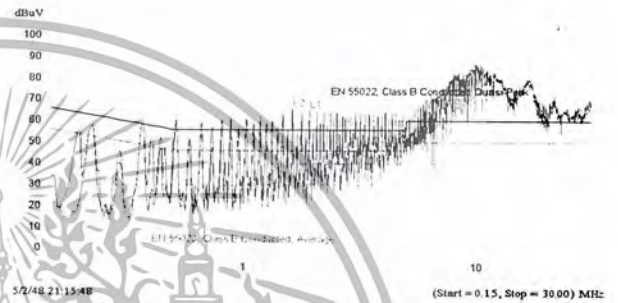


Figure 3 Conducted EMI characteristics of different SRF of boost inductor

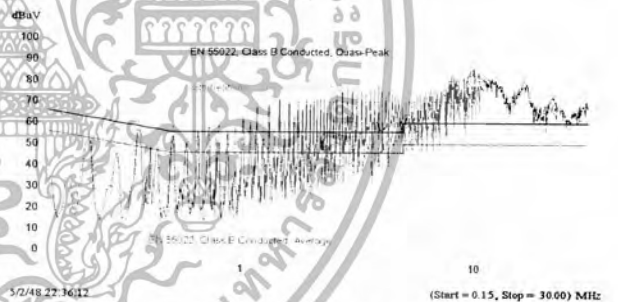


Figure 4 Conducted EMI comparison between connected and not connected heat sink to ground

IV. Examples of EMI toolkit aspects in SMPS

Component

The component used in power electronics can be divided in two types: active and passive devices. In the EMI point of view, it is not only active devices especially reverse recovery times of diodes are greatly important but self-resonant frequencies (SRF) of passive devices are also greatly important [3]. For active device, the EMI toolkit is verified by changing the different reverse recovery time of diode of boost converter between D1 (MUR1510) and D2 (MUR1560) that have reverse recovery time 35 ns and 60 ns, respectively.

For passive device, the EMI toolkit is clarified by two different winding inductors, L_1 and L_2 , which affect to different in SRF that equal to 7 MHz and 14 MHz, which has the same value of inductance, for boost converter. Furthermore, the influence of parasitic capacitance of heat sink to

Signal Spectra

The effects of signal spectra in SMPS can be categorized in two types: rising/falling time and ringing. For the rising/falling time point of view, the EMI toolkit can be demonstrated by changing the rising time of gate drive pulse as shown the experimental results in figures 5-6. The effect of switching frequency to conducted EMI can be proved by changing the switching frequency of gate drive pulse circuit which has 2 values, 75 kHz and 150 kHz, as shown the comparison result in figure 7. For the ringing point of view, the EMI toolkit is verified by comparing between with and without snubber circuit across MOSFET. Some experimental results are shown in Figures 8-9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

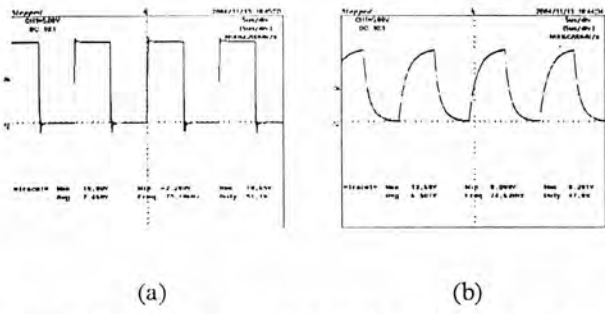


Figure 5 Gate pulse signals of (a) with and (b) without RC filter at gate drive of MOSFET

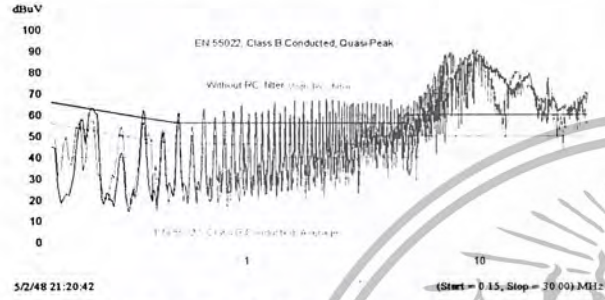


Figure 6 Conducted EMI characteristics of with and without RC filter at gate drive of MOSFET

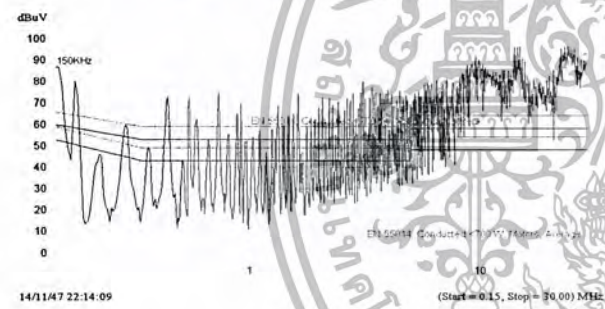


Figure 7 Conducted EMI characteristics of different switching frequencies

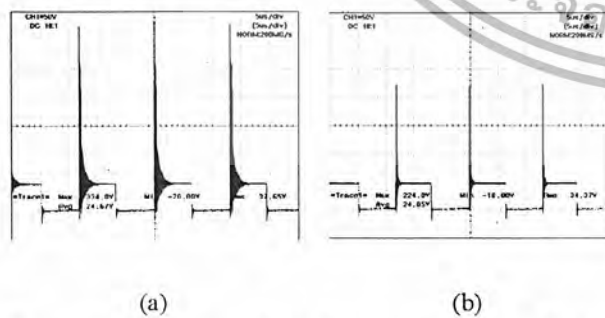


Figure 8 Voltage across Drain-Source of MOSFET (V_{DS}) (a) with and (b) without RCD snubber

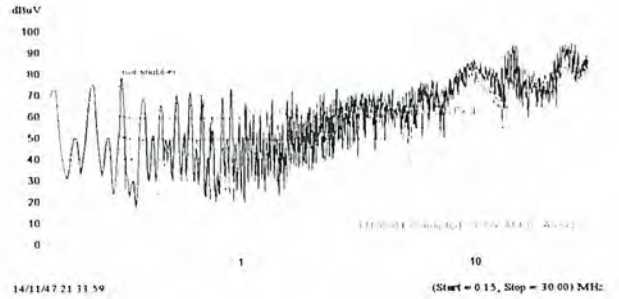


Figure 9 Conducted EMI characteristics of different switching frequencies

EMI filter

A typical EMI filter includes components to block both common mode and differential mode components. The common mode choke, L_{CM} , L_{GND} and C_Y are mainly used to mitigate the common mode components. Similarly, the differential mode choke, L_{DM} and C_X are principally used to limit the differential mode components. The EMI Toolkit can be verified the effect of each components of EMI filter to conducted EMI step-by-step. However, the figure 10 shows comparison between with and without EMI filter in SMPS only.

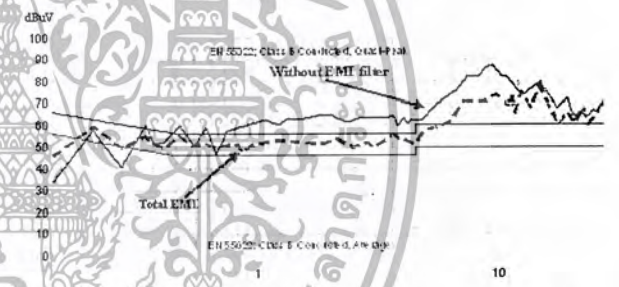


Figure 10 Conducted EMI comparison between with and without EMI filter

Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion (THD) is defined as frequency range from fundamental frequency to approximately 2 MHz [3]. Generally, in power electronics, the power factor correction is used to meet IEC-1000-3-2 requirement where EMI filter is used to meet CISPR22 which concerns frequency range from 150 kHz to 30 MHz. The EMI Toolkit is verified the relationship between THD and conducted EMI by changing the operation mode of boost converter from continuous mode (CCM), L_1 and L_2 that equal in value but different in SRF, to discontinuous mode (DCM), L_3 which has good THD in natural [5]. However, because input voltage of EMI toolkit is not half wave rectified, the THD of DCM operation mode slightly decreases. The experimental results show that the THD of DCM mode reduce from 44% to 38%. The conducted EMI comparison among L_1 , L_2 and L_3 are shown in Figure 11. In the experimental results show that the better THD does not mean better in conducted EMI. The EMI toolkit diagram is shown in Figure 12.

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547.
- [2] วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, “การปรับปรุงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำโดยการใส่ตัวเหนี่ยวนำร่วมในวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้วยวงจรเรียงกระแสแบบหนึ่งขั้น-หนึ่งสวิตช์”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- [3] MOHAN, UNDERLAND, Bobbins, “Power Electronics”, New York John wiley&Sons, Inc., 3rd edition, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้