

การลดสัญญาณรบกวนในสายตัวของวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีดีบีวีเอ็มคอนเวอร์เตอร์  
Conducted EMI Reduction of the Half – Bridge PWM Converter



โดย

นายประพัทธ์ คุ้มปลิวังค์

นายประพันธ์ สุนันทยานุวัฒน์

เลขหน้.....  
เลขทะเบียน.....45698  
วัน, เดือน, ปี.....13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปีการศึกษา 2544

## การลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีดับเบิลวีเอ็มคอนเวอร์เตอร์

ประพัทธ์ คุ้มปลิวังศ์

ประพันธ์ สุนันทยานุวัฒน์

รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์ (Bipolar) แบบฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half - Bridge Converter) ที่มีการปรับไบอัสของ  $V_{GS}$  ด้วย  $R_g$  และมีโหลดเป็น R - L ที่มีค่าคงที่ แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power Supply) ให้กับฮาร์ฟบริดจ์เป็นแบบสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)  $\pm 30$  V โดยศึกษาเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ (Conducted Noise) และสัญญาณรบกวนที่แผ่กระจาย (Radiated Noise) ของวงจรฟูลบริดจ์ (Full Bridge) และฮาร์ฟบริดจ์ ศึกษาการเกิดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ โดยพิจารณาการเกิดสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด (Common Mode Noise) และสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential Mode Noise) ขณะที่วงจรทำงานที่คิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) 75 เปอร์เซ็นต์ ศึกษาการลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ในวงจรฮาร์ฟบริดจ์ ด้วยการปรับ  $R_g$  ด้วยการใส่  $L_{GW}$  และด้วยการใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Interference, EMI Filter) ผลการทดลองจากการศึกษาดังกล่าวสามารถลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำลงได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ

## **Conducted EMI Reduction of the Half - Bridge PWM Converter**

Prapatt Khumpleewong

Praphan Sununtayanuwut

Dr. Yothin Prempraneerach Advisor

2001

### Abstract

This thesis is the study of conducted EMI and the reduction of conducted EMI in the bipolar circuit of half - bridge PWM converter which can be adjusted the bias  $V_{GS}$  by  $R_g$  at the gate terminal and terminated with fixed RL load. The dc power supply of the half - bridge PWM converter is the switching power supply with  $\pm 30V$ . The conducted and radiated noise are comparative studied of the bipolar circuit of the both the full - bridge and the half - bridge PWM converter. The conducted noise sources of the half – bridge are considered as the common mode and differential mode noise while as the half - bridge operation with duty cycle 75 %. The reduction of the conducted noise of the half - bridge PWM converter is achieved by adjusting  $R_g$ , using  $L_{GW}$  and EMI filter respectively. The experimental results of the all study shown that the conducted noise is satisfactory greatly improved.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การลดสัญญาณรบกวนในสายตัวของวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีดับบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

**Conducted EMI Reduction of the Half – Bridge PWM Converter**

ผู้จัดทำ

1. นายประพัทธ์ คุ้มปลิวังค์ 42015270
2. นายประพันธ์ สุนันทยานุวัฒน์ 42015271

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้เกิดขึ้นมาได้โดยหากไม่มีคำชี้แนะ จากบุคคลหลายๆ ท่าน โดยเฉพาะรศ.ดร. โยธิน เปรมปราชญ์รัชต์ ที่คอยให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง ในการทำปริญญาโทฉบับนี้ และยังมีรุ่นพี่ปริญญาโทอีกท่านหนึ่งที่มีน้ำใจในการให้คำปรึกษา นั่นคือ พี่ต้นชนก และต้องขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่สถานทดสอบที่อำนวยความสะดวกทุกๆ อย่างเรื่อยมา ให้การศึกษา การลด EMI CONDUCTED นี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์บนสวรรค์ที่ให้ความกรุณาในด้านเครื่องมือในการวัด และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ที่มีน้ำใจไมตรี และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาดลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าרבกวน	3
2.1 ความหมายของสัญญาณרבกวน	3
2.2 ชนิดของสัญญาณרבกวน	3
2.2.1 เกิดจากการไหลของกระแสผ่านกำแพงสั๊กคี้	3
2.2.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณרבกวนที่สร้างโดยมนุษย์	4
2.2.3 แหล่งกำเนิดสัญญาณרבกวนจากธรรมชาติ	4
2.3 ทางเดินของสัญญาณרבกวน	4
2.4 การวิเคราะห์การป้องกันสัญญาณרבกวน	
โดยวิเคราะห์ทางเดินของสัญญาณרבกวน	5
2.4.1 สัญญาณרבกวนเกิดจากอะไร	5
2.4.2 สัญญาณเข้ามาจากไหน	5
2.5 การป้องกันสัญญาณרבกวนโดยวิเคราะห์ทางเดินของสัญญาณרבกวน	6
2.5.1 การแก้ปัญหาการרבกวนทางอากาศ	6
2.5.2 การแก้ปัญหาการרבกวนทางสายไฟฟ้า	6
2.5.3 การแก้ปัญหาทางสายดิน	6
2.6 สัญญาณרבกวนที่ไหลผ่านสายตัวนำ	7
2.7 การวัดสัญญาณרבกวนในสายตัวนำ	7
2.8 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบการרבกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า	9
2.9 หลักการลดระดับของสัญญาณרבกวนในสายตัวนำ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎีวงจรฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	19
3.1 พื้นฐานการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	23
4.1 ศึกษาสัญญาณรบกวนที่แพร่กระจาย และสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจร ฟูลบริดจ์ และฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g = 100 \Omega$	23
4.1.1 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนที่แพร่กระจาย ขณะทำงานที่คิวดีไซเคิล 75% , 50% และ 25%	23
4.1.2 ศึกษาเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ขณะทำงานที่คิวดีไซเคิล 75% วัดผลสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ระหว่างสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์กับ สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมด	29
4.2 การทดลองศึกษาเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์ แบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยพิจารณาสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ขณะที่วงจรทำงานที่คิวดีไซเคิล 75 %	32
4.2.1 ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ( NO FILTER ) ที่ $R_g = 2 K\Omega$ ที่ Line 1	32
4.2.2 ขณะมีฟิลเตอร์ ( WITH FILTER )	32
4.3 การทดลองศึกษาการลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์ แบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ พิจารณาสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ขณะที่วงจรทำงานที่คิวดีไซเคิล 75 %	39
4.3.1 เพิ่มค่าคอมมอน โหมด ไซค์ จาก 1.4 mH เป็น 2.3 mH ขณะที่ค่างค่าของ $C_{X1}$ และ $C_{Y_{rwm}}$	39
4.3.2 เพิ่มค่า $C_{X1}$ จาก 0.22 uF จนถึง 0.773 uF ขณะที่ค่างค่าของคอมมอน โหมด ไซค์ และ $C_{Y_{rwm}}$	40
4.3.3 ลดค่า $C_{Y_{rwm}}$ ลง ขณะที่ค่างค่าของคอมมอน โหมด ไซค์ และ $C_{X1}$	41
4.3.4 ใส่ไซค์กราวน์ : $L_{Gw} = 2.8 \text{ mH}$	42
4.4 การทดลองศึกษาการลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์ แบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ พิจารณาสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ขณะที่วงจรทำงานที่คิวดีไซเคิล 75 % เมื่อทำการเพิ่มค่า $R_g$ เป็น 4 K $\Omega$	44
4.4.1 กรณีไม่มีฟิลเตอร์ เปรียบเทียบระหว่าง $R_g$ 2K $\Omega$ กับ 4K $\Omega$	44

4.4.2 กรณีมีฟิลเตอร์ เปรียบเทียบระหว่าง $R_g$ 2K $\Omega$ กับ 4K $\Omega$	46
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	52
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ผลกระทบขององค์ประกอบในวงจรฟิลเตอร์ที่มีผลต่อ Common mode noise และ Differential mode noise	55
ภาคผนวกที่ 2 แผนภาพ และวงจรฮาร์ฟบริดจ์ที่ดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	62
ภาคผนวกที่ 3 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของไอซีและเพาเวอร์มอสเฟต	66



## สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ทางเดินของสัญญาณรบกวน	4
รูปที่ 2.2 แสดงถึงการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ	7
รูปที่ 2.3 แสดงถึง โครงสร้างของ Power Supply Filter	9
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของเครื่องรับรู้สัญญาณรบกวน (LISN)	10
รูปที่ 2.5 แสดงถึงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณรบกวน	10
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟคุณลักษณะของสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ	12
รูปที่ 2.7 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ขณะไม่ใส่เพาเวอร์ไลน์ฟิลเตอร์	13
รูปที่ 2.8 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่คาปาซิเตอร์ $C_{VP}$ และ $C_{VN}$ มีค่าเท่ากับ 3300 pF ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์	14
รูปที่ 2.9 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่คาปาซิเตอร์ $C_{X1}$ และ $C_{X2}$ มีค่าเท่ากับ 0.1 $\mu$ F ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์	15
รูปที่ 2.10 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่ไจค์กราวน์ $L_{GW}$ มีค่าเท่ากับ 1 mH ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์	16
รูปที่ 2.11 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่คอมมอน โหมด ไจค์ มีค่าเท่ากับ 28 mH ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตซ์ชิง	19
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานของฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 3.4 รูปคลื่นการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	22
รูปที่ 4.1 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลอยฮีทซิงค์ ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 75 %	23
รูปที่ 4.2 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบวงจร (ต่อฮีทซิงค์ลง กราวน์เพลน) ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 75 %	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม $L_{GW}$ (Inductance) ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 75 %	24
รูปที่ 4.4 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดยีทซิ่งค์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 50 %	24
รูปที่ 4.5 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่ออีทซิ่งค์ลงกราว์นเพลน) ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 50 %	24
รูปที่ 4.6 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม $L_{GW}$ ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 50 %	25
รูปที่ 4.7 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดยีทซิ่งค์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 25 %	25
รูปที่ 4.8 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนเมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่ออีทซิ่งค์ลงกราว์นเพลน) ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 25 %	25
รูปที่ 4.9 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูป และเพิ่ม $L_{GW}$ ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 25 %	26
รูปที่ 4.10 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดยีทซิ่งค์ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 75 %	26
รูปที่ 4.11 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนเมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่ออีทซิ่งค์ลงกราว์นเพลน) ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 75 %	26
รูปที่ 4.12 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม $L_{GW}$ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 75 %	27
รูปที่ 4.13 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดยีทซิ่งค์ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 50 %	27
รูปที่ 4.14 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่ออีทซิ่งค์ลงกราว์นเพลน) ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั๊ไซเคิล 50 %	27

รูปที่ 4.15 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม $L_{GW}$ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั้ไซเคิล 50 %	28
รูปที่ 4.16 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดยฮ์ทซิ่งค์ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั้ไซเคิล 25 %	28
รูปที่ 4.17 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนเมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่อฮ์ทซิ่งค์ลงกราว์นเพลน) ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั้ไซเคิล 25 %	28
รูปที่ 4.18 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม $L_{GW}$ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั้ไซเคิล 25 %	29
รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าในสายคั้วนำรวม ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g 100 \Omega$ คิวดั้ไซเคิล 75%	29
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g 100 \Omega$ คิวดั้ไซเคิล 75%	30
รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนซ์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g 100 \Omega$ คิวดั้ไซเคิล 75%	30
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าใน Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g 100 \Omega$ คิวดั้ไซเคิล 75%	30
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g 100 \Omega$ คิวดั้ไซเคิล 75%	31
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนซ์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ $R_g 100 \Omega$ คิวดั้ไซเคิล 75%	31
รูปที่ 4.25 แสดงผลของสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะยังไม่ต่อ Filter ที่ $R_g 2 K\Omega$	32
รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอน โหมด ไซค์เป็น $L = 1.4 \text{ mH}$	33
รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอน โหมด ไซค์เป็น $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$	33
รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอน โหมด ไซค์เป็น $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$	33
รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ขณะเพิ่มคอมมอน โหมคไจ้คเป็น $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$	34
รูปที่ 4.30	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะเพิ่มเป็น $C_x = 0.22 \text{ uF}$	34
รูปที่ 4.31	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะเพิ่มเป็น $C_x = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	34
รูปที่ 4.32	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะเพิ่มเป็น $C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	35
รูปที่ 4.33	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะเพิ่มคอมมอน โหมคไจ้คเป็น $L = 1.4 \text{ mH} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	35
รูปที่ 4.34	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	35
รูปที่ 4.35	แสดงสัญญาณคอมมอน โหมคเคอร์เร้นท์ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	36
รูปที่ 4.36	แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์เชี่ยล โหมคเคอร์เร้นท์ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	36
รูปที่ 4.37	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะเพิ่มคอมมอน โหมคไจ้คเป็น $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	36
รูปที่ 4.38	แสดงสัญญาณคอมมอน โหมคเคอร์เร้นท์ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	37
รูปที่ 4.39	แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์เชี่ยล โหมคเคอร์เร้นท์ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	37
รูปที่ 4.40	แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะเพิ่มคอมมอน โหมคไจ้คเป็น $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$	
	$+ C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	37
รูปที่ 4.41	แสดงสัญญาณคอมมอน โหมคเคอร์เร้นท์ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$	
	$+ C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	38
รูปที่ 4.42	แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์เชี่ยล โหมคเคอร์เร้นท์ของวงจรถ่ายพริคจ้คอนเวอร์เตอร์	
	ขณะใส่คอมมอน โหมคไจ้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$	
	$+ C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yrwm} = 3300 \text{ pF}$	38

รูปที่ 4.43 แสดงสัญญาณรวมของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะใส่ไอ้คราวัน = 2.8 mH	38
รูปที่ 4.44 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะเพิ่มคอมมอน โหมด ไอ้ครเป็น L = 2.3 mH	39
รูปที่ 4.45 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะใส่คอมมอน โหมดไอ้คร L = 2.3 mH	39
รูปที่ 4.46 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะใส่คอมมอน โหมดไอ้คร L = 2.3 mH	40
รูปที่ 4.47 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะเพิ่มค่า $C_{X1}$ เป็น 0.773 uF	40
รูปที่ 4.48 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะเพิ่มค่า $C_{X1}$ เป็น 0.773 uF	40
รูปที่ 4.49 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะเพิ่มค่า $C_{X1}$ เป็น 0.773 uF	41
รูปที่ 4.50 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะลดค่า $C_{Y_{รวม}}$ เป็น 1650pF	41
รูปที่ 4.51 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะลดค่า $C_{Y_{รวม}}$ เป็น 1650 pF	41
รูปที่ 4.52 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะลดค่า $C_{Y_{รวม}}$ เป็น 1650 pF	42
รูปที่ 4.53 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะใส่ไอ้คราวัน $L_{GW} = 2.8$ mH	42
รูปที่ 4.54 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะใส่ไอ้คราวัน $L_{GW} = 2.8$ mH	42
รูปที่ 4.55 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรหัสพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์	
ขณะใส่ไอ้คราวัน $L_{GW} = 2.8$ mH	43
รูปที่ 4.56 แสดงรูปของวงจรรีเฟลคเตอร์ที่ลดสัญญาณรบกวนได้มากที่สุด	43
รูปที่ 4.57 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะไม่มีฟิเตอร์ที่ $R_{\epsilon} 2K\Omega$	44
รูปที่ 4.58 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ ขณะไม่มีฟิเตอร์ที่ $R_{\epsilon} 2K\Omega$	44
รูปที่ 4.59 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ ขณะไม่มีฟิเตอร์ที่ $R_{\epsilon} 2K\Omega$	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.60 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ 4K $\Omega$	45
รูปที่ 4.61 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ 4K $\Omega$	45
รูปที่ 4.62 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ 4K $\Omega$	46
รูปที่ 4.63 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะใส่ฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ที่ $R_g$ 2K $\Omega$	46
รูปที่ 4.64 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ เป็น 2 K $\Omega$	46
รูปที่ 4.65 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ เป็น 2 K $\Omega$	47
รูปที่ 4.66 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะใส่ฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ที่ $R_g$ 4K $\Omega$	47
รูปที่ 4.67 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ เป็น 4 K $\Omega$	47
รูปที่ 4.68 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่ $R_g$ เป็น 4 K $\Omega$	48
ภาคผนวก	
รูปที่ 1 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอน โหมด ไซค์ $L = 1.4$ mH	56
รูปที่ 2 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอน โหมด ไซค์ $L = 1.4$ mH	57
รูปที่ 3 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ $C_x = 0.22$ uF	57
รูปที่ 4 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ $C_x = 0.22$ uF	57
รูปที่ 5 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ $C_{V_{rwm}} = 3300$ pF	58
รูปที่ 6 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ $C_{V_{rwm}} = 3300$ pF	58
รูปที่ 7 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ $C_x = 0.22$ uF + $C_{V_{rwm}} = 3300$ pF	58
รูปที่ 8 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ $C_x = 0.22$ uF + $C_{V_{rwm}} = 3300$ pF	59
รูปที่ 9 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด ไซค์ $L = 1.4$ mH + $C_{x1} = 0.22$ uF.	59
รูปที่ 10 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรหัสรีฟริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด ไซค์ $L = 1.4$ mH + $C_{x1} = 0.22$ uF	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด โใช้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$	60
รูปที่ 12 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด โใช้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$	60
รูปที่ 13 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด โใช้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$	60
รูปที่ 14 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด โใช้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$	61
รูปที่ 15 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด โใช้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$	61
รูปที่ 16 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอน โหมด โใช้ค $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$	61
รูปที่ 17 แสดงตารางค่าต่าง ๆ ของไอซี เพาเวอร์มอสเฟต IRF 510	63
รูปที่ 18 แสดงกราฟคุณลักษณะของ ไอซี เพาเวอร์มอสเฟต IRF 510	64
รูปที่ 19 แสดงวงจรรภายในของ ไอซี Dual Monostable Multivibrator	65
รูปที่ 20 แผนภาพการทำงานของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์พีดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	67
รูปที่ 21 แผนภาพการขับเพาเวอร์มอสเฟตของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์พีดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	68
รูปที่ 22 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์พีดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์	69

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1. สรุปการลดลงของ Conducted EMI ด้วยการปรับ $R_g$ จาก 100 $\Omega$ เป็น 2 K $\Omega$ ของวงจร Half - Bridge เทียบกับ Full - Bridge.	49
ตารางที่ 2. สรุปการลดลงของ Conducted EMI ด้วยการใส่ฟิลเตอร์, $L_{GW}$ และการปรับ $R_g$ จาก 2 K $\Omega$ เป็น 4 K $\Omega$ ของวงจร Half - Bridge เทียบกับ Full - Bridge	49
ตารางที่ 3. สรุปการลดลงของ Radiated EMI ด้วยการ Grounded heat sink	50



# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันสินค้าส่งออกจำพวกไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ ไปจำหน่ายนั้นมีข้อกำหนดเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ทั่วโลกต้องรู้ 3 ประการ คือ

1. ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ( Electromagnetic Compatibility Regulation ,EMC )  
ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสนใจมากที่สุด ในอุตสาหกรรมการผลิตในขณะนี้
2. หน้าที่การทำงาน ( FUNCTION )
3. ความปลอดภัย ( SAFETY )

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าหมายถึงระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ โดยไม่เกิดการรบกวนกันภายในระบบ และไม่ถูกรบกวน จากผลข้างเคียง อุปกรณ์ต่างๆ จะได้รับการยอมรับว่าเกิดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็ก ไฟฟ้าก็ต่อเมื่อผ่านการ ทดสอบมาตรฐาน EMC ก่อนคือ ผ่านการทดสอบ สัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้า ( Electromagnetic Interference , EMI ) และความสามารถในการทำงาน โดยไม่ผิดปกติเมื่อเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ( Electromagnetic Susceptibility ,EMS )

EMI หมายถึง ระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ สร้างสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ขึ้นมารบกวน อุปกรณ์หรือระบบข้างเคียง เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การแพร่กระจายทางอากาศ และการรบกวนในสายตัวนำ

EMS คือ จิตความสามารถของอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถทำงานภายใต้สภาวะที่เกิดการรบกวนกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสามารถทำงานได้ปกติ

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรฮาร์ฟ-บริดจ์พีคดับบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ โดยศึกษาการเกิดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ โดยพิจารณาการเกิดสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมดและสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมด เพื่อลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ด้วยการปรับ  $R_g$  ใ้  $L_{GW}$  และใส่วงจรกรองสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เนื้อหาส่วนแรกกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของสัญญาณรบกวนและวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีคดับบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีคบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

เนื้อหาส่วนที่ 2 กล่าวถึงการทดลองการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีคบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย

บทที่ 4 ผลการทดลองการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรฮาร์ฟบริดจ์พีคบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป



## บทที่ 2

### สัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน ( Electromagnetic Interference : EMI )

ปัจจุบันได้มีการนำวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้วงจรต่างๆ ต้องทำงานในระยะใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น ผลก็คือ วงจรเหล่านั้นอาจสร้างสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรบกวนเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ยังนำวงจรจำนวนมากมารวมกันภายใต้พื้นที่เล็กลงอย่าง เช่น ใน IC ( Integrated Circuit ) ก็มีส่วนในการเพิ่มปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ดังนั้น เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ดี ในสภาวะแวดล้อมจริง ผู้ออกแบบวงจรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนด้วย โดยวงจรนั้นต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนแก่วงจรอื่น อีกทั้งจะต้องไม่ถูกรบกวนจากวงจรอื่นเช่นกัน

#### 2.1 ความหมายของสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวน ( Noise ) คือ สัญญาณ ไฟฟ้าในวงจรที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากสัญญาณที่ได้ออกแบบไว้แต่ต้องเข้าใจว่าสัญญาณเข้าที่พุด ( Output Signal ) ที่มีความสัมพันธ์แบบ ไม่เชิงเส้น ( Non-linear ) กับอินพุต( Input ) นั้น ไม่ใช่สัญญาณรบกวน แต่เป็นปัญหาที่เกิดจากการออกแบบเว้นแต่ว่าสัญญาณดังกล่าวนี้ไปรบกวนวงจรอื่น เราจะเรียกสัญญาณนี้ว่าเป็นสัญญาณรบกวน

การรบกวน( Interference ) คือ ผลของสัญญาณรบกวนที่ทำให้วงจรทำงาน ได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยมากแล้วเราไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปให้หมดสิ้น แต่สามารถลดสัญญาณรบกวนทิ้งไม่ก่อให้เกิดการรบกวนได้

ความไวต่อสัญญาณรบกวน ( Susceptibility ) แสดงให้เห็นความสามารถของอุปกรณ์หรือวงจรในการตอบสนองสัญญาณรบกวน โดยที่วงจรนี้ยังสามารถทำงานต่อไปได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ

#### 2.2 ชนิดของสัญญาณรบกวน

เราสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.2.1 เกิดจากการไหลของกระแสผ่านกำแพงกักคี่ ซึ่งเป็นผลมาจากการปล่อยอิเล็กตรอน หรือโฮล (Hole) ไม่นั่นอน สัญญาณรบกวนชนิดนี้เกิดขึ้นได้ทั้งหลอดสูญญากาศและอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ อีกทั้งยังสามารถเกิดจากผลของอุณหภูมิ ทำให้อิเล็กตรอน แปรปรวนซึ่งเป็นเล็ก ทรอนิกส์ในความต้านทาน เช่น เทอร์มัลนอยส์ ( Thermal noise ) และช็อตนอยส์ ( Shot noise ) เป็นต้น

**2.2.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่สร้างโดยมนุษย์ (Man - made noise source )** มนุษย์ได้คิดสร้างเครื่องทุ่นแรงระบบเครื่องยนต์กลไก เช่น มอเตอร์ หรือ สวิตช์ เป็นต้น ในสมัยแรก ๆ วิศวกรรมการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมยังมีน้อย แต่ในปัจจุบันได้พัฒนาอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมให้มีมากขึ้นความไวในการตัดต่อ ( Switching ) และการจุดระเบิด ( Ignition ) มีมากขึ้นการทำงานมักจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นมาด้วย

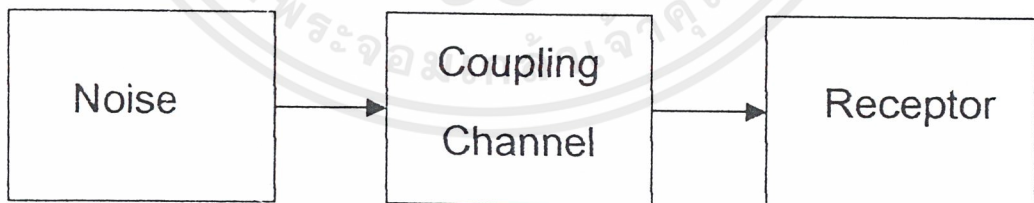
**2.2.3 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากธรรมชาติ ( Natural noise source )** เช่น ไฟฟ้าฟ้าร้อง เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจำนวนมากจากจุดหนึ่ง ไปยังอีกจุดหนึ่งที่มีศักดาไฟฟ้าสูงกว่า เพื่อทำให้เกิดความสมดุลย์ทางไฟฟ้าการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้จะทำให้เกิดแสง เสียง และที่สำคัญคือเกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงแผ่กระจายไปทั่วทิศทาง

สำหรับสัญญาณรบกวนที่จะศึกษา คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือเรียกว่า EMI

EMI มี 2 ชนิด คือ Conducted EMI เกิดขึ้นที่สายตัวนำ และ Radiated EMI เกิดในอากาศ โดยการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์ไปยังสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ปริมาณอิทธิพลรบกวนนี้ศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำเท่านั้น

### 2.3 ทางเดินของสัญญาณรบกวน

ทางเดินของสัญญาณรบกวน คือเส้นทางเชื่อมโยงสัญญาณจากแหล่งกำเนิด ไปยังตัวรับ หรือการคัปปลิง ( Coupling ) และวงจรตัวรับสัญญาณรบกวนดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2.1 ทางเดินของสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 2 .1 จะเห็นได้ว่าปัญหาสัญญาณรบกวนจะเกิดขึ้นนั้นต้องอาศัยองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

1. Noise Source เป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวน
2. Receptor เป็นตัวรับสัญญาณรบกวน
3. Coupling Channel เป็นตัวส่งผ่านสัญญาณรบกวนจาก Noise Source ไปยังตัว Receptor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนนั้น เราจำเป็นต้องตรวจสอบว่าแหล่งกำเนิดและตัวรับสัญญาณรบกวนอยู่ที่ใด และสัญญาณรบกวนถูกคัปปลิงผ่านทางใด ดังนั้นจึงสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ 3 วิธี คือ

1. ป้องกันไม่ให้แหล่งกำเนิดส่งสัญญาณรบกวนออกไป
2. ทำให้ตัวรับไม่ต้องสนองต่อสัญญาณรบกวน
3. ลดการส่งสัญญาณรบกวนผ่านทางคัปปลิงลงให้น้อยที่สุด

#### 2.4 การวิเคราะห์การป้องกันสัญญาณรบกวนโดยวิเคราะห์ทางเดินของสัญญาณรบกวน

เมื่อมองถึงปัญหาจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ แล้วการแก้ปัญหาที่ย่อมแล้วแต่กรณีซึ่งกล่าวได้ว่าไม่ใช่เรื่องง่าย ๆ สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือ

##### 2.4.1 สัญญาณรบกวนเกิดจากอะไร

หากพิจารณาสาเหตุทั้ง 3 แล้ว การแก้ไขที่ตัวปัญหาในกรณี 2 กรณีแรกเป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ ถ้าสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติการแก้ปัญหาย่อมทำได้ยาก

##### 2.4.2 สัญญาณเข้ามาจากไหน

สัญญาณรบกวนเข้ามาได้ 3 ทางด้วยกันคือ ทางอากาศรอบเครื่อง ทางสายไฟฟ้าและทางสายดิน

- ทางอากาศ จะไม่ใช่เรื่องที่จะป้องกันการรบกวนทางอากาศ เนื่องจากขึ้นอยู่กับพลังงานที่รบกวนอาจจะมีค่าสูงพอที่จะทะลุทะลวงผ่านพื้นผนังคอนกรีตมาได้เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ เพราะลักษณะอากาศสามารถเหนี่ยวนำเข้าตัวถังเครื่อง ทางสายสื่อสาร ทางสาย AC Main Power โดยปกติตัวถังของเครื่องสามารถป้องกันการรบกวนได้ระดับหนึ่ง ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของตัวถังและชนิดของโลหะที่ใช้ และพลังงานหรืออำนาจทะลุทะลวงของคลื่น

- ทางสายไฟฟ้า ในที่นี้หมายถึง สาย AC ( AC line cord ) และสายสื่อสาร (Communication Cable) โอกาสที่สัญญาณรบกวนเกิดการเหนี่ยวนำมีสูงมาก โดยเฉพาะฟ้าผ่า และการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์อย่างทันทีทันใดเนื่องจากการเดินเครื่องจักร ในปัจจุบันพบว่ามักเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องเสียหายหรือข้อมูลเสียหายและผิดพลาดไป การป้องกันด้านนี้ได้มีการพัฒนาที่ดีขึ้น โดยพิจารณาลักษณะของคลื่นรบกวนนั้นคู่กับการเลือกอุปกรณ์ป้องกัน

- ทางสายดิน น้อยคนนักที่สนใจจริงจังกับสายดิน ซึ่งในประเทศไทยมิได้มีการคำนึงมากนักส่วนมากระบบการจ่ายไฟนั้นบังคับเพียงสายดินทางด้านความปลอดภัย แต่สายดินที่ใช้กับเครื่องมือที่มีความไวอย่างเช่น ระบบสื่อสาร หรือคอมพิวเตอร์ จะทำให้การทำงานดีขึ้นต้องมีการควบคุมการรบกวนด้านนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การป้องกันสัญญาณรบกวนโดยวิเคราะห์ทางเดินของสัญญาณรบกวน

การแก้ปัญหาหรือการหาทางป้องกันนั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยอาศัยมูลเหตุปัญหาแต่ละแบบก่อน ดังต่อไปนี้

**2.5.1 การแก้ปัญหาการรบกวนทางอากาศ** วิธีที่ดีที่สุดคือ ถ้ากำจัดแหล่งกำเนิดไม่ได้หรือควบคุมแหล่งกำเนิดไม่ได้ด้วยการชิลด์ ให้แหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่ในตู้ที่ต้องแก้กันที่เครื่องมือหรืออุปกรณ์เช่น สร้างห้องสำหรับอุปกรณ์สื่อสารหรือห้องคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะ หรือไม่ว่าตำแหน่งของเครื่องมือให้ห่างจากการรบกวนและเหนี่ยวนำ

**2.5.2 การแก้ปัญหาการรบกวนทางสายไฟฟ้า** สัญญาณรบกวนที่เข้ามารบกวนทางสายไฟฟ้าคือเกิดเนื่องจากฟ้าผ่า เครื่องเชื่อม โลหะ หรือเกิดจากการจุกระเบิดของหัวเทียน การแก้ปัญหาโดยการชิลด์สาย AC หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันสัญญาณรบกวน

**2.5.3 การแก้ปัญหาทางสายดิน** สายดินในที่นี้ไม่ได้หมายถึงสายดินที่เป็นสายฟ้า หรือสายรับการลัดวงจรเพื่อความปลอดภัยในที่นี้หมายถึง โครงสร้างตึก ทางอุดมคติถือว่ามีสั๊กค์เป็นศูนย์กลาง แต่ทุก ๆ จุดบนพื้นดิน ไม่ได้มีสภาพแรงแคเหมือนกันและความชื้นของแต่ละภูมิภาคก็แตกต่างกัน ดังนั้นการที่สมมติให้ดินมีสั๊กค์เป็นศูนย์กลางในทางปฏิบัติจึงไม่อาจทำได้ เมื่อดินไม่เป็นศูนย์กลาง สัญญาณรบกวนก็อาจมาจากสายดินหรือ ไม่ก็คือสัญญาณรบกวนลงตัวตั้งแต่ไม่ลงดิน สิ่งแรกที่ต้องทำคือสำรวจสภาพดินและทำสายดินที่สมบูรณ์ที่สุดให้ความต้านทานในสายดินถึงจุดต่ำที่สุดเท่าที่จะต่ำได้

ปัญหาทางไฟฟ้าที่เกิดจากสภาวะ ไฟตก ไฟเกิน ไฟกระเพื่อม ไฟดับ ฟ้าผ่าและคลื่นรบกวนอื่น ๆ จะมีผลทำให้

- เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงาน คอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูลผิดพลาด หน่วยความจำเปลี่ยนแปลงไปเอง วงจรทำงานผิดขั้นตอนหรือทำให้วงจรรวมในหน่วยประมวลผลกลางเสียหาย
- ฮาร์ดดิสก์เสียหายเนื่องจากไฟดับกระทันหันหรือไฟกระชาก
- มอเตอร์หรือคอมเพรสเซอร์เสียหาย
- เครื่องมือวัดที่มีความไวสูงหรือมีความละเอียดอ่อนจะอ่านค่าผิดพลาดจากความเป็นจริง
- ระบบการเดินหน้าหรือถอยหลังในการบันทึกภาพและการบันทึกเสียงอาจทำงานผิดพลาดหรือเสื่อมลง
- อายุการใช้งานของเครื่องมือต่าง ๆ จะสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

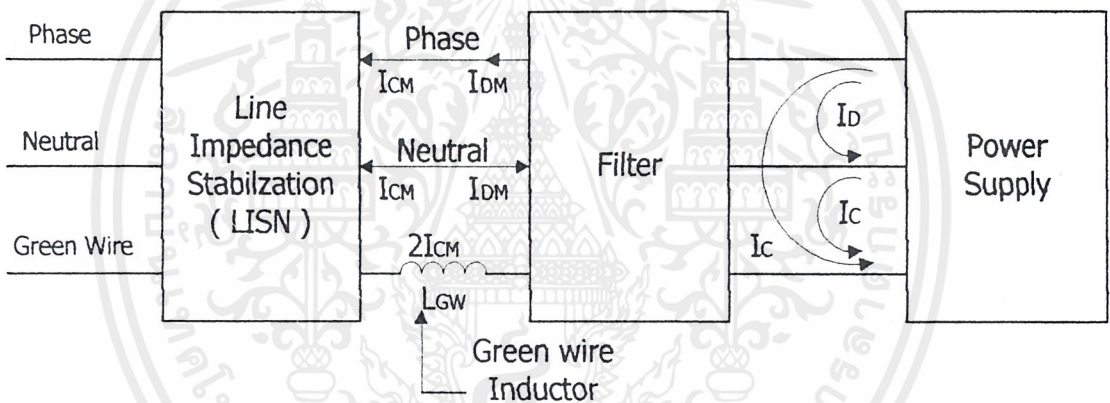
## 2.6 สัญญาณรบกวนที่ไหลผ่านสายตัวนำ

สาเหตุหลักของการเกิดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ คือ

1. ผลอันเนื่องมาจากความถี่สูงจากแหล่งจ่ายไฟสวิตซ์ซึ่งในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์
2. ผลอันเนื่องมาจากการเพิ่มความเร็วในการสวิตซ์ของกระบวนการแปลงพลังงานของวงจรทอนระดับ (DC to DC Converter)

## 2.7 การวัดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างสายกำลังสายใดสายหนึ่งกับสายดิน
2. สัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมด คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างสายกำลังทั้งสอง



รูปที่ 2.2 แสดงถึงการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ

กระแสรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่ง มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ดิฟเฟอเรนเชียล โหมด เคอร์เร็นท์ : $I_D$  และคอมมอน โหมด เคอร์เร็นท์ : $I_C$  ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ในระบบ 2 สายที่ไม่มีการต่อสายดิน (Green Wire) ดิฟเฟอเรนเชียล – โหมด เคอร์เร็นท์ จะไหลผ่านในส่วนที่ทำให้เกิดค่าความจุแฝง (parasitic capacitance) ระหว่างสายเฟส(phase wire) กับ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และระหว่างสายนิวทรัล(neutral wire) กับ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์

วงจรกรองสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะใส่อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่งกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่

$L_{GW}$  คือตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะถูกต่อกับสายดินเพื่อกันคอมมอน โหมด น้อยส์ เคอร์เร็นท์

$I_C$  คือคอมมอน โหมด น้อยส์ เคอร์เร็นท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_D$  คือดิฟเฟอเรนเชียล โหมด น้อยส์ เคอร์เร็นท์

$I_{CM}$  คือคอมมอน โหมด น้อยส์ เคอร์เร็นท์ หลังจากผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว

$I_{DM}$  คือดิฟเฟอเรนเชียล โหมด น้อยส์ เคอร์เร็นท์ หลังจากผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว

กระแสรบกวนผลรวมและผลต่างเหล่านี้ถูกวัดด้วย LISN ( Line Impedance stabilization Network ) และเราต้องการที่จะลด

ในความเป็นจริงแล้วกระแสเหล่านี้ไม่ได้ถูกวัดด้วย LISN โดยตรง ในอุดมคติ LISN นั้นจะถูกแทนด้วยความต้านทาน 50 โอห์ม ดังรูปที่ 2.2 แรงดันที่ถูกวัดโดย LISN คือ

$$V_{PHASE} = V_{CM} + V_{DM} = 50(I_{CM} + I_{DM}) \dots \dots \dots (1)$$

$$V_{NEUTRAL} = V_{CM} - V_{DM} = 50(I_{CM} - I_{DM}) \dots \dots \dots (2)$$

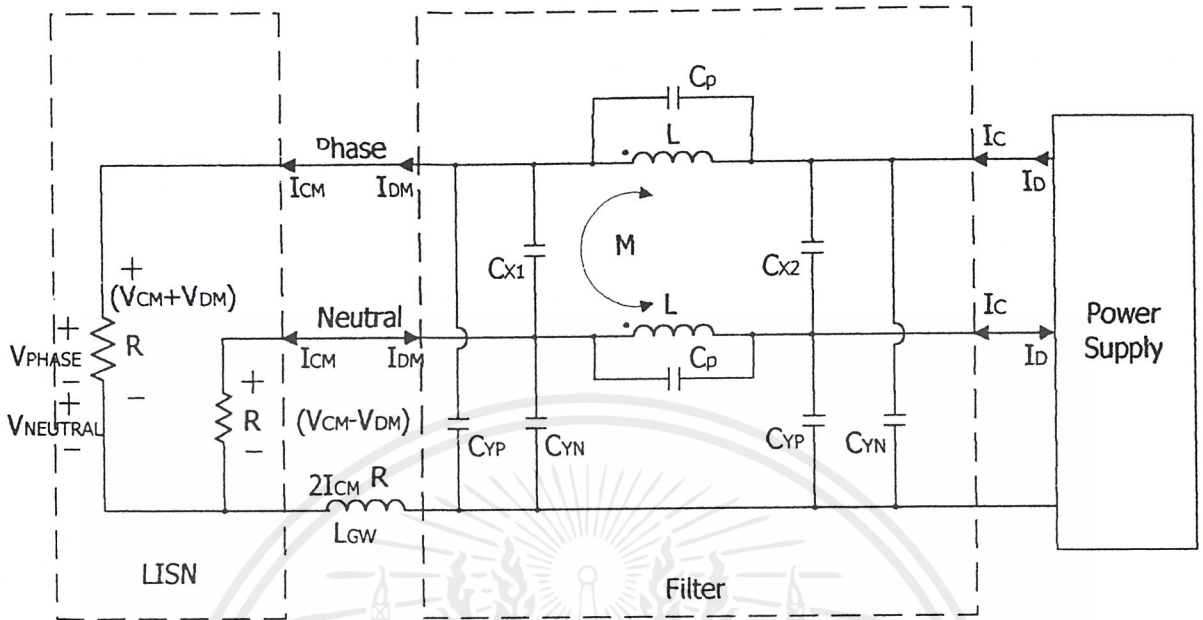
LISN เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการแยกสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ จากสัญญาณใช้งานที่ใช้กันทั่วไป ในศูนย์ทดสอบ EMC

ข้อดีของ LISN มีดังต่อไปนี้

1. เป็นตัวแมตซิ่ง ( Matching ) กับอิมพีแดนซ์ของเครื่องแสดงผลต่าง ๆ ที่ อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม
2. เป็นตัวป้องกัน การรบกวนจาก เอซีเพาเวอร์ไลน์ ( AC POWER LINE) จาก เพาเวอร์ซัพพลาย

หลักการสำคัญในการปรับปรุงวงจรกรองกระแสสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาอยู่ที่การกำหนดค่าความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า ที่มีผลต่อความถี่ที่เกิดขึ้น

ในแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงจุดสำคัญของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงถึง โครงสร้างของ Power Supply Filter

### 2.8 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการสำคัญของอุปกรณ์นี้พิจารณาได้จาก สมการที่ 1 และ 2 สัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำ ในรูปของแรงดัน ซึ่งถูกวัดด้วย LISN คือผลรวมและผลต่างของสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมดและดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

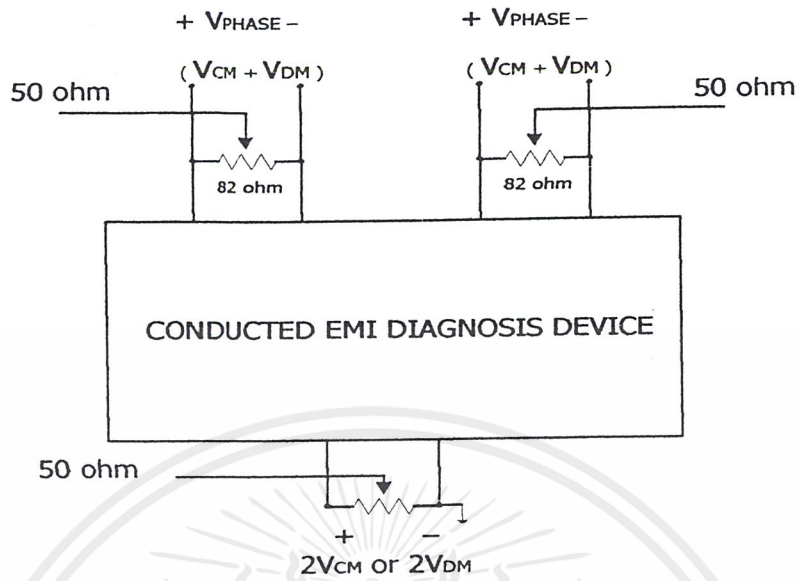
ผลรวมและผลต่างของแรงดันเฟสและนิวทรัลคือ

$$V_{PHASE} + V_{NEUTRAL} = 2V_{CM} \dots \dots \dots (3)$$

$$V_{PHASE} - V_{NEUTRAL} = 2V_{DM} \dots \dots \dots (4)$$

ดังนั้นขั้นต่อไปในการวัดส่วนประกอบที่สำคัญ เราจะต้องบวกและลบ แรงดันทั้งสองที่ถูกวัดด้วย LISN ด้วยส่วนมากแล้วสเปคตรัมออนไลน์เซอร์ จะมีฟังก์ชันต่าง ๆ แต่ จะไม่สามารถแยกเฟสและลดทอนสัญญาณได้เท่านี้

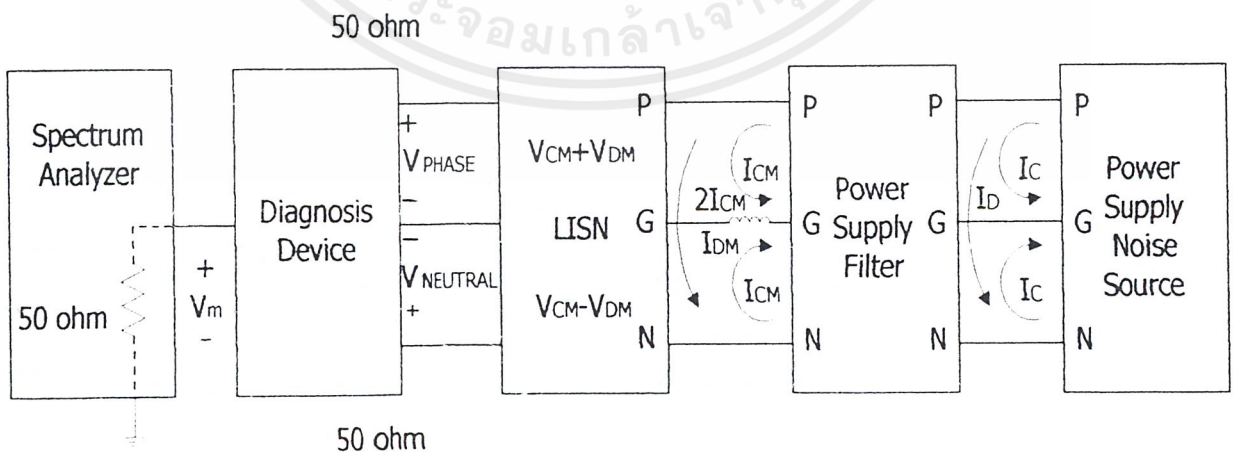
อุปกรณ์สำหรับบวกและลบ  $V_{PHASE}$  และ  $V_{NEUTRAL}$  แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของเครื่องรับรู้สัญญาณรบกวน (LISN)

ในการวัด โดยปกติ เฟสและนิวทรัล เอาร์ทพุทของ LISN จะต่อความต้านมีค่า 50 โอห์มรูปแบบการจัดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณรบกวน แสดงดังรูป 3.4 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัม อะนาไลเซอร์ จะแสดงถึงส่วนประกอบของคอมมอน โหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด เราสามารถที่เก็บความจําริจิสเตอร์ของสเปกตรัม อะนาไลเซอร์ได้

ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในความจําริจิสเตอร์สามารถที่ถูกเรียกกลับมาดูได้ ดังนั้นการวัดสัญญาณรบกวนทั้งแบบคอมมอน โหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด สามารถที่จะนำมาเปรียบในขั้นต่อไป ที่ความถี่ที่กำหนด



รูปที่ 2.5 แสดงถึงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 หลักการลดระดับของสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ มีดังนี้

1. ลดที่แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่ออกแบบยาก เสียเวลาในทางปฏิบัติไม่นิยม
2. ลดโดยเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์ วิธีนี้ออกแบบได้ง่ายกว่า และประหยัดเวลา ในทางปฏิบัตินิยมกัน

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์ ที่นิยมใช้งานกับอุปกรณ์ จำพวกสวิตซ์ซิ่งหรือเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ ( Power Electronics ) ซึ่งประกอบด้วย

- คาปาซิเตอร์ ระหว่างสายกำลังกับสายกำลัง :  $C_{X1}, C_{X2}$  ทำหน้าที่ลดกระแสสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด
- คาปาซิเตอร์ ระหว่างสายกำลังกับสายดิน :  $C_{YP}, C_{YN}$  ทำหน้าที่ลดกระแสสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด
- คอมมอน โหมด ใช้ประกอบด้วย สองขดลวดพันในทิศทางเดียวกัน และอยู่บนแกนเดียวกัน : ทำหน้าที่สกัดกั้นกระแสสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด

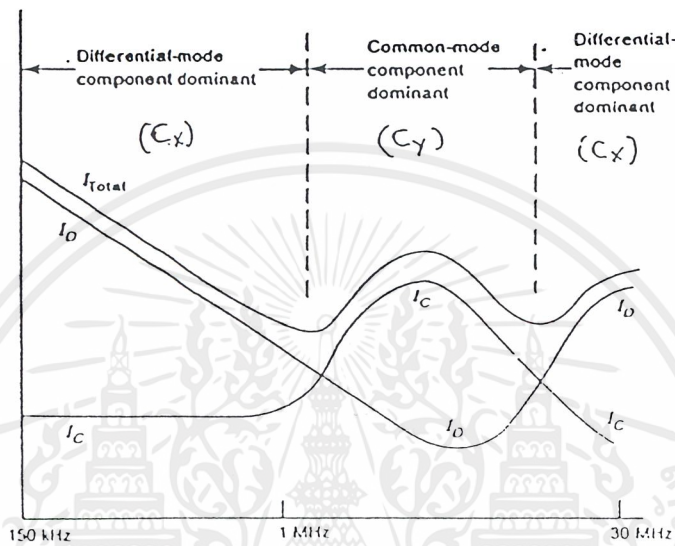
จะเห็นได้ว่าในแต่ละส่วนของวงจรนั้น จะได้รับผลกระทบของกระแสสัญญาณรบกวนรวม ระหว่างคอมมอน โหมดและดิฟเฟอเรนเชียลโหมด จากสมการที่ 1 และ  $2 V_{\text{PHASE}}$  และ  $V_{\text{NEUTRAL}}$  จะเป็นผลรวม และผลต่างของกระแสสัญญาณรบกวน แบบคอมมอน โหมด และดิฟเฟอเรนเชียลโหมด คูณกับความต้านทาน 50 โอห์ม

โดยส่วนมากแล้วกระแสสัญญาณรบกวนทั้งสองชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน ถ้ากระแสสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมดมากกว่ากระแสสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด ผลรวมของกระแสสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ จะอยู่ในรูปของกระแสสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด ดังสมการที่ 5

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{PHASE}} &= 50 I_{\text{CM}} \\ V_{\text{NEUTRAL}} &= 50 I_{\text{CM}} ; I_{\text{CM}} \gg I_{\text{DM}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

ถ้ากระแสสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมดมากกว่ากระแสสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด ผลรวมของกระแสสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ จะอยู่ในรูปของกระแสสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด ดังสมการที่ 6

$$\left. \begin{aligned} V_{PHASE} &= 50 I_{DM} \\ V_{NEUTRAL} &= -50 I_{DM} ; I_{DM} \gg I_{CM} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$



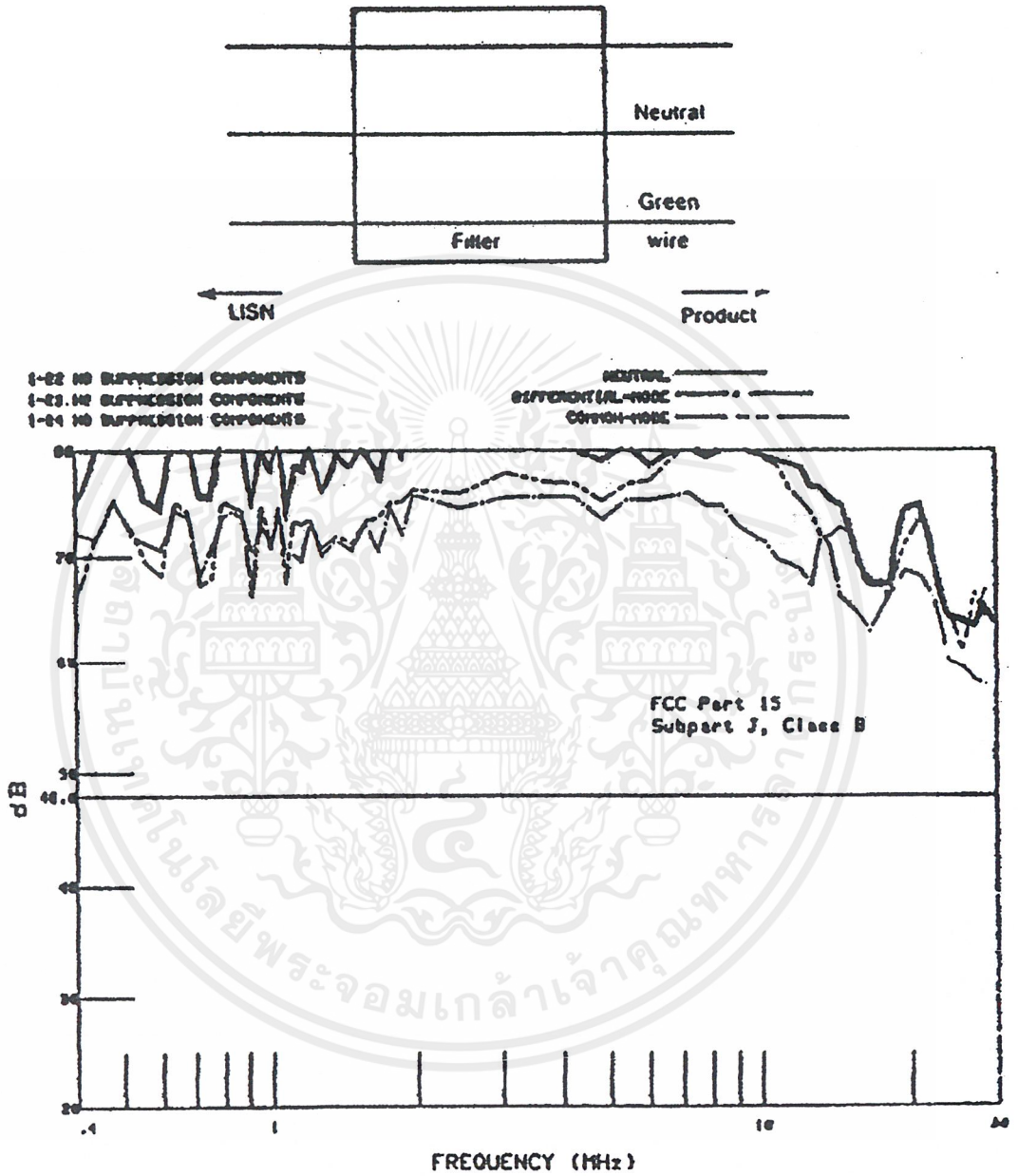
รูปที่ 2.6 แสดงกราฟคุณลักษณะของสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ

จากกราฟในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า ในช่วงความถี่ต่ำสัญญาณรบกวนแบบคิฟเฟอร์เร็นท์ เชี่ยล โหมคมากกว่าคอมมอน โหมค ในช่วงต่อมา สัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมคมากกว่า คิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมค และในช่วงความถี่สูง ๆ สัญญาณรบกวนแบบคิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมค จะกลับมาน้อยกว่าคอมมอน โหมคอีกครั้ง

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าอุปกรณ์แต่ละตัวภายในเพาเวอร์ ฟิลเตอร์ไลน์ มีผลต่อ สัญญาณรบกวนในแต่ละชนิด และในแต่ละช่วงความถี่ ต่าง ๆ กัน ในการพิจารณาผลรวมของ สัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ถ้ามีการเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ แต่ละตัวในเพาเวอร์ ฟิลเตอร์ไลน์ ก็จะมีผล อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ตัวนั้น

ตัวอย่าง : การทดสอบผลของอุปกรณ์แต่ละตัวในเพาเวอร์ฟิเตอร์ไลน์ต่อสัญญาณรบกวน แบบคอมมอน โหมค ,คิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมค และสัญญาณรบกวนรวม โดยใช้ SMRN ( Selectable Mode Rejection Network ) ในการแยกสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมค และ คิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โหมค ออกจากสัญญาณรบกวนรวม โดยมีผลการทดสอบดังนี้

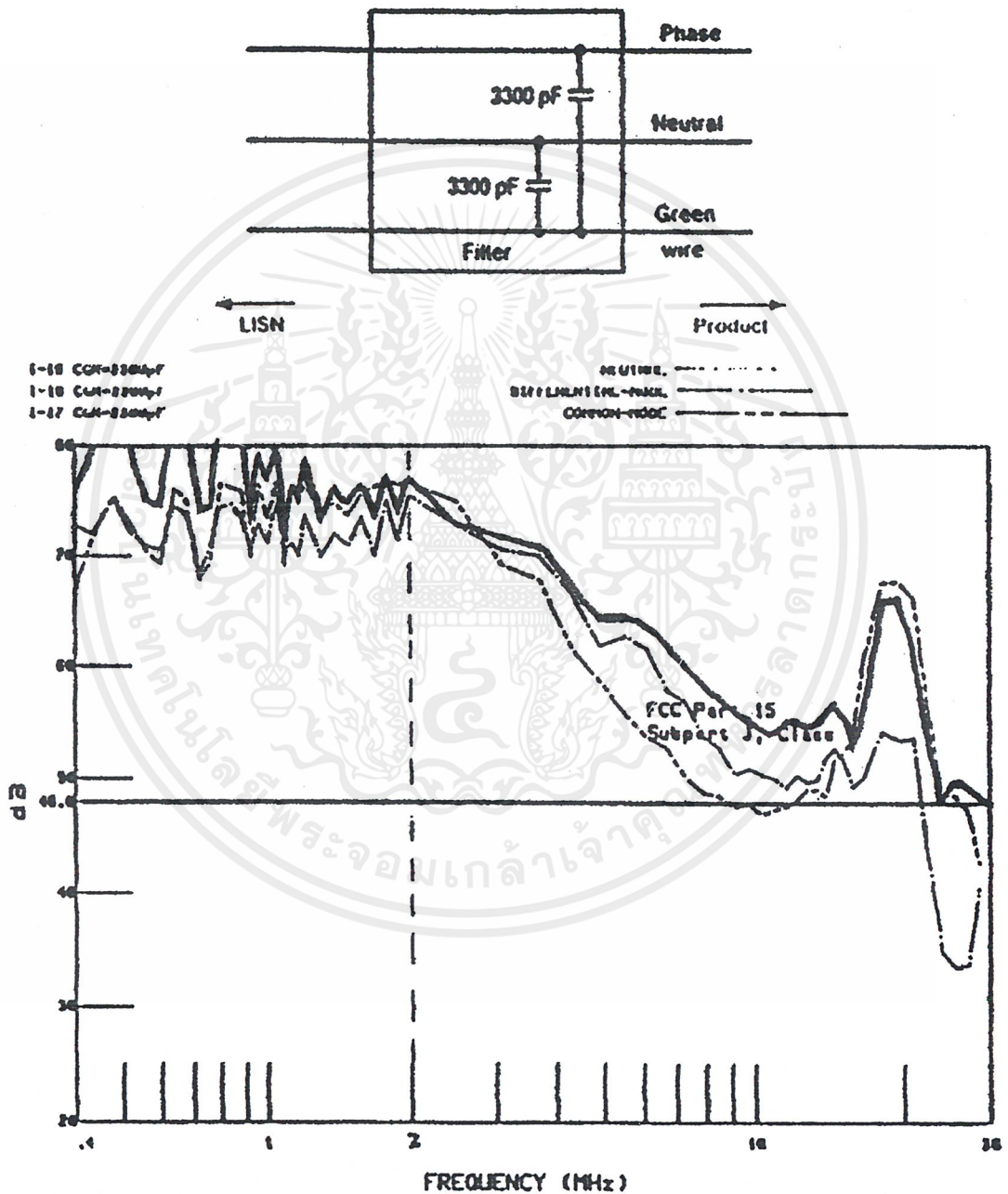
1. แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิคซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ในขณะที่ ไม่ใส่เพาเวอร์ไลน์ ฟิเตอร์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ขณะไม่ใส่เพาเวอร์ไลน์ฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่คาปาซิเตอร์  $C_{YP}$  และ  $C_{YN}$  มีค่าเท่ากับ 3300 pF ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.8



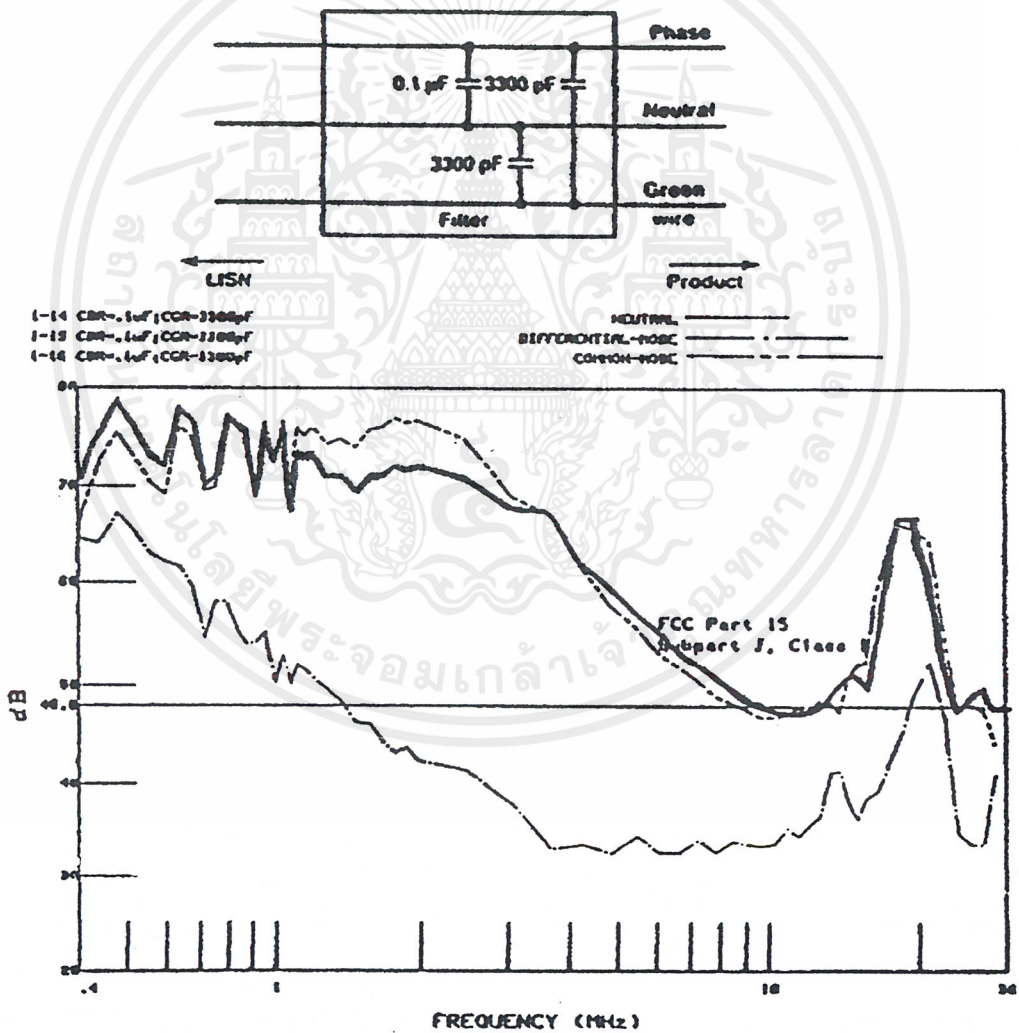
รูปที่ 2.8 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่

คาปาซิเตอร์  $C_{YP}$  และ  $C_{YN}$  มีค่าเท่ากับ 3300 pF ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสังเกตได้ว่า เมื่อเพิ่ม  $C_{YP}$  และ  $C_{YN}$  มีผลทำให้สัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด , ดิฟเฟอเรนเชียล โหมด มีค่าลดลงด้วยปริมาณพอ ๆ กัน ที่ความถี่สูงกว่า 2 MHz เพราะ  $C_{YP}$  และ  $C_{YN}$  ที่ใส่เข้าไปขนานกับ ความต้านทาน 50 โอห์ม ของ LISN เมื่อสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด , ดิฟเฟอเรนเชียล โหมด บางส่วนไหลผ่านคาปาซิเตอร์ ที่ความถี่สูงกว่า 1 MHz ทำให้ สัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ,คอมมอน โหมด มีค่าลดลง

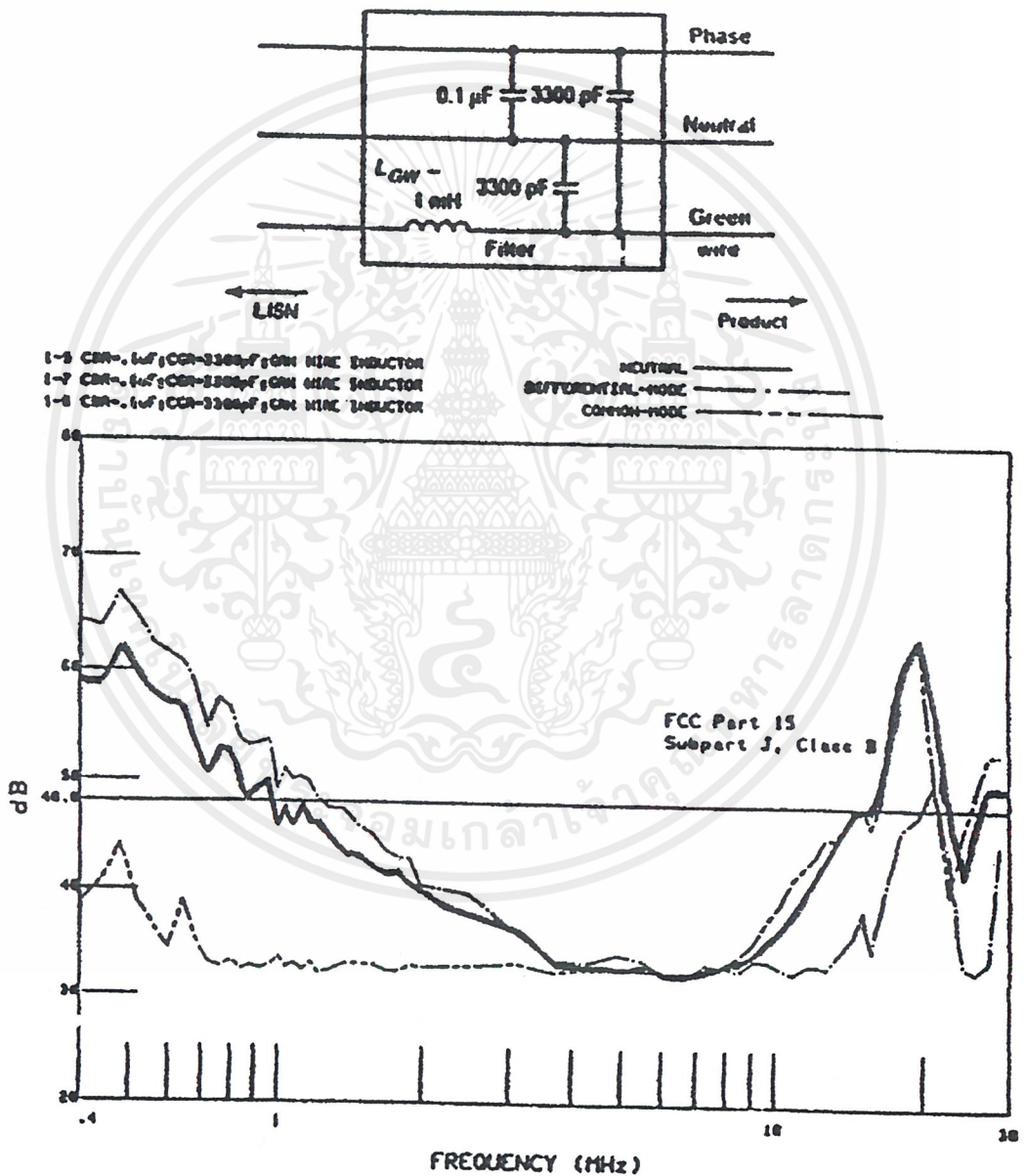
3. แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิทซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่ คาปาซิเตอร์  $C_{X1}$  และ  $C_{X2}$  มีค่าเท่ากับ  $0.1 \mu F$  ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิวเตอร์ ผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 . แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิทซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่ คาปาซิเตอร์  $C_{X1}$  และ  $C_{X2}$  มีค่าเท่ากับ  $0.1 \mu F$  ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิวเตอร์

จะสังเกตได้ว่า สัญญาณรบกวนแบบคิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยล โทมค จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โทมค และสัญญาณรบกวนรวม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4. แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิดซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่ ไซ้คกราวน์  $L_{GW}$  มีค่าเท่ากับ 1 mH ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์ ผลการทดสอบแสดงดัง รูปที่ 2.10

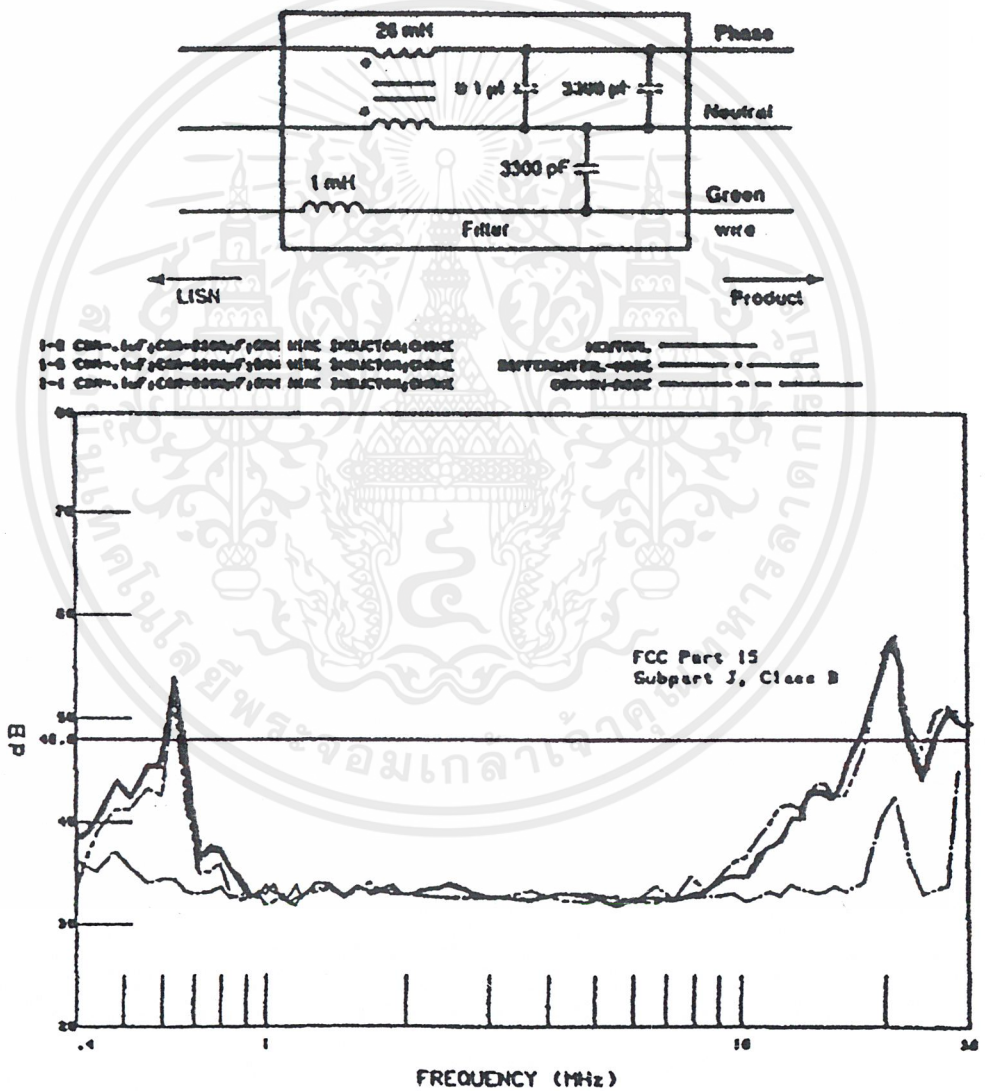


รูปที่ 2.10 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิดซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่ ไซ้คกราวน์  $L_{GW}$  มีค่าเท่ากับ 1 mH ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด และสัญญาณรบกวนรวม มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ที่ความถี่ 4 KHz ส่วนสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

5. แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่คอมมอนโหมด ไซค์ มีค่าเท่ากับ 28 mH ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิวเตอร์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงผลทดสอบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ของสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ขณะใส่คอมมอนโหมด ไซค์ มีค่าเท่ากับ 28 mH ในส่วนของเพาเวอร์ไลน์ ฟิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสังเกตได้ว่า การเพิ่มคอมมอน โหมด ไซค์ ไม่ได้ทำให้สัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมดลดลง แต่กลับไปลดสัญญาณรบกวนแบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมดแทน เนื่องจาก Leakage inductance ของคอมมอน โหมด ไซค์ และสาเหตุที่สัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด ไม่ลดค่าลง เพราะเราได้เพิ่ม  $L_{GW}$  (Green wire inductor) เข้าไปก่อนหน้านี้ แล้วซึ่งจะทำให้ สัญญาณรบกวนแบบคอมมอน โหมด ลดลงอย่างมาก และมีค่าต่ำกว่า ค่าฐานสัญญาณรบกวนของ สเปคตรัม อนุโลเซอร์ ดังนั้นเราจึงไม่เห็นว่ามันจะลดค่าลงอีก

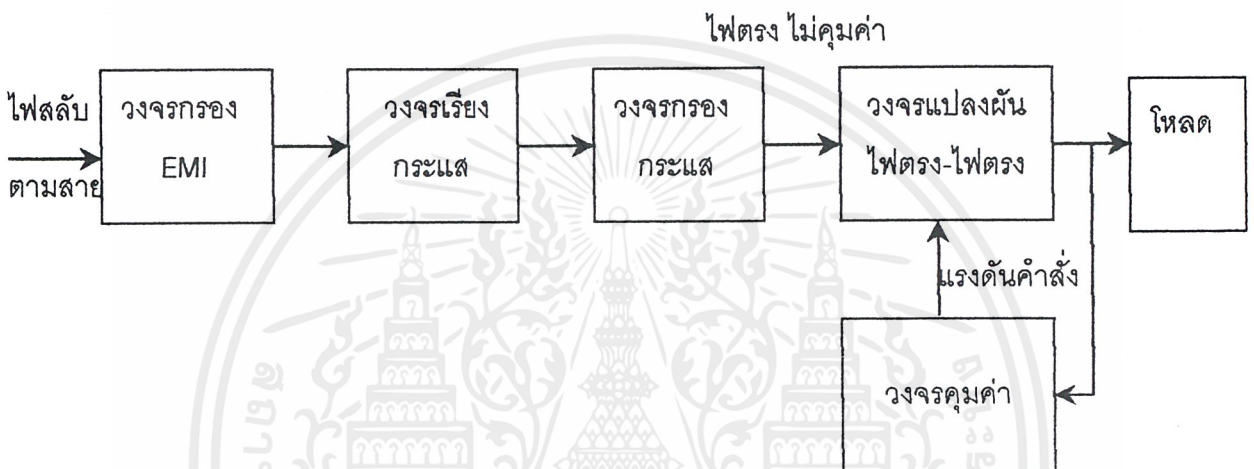


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีวงจรสวิตช์ที่ดับบีวีเอ็มคอนเวอร์เตอร์

วงจรสวิตช์ที่ดับบีวีเอ็มคอนเวอร์เตอร์ เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ในงานควบคุมดิซิมอเตอร์ และใช้เป็น วงจรดีซี - ดีซี คอนเวอร์เตอร์ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตช์ซึ่ง ดังแสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตช์ซึ่ง

ในการควบคุมแรงดันค้ำออกของวงจรแปลงผันไฟตรง - ไฟตรง เราจะควบคุมเวลาการตัดต่อสวิตช์ด้วยวิธีที่นิยมใช้คือสวิตช์ตัดต่อที่ความถี่  $f$  คงตัวตลอด หรือมีคาบเวลาคงตัว  $T=1/f$  แต่สวิตช์ต่อวงจรหรือ  $t_{on}$  จะแปรผันไปเพื่อควบคุมแรงดันค้ำออก ซึ่งวิธีนี้สะดวกในการวิเคราะห์และออกแบบวงจรกรอง

เรานิยามคิวตี้ไซเคิล (duty cycle) ของสวิตช์ดังนี้

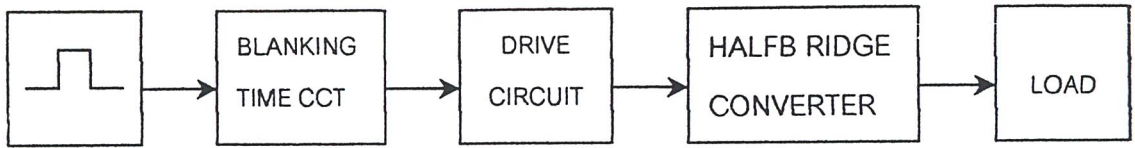
$$D = t_{on}/T$$

การควบคุมเวลาการตัดต่อสวิตช์หมายถึงการควบคุมวัฏจักรงานนั่นเอง ซึ่งเราเรียกการควบคุมเช่นนี้ว่า การควบคุมความกว้างพัลส์หรือการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (pulse - width modulation ; PWM)

แผนภาพแสดงการทำงานของระบบทั้งหมดของวงจรสวิตช์ที่ดับบีวีเอ็มคอนเวอร์เตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

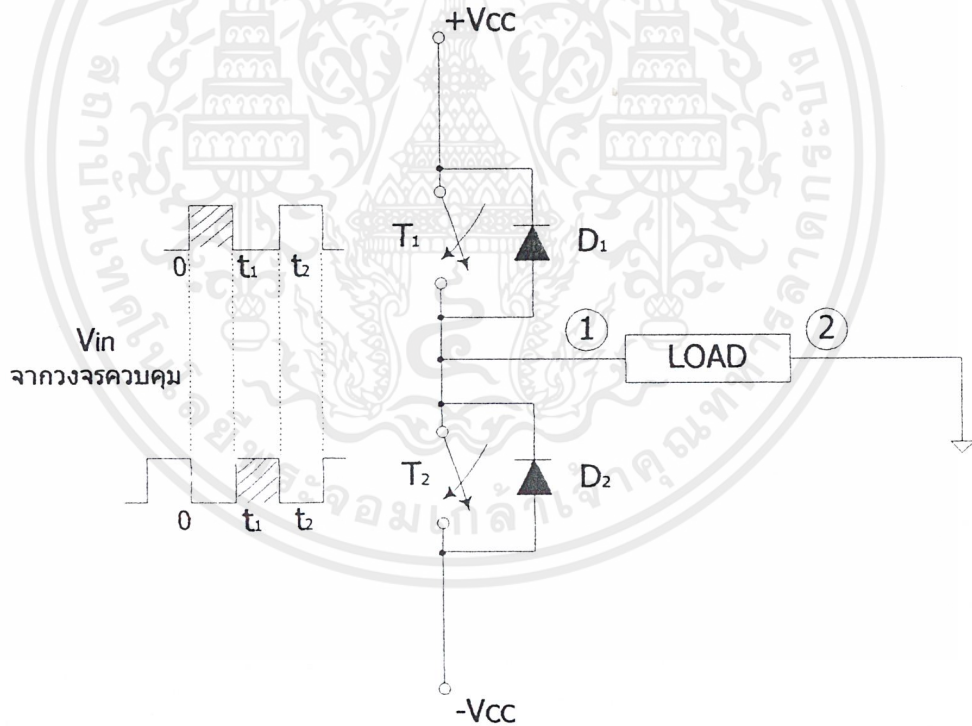
## PULSE GENERATOR



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานของฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

## 3.1 พื้นฐานการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบีวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

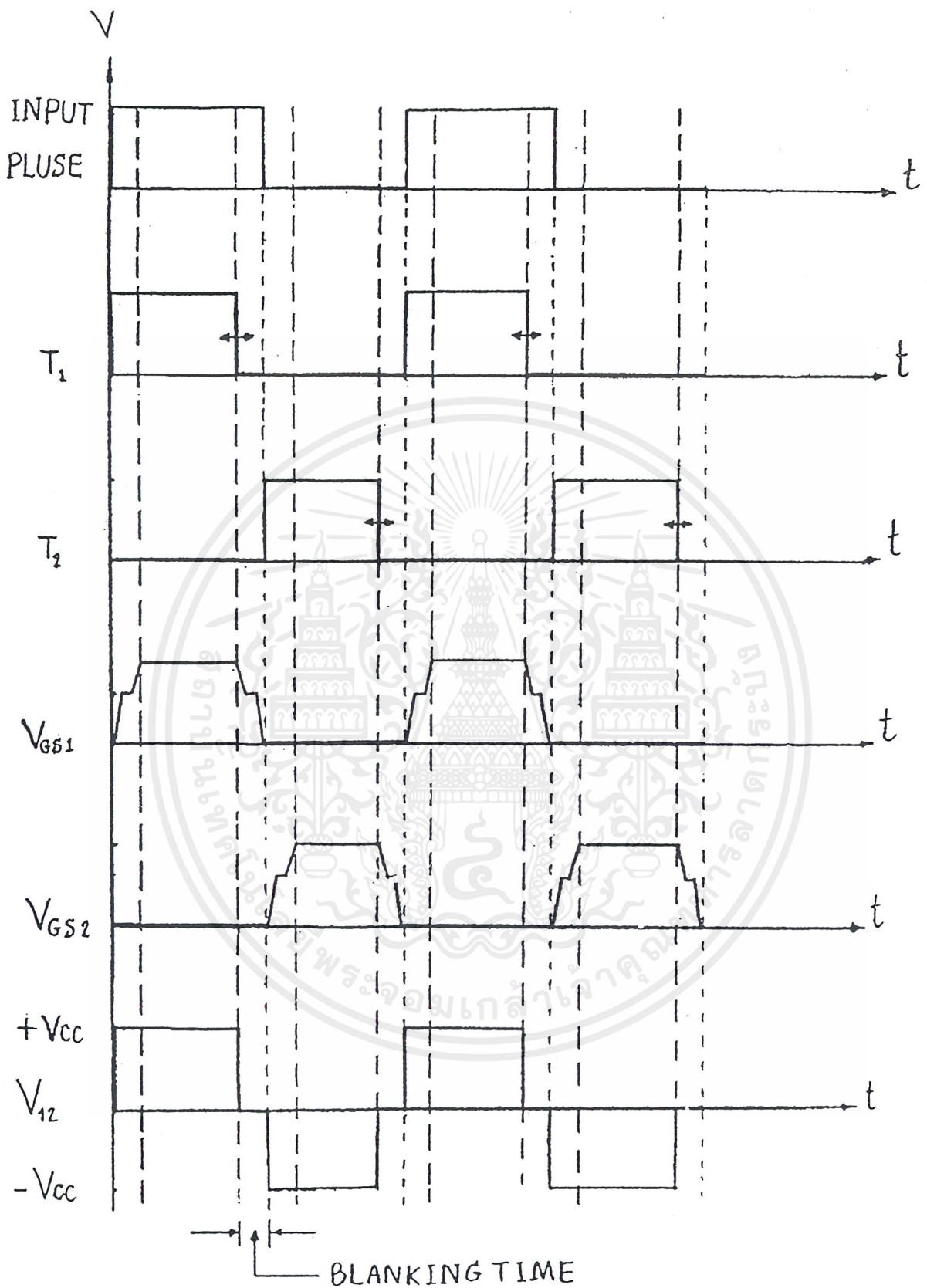
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูป 3.3 จะเห็นได้ว่าการสวิตช์เพื่อควบคุมการไหลของกระแสที่ไหลผ่านโหลดได้ทั้งสองทิศทาง โดยให้เพาเวอร์มอสเฟต ( $T_1$ ) นำกระแสในช่วงเฟส on ( $0 < t < t_1$ ) และเพาเวอร์มอสเฟต ( $T_2$ ) นำกระแสในช่วงเฟส on ( $t_1 < t < t_2$ ) ซึ่งสามารถแสดงค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดได้ดังนี้

$$V_{12} = \begin{cases} +V_{cc} ; 0 < t < t_1 & \text{เมื่อ } T_1 : \text{ON} \\ -V_{cc} ; t_1 < t < t_2 & \text{เมื่อ } T_2 : \text{ON} \end{cases}$$

ซึ่งสามารถแสดงรูปคลื่นการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3.4

หมายเหตุ : เวลาพัก ( Blanking Time หรือ Dead Time ) หมายถึง เวลาในการประวิงการนำกระแสของสวิตช์ เมื่อมีคำสั่งให้ สวิตช์  $T_1$  นำกระแส สวิตช์  $T_2$  จะหยุดนำกระแส หรือเมื่อมีคำสั่งให้สวิตช์  $T_2$  นำกระแส สวิตช์  $T_1$  จะหยุดนำกระแส แต่เนื่องจาก ความไม่เป็นอุดมคติของสวิตช์  $T_1$  และ  $T_2$  ทำให้สวิตช์ตัวที่ได้รับคำสั่งให้หยุดนำกระแส อาจใช้เวลาหลายไมโครวินาที ( $\mu\text{s}$ ) กว่า จะหยุดนำกระแสได้จริง ดังนั้นถ้าในช่วงเวลาดังกล่าว สวิตช์อีกตัว เกิดเริ่มนำกระแสแล้ว ก็จะทำให้เกิด การทะลุผ่าน ( Shoot Through ) คือจะมีกระแสค่าสูงไหลผ่านสวิตช์  $T_1$  และ  $T_2$  จึงจำเป็นต้องประวิงเวลา การนำกระแสไว้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว



รูปที่ 3.4 รูปคลื่นการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์พีคดับบีเอ็มคอนเวอร์เตอร์

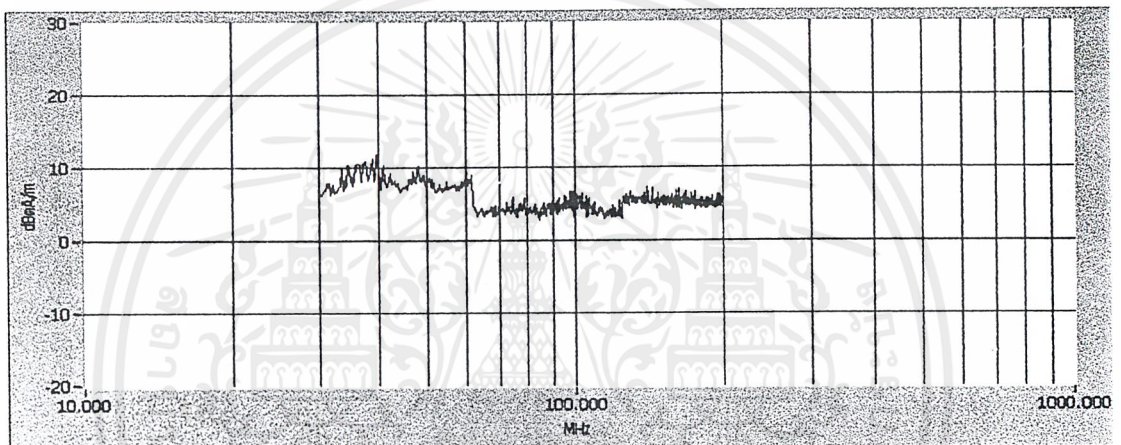
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

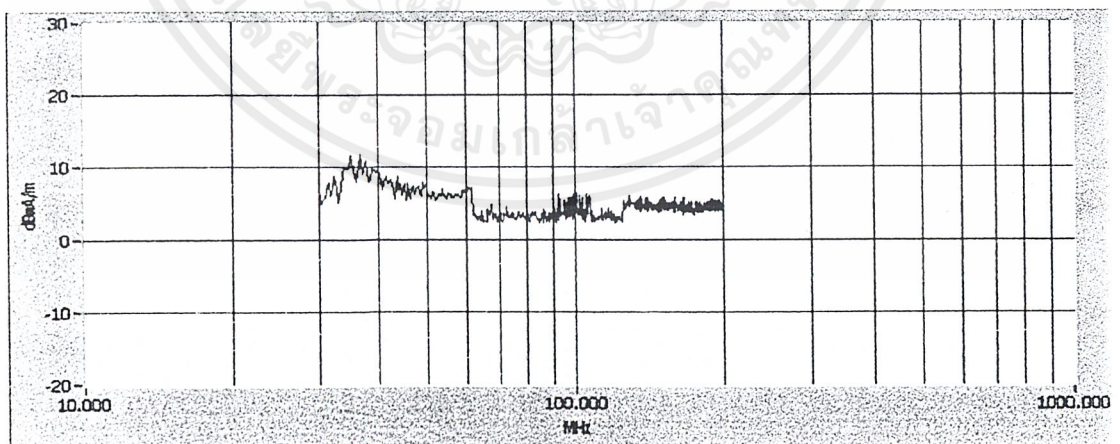
### ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาสัญญาณรบกวนที่แพร่กระจาย และสัญญาณรบกวนในสายตัวของวงจร  
ฟลูบริคซ์ และฮาร์ฟบริคซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g 100 \Omega$

4.1.1 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนที่แพร่กระจาย ขณะทำงานที่ควิตซ์ไซเคิล 75% , 50% และ  
25%

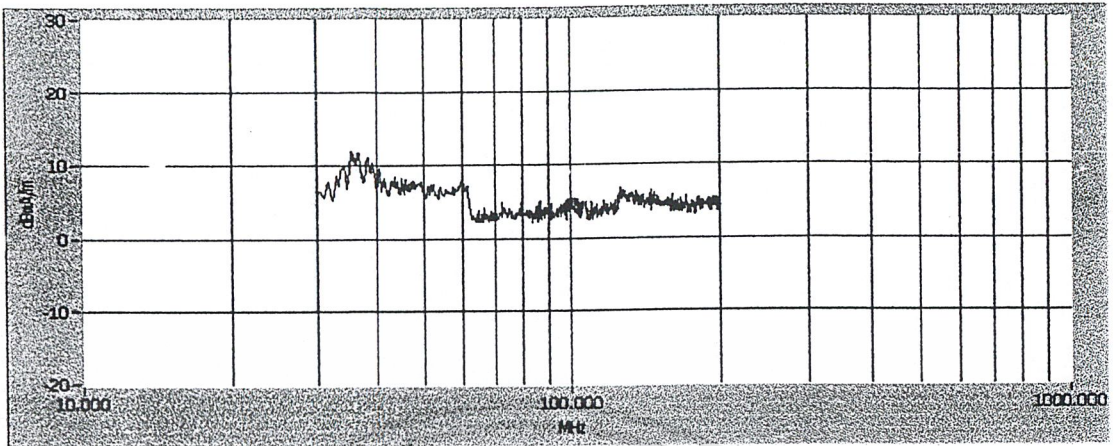


รูปที่ 4.1 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลอยฮีทซิงค์  
ของวงจรฮาร์ฟบริคซ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ควิตซ์ไซเคิล 75 %

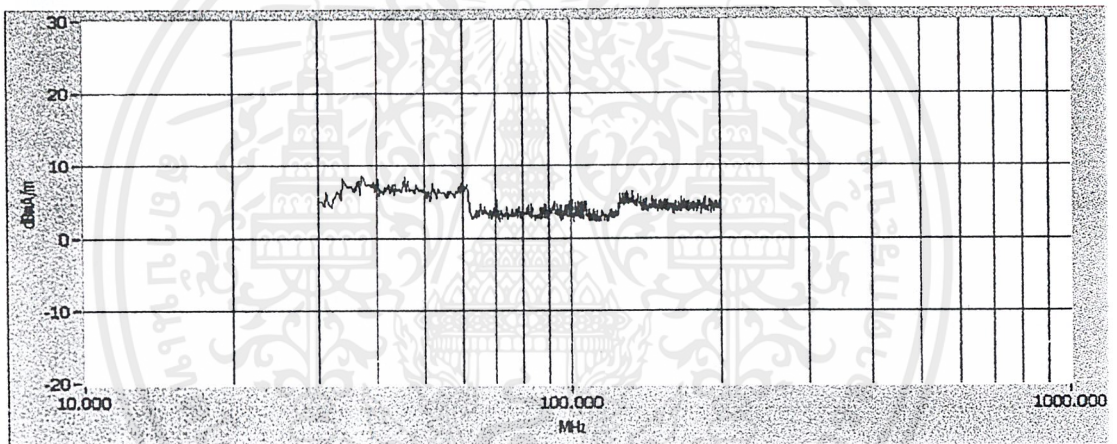


รูปที่ 4.2 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบวงจร (ต่อฮีทซิงค์ลง  
กราวนด์เพลน) ของวงจรฮาร์ฟบริคซ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ควิตซ์ไซเคิล 75 %

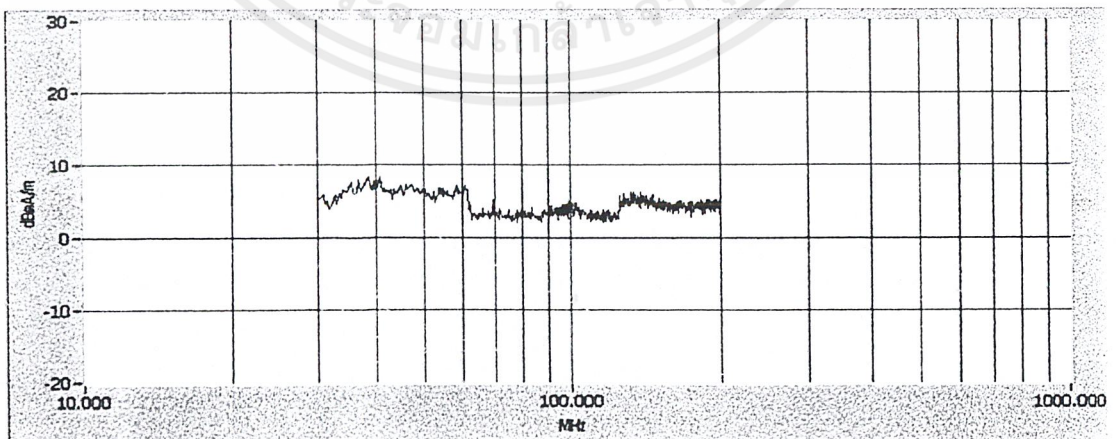
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม  $L_{GW}$  (Inductance) ของวงจรฮาร์ฟบริคคองเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ควิตซ์ไคเคิล 75 %

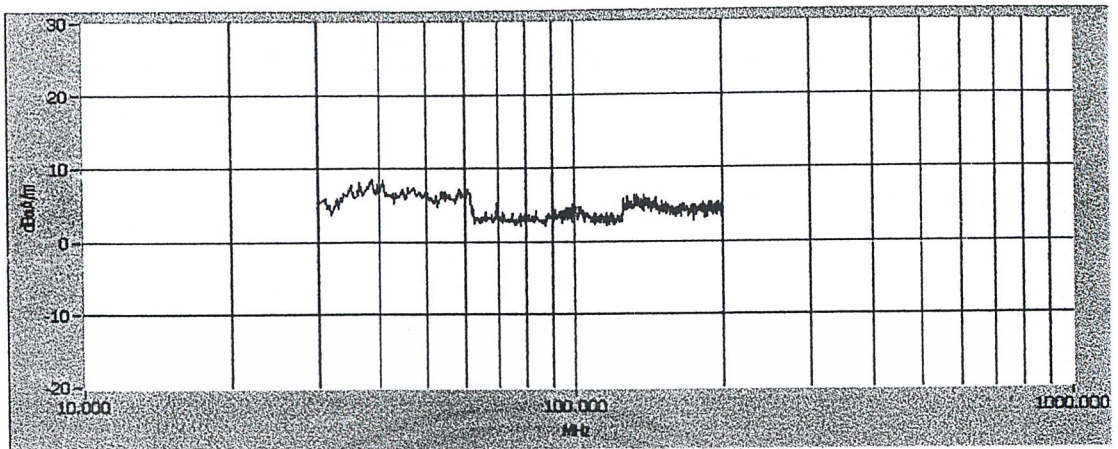


รูปที่ 4.4 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดฮิซซิงค์ของวงจรฮาร์ฟบริคคองเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ควิตซ์ไคเคิล 50 %

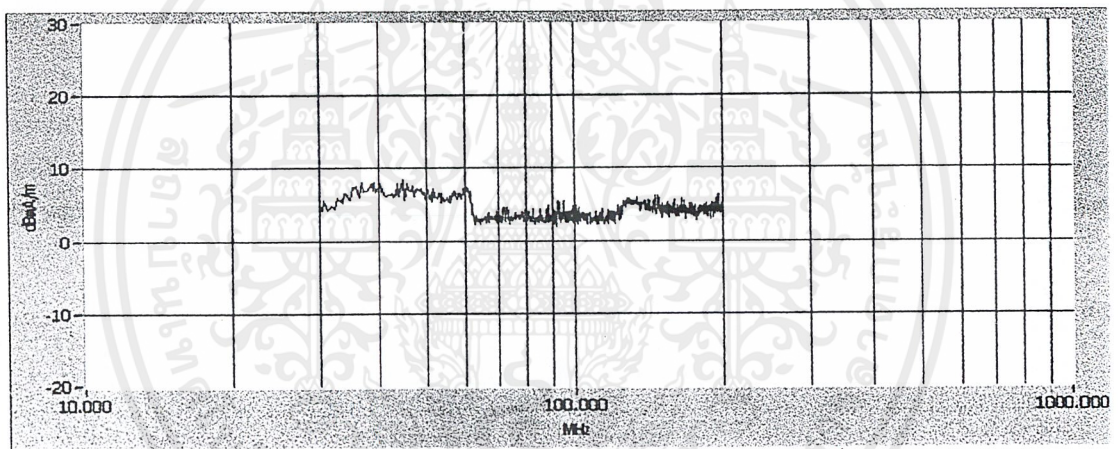


รูปที่ 4.5 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่อฮิซซิงค์ลงกราวนด์เพลน) ของวงจรฮาร์ฟบริคคองเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไคเคิล 50 %

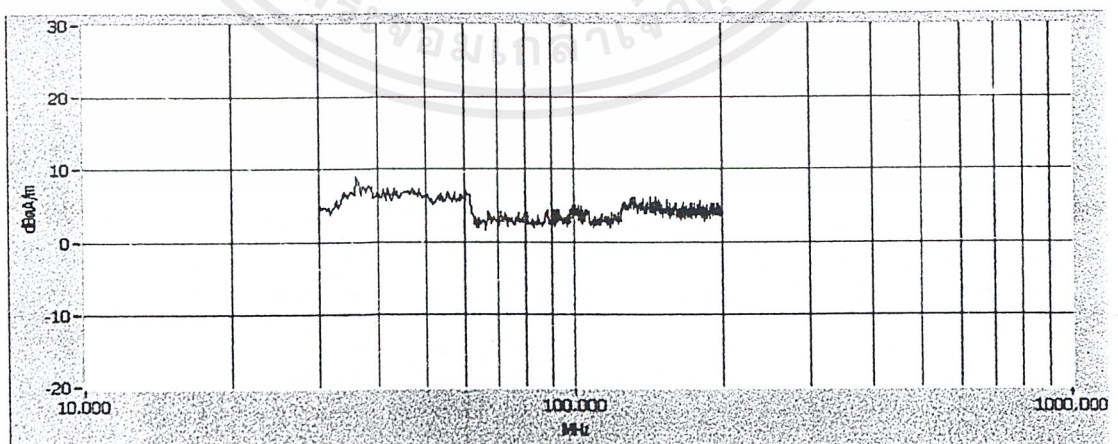
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม  $L_{GW}$  ของวงจรถ่ายพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 50 %

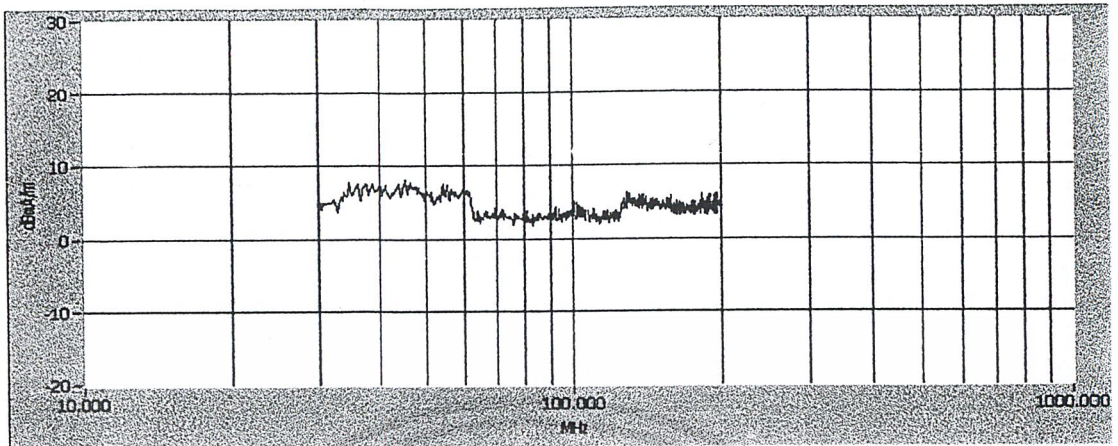


รูปที่ 4.7 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดฮิตซิ่งค์ของวงจรถ่ายพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 25 %

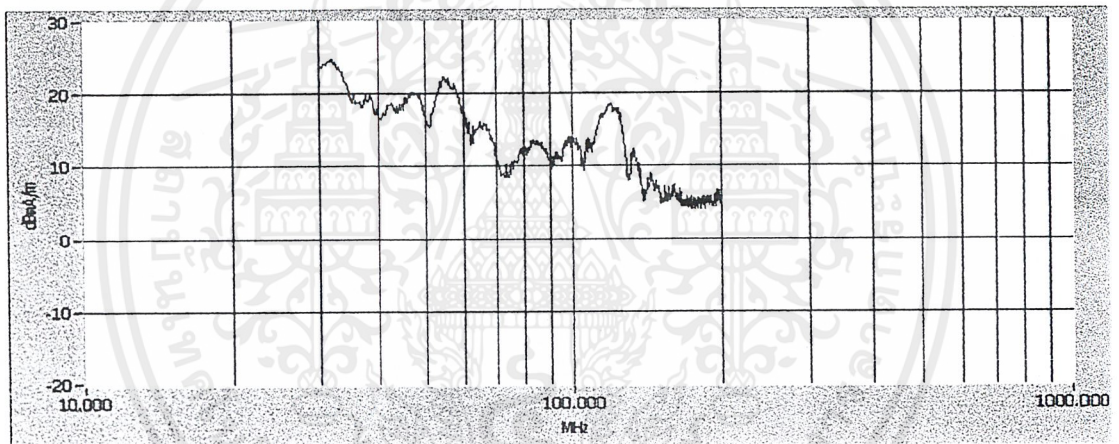


รูปที่ 4.8 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจรถ่ายพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์ (ต่อฮิตซิ่งค์ลงกราวด์เพเลน) ของวงจรถ่ายพรีดิคชันคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 25 %

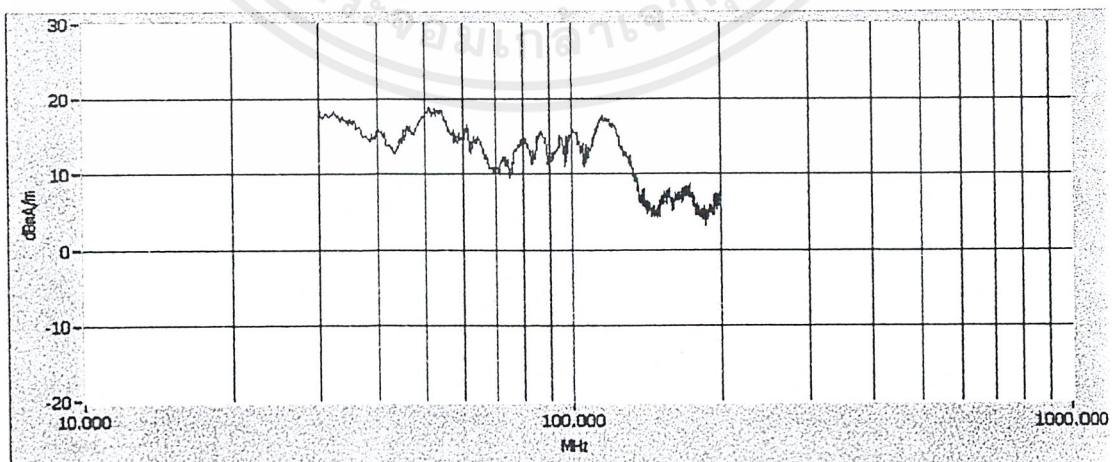
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนเมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม  $L_{GW}$  ของวงจรฟลักซ์คอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ควิตซ์ไค์เกิด 25 %

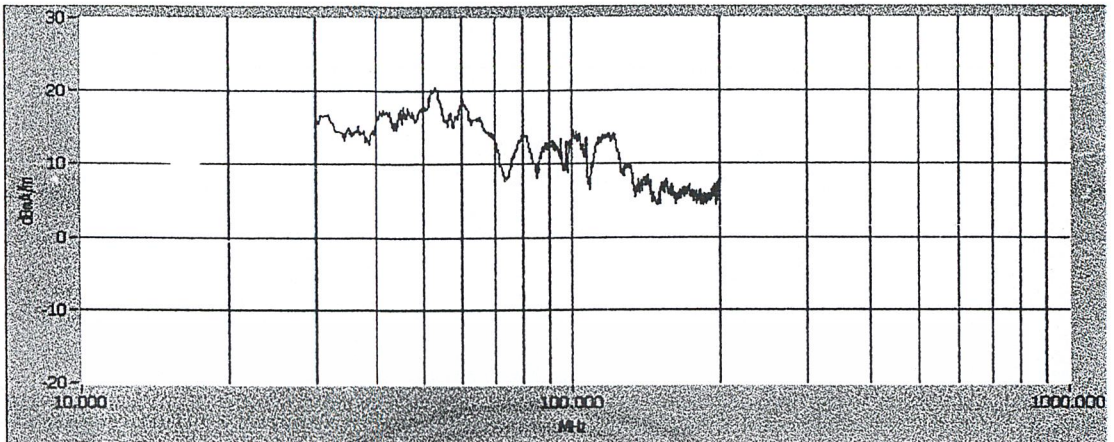


รูปที่ 4.10 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดฮิตซิงค์ของวงจรฟลักซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไค์เกิด 75 %

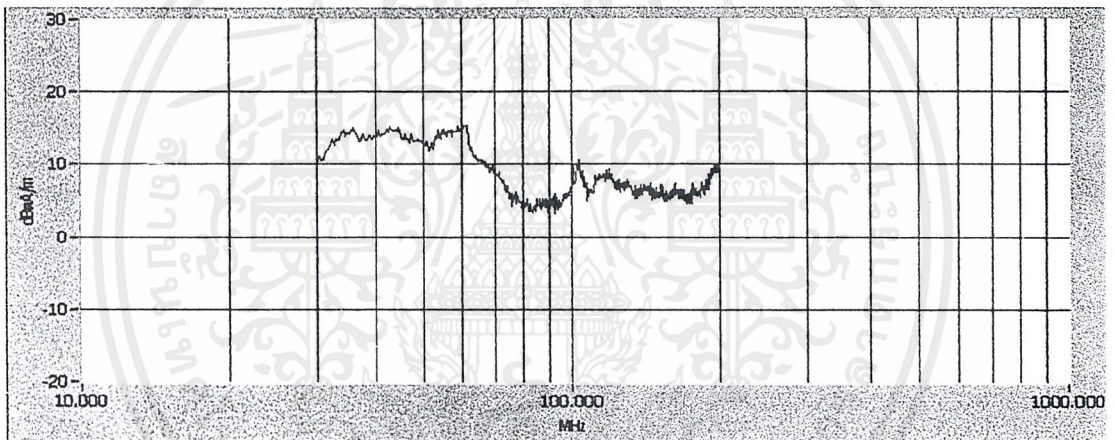


รูปที่ 4.11 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่อฮิตซิงค์ลงกราวนด์เพน) ของวงจรฟลักซ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไค์เกิด 75 %

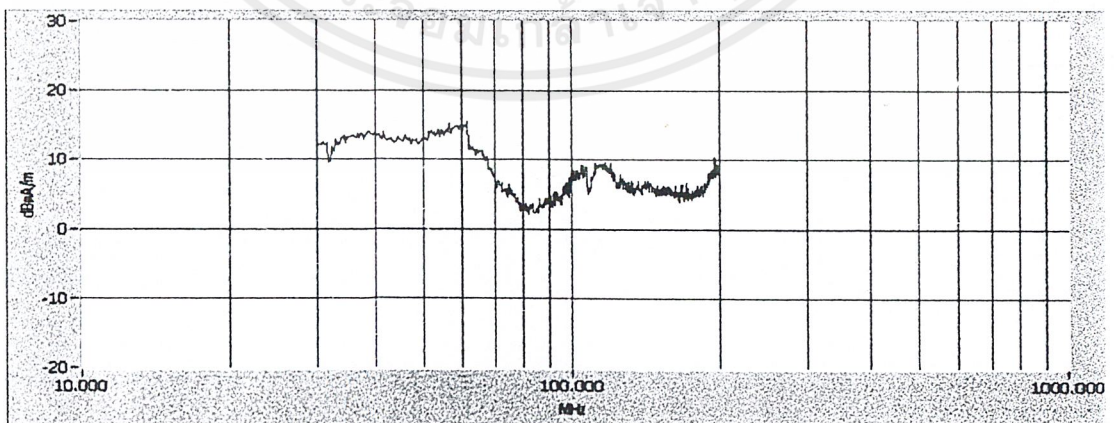
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม  $L_{GW}$  ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไชเคิล 75 %

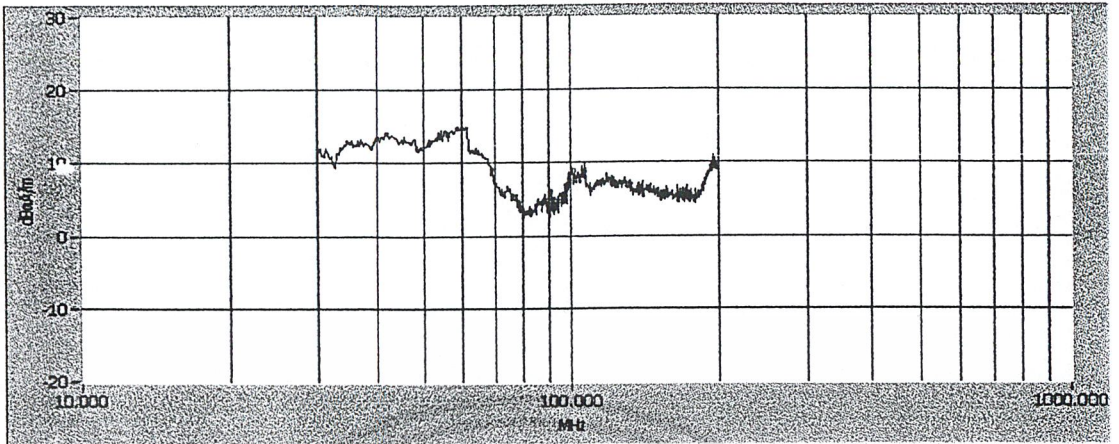


รูปที่ 4.13 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดฮิสซิ่งค์ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไชเคิล 50 %

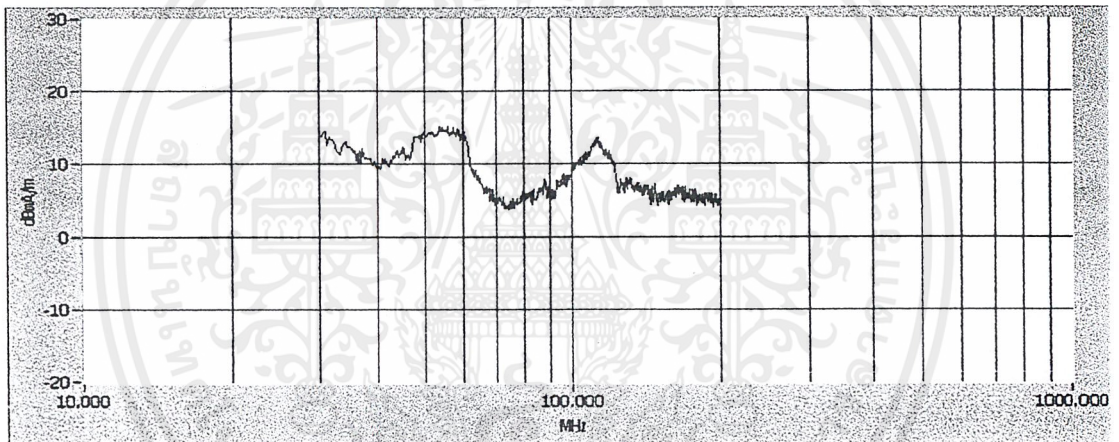


รูปที่ 4.14 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่อฮิสซิ่งค์ลงกราวนด์เพลน) ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไชเคิล 50 %

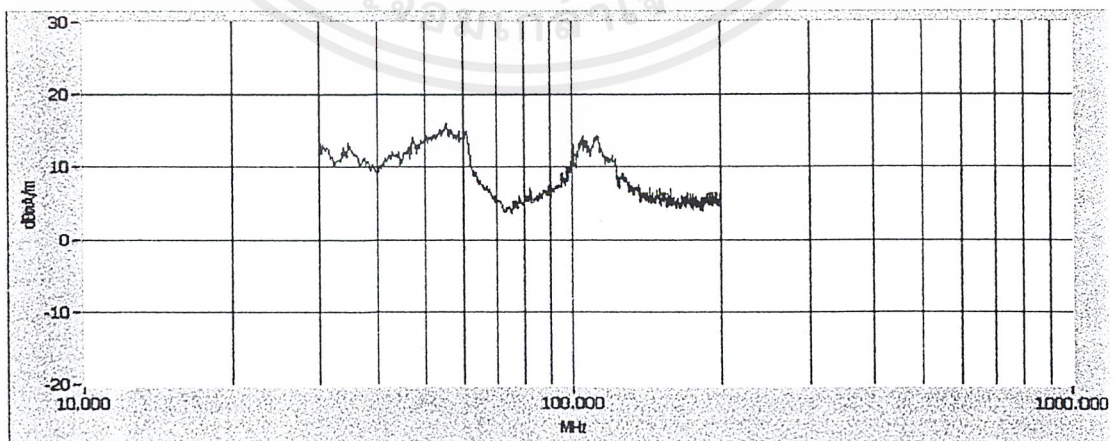
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม  $L_{GW}$  ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไชเกิด 50 %

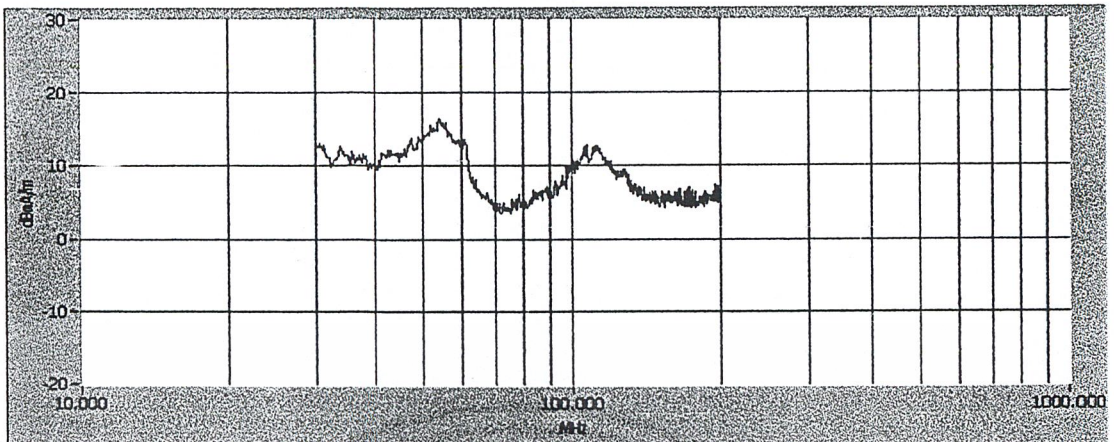


รูปที่ 4.16 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการลดฮิตซิ่งค์ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไชเกิด 25 %



รูปที่ 4.17 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปวงจร (ต่อฮิตซิ่งค์ลงกราวนด์เพลน) ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่ควิตซ์ไชเกิด 25 %

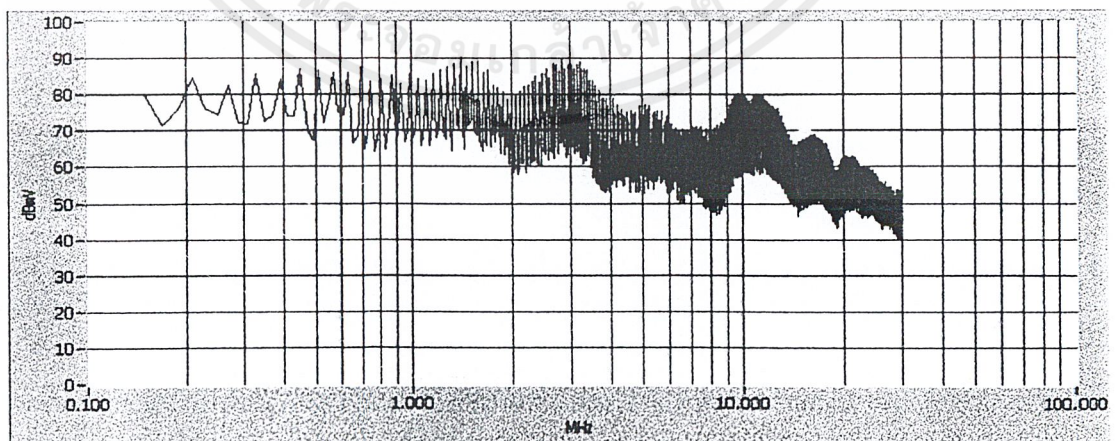
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงผลการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน เมื่อทำการครบรูปและเพิ่ม  $L_{GW}$  ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่คิวดั้ไซเคิล 25 %

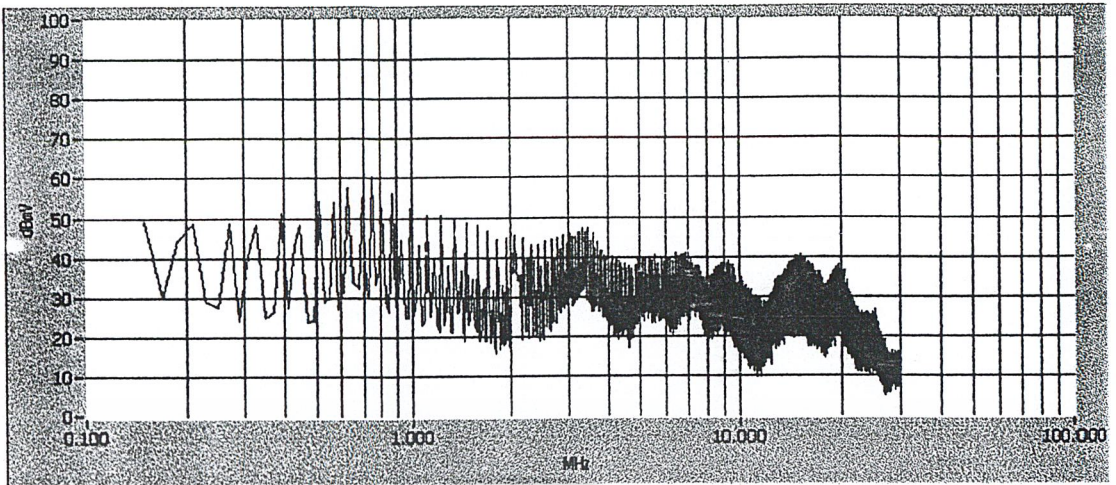
จากการทดลอง โดยการวัดสัญญาณการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ ซีทซิ่งค์ ทำให้ทราบค่าที่เหมาะสมของคิวดั้ไซเคิลที่จะทำการทดลองต่อไปคือ 75 % เพราะว่ามี ระดับของสัญญาณที่สังเกตได้ค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นจึงนำคิวดั้ไซเคิลที่ได้ไปทำการทดลองต่อไป ดังรูปที่แสดงการเปรียบเทียบการแพร่กระจายระหว่างฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

4.1.2 ศึกษาเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ขณะทำงานที่คิวดั้ไซเคิล 75% วัดผลสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ระหว่างสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์กับสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมด (Line 1) ได้ผลดังรูป

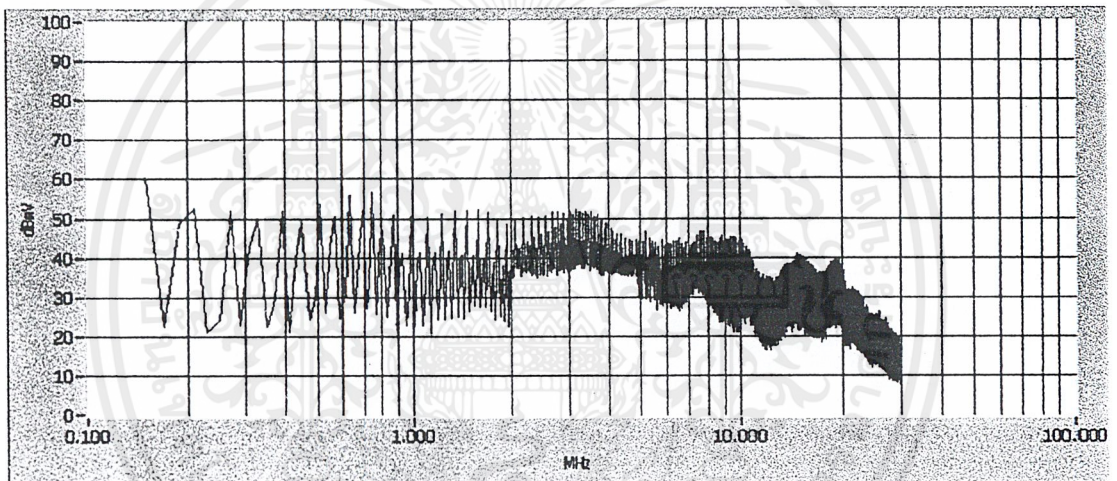


รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าใน Line 1 ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g 100 \Omega$  คิวดั้ไซเคิล 75%

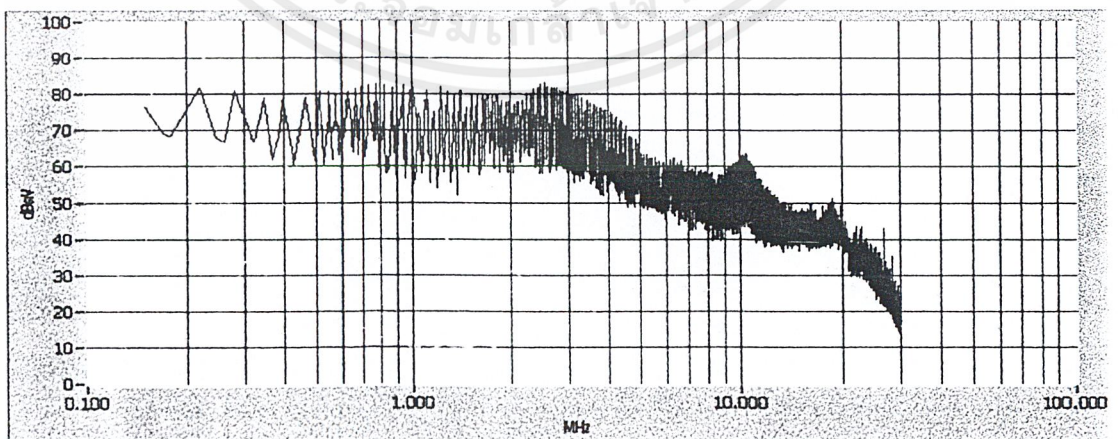
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร้นท์ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g$  100  $\Omega$  คิวตี้ไซเคิล 75%

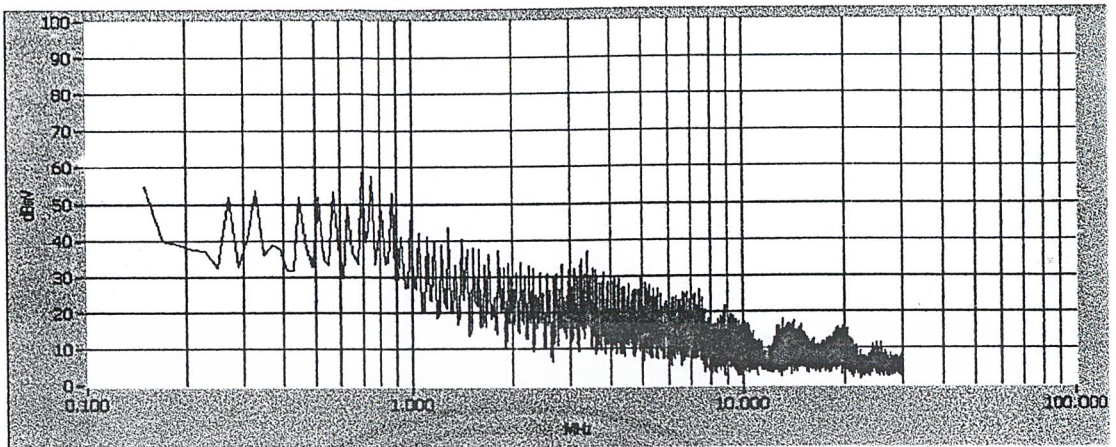


รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์เซี่ยล โหมดเคอร์เร้นท์ ของวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g$  100  $\Omega$  คิวตี้ไซเคิล 75%

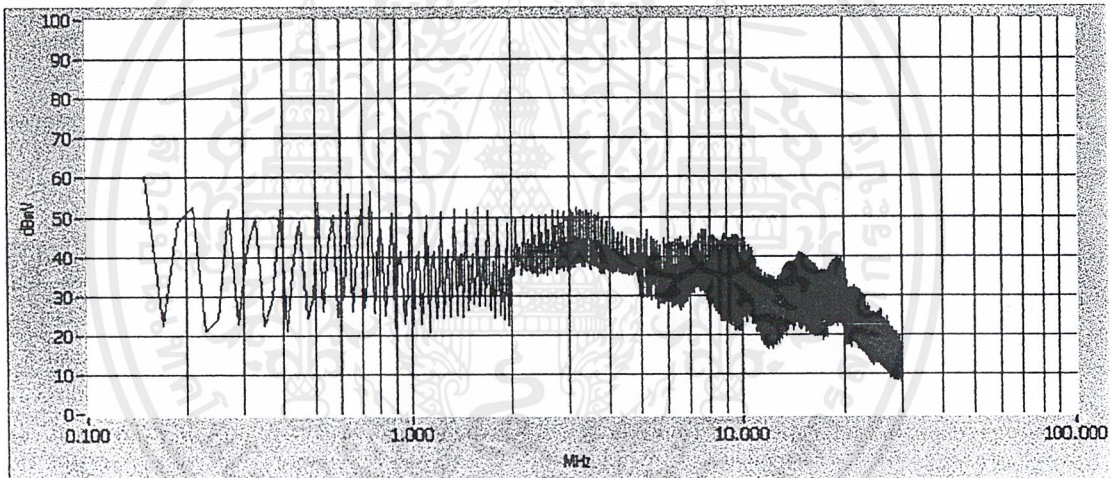


รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าใน Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g$  100  $\Omega$  คิวตี้ไซเคิล 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ ของวงจรรหัสรีฟริคัจคอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g$  100  $\Omega$  คิวตี้ไซเคิล 75%



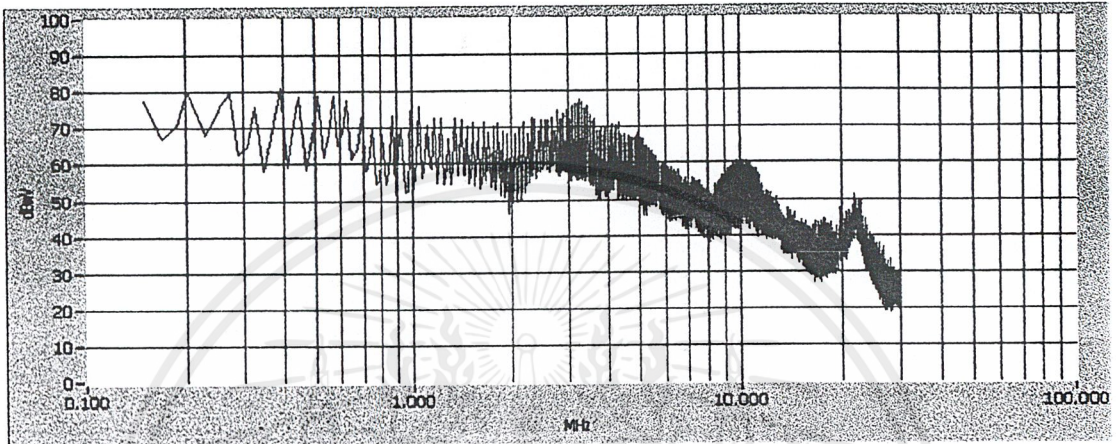
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ ของวงจรรหัสรีฟริคัจคอนเวอร์เตอร์ ที่  $R_g$  100  $\Omega$  คิวตี้ไซเคิล 75%

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับวงจรรหัสรีฟริคัจคอนเวอร์เตอร์ มีค่าน้อยกว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดกับวงจรมัลติเพล็กซ์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นหากทำการเพิ่มค่า  $R_g$  ก็ จะยังสามารถลดสัญญาณรบกวนได้เช่นกัน เพราะว่าการเพิ่มค่าความต้านทานนี้จะแปรผันตรงกับ ค่า slope ที่ขา  $V_{GS}$  นั่นคือถ้าหากว่ามีค่าความต้านทานมากจะทำให้มีค่า slope ขึ้นมากขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ค่าสัญญาณรบกวนจึงมีน้อยลง แต่ทว่าค่าของสวิทช์ซึ่งลดลงกลับมากขึ้นเพราะว่าเป็นตัว แปรที่ผกผันกับสัญญาณรบกวน หรือแปรผันตรงกับค่า slope นั้นเอง ถ้าค่า slope มาก ก็แสดงว่าค่า ของ สวิทช์ซึ่งลดลงมาก แต่สัญญาณรบกวนน้อยลง แต่ถ้าหากค่า slope น้อย ก็แสดงว่าค่าของสวิทช์ ซึ่งลดน้อย และสัญญาณรบกวนมากขึ้น ดังนั้นจึง เพิ่มค่า  $R_g$  เป็น 2K $\Omega$  ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองศึกษาเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์ แบบฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์โดยพิจารณาสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ขณะที่วงจรทำงานที่ควิตซ์ไซด์เล็ก 75 % มี 2 เงื่อนไขหลักดังนี้

4.2.1 ขณะไม่มีฟิลเตอร์ (NO FILTER) ที่  $R_g$  2 K $\Omega$  ที่ Line 1 ได้รูป ดังนี้



รูปที่ 4.25 แสดงผลของสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ขณะยังไม่ต่อ Filter ที่  $R_g$  2 K $\Omega$

4.2.2 ขณะมีฟิลเตอร์ (WITH FILTER)

มีเงื่อนไขอยู่ทั้งหมด 11 เงื่อนไขเพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุดที่จะลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นให้ได้มากที่สุด โดยการเปรียบเทียบ Line 1 ที่เกิดขึ้น ปรับ  $R_g$  2K $\Omega$  มีเงื่อนไขดังนี้

- คอมมอนโหมดโช๊ค (Common mode Choke)

-  $C_x$

-  $C_{Y_{rwm}}$

-  $C_x + C_{Y_{rwm}}$

- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{x1}$

- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{x2}$

- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{Y_{rwm}}$

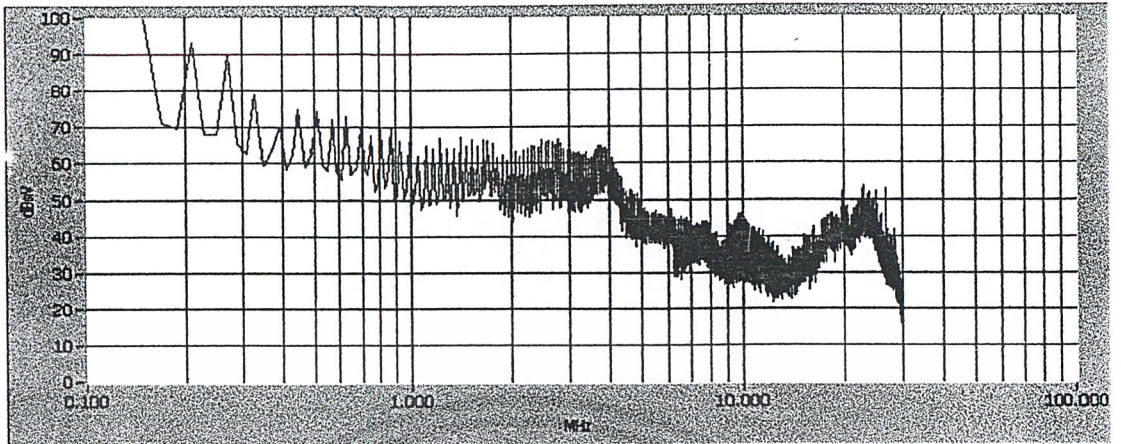
- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{x1} + C_{x2}$

- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{x1} + C_{Y_{rwm}}$

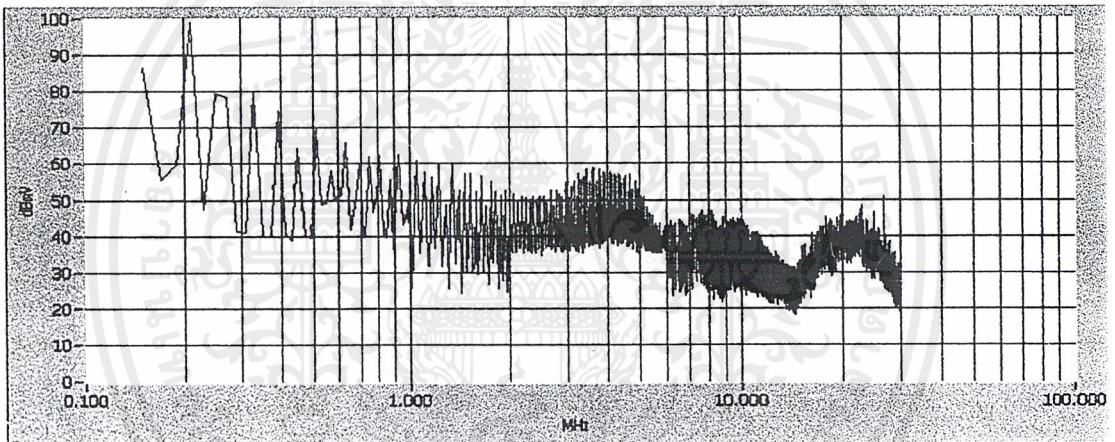
- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{x2} + C_{Y_{rwm}}$

- คอมมอนโหมดโช๊ค +  $C_{x1} + C_{x2} + C_{Y_{rwm}}$

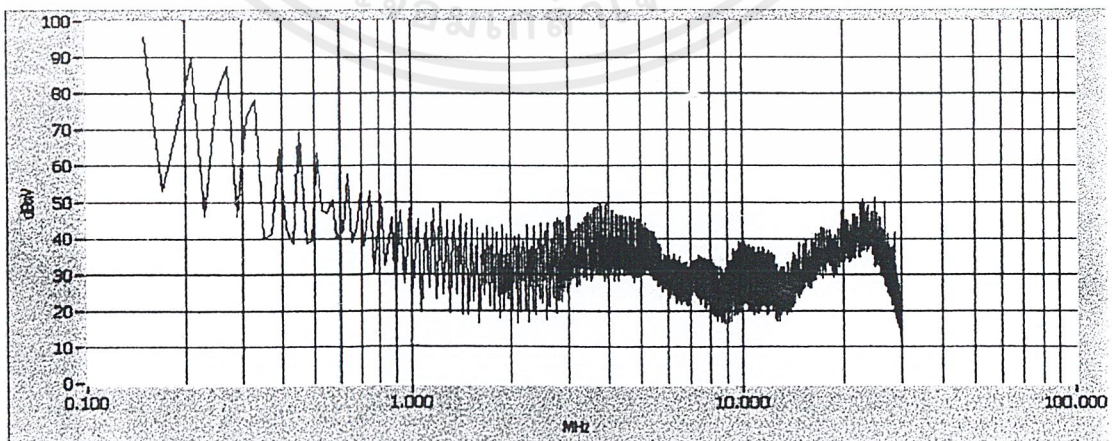
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสรีฟริคัจคอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมด โฉ้คเป็น  $L = 1.4 \text{ mH}$

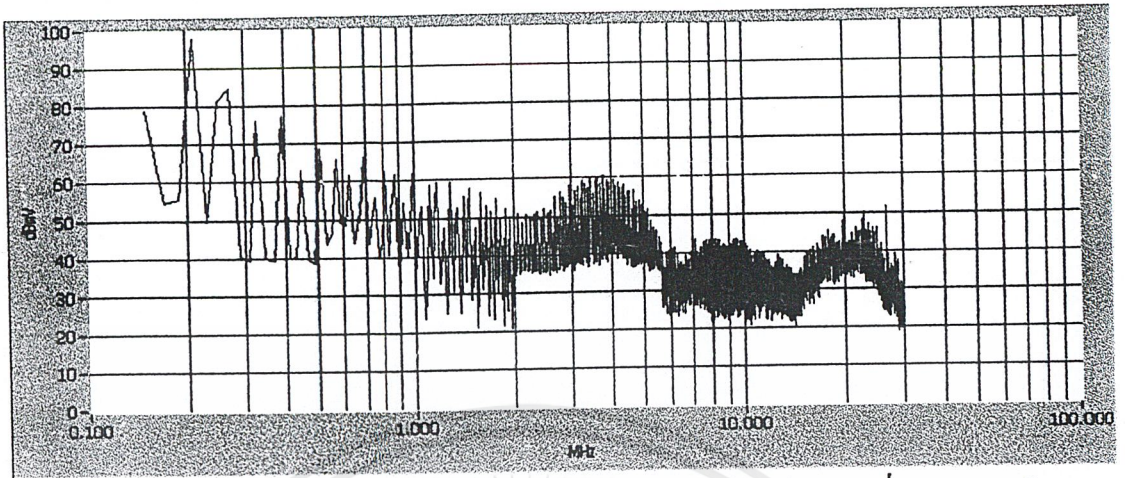


รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสรีฟริคัจคอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมด โฉ้คเป็น  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$

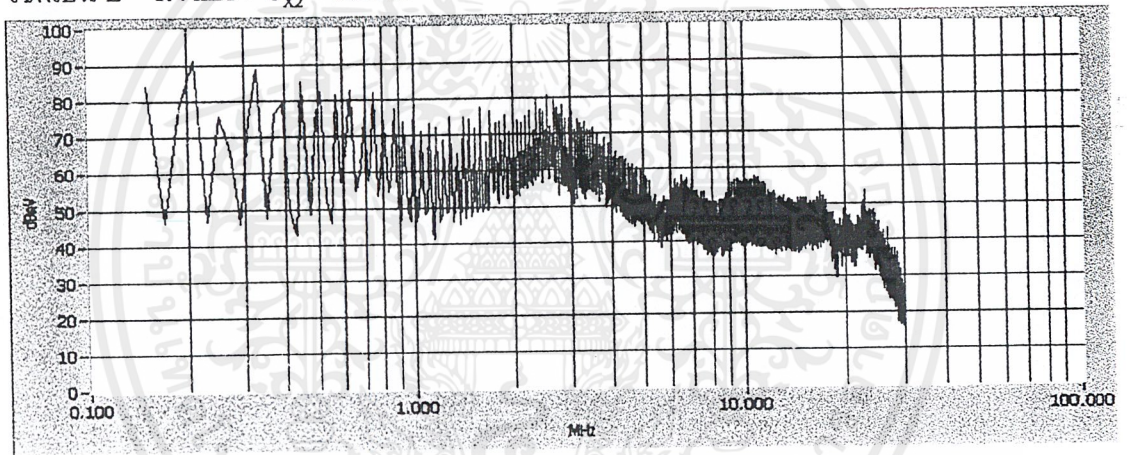


รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรหัสรีฟริคัจคอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมด โฉ้คเป็น  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$

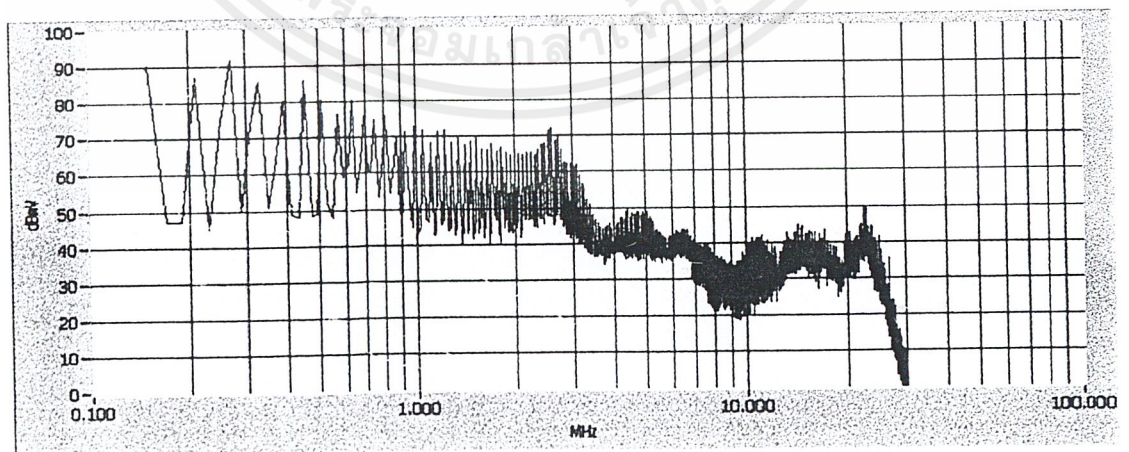
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรซาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมด ไลค์เป็น  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$

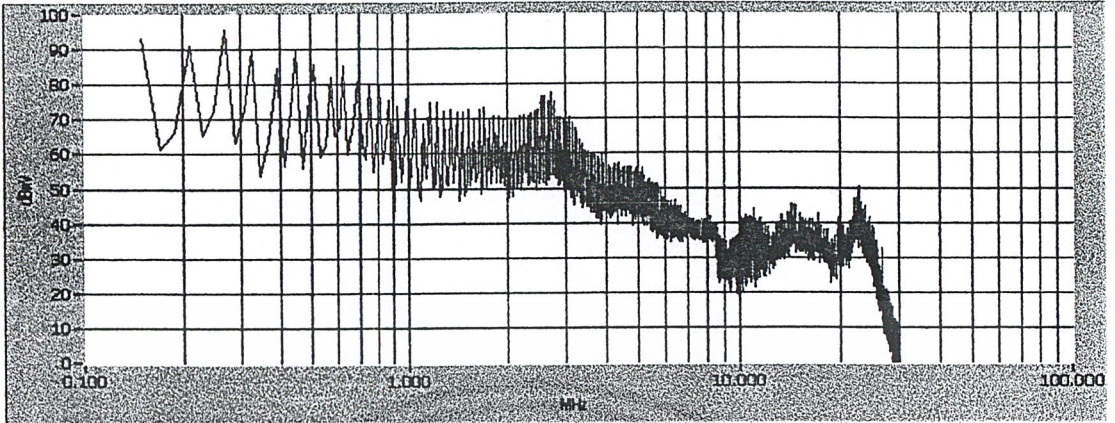


รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรซาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มเป็น  $C_x = 0.22 \text{ uF}$



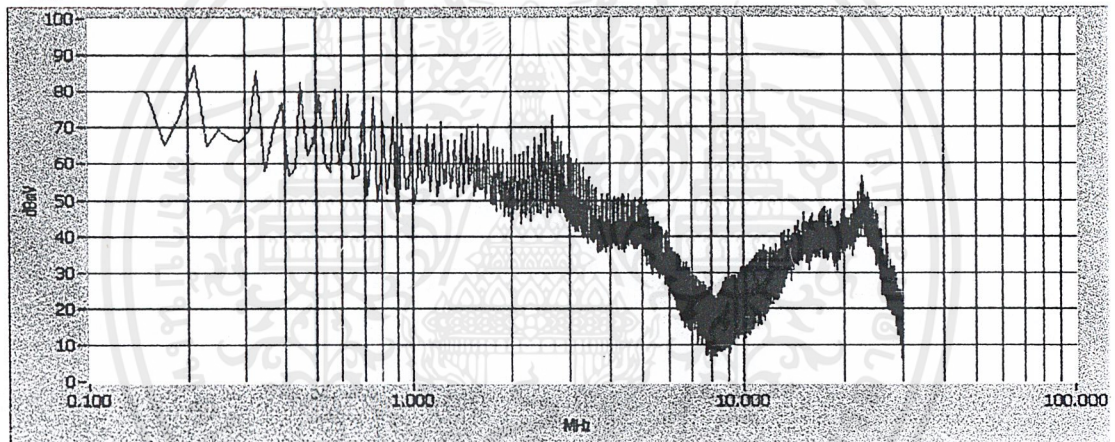
รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรซาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มเป็น  $C_x = 0.22 \text{ uF}$   
 $+C_{Y_{r2m}} = 3300 \text{ pF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



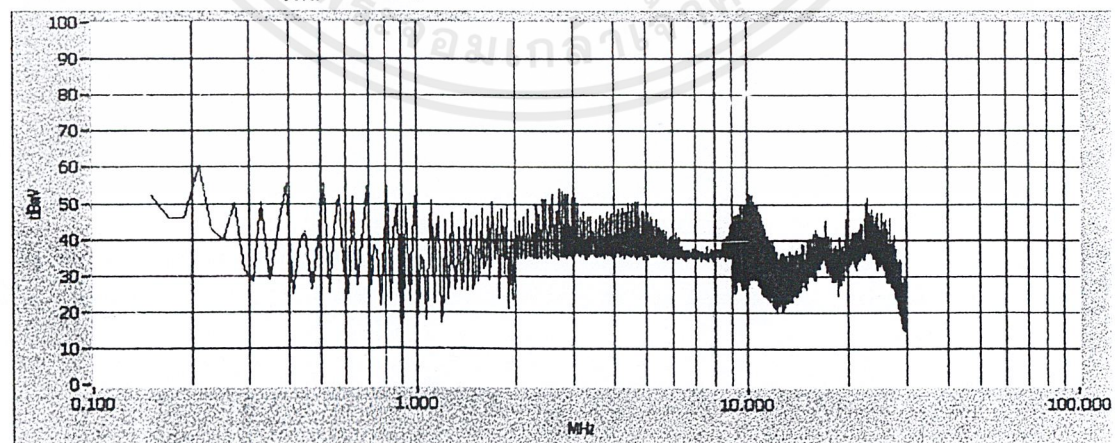
รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มเป็น

$$C_{Yรวม} = 3300\text{pF}$$



รูปที่ 4.33 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมด

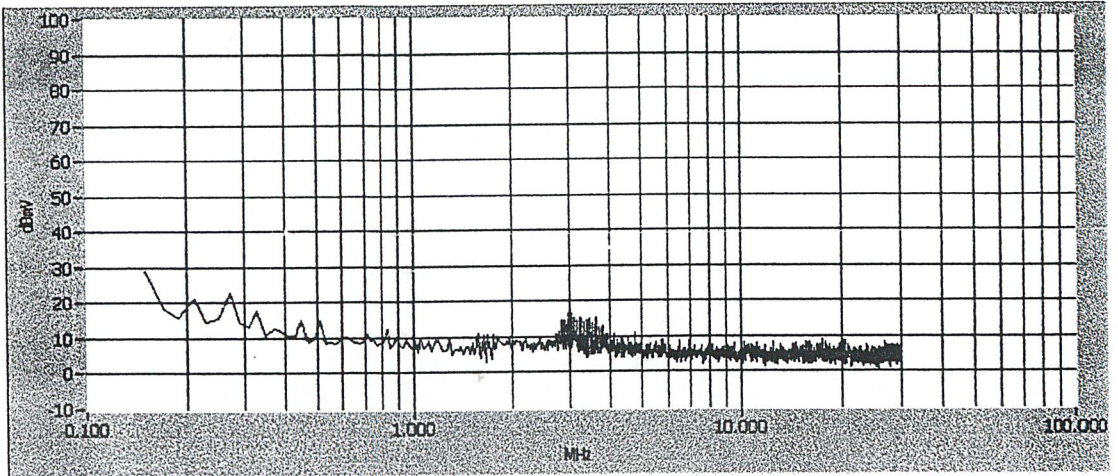
$$\text{โหลดเป็น } L = 1.4 \text{ mH} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$$



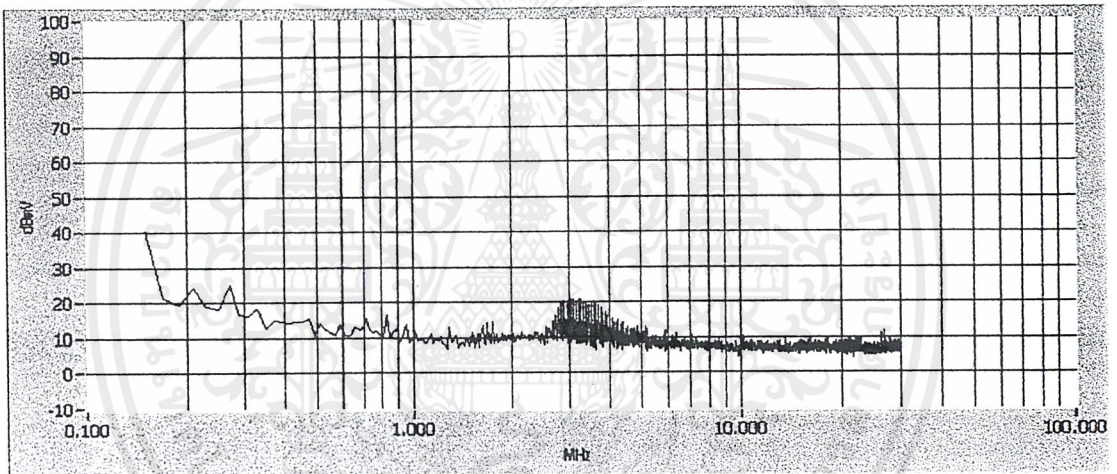
รูปที่ 4.34 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมด

$$\text{โหลด } L = 1.4 \text{ mH} + C_{X1} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$$

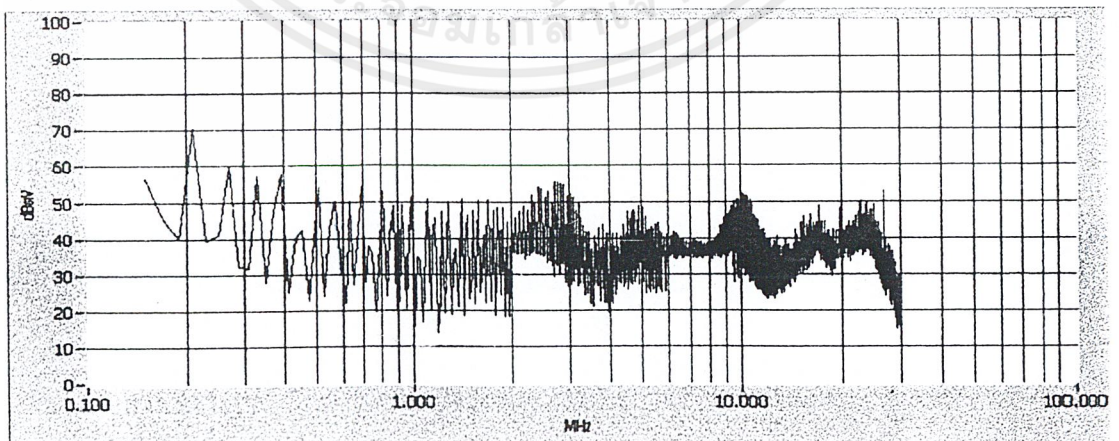
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมดโหลด  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{X1} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$

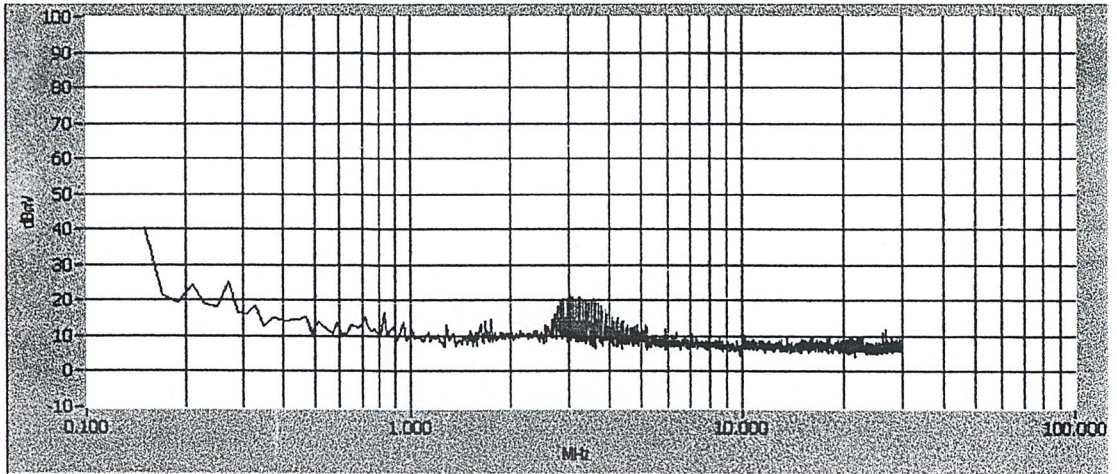


รูปที่ 4.36 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์ที่เชื่อม โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมดโหลด  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{X1} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$

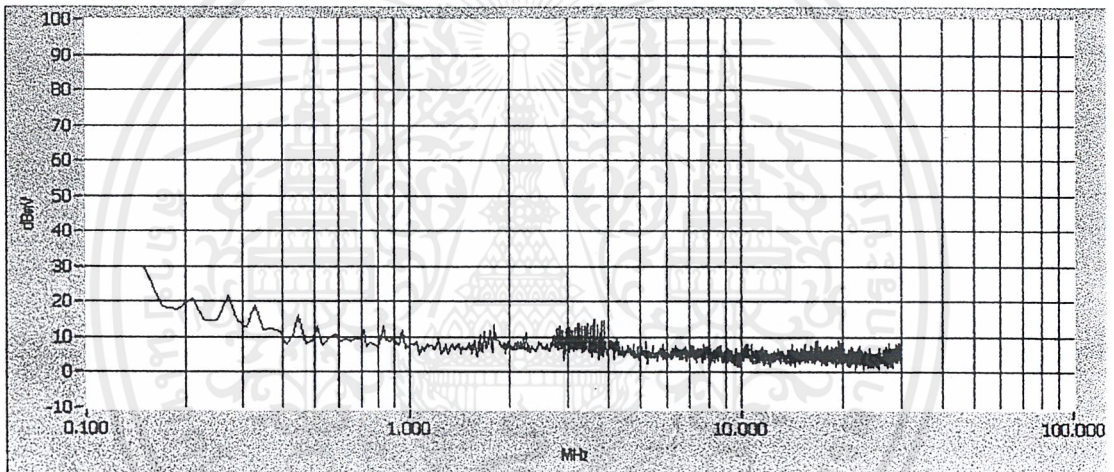


รูปที่ 4.37 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมดโหลดเป็น  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{X2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$

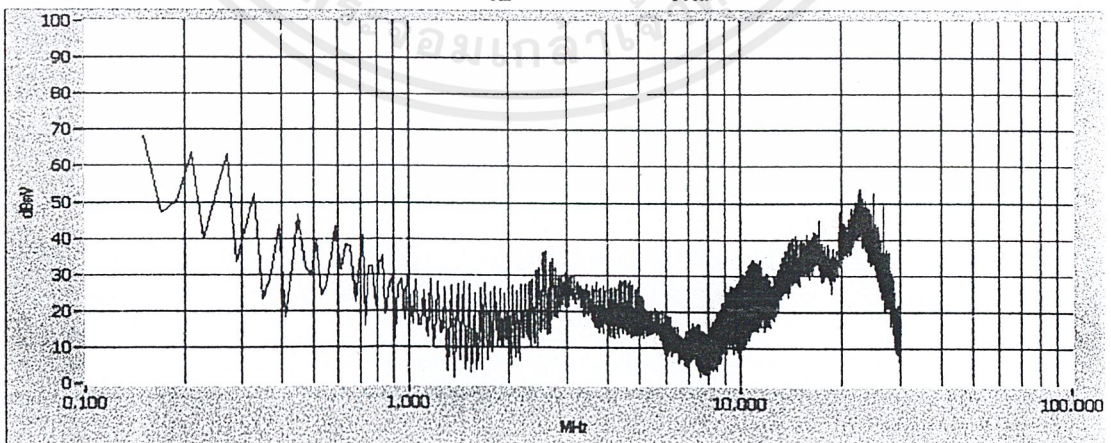
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์โมนิกคอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมดโหลด ใช้  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Y77M} = 3300 \text{ pF}$

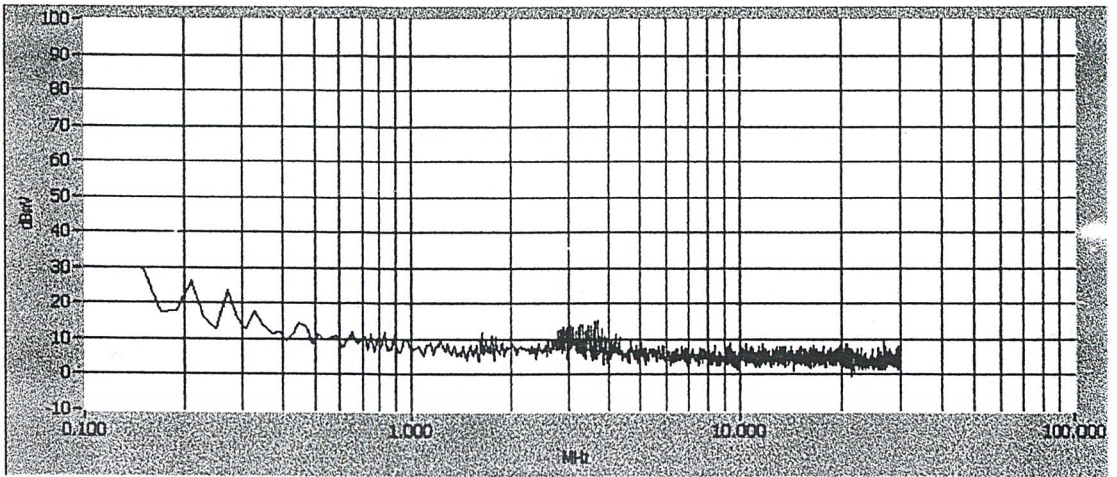


รูปที่ 4.39 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์โมนิกคอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมดโหลด ใช้  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Y77M} = 3300 \text{ pF}$

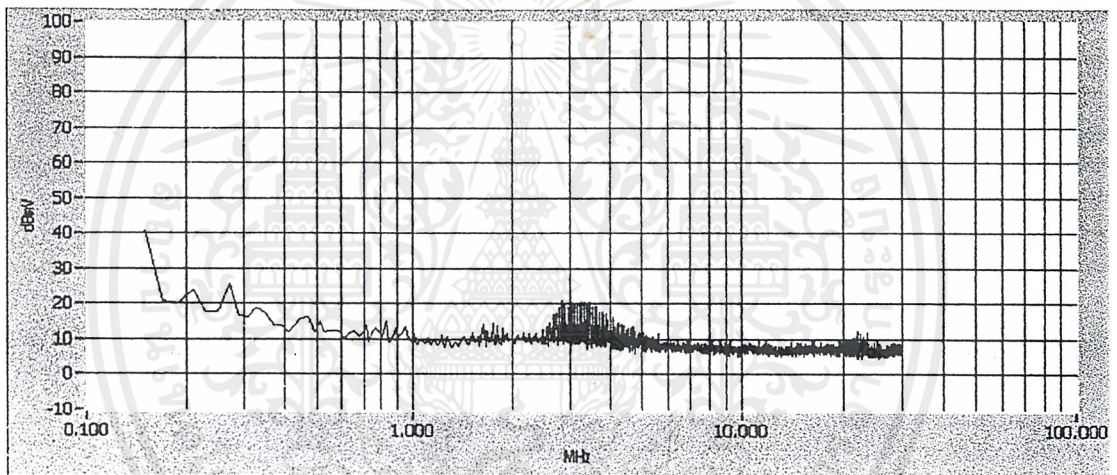


รูปที่ 4.40 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์โมนิกคอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอนโหมดโหลดเป็น  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Y77M} = 3300 \text{ pF}$

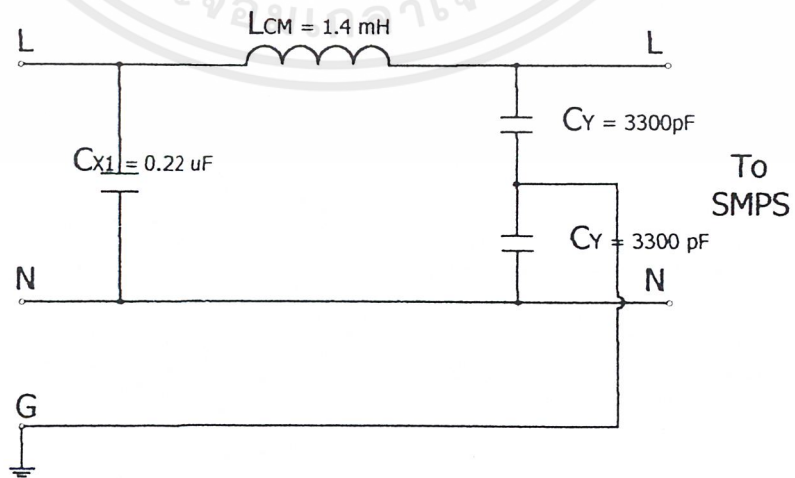
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมด โหลด  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{X1} = 0.22 \text{ uF} + C_{X2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$



รูปที่ 4.42 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมด โหลด  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{X1} = 0.22 \text{ uF} + C_{X2} = 0.22 \text{ uF} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$



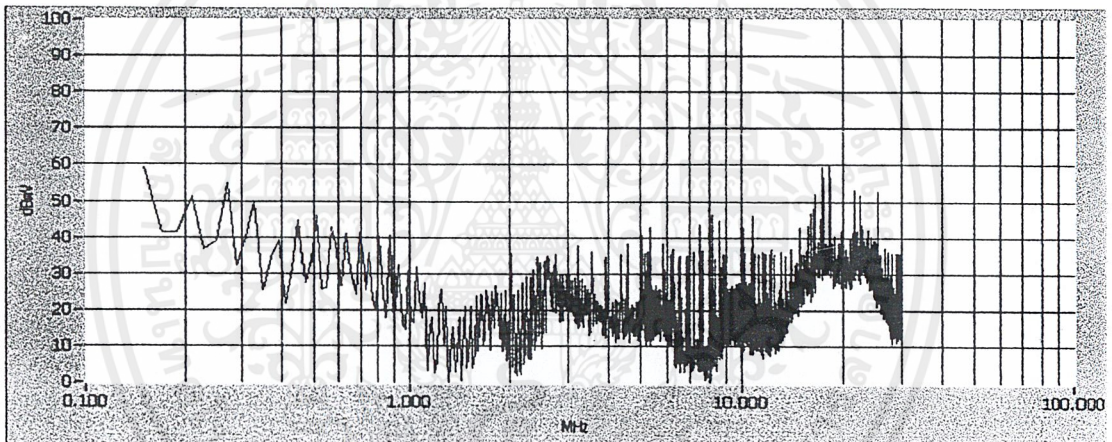
รูปที่ 4.43 รูปวงจรสมมูลย์ของฟิลเตอร์ ที่ดีที่สุดจาก 11 เงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

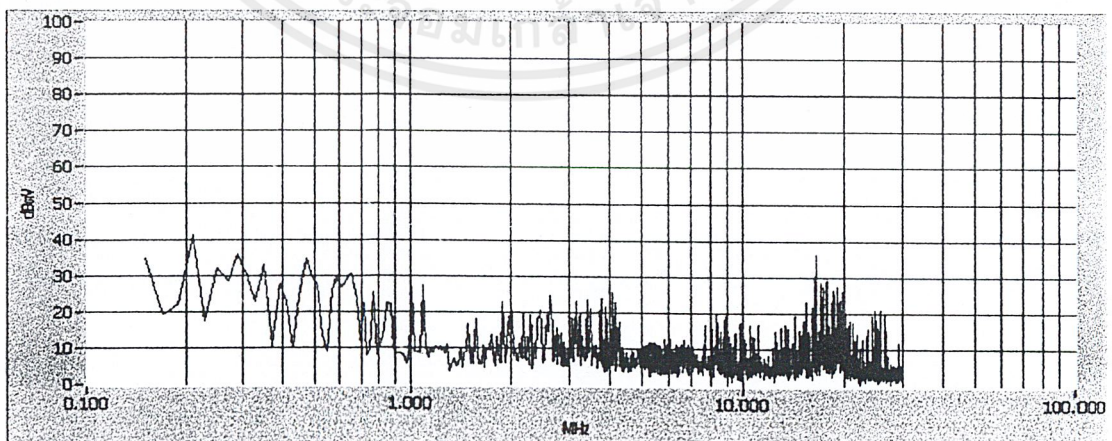
จากเงื่อนไขทั้งหมดได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ คอมมอนโหมด ไซค์ +  $C_{X1}$  +  $C_{Yรวม}$  ดังรูปที่ 4.24 นั้นคือมีค่าต่าง ๆ ในกราฟที่สามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้ตลอดสัญญาณในระดับหนึ่ง ทว่าเราสามารถที่จะลดสัญญาณรบกวนลงได้อีกด้วยการแปรค่าตัวแปรต่าง ๆ อันได้แก่ คอมมอนโหมด ไซค์,  $C_{X1}$  และ  $C_{Yรวม}$  ซึ่งสามารถแสดงได้ จากรูปวงจรสมมูลของฟิลเตอร์จากการทดลอง ดังรูปที่ 4.43

4.3 การทดลองศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์แบบซาร์ฟบริดจ์ พิจารณาสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมดและดิฟเฟอเรนเชียลโหมด ขณะที่วงจรทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 75 % ทำการทดลองต่อจาก ข้อ 4.2 โดยการเพิ่มเงื่อนไขขึ้นอีกเป็น

4.3.1 เพิ่มค่าคอมมอน โหมด ไซค์ จาก 1.4 mH เป็น 2.3 mH ขณะที่คงค่าของ  $C_{X1}$  และ  $C_{Yรวม}$

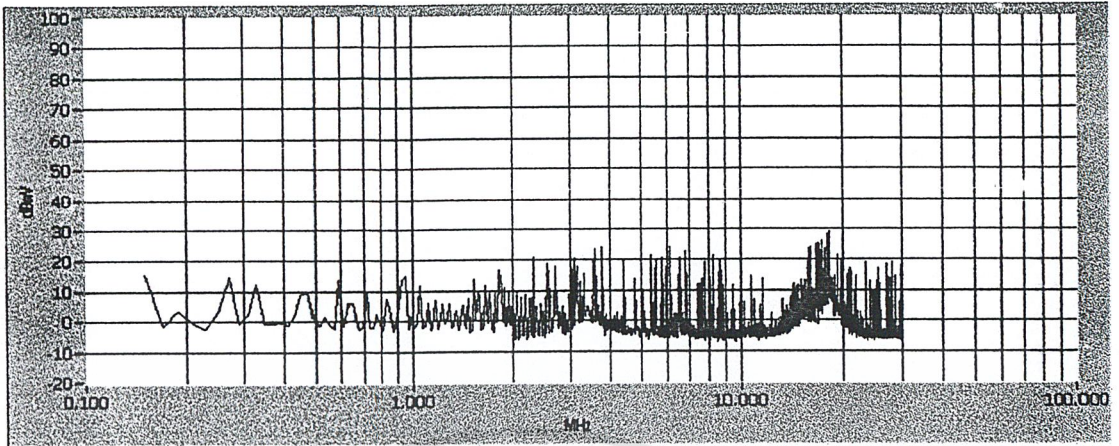


รูปที่ 4.44 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรซาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มคอมมอน โหมด ไซค์เป็น  $L = 2.3$  mH



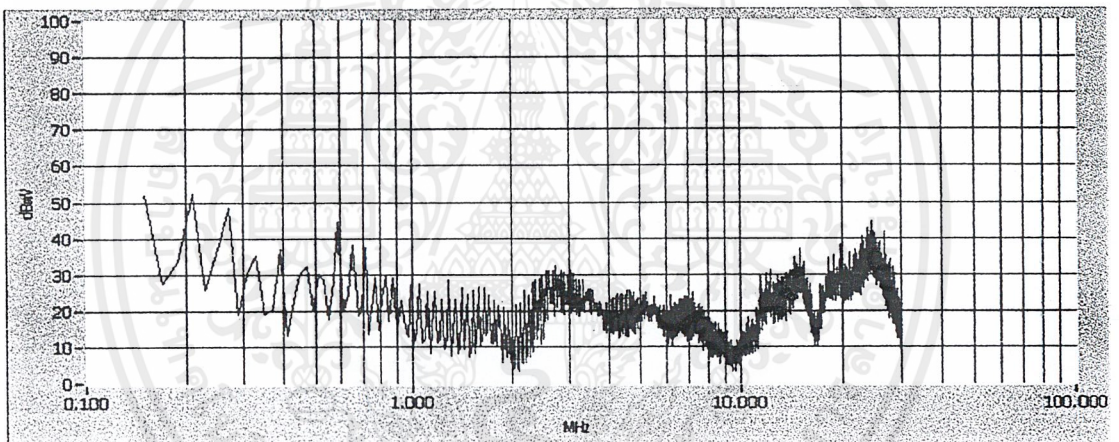
รูปที่ 4.45 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรซาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมด ไซค์  $L = 2.3$  mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

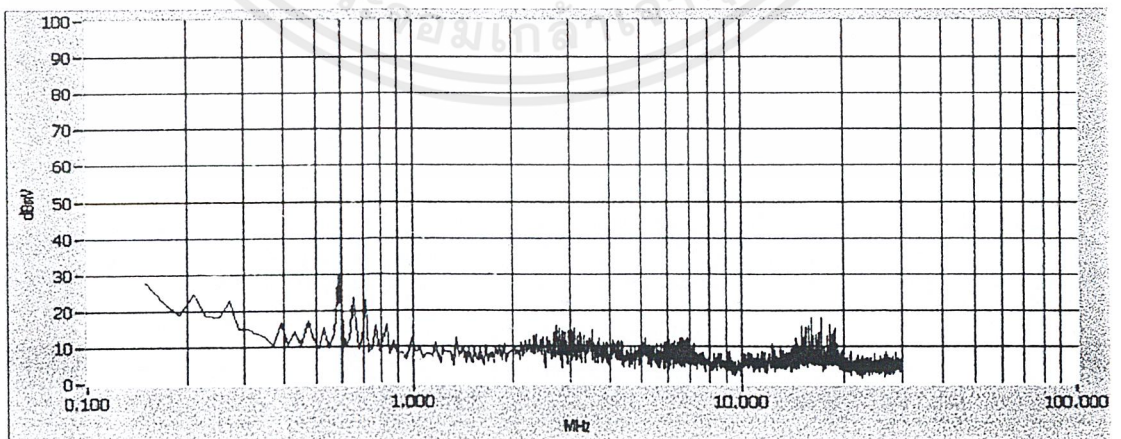


รูปที่ 4.46 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เรนเซียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรอาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ค้อมมอน โหมด ไซค์  $L = 2.3 \text{ mH}$

4.3.2 เพิ่มค่า  $C_{x1}$  จาก  $0.22 \text{ uF}$  จนถึง  $0.773 \text{ uF}$  ขณะที่คงค่าของค้อมมอน โหมด ไซค์ และ  $C_{Yรวม}$

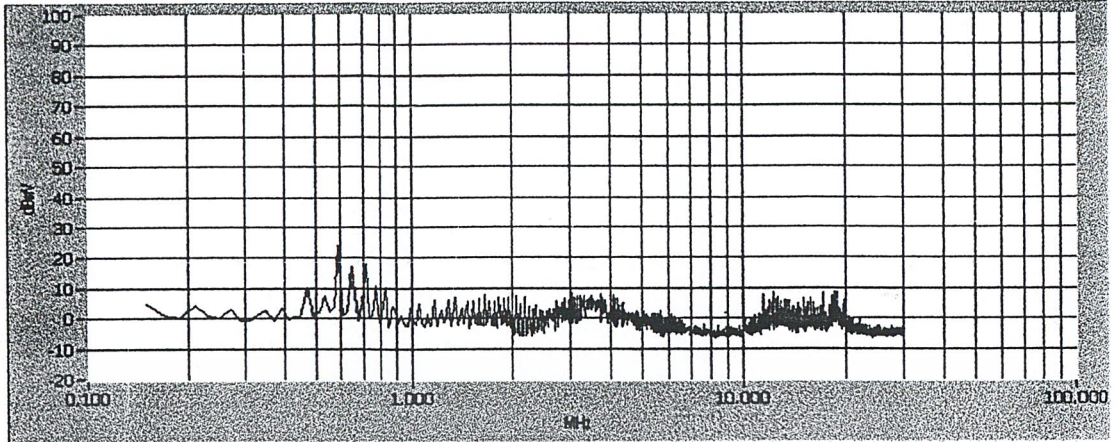


รูปที่ 4.47 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรอาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มค่า  $C_{x1}$  เป็น  $0.773 \text{ uF}$



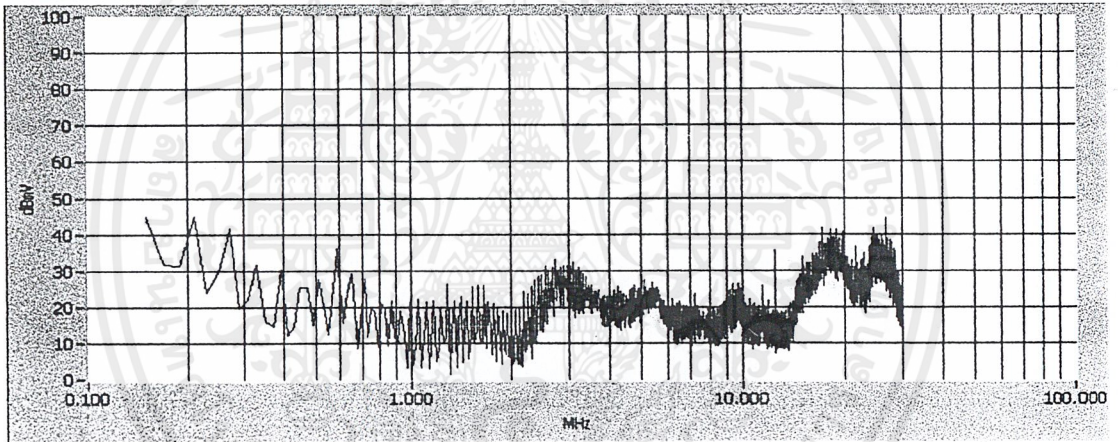
รูปที่ 4.48 แสดงสัญญาณค้อมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรอาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มค่า  $C_{x1}$  เป็น  $0.773 \text{ uF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

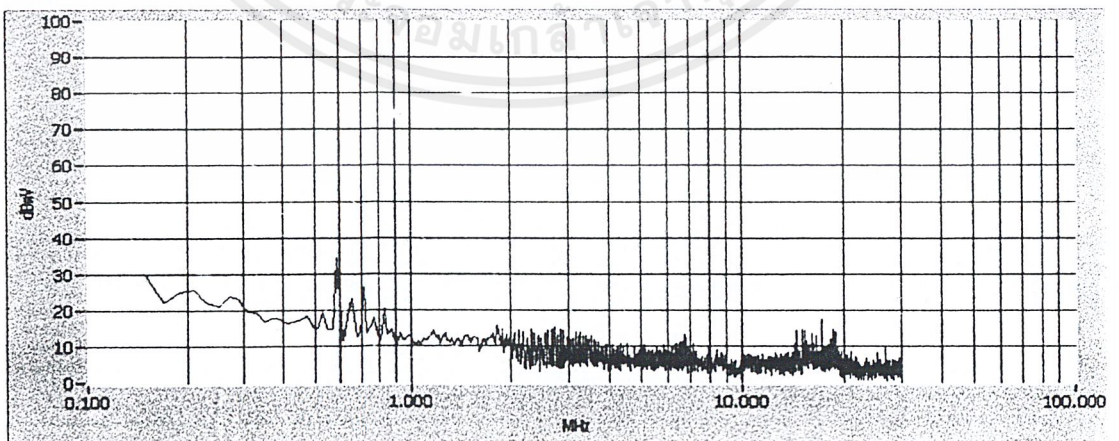


รูปที่ 4.49 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เรนเชียลโหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะเพิ่มค่า  $C_{X1}$  เป็น 0.773  $\mu\text{F}$

#### 4.3.3 ลดค่า $C_{Yrum}$ ลง ขณะที่คงค่าของคอมมอนโหมดโซ๊ค และ $C_{X1}$

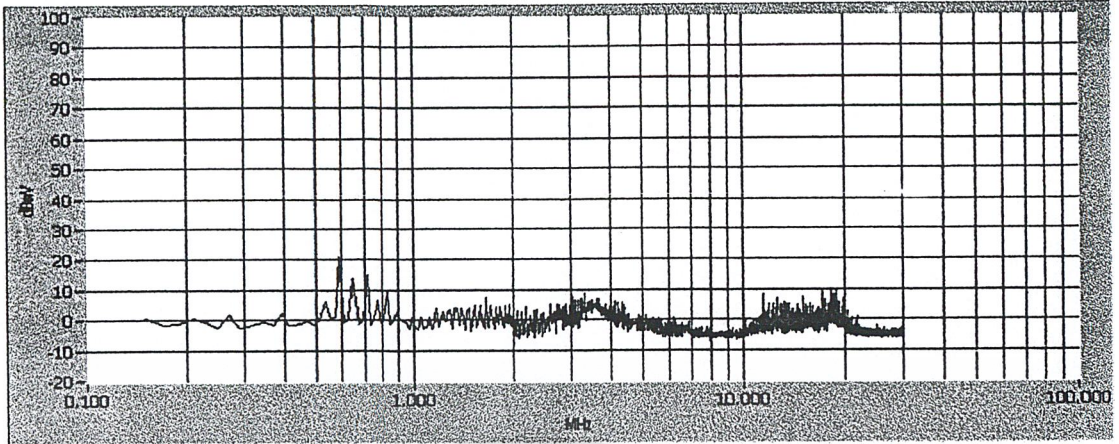


รูปที่ 4.50 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะลดค่า  $C_{Yrum}$  เป็น 1650 pF



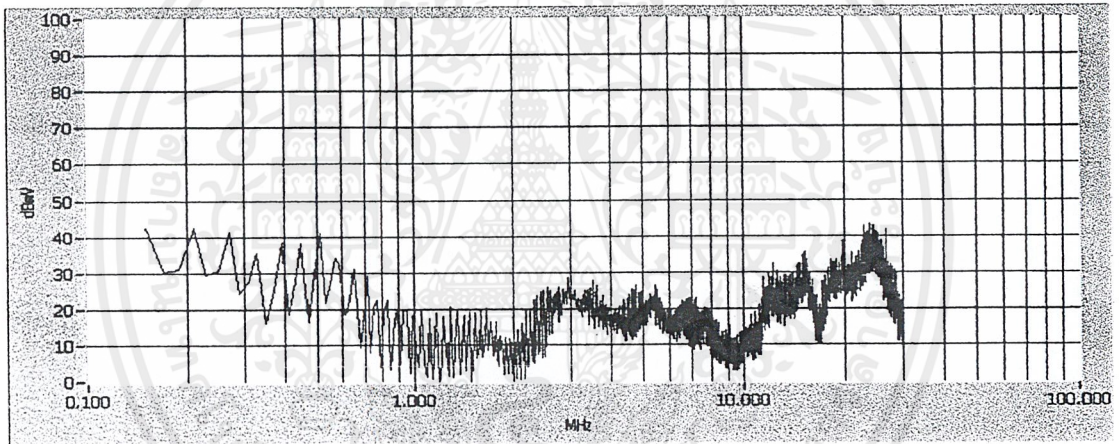
รูปที่ 4.51 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะลดค่า  $C_{Yrum}$  เป็น 1650 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



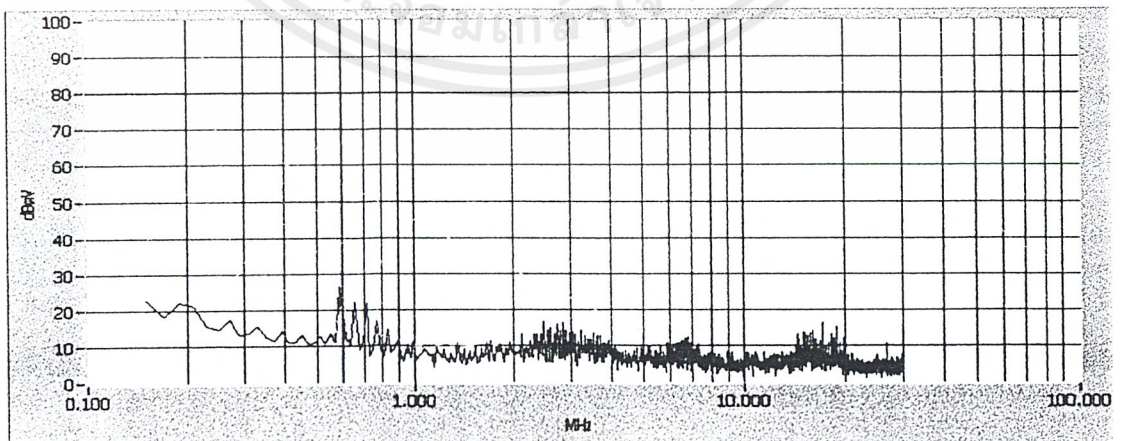
รูปที่ 4.52 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เรนเชียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์พรีดจ์คอนเวอร์เตอร์  
ขณะลดค่า  $C_{Yรวม}$  เป็น 1650 pF

4.3.4 ใส่ไจค์กราวน์ :  $L_{GW} = 2.8$  mH



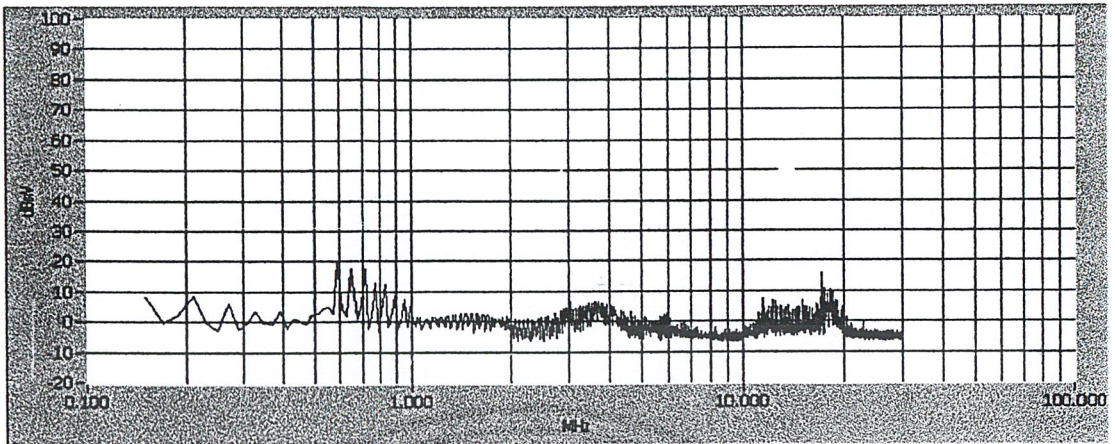
รูปที่ 4.53 แสดงสัญญาณที่ Line 1 ของวงจรฮาร์พรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ไจค์กราวน์

$L_{GW} = 2.8$  mH



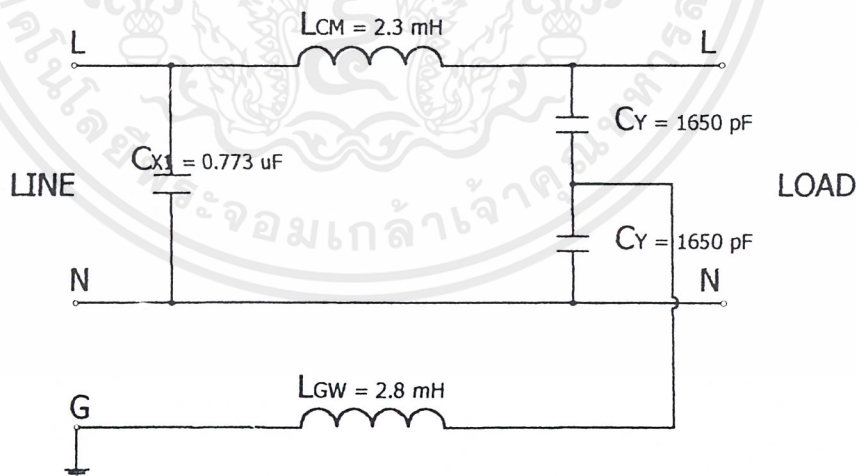
รูปที่ 4.54 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์พรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  
ไจค์กราวน์  $L_{GW} = 2.8$  mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เรนเชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์ฟบริจจ์คอนเวอร์เตอร์  
ขณะใส่โช้คกราวน์  $L_{GW} = 2.8 \text{ mH}$

จากการเพิ่มค่าและลดค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทำให้ค่าของสัญญาณรบกวนลดลงมาได้จนถึงจุดๆ หนึ่งที่แม้จะเพิ่มค่าต่อไปก็จะ ไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อการลดทอนสัญญาณรบกวน จึงได้นำค่าเหล่านี้มาทำการเขียนเป็นวงจรฟิลเตอร์สำหรับวงจรฮาร์ฟบริจจ์คอนเวอร์เตอร์ได้ดังนี้

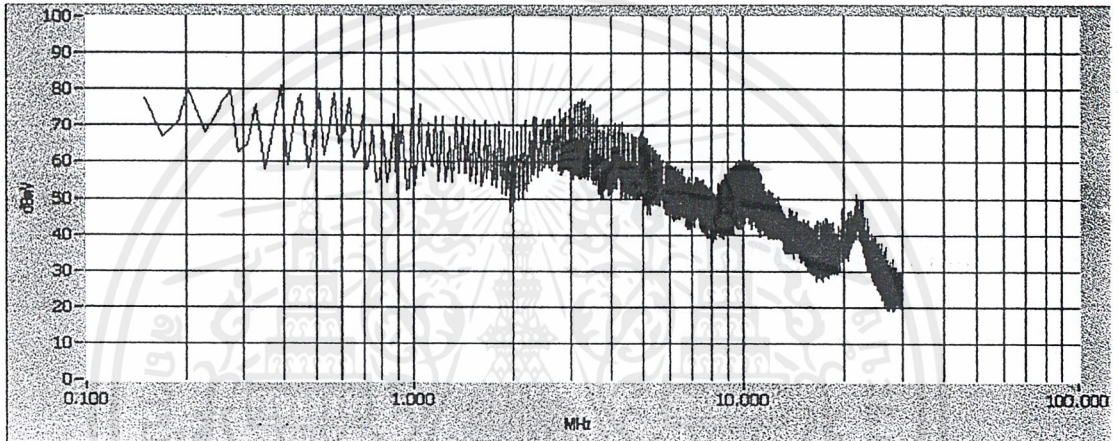


รูปที่ 4.56 แสดงรูปของวงจรฟิลเตอร์ที่ลดสัญญาณรบกวนได้มากที่สุด

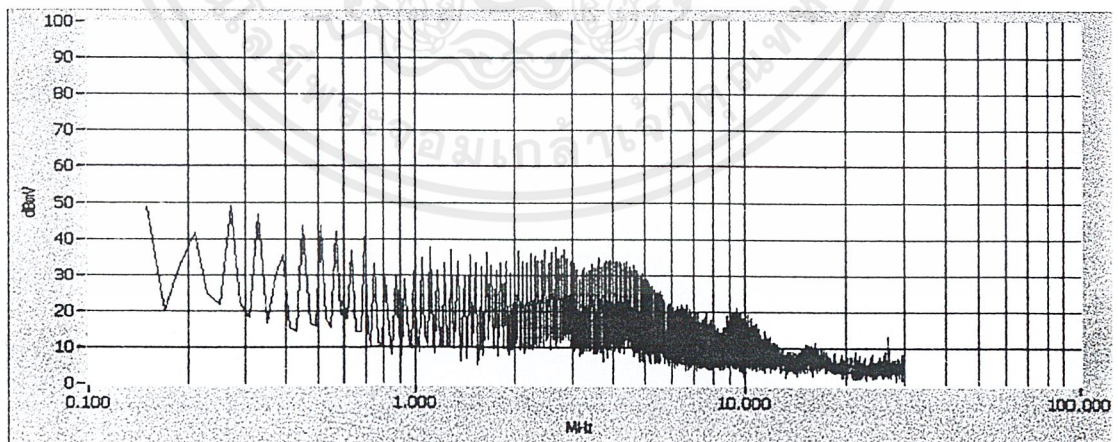
4.4 การทดลองศึกษาการลดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของวงจรไบโพลาร์ แบบซาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ พิจารณาสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด และดิฟเฟอเรนเชียลโหมด ขณะที่วงจรทำงานที่ควิตซ์ ไซเคิล 75 %

เมื่อทำการเพิ่มค่า  $R_g$  เป็น  $4\text{K}\Omega$  ทำให้สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นลดลงได้อีก แต่เนื่องจากว่าทำการลดทอนสัญญาณรบกวนด้วยชุดฟิลเตอร์ไปมากแล้วจึงทำให้  $L_{ow}$  ลดสัญญาณรบกวนได้น้อยลง

#### 4.4.1 กรณี ไม่มีฟิลเตอร์ เปรียบเทียบระหว่าง $R_g\ 2\text{K}\Omega$ กับ $4\text{K}\Omega$

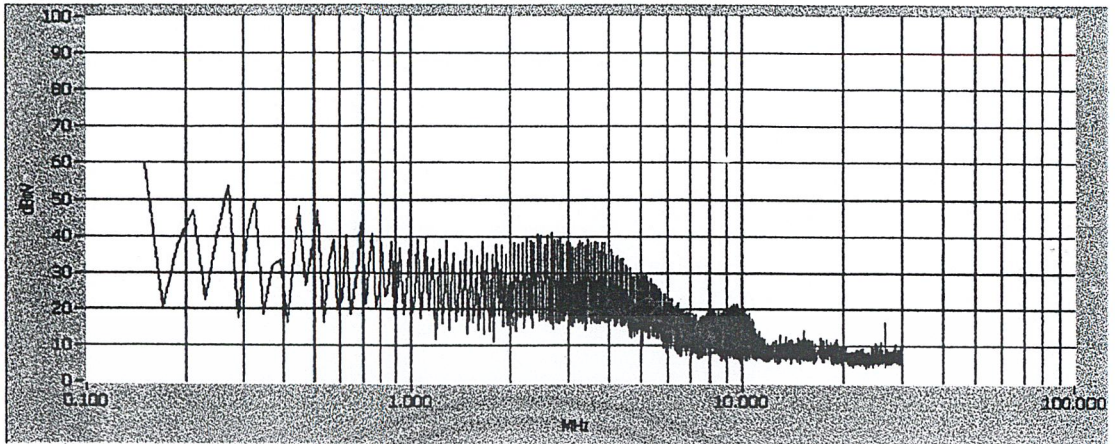


รูปที่ 4.57 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่  $R_g\ 2\text{K}\Omega$

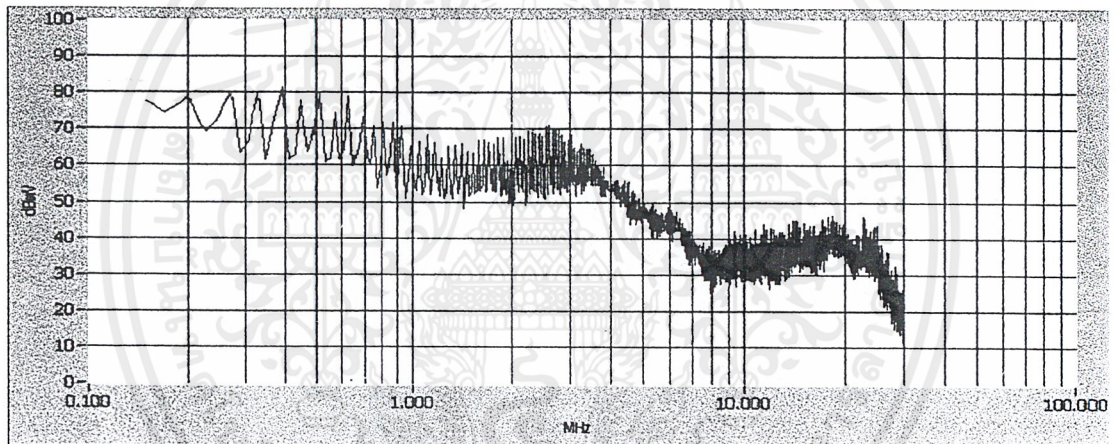


รูปที่ 4.58 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่  $R_g\ 2\text{K}\Omega$

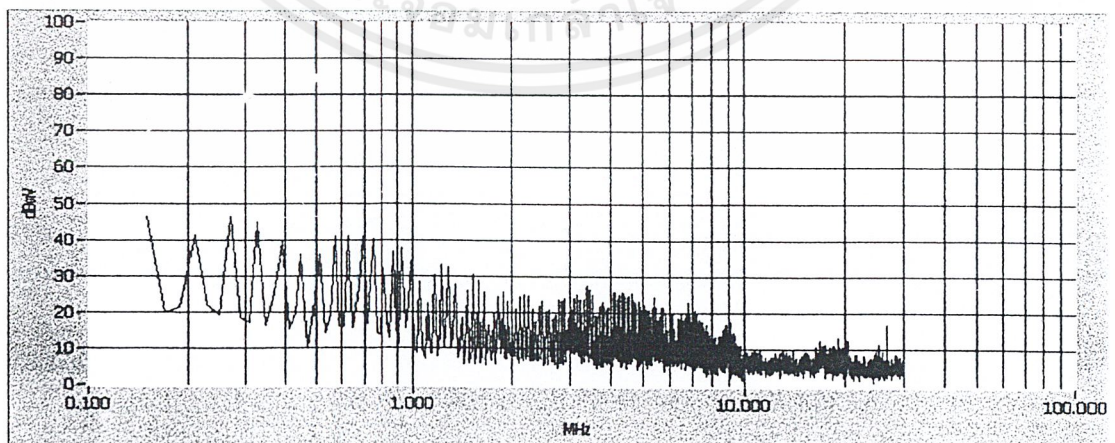
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เรียด โหมดเคอร์เร็นท์ ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่  $R_c$  2K $\Omega$

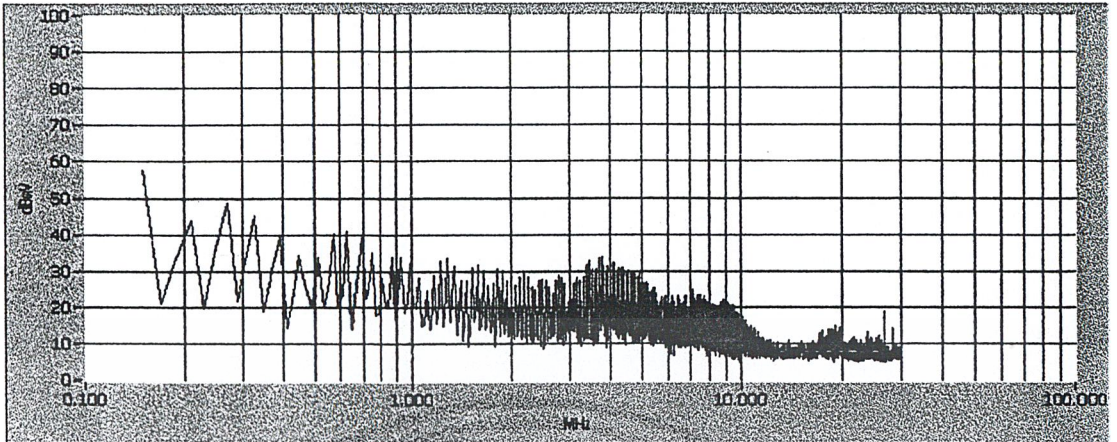


รูปที่ 4.60 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่  $R_c$  4K $\Omega$



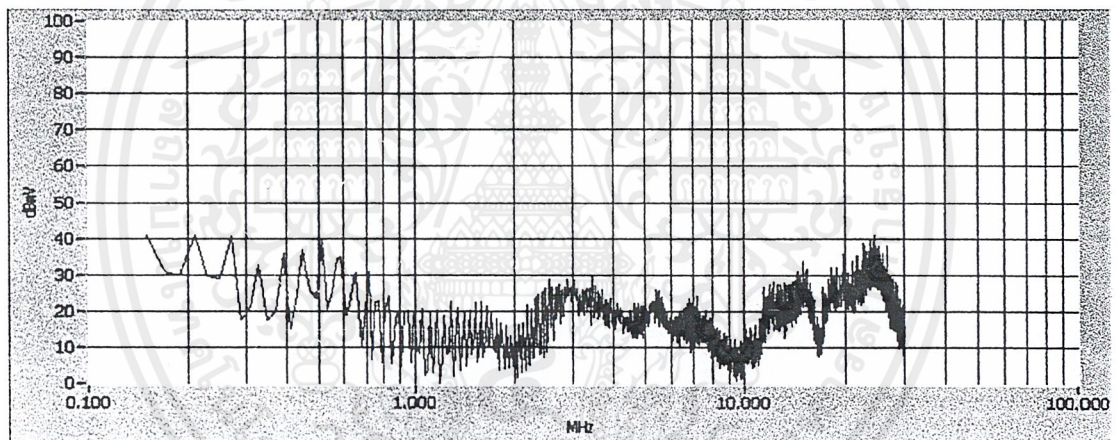
รูปที่ 4.61 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่  $R_c$  4K $\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

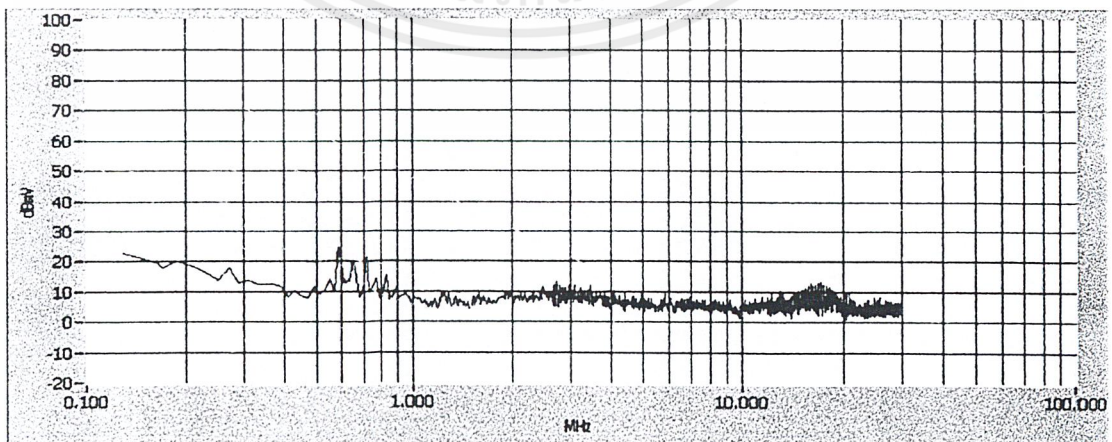


รูปที่ 4.62 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เชี่ยลโหมคเคอร์เร็นท์ ขณะไม่มีฟิลเตอร์ ที่  $R_g$  4K $\Omega$

#### 4.4.2 กรณีมีฟิลเตอร์ เปรียบเทียบระหว่าง $R_g$ 2K $\Omega$ กับ 4K $\Omega$

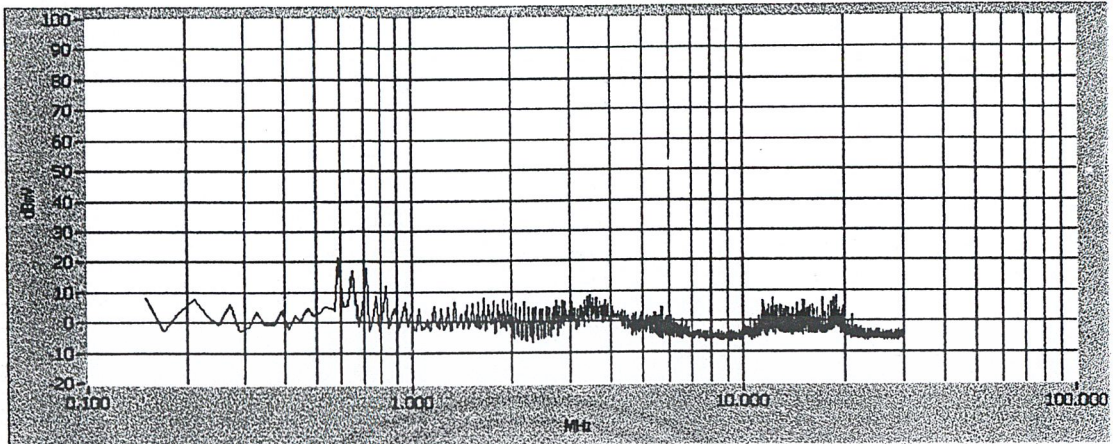


รูปที่ 4.63 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะใส่ฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ที่  $R_g$  2K $\Omega$

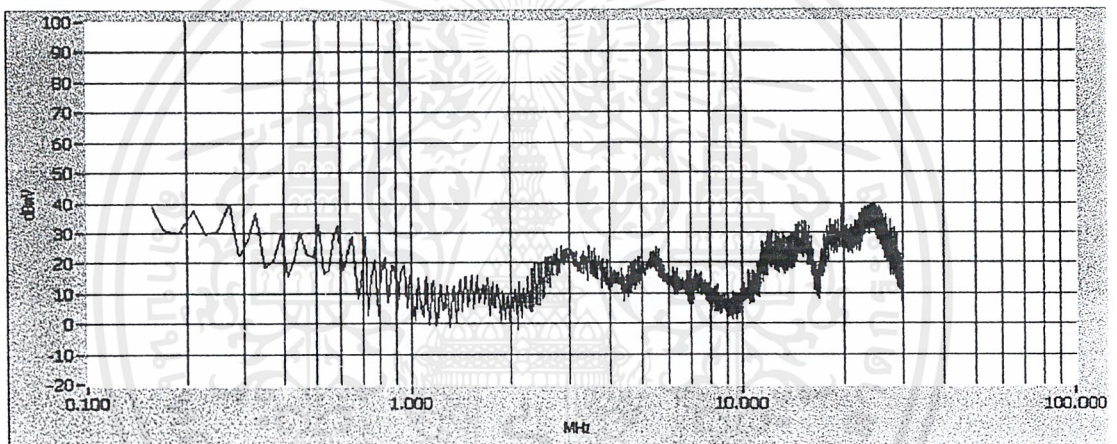


รูปที่ 4.64 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมคเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่  $R_g$  เป็น 2 K $\Omega$

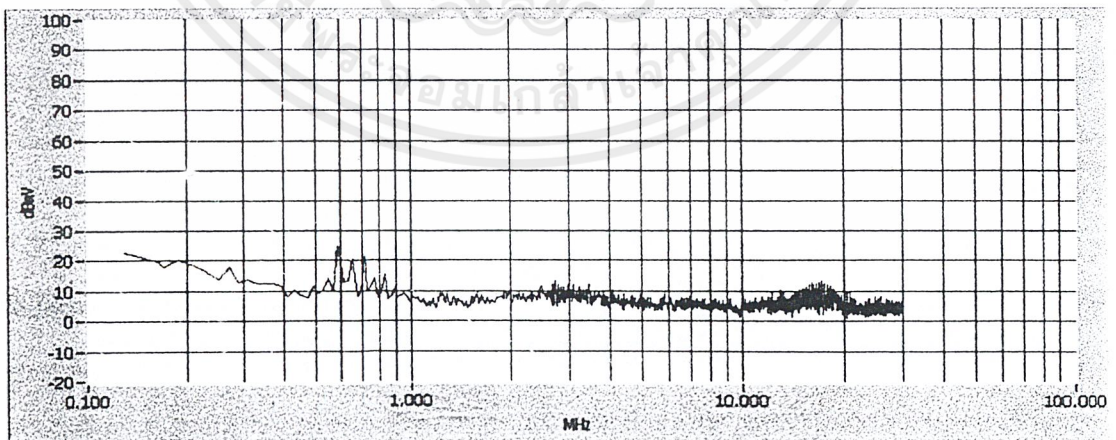
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.65 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เรนเรียล โหมดเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่  $R_c$  เป็น  $2\text{ K}\Omega$

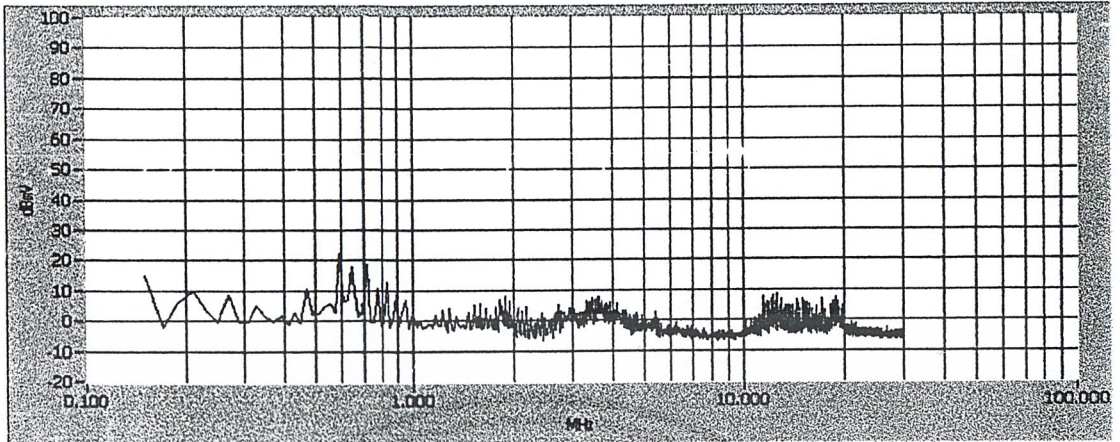


รูปที่ 4.66 แสดงสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ขณะใส่ฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ที่  $R_c$   $4\text{ K}\Omega$



รูปที่ 4.67 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่  $R_c$  เป็น  $4\text{ K}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เรนเชียลโหมคเคอร์เร็นท์ หลังผ่านฟิลเตอร์ ที่  $R_c$  เป็น  $4\text{ K}\Omega$

จากผลการทดลองปรากฏว่า มีเงื่อนไขที่นำสนใจอยู่ 3 เงื่อนไขด้วยกัน เนื่องจากสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำได้อย่างมากและเห็นได้ชัด โดยสังเกตจากค่า Amplitude (แอมพลิจูด) ในแกนตั้ง มีหน่วยเป็น  $\text{dB}\mu\text{V}$  (เดบีไมโครโวลต์) ของสัญญาณที่ Line 1, สัญญาณรบกวนคอมมอนโหมคเคอร์เร็นท์ และสัญญาณรบกวนคิฟเฟอร์เร็นท์เชิงลเคอร์เร็นท์ มีช่วงความถี่ในแกนนอน อยู่ระหว่าง  $150\text{ KHz} - 30\text{ MHz}$  มีเงื่อนไขดังนี้

1. คอมมอนโหมค ไซค์  $L = 1.4\text{ mH} + C_{X1} = 0.22\text{ }\mu\text{F} + C_{Y_{รวม}} = 3300\text{ pF}$   
(รูปที่ 4.34, รูปที่ 4.35, รูปที่ 4.36)
2. คอมมอนโหมค ไซค์เป็น  $L = 1.4\text{ mH} + C_{X2} = 0.22\text{ }\mu\text{F} + C_{Y_{รวม}} = 3300\text{ pF}$   
(รูปที่ 4.37, รูปที่ 4.38, รูปที่ 4.39)
3. คอมมอนโหมค ไซค์เป็น  $L = 1.4\text{ mH} + C_{X1} = 0.22\text{ }\mu\text{F} + C_{X2} = 0.22\text{ }\mu\text{F} + C_{Y_{รวม}} = 3300\text{ pF}$   
(รูปที่ 4.40, รูปที่ 4.41, รูปที่ 4.42)

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขที่ Line 1 แล้วเห็นได้ว่า ในเงื่อนไขแรกสามารถลดสัญญาณรบกวนเฉลี่ยตลอดช่วงดีกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ ถึงแม้ว่าในเงื่อนไขที่ 2 จะมีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับเงื่อนไขแรก แต่ว่าในช่วงความถี่  $150\text{ KHz} - 1\text{ MHz}$  สัญญาณที่ 2 จะมีค่าที่สูงเด่นขึ้นมา อันเนื่องมาจากการใส่ตัวเก็บประจุ  $C_{X2}$  เข้าไปขนานกับ ตัวเก็บประจุ  $C_{Y_{รวม}}$  ทำให้ค่าแอมพลิจูดในช่วงในความถี่ต่ำมีค่าสูงขึ้น จึงเป็นจุดค้อยของการใส่ตัวเก็บประจุ  $C_{X2}$  และเมื่อพิจารณาที่สัญญาณสุดท้ายถึงแม้ว่าจะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนลง ได้มากที่สุดจากเงื่อนไขทั้งหมด ( ในช่วงความถี่  $1\text{ MHz} - 10\text{ MHz}$  ) แต่ว่าในช่วงความถี่  $150\text{ KHz} - 1\text{ MHz}$  จะเกิดค่าสูงขึ้น กว่าเงื่อนไขแบบแรก จึงสรุปได้ว่าตัวเก็บประจุ  $C_{X2}$  เราสามารถไม่นำมาพิจารณาได้ และมีกรณีที่ 1 เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาที่สัญญาณคอมมอนโหมคและคิฟเฟอร์เร็นท์เชิงลเคอร์เร็นท์ ก็จะเห็นว่า เป็นไปในทางเดียวกัน

ตารางที่ 1. สรุปการลดลงของ Conducted EMI ด้วยการใช้  $R_g$  จาก  $100 \Omega$  เป็น  $2 K\Omega$  ของวงจร Half - Bridge เทียบกับ Full - Bridge.

ความถี่ (ที่ทำการสุ่มค่า)	Full - Bridge	Half - Bridge	Half - Bridge	EMI Reduction of Half - Bridge comparing with Full - Bridge	
	$R_g = 100 \Omega$ (dB $\mu$ V)	$R_g = 100 \Omega$ (dB $\mu$ V)	$R_g = 2 K\Omega$ (dB $\mu$ V)	$R_g = 100 \Omega$ (%)	$R_g = 2 K\Omega$ (%)
210 KHZ	84	78	78	7.14	7.14
1.5 MHZ	90	81	72	10	20
3 MHZ	88	81	75	7.96	14.77
10 MHZ	80	63	60	21.25	25

ตารางที่ 2. สรุปการลดลงของ Conducted EMI ด้วยการใช้ฟิลเตอร์, และ Low และค่าปรับ  $R_g$  จาก  $2 K\Omega$  เป็น  $4 K\Omega$  ของวงจร Half - Bridge เทียบกับ Full - Bridge

ความถี่ (ที่ทำการสุ่มค่า)	Half - Bridge ( $R_g = 100 \Omega$ )		Half - Bridge ( $R_g = 2 K\Omega$ )		Half - Bridge ( $R_g = 4 K\Omega$ )	
	ค่าที่วัดได้ (dB $\mu$ V)	ค่าที่ลดลงของ ของ Noise (%) เมื่อเทียบกับ FB	ค่าที่วัดได้ (dB $\mu$ V)	ค่าที่ลดลงของ ของ Noise (%) เมื่อเทียบกับ FB	ค่าที่วัดได้ (dB $\mu$ V)	ค่าที่ลดลงของ ของ Noise (%) เมื่อเทียบกับ FB
210 KHZ	60	28.57	45	46.43	38	54.76
1.5 MHZ	58	35.56	23	74.44	17	81.11
3 MHZ	52	40.91	31	64.77	24	72.73
10 MHZ	53	33.75	23	71	11	86.25

ฟิลเตอร์ {  $L = 1.4 \text{ mH}$   $C_{x1} = 0.22 \mu\text{F}$   $C_y = 3300 \text{ pF}$  }     
 ฟิลเตอร์ {  $L = 2.3 \text{ mH}$   $C_{x1} = 0.773 \mu\text{F}$   $C_y = 1650 \text{ pF}$  }     
 ฟิลเตอร์ {  $L = 2.3 \text{ mH}$   $C_{x1} = 0.773 \mu\text{F}$   $C_y = 1650 \text{ pF}$  }     
 Low = 2.8 mH

ตารางที่ 3. สรุปการลดลงของ Radiated EMI ด้วยการ Grounded heat sink

การใส่ LGW และการปรับ Duty Cycle ของวงจร Half - Bridge เทียบกับ Full - Bridge

Condition	Half - Bridge ( Radiated emission )			Full - Bridge ( Radiated emission )		
	Floating	Grounded	Inserted	Floating	Grounded	Inserted
	Heat sink	Heat sink	Lgw	Heat sink	Heat sink	Lgw
Duty cycle 75%	ลดลง ระดับหก	ลดลง ระดับเจ็ด	ลดลง ระดับแปด	อ้างอิง	ลดลง ระดับหนึ่ง	ลดลง ระดับสอง
Duty cycle 50%	ลดลง ระดับเก้า	คงที่ ระดับเก้า	คงที่ ระดับเก้า	ลดลง ระดับสาม	ลดลง ระดับสี่	คงที่ ระดับสี่
Duty cycle 25%	ลดลง ระดับสิบ	คงที่ ระดับสิบ	คงที่ ระดับสิบ	ลดลง ระดับห้า	คงที่ ระดับห้า	คงที่ ระดับห้า

จากตารางที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรฮาร์ฟบริดจ์กับวงจรฟูลบริดจ์ ด้วยการปรับค่า  $R_g$  จาก 100 โอห์ม เป็น 2 กิโลโอห์ม ขณะยังไม่ใส่ฟิลเตอร์ โดยมีวงจรฟูลบริดจ์  $R_g$  100 โอห์มเป็นส่วนอ้างอิง สรุปได้ว่าวงจรฮาร์ฟบริดจ์ ที่  $R_g$  100 โอห์ม มีสัญญาณรบกวนที่ต่ำกว่าสัญญาณรบกวนที่ฟูลบริดจ์ ที่  $R_g$  100 โอห์ม และสัญญาณรบกวนของวงจรฮาร์ฟบริดจ์ ที่ 2 กิโลโอห์มมีค่าต่ำกว่า วงจรฮาร์ฟบริดจ์ ที่  $R_g$  100 โอห์ม

$$HB (R_{g2k\Omega}) < HB (R_{g100\Omega}) < FB (R_{g100\Omega})$$

จากตารางที่ 2 เมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ ขณะใส่ฟิลเตอร์ที่  $R_g$  100 โอห์ม, 2 กิโลโอห์ม และ 4 กิโลโอห์ม โดยมีวงจรฟูลบริดจ์  $R_g$  100 โอห์ม ( ยังไม่ใส่ฟิลเตอร์ ) เป็นส่วนอ้างอิง สรุปได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า คอมมอนโหมด โช๊คเพิ่มขึ้น ค่าตัวเก็บประจุ  $C_{X1}$  เอ็กซ์แคพ เพิ่มขึ้น และ  $C_{Y_{รวม}}$  วายแคพ ลดลง ทำให้สัญญาณรบกวนลดลงอย่างเห็น ได้ชัด และเมื่อเราเพิ่ม โช๊คกราวด์  $L_{GW}$  ในช่องที่ 3 ของตารางก็มีผลทำให้สัญญาณรบกวนที่ Line 1 ลดลงพร้อมกันนั้นสัญญาณรบกวนคอมมอนโหมด และดิฟเฟอเรนเชียล โหมด ก็จะลดลงตาม ไปด้วย หลังจากนั้นเมื่อทำเพิ่มค่า  $R_g$  เป็น 4 กิโลโอห์ม ก็มีผลทำให้สัญญาณรบกวนมีระดับที่ลดต่ำลงเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปเป็น อสมการ ได้ว่า

$$HB R_{g4k\Omega} (\text{with filter}+L_{GW}) < HB R_{g2k\Omega} (\text{with filter}+L_{GW}) < HB R_{g2k\Omega} (\text{with filter}) < HB R_{g100\Omega} (\text{with filter})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3 เมื่อทำการเปรียบเทียบการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยการ Grounded Heat sink ( ต่อฮีทซิงค์ลงกราวนด์เพลน ) การใส่  $L_{GW}$  ( ใส่อคราวน์ ) และการปรับ Duty Cycle ของวงจรรีเลย์กับวงจรถูกปรับ โดยมีสัญญาณขณะทำการ Floating Heat sink ( ไม่ต่อฮีทซิงค์ลงกราวนด์เพลน ) เป็นสัญญาณอ้างอิง มีหน่วยเป็น dB $\mu$ A / m ถึงที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนก็คือ ค่าของ คิวตี้ไซเคิลแปรผันตรงต่อการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า และลดลงหรือคงที่เมื่อทำการ Grounded Heat sink และ Inserted  $L_{GW}$  ดังนั้นจึงสามารถนำผลของตารางนี้ไปทดลองต่อได้ โดยการเลือกค่าสัญญาณขณะทำงานที่คิวตี้ไซเคิล 75 % เพราะว่าเป็นค่าที่มีระดับสัญญาณรบกวน ที่สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนที่สุด



## บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป

ปริณยานิพนธ์เล่มนี้มุ่งเน้นศึกษาการลดทอนสัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนภายในสายตัวนำเป็นหลักโดยอาศัยวิธีการสุ่มค่าที่ทำให้สัญญาณรบกวนมีค่าลดลงจนถึงจุดที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งในตอนแรกนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรฮาร์ฟบริดจ์และวงจรฟูลบริดจ์ว่ามีการแพร่กระจายที่เกิดขึ้นที่ฮิทซึ่งต่างกันอย่างไรที่  $R_g = 100 \Omega$  ได้ผลว่าค่าที่เกิดขึ้นนั้นค่าของสัญญาณรบกวนที่วงจรฮาร์ฟบริดจ์มีค่าน้อยกว่า แต่ว่ามีค่ามากที่สุดที่ คิวตี้ไซเคิล 75 % จึงนำเอาค่าคิวตี้ไซเคิลนี้เป็นตัวแปรคงที่สำหรับวัดผลอื่นๆ และทำการวัดผลสัญญาณรบกวนภายในสายตัวนำ ระหว่างวงจรฮาร์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ ได้ค่าของสัญญาณรบกวนที่ Line 1 ค่าของฮาร์ฟบริดจ์มีค่าที่ต่ำกว่าแบบฟูลบริดจ์ จากนั้นทำการวัดค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนด้วยการใส่ฟิลเตอร์ ด้วยการปรับค่า  $R_g$  เป็น  $2K\Omega$  วัดเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ยังไม่ใส่ฟิลเตอร์ และขณะที่ใส่ฟิลเตอร์แล้ว ปรากฏว่าเมื่อการใส่ฟิลเตอร์จะสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้ ตามค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในฟิลเตอร์ จึงได้ผลสรุปในอันดับแรกว่าการใส่ค่าของ คอมมอนโหมด ไซค์  $1.4 \text{ mH}$  ร่วมกับ ตัวเก็บประจุ  $C_{X1}$   $0.22 \mu\text{F}$  และ ตัวเก็บประจุ  $C_{Yrmm}$   $3300 \text{ pF}$  ทำให้วงจรมีระดับสัญญาณรบกวนที่ลดได้เฉลี่ยเกือบเท่ากัน ได้ข้อสังเกตว่าในวงจรของฟิลเตอร์นั้นค่าประจุของ  $C_{X2}$  มีผลต่อสัญญาณอยู่น้อยมากเมื่อนำค่าต่าง ๆ มาเทียบกันดังนั้นจึงสามารถไม่นำมาพิจารณาได้ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาทำการทดลองต่อเพื่อลดสัญญาณรบกวนได้ โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ให้มากขึ้นและน้อยลง จะได้ว่าค่าของ คอมมอนโหมด ไซค์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์มีระดับที่ลดต่ำลง และถ้าหากค่าของ  $C_{X1}$  มีค่าที่มากขึ้นก็จะทำให้สัญญาณคิฟเฟอร์เร็นเชียล โหมคลดลง อีกทั้งค่าของ  $C_Y$  เมื่อทำการทดลองก็จะทำให้สัญญาณคิฟเฟอร์เร็นเชียล โหมคเคอร์เร็นท์ลดต่ำลงได้ จึงสรุปได้ว่าค่าของคอมมอนโหมด ไซค์มีผลต่อสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ ส่วนค่าของ  $C_{X1}$  เอ็กซ์แค็ปกับ  $C_{Yrmm}$  วายแค็ปมีผลต่อสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นเชียล โหมค หากแต่ค่าของเอ็กซ์แค็ปมีผลในการลดทอนสัญญาณรบกวนมากกว่าวายแค็ป และเมื่อทำการต่อ กราวนด์ ไซค์เข้ามา ก็จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นค่าของ  $L_{Gw}$  จึงมีผลต่อสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ด้วย เมื่อทำการลดค่าตัวแปรหรือเพิ่มค่าตัวแปรแล้วสัญญาณรบกวนไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงให้ค่าๆ นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับฟิลเตอร์นั้น ฉะนั้นจึงได้ค่าของคอมมอนโหมด ไซค์ใหม่เป็น  $2.3 \text{ mH}$   $C_{X1} = 0.773 \mu\text{F}$  และค่า  $C_Y = 1650 \text{ pF}$  นำมาเขียนเป็นวงจรสมมูลย์ได้ดังรูปในการทดลอง จากนั้นจึงนำฟิลเตอร์ที่ได้นี้มาใส่ในวงจรฮาร์ฟบริดจ์และทำการปรับค่า  $R_g$  เป็น  $4 K\Omega$  เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัญญาณรบกวนที่ Line 1 , สัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ และสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ เช็ลเคอร์เร็นท์ ของ  $R_g$   $2K\Omega$  ได้ผลคือสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้อีก แต่ว่าผลเสียที่จะเกิดขึ้นก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

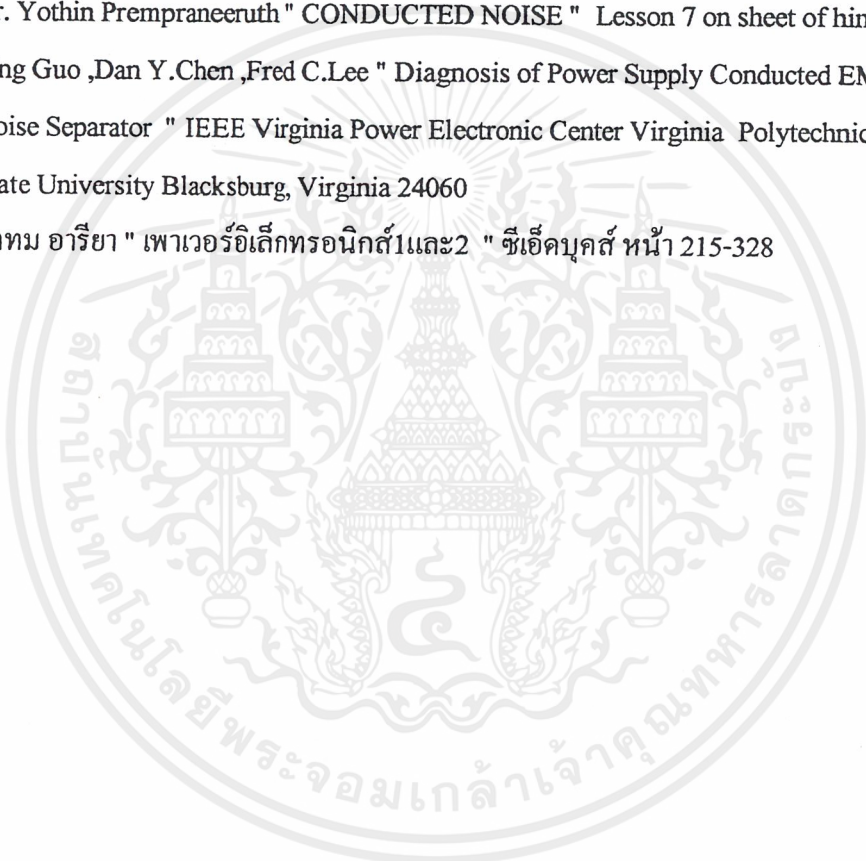
ค่าของสวิตช์ซึ่งลอส (switching loss) จะเป็นค่าผกผันกับสัญญาณรบกวนคั้งนั้นเมื่อทำการปรับค่า  $R_s$  เพิ่มขึ้นย่อมหมายความว่าค่าสวิตช์ซึ่งลอสย่อมมากขึ้นตามไปด้วย ค่าที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ คือ  $R_s$  เป็น  $2\text{ K}\Omega$  และข้อเสียอีกข้อหนึ่งก็คือเราสามารถปรับค่าของ  $R_s$  ได้สูงสุดที่  $4\text{ K}\Omega$  ถ้าหากปรับเกินไปจะทำให้สัญญาณที่เพาเวอร์มอสเฟตมีการช้อนทับกันทำให้มีผลเสียต่อการที่เพาเวอร์มอสเฟตจะช็อตทั้งสองตัวได้ จึงไม่ควรทำการปรับค่า  $R_s$  มากจนเกินไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. B.E . TAYLOR " POWER MOSFET DESIGN " Copy right 1993 by john wiley & SonsLtd, P87 - 95
2. Richard Lee Ozenbaugh " EMI Filter Design " Copy right 1996 By MARCEL DEKKER, INC. All Right Reserved.
3. Dr. Yothin Prempraneeruth " CONDUCTED NOISE " Lesson 7 on sheet of him.
4. Ting Guo ,Dan Y.Chen ,Fred C.Lee " Diagnosis of Power Supply Conducted EMI Using a Noise Separator " IEEE Virginia Power Electronic Center Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia 24060
5. โคทม อารียา " เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์1และ2 " ซีอีคบุคคล หน้า 215-328



## ภาคผนวกที่ 1

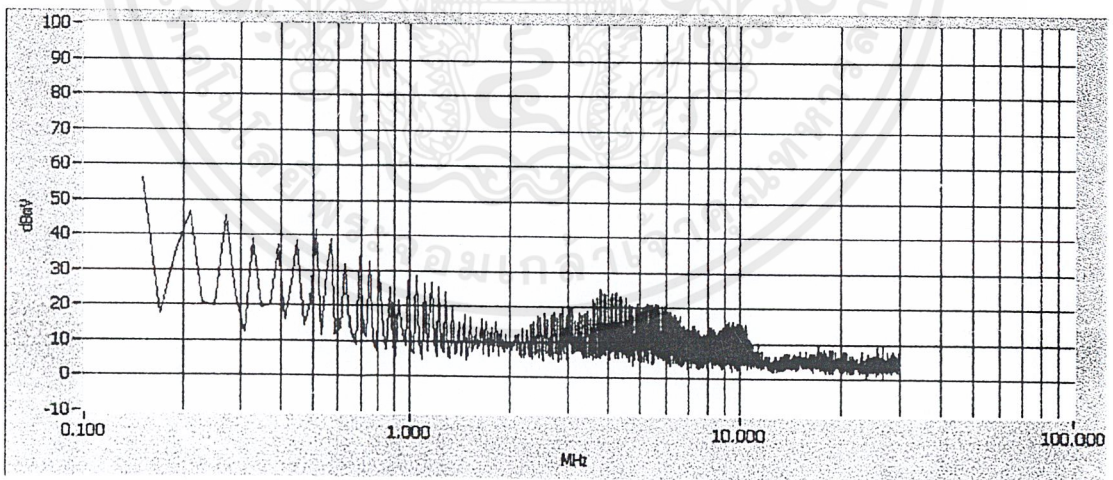
การวิเคราะห์ผลกระทบขององค์ประกอบในวงจรฟิลเตอร์ที่มีผลต่อ  
Common mode noise และ Differential mode noise



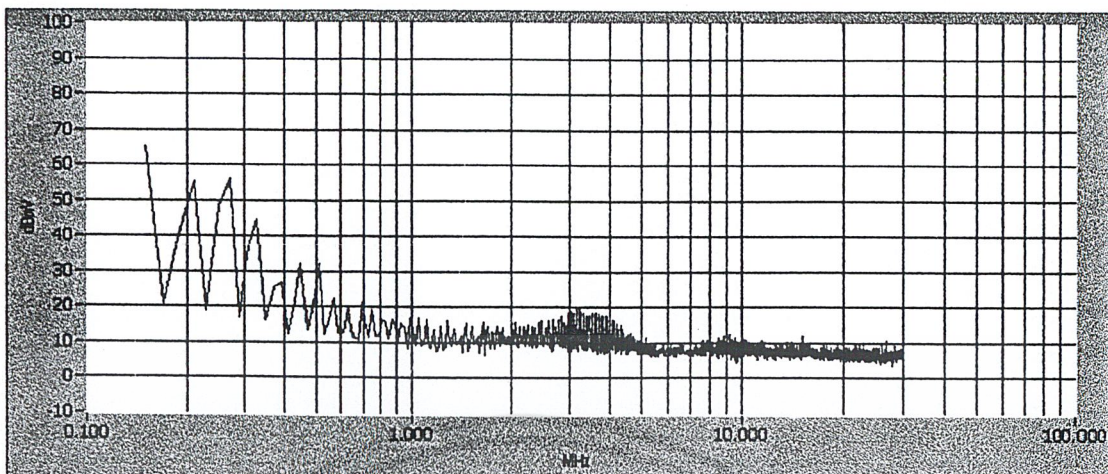
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมรูปสัญญาณการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายตัวนำของสัญญาณรบกวน  
คอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์และดิฟเฟอเรนเชียลที่เชื่อมโหมดเคอร์เร็นท์ เมื่อทำการ  
ใส่ฟิลเตอร์ ที่คิวดีไซเคิล 75 %  $R_g$  2 K $\Omega$  ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์ คอนเวอร์-  
เตอร์ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

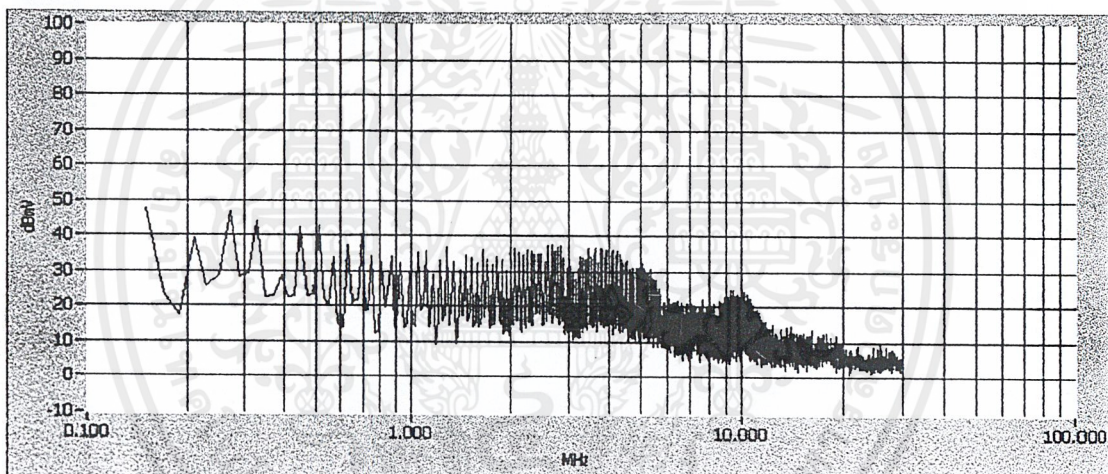
1. คอมมอนโหมดโซ๊ค
2.  $C_x$  เอ็กซ์แคพ
3.  $C_{Yรวม}$  วายแคพ
4.  $C_x + C_{Yรวม}$
5. คอมมอนโหมดโซ๊ค +  $C_{X1}$
6. คอมมอนโหมดโซ๊ค +  $C_{X2}$
7. คอมมอนโหมดโซ๊ค +  $C_{Yรวม}$
8. คอมมอนโหมดโซ๊ค +  $C_{X1} + C_{X2}$



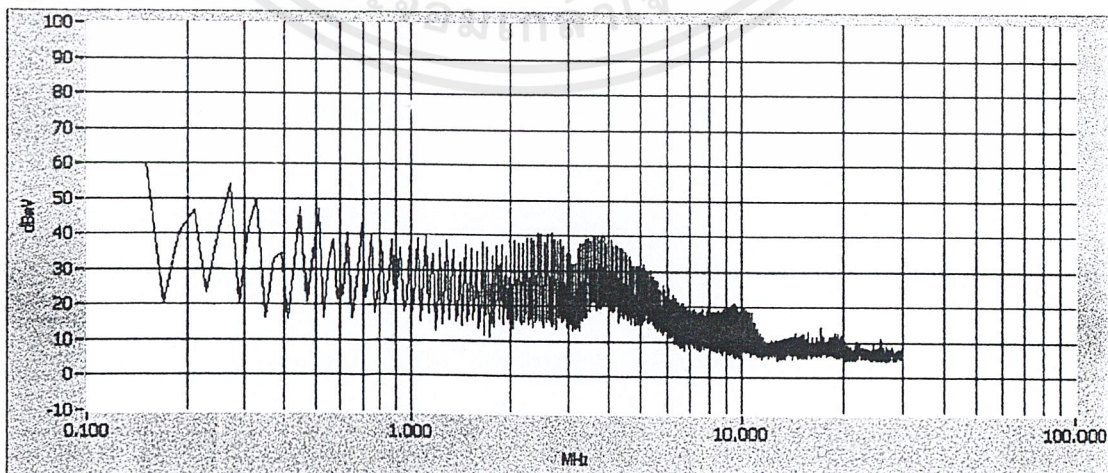
รูปที่ 1 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอม-  
มอนโหมดโซ๊ค  $L = 1.4$  mH



รูปที่ 2 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เซี่ยล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์พริคจ็คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่คอมมอนโหมด ไร่ค  $L = 1.4 \text{ mH}$

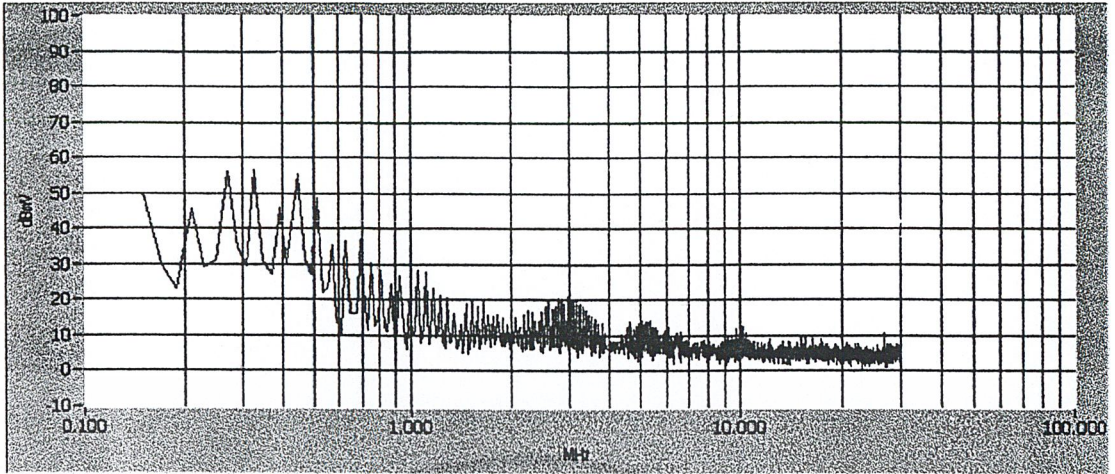


รูปที่ 3 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์พริคจ็คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  $C_x = 0.22 \text{ uF}$



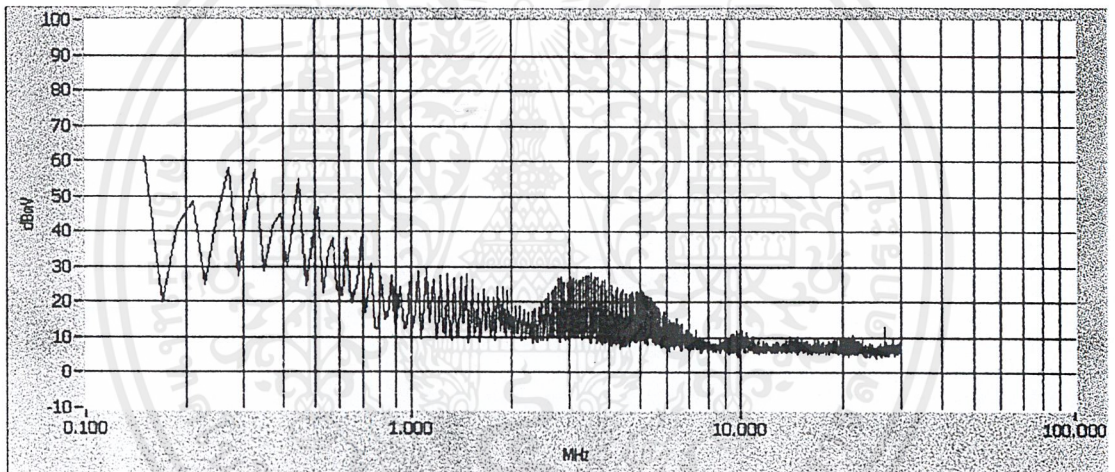
รูปที่ 4 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์เซี่ยล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฮาร์พริคจ็คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  $C_x = 0.22 \text{ uF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



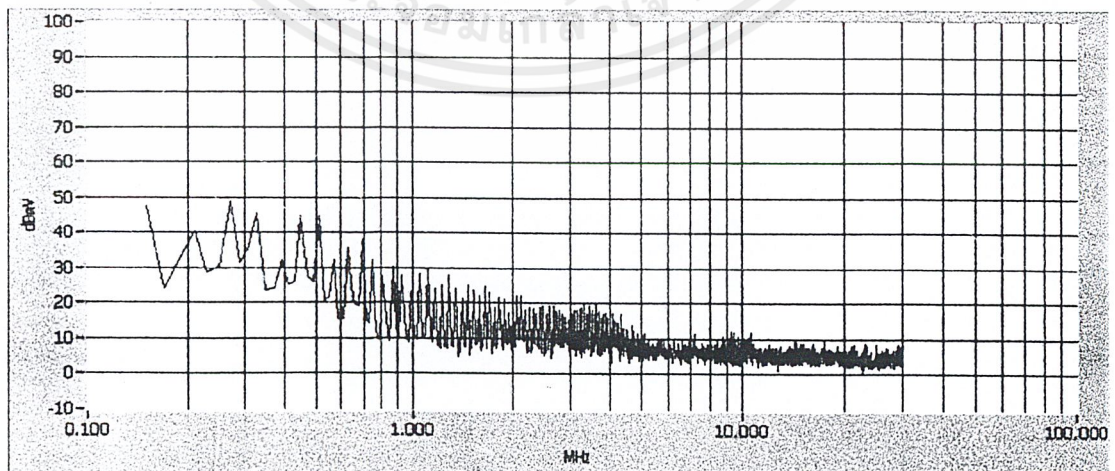
รูปที่ 5 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฟิรคัจคอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่

$$C_{Y_{รวม}} = 3300 \text{ pF}$$



รูปที่ 6 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฟิรคัจคอนเวอร์เตอร์ ขณะ

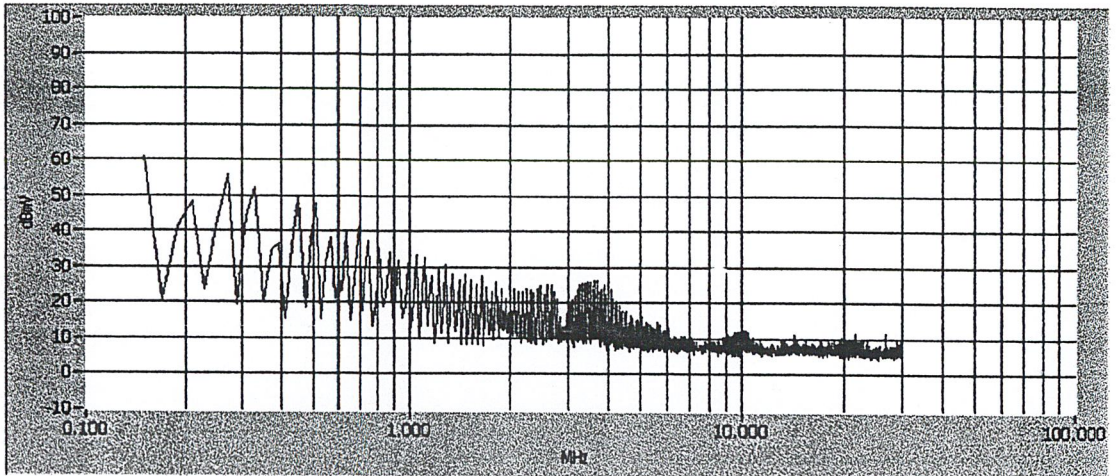
$$\text{ใส่ } C_{Y_{รวม}} = 3300 \text{ pF}$$



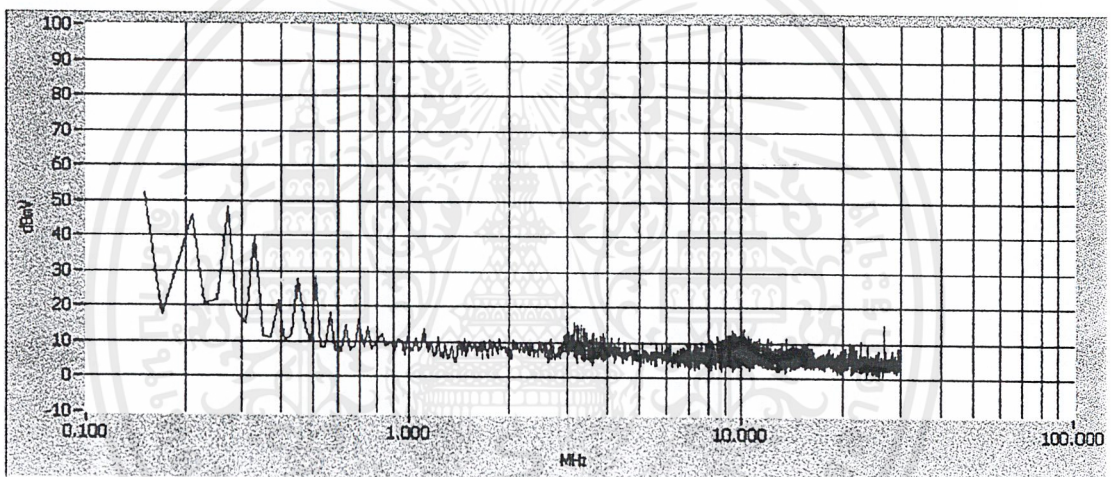
รูปที่ 7 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรฟิรคัจคอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่

$$C_X = 0.22 \text{ uF} + C_{Y_{รวม}} = 3300 \text{ pF}$$

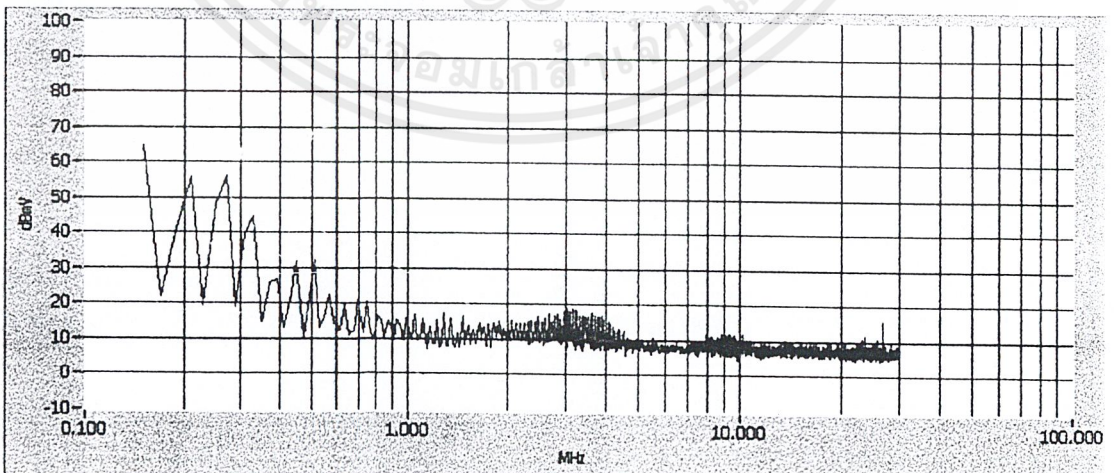
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์เจียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรชาร์พริคจ้คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  $C_x = 0.22 \text{ uF} + C_{YTM} = 3300 \text{ pF}$

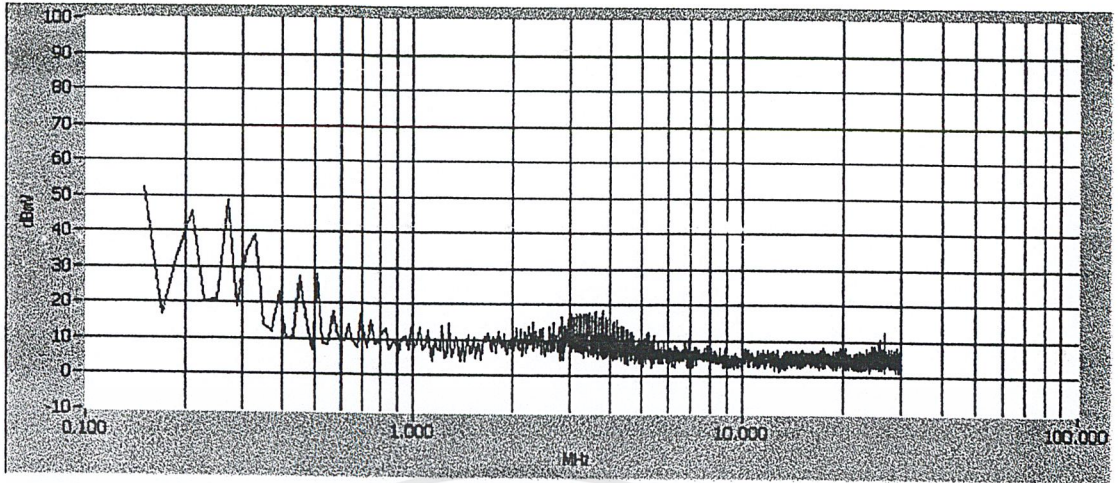


รูปที่ 9 แสดงสัญญาณคอมมอน โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรชาร์พริคจ้คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอนโหมดไจ้ค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$

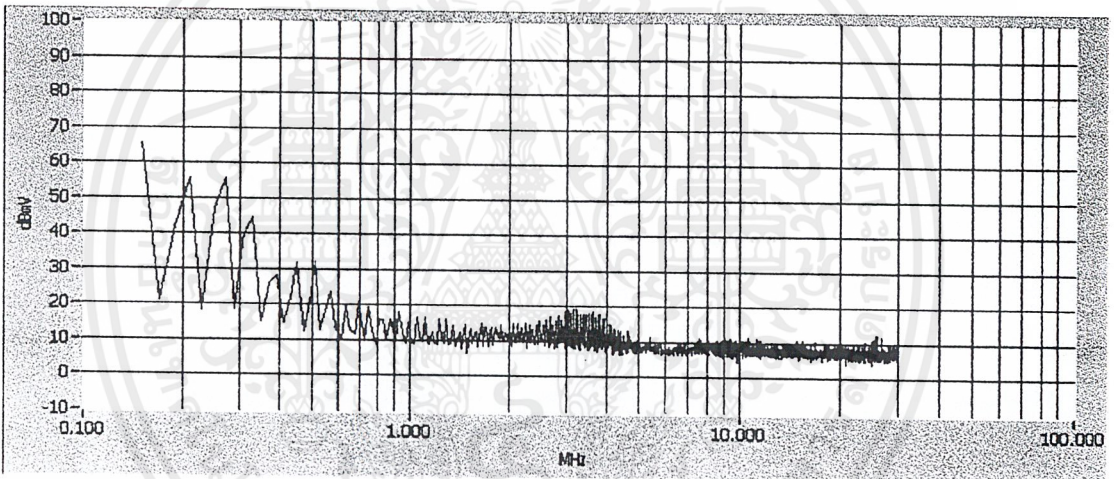


รูปที่ 10 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์เจียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรชาร์พริคจ้คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่ คอมมอนโหมดไจ้ค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF}$

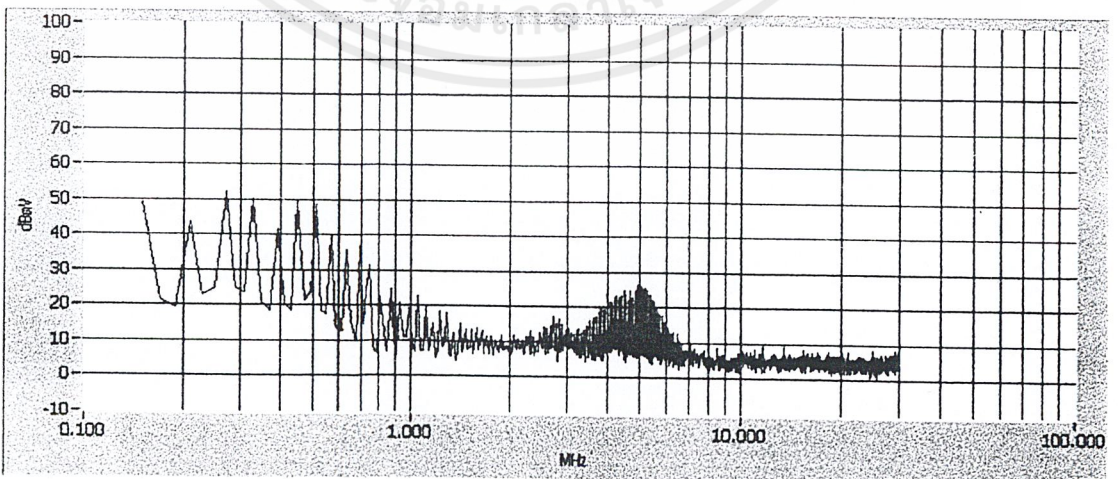
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรีซอร์พริคต์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  
คอมมอนโหมดไคค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$

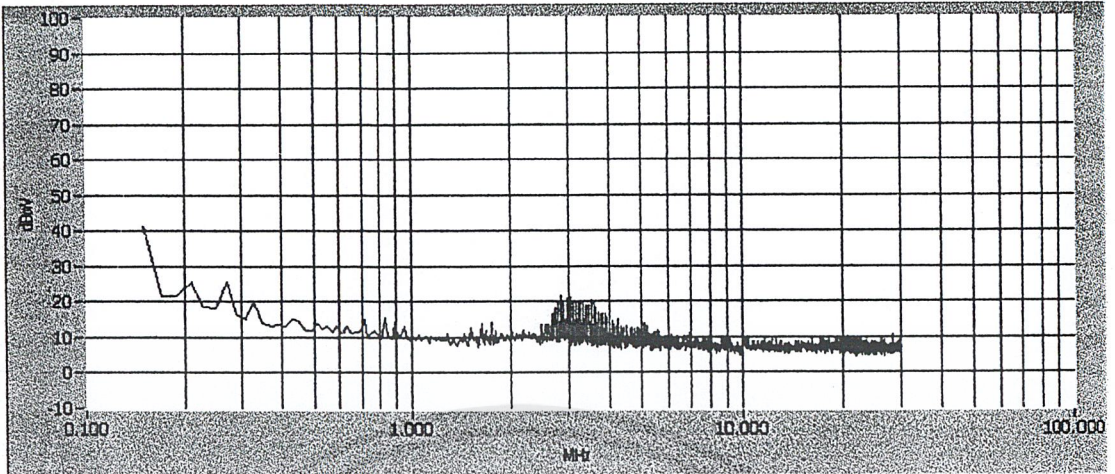


รูปที่ 12 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร็นท์ซีลโหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรีซอร์พริคต์คอนเวอร์เตอร์  
ขณะใส่ คอมมอนโหมดไคค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$

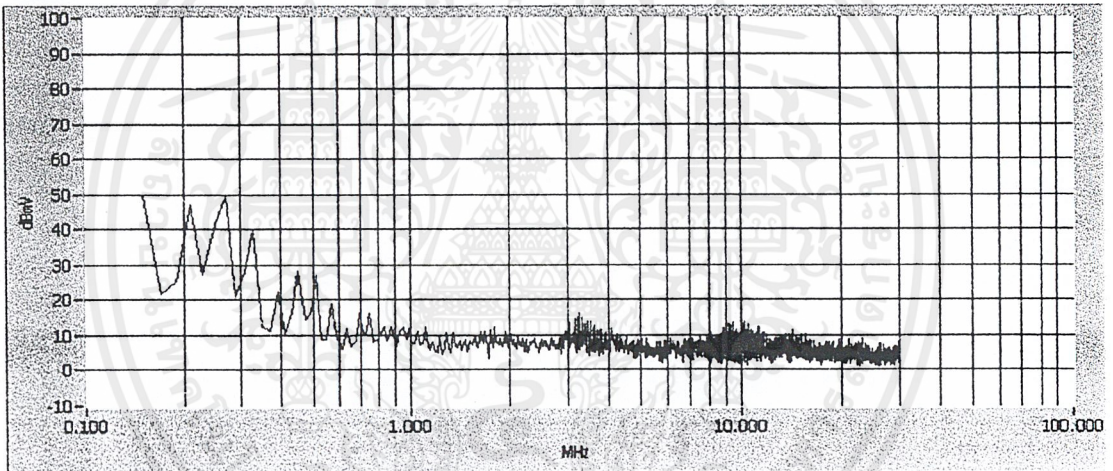


รูปที่ 13 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร็นท์ของวงจรรีซอร์พริคต์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  
คอมมอนโหมดไคค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{Yรวม} = 3300 \text{ pF}$

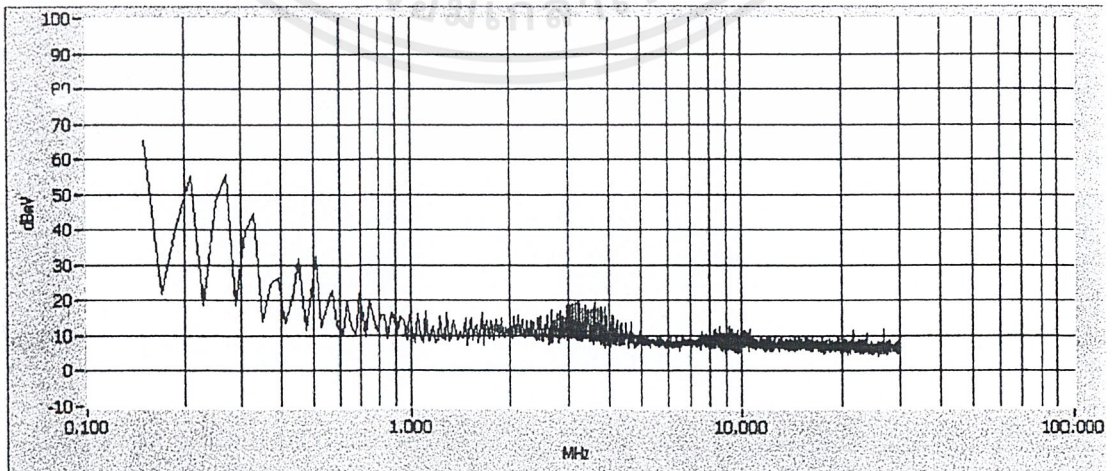
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์ซีเรียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์  
ขณะใส่ คอมมอนโหมดใช้ค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{\text{var}} = 3300 \text{ pF}$



รูปที่ 15 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะใส่  
คอมมอน โหมดใช้ค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$



รูปที่ 16 แสดงสัญญาณคิฟเฟอร์เร้นท์ซีเรียล โหมดเคอร์เร้นท์ของวงจรฮาร์พริคจ์คอนเวอร์เตอร์

ขณะใส่ คอมมอนโหมดใช้ค  $L = 1.4 \text{ mH} + C_{x1} = 0.22 \text{ uF} + C_{x2} = 0.22 \text{ uF}$

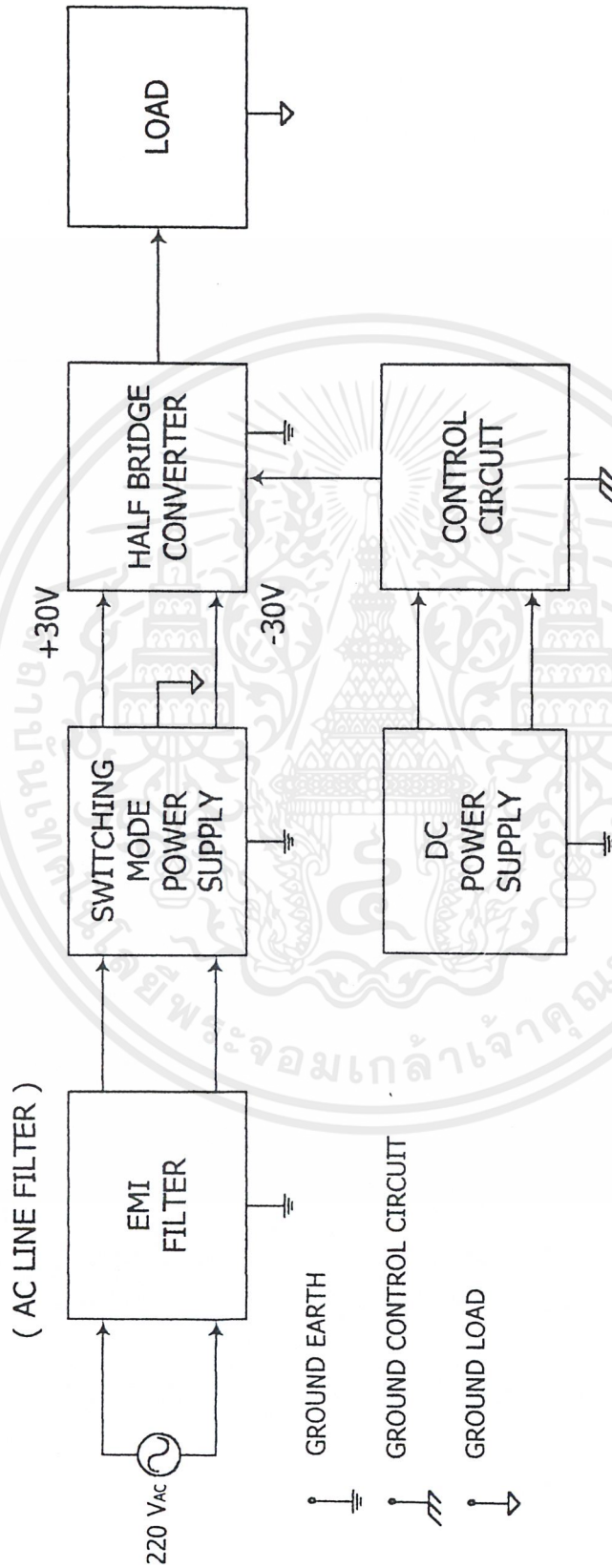
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวกที่ 2

แผนภาพ และวงจรฮาร์ดแวร์ที่ระดับบิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการ  
ทดลอง

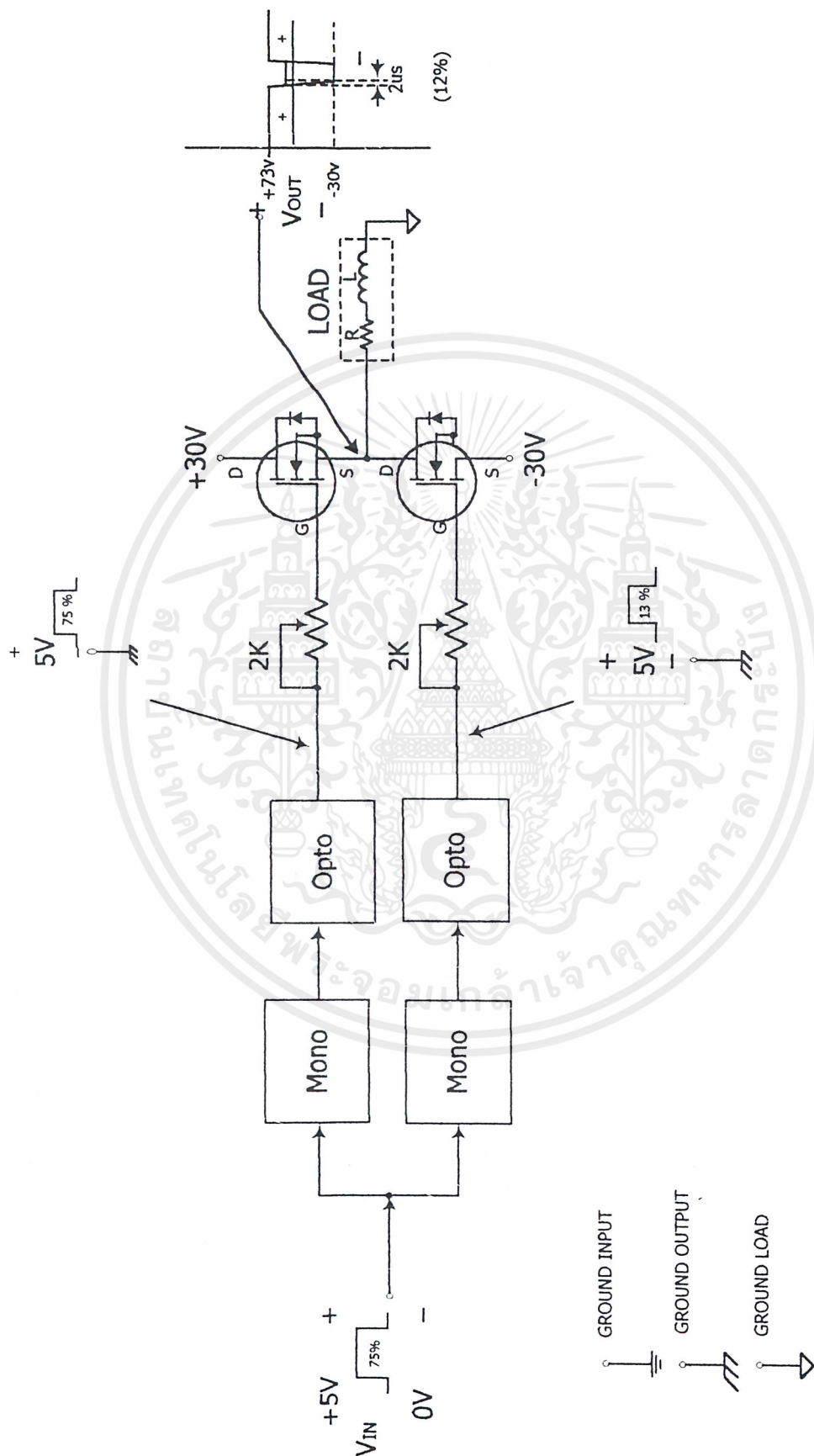


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



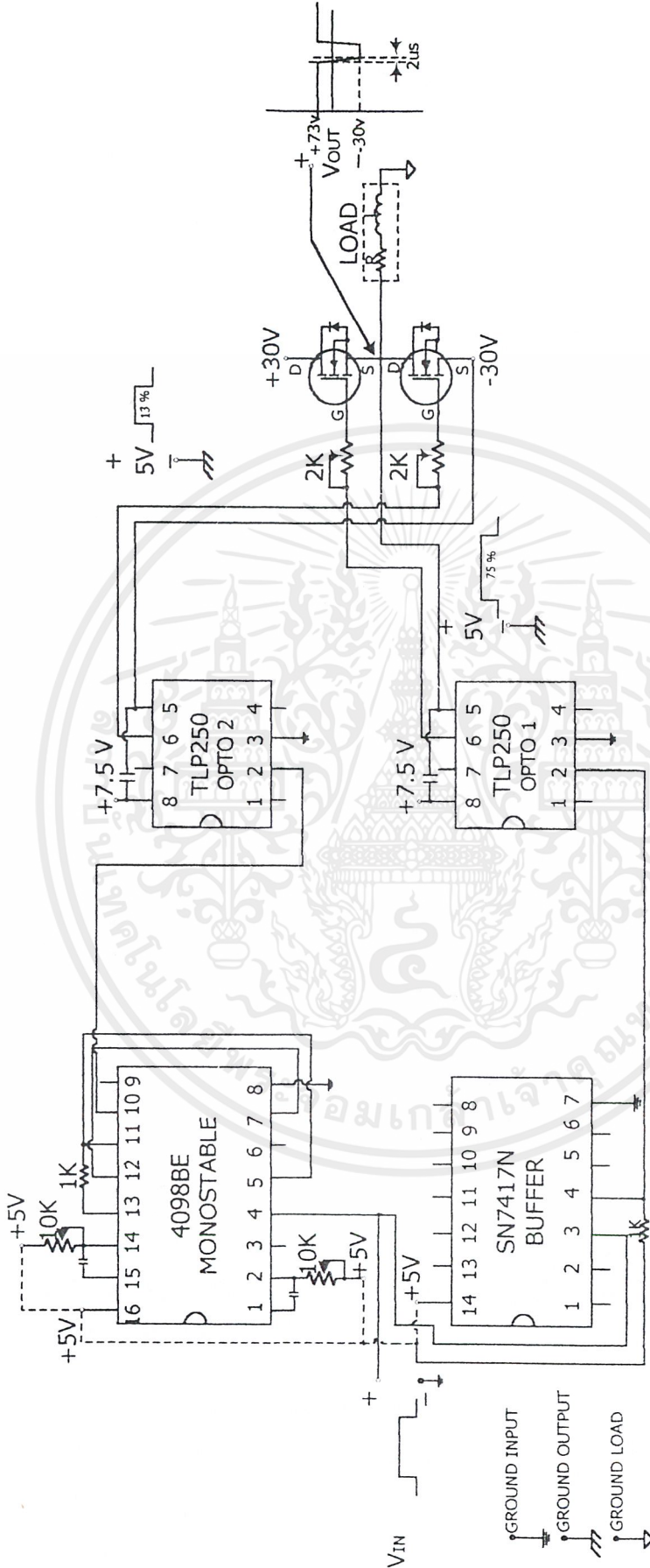
รูปที่ 18 ब्ल็อคการทำงานของวงจรฟิวด์บิวแอมป์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 แผนภาพการขับเพาเวอร์มอสเฟตของวงจรพัลส์ที่ดับแอมคอมเนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 วงจรขับพาวเวอร์มอสเฟตของวงจรรีจิสเตอร์พาร์ตัลลัล 20 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวกที่ 3

ข้อมูลทางด้านเทคนิคของไอซี และเพาเวอร์มอสเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Tc=25°C) (unless otherwise noted.)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>ON CHARACTERISTICS*</b>					
Gate threshold Voltage (VDS=VGS, ID=250uA)	VGS(TH)	2.0	—	4.0	V
On-State Drain Current (VDS > ID(ON) * RDS(ON) max., VGS = 10V)	ID(ON)	4.0	—	—	A
	IRF510	4.0	—	—	
	IRF511	3.5	—	—	
	IRF512	3.5	—	—	
	IRF513	3.5	—	—	
Static Drain-Source On-State Resistance (ID=2.0A, VGS=10V)	RDS(ON)	—	0.5	0.6	OHM
	IRF510	—	0.5	0.6	
	IRF511	—	0.6	0.8	
	IRF512	—	0.6	0.8	
	IRF513	—	0.6	0.8	
Forward Transconductance (VDS > ID(RATED) * RDS(ON) max., ID=2.0A)	gfs	1.0	1.5	—	MHO

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Input Capacitance	VGS=0 V	—	135	150	pF
Output Capacitance	VDS=25V	—	80	100	pF
Reverse Transfer Capacitance	f=1 MHz	—	20	25	pF

**SWITCHING CHARACTERISTICS\***

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Turn-On Delay Time	VDS=50V	—	10	20	nS
Rise Time	ID=2.0 A	—	15	25	nS
Turn-Off Delay Time	RGEN=50 OHMS, RGS=50 OHMS	—	15	25	nS
Fall Time	[RGS(EQUIP)]=25 OHMS	—	10	20	nS

**Source-Drain Diode Ratings and Characteristics**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Continuous Source Current (Body Diode)	IS	—	—	4.0	A
	IRF510	—	—	4.0	
	IRF511	—	—	3.5	
	IRF512	—	—	3.5	
	IRF513	—	—	3.5	
Pulse Source Current* (Body Diode)	ISM	—	—	16	A
	IRF510	—	—	16	
	IRF511	—	—	14	
	IRF512	—	—	14	
	IRF513	—	—	14	
Diode Forward Voltage # (Tc=25°C, IS=4.0A, VGS=0V)	VSD	—	—	2.5	V
(Tc=25°C, IS=3.5A, VGS=0V)		—	—	2.5	
	IRF510	—	—	2.0	
	IRF511	—	—	2.0	
	IRF512	—	—	2.0	
	IRF513	—	—	2.0	
Reverse Recovery Time (IF=4.0A, dIF/dt=100A/uS, Tc=150°C)	trr	—	230	—	nS

# Pulse Test: Pulse Width < 300uS, Duty Cycle < 2%.  
\* Repetitive Rating: Pulse Width Limited By Maximum Junction Temperature.

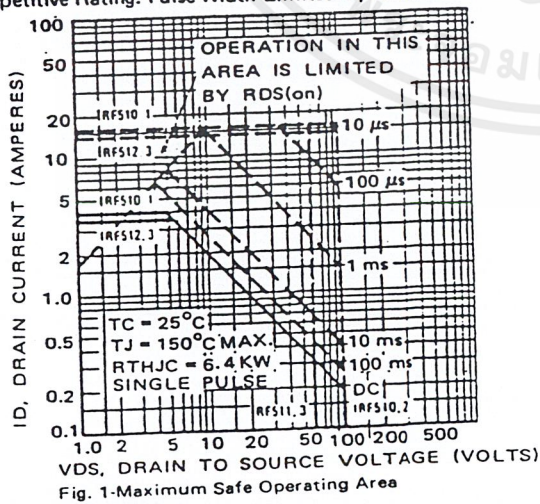


Fig. 1-Maximum Safe Operating Area

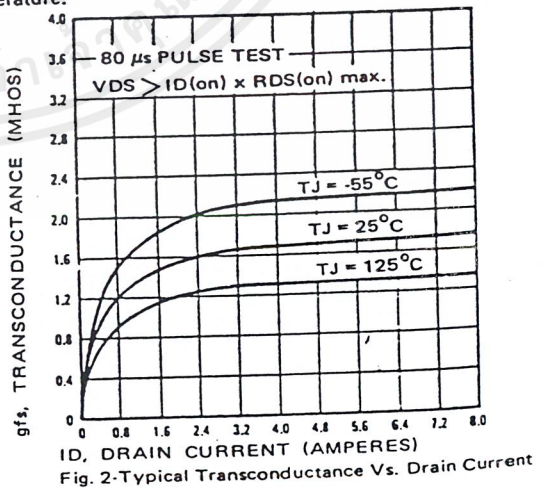
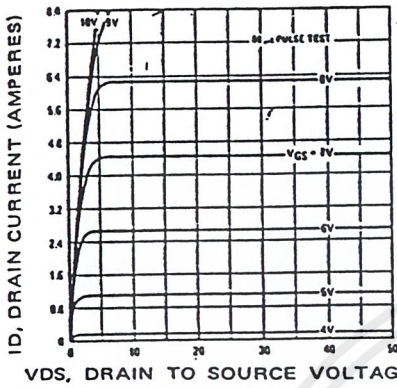
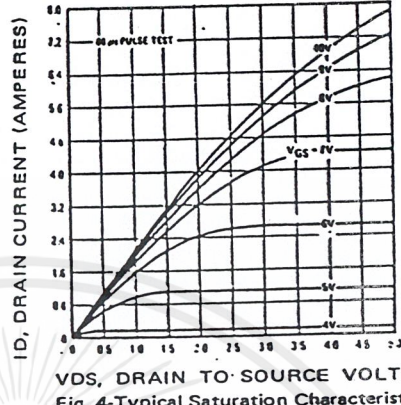


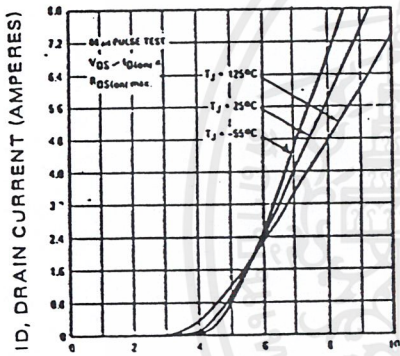
Fig. 2-Typical Transconductance Vs. Drain Current



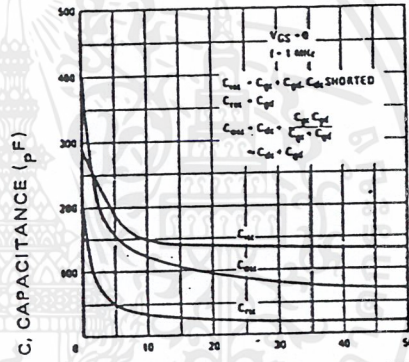
VDS, DRAIN TO SOURCE VOLTAGE (VOLTS)  
Fig. 3-Typical Output Characteristics



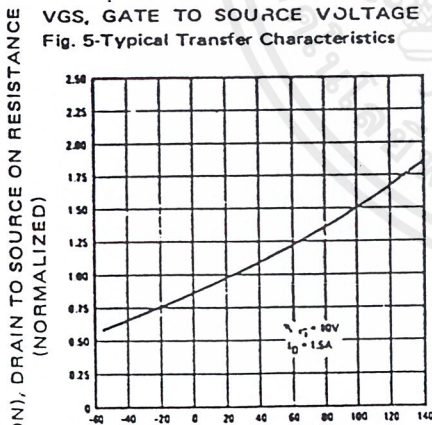
VDS, DRAIN TO SOURCE VOLTAGE (VOLTS)  
Fig. 4-Typical Saturation Characteristics



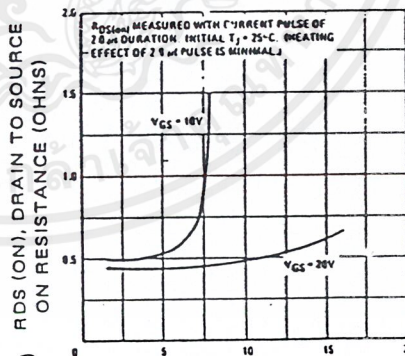
VGS, GATE TO SOURCE VOLTAGE (VOLTS)  
Fig. 5-Typical Transfer Characteristics



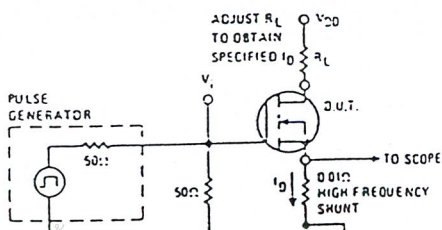
VDS, DRAIN TO SOURCE VOLTAGE (VOLTS)  
Fig. 6-Typical Capacitance Vs. Drain to Source Voltage



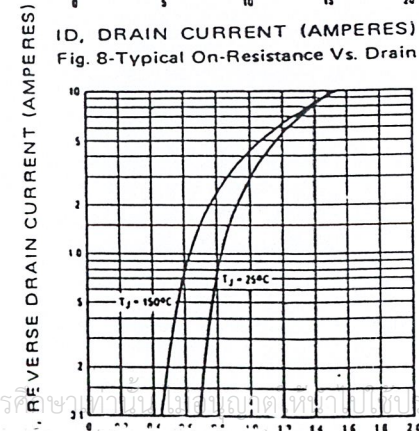
Tj, JUNCTION TEMPERATURE (°C)  
Fig. 7-Normalized On-Resistance Vs. Temperature



ID, DRAIN CURRENT (AMPERES)  
Fig. 8-Typical On-Resistance Vs. Drain Current

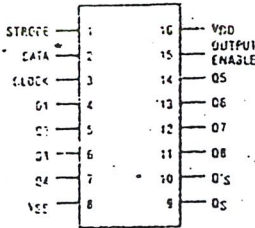


VDS, SOURCE TO DRAIN VOLTAGE (VOLTS)  
Fig. 9-Typical Source Drain Diode Forward Voltage

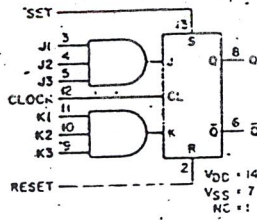


IDR, REVERSE DRAIN CURRENT (AMPERES)  
Fig. 10-Switching Time Test Circuit

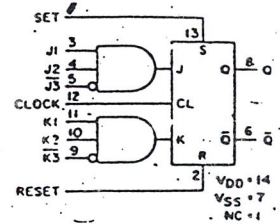
**ECG4094B** 16-Pin DIP See Fig. D8  
8-Stage Shift and Store Bus Register (3-State Output),  $V_{DD} = 3\text{ V to }15\text{ V}$



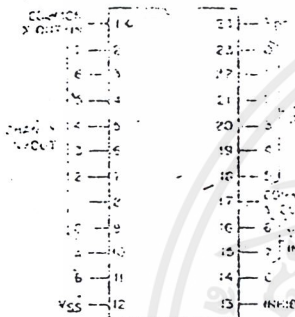
**ECG4095B** 14-Pin DIP See Fig. D6  
J-K Flip-Flop with Non-Inverting J and K Inputs,  $V_{DD} = 3\text{ V to }15\text{ V}$



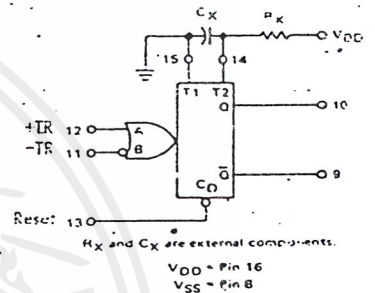
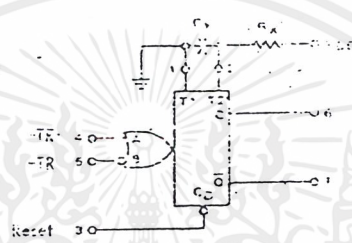
**ECG4096B** 14-Pin DIP See Fig. D6  
J-K Flip-Flop with Inverting and Non-Inverting Inputs,  $V_{DD} = 3\text{ V to }15\text{ V}$



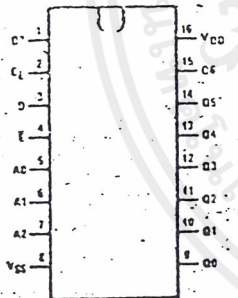
**ECG4097B** 24-Pin DIP See Fig. D14  
Differential 8-Channel Multiplexer/Demultiplexer,  $V_{DD} = 3\text{ V to }15\text{ V}$



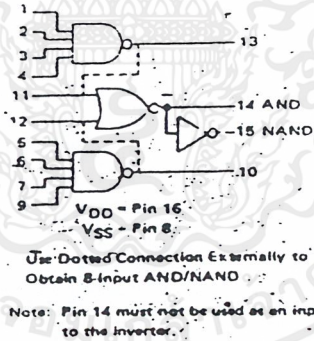
**ECG4098B** 16-Pin DIP See Fig. D8  
Dual Monostable Multivibrator,  $V_{DD} = 3\text{ V to }15\text{ V}$



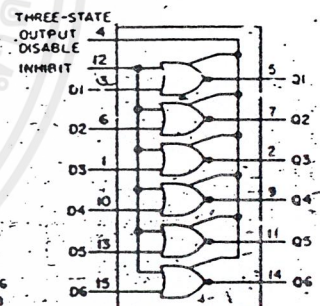
**ECG4099B** 16-Pin DIP See Fig. D8  
8-Bit Addressable Latch,  $V_{DD} = 3\text{ V to }15\text{ V}$



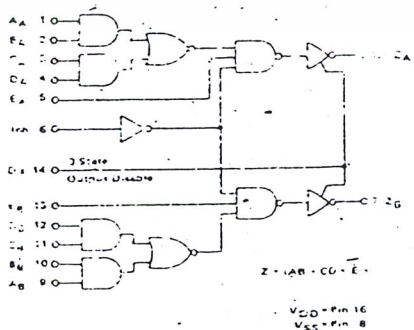
**ECG4501** 16-Pin DIP See Fig. D8  
Multifunction Gate,  $V_{DD} = 3\text{ V to }18\text{ V}$



**ECG4502B** 16-Pin DIP See Fig. D8  
Strobed Hex Inverter/Buffer, (3-State Output),  $V_{DD} = 3\text{ V to }18\text{ V}$



**ECG4506** 16-Pin DIP See Fig. D8  
Dual Expandable AND/OR/Invert (AOI) Gate,  $V_{DD} = 3\text{ V to }18\text{ V}$



**ECG4508B** 24-Pin DIP See Fig. D14  
Dual 4-Bit Latch,  $V_{DD} = 3\text{ V to }18\text{ V}$

