

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ELECTRONICS BALLAST



โดย
นางสาวมโน ทั้งสุพานิช
นางสาวมลฤดี วิจิตรเบญจรงค์

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....42491
วัน, เดือน, ปี.....24 พ.ค. 2545

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

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง บัณฑิตอิเล็กทรอนิกส์

คณะผู้จัดทำ

1. นางสาวมโน ทังสุพานิช รหัสนักศึกษา 40010589
2. นางสาวมลฤดี วิจิตรเบญจรงค์ รหัสนักศึกษา 40010592


(รศ. ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์) อาจารย์ที่ปรึกษา


(อาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์) อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

น.ส. มโน ทังสุพานิช

น.ส. มลฤดี วิจิตรเบญจรงค์

ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ในการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ข้อบกพร่องของบัลลาสต์แบบแมกเนติก โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของวงจร คือ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง และวงจรแปลงกระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter) โดยทำหน้าที่สร้างไฟสลับความถี่สูง

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งในทางทฤษฎีและจากตัวอย่างวงจรจริงที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย และได้นำวงจรตามแบบที่นิยมใช้กันอยู่ขึ้นมาเป็นต้นแบบ เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาวงจรให้ดีขึ้นต่อไป โดยเน้นในเรื่องของการลดสัญญาณรบกวน EMI (Electromagnetic Interference) กำลังสูญเสีย (Power Loss) และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) แต่เนื่องจากวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับหลอดประหยัดไฟ ดังนั้นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือจะต้องพัฒนาวงจรโดยให้มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดไฟเป็นสำคัญ

Electronics Ballast

Mano	Thangsuphanich	
Monrudee	Wijitbenjarong	
Dr. Yothin	Prempraneerach	Advisor
Sumit	Panaudomsab	Advisor

2000

Abstract

Electronic Ballast is the electronic circuit which is used to drive the fluorescent lamp has been developed in order to replace the magnetic ballast. This ballast consists of AC to DC Converter (Rectifier) and DC to AC Converter (Inverter) that used for converting DC to high frequency AC.

This thesis will focus on the studying about the components of electronic ballast both theory and some products can be found in the market , for comparison between the advantages and the disadvantages. The popular electronic ballast product is used to be the prototype for developing the better electronic ballast circuit. In this thesis will emphasize in EMI reduction , power loss and power factor correction.

However the purpose of this electronic ballast is used with compacted lamp for energy conservation. Consequently the important thing is to improve the efficiency and saving more energy.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการทำงานของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	2
2.1 คุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยสังเขป	2
2.2 การศึกษาและการวิเคราะห์ห้วงจรบัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์	2
2.2.1 หน้าที่ของบัลลาสต์	4
2.2.2 ข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติก	4
2.3 การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	4
2.3.1 ข้อดีของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	5
2.3.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและแบบอิเล็กทรอนิกส์	6
2.4 คุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Parameter)	6
บทที่ 3 ทฤษฎีบทพื้นฐานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	10
3.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter)	10
3.1.1 คอนเวอร์เตอร์แบบ AC-DC (Rectifier)	11
3.1.2 คอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC (Inverter)	11
3.2 วงจรเรโซแนนท์ (Resonant)	12
บทที่ 4 หลักการที่ใช้ในการพัฒนางจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	18
4.1 สัญญาณรบกวน EMI	18
4.1.1 ความหมายและการเกิดสัญญาณรบกวน EMI	18
4.1.2 สัญญาณรบกวน EMI ที่เกิดจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	22
4.1.3 การทดสอบสัญญาณรบกวน EMI	23
4.1.4 การลดสัญญาณรบกวน EMI	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การแสดงรูปคลื่นที่เป็นฟังก์ชันเป็นคาบ (Periodic function) ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier series)	29
4.2.2 ค่ารวมของความเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonic Distortion)	30
4.2.3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ไม่เป็นสัญญาณ รูปไซน์	31
4.2.4 ตัวประกอบกำลังในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปสัญญาณรูปไซน์และ กระแสไฟฟ้าไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์	32
4.2.5 วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุทของวงจร	33
บทที่ 5 การดำเนินการและขั้นตอนการพัฒนาวงจร	37
5.1 การศึกษาการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีตามท้องตลาด	37
5.1.1 การทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1	37
5.1.2 การทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 2	38
5.2 การเปรียบเทียบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1 และ 2	39
5.3 การทดสอบวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรที่ใช้อุปกรณ์ที่จัดหาได้ตามท้องตลาด	40
5.3.1 ต่อบอร์ดลงบนโฟโต้บอร์ด (Photoboard)	40
5.3.2 ต่อบอร์ดลงบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล (Universal Print)	41
5.4 การแปรค่า L_2 และเลือกค่าที่เหมาะสมเพื่อลดสัญญาณรบกวน EMI	41
5.5 การใช้วงจรพาสซีฟเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังและการเลือกค่าที่เหมาะสม	42
5.6 ออกแบบลายปริ้นท์และทดสอบวงจรที่ต่อลงบนปริ้นท์	43
บทที่ 6 ผลการทดลอง	45
การทดลองที่ 1 ผลการวัดแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ ของวงจรตัวอย่างที่ 1	46
การทดลองที่ 2 ผลการวัดแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ ของวงจรตัวอย่างที่ 2	49
การทดลองที่ 3 วัดค่าประกอบกำลังด้านอินพุทของวงจรตัวอย่างที่ 1 และ 2	50
การทดลองที่ 4 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ของวงจรตัวอย่างที่ 1 และ 2	51
การทดลองที่ 5 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตัวอย่างที่ 1 ที่ต่อลงบน โปโรโตบอร์ด	52
การทดลองที่ 6 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลองที่ต่อ	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บนโปรโตบอร์ด	
การทดลองที่ 7 วัดค่าตัวประกอบกำลัง ประสิทธิภาพ และกระแสฮาร์โมนิกส์เพื่อ เปรียบเทียบวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลองที่ต่อลงบนแผ่น ปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล	59
การทดลองที่ 8 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลอง ที่ต่อลงบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล	60
การทดลองที่ 9 วัดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรทดลอง บนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล โดยแปรค่า L_2	62
การทดลองที่ 10 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่แปรค่า L_2	65
การทดลองที่ 11 วัดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรทดลอง บนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล โดยแปรค่า L_0	70
การทดลองที่ 12 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่มีวงจรกรองแบบ พาสซีฟ L_0 บนแผ่นปริ้นท์	74
การทดลองที่ 13 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่ต่อบนลายปริ้นท์ ที่ออกแบบมา	75
การทดลองที่ 14 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรบนลายปริ้นท์ที่ 1	77
การทดลองที่ 15 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรบนลายปริ้นท์ที่ 2	79
บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุป	81
ภาคผนวก	82
กิตติกรรมประกาศ	89
บรรณานุกรม	90

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	3
2.2	3
3.1	10
3.2	11
3.3	12
3.4	13
3.5	13
3.6	13
3.7	14
3.8	15
3.9	16
4.1	19
4.2	19
4.3	21
4.4	21
4.5	22
4.6	23
4.7	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	แสดงการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดสอบสัญญาณรบกวนแบบเรดิเอเต็ด (Radiated)	25
4.9	แสดงวงจรพายฟิลเตอร์ทั้งแบบธรรมดาและแบบมัลติเฟิล	26
4.10	แสดงวงจรที่ฟิลเตอร์ทั้งแบบธรรมดาและแบบมัลติเฟิล	26
4.11	แสดงวงจรแอลฟิลเตอร์ทั้งแบบธรรมดาและแบบมัลติเฟิล	27
4.12	แสดงวงจรไทป์คอลลคอมเมอร์เชียลฟิลเตอร์	27
4.13	แสดงรูปการปรับปรุงวงจรแบบพาสซีฟ โดยใช้วงจรกรอง แบบ LC ต่อกับเอาต์พุตของวงจรบริดจ์	34
4.14	แสดงรูปการปรับปรุงวงจรแบบพาสซีฟโดยใช้วงจรกรอง แบบ RC และ Diode ต่อกับเอาต์พุตของวงจรบริดจ์	34
4.15	แสดงการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแบบวิธีแอกทีฟ โดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC	35
4.16	แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้า $v_{rec}(t)$ และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้า $i_{rec}(t)$ ของ วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบวิธีแอกทีฟ	36
5.1	แสดงภาพวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1	38
5.2	แสดงภาพวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 2	39
5.3	แสดงภาพวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาแล้ว	43
5.4	แสดงลายปริ้นท์ทั้งสองที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง	44
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 1	46
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 2	49
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 3	50
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 4	51
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 5	52
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 6	55
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 7	59
	ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 8	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 9	62
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 10	65
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 11	70
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 12	74
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 13	75
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 14	77
ภาพกราฟแสดงผลการทดลองที่ 15	79



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและแบบอิเล็กทรอนิกส์	6
6.1	ตารางสรุปผลการทดลองที่ 9 ในการวัดครั้งแรก	64
6.2	ตารางสรุปผลการทดลองที่ 9 ในการวัดครั้งที่ 2	64



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพดีกว่าและประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไส้หรือหลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยในการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียุกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่ในการจุดหลอด ซึ่งเรียกว่า บัลลาสต์

โดยทั่วไปแล้ว หลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนใหญ่มักจะใช้บัลลาสต์แบบแมกเนติก ซึ่งต้องใช้ใช้สตาร์ทเตอร์ (Starter) เป็นอุปกรณ์ร่วม แต่จากการศึกษานั้นพบว่ามียุกรณ์อยู่มากมาย เช่น เกิดกำลังสูญเสียในตัวบัลลาสต์มาก ทำให้เกิดการกระพริบของหลอดมีผลทำให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง อีกทั้งยังมีผลต่อการใช้สายตาในระยะเวลานานๆ ฯลฯ

จากข้อเสียต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้มีการหันมาให้ความสนใจและศึกษาค้นคว้าวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ในการจุดหลอดแทน เรียกว่า บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยลดข้อเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับแบบแมกเนติก แต่เนื่องจากการใช้บัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์นั้นส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาอีก อีกทั้งยังมีค่าตัวประกอบกำลังไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรมีการพัฒนาวงจรให้มีคุณสมบัติการทำงานที่ดีทั้งในแง่ของประสิทธิภาพการทำงาน สัญญาณรบกวน รวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังด้วย

โดยในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของบัลลาสต์ทั้งแบบแมกเนติกและแบบอิเล็กทรอนิกส์ วิเคราะห์การทำงานและส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ศึกษาวิเคราะห์ผลของการเกิดสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แนวทางการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุต (Input) ของวงจร เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันให้ดียิ่งขึ้น

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ เนื้อหาในลำดับต่อไปจะแบ่งออกเป็น 6 บท คือ

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการการทำงานของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการที่ใช้ในการพัฒนาวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 5 กล่าวถึงการดำเนินการและการพัฒนาวงจร

บทที่ 6 กล่าวถึงผลการทดลอง

บทที่ 7 บทวิจารณ์และสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการทํางานของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

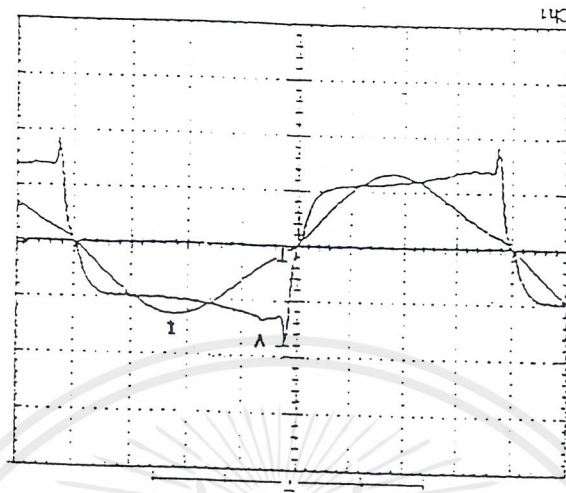
2.1 คุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยสังเขป

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมใช้มักเป็นชนิดขั้วร้อน (Heat – Electrode) โดยมีคุณสมบัติเป็นค่าความต้านทานลบ (Negative - Impedance) กล่าวคือ เมื่อเพิ่มกระแสให้กับหลอด แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขั้วหลอดจะลดลง เนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่เสถียรภาพของขั้วหลอด บัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดควรเป็นแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) หรืออย่างน้อยควรเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source) ที่มีอิมพีแดนซ์สูงเพียงพอ ในการจุดหลอดแต่ละครั้งจะทำให้ขั้วหลอดเสื่อมลงทีละน้อย เนื่องจากสารที่เคลือบขั้วหลอดที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนจะหลุดหายไปทุกครั้งที่มีการสตาร์ทหรือจุดหลอด โดยเฉพาะหากมีการจุดหลอดขณะที่ไส้หลอดมีอุณหภูมิไม่สูงพอ จะต้องใช้แรงดันที่ตกคร่อมหลอดสูงมากขึ้นในการจุดหลอด ซึ่งมีผลโดยตรงกับอายุการใช้งานของหลอดโดยจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความสมมาตรของรูปคลื่นกระแสสลับที่ไหลผ่านหลอด รวมถึงการจุดหลอดควรให้ดำเนินตามขั้นตอนดังนี้ให้ครบถ้วน

1. การอุ่นไส้หลอดให้อุณหภูมิสูงเพียงพอ (Preheat Stage)
2. การจุดหลอด (Ignition Stage) ขึ้นอยู่กับกระแสอุ่นไส้หลอดที่ต้องสอดคล้องกัน
3. การทำงานสถานะปกติ (Burning Stage)

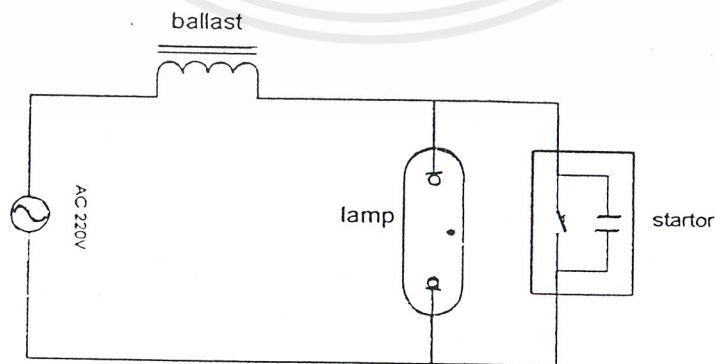
2.2 การศึกษาและการวิเคราะห์ห้วงจรบัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีสมบัติเป็นแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) และมีค่าความต้านทานพลวัตเป็นลบ (Dynamic Resistance) คือขณะจุดหลอด ความต้านทานของหลอดจะมีค่ามากและค่อย ๆ ลดลง เรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่แรงดันคงที่ ความต้านทานของหลอดจะคงที่ หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เมื่อเพิ่มกระแสให้กับหลอด ทำให้หลอดมีแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างขั้วหลอดลดลง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมขั้วหลอดที่ 50 Hz , 100 V/div , 0.5 A/div

ดังนั้นในการจ่ายพลังงานให้กับหลอด แหล่งจ่ายพลังงานจะต้องให้มีลักษณะใกล้เคียงแหล่งจ่ายกระแส เพื่อให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีเสถียรภาพลักษณะดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยใช้อิมพีแดนซ์ (Impedance : Z) ที่มีค่าสูงมาต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน ซึ่งจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์รวมของแหล่งจ่ายแรงดันมีค่าสูงขึ้น จึงมีลักษณะและสมบัติค่อนข้างไปทางแหล่งจ่ายกระแส อุปกรณ์ที่ง่ายที่สุดที่สามารถต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายคือ ความต้านทานแบบรีซิสแตนซ์ (Resistant) แต่จะเกิดพลังงานสูญเสียมากจากการใช้ความต้านทาน โดยทั่วไปแล้วจึงใช้ บัลลาสต์แบบแมกเนติก ทำหน้าที่เป็นความต้านทานแบบรีแอคทีฟ (Reactive) ให้กับแหล่งจ่ายแรงดัน



รูปที่ 2.2 วงจรการทำงานของบัลลาสต์แบบแมกเนติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หน้าที่ของบัลลาสต์

1. กำหนดค่ากระแสที่เหมาะสมให้ไหลผ่านหลอดทำให้หลอดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. ต้องสามารถให้แรงดันที่สูงมากพอในขณะที่จุดหลอด
3. ต้องจ่ายกระแสที่คงที่ให้กับหลอด ไม่ว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟตก หรือเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด
4. ต้องมีการอุ่นไส้หลอดตลอดเวลา สำหรับหลอดที่เป็นชนิดพรีฮีท (Preheat) หรือ แรปปิดสตาร์ท (Rapidstart)
5. กระแสที่ไหลผ่านหลอดต้องสมมาตรที่การไหลสลับไปมาระหว่างทั้ง 2 ขั้วหลอด

2.2.2 ข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติก

ในปัจจุบันบัลลาสต์ที่ใช้กันส่วนใหญ่จะเป็นบัลลาสต์แบบแมกเนติก โดยใช้ทำงานร่วมกับสตาร์ทเตอร์ซึ่งเราพบข้อเสียหลายประการ สามารถจำแนกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ทำให้หลอดเกิดการกระพริบ ส่งผลให้สารเคลือบขั้วหลอดที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนหลุดหายไปมากเกินไป (ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการกระพริบ) ซึ่งจะให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง
2. ประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวบัลลาสต์แบบแมกเนติกสูง
3. ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ เป็นผลให้ค่ากระแสที่ใช้ สูงเกินกว่าความต้องการที่แท้จริงของหลอด
4. เกิดเสียงรบกวน ในกรณีที่แกนเหล็กของบัลลาสต์แมกเนติกเริ่มเสื่อมสภาพ
5. เกิดผลของสโตรโบสโคปิก (Stroboscopic Effect) ความสว่างที่ได้ไม่นิ่ง ทำให้เห็นภาพวัตถุเคลื่อนที่เบลอ (Blur) และทำให้สายตาถ้าได้อย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากการทำงานที่ความถี่ต่ำ

จากข้อเสียที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติกมีข้อเสียมาก อีกทั้งยังไม่ประหยัดพลังงาน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของบัลลาสต์ ซึ่งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของบัลลาสต์ที่เรานำมาใช้งานได้ในปัจจุบัน

2.3 การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อลดการสูญเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติก และเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งจะพบว่าในบัลลาสต์แบบแมกเนติกนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่สูญเสียไป จะเกิดจากค่าตัวเหนี่ยวนำที่อยู่ในบัลลาสต์ เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในบัลลาสต์ควรมีค่าสูง จึงทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากด้วยเพราะว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติกทำงานที่ความถี่ต่ำ (50 Hz) ค่าตัวเหนี่ยวนำจึงจำเป็นต้องมีค่าสูง แต่ในขณะที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ความถี่สูง จึงทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กลงได้ (ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$) ดังนั้นเมื่อใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำลดลงได้ ส่งผลให้ความสูญเสียลดลงด้วย นอกจากนี้การทำงานที่ความถี่สูงยังทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดสูงขึ้นอีกด้วย

ในการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความถี่สูง ถึงแม้ว่าจะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้จริงแต่ก็จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง เนื่องจากว่าแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz จึงจำเป็นต้องใช้คอนเวอร์เตอร์ ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ซึ่งในการทำงานจะเกิดกำลังสูญเสียของคอนเวอร์เตอร์เอง และเพื่อให้สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัวคอนเวอร์เตอร์นี้ต้องมีประสิทธิภาพสูง (กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำของบัลลาสต์แบบแมกเนติก)

2.3.1 ข้อดีของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติก ทำให้ประหยัดพลังงาน
2. หลอดติดง่าย ไม่มีการกระพริบหลายครั้ง
3. แสงที่ได้จะมีความนุ่มนวลกว่าการใช้บัลลาสต์แบบแมกเนติก เนื่องจากไม่มีการกระพริบของแสงจากผลของสโตรโบสโคปิกส์ เหมาะที่จะใช้ในการอ่านหนังสือและการทำงานที่ใช้สายตามาก
4. ไม่มีปัญหาเรื่องหลอดกระพริบเนื่องจากสตาร์ทเตอร์เสีย หรือหลอดเสื่อม เพราะไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ และเมื่อหลอดเสื่อมวงจรจะหยุดการทำงานเองโดยอัตโนมัติ
5. เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีกำลังสูญเสียน้อยจึงเกิดความร้อนน้อยกว่าบัลลาสต์แบบแมกเนติก จึงเหมาะที่จะติดตั้งในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ เพราะจะช่วยลดกำลังขาเข้าของเครื่องปรับอากาศลงได้
6. ไม่เกิดเสียงรบกวน
7. หลอดที่ใช้งานหับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเกิดความร้อนน้อยกว่าหลอดที่ใช้งานกับบัลลาสต์แบบแมกเนติก ทำให้ช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอด
8. ถ้าเกิดการลัดวงจรที่เอาท์พุท (Output) จะไม่ทำให้เกิดความร้อนสูงผิดปกติที่ตัวบัลลาสต์และทำให้เกิดไฟไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติก และแบบอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์แบบแมกเนติกและแบบอิเล็กทรอนิกส์

คุณสมบัติ	แบบแมกเนติก	แบบอิเล็กทรอนิกส์
1. ค่าตัวประกอบกำลัง	ต่ำ	สูง
2. ประสิทธิภาพการส่องสว่าง	ต่ำ	สูง
3. กำลังสูญเสียในบัลลาสต์	มาก	น้อย
4. ความร้อนที่เกิด	มาก	น้อย
5. การกินกระแส	มาก	น้อย
6. ผลของ Stroboscopic	มาก	ไม่เกิด
7. การเกิดเสียงรบกวน	มาก	ไม่เกิด
8. อุปกรณ์ร่วม	ใช้ Starter	ไม่ใช้
9. อายุการใช้งานของหลอด	สั้น	ยาว
10. การกระพริบของหลอด	มาก	น้อยมาก
11. ความสามารถในการทนแรงดันตก และแรงดันเกิน	ทนได้น้อย	ทนได้มาก
12. ผลที่เกิดขึ้นเมื่อลัดวงจรที่ขั้วออก	เกิดความร้อนสูง	ไม่เกิดความร้อน
13. มีผลรบกวนที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	ไม่เกิดการรบกวน	เกิดการรบกวนมาก
14. ราคา	ถูก	แพง
15. ความทนทาน	สูง	ต่ำ

2.4 คุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Parameter)

การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ต้องคำนึงถึงรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1) ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจร (System Efficiency)

การวัดประสิทธิภาพการทำงานของวงจร สามารถวัดได้จากการแปรเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าด้านเข้าเป็นแสงสว่างที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งมีหน่วยเป็นความสว่างต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้า (Lumens/Watt) โดยปกติค่าประสิทธิภาพของวงจรจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผนังหลอดขณะทำงาน (The Lamp Wall Temperature) ในทางปฏิบัติแล้วอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 35 – 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านหลอด (Lamp Input Current Wave Shapes)

ทั้งนี้การวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอด เพื่อต้องการหาค่า The Lamp Current Crest Factor ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของกระแส (Peak Current) เทียบกับค่ากระแสอาร์เอ็มเอส (RMS Current) ที่ไหลผ่านหลอด จากมาตรฐานของ American Nation Standards Institute (ANSI) ค่า Current Crest Factor ต้องมีค่าไม่เกิน 1.7 โดยที่ค่ากระแสไหลผ่านหลอดหากเป็นคลื่นรูปไซน์ (sine) แล้วค่า Current Crest Factor จะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{2}$ ทั้งนี้หากค่า Current Crest Factor สูงจะเป็นผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง

3) ลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่ไหลผ่านหลอด (Lamp Input Voltage Wave Shapes)

หน่วยวัดคุณสมบัติที่ดีของบัลลาสต์อีกอย่างคือ Voltage Crest Factor (VCF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่ายอดของแรงดันหารด้วยค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดัน ตามสูตรนี้

$$VCF = \frac{V_{pk}}{V_{rms}}$$

ทั้งนี้โดยปกติสำหรับรูปคลื่นแรงดันที่เป็นไซน์โดยสมบูรณ์จะได้ค่า VCF เป็น $\sqrt{2}$ สำหรับบัลลาสต์โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 2.0 ซึ่งจะประกอบไปด้วย ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) ที่สาม ซึ่งเป็นผลมาจากการที่แกนเหล็กเข้าสู่ช่วงการอิ่มตัว (Saturation Region) เนื่องจากได้รับการจ่ายค่าแรงดันอินพุท (Input) ขณะหลอดทำงาน

4) ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Current)

การที่คลื่นไม่เป็นสัญญาณรูปไซน์โดยแท้จริงนั้น เกิดจากการที่คลื่นประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าฮาร์โมนิกส์พื้นฐาน 50 Hz ในกรณีที่รูปคลื่นกระแสเป็นไซน์โดยแท้จริง ค่ากระแสในนิวทรอน (Neutral Line) วงจรสามเฟสจะเป็นศูนย์ และทั้งนี้ถ้าค่าฮาร์โมนิกส์ที่สามไม่ได้ถูกหักลบกันพอดีในทั้งสามเฟสก็จะมีค่ากระแสไหลผ่านในนิวทรอน นอกจากนี้ยังจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อีกด้วย เพราะฉะนั้นในการออกแบบบัลลาสต์ควรจะทำให้เกิดผลของฮาร์โมนิกส์น้อยที่สุด

5) การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Conducted Radiated Tromagnetic Energy)

การที่วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้การเปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วใช้การสวิตช์ ความถี่สูงไปจุดหลอดนั้น ค่าพลังงานความถี่สูง และความถี่ฮาร์โมนิกส์อาจจะย้อนกลับเข้าแหล่งจ่ายกระแสได้ และไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต่ออยู่กับสายไฟ

เส้นนั้น รวมไปถึงเกิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ไปในอากาศ ซึ่งอาจนำไปสู่การรบกวน อุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายได้

6) ค่าความสว่าง (Light Output)

การที่จะวัดประสิทธิภาพของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่สามารถวัดได้จากค่าพลังงานด้านเข้าเพียงอย่างเดียว ต้องมีการตรวจประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ได้จากวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เทียบกับค่าความสว่างที่โรงงานผู้ผลิตหลอดกำหนด หรือที่เรียกว่าบัลลาสต์แฟกเตอร์ (Ballast Factor) โดยปกติบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการรับรอง และได้ Certificate Ballast Manufacturers (CBM) นั้นต้องมีค่าบัลลาสต์แฟกเตอร์อย่างน้อย $95 \pm 2.5\%$ ที่วัดได้จากหลอดที่อยู่ในมาตรฐานของ ANSI

7) Regulation

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ดีนั้น ต้องสามารถที่จะทำงานได้ในกรณีที่ค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือลดลงในช่วง 10%

8) คุณสมบัติการจุดหลอด (Starting Characteristic)

ค่าแรงดันสูงสุดในการจุดหลอดของหลอดชนิด 40 W F 40 ที่กำหนดโดย ANSI นั้นต้องไม่เกิน $360 V_{rms}$ ทั้งนี้หากมีค่ามากกว่านี้ จะมีผลโดยตรงให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดี จะมีการอุ่นไส้หลอดคาโทด (Cathode) และควบคุมค่าแรงดันในการจุดหลอดไม่ให้เกินข้อกำหนดของ ANSI

9) ค่าประกอบกำลัง (Power Factor)

ลักษณะรูปร่าง และเฟสของค่ากระแสสลับและแรงดัน จะเป็นตัวกำหนดค่าตัวประกอบกำลัง โดยที่มี The Inductance Chokes ที่ทำหน้าที่ในการจำกัดค่ากระแสไหลผ่านหลอด นอกจากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ไร้ปลั๊กอินไม่เป็นไซน์ จะเป็นผลให้ค่าตัวประกอบกำลังลดลง

10) ค่าพลังงานอุ่นไส้หลอด (Filament Power)

การอุ่นไส้ที่ขั้วคาโทด (Filaments) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยปกติตามข้อกำหนดของ ANSI นั้นระบุควรมีการอุ่นไส้ตลอดเวลา โดยการให้มีความดันตกคร่อมที่ไส้หลอดประมาณ 2.5 – 4.1 โวลต์ ทั้งนี้วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่มีการตัดการอุ่นไส้หลอดภายหลังที่หลอดได้ทำงานแล้ว ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 4 วัตต์ สำหรับวงจรที่มีการต่อหลอด 2 หลอดใช้งานพร้อมกัน แต่จะเป็นผลให้อายุการทำงานของหลอดสั้นลง และจะเป็นผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบมากขึ้นหากวงจรยิ่งทำงานที่ความถี่สูงยิ่งทำให้อายุการใช้งานยิ่งสั้นลง เมื่อเทียบกับหลอดที่ทำงานที่ความถี่ 50 Hz โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรที่สามารถปรับลดแสงสว่างได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการอุ่นไส้หลอดไว้ตลอดเวลา

11) การกระพริบ (Flicker)

การกระพริบจะเกิดขึ้นมากเมื่อทำงานที่ความถี่ 50 Hz แต่เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ทำงานที่ความถี่สูงมาก ดังนั้นปัญหาการกระพริบของหลอดจึงหมดไปโดยอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

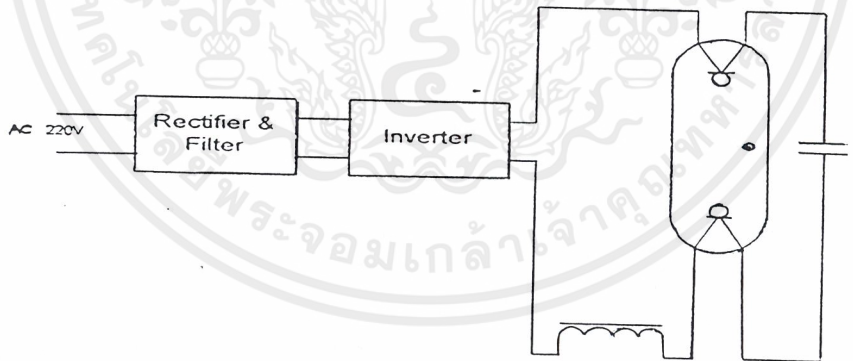
บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในการที่จะทำการวิเคราะห์การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นจำเป็นต้องทราบหลักการ โดยพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เสียก่อน

ส่วนประกอบที่สำคัญของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1. คอนเวอร์เตอร์แบบ AC-DC (Rectifier) เป็นส่วนที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz มาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
2. คอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC (Inverter) เป็นส่วนที่ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง
3. วงจรเรโซแนนท์ (Resonant) เป็นวงจรที่ทำให้โหลดที่ต่ออยู่ได้รับกำลังงานมากที่สุด ซึ่งเป็นจุดการทำงานที่เหมาะสม โดยเป็นวงจรแปลงกระแสสลับที่การทำงานขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่ (Load Dependent)



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

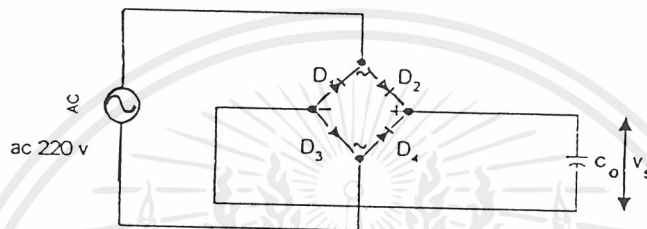
3.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter)

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมี 2 แบบ คือ คอนเวอร์เตอร์แบบ AC-DC และแบบ DC-AC มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 คอนเวอร์เตอร์แบบ AC-DC (Rectifier)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับส่วนของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) อีกที ซึ่งในที่นี้เราใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) และใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นวงจรกรองกระแสเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สาเหตุที่เลือกใช้วงจรนี้ก็เพราะง่ายและราคาถูก



รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

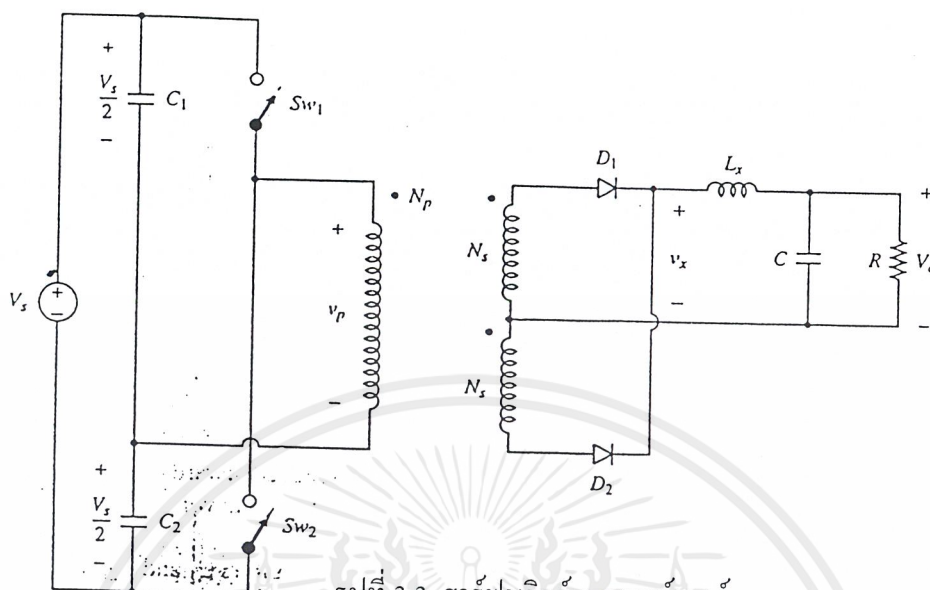
3.1.2 คอนเวอร์เตอร์แบบ DC-AC (Inverter)

คอนเวอร์เตอร์ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับการจัดวงจรภายใน เช่น ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter), ฟอรวอร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter), พูช-พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push – Pull Converter), ฮาร์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half – Bridge Converter), พูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full – Bridge Converter) โดยแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป

แต่สำหรับที่นิยมใช้กันในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นคือ วงจรฮาร์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฮาร์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half – Bridge Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพูช – พูลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีคือ พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสต่ำกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาข้างต้น และลดการเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์ได้ โดยกำลังงานสูงสุดที่สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์



รูปที่ 3.3 ฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

3.2 วงจรเรโซแนนท์

ในสถานะที่วงจรถูกอนุกรม R, L, C ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร คือ $Z = R + X_L + X_C$ โดยค่าจะแปรเปลี่ยนตามความถี่ของวงจร

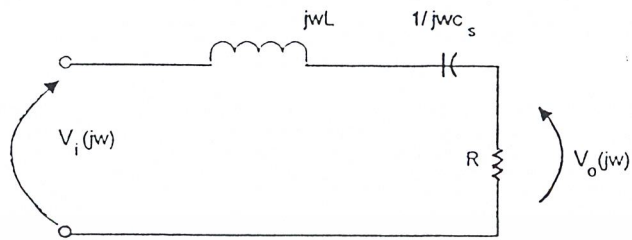
ปรากฏการณ์เรโซแนนท์ คือ ปรากฏการณ์ที่ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเรโซแนนท์แบบอนุกรม) มีค่าต่ำสุดที่ $Z = R$ เมื่อเราปรับความถี่ค่าหนึ่งที่ทำให้ค่า $X_L = X_C$ ณ จุดนี้จะให้ค่ากระแสไหลผ่านวงจรมากที่สุด และให้กำลังงานกับวงจรมากที่สุด

ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ได้มีการนำวงจรพื้นฐานเรโซแนนท์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจุดหลอดในสถานะเริ่มต้น โดยวงจรเรโซแนนท์อนุกรม (Series Resonant) สามารถจัดแบ่งออกได้เป็น 3 วงจรหลัก คือ

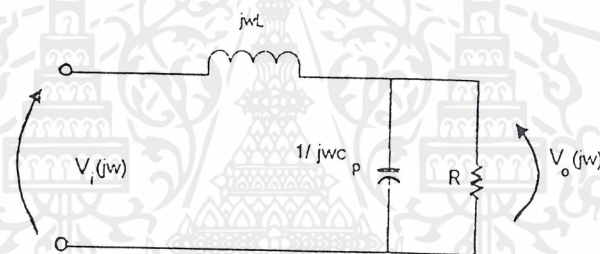
1. วงจรเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด (Series-loaded-Resonant : SLR)
2. วงจรเรโซแนนท์ขนานกับโหลด (Parallel-loaded-Resonant : PLR)
3. วงจรเรโซแนนท์อนุกรม-ขนานกับโหลด (Series-Parallel-loaded-Resonant : SPLR)

ในการพิจารณา เลือกชนิดของวงจรเรโซแนนท์มาประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ นั้น เราจะทำการพิจารณาที่อัตราขยาย (Gain) ของวงจร โดยเปรียบเทียบระหว่างแรงดันด้านเข้ากับแรงดันด้านออก ซึ่งในการวิเคราะห์ห้วงจรนี้ เราจะทำการสมมุติอุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้มีคุณสมบัติในอุดมคติ และพิจารณาว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงมากพอ

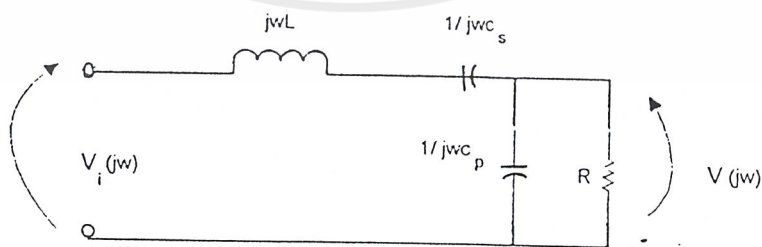
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด



รูปที่ 3.5 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด

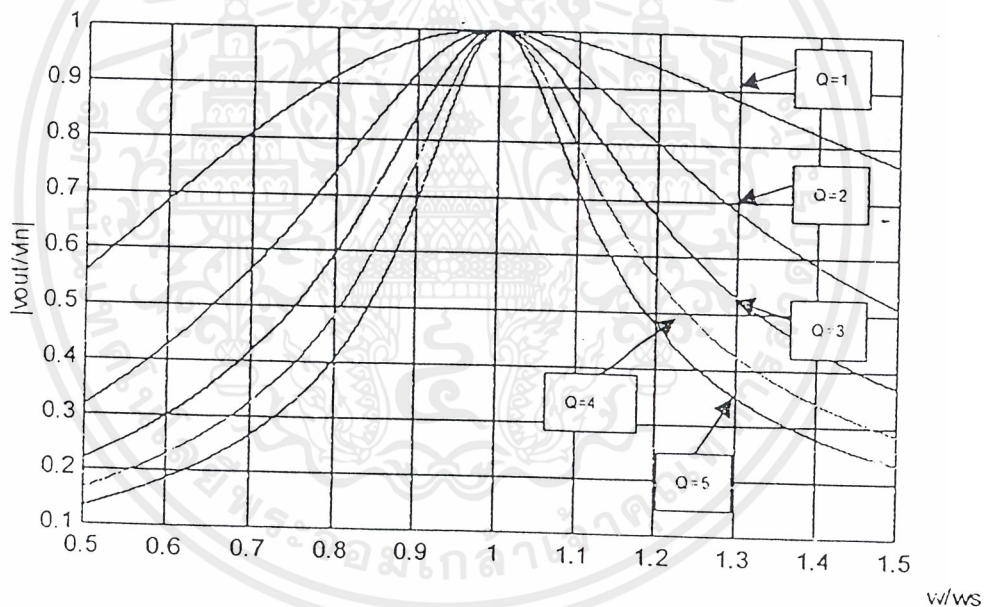


รูปที่ 3.6 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right)^2}}$$

โดยที่ $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC_s}}$ และ $Q_s = \frac{\omega_s L}{R} = \frac{1}{\omega_s C_s R}$

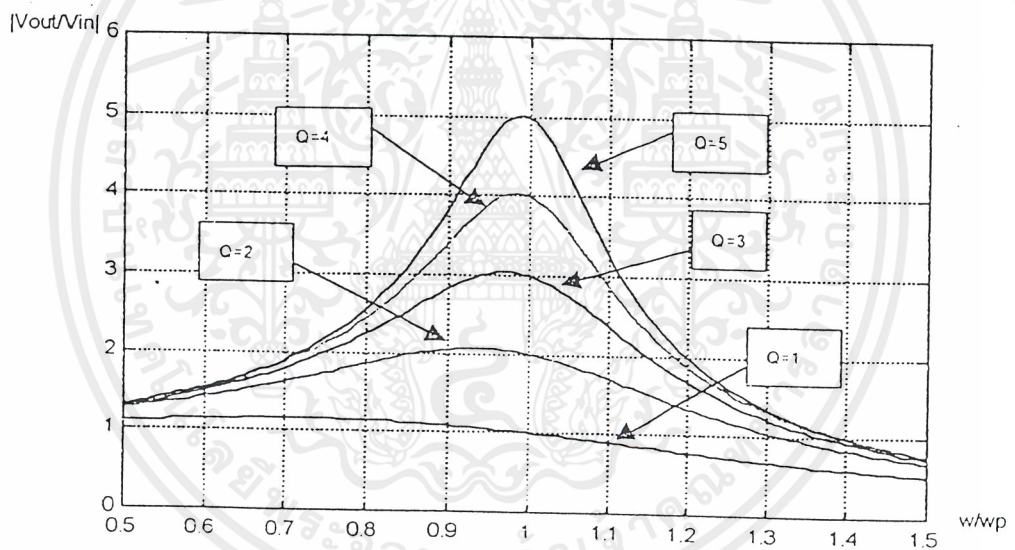


รูปที่ 3.7 ทราจเฟอ์ฟังก์ชัน และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนท์ของวงจรเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด (SLR) โดยมีค่า $Q = 1-5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^2 \right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_p Q_p} \right)^2}}$$

โดยที่ $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC_p}}$ และ $Q_p = \frac{R}{\omega_p L} = \omega_p C_p R$



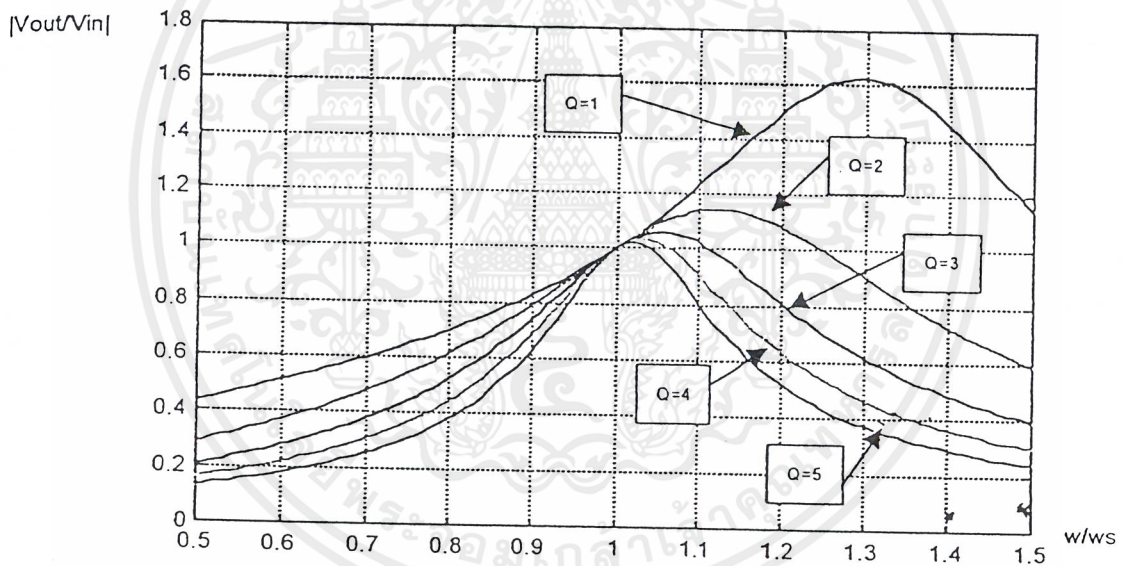
รูปที่ 3.8 ทราจเฟอ์ฟังก์ชัน และกราฟแสดงควมสัมพันธ์ระหว่งอัตราขยายเทียบกับควมถี่เรโซแนนท์ชนิดขนานกับโหลด (PLR) โดยมีค่า $Q = 1-5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{C_p}{C_s} - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right)^2 + Q_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)^2}}$$

ทั้งนี้หาก $C_p = C_s$ จะได้สมการใหม่เป็น

$$\left| \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(2 - \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2\right)^2 + Q_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)^2}}$$



รูปที่ 3.9 ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนท์ของวงจรเรโซแนนท์อนุกรม-ขนานกับโหลด โดยมีค่า $Q = 1-5$

จากกราฟทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่าวงจรเรโซแนนท์ทุกแบบจะทำงานเป็นวงจรกรองความถี่ โดยที่ SPL และ SPLR จะเป็นวงจรกรองความถี่แบบช่วง (band-pass filter) ในขณะที่ PLR จะเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ (low-pass filter) ถึงอย่างไรก็ตามจากการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้น จะมีค่าความต้านทานที่สูงมากในขณะที่จุดหลอด และจะมีค่าความต้านทานที่ลดลง เมื่อหลอดอยู่ในสภาวะสมดุลเสถียรภาพ ดังนั้นวงจรที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการจุดหลอด และทำงานแทนบัลลาสต์แบบแมกเนติก จำเป็นต้องเป็นวงจรแปลงกระแสสลับที่การทำงานขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่ กล่าวคือต้องให้แรงดันด้านเอาท์พุทที่สูงมากพอในขณะที่จุดหลอด และลดลงเมื่อหลอดทำงานในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพปกติ ทั้งนี้เมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงนั้นจะเสมือนว่าเป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว ต่างจากการทำงานที่ความถี่ต่ำที่โหลดมีความต้านทานในหลายรูปแบบต่อรวมกันทั้งตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และความต้านทาน

จากรูปที่ 3.7 พอดีกล่าวได้ว่าวงจรพื้นฐาน SLR นั้นมีลักษณะที่เป็นวงจรแปลงกระแสสลับที่ขึ้นอยู่กับการโหลดที่ต่ออยู่ที่ความถี่ที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าความถี่เรโซแนนท์ ω_s และสามารถปรับค่าแรงดันเอาต์พุตได้โดยการควบคุมความถี่ในการทำงานด้านอินพุต นอกจากนี้สังเกตได้ว่าที่ Q_s มีค่ามากนั้นวงจรสามารถให้แรงดันเอาต์พุตในช่วงตั้งแต่ 0 จนกระทั่งถึงแรงดันอินพุต V_i ได้ โดยการปรับความถี่ด้านเข้าเพียงเล็กน้อยในช่วงแคบ แต่ในขณะที่ค่า Q_s น้อย ($Q_s \leq 1$) การปรับค่าแรงดันเอาต์พุตต้องปรับแต่งความถี่ด้านอินพุตในช่วงที่กว้างมากกว่า และคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในวงจรนี้ คือ ค่าเกนที่สูงสุดจะไม่เกิน 1 ซึ่งจะหมายความว่า การนำวงจรนี้มาประยุกต์ใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น แรงดันอินพุตต้องมีค่ามากกว่าแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือมีเช่นนั้นอาจจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงปรับแรงดันให้สูงขึ้นมาช่วยในการจุดหลอด

จากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าวงจรพื้นฐาน PLR ก็เป็นวงจรที่ขึ้นอยู่กับการที่ต่ออยู่ ณ ความถี่เรโซแนนท์ ω_p ซึ่งจะเห็นว่าค่า Q_p นั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความต้านทานของโหลด ดังนั้นจากคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าสูงพอในการจุดหลอด เนื่องจากในสภาวะนี้ความต้านทานหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าสูงมาก หลังจากนั้นค่าแรงดันก็จะต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต้านทานของหลอดลดลงเมื่อหลอดเข้าสู่สภาวะภาพ ฉะนั้นสามารถนำวงจรนี้มาประยุกต์ใช้งาน โดยที่แรงดันอินพุตมีค่าต่ำได้

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าวงจรพื้นฐาน SPLR ก็เป็นวงจรที่ขึ้นอยู่กับการที่ต่ออยู่ ณ ความถี่ที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนท์แต่ถึงอย่างไรก็ตาม หากแรงดันอินพุตมีค่าแรงดันต่ำ ก็อาจทำให้แรงดันทางเอาต์พุตมีไม่พอในการจุดหลอด ซึ่งอาจต้องพึ่งหม้อแปลงในการปรับแรงดันเข้าช่วยในการจุดหลอด

โดยสรุปแล้วจะเห็นว่าหากมีการนำวงจรพื้นฐานเรโซแนนท์มาประยุกต์เป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีแรงดันอินพุตค่อนข้างต่ำแล้ว วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรมชนิดขนานกับโหลด (PLR) จะเหมาะสมมากที่สุด

บทที่ 4

หลักการที่ใช้ในการพัฒนามาตรฐานความปลอดภัยอิเล็กทรอนิกส์

หลักการ หรือแนวทางในการพัฒนามาตรฐานมีหลายหลักการ สำหรับโครงการนี้จะมุ่งเน้นในเรื่องการลดสัญญาณรบกวน EMI และการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง ให้กับวงจรความปลอดภัยอิเล็กทรอนิกส์ โดยรายละเอียดของทั้งสองหลักการนี้มีดังนี้

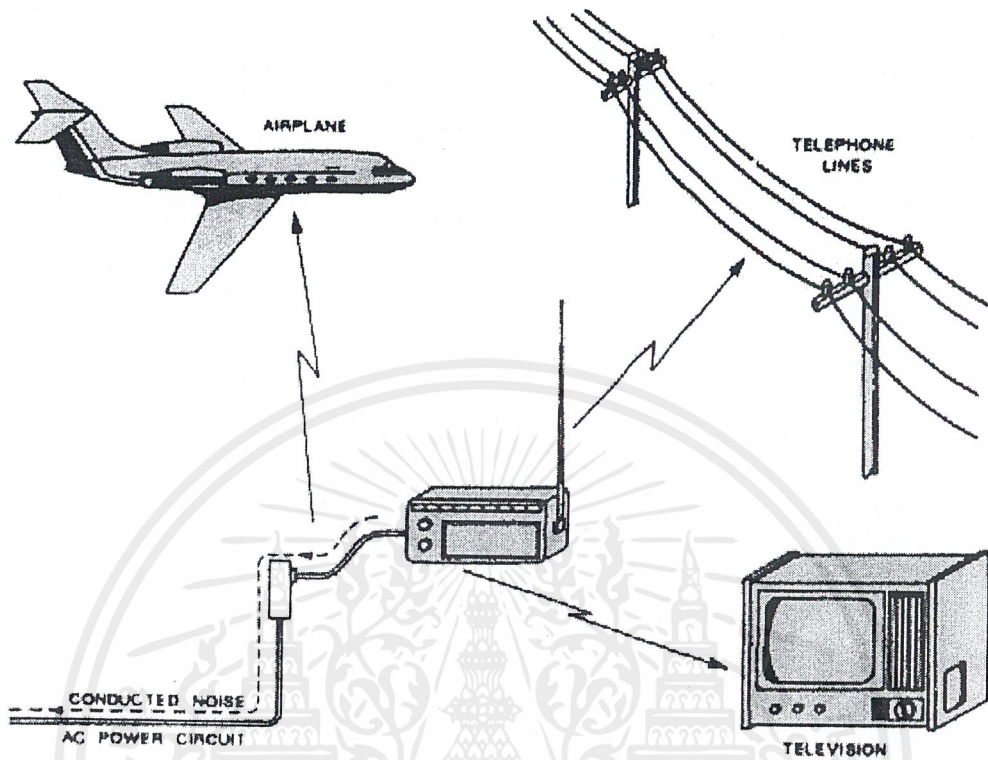
4.1 สัญญาณรบกวน EMI

ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน EMI เป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่ง ที่ผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ตลอดจนคอมพิวเตอร์ทุกรายจะต้องหันมาให้ความสำคัญมากขึ้น นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการใช้เครื่องมือสื่อสาร และอุปกรณ์ที่ควบคุมโดยรีโมทคอนโทรลกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นที่รู้กันว่าสัญญาณรบกวน EMI จะรบกวนการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้น ซึ่งเราสามารถแบ่งปัญหาที่เกิดจากสัญญาณรบกวน EMI เป็น 2 ลักษณะ นั่นคือ ปัญหาในเรื่องการปล่อยสัญญาณรบกวนออกจากอุปกรณ์ (Emission) และปัญหาในเรื่องการคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่มาจากอุปกรณ์อื่น (Immunity)

ดังนั้น หากประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่การแข่งขันในเวทีการค้าโลก ในด้านอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานในเรื่องความเข้ากันได้ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือที่เรียกกันว่า EMC (Electromagnetic compatibility) ซึ่งการพัฒนาอุปกรณ์ให้ผ่านมาตรฐาน EMC นั้นจะต้องอาศัยความรู้ในการลดสัญญาณรบกวน EMI และการศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงการเกิด EMI ก็เป็นหนทางที่จะนำไปพัฒนาให้เกิดเทคนิค วิธีในการลดสัญญาณรบกวน EMI นี้ได้

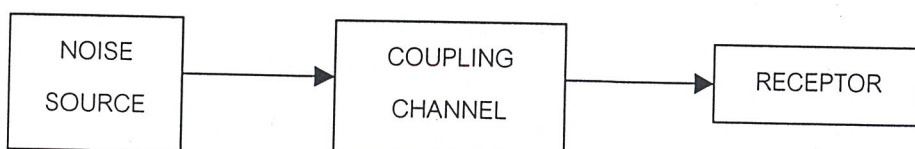
4.1.1. ความหมายและการเกิดสัญญาณรบกวน EMI

EMI (Electromagnetic Interference) เป็นสัญญาณรบกวนชนิดหนึ่งที่อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สัญญาณรบกวน EMI นี้จะสามารถไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ได้โดยการนำพามาตามสายตัวนำ (Conducted EMI) หรือการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์ (Radiated EMI) ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณรบกวน EMI ทั้งที่นำพามาตามสายตัวนำ และที่เกิดจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าเองออกไปรบกวนอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียง จากตัวอย่างทั้ง 3 รูปนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าปัญหาสัญญาณรบกวนนั้นประกอบด้วยปัจจัย 3 ประการ คือ

1. Noise Source เป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวน
2. Receptor เป็นตัวรับสัญญาณรบกวน
3. Coupling Channel เป็นตัวส่งผ่านสัญญาณรบกวนจาก Source ไปยัง Receptor โดยความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ปัจจัย สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 ประการที่มีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวน EMI เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Noise Source นั้นมีมากมาย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. แหล่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

(Natural electromagnetic interference sources)

ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน มีการใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมามากมาย จึงไม่น่าแปลกใจเลยที่พบว่าทั่วพื้นผิวโลกของ ารปกคลุมไปด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ได้แก่ สนามไฟฟ้าและแม่เหล็กที่มีความถี่ต่ำ แสงสว่าง เพราะแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งด้วย และสนามความถี่สูง

2. แหล่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์

(Man-made electromagnetic interference sources)

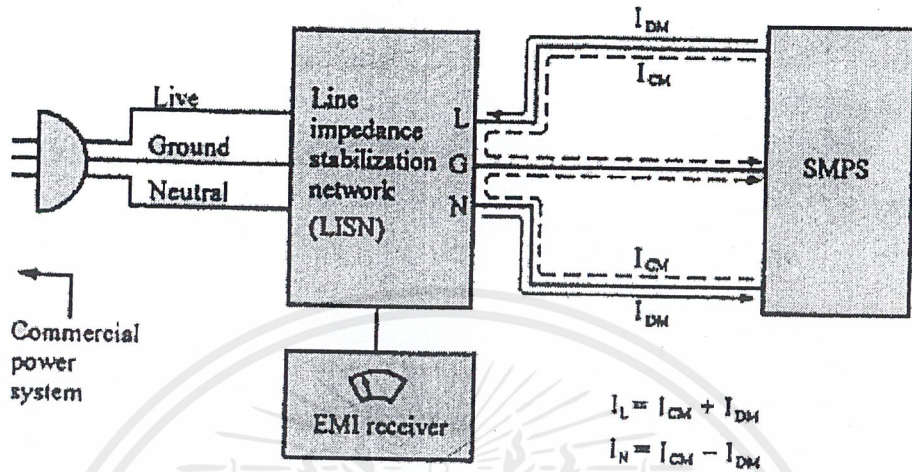
ได้แก่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมา เพื่อใช้อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ส่งคลื่นวิทยุ, เครื่องใช้ไฟฟ้าทำความร้อน, อุปกรณ์ที่มีการส่งสัญญาณและการประมวลผลแบบดิจิทัล, ระบบไฟฟ้ากำลัง, อุปกรณ์ที่มีการสวิตซ์ซึ่ง (Switching) , อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านิวเคลียร์ อุปกรณ์เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดสัญญาณรบกวน EMI ทั้งสิ้น

นอกจากอุปกรณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังรวมไปถึงกิจกรรมการสำรวจต่าง ๆ (Surveys of electromagnetic environment) ได้แก่ พวกคลื่น สัญญาณที่ใช้ในการสำรวจต่าง ๆ เช่น การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสำรวจทางธรณีวิทยา เป็นต้น ซึ่งคลื่นเหล่านี้จะเป็นคลื่นที่มีความถี่สูงมาก และทำให้เกิดสัญญาณรบกวน EMI

โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งสัญญาณรบกวน EMI เป็น 2 ประเภท ตามทางเดินกระแสของสัญญาณรบกวน นั่นคือ

- 1) ดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential-Mode : DM)
- 2) คอมมอนโหมด (Common-Mode : CM Conducted EMI)

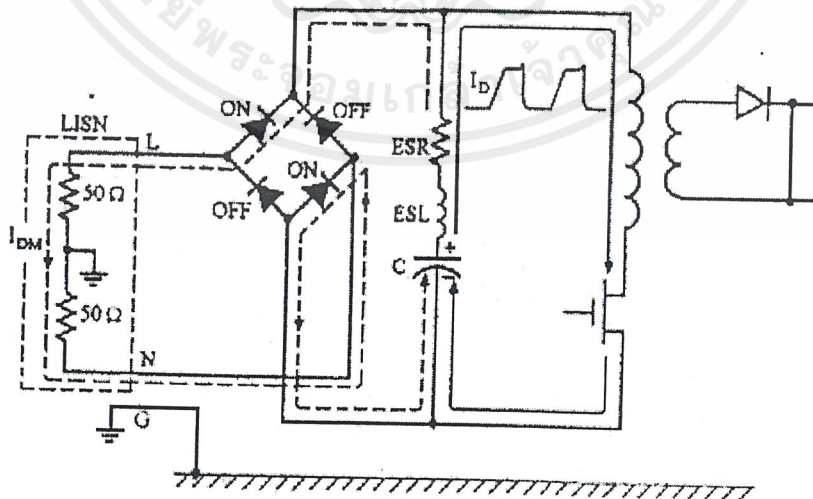
ซึ่งการแบ่งสัญญาณรบกวน EMI ออกเป็น 2 ประเภทนี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการใช้เทคนิคหรืออุปกรณ์ในการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.3 โดย ดิฟเฟอเรนเชียลโหมด และคอมมอนโหมด มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงทิศทางการไหลของกระแสที่เกิดจากดิฟเฟอเรนเชียลโหมด และ คอมมอนโหมด

1) ดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

จะทำให้เกิดกระแสรบกวนดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential – Mode : DM interference currents) เป็นกระแสไหลเวียนระหว่างสายตัวนำ (Line) กับสายนิวทรัล (Neutral) โดยที่สายทั้งสองจะต้องมีขนาดแมกนิจูดเท่ากัน แต่มีเฟสตรงข้ามกัน

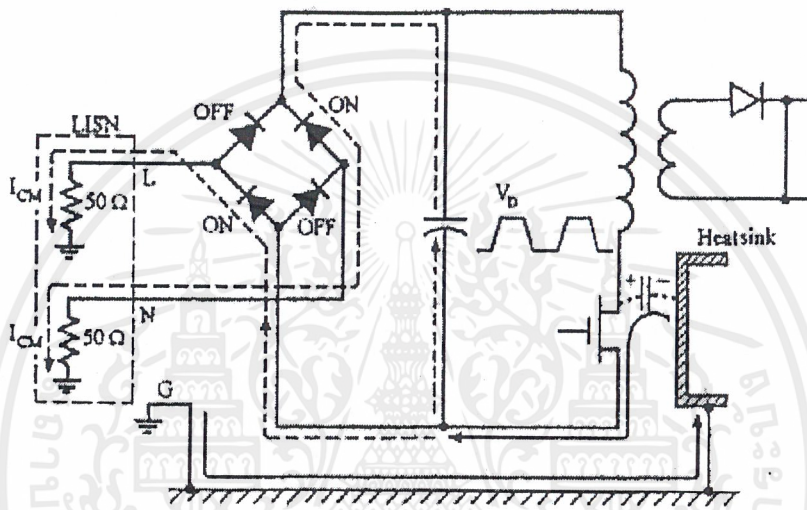


รูปที่ 4.4 แสดงทิศทางของกระแสดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คอมมอนโหมด

จะทำให้เกิดกระแสรบกวนคอมมอน โหมด (Common – Mode :CM interference currents) เป็นกระแสไหลเวียนระหว่าง Line กับ Ground และระหว่าง Neutral กับ Ground โดยมีขนาดแมกนิจูดเท่ากัน มีเฟสเดียวกัน



รูปที่ 4.5 แสดงทิศทางของ Common – Mode (CM) Conducted EMI

4.1.2 สัญญาณรบกวน EMI ที่เกิดจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 นั่นคือ วงจรเรียงกระแส วงจรสวิตซ์ซิ่ง และวงจรเรโซแนนท์ ซึ่งจัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ระบบ Switched – Mode Power Supply (SMPS) นั่นคือมีการแปลงไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง (วงจรเรียงกระแส) และแปลงไฟกลับจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ (วงจรสวิตซ์ซิ่ง) ซึ่งการแปลงสัญญาณไฟฟ้าและการสวิตซ์ที่ความถี่สูงนั้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณรบกวน EMI ขึ้น

ในการใช้งานอุปกรณ์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในบ้านนั้น จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (อย่างน้อยจะต้องได้ตามมาตรฐานของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์แสงสว่าง) เพื่อป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนที่สาย (Conducted Noise) ไปรบกวนอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้แหล่งจ่ายร่วมกัน รวมทั้งป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์ (Radiated Noise) ไปรบกวนอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง

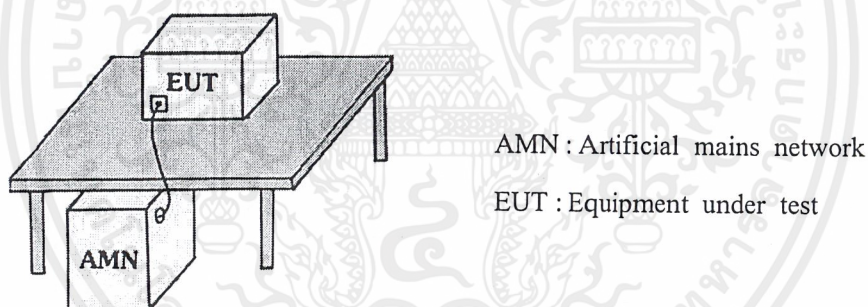
4.1.3 การทดสอบสัญญาณรบกวน EMI

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ปัญหาที่เกิดจากสัญญาณรบกวน EMI สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ นั่นคือ ปัญหาในเรื่องการปล่อยสัญญาณรบกวนออกจากอุปกรณ์ และปัญหาในเรื่องการคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่มาจากอุปกรณ์อื่น ซึ่งในการทดสอบนั้นก็จะมี 2 ลักษณะตามนั้นด้วย

โดยในที่นี้จะเน้นในเรื่องของการปล่อยสัญญาณรบกวนออกจากตัวอุปกรณ์ โดยจะแบ่งย่อยลงไปอีกเป็น 2 แบบ คือ

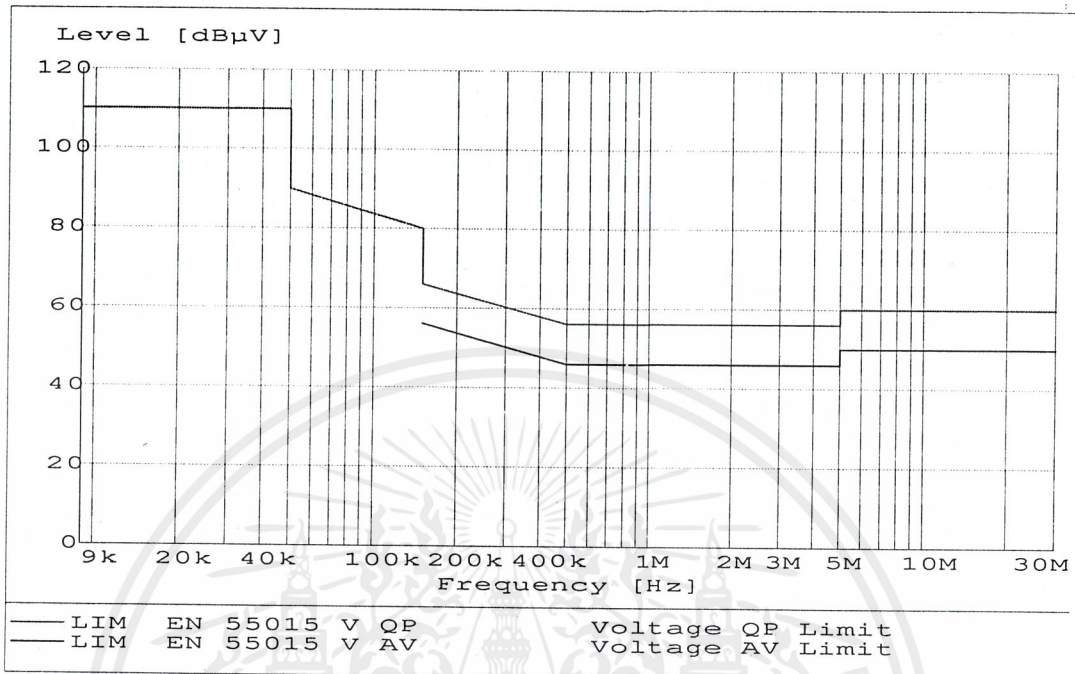
1) การวัดสัญญาณรบกวนที่สาย (Conducted Noise Measurement)

เป็นการทดสอบหาระดับความแรงของสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำพามาตามสายตัวนำ การวัดวิธีนี้จะต้องทำการวัดในห้องชิลด์ ที่มีการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมทั้งคลื่นวิทยุจากภายนอก ไม่ให้มารบกวนภายใน โดยมีการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่เราต้องการทดสอบเข้ากับอุปกรณ์อื่น ๆ ดังรูป



รูปที่ 4.6 แสดงการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดสอบสัญญาณรบกวนที่สาย

ในการทดสอบบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น เลือกใช้มาตรฐาน CISPR 15 (EN55015) ซึ่งเป็นมาตรฐานยุโรปที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์แสงสว่าง โดยมีเส้นแสดงมาตรฐานดังรูป

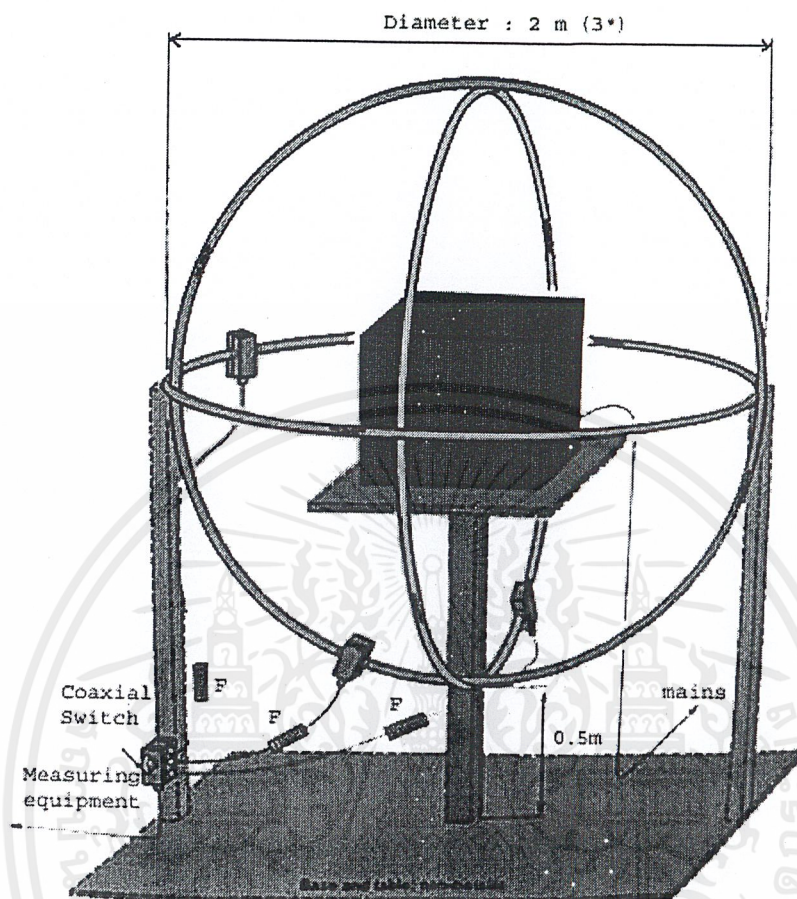


QP Limit line		AV Limit line	
Frequency (kHz)	Level (dBµV)	Frequency (kHz)	Level (dBµV)
9.000	110.00	0.150000	56.00
50.000	110.00	0.500000	46.00
50.000	90.00	5.000000	46.00
150.000	80.00	5.000000	50.00
150.000	66.00	30.000000	50.00

รูปที่ 4.7 แสดงเส้นกราฟกำหนดมาตรฐานของการวัดด้วยมาตรฐาน CISPR 15

2) การวัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์ (Radiated Noise Measurement)

ใช้สำหรับทดสอบหาระดับสัญญาณรบกวนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากอุปกรณ์แสงสว่างตามมาตรฐาน CISPR 15 โดยเครื่องมือทดสอบจะตรวจนับสนามแม่เหล็กความถี่ต่ำในแนวแกน X, แกน Y และ แกน Z ความถี่ตั้งแต่ 9 kHz ถึง 30 MHz เครื่องมือวัด (สายอากาศ Large Loop) ชุดนี้ประกอบด้วยกันทั้งหมด 3 วง คือวงที่อยู่ในแนวแกน X, แกน Y และ แกน Z คุณสมบัติของสายอากาศเหล่านี้จะเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน CISPR 15



F : ferite absorber
 Test set-up for measuring magnetic feilds in
 X, Y and Z direction

รูปที่ 4.8 แสดงการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดสอบสัญญาณรบกวน
 ที่เกิดจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอุปกรณ์

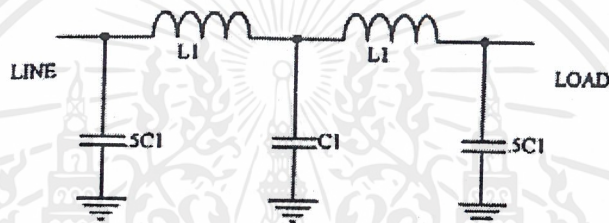
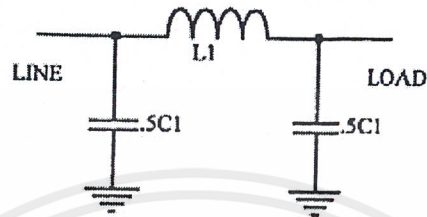
4.1.4 การลดสัญญาณรบกวน EMI

จากทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าการลดสัญญาณรบกวน EMI เป็นสิ่งที่จำเป็น
 ซึ่งการลดสัญญาณรบกวน EMI นั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1) การใช้วงจรกรองสัญญาณ EMI

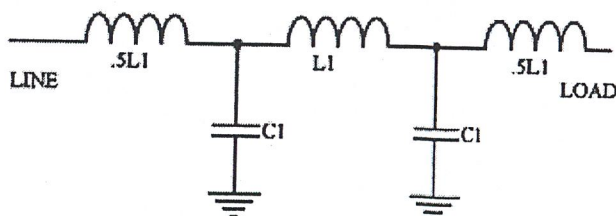
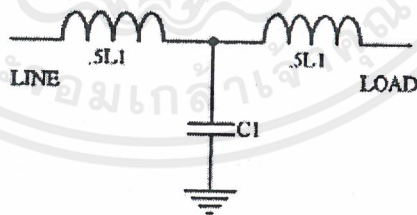
วงจรที่ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวน EMI ที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน มีหลายแบบ
 เช่น

- วงจรกรองแบบพาย (Π-Filter) วงจรชนิดนี้สามารถกรอง EMI ได้ดี รวมทั้งมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา แต่ค่าของ L ที่ใช้ในวงจรต้องมีขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันการเกิดการอิมพัลส์ และ C1 จะต้องมีค่ามากเป็น 2 เท่าของ C2



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรกรองแบบพายทั้งแบบธรรมดาและมัลติเพิล (Multiple)

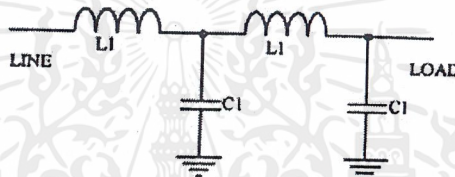
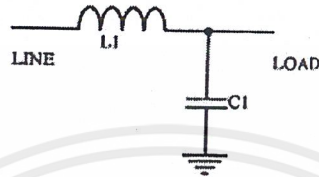
- วงจรกรองแบบที (T-Filter) ใช้ได้ดีกับวงจรที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ๆ (กระแสมีค่าสูง) โดยมีลักษณะวงจร ดังรูป



รูปที่ 4.10 แสดงวงจรกรองแบบทีทั้งแบบธรรมดาและแบบมัลติเพิล

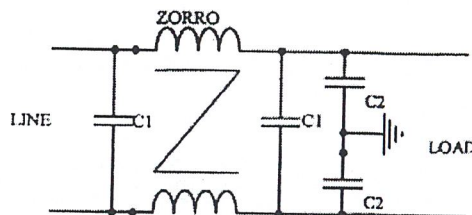
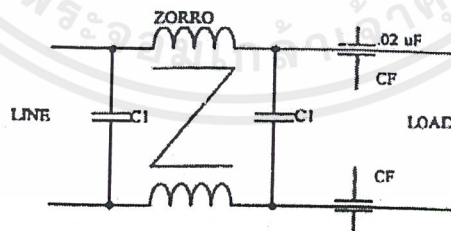
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรกรองแบบแอล (L-Filter) วิธีนี้เป็นที่นิยมมากที่สุด โดยจะมีทั้งแบบซิงเกิล L (มี L ในวงจรเพียงตัวเดียว) และแบบมัลติเฟิล L (มี L ในวงจรหลายตัว) แบบซิงเกิล L นั้นใช้ได้ดีเมื่อโหลดมีตัวสวิตช์ซึ่งอยู่ เนื่องจากค่า L จะช่วยจัดการกับแหล่งจ่ายไฟตรง ในขณะที่ C จะช่วยลดค่าอิมพีแดนซ์ให้ต่ำลงสำหรับความถี่ของการสวิตช์ วงจรกรองชนิดนี้มีการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรกรองแบบแอลทั้งแบบธรรมดาและแบบมัลติเฟิล

- วงจรกรองแบบไทป์คอลคอมเมอร์เชียล (Typical Commercial Filter) อุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรแบบนี้จะถูกออกแบบขึ้น เพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งดิฟเฟอเรนเชียลโหมดและคอมมอนโหมดให้เหลือน้อยที่สุด และป้องกันไม่ให้ส่งผ่านออกไปยังภายนอกได้ รวมทั้งจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนจากภายนอก (Conducted EMI) เข้ามารบกวนการทำงานของอุปกรณ์ในวงจรด้วย โดยมีการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรไทป์คอลคอมเมอร์เชียลฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงการนี้ เลือกทดลองใช้วงจรกรองแบบแอล เพราะความเหมาะสมในเรื่องขนาดของวงจร คุณสมบัติในการลด EMI และนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติสอดคล้องกับการพัฒนาวงจรของเราในด้านค่าประกอบกำลังด้วย

2) การออกแบบลายปริ้นท์

โดยทั่วไปแล้วหลักการที่ใช้ในการออกแบบลายปริ้นท์เพื่อลดสัญญาณรบกวน EMI มีข้อจำกัดและรายละเอียดมากมาย แต่เนื่องจากวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นวงจรที่มีขนาดเล็ก ดังนั้น หลักการง่าย ๆ ที่พอจะนำมาประยุกต์ใช้ได้ ได้แก่ การออกแบบให้สายเส้นคมชัดและมีขนาดเส้นพอกเหมาะกับกระแส ควรออกแบบให้มีความยาวของสายสั้นที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ และหลีกเลี่ยงการเดินเส้นที่ทำให้เกิดมุมแหลมที่มีขนาดมุมต่ำกว่า 90 องศา เนื่องจากสายเส้นที่มีลักษณะเป็นมุมแหลมจะเป็นเสมือนจุดรวมและส่งสัญญาณรบกวนออกมา นอกจากนี้ส่วนประกอบของวงจร ที่ทำหน้าที่ในการแปลงกระแส ซึ่งก็คือส่วนของวงจรเรียงกระแส และวงจรสวิตซ์ซึ่ง ควรจัดวางให้อยู่ใกล้กันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อป้องกันการส่งสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน

4.2 กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลัง (Power and Power Factor)

โดยปกติแล้ว เราจะสามารถใช้กำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคัมค่าที่สุด ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้นั้นมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นความต้านทานบริสุทธิ์ เนื่องจากจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์ และมีมุมเฟสตรงกันกับแรงดัน แต่ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีการใช้วงจรบริดจ์เรียงกระแส แปลงสัญญาณจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง เช่น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านไม่เป็นสัญญาณไซน์จึงทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าที่ได้รับไม่เกิดประโยชน์สูงสุด

ดังนั้นลำดับต่อไปในปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ ขอกล่าวถึงการใช้กำลังไฟฟ้าที่สัญญาณไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ และค่าตัวประกอบกำลังที่เกิดขึ้น รวมทั้งวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

4.2.1 การแสดงรูปคลื่นที่เป็นฟังก์ชันเป็นคาบ (Periodic function) ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier series)

รูปคลื่นที่มีลักษณะไม่เป็นสัญญาณไซน์แต่เป็นฟังก์ชันเป็นคาบ (Periodic function), $f(t)$ นั้น เราสามารถแสดงได้ตามสมการ (4.2.1) สำหรับเวลา t , ค่าบวกและค่าลบและคาบเวลา T , ค่าบวกสามารถแสดงได้ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์แบบตรีโกณมิติตามสมการ (4.2.2)

$$f(t+T) = f(t) \quad (4.2.1)$$

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (4.2.2)$$

โดย

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt \quad \omega = 2\pi f_1$$

f_1 คือ ความถี่หลักมูล (Fundamental frequency) โดยที่ $f_1 = 1/T$

a_0 คือ ค่าเฉลี่ย

a_n, b_n คือ ขนาดสูงสุดของรูปคลื่นเป็นรูปสัญญาณรูปโคไซน์และรูปสัญญาณรูปไซน์ ที่ค่าความถี่เป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์ f_n , อันดับที่ n ตามลำดับ โดย $f_n = nf_1$ และ $n = 1, 2, 3, \dots$

รูปคลื่นรูปไซน์ และรูปคลื่นรูปโคไซน์ที่ค่าความถี่เท่ากันสามารถรวมกันเป็นอนุกรมรูปคลื่นรูปโคไซน์ดังแสดงตามสมการ (4.2.3)

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega t - \phi_n) \quad (4.2.3)$$

โดย

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \phi_n = \tan^{-1}(b_n/a_n)$$

ϕ_n คือ มุมเฟสแตกต่างระหว่างรูปคลื่นรูปไซน์และรูปคลื่นรูปโคไซน์ที่ค่าความถี่เป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n โดย $n = 1, 2, 3, \dots$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่เวลาใดๆ , $v(t)$ และกระแสไฟฟ้าที่เวลาใดๆ , $i(t)$ ที่มีคุณสมบัติเป็นฟังก์ชันเป็นคาบตามสมการ (4.2.1) จะสามารถแสดงได้ด้วยอนุกรมฟูริเยร์ตามสมการ (4.2.4)

$$\begin{aligned} v(t) &= V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{rms,(n)} \cos(n\omega t - \phi_{v(n)}) \\ i(t) &= I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{rms,(n)} \cos(n\omega t - \phi_{i(n)}) \end{aligned} \quad (4.2.4)$$

โดย $V_0, I_0 = a_0$ $V_{rms(n)}, I_{rms(n)} = \frac{C_n}{\sqrt{2}}$

$$\phi_{v(n)}, \phi_{i(n)} = \tan^{-1} \frac{b_n}{a_n}$$

V_0, I_0 คือ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

$V_{rms(n)}, I_{rms(n)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่มีค่าความถี่เป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n

$\phi_{v(n)}, \phi_{i(n)}$ คือ มุมเฟสแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสแตกต่างของกระแสไฟฟ้าที่ค่าความถี่เป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n

4.2.2 ค่ารวมของความเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonic Distortion)

ค่ารวมของความเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonic Distortion) นั้น สามารถแสดงได้ดังสมการ (4.2.5)

$$\begin{aligned} \%THD_v &= \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{rms,(1)}^2}}{V_{rms,(1)}} \times 100\% \\ \%THD_i &= \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{rms,(1)}^2}}{I_{rms,(1)}} \times 100\% \end{aligned} \quad (4.2.5)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{V_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{rms,(n)}^2} \\ I_{rms} &= \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{rms,(n)}^2} \end{aligned} \quad (4.2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{rms}, I_{rms} คือ ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและกระแสไฟฟ้าของสัญญาณที่ไม่เป็นรูปไซน์

และจากสมการ (4.2.5) เราสามารถแสดงค่าของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่หลักคูณได้ดังสมการ (4.2.7)

$$V_{rms(1)} = V_{rms} / \sqrt{1 + \left[\frac{\%THD_v}{100} \right]^2}$$

$$I_{rms(1)} = I_{rms} / \sqrt{1 + \left[\frac{\%THD_i}{100} \right]^2}$$
(4.2.7)

4.2.3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ไม่เป็นสัญญาณรูปไซน์

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P_{av}) คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่เวลาใดๆ, $p(t)$, ซึ่งเกิดจากผลคูณของ $v(t)$ และ $i(t)$ ดังแสดงได้ตามสมการ (4.2.8) และ (4.2.9)

$$p(t) = v(t)i(t)$$
(4.2.8)

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt$$
(4.2.9)

สำหรับ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ไม่เป็นสัญญาณไซน์นั้นสามารถแสดงได้ดังสมการ (4.2.10)

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T \left(V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{rms,(n)} \cos(n\omega t - \phi_{v(n)}) \right) \left(I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{rms,(n)} \cos(n\omega t - \phi_{i(n)}) \right) dt$$
(4.2.10)

แต่เนื่องจากค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ต่างกันนั้นเป็นศูนย์ ในขณะที่ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ที่ค่าความถี่เดียวกันนั้นไม่เป็นศูนย์ จึงสามารถแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ดังสมการ (4.2.11)

$$P_{av} = V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{rms,(n)} I_{rms,(n)} \cos(\phi_{v(n)} - \phi_{i(n)})$$
(4.2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของพลังงานความร้อน พลังงานแสง และพลังงานกล รวมทั้งพลังงานที่สูญเสียไปกับตัวอุปกรณ์นั้นๆ ด้วย ดังนั้น จากสมการที่ (4.2.11) ถ้าเราต้องการนำกำลังไฟฟ้านั้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด จะต้องให้แรงดันและกระแสไฟฟ้านั้นมีความถี่เดียวกันและอยู่ที่ความถี่มูลฐาน คือ ไม่มีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยและแรงดันไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ กระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ไม่มีส่วนช่วยสร้างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้ แต่กลับเพิ่มขนาดของกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองการใช้กระแสไฟฟ้าโดยไร้ประโยชน์

4.2.4 ตัวประกอบกำลังในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปสัญญาณรูปไซน์และกระแสไฟฟ้าไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์

ในการวัดว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับ จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้น ได้ถูกใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใดนั้น เราอาจนำค่าของตัวประกอบกำลังมาเป็นตัวพิจารณาได้โดยสามารถแสดงค่าของตัวประกอบกำลังได้ดังสมการ (4.2.12)

$$pf = \frac{P_{av}}{P_{app}} \quad (4.2.12)$$

โดย P_{av} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในหน่วยวัตต์ (W)

P_{app} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏในหน่วยโวลต์-แอมแปร์ (VA)

กำลังไฟฟ้าปรากฏ คือ กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตที่ได้รับจากแหล่งกำเนิด และเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้กำหนดพิคค่ากำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าหนึ่งๆ ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้ได้ กำลังไฟฟ้านี้มีขนาดเท่ากับผลคูณของแรงดันไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์และกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปสัญญาณรูปไซน์ที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยแต่กระแสไฟฟ้าไม่เป็นรูปสัญญาณรูปไซน์ที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย โดยค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.2.11)

$$P_{av} = V_{rms,(1)} I_{rms,(1)} \cos(\phi_{v(1)} - \phi_{i(1)}) \quad (4.2.13)$$

แทน P_{av} จากสมการ (4.2.13) ลงในสมการ (4.2.12) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 pf &= \frac{V_{rms,(1)} I_{rms,(1)} \cos(\phi_{v(1)} - \phi_{i(1)})}{V_{rms,(1)} I_{rms}} \\
 &= \frac{I_{rms,(1)}}{I_{rms}} \cos(\phi_{v(1)} - \phi_{i(1)}) \\
 &= k_d k_\phi
 \end{aligned} \tag{4.2.14}$$

โดยที่ $k_d = \frac{I_{rms,(1)}}{I_{rms}}$ $k_\phi = \cos(\phi_{v(1)} - \phi_{i(1)})$

k_d คือ ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion factor)

k_ϕ คือ ตัวประกอบการกระจัด (Displacement factor)

จากสมการ (4.2.7) เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง k_d และ %THD_i ได้ดังสมการ (4.2.15)

$$k_d = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{\%THD_i}{100} \right]^2}} \tag{4.2.15}$$

จากสมการ (4.2.14) จะเห็นว่าค่าตัวประกอบกำลังนั้น ไม่ใช่มีแค่ตัวประกอบการกระจัดเท่านั้น ยังมีค่าของตัวประกอบความเพี้ยนซึ่งเกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์อีกด้วย ดังนั้นหากเราต้องการให้ใช้กำลังไฟฟ้าด้านอินพุทให้เกิดประโยชน์สูงสุด เราต้องทำให้กระแสทางด้านอินพุทไม่มีฮาร์โมนิกส์อยู่เลย ($k_d = 1$) และทำให้กระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุทที่ค่าความถี่หลักมูลมีเฟสตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ค่าความถี่หลักมูล ($k_\phi = 1$) ซึ่งก็คือ การทำให้ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุทให้มีค่าเป็นหนึ่ง ($pf = 1, P_{av} = P_{app}$) นั่นเอง

4.2.5 วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุทของวงจร

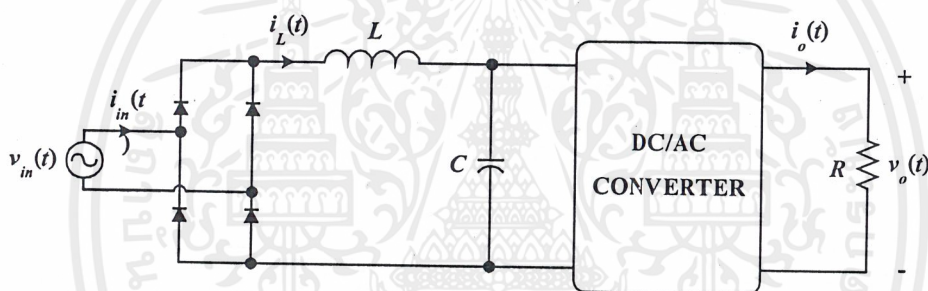
หากอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่าหนึ่งหลายๆ ควรที่จะต้องมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าเท่ากับหรือมีค่าเข้าใกล้ หนึ่งมากที่สุด โดยวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1) วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุทแบบวิธีพาสซีฟ (Passive Filter)

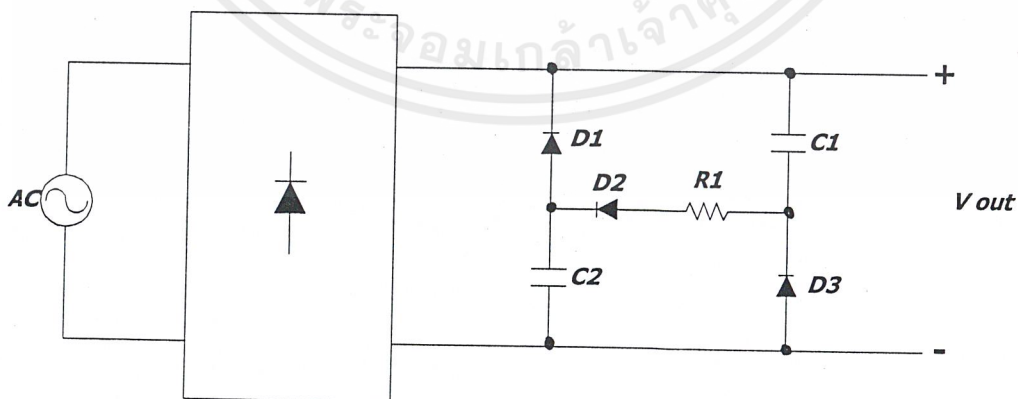
คือ การใช้อุปกรณ์รีแอคทีฟไฟใส่เข้าไปในวงจรเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น เช่น การสร้างวงจรกรองแบบ LC (ดังรูปที่ 4.13) วงจรกรองแบบที่ใช้ทั้ง RC และ $Diode$ (ดังรูปที่ 4.14) โดยวงจรกรองทั้งสองแบบนี้สามารถให้อยู่ทางด้านหน้าของวงจรบริดจ์ (ด้านกระแสไฟฟ้าสลับ) หรืออยู่ต่อจากวงจรบริดจ์ (ด้านกระแสไฟฟ้าตรง) ก็ได้

ข้อดี คือ การออกแบบสร้างวงจรทำได้ง่าย วงจรเสียบ่อยาก การทำงานของวงจรเชื่อถือได้ และไม่สร้างการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ความถี่สูง

ข้อเสีย คือ ถ้าอุปกรณ์ที่ใช้ในนั้นต้องการกำลังไฟฟ้ามาก มีขนาดใหญ่ ก็จะต้องใช้ค่าความเหนี่ยวนำมาก ส่งผลให้ขดลวดเหนี่ยวนำมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและราคาแพง



รูปที่ 4.13 แสดงรูปการปรับปรุงวงจรแบบพาสซีฟ โดยใช้วงจรกรองแบบ LC ต่อกับเอาต์พุทของวงจรบริดจ์



รูปที่ 4.14 แสดงรูปการปรับปรุงวงจรแบบพาสซีฟโดยใช้วงจรกรองแบบ RC และ $Diode$ ต่อกับเอาต์พุทของวงจรบริดจ์

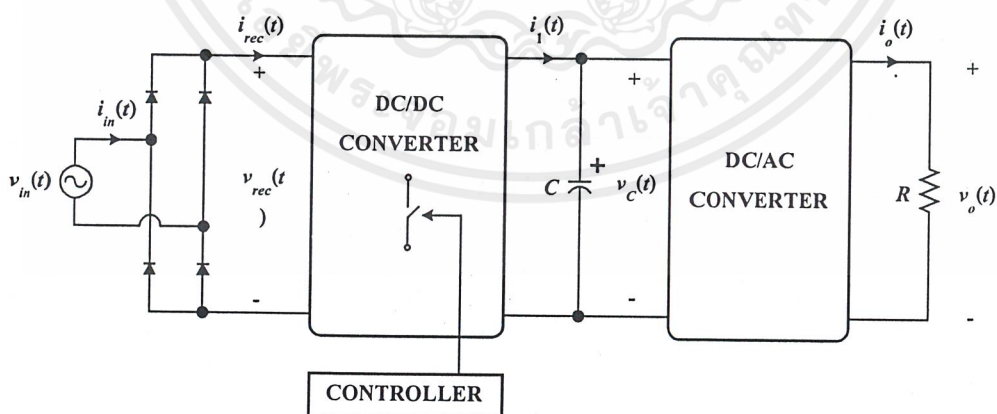
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังทางด้านการเข้าแบบวิธีแอกทีฟ (Active Filter)

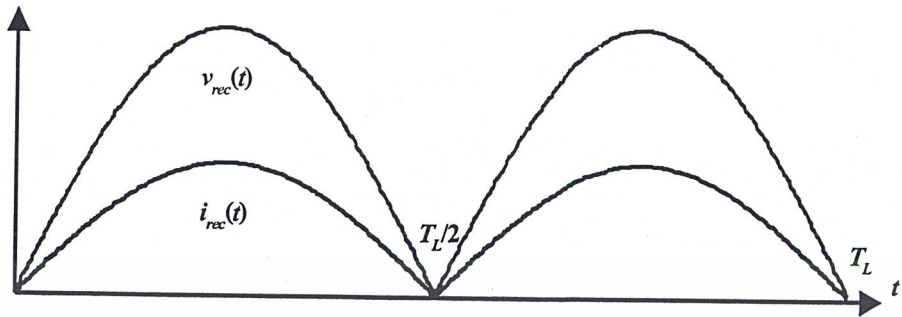
คือ การให้วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC อยู่ระหว่างไดโอดบริดจ์และตัวเก็บประจุไฟฟ้า (ดังรูปที่ 4.15) วงจรควบคุม (Controller) จะทำการควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC ให้มีคุณลักษณะเสมือนกับความต้านทาน (Emulated resistance) ด้วยการควบคุมค่า - วัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของสัญญาณขับอุปกรณ์สวิตช์ที่จะปรับให้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยทางด้านอินพุตที่เวลาใดๆ ของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC , $i_{rec}(t)$, แปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าซึ่งผ่านการเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มลูกคลื่นแล้ว (Full-wave rectified AC line voltage), $v_{rec}(t)$, ในทุก ๆ ครั้ง คาบเวลาของแรงดันไฟฟ้าสลับ , $T_L/2$, และมีมุมเฟสตรงกันดังแสดงในรูปที่ 4.20

ข้อดี คือ ได้ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านการเข้าใกล้เคียงค่าหนึ่งอย่างมากและเกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ต่ำมาก ใช้อุปกรณ์รีแอกทีฟขนาดเล็กเพราะทำงานที่ความถี่ของการสวิตช์ค่าสูงจึงไม่จำเป็นต้องเก็บพลังงานปริมาณมาก สามารถรักษาให้ระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC คงที่แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันและขนาดของโหลด รวมทั้งยังไม่ทำให้เกิดการเลื่อนเฟสของแรงดันและกระแสที่ความถี่หลักมูลอีกด้วย

ข้อเสีย คือ ยุ่งยาก การออกแบบและการควบคุมทำได้ยากลำบาก รวมทั้งจะต้องมีขนาดใหญ่และมีราคาแพงไม่เหมาะกับวงจรที่มีขนาดเล็ก และใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ เช่น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.15 แสดงการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแบบวิธีแอกทีฟ โดยใช้ วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC/DC



รูปที่ 4.16 แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้าเข้า $v_{rec}(t)$ และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า ทางด้าเข้า $i_{rec}(t)$ ของ วงจรปรับรงตัวประกอบกำลังแบบวิธีแอกทีฟ

ทฤษฎีต่าง ๆ ที่กล่าวมาในบทนี้ เป็นแนวทางที่จะนำไปพัฒนางจรบัลลาสต์อเล็กทรอนิกส์ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แต่อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงเสมอ นั่นก็คือ จุดประสงค์ของวงจรบัลลาสต์อเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะนำมาใช้กับหลอดประหยัดไฟ ดังนั้น สิ่งสำคัญที่จะละเลยไม่ได้ก็คือประสิทธิภาพของวงจรมันเอง ซึ่งในโครงการนี้ก็ได้อ้างอิงถึงจุดนี้ด้วย

บทที่ 5

การดำเนินการและขั้นตอนการพัฒนาวงจร

5.1 การศึกษาการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีตามท้องตลาด

ในปฏิญญาฉบับนี้ ได้ทำการเลือกวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่แล้วตามท้องตลาดมา 2 แบบ เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาลักษณะวงจร และเปรียบเทียบการทำงานของทั้งสองแบบ โดยทั้งสองแบบนี้ได้รับความนิยมสูง ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า วงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรตัวอย่างที่ 2

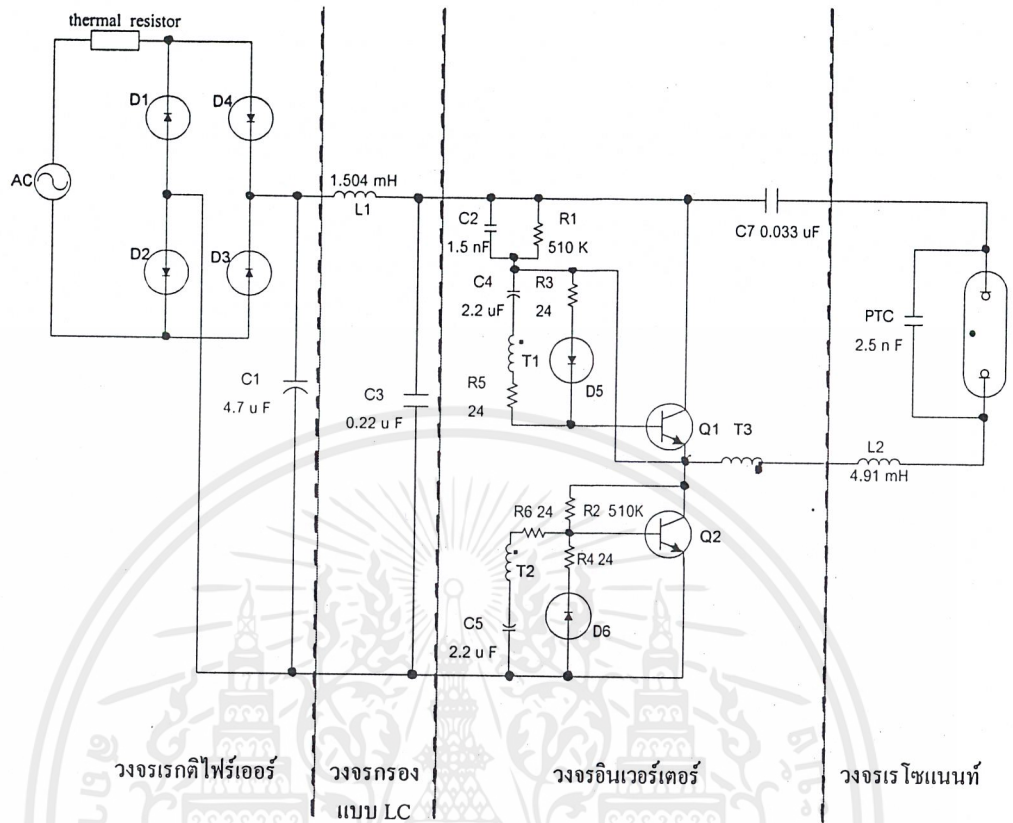
เมื่อได้วงจรของหลอดประหยัดไฟทั้งสองตัวอย่างมาแล้ว ต้องนำลายปริ้นท์ของวงจรทั้งสองมาวาดเป็นภาพวงจรเพื่อความสะดวกในการศึกษาการทำงานของวงจร โดยมีรายละเอียดและภาพวงจรของวงจรตัวอย่างทั้งสองดังนี้

5.1.1 การทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1 มีส่วนประกอบของวงจรตามที่แสดงในรูปที่ 5.1 เมื่อกระแสสลับผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ออกมา จะได้แรงดันเฉพาะที่เป็นด้านบวกแต่ยังไม่เรียบ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำ (L_1 และ C_1) เพื่อกรองกระแสให้เรียบขึ้นได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากจุดนี้ กระแสจะไหลผ่าน C_1 ไปยังหลอดไฟ และผ่านออกมาไปยัง L_2 และขดลวด T_1 เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวด T_1 จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดลวด T_2 โดยมีไหลออกจากขดลวดผ่าน R_6 ไปยังขาเบสของ Q_2 ทำให้ Q_2 ทำงาน (นั่นคือ ขอมให้กระแสไหลผ่านจากขาคอลเล็กเตอร์ออกไปยังขาอีมีตเตอร์) ดังนั้นเมื่อ Q_2 ทำงานจึงทำให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวด T_1 สามารถไหลผ่าน Q_2 ออกไปเข้าวงจรบริดจ์ ณ จุดที่ D_1 ต่อกับ D_2 กระแสไหลวนครบรอบ

กระแสจะไหลวนในลักษณะนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งขดลวด T_2 อิ่มตัวไม่เกิดการเหนี่ยวนำอีกต่อไป ทำให้ไม่มีกระแสไหลไปยังขาเบสของ Q_2 จากนั้น C_1 จะคายกระแสที่ได้สะสมไว้ออกมา โดยมีทิศไหลออกจาก C_1 ผ่าน D_6 , R_4 และ R_6 ไหลผ่านขดลวด T_2 ในทิศทางตรงข้ามกับก่อนหน้านี้วนกลับมายังขั้วลบของ C_1 เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวด T_2 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้กระแสไหลในขดลวด T_1 ในทิศที่ออกจากขดลวด ผ่าน R_5 ไปยังขาเบสของ Q_1 ทำให้ Q_1 ทำงานแทน Q_2

การทำงานของ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันไปดังนี้เรื่อย ๆ



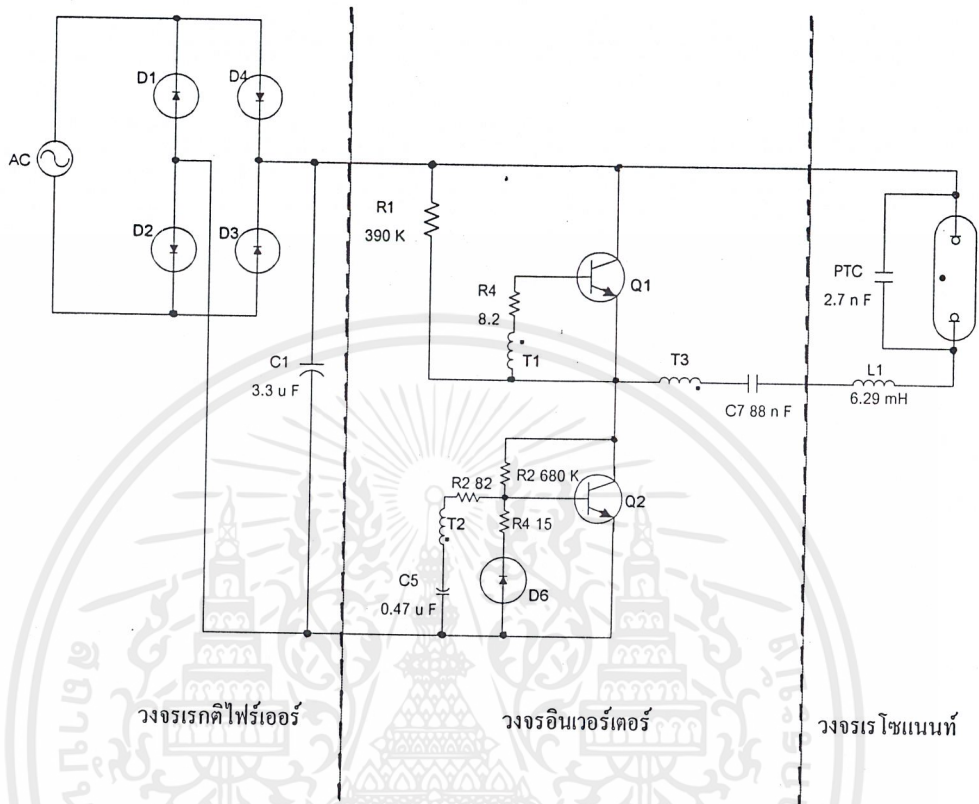
รูปที่ 5.1 แสดงภาพวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1

5.1.2 การทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 2

เมื่อกระแสสลับผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ออกมาจะได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากจุดนี้กระแสจะไหลตรงไปเข้าหลอดฟลูออเรสเซนต์ และผ่านออกมาไปยัง L_1 และขดลวด T_3 เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวด T_3 จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดลวด T_2 โดยมีทิศออกจากขดลวด T_2 ผ่าน R_6 ไปยังขาเบสของ Q_2 ทำให้ Q_2 ทำงาน (นั่นคือ ขอมให้กระแสไหลผ่านจากขาคอลเล็กเตอร์ออกไปยังขาอิมิตเตอร์) ดังนั้นเมื่อ Q_2 ทำงานจึงทำให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวด T_3 สามารถไหลผ่าน Q_2 และ R_5 ออกไปเข้าวงจรบริดจ์ ณ จุดที่ D_1 ต่อกับ D_2 กระแสไหลวนครบรอบ กระแสจะไหลวนในลักษณะนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งขดลวด T_2 อิ่มตัวไม่เกิดการเหนี่ยวนำอีกต่อไป ทำให้ไม่มีกระแสไหลไปยังขาเบสของ Q_2 จากนั้น C 0.47 ไมโครฟารัด จะคายกระแสที่ได้สะสมไว้ออกมา โดยมีทิศไหลออกจากขาบวก ผ่าน D_5 , R_7 และ R_6 วนกลับมาผ่านขดลวด T_2 กลับเข้ามายังขั้วลบของ C เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวด T_2 ในทิศทางตรงกันข้ามกับก่อนหน้านี้ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้กระแสไหลในขดลวด T_1 ในทิศที่ออกจากขดลวด ผ่าน R_4 ไปยังขาเบสของ Q_1 ทำให้ Q_1 ทำงานแทน Q_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันไปดังนี้เรื่อย ๆ



รูปที่ 5.2 แสดงภาพวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 2

5.2 การเปรียบเทียบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1 และ 2

จากการศึกษาการทำงานของวงจรตัวอย่างทั้ง 2 รวมทั้งการวัดค่าต่าง ๆ และดูรูปสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจร รวมถึงการทดสอบสัญญาณรบกวน EMI (ตามที่แสดงไว้ใน การทดลองที่ 1-4 ใน บทที่ 6) จะทำให้ทราบถึงข้อได้เปรียบเสียเปรียบของวงจรตัวอย่างทั้งสอง ดังนี้

- 1) เทอร์มอลริซิสเตอร์ (Thermal resistor) ในวงจรตัวอย่างที่ 1 นั้นมีเทอร์มอลริซิสเตอร์ต่ออยู่ทางด้านอินพุต ซึ่งใส่เข้ามาเพื่อป้องกันการเสียหายของไดโอดเนื่องจากกระแสกระชากที่อาจเกิดขึ้นได้
- 2) ผลเอาที่พุทของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ วงจรตัวอย่างที่ 1 กระแสเอาที่พุทที่ได้จะมีการกระเพิ่มเพียงแค่ 14.73% เท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าของวงจรตัวอย่างที่ 2 มาก
- 3) วงจรกรองแบบ LC (LC-Filter) เนื่องจากในวงจรตัวอย่างที่ 1 มีวงจรกรองแบบ LC ซึ่งในวงจรตัวอย่างที่ 2 ไม่มี วงจรกรองนี้ช่วยทำให้กระแสที่ผ่านออกมานั้นเรียบขึ้น

4) ความถี่ที่ใช้ในการทำงานของหลอด สำหรับวงจรตัวอย่างที่ 1 นั้นใช้ความถี่ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตซ์เท่ากับ 33 kHz ซึ่งมากกว่าวงจรตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 26 kHz

5) ช่วงเวลาการทำงานของทรานซิสเตอร์ในวงจร (Q1 และ Q2) จากผลการทดลองจะเห็นว่า ในวงจรตัวอย่างที่ 1 มีช่วงเวลาในการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้งสองเป็นระยะเวลาที่เท่ากัน แต่ในวงจรตัวอย่างที่ 2 นั้นมีช่วงเวลาการทำงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลทำให้ขั้วหลอดเสื่อมและอายุการทำงานของหลอดสั้นลง

6) ผลการทดสอบสัญญาณรบกวน EMI เราได้ทำการทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ตามมาตรฐาน CISPR 15 ในช่วงความถี่ 9 kHz ~ 30 MHz แล้วพบว่าวงจรตัวอย่างที่ 1 มีสัญญาณรบกวนต่ำ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่วงจรตัวอย่างที่ 2 ไม่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว

7) ผลของค่าตัวประกอบกำลัง วงจรตัวอย่างที่นำมาพิจารณาทั้งสองนั้นยังมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำอยู่ นั่นคือ 0.541 และ 0.549 ตามลำดับ ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังที่ดีนั้นควรมีค่าใกล้เคียง 1

จากคุณสมบัติโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่า วงจรตัวอย่างที่ 1 มีคุณสมบัติดีกว่า วงจรตัวอย่างที่ 2 ในหลาย ๆ ด้าน ดังนั้นในการศึกษาลำดับต่อไปในปริิญาานิพนธ์ฉบับนี้ จะยึดวงจรตัวอย่างที่ 1 เป็นหลัก

5.3 การทดสอบวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรที่ใช้อุปกรณ์ที่จัดหาได้ตามท้องตลาด

5.3.1 ท่อวงจรลงบนโปรโตบอร์ด (Protoboard)

ในขั้นต้น ได้ทดลองต่อวงจรตัวอย่างที่ 1 บนโปรโตบอร์ด โดยใช้อุปกรณ์ของวงจรตัวอย่างที่ 1 ทั้งหมด แล้ววัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจร (การทดลองที่ 5 ในบทที่ 6) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของวงจรตัวอย่างที่ 1 ที่อยู่ในลายปริ้นท์ของมันเองกับที่ต่อลงบนโปรโตบอร์ด

หลังจากพบว่าวงจรตัวอย่างที่ 1 ที่ต่อลงบนโปรโตบอร์ดสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยมีค่าแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเล็กน้อยเท่านั้น และมีลักษณะรูปสัญญาณต่าง ๆ เหมือนเดิม จึงได้จัดหาส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรตัวอย่างที่ 1 มาเอง (ต่อจากนี้ไปจะเรียกว่า วงจรทดลอง) โดยให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เท่าเดิม แล้วต่อวงจรทดลองลงบนโปรโตบอร์ดปรากฏว่าไม่สามารถจุดหลอดได้และทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย จึงทดลองค่อย ๆ เพิ่มแรงดันอินพุททีละน้อยและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสที่ทรานซิสเตอร์ พบว่าเมื่อแรงดันอินพุทมีค่าสูง ๆ (ตั้งแต่ประมาณ 185 V ขึ้นไป) จะมีรูปกระแสที่ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนไปจากปกติ คือไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) และเพิ่มขึ้นสูงถึงเกือบ 2 เท่า และถ้ายังคงเพิ่มแรงดันอินพุทต่อไปอีกก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย

จากการศึกษาครูปคลื่นกระแสที่เกิดขึ้นนี้ พบว่าจะเกิดสัญญาณลักษณะนี้เมื่อเกิดการ อิ่มตัวของขดลวดขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงที่มาของกระแส ณ จุดที่วัดจากรูปวงจร (รูปที่ 5.2) คาดว่าสาเหตุน่าจะมาจาก L_2 ของวงจรทดลองมีจำนวนรอบไม่มากพอ หลังจากที่ทดลองนำ L_2 ของวงจรตัวอย่างที่ 1 มาต่อแทนก็พบว่าสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยสามารถจุดหลอดได้และวัดสัญญาณได้เหมือนตามปกติ แล้วนำไปวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบผลกับวงจรตัวอย่างที่ 1 (แสดงผลการทดลองไว้ใน การทดลองที่ 6 ในบทที่ 6)

5.3.2 ต่อวงจรลงบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล (Universal Print)

เนื่องจากการต่ออุปกรณ์ลงบน โปรโตบอร์ดนั้นอาจทำให้เกิดอันตรายและการผิดพลาดต่อการวัดผลได้ เนื่องจากไม่สามารถทนแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ และอาจเกิดการกระโดดของไฟฟ้าได้ จึงเปลี่ยนมาต่อวงจรลงบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซลแทน โดยทำทั้งวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลอง ซึ่งในการต่อวงจรทั้งสองนั้นจะมีการวางตำแหน่ง และกำหนดระยะห่างของจุดต่าง ๆ เหมือนกันทุกประการ เพื่อให้ผลการวัดที่ได้นั้นสามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างสมบูรณ์

จากนั้นจึงนำไปวัดค่าตัวประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าทั้งด้านอินพุท ด้านเอาต์พุทที่เกิดขึ้น คำนวณประสิทธิภาพของวงจรแล้วนำไปทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ดังที่ได้แสดงผลการทดลองไว้ในบทที่ 6 การทดลองที่ 7 และ 8 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้นำไปทดสอบความสว่างด้วย ซึ่งปรากฏว่าหลอดทั้งสองสามารถให้ความสว่างได้เท่ากันพอดี คือ มีค่าความสว่างเท่ากับ 64 ลักซ์

5.4 การแปรค่า L_2 และเลือกค่าที่เหมาะสมเพื่อลดสัญญาณรบกวน EMI

หลังจากที่ได้นำวงจรทั้งสองไปวัดสัญญาณรบกวนแล้ว ก็ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของอุปกรณ์ที่มีต่อคุณสมบัติการทำงานของวงจร เนื่องจากในการทดลองที่ผ่านมาพบว่า L_2 มีผลอย่างมากต่อวงจรในเรื่องความถี่ของการสวิตซ์ จึงได้เริ่มทดลองแปรค่า L_2 ในวงจรทดลองเป็นค่าต่าง ๆ กัน 5 ค่า คือ 3.4 , 4.7 , 5.2 , 6.6 และ 7.4 mH พร้อมกับวัดผลโดยใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อดูผลของประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลัง (ตามการทดลองที่ 9 ในบทที่ 6)

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ L_2 ที่มีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังทั้งทางด้านอินพุทและเอาต์พุทมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ แต่เป็นผลให้ประสิทธิภาพนั้นมีค่ามากขึ้นด้วย

จากนั้นนำไปทดสอบสัญญาณรบกวน EMI โดยทดลองแปรค่า L_2 เช่นกัน (ตามการทดลองที่ 10) พบว่ายังมี L_2 เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ความถี่ในการสวิตซ์น้อยลงและเกิดสัญญาณรบกวน EMI น้อยลงด้วย

สำหรับ L_2 ทั้ง 5 ค่าที่นำมาทดลองนี้ จะพบว่าค่า 7.4 mH ให้ผลในเรื่องของการเกิดสัญญาณรบกวนเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด คือ ผ่านมาตรฐาน CISPR 15 อีกทั้งยังมีจำนวนจุดยอดเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเส้นมาตรฐานลงมา 10 db น้อยกว่าวงจรตัวอย่างที่ 1 อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่ดีซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับของวงจรตัวอย่างที่ 1 ก็ยังมีค่ามากกว่า นอกจากนี้ยังมีความถี่ในการสวิตซ์ที่พอเหมาะคือประมาณ 24 kHz ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า L_2 ในวงจรทดลองเท่ากับ 7.4 mH เพื่อใช้ในการทดลองในลำดับต่อไป

5.5 การใช้วงจรพาสซีฟเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังและการเลือกค่าที่เหมาะสม

สำหรับการพัฒนาวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง ตามทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ซึ่งมีวงจรที่ใช้ในการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังมากมาย แต่ที่เหมาะสมกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าขนาดเล็ก มีกำลังไฟฟ้าน้อย (ไม่เกิน 8 วัตต์) นั่นคือการใช้วงจรกรองแบบพาสซีฟ

โดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ (L_0) เพียงตัวเดียวต่อเข้าทางด้านอินพุทของวงจรทดลอง ซึ่งจะทำให้การแปรค่า L_0 อีกเช่นกัน โดยเลือก L ที่จะนำมาทดลองนั้นมี 2 ชนิด คือ แบบขดลวดที่พันอยู่บนความต้านทานจะใช้ค่าเท่ากับ 5.6 , 6.8 , 8.2 , 12.0 , 17.6 , 27 mH และแบบที่พันอยู่บนแกนเฟอร์ไรต์ (Ferroite) จะใช้ค่า 5.6 , 7 , 10 , 18 , 22 mH

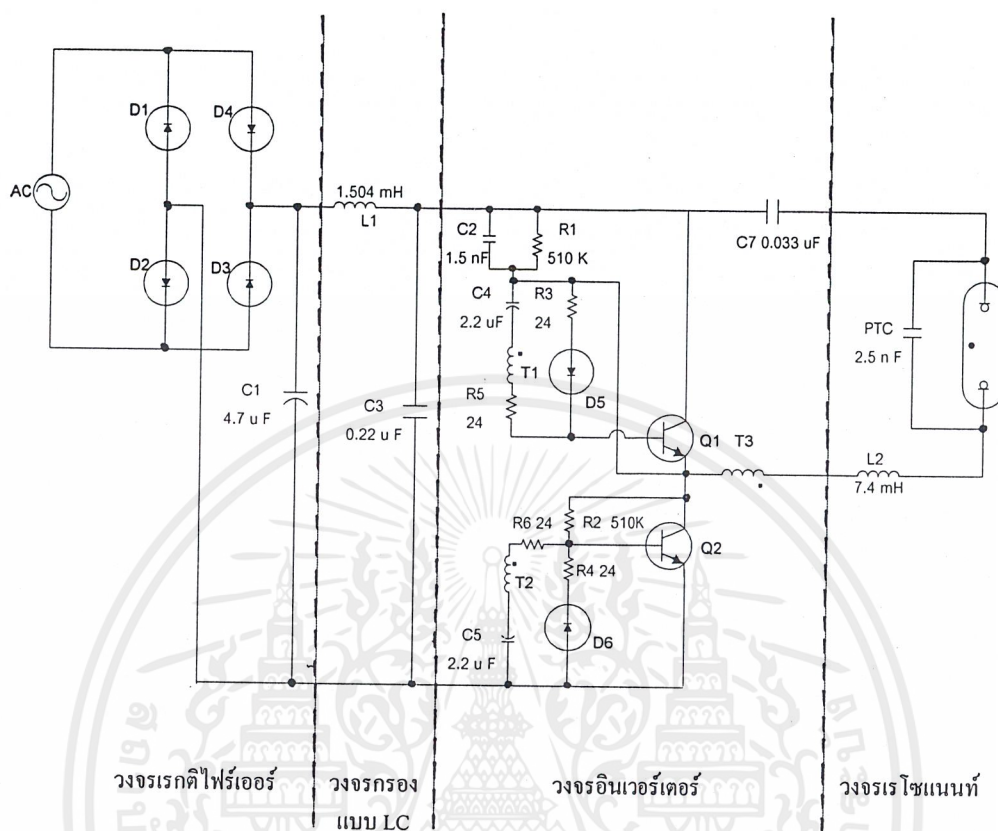
นำไปวัดค่าตัวประกอบกำลังทั้งด้านอินพุทและเอาต์พุท(การทดลองที่ 11 ในบทที่ 6) ปรากฏว่าที่ค่าความเหนี่ยวนำยิ่งใหญ่นั้นจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นสูงมาก และช่วยลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นที่อินพุทของวงจรได้ด้วย สังเกตได้จากรูปสัญญาณกระแสที่อินพุท เมื่อใช้ค่า L_0 มากขึ้น รูปกระแสจะโค้งมนและมีรูปร่างคล้ายสัญญาณไซน์มากขึ้นด้วย

แต่การเพิ่มค่า L นั้นก็จะเกิดกำลังสูญเสียในวงจรมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพลดลงไปด้วยเช่นกัน โดยยิ่ง L_0 มีค่ามากประสิทธิภาพก็ยิ่งลดลง ในการทดลองค่า L_0 สูงสุดที่ใช้คือ ค่า 27 mH สามารถช่วยเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุทจาก 0.56 (ตามวงจรตัวอย่างที่ 1 เดิม) เป็น 0.72 แต่ก็ทำให้ประสิทธิภาพเพียงแค่ 77.68 % เท่านั้น

เมื่อลองนำวงจรทดลองที่มี L_0 นี้ไปทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ปรากฏว่า ในช่วงความถี่ต่ำนั้นสามารถกรองสัญญาณรบกวนออกได้อย่างมาก แต่ในช่วงความถี่สูงกลับมีสัญญาณรบกวน EMI เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม (ตามผลการทดลองที่ 12 ในบทที่ 6) เนื่องจากการใส่ L เข้าไปในวงจรนี้จะเป็นการกรองที่ความถี่ต่ำ

หลังจากที่ทำการทดสอบแล้วเราก็ได้เลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ช่วยให้คุณสมบัติของหลอดดีที่สุด ซึ่งจะเป็นดังรูปวงจร ที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.3 แสดงภาพวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาแล้ว

5.6 ออกแบบลายปริ้นท์และทดสอบวงจรที่ต่อลงบนปริ้นท์

จากทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบลายปริ้นท์ พบว่าการออกแบบก็มีส่วนสำคัญในการที่จะช่วยลดการเกิดสัญญาณรบกวน EMI ได้ ในปฏิญณานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทดลองออกแบบลายปริ้นท์โดยยึดหลักตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 และควบคุมให้มีขนาดเล็กกระทัดรัดพอที่จะประกอบในหลอดประหยัดไฟตามปกติได้ สำหรับลายปริ้นท์ของวงจรที่ทำการออกแบบนั้นแสดงในรูปที่ 5.3 โดยออกแบบมา 2 ลายตามหลักการลดสัญญาณรบกวน EMI โดยยึดหลักการในการออกแบบต่างกัน ดังนี้

ลายที่ 1 ออกแบบโดยยึดหลักการของลายเส้น คือให้มีลายเส้นสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ และพยายามไม่ให้เกิดการหักมุมของลายเส้น

ลายที่ 2 ออกแบบโดยยึดหลักการแยกส่วนประกอบของวงจรที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนออกจากกัน

สำหรับลายปริ้นท์ของวงจรทั้งสองลายนั้นแสดงในรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI แล้วพบว่า วงจรที่ต่อลงบนลายปริ๊นท์ที่ได้ออกแบบมานั้นผ่านมาตรฐาน CISPR 15 ซึ่งให้ผลตรงกับทฤษฎี (ตามการทดลองที่ 13)



รูปที่ 5.3 แสดงลายปริ๊นท์ลายที่ 1 และ 2 ที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

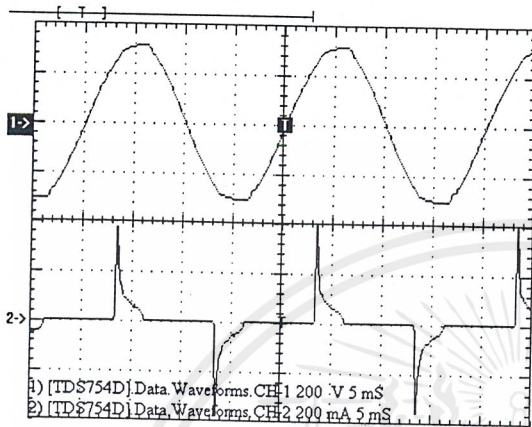
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะประกอบด้วยผลการทดลองต่าง ๆ ที่ได้ทำในโครงการศึกษา และพัฒนางจร บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งการทดลองเกี่ยวกับส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจร เพื่อวิเคราะห์การทำงานของวงจร รวมไปถึงการทดลองเพื่อพัฒนางจรในด้านต่าง ๆ และผลการทดสอบสัญญาณรบกวน EMI การทดลองทั้งหมดจะเรียงตามลำดับตามการพัฒนาของวงจรดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 โดยจะมีการทดลองตามลำดับดังนี้

- การทดลองที่ 1 ผลการวัดแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ ของวงจรตัวอย่างที่ 1
- การทดลองที่ 2 ผลการวัดแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ ของวงจรตัวอย่างที่ 2
- การทดลองที่ 3 วัดค่าประกอบกำลังด้านอินพุทของวงจรตัวอย่างที่ 1 และ 2
- การทดลองที่ 4 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ของวงจรตัวอย่างที่ 1 และ 2
- การทดลองที่ 5 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตัวอย่างที่ 1 ที่ต่อลงบนโปรโตบอร์ด
- การทดลองที่ 6 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลองที่ต่อบนโปรโตบอร์ด
- การทดลองที่ 7 วัดค่าตัวประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบวงจรตัวอย่างที่ 1 และ วงจรทดลองที่ต่อลงบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล
- การทดลองที่ 8 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลองที่ต่อลงบน แผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล
- การทดลองที่ 9 วัดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรทดลอง บนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซลโดยแปรค่า L_2
- การทดลองที่ 10 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่แปรค่า L_2 บนแผ่นปริ้นท์
- การทดลองที่ 11 วัดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรทดลอง บนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซลโดยแปรค่า L_0
- การทดลองที่ 12 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่มีวงจรกรองแบบพาสซีฟ L_0 บน แผ่นปริ้นท์
- การทดลองที่ 13 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่ต่อบนลายปริ้นท์ที่ออกแบบมา
- การทดลองที่ 14 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรบนลายปริ้นท์ที่ 1
- การทดลองที่ 15 วัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรบนลายปริ้นท์ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

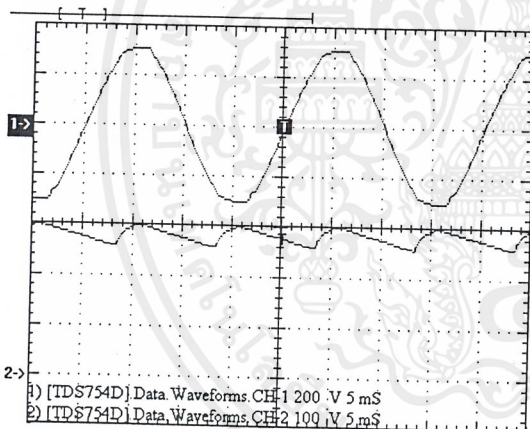
การทดลองที่ 1 ผลการวัดแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆ ของวงจรตัวอย่างที่ 1



กราฟแสดงแรงดันและกระแสอินพุทของวงจร
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ 1

CH1 : Vinut (RMS) 220 V

CH2 : Iinput (RMS) 72 mA

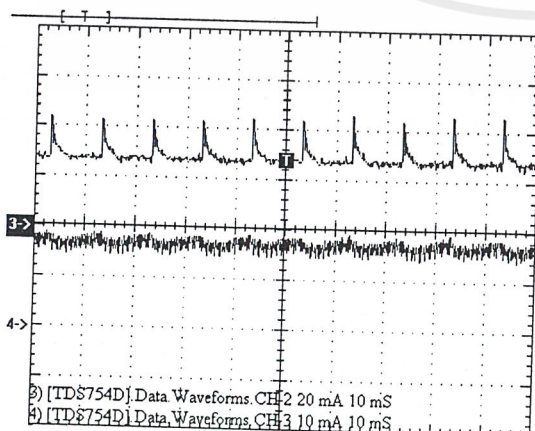


กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าอินพุทและแรงดัน
ไฟฟ้าเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส

CH1 : Vin 220 V, Freq 50 Hz

CH2 : Vpk-pk 42 V, Vmean 285.8 V

Freq 100 Hz

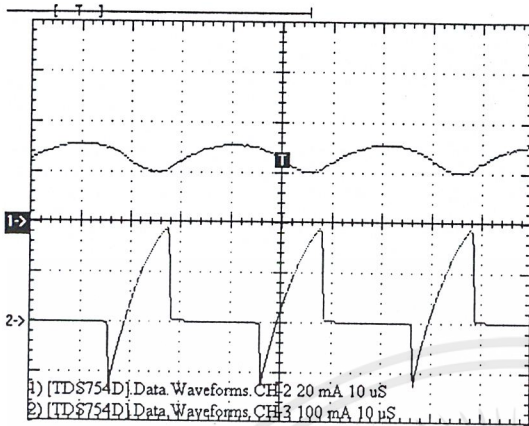


กราฟแสดงกระแสเปรียบเทียบก่อนและหลัง
จากผ่าน LC ฟิลเตอร์ที่ความถี่ต่ำ ($f = 50$ Hz)

CH1 : Imean 28.91 mA (ก่อนผ่านฟิลเตอร์)

CH2 : Imean 16.69 mA (หลังผ่านฟิลเตอร์)

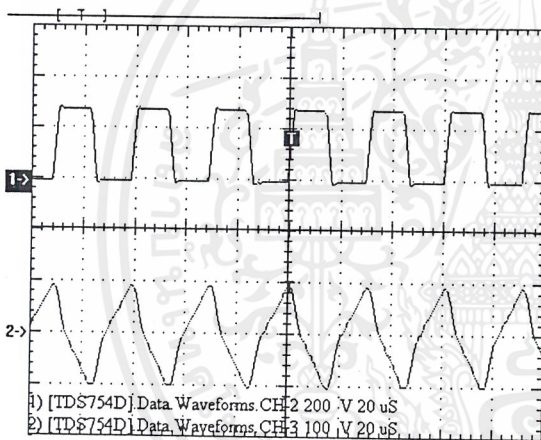
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงกระแสเปรียบเทียบก่อนและหลัง
จากผ่าน LC ฟิลเตอร์ที่ความถี่สูง

CH1 : I_{mean} 26.93 mA (ก่อนผ่านฟิลเตอร์)

CH2 : I_{mean} 28.70 mA (หลังผ่านฟิลเตอร์)

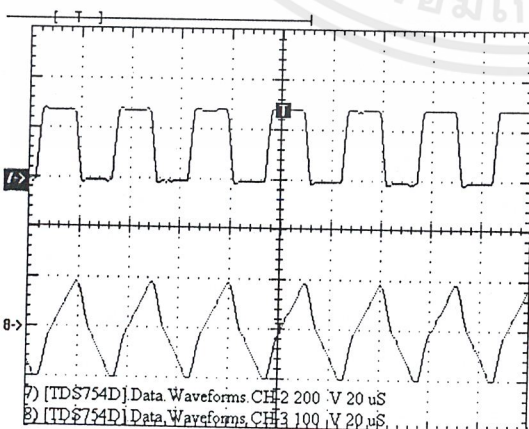


กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าทรานซิสเตอร์

Q1 เทียบกับแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอด

CH1 : V_{pk-pk} 301 V, Freq 33.00 kHz

CH2 : V_{pk-pk} 202 V, Freq 32.77 kHz



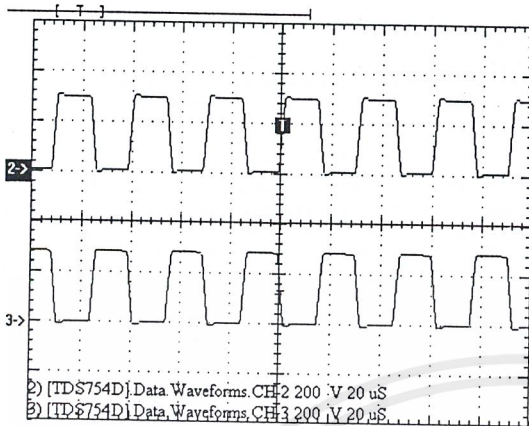
กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าทรานซิสเตอร์

Q2 เทียบกับแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอด

CH1 : V_{pk-pk} 303 V, Freq 33.85 kHz

CH2 : V_{pk-pk} 197 V, Freq 33.08 kHz

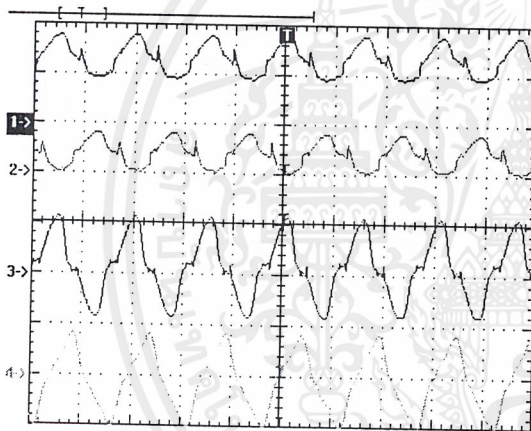
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงช่วงเวลาการทำงานของ
ทรานซิสเตอร์ทั้งสอง (Q1 และ Q2)

CH1 : Vamp 288 V (ช่วงเวลาที่ Q1 ทำงาน)

CH2 : Vamp 288 V (ช่วงเวลาที่ Q2 ทำงาน)



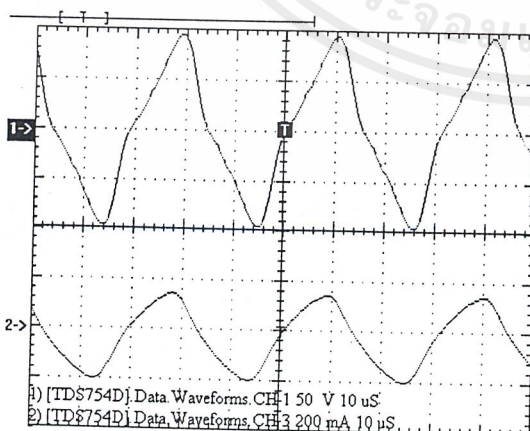
กราฟแสดงแรงดันคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อ
เปรียบเทียบทิศทางการเหนี่ยวนำกระแส

CH1 : Vamp 4.2 V (ขดลวด T1)

CH2 : Vamp 1.8 V (ขดลวด T2)

CH3 : Vamp 10 V (ขดลวด T3)

CH4 : Vamp 181 V (คร่อมหลอด)



กราฟแสดงแรงดัน และกระแสเอาท์พุท
ของวงจรตัวอย่างที่ 1

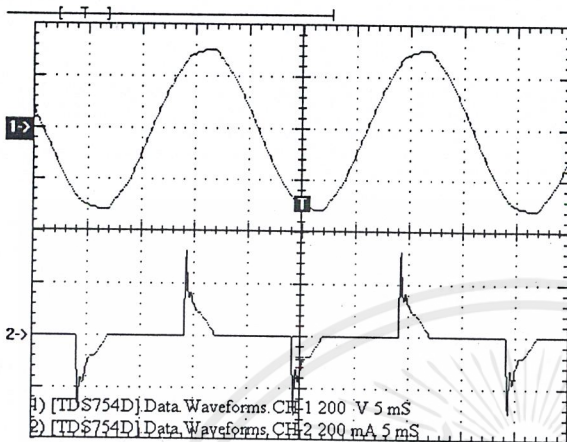
CH1 : Vrms 58.3 V (แรงดันคร่อมหลอด)

Freq 32.26 kHz (ความถี่ที่หลอด)

CH2 : Irms 117.9 mA (กระแสที่หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

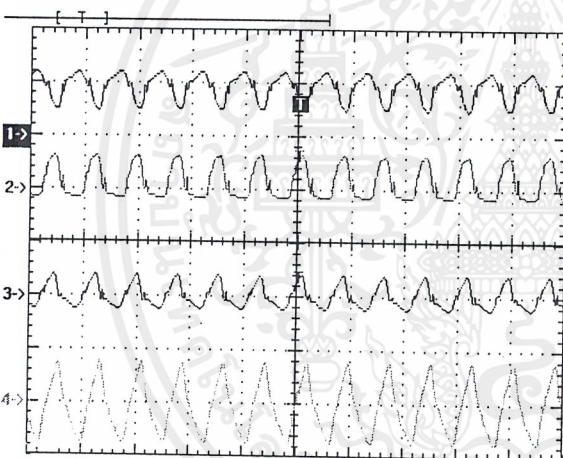
การทดลองที่ 2 ผลการวัดแรงดันและกระแสที่จุดต่างๆ ของวงจร ตัวอย่างที่ 2



กราฟแสดงแรงดันและกระแสอินพุท
ของวงจรตัวอย่างที่ 2

CH1 : Vinput 220.5 V

CH2 : Iinput 73.5 mA



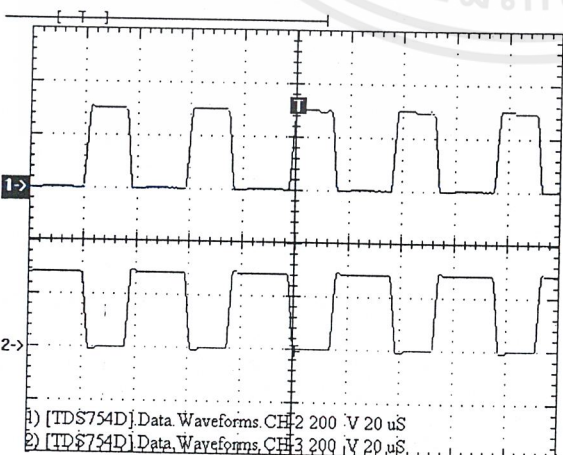
กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงดันคร่อม
ขดลวดเหนี่ยวนำกับแรงดันคร่อมหลอด

CH1 : Vamp 3.2 V (ขดลวด T1)

CH2 : Vamp 4.2 V (ขดลวด T2)

CH3 : Vamp 4.8 V (ขดลวด T3)

CH4 : Vamp 137 V

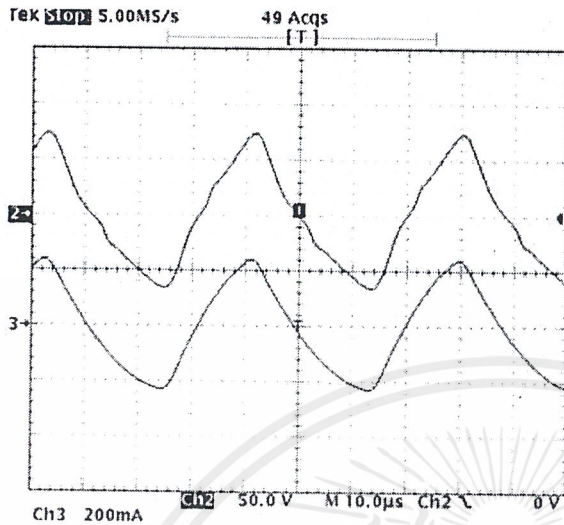


กราฟแสดงช่วงเวลาการทำงานของ
ทรานซิสเตอร์ทั้งสอง (Q1 และ Q2)

CH1 : Vamp 315 V (ช่วงที่ Q1 ทำงาน)

CH2 : Vamp 296 V (ช่วงที่ Q2 ทำงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงแรงดันและกระแสที่โหลด

CH1 : V_{rms} 44.0 V

CH2 : I_{rms} 155.1 mA

การทดลองที่ 3 วัดค่าประกอบกำลังด้านอินพุท (Input) ของวงจรตัวอย่างที่ 1 และ 2 สำหรับวงจรตัวอย่างที่ 1

Power Factor Measurements :

RMS (Volts) : $V = 221.9$ V

RMS (Current) : $I = 69.96$ mA

True Power : $P = 8.408$ W

Apparent Power : $VA = 15.53$ W

Power Factor : $P/(VA) = 0.541$

สำหรับวงจรตัวอย่างที่ 2

Power Factor Measurements :

RMS (Volts) : $V = 220.4$ V

RMS (Current) : $I = 73.61$ mA

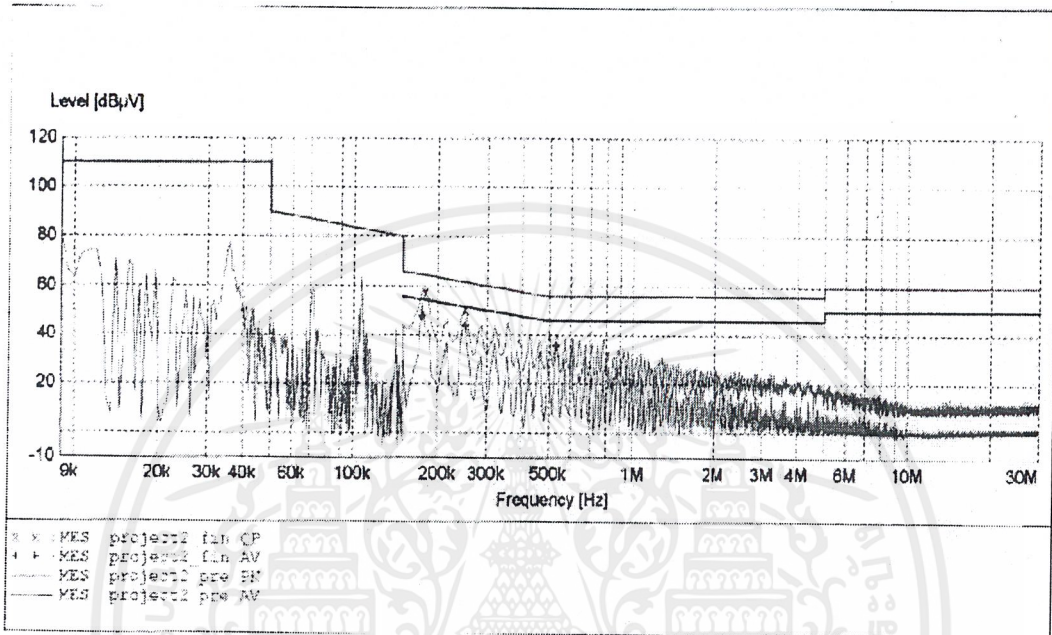
True Power : $P = 8.913$ W

Apparent Power : $VA = 16.22$ W

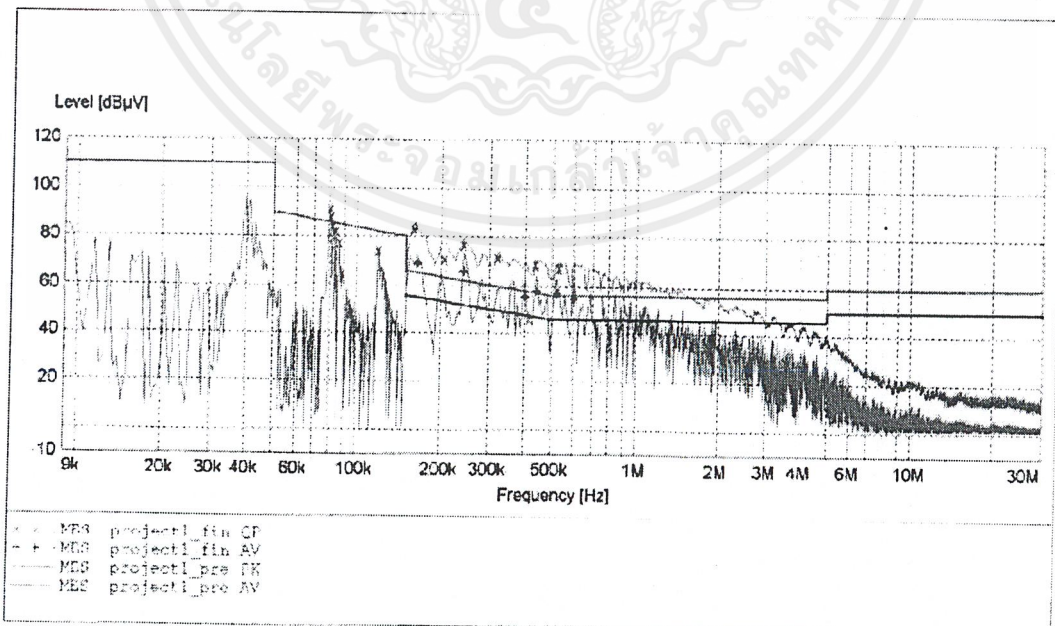
Power Factor : $P/(VA) = 0.549$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้วงจร
ตัวอย่างที่ 1 และ 2



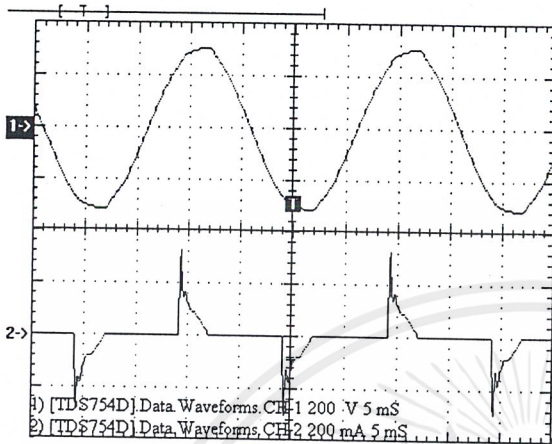
TEST RESULT (วงจรตัวอย่างที่ 1)



TEST RESULT (วงจรตัวอย่างที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

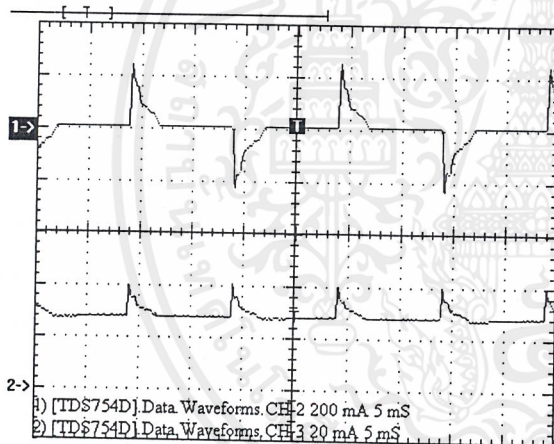
การทดลองที่ 5 ต่อวงจรตัวอย่างที่ 1 ลงบนโปรโตบอร์ดและวัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจร



กราฟแสดงแรงดันและกระแสอินพุทของ
วงจรตัวอย่างที่ 1 ที่ต่อลงบนบอร์ด

CH1 : V_{rms} 220.0 V (แรงดันอินพุท)

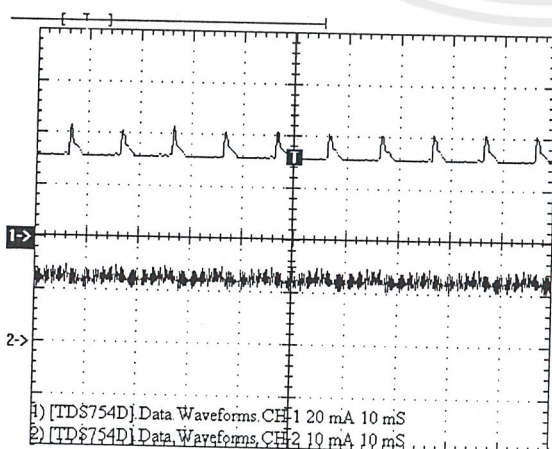
CH2 : I_{rms} 72.07 mA (กระแสอินพุท)



กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อน
และหลังผ่านวงจรเรียงกระแส

CH1 : I_{rms} 58.7 mA (ด้านอินพุท)

CH2 : I_{rms} 29.00 mA (ด้านเอาต์พุท)

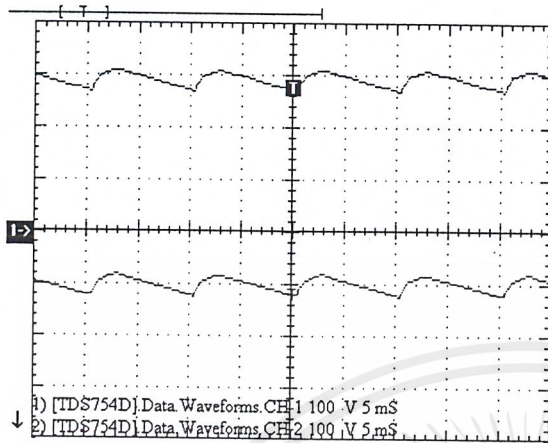


กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อนและ
หลังผ่าน LC ฟิลเตอร์ที่ความถี่ต่ำ (100 Hz)

CH1 : I_{mean} 32.70 mA (ก่อนผ่านฟิลเตอร์)

CH2 : I_{mean} 12.33 mA (หลังผ่านฟิลเตอร์)

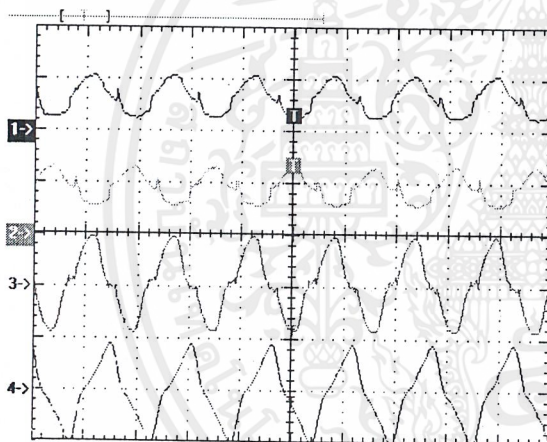
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงแรงดันที่ออกจากวงจรเรียง-
กระแส ก่อนและหลังผ่านวงจร LC ฟิวเตอร์

CH1 : Vpk-pk 40 V (ก่อนผ่าน LC ฟิวเตอร์)

CH2 : Vpk-pk 42 V (หลังผ่าน LC ฟิวเตอร์)



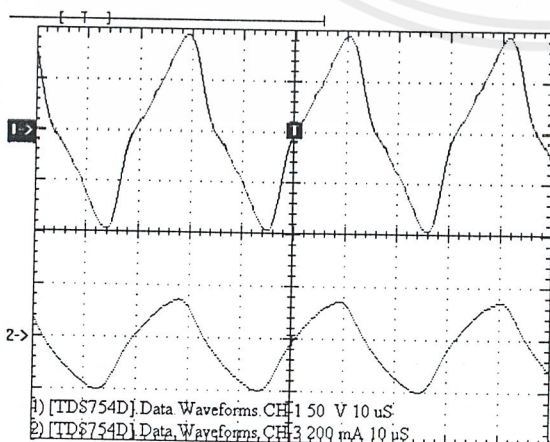
กราฟแสดงคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อ
เปรียบเทียบทิศทางการเหนี่ยวนำกระแส

CH1 : Vpk-pk 4.5 V (ขดลวด T1)

CH2 : Vpk-pk 4.1 V (ขดลวด T2)

CH3 : Vpk-pk 20.2 V (ขดลวด T3)

CH4 : Vrms 57.0 V (แรงดันคร่อมหลอด)



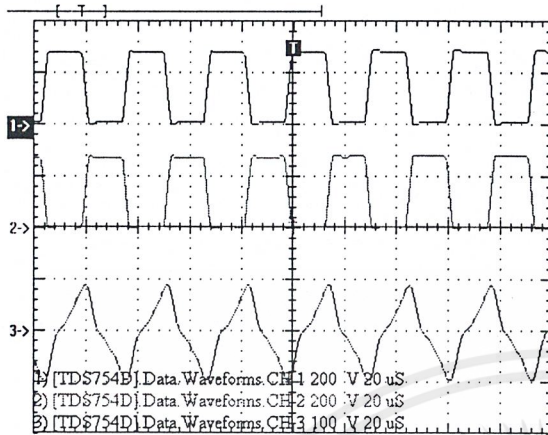
กราฟแสดงแรงดัน และกระแสเอาท์พุท
ของวงจรตัวอย่างที่ 1

CH1 : Vrms 58.3 V (แรงดันคร่อมหลอด)

Freq 32.26 kHz (ความถี่ที่หลอด)

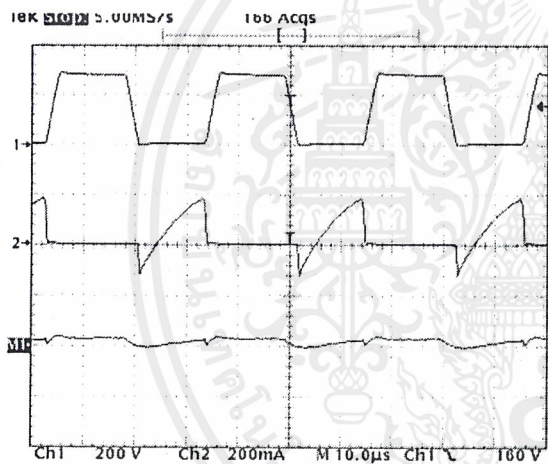
CH2 : Irms 117.9 mA (กระแสที่หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



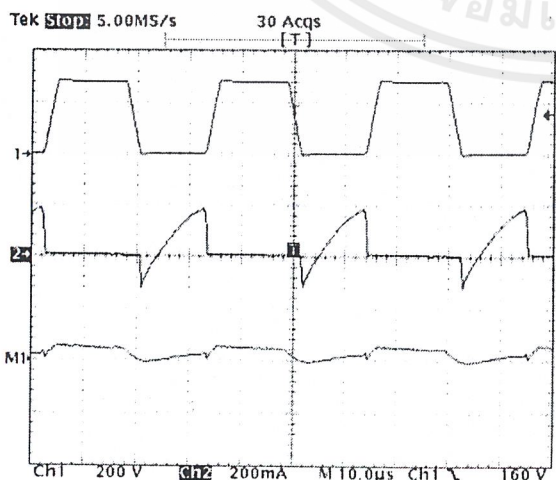
กราฟแสดงช่วงเวลาการทำงานของ
ทรานซิสเตอร์ทั้งสอง (Q1 และ Q2)

CH1 : Vamp 308 V (ช่วงที่ Q1 ทำงาน)
CH2 : Vamp 201 V (ช่วงที่ Q2 ทำงาน)
CH3 : Vrms 54.5 V (แรงดันคร่อมโหลด)



กราฟแสดงแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ Q1
รวมทั้งกำลังที่ Q1 (P)

CH1 : Vpk-pk 294 V
CH2 : Ipk-pk 316 mA
CH3 : P 1.02 W

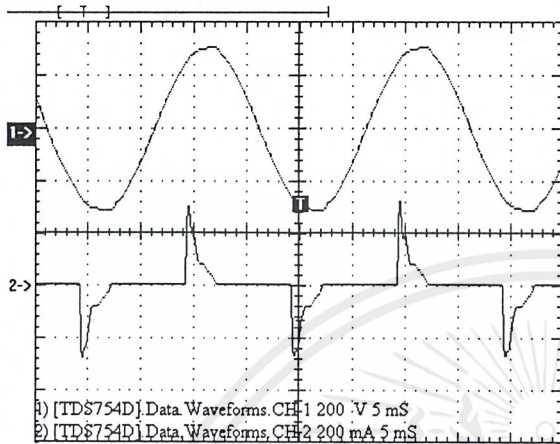


กราฟแสดงแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ Q2
รวมทั้งกำลังที่ Q2 (P)

CH1 : Vpk-pk 292 V
CH2 : Ipk-pk 313 mA
CH3 : P 1.45 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

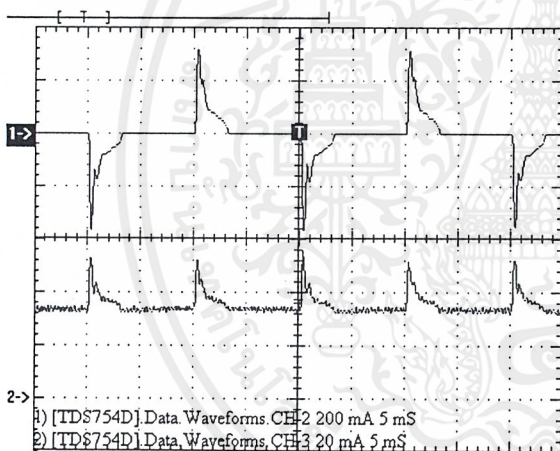
การทดลองที่ 6 ต่อวงจรตัวอย่างที่ 1 ด้วยอุปกรณ์ที่หามาเองลงบนโปรโตบอร์ดและวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร



กราฟแสดงแรงดันและกระแสอินพุทของวงจรที่หาอุปกรณ์มาเอง ที่ต่อลงบนบอร์ด

CH1 : V_{rms} 220.0 V (แรงดันอินพุท)

CH2 : I_{rms} 76.4 mA (กระแสอินพุท)



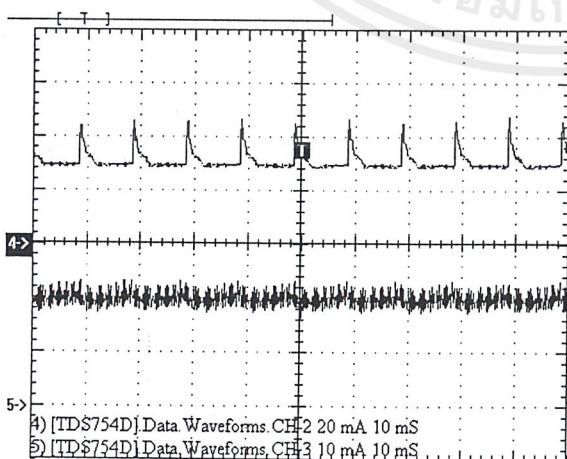
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อนและหลังผ่านวงจรเรียงกระแส

CH1 : I_{rms} 77.1 mA

(อินพุทวงจรเรียงกระแส)

CH2 : I_{rms} 35.44 mA, I_{mean} 35.25 mA

(เอาท์พุทวงจรเรียงกระแส)

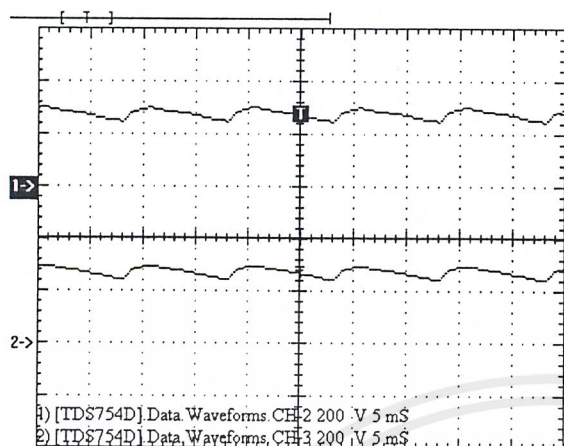


กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อนและหลังผ่าน LC ฟิลเตอร์ ที่ความถี่ต่ำ

CH1 : I_{mean} 31.35 mA (ก่อนผ่านฟิลเตอร์)

CH2 : I_{mean} 19.90 mA (หลังผ่านฟิลเตอร์)

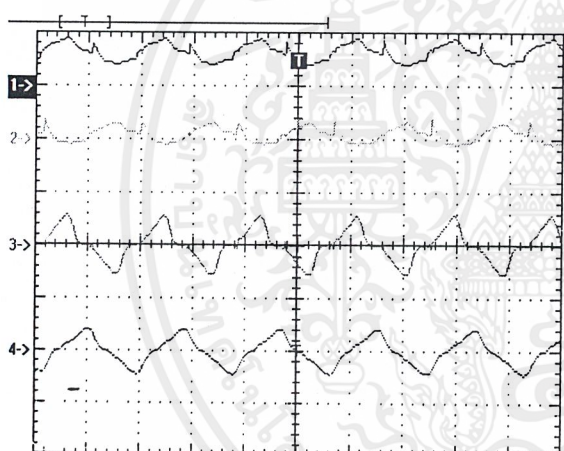
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงแรงดันที่ก่อนและหลังผ่านวงจร
LC ฟิลเตอร์

CH1 : Vpk-pk 54 V (ก่อนผ่าน LC ฟิลเตอร์)

CH2 : Vpk-pk 53 V (หลังผ่าน LC ฟิลเตอร์)



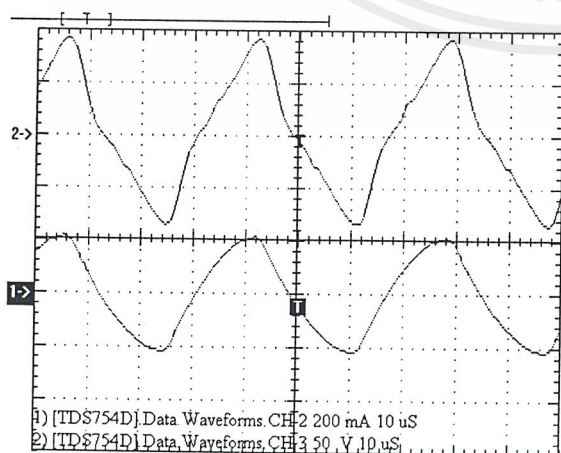
กราฟแสดงคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อ
เปรียบเทียบทิศทางการเหนี่ยวนำกระแส

CH1 : Vpk-pk 4.8 V (ขดลวด T1)

CH2 : Vpk-pk 5.1 V (ขดลวด T2)

CH3 : Vpk-pk 22.8 V (ขดลวด T3)

CH4 : Vrms 53.9 V (แรงดันคร่อมหลอด)

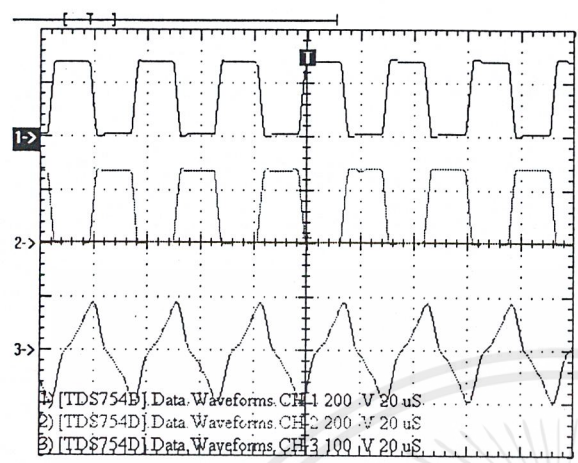


กราฟแสดงแรงดันและกระแสเอาท์พุท
ของวงจร

CH1 : Vrms 53.9 V (แรงดันคร่อมหลอด)

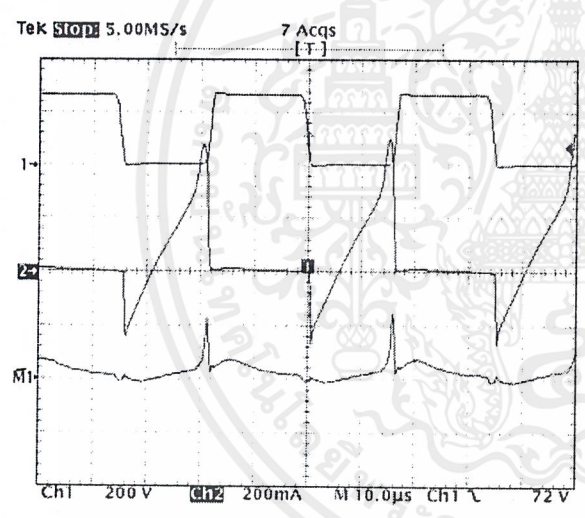
CH2 : Irms 147.1 mA (กระแสที่หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



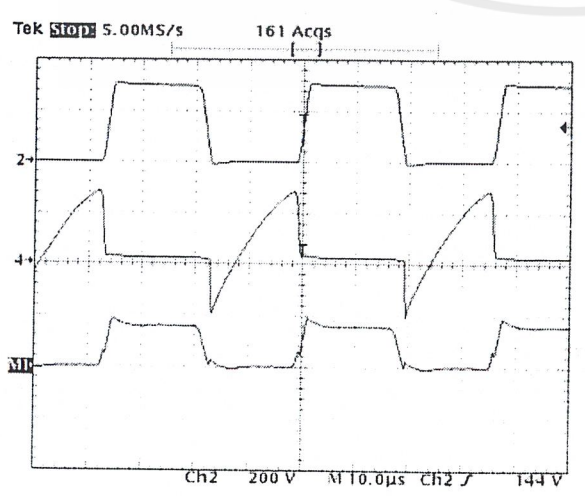
กราฟแสดงช่วงเวลาการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้งสอง (Q1 และ Q2)

- CH1 : Vpk-pk 318 V (ช่วงที่ Q1 ทำงาน)
- CH2 : Vpk-pk 309 V (ช่วงที่ Q2 ทำงาน)
- CH3 : Vrms 52.4 V (แรงดันคร่อมโหลด)



กราฟแสดงแรงดัน กระแส และกำลังที่เกิดที่ Q1 ขณะที่แรงดันอินพุต 185V

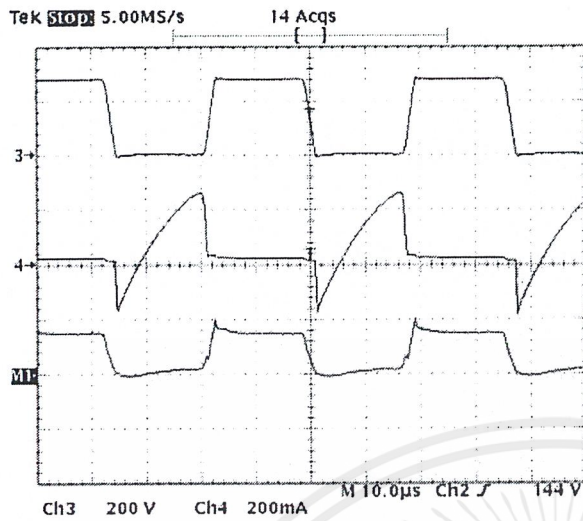
- CH1 : Vpk-pk 284 V
- CH2 : Ipk-pk 908 mA
- CH3 : Pmean 1.61 W



กราฟแสดงแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ Q1

- CH1 : Vpk-pk 320 V
- CH2 : Ipk-pk 496 mA
- CH3 : Pmean 10.0 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงแรงดัน กระแสและ
กำลังไฟฟ้าที่ Q2

CH1 : Vpk-pk 295 V

CH2 : Ipk-pk 450 mA

CH3 : Pmean 10.8 W



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 7 วัดค่าตัวประกอบกำลังและ กำลังไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลองที่ต่อลงบนแผ่นปริ้นยูนิเวอร์แซล

1) ผลการวัดค่าตัวประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุทของวงจร

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 220.4 V
RMS(Current):	I = 72.07 mA
True Power:	P = 8.911 W
Apparent Power:	VA = 15.89 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.561
Cycle Frequency:	
	User Spec = 50.0 Hz
	Calculated = 49.95 Hz

วงจรตัวอย่างที่ 1

ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุท = 0.561

กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุท = 8.911 W

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 220.0 V
RMS(Current):	I = 88.77 mA
True Power:	P = 10.99 W
Apparent Power:	VA = 19.53 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.563
Cycle Frequency:	
	User Spec = 50.0 Hz
	Calculated = 50.04 Hz

วงจรทดลอง

ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุท = 0.563

กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุท = 10.99 W

2) ค่าตัวประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุท

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 56.17 V
RMS(Current):	I = 134.9 mA
True Power:	P = 7.413 W
Apparent Power:	VA = 7.578 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.978
Cycle Frequency:	
	User Spec = 34.0 KHz
	Calculated = 34.25 KHz

วงจรตัวอย่างที่ 1

ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านเอาต์พุท = 0.978

กำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุท = 7.413 W

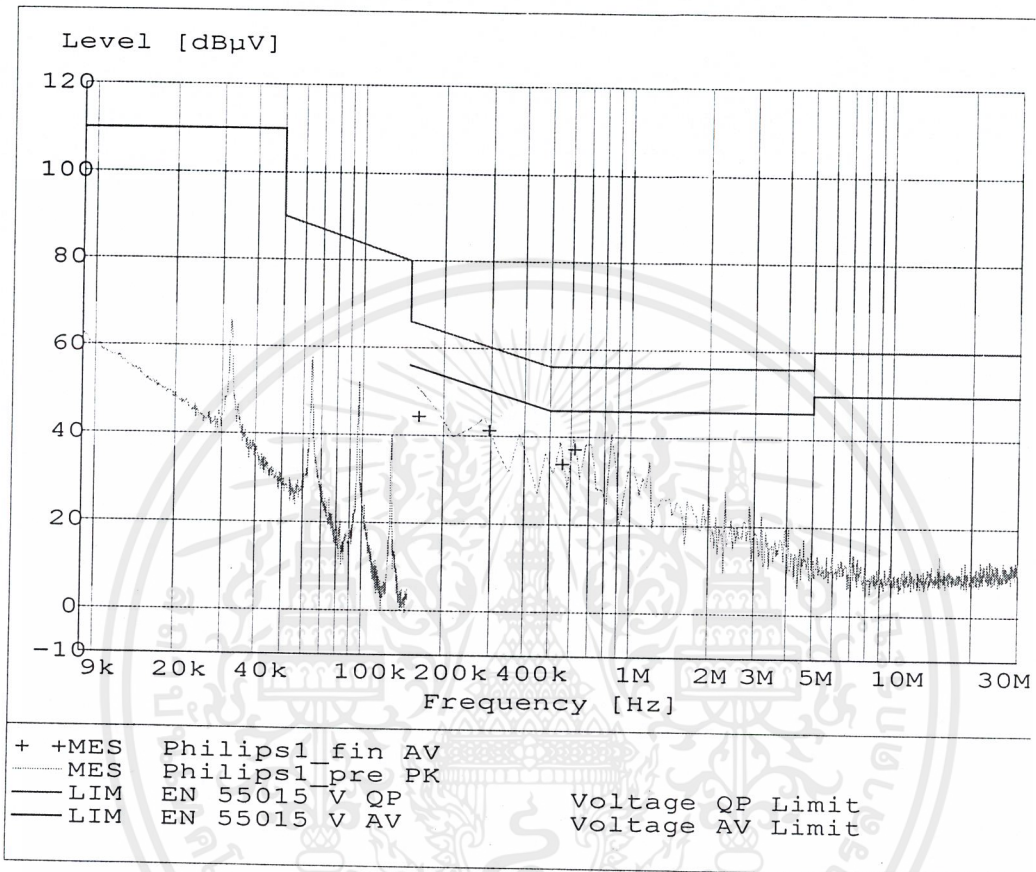
Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 51.66 V
RMS(Current):	I = 188.3 mA
True Power:	P = 9.603 W
Apparent Power:	VA = 9.732 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.987
Cycle Frequency:	
	User Spec = 28.0 KHz
	Calculated = 27.78 KHz

วงจรทดลอง

ค่าตัวประกอบกำลังทางด้านเอาต์พุท = 0.987

กำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุท = 9.603 W

การทดลองที่ 8 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรตัวอย่างที่ 1 และวงจรทดลองที่ต่อลงบน
แผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล

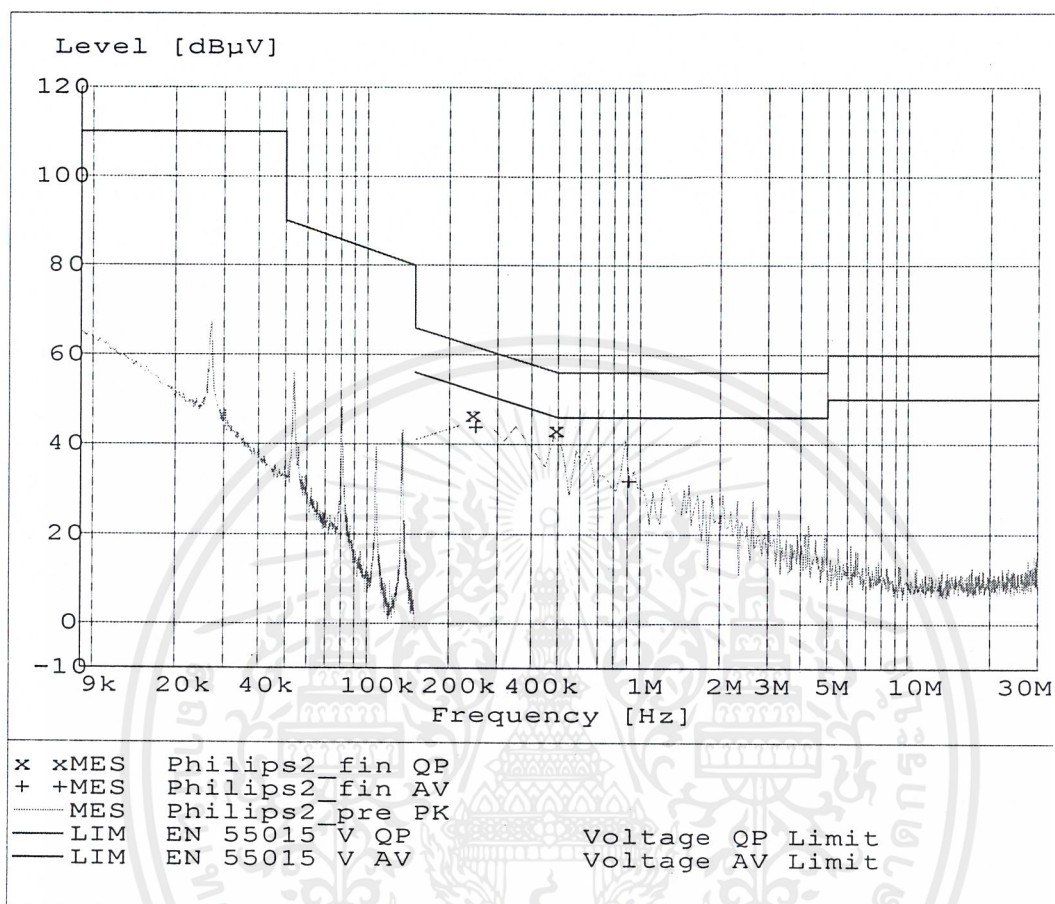


TEST RESULT (วงจรตัวอย่างที่ 1 บนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล)

AVERAGE DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.159000	44.40	0.20	55.50	11.10	L1	FLO
0.289500	41.30	0.20	50.50	9.30	L1	FLO
0.546000	33.80	0.20	46.00	12.20	L1	FLO
0.609000	37.20	0.20	46.00	8.90	L1	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEST RESULT (วงจรถดลองบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซล)

QP DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBμV	dB	dBμV	dB		
0.240000	46.60	0.20	62.10	15.50	L1	FLO
0.483000	43.30	0.20	56.30	13.00	N	FLO

AVERAGE DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBμV	dB	dBμV	dB		
0.244500	43.80	0.20	51.90	8.20	L1	FLO
0.888000	31.80	0.20	46.00	14.20	L1	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 9 วัดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรทดลองบนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซลโดยแปรค่า L_2

เมื่อมี $L_2 = 3.4 \text{ mH}$

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 220.2 V
RMS(Current):	I = 99.84 mA
True Power:	P = 12.71 W
Apparent Power:	VA = 21.98 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.578
Cycle Frequency:	
User Spec	= 50.0 Hz
Calculated	= 49.97 Hz

ค่าตัวประกอบกำลัง
วัดที่ด้านอินพุทของวงจร

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 47.80 V
RMS(Current):	I = 231.4 mA
True Power:	P = 10.97 W
Apparent Power:	VA = 11.06 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.992
Cycle Frequency:	
User Spec	= 30.0 KHz
Calculated	= 29.86 KHz

ค่าตัวประกอบกำลัง
วัดที่ด้านเอาต์พุทของวงจร

สามารถคำนวณประสิทธิภาพได้ 84.73 %

เมื่อมี $L_2 = 4.6 \text{ mH}$

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 220.0 V
RMS(Current):	I = 88.77 mA
True Power:	P = 10.99 W
Apparent Power:	VA = 19.53 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.563
Cycle Frequency:	
User Spec	= 50.0 Hz
Calculated	= 50.04 Hz

ค่าตัวประกอบกำลัง
วัดที่ด้านอินพุทของวงจร

Power Factor Measurements:	
RMS(Volts):	V = 51.66 V
RMS(Current):	I = 188.3 mA
True Power:	P = 9.603 W
Apparent Power:	VA = 9.732 W
Power Factor:	P/(VA) = 0.987
Cycle Frequency:	
User Spec	= 28.0 KHz
Calculated	= 27.78 KHz

ค่าตัวประกอบกำลัง
วัดที่ด้านเอาต์พุทของวงจร

สามารถคำนวณประสิทธิภาพได้ 89.16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมี $L2 = 5.2 \text{ mH}$

Power Factor Measurements:
 RMS(Volts): $V = 219.4 \text{ V}$
 RMS(Current): $I = 79.91 \text{ mA}$
 True Power: $P = 9.843 \text{ W}$
 Apparent Power: $VA = 17.53 \text{ W}$
 Power Factor: $P/(VA) = 0.561$

Cycle Frequency:
 User Spec = 50.0 Hz
 Calculated = 49.97 Hz

ค่าตัวประกอบกำลัง
 วัดที่ด้านอินพุทของวงจร

เครื่องมือวัดเสียหายจึงไม่สามารถวัดค่าได้

ค่าตัวประกอบกำลัง
 วัดที่ด้านเอาต์พุทของวงจร

เมื่อมี $L2 = 6.6 \text{ mH}$

Power Factor Measurements:
 RMS(Volts): $V = 220.4 \text{ V}$
 RMS(Current): $I = 73.76 \text{ mA}$
 True Power: $P = 8.789 \text{ W}$
 Apparent Power: $VA = 16.25 \text{ W}$
 Power Factor: $P/(VA) = 0.541$

Cycle Frequency:
 User Spec = 50.0 Hz
 Calculated = 50.07 Hz

ค่าตัวประกอบกำลัง
 วัดที่ด้านอินพุทของวงจร

เครื่องมือวัดเสียหายจึงไม่สามารถวัดค่าได้

ค่าตัวประกอบกำลัง
 วัดที่ด้านเอาต์พุทของวงจร

เมื่อมี $L2 = 7.4 \text{ mH}$

เครื่องมือวัดเสียหายจึงไม่สามารถวัดค่าได้

ค่าตัวประกอบกำลัง
วัดที่ด้านอินพุทของวงจร

เครื่องมือวัดเสียหายจึงไม่สามารถวัดค่าได้

ค่าตัวประกอบกำลัง
วัดที่ด้านเอาต์พุทของวงจร

ตารางที่ 6.1 ตารางสรุปผลการทดลองที่ 9 ในการวัดครั้งแรก

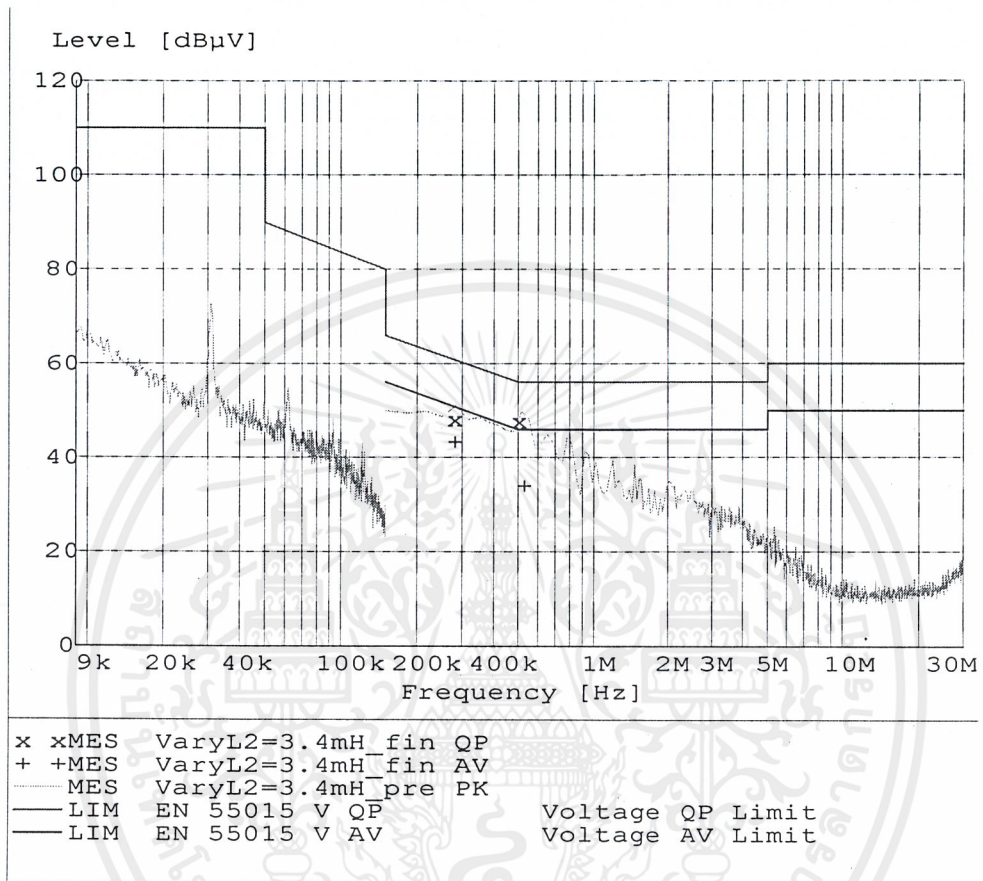
ค่า $L2$	Power factor (Input)	Power factor (Output)	ประสิทธิภาพ	ความถี่ในการ สวิตช์
3.4 mH	0.578	0.992	84.73%	29.86 kHz
4.6 mH	0.563	0.987	89.16%	28.00 kHz
5.2 mH	0.561	-	-	-
6.6 mH	0.541	-	-	-
7.4 mH	-	-	-	-

ตารางที่ 6.2 ตารางสรุปผลการทดลองที่ 9 ในการวัดครั้งที่ 2

ค่า $L2$	Power factor		กำลังไฟฟ้า		ประสิทธิภาพ	ความถี่ในการ สวิตช์
	Input	Output	Input	Output		
3.4 mH	0.606	0.982	13.5	11.8	87.40%	30.7 kHz
4.6 mH	0.573	0.993	11.5	10.1	87.80%	28.0 kHz
5.2 mH	0.638	0.987	10.5	9.29	88.47%	26.8 kHz
6.6 mH	0.596	0.969	9.02	7.52	83.37%	25.0 kHz
7.4 mH	0.584	0.983	8.35	7.46	89.34%	24.2 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 10 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่แปรค่า L_2 บนแผ่นปริ้นท์



TEST RESULT (วงจรทดลองที่ใช้ $L_2 = 3.4 \text{ mH}$)

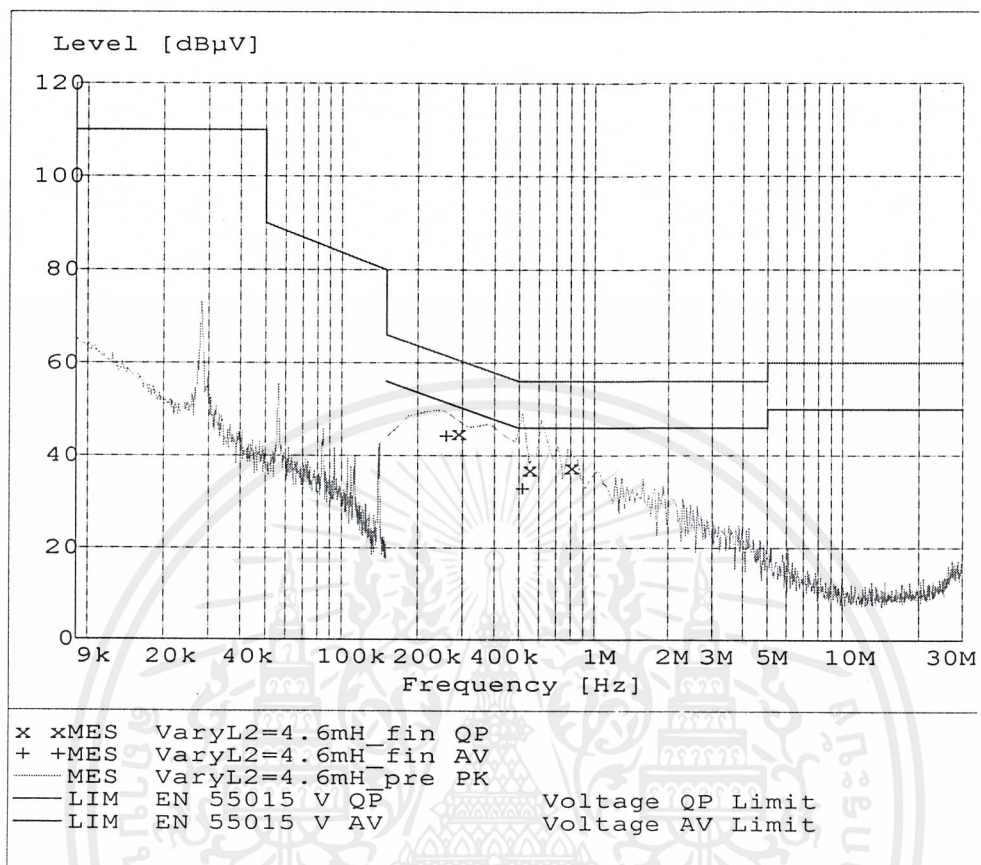
AVERAGE DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.276000	43.40	0.2	51	7.5	N	FLO
0.519000	34.00	0.2	46	12.0	N	FLO

QP DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.276000	48.10	0.2	61	12.8	N	FLO
0.496500	47.10	0.2	56	8.3	N	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEST RESULT (วงจรทดลองที่ใช้ $L_2 = 4.6$ mH)

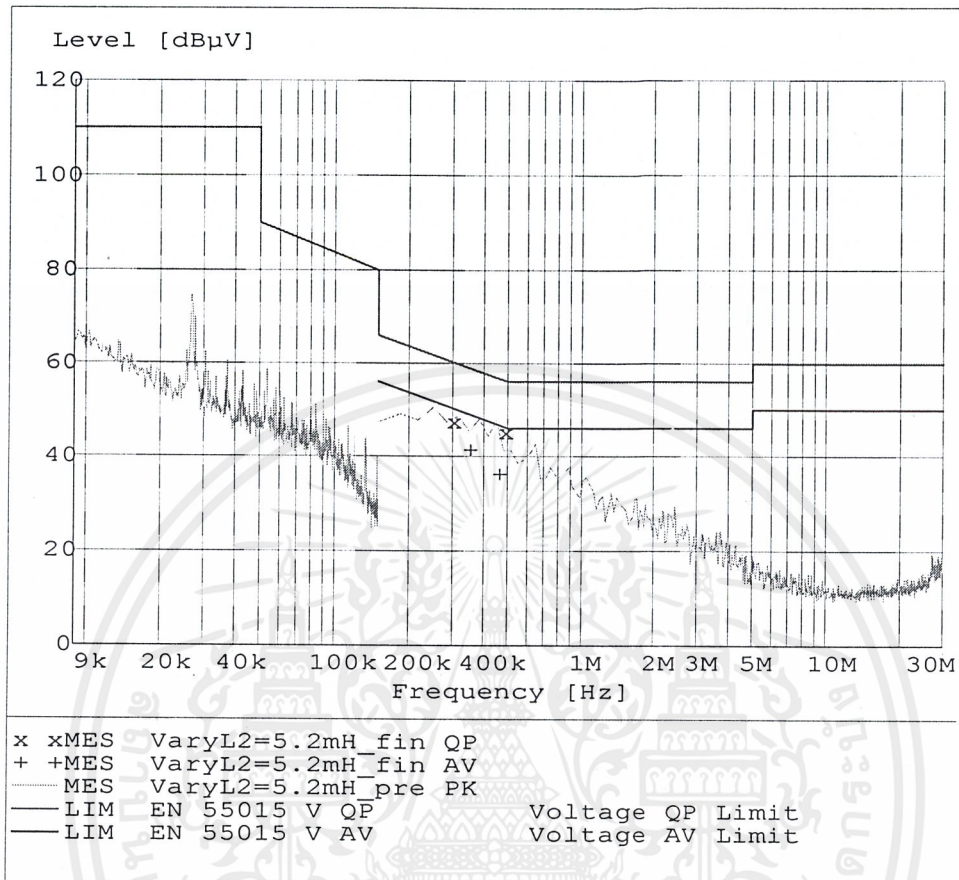
AVERAGE DETECTOR

Frequency MHz	Level dBμV	Transd dB	Limit dBμV	Margin dB	Line	PE
0.253500	44.30	0.2	52	7.3	N	FLO
0.505500	32.90	0.2	46	13.1	N	FLO

QP DETECTOR

Frequency MHz	Level dBμV	Transd dB	Limit dBμV	Margin dB	Line	PE
0.285000	44.90	0.2	61	15.8	L1	FLO
0.541500	37.00	0.2	56	19.0	N	FLO
0.793500	37.50	0.2	56	18.5	N	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEST RESULT (วงจรทดลองที่ใช้ $L_2 = 5.2$ mH)

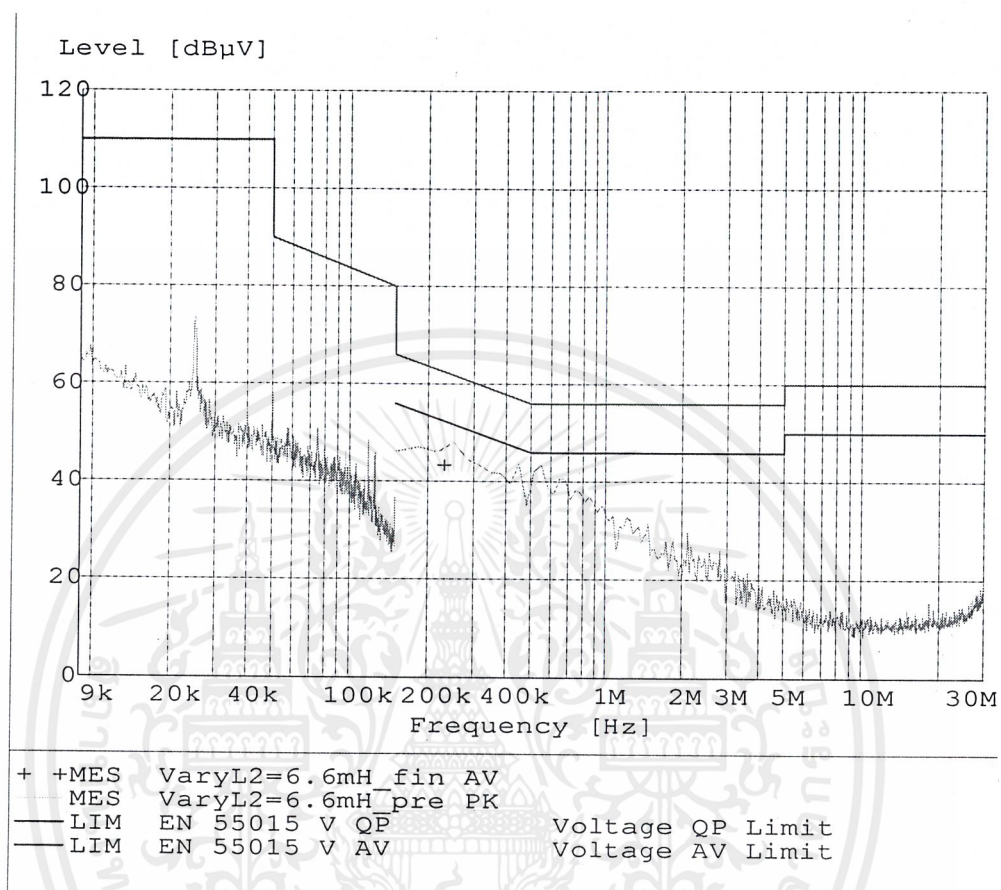
AVERAGE DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBμV	dB	dBμV	dB		
0.348000	41.40	0.2	49	7.6	N	FLO
0.456000	36.30	0.2	47	10.5	N	FLO

QP DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBμV	dB	dBμV	dB		
0.298500	47.40	0.2	60	12.9	N	FLO
0.483000	45.20	0.2	56	11.1	N	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

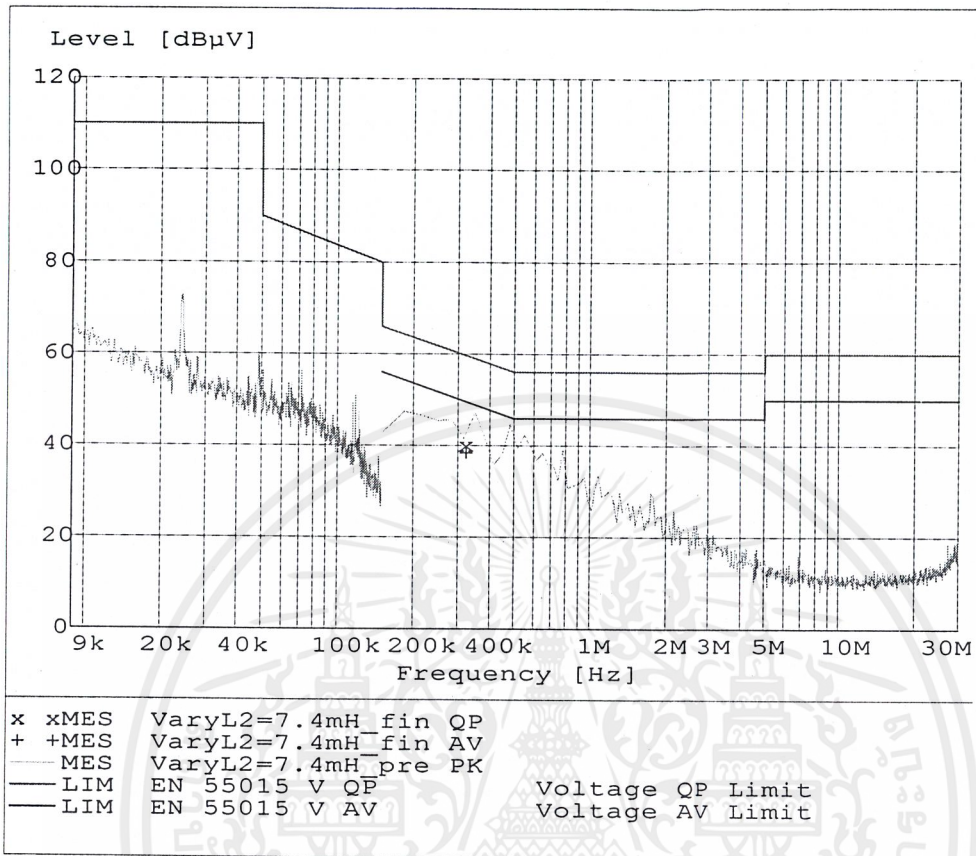


TEST RESULT (วงจรทดลองที่ใช้ $L_2 = 6.6$ mH)

AVERAGE DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dB μ V	dB	dB μ V	dB		
0.226500	43.40	0.2	53	9.2	N	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEST RESULT (วงจรทดลองที่ใช้ $L_2 = 7.4 \text{ mH}$)

AVERAGE DETECTOR

Frequency MHz	Level dBµV	Transd dB	Limit dBµV	Margin dB	Line	PE
0.316500	38.40	0.2	50	11.4	N	FLO

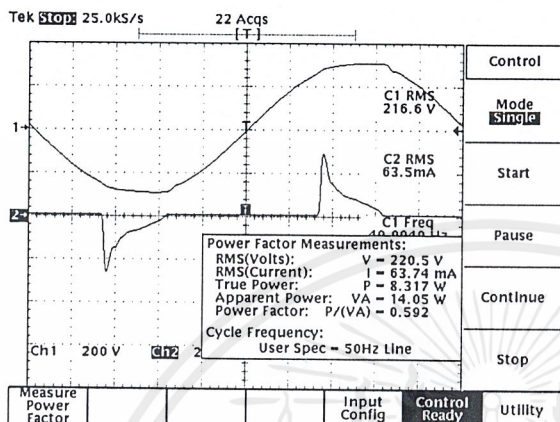
QP DETECTOR

Frequency MHz	Level dBµV	Transd dB	Limit dBµV	Margin dB	Line	PE
0.316500	40.10	0.2	60	19.7	L1	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

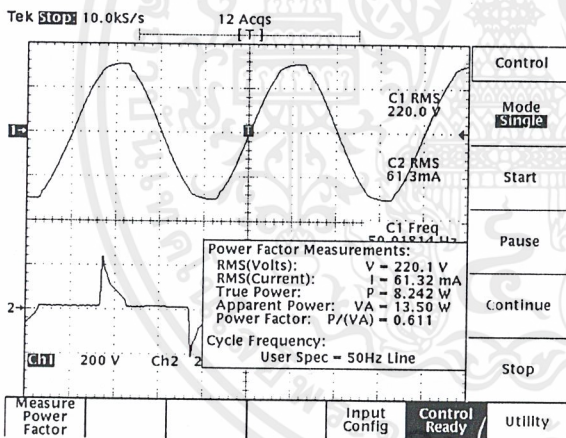
การทดลองที่ 11 วัดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรทดลอง บนแผ่นปริ้นท์ยูนิเวอร์แซลโดยแปรค่า L_0
 L_0 ชนิดที่ผันลวดบน R

1) $L_0 = 5.6 \text{ mH}$



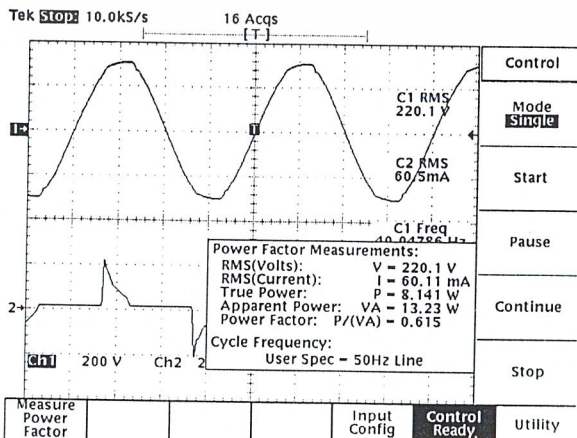
กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
 วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.592

2) $L_0 = 6.8 \text{ mH}$



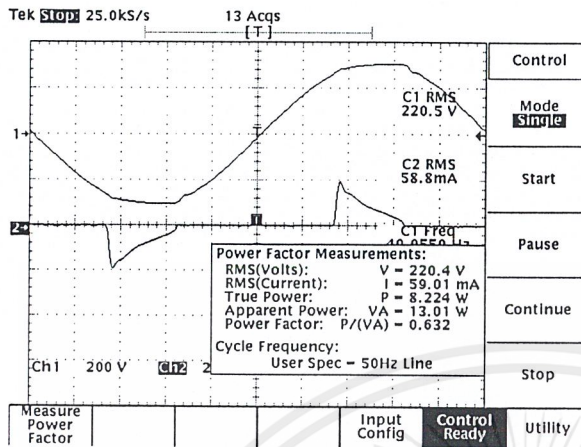
กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
 วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.611

3) $L_0 = 8.2 \text{ mH}$

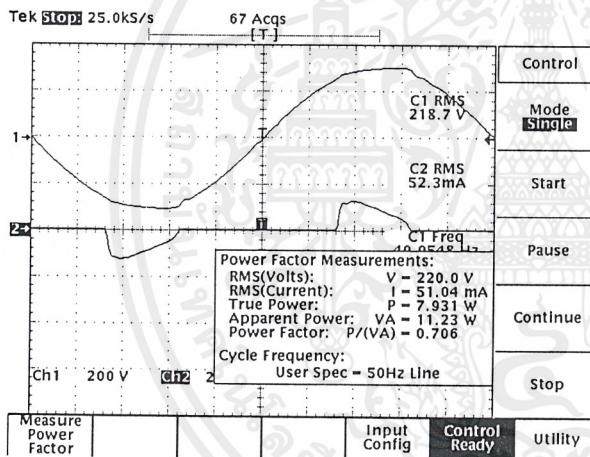


กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
 วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.615

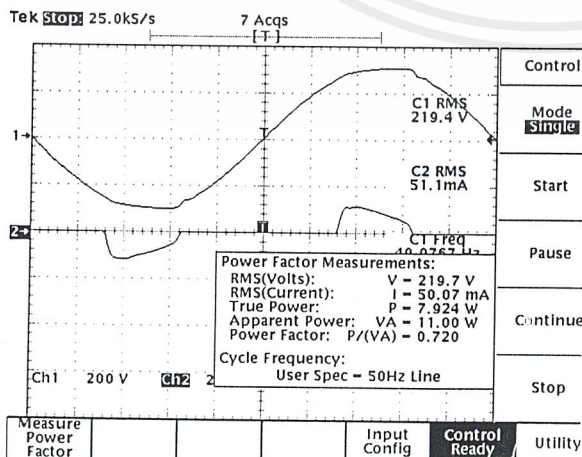
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) $L_0 = 12.0 \text{ mH}$ 

กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.632

5) $L_0 = 17.58 \text{ mH}$ 

กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.706

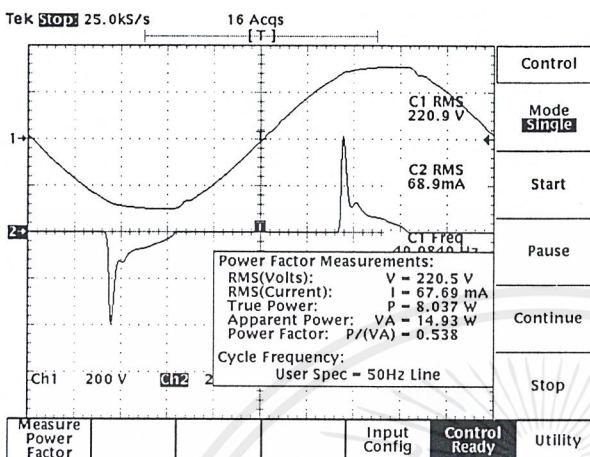
6) $L_0 = 27.25 \text{ mH}$ 

กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

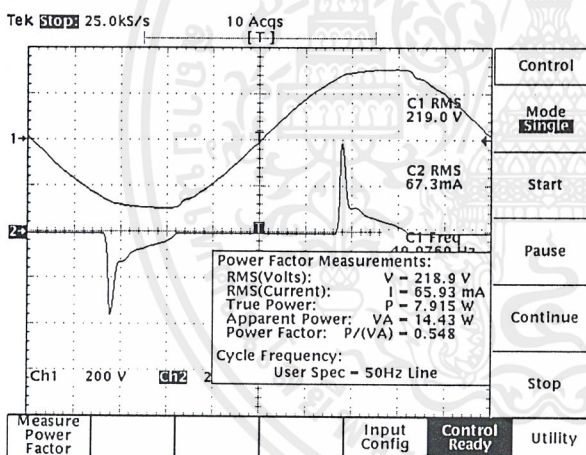
L0 ชนิดที่พื้นลวดบนแกนเทอร์รอยด์

1) $L_0 = 5.6 \text{ mH}$



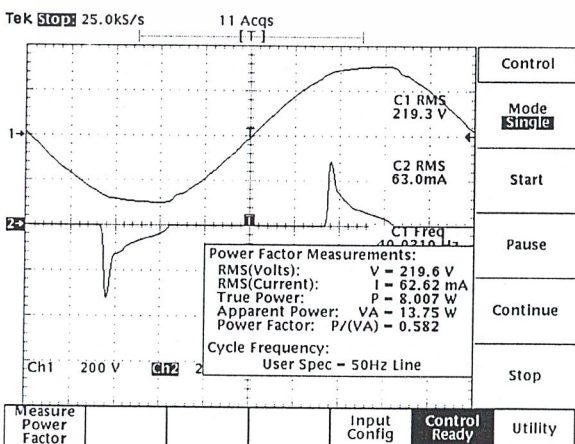
กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
 วัตต์ค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.538

2) $L_0 = 7.0 \text{ mH}$



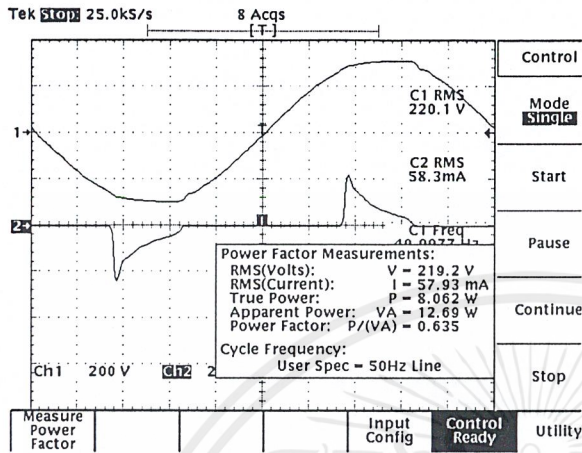
กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
 วัตต์ค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.548

3) $L_0 = 10.0 \text{ mH}$

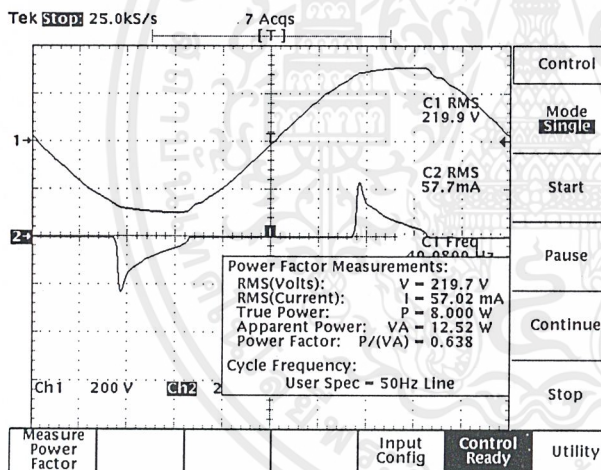


กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
 วัตต์ค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.582

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) $L_0 = 18.0 \text{ mH}$ 

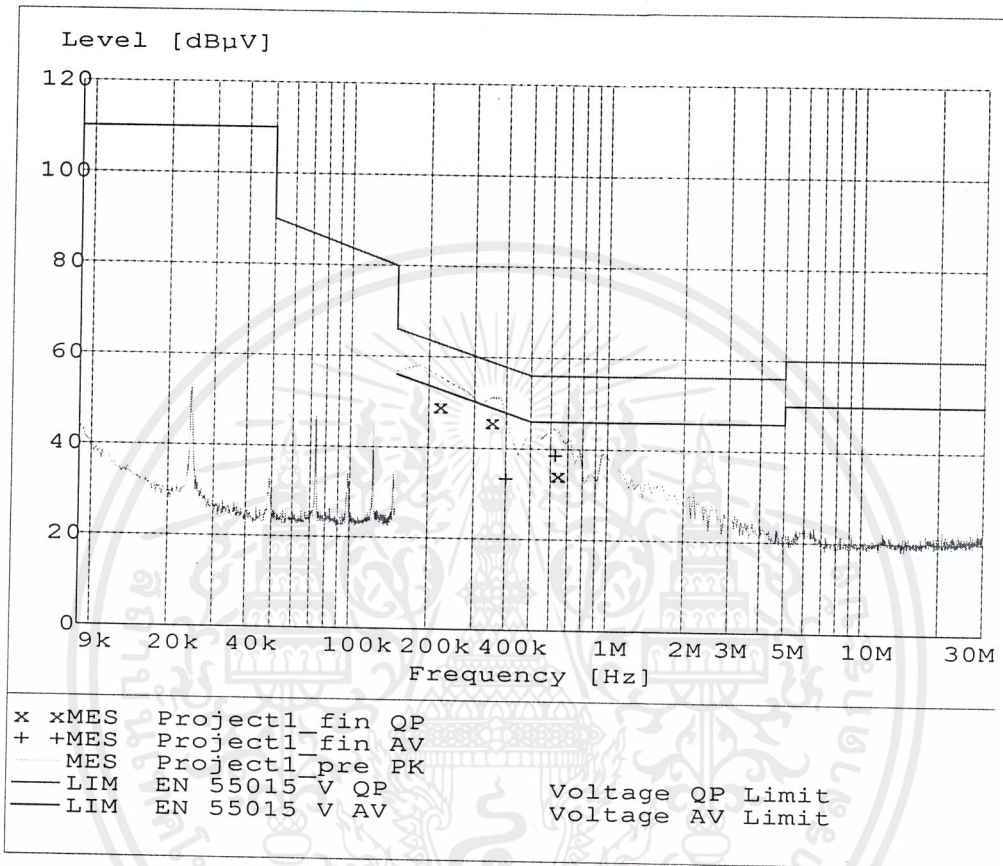
กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.635

5) $L_0 = 22.0 \text{ mH}$ 

กราฟแสดงสัญญาณกระแสอินพุทของวงจร
วัดค่าตัวประกอบกำลังได้ 0.638

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 12 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่มีวงจรกรองแบบพาสซีฟ L_0
บนแผ่นปริ้นท์



TEST RESULT

QP DETECTOR

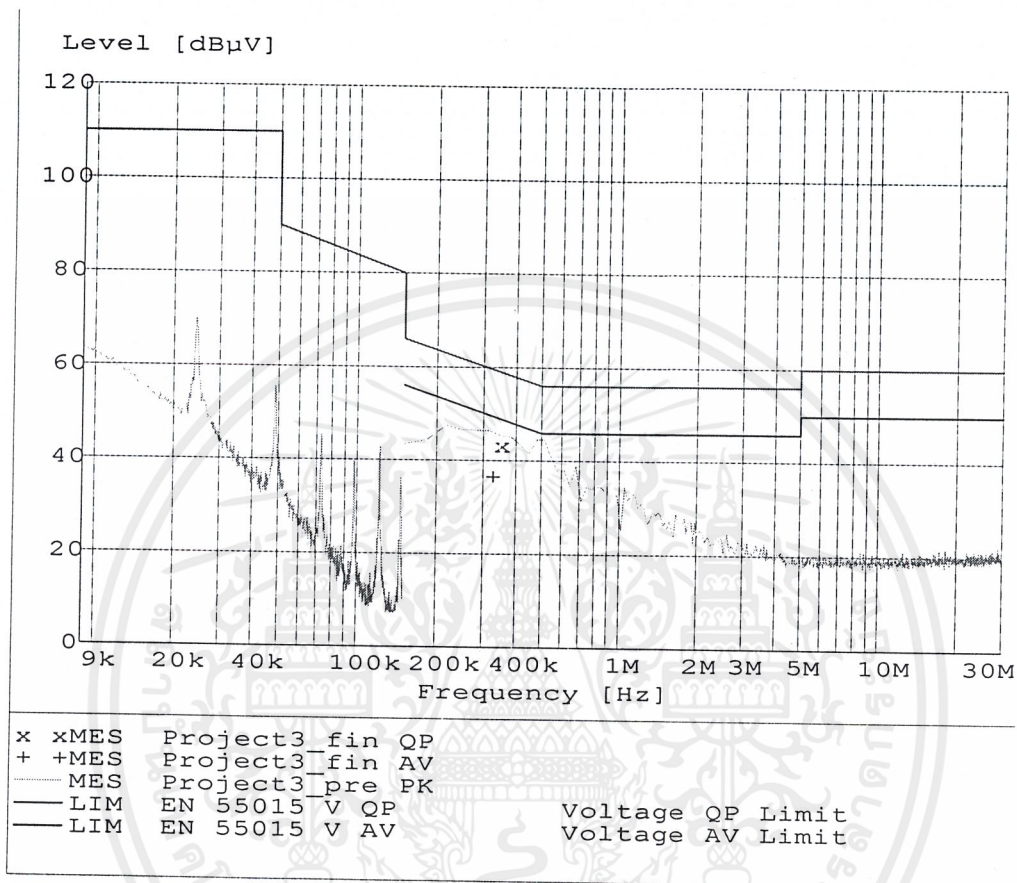
Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.217500	49.00	0.20	62.90	13.90	N	GND
0.348000	45.70	0.20	59.00	13.30	L1	GND
0.631500	34.20	0.20	56.00	21.80	N	GND

AV DETECTOR

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.393000	33.40	0.20	48.00	14.60	L1	GND
0.613500	38.60	0.20	46.00	7.40	N	GND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 13 ทดสอบสัญญาณรบกวน EMI กับวงจรทดลองที่ต่อบนลายปริ้นท์ที่ออกแบบมา



TEST RESULT (วงจบบนลายปริ้นท์ที่ออกแบบ ลายที่ 1)

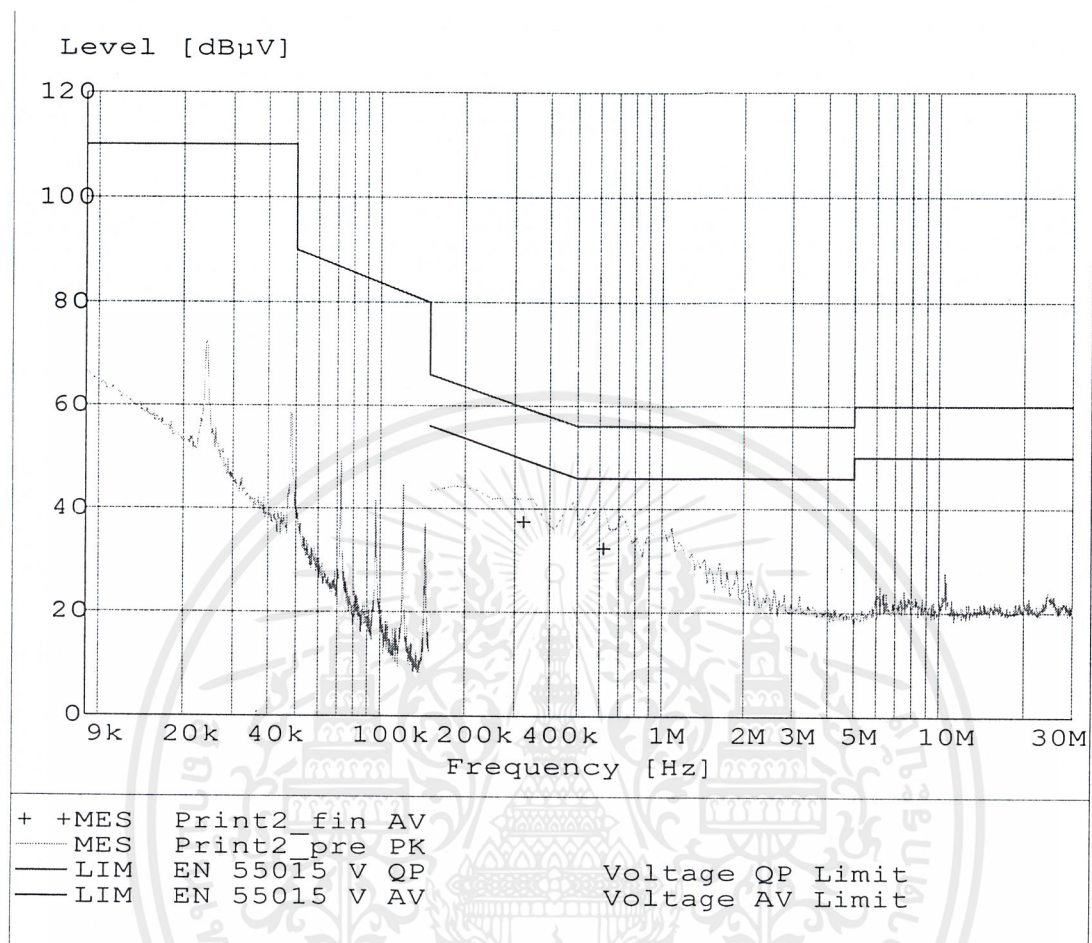
AV Detector

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.321000	36.50	0.20	49.70	13.20	N	FLO

QP Detector

Frequency	Level	Transd	Limit	Margin	Line	PE
MHz	dBµV	dB	dBµV	dB		
0.348000	43.30	0.20	59.00	15.70	N	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



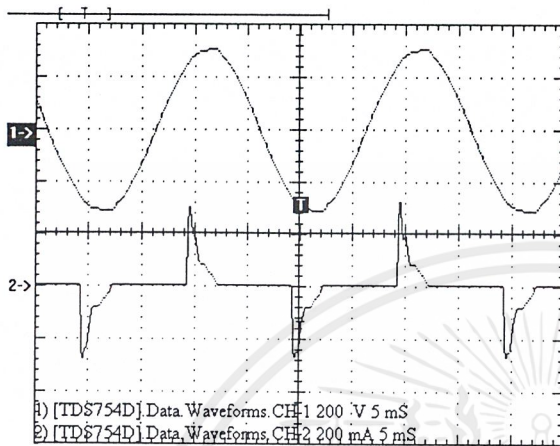
TEST RESULT (วงจรมนลายปริ้นท์ที่ออกแบบ ลายที่ 2)

AV Detector

Frequency MHz	Level dBµV	Transd dB	Limit dBµV	Margin dB	Line	PE
0.316500	37.50	0.20	49.80	12.30	L1	FLO
0.604500	32.40	0.20	46.00	13.60	N	FLO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

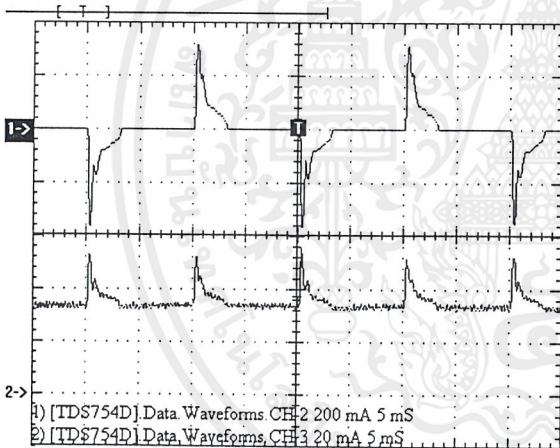
การทดลองที่ 14 วัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรบนลายปริ้นท์ที่ 1



กราฟแสดงแรงดันและกระแสอินพุทของ
วงจรที่หาอุปกรณ์มาเอง ที่ต่อลงบนบอร์ด

CH1 : V_{rms} 220.3 V (แรงดันอินพุท)

CH2 : I_{rms} 65.67 mA (กระแสอินพุท)



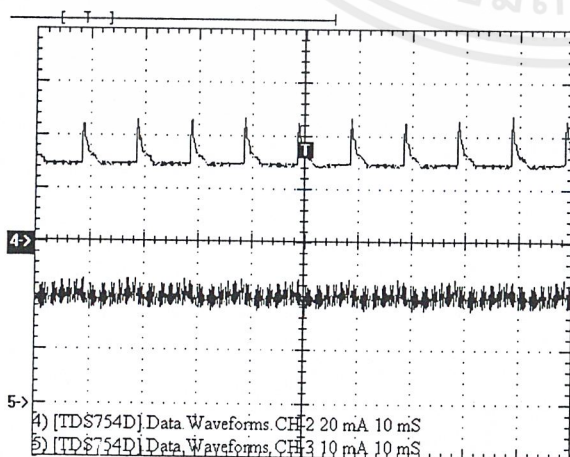
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อน
และหลังผ่านวงจรเรียงกระแส

CH1 : I_{rms} 66.07 mA

(อินพุทวงจรเรียงกระแส)

CH2 : I_{rms} 33.64 mA, I_{mean} 33.16 mA

(เอาท์พุทวงจรเรียงกระแส)

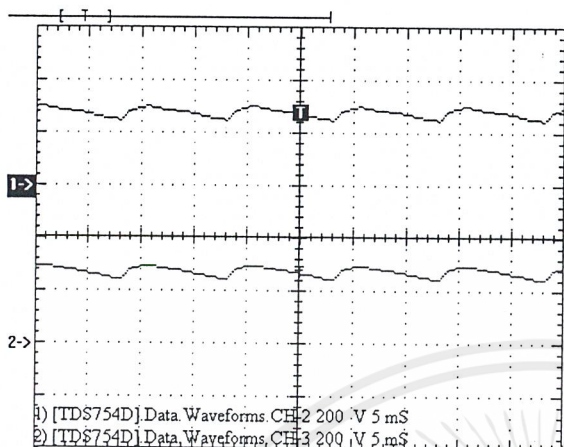


กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อน
และหลังผ่าน LC ฟิลเตอร์ ที่ความถี่ต่ำ

CH1 : I_{mean} 33.38 mA (ก่อนผ่านฟิลเตอร์)

CH2 : I_{mean} 20.94 mA (หลังผ่านฟิลเตอร์)

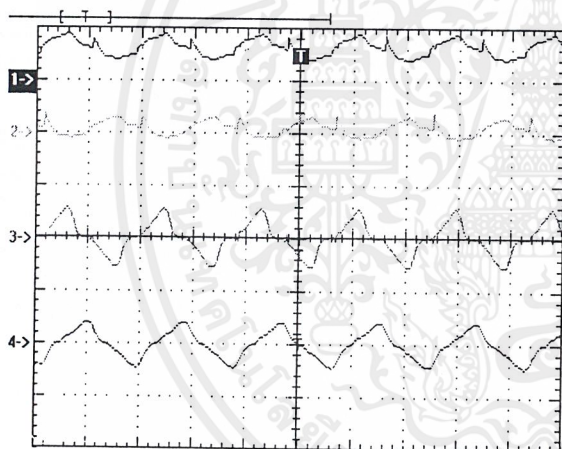
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงแรงดันที่ก่อนและหลังผ่านวงจร
LC ฟิวเตอร์

CH1 : Vpk-pk 58.1 V (ก่อนผ่านฟิวเตอร์)

CH2 : Vpk-pk 57.4 V (หลังผ่านฟิวเตอร์)



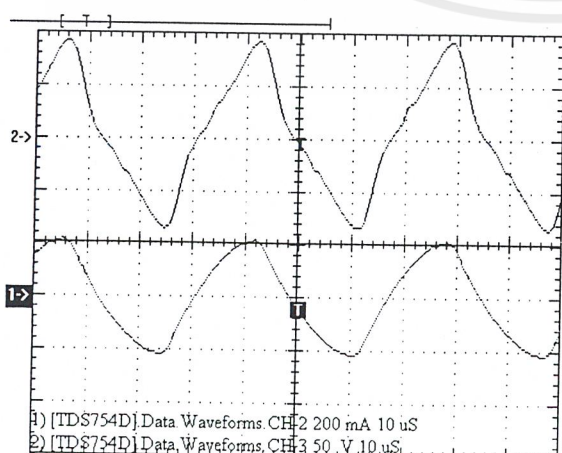
กราฟแสดงคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อ
เปรียบเทียบทิศทางการเหนี่ยวนำกระแส

CH1 : Vpk-pk 5.2 V (ขดลวด T1)

CH2 : Vpk-pk 5.9 V (ขดลวด T2)

CH3 : Vpk-pk 23.4 V (ขดลวด T3)

CH4 : Vrms 57.5 V (แรงดันคร่อมหลอด)



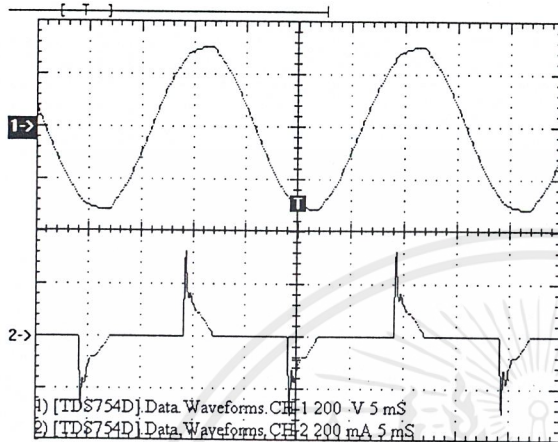
กราฟแสดงแรงดันและกระแสเอาต์พุต
ของวงจร

CH1 : Vrms 57.9 V (แรงดันคร่อมหลอด)

CH2 : Irms 133.1 mA (กระแสที่หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

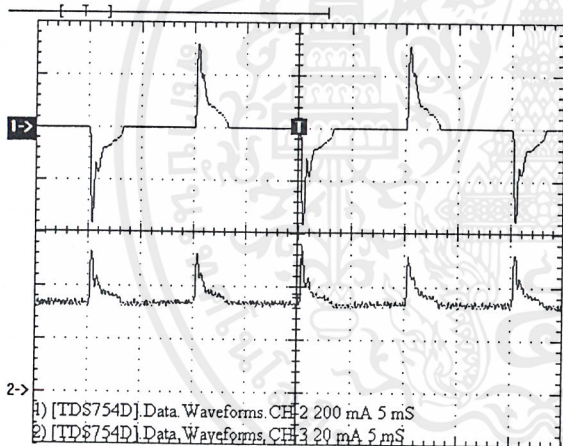
การทดลองที่ 15 วัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรบนลายปริ้นท์ที่ 2



กราฟแสดงแรงดันและกระแสอินพุทของ
วงจรที่หาอุปกรณ์มาเอง ที่ต่อลงบนบอร์ด

CH1 : V_{rms} 220.7 V (แรงดันอินพุท)

CH2 : I_{rms} 64.7 mA (กระแสอินพุท)



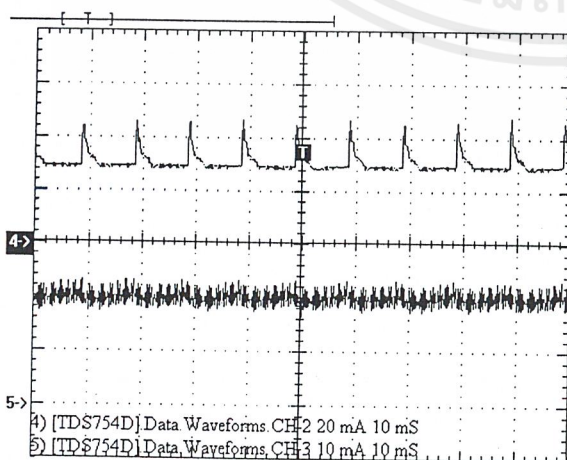
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อน
และหลังผ่านวงจรเรียงกระแส

CH1 : I_{rms} 65.1 mA

(อินพุทวงจรเรียงกระแส)

CH2 : I_{rms} 32.94 mA, I_{mean} 32.25 mA

(เอาท์พุทวงจรเรียงกระแส)

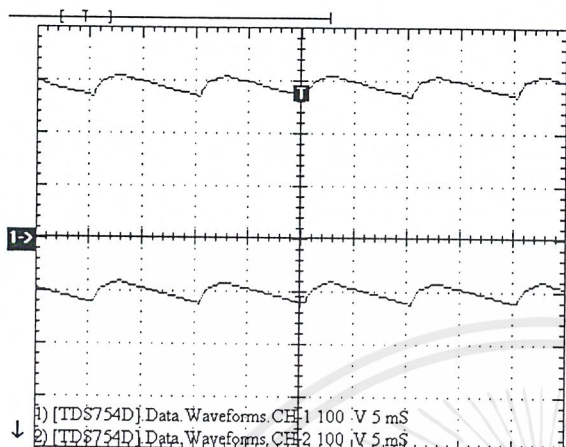


กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสก่อน
และหลังผ่าน LC ฟิลเตอร์ ที่ความถี่ต่ำ

CH1 : I_{mean} 31.85 mA (ก่อนผ่านฟิลเตอร์)

CH2 : I_{mean} 19.90 mA (หลังผ่านฟิลเตอร์)

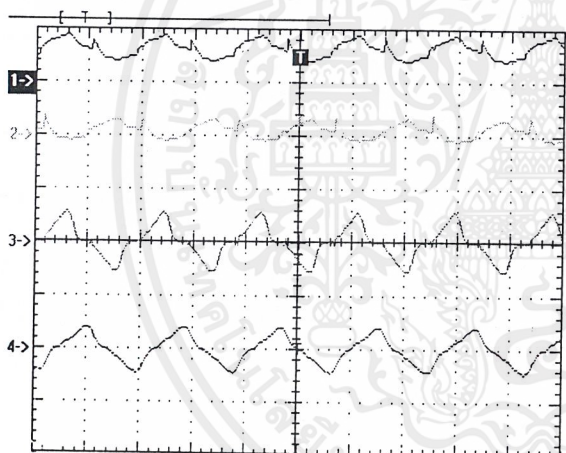
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงแรงดันที่ก่อนและหลังผ่านวงจร
LC ฟิวเตอร์

CH1 : Vpk-pk 57.11 V (ก่อนผ่านฟิวเตอร์)

CH2 : Vpk-pk 54.48 V (หลังผ่านฟิวเตอร์)



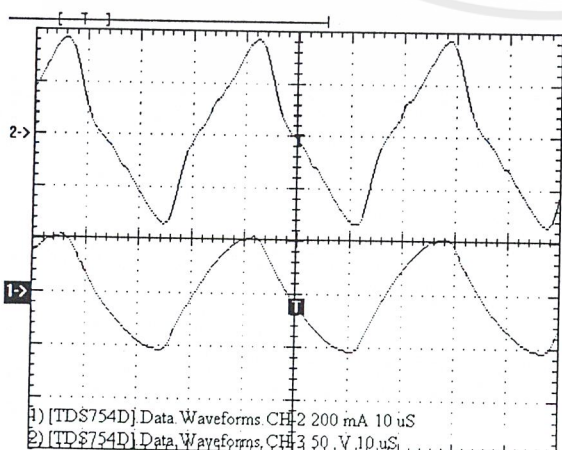
กราฟแสดงคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อ
เปรียบเทียบทิศทางการเหนี่ยวนำกระแส

CH1 : Vpk-pk 4.9 V (ขดลวด T1)

CH2 : Vpk-pk 5.5 V (ขดลวด T2)

CH3 : Vpk-pk 23.0 V (ขดลวด T3)

CH4 : Vrms 58.5 V (แรงดันคร่อมหลอด)



กราฟแสดงแรงดันและกระแสเอาต์พุต
ของวงจร

CH1 : Vrms 58.6 V (แรงดันคร่อมหลอด)

CH2 : Irms 135.3 mA (กระแสที่หลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทวิจารณ์และสรุป

จากการศึกษาและทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าส่วนประกอบภายในวงจรนี้ พบว่าเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวงจรจาก 87.87% ให้มาเป็น 89.34% และสามารถผ่านการทดสอบ EMI โดยใช้มาตรฐาน CISPR 15 โดยผลของการทดสอบที่มีค่ายอดสูงสุดเฉลี่ยต่ำกว่าเส้นมาตรฐานลงมา 10 dB ลดน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้วงจรพาสซีฟเพื่อเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังนั้น สามารถช่วยให้มีค่าตัวประกอบกำลังเพิ่มขึ้นจาก 0.56 มาเป็น 0.72 แต่จะมีผลทำให้เกิดกำลังสูญเสียมากขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง ดังนั้นหัวข้อนี้จึงนับเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่จะนำวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้ ไปพัฒนาต่อในการลดกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นและมีค่าตัวประกอบกำลังที่มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง โดยอาจจะทำการเพิ่มวงจรหรือไอซีที่ใช้ในการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง แต่ก็ควรจะคำนึงถึงขนาดและราคาต้นทุนของวงจรด้วย

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการค้นคว้า วิจัย และพัฒนางจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

**MJE13002*
MJE13003***

*Motorola preferred devices

**1.5 AMPERE
NPN SILICON
POWER TRANSISTORS**
300 and 400 VOLTS
40 WATTS

Designers Data Sheet

**SWITCHMODE SERIES
NPN SILICON POWER TRANSISTORS**

These devices are designed for high-voltage, high-speed power switching inductive circuits where fall time is critical. They are particularly suited for 115 and 220 V SWITCHMODE applications such as Switching Regulators, Inverters, Motor Controls, Solenoid/Relay drivers and Deflection circuits.

SPECIFICATION FEATURES:

- Reverse Biased SOA with Inductive Loads @ $T_C = 100^\circ\text{C}$
- Inductive Switching Matrix 0.5 to 1.5 Amp, 25 and 100°C
... t_c @ 1 A, 100°C is 290 ns (Typ).
- 700 V Blocking Capability
- SOA and Switching Applications Information.

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MJE13002	MJE13003	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE(sus)}$	300	400	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CEV}	600	700	Vdc
Emitter Base Voltage	V_{EBO}	9		Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	1.5		Adc
- Peak (1)	I_{CM}	3		Adc
Base Current - Continuous	I_B	0.75		Adc
- Peak (1)	I_{BM}	1.5		Adc
Emitter Current - Continuous	I_E	2.25		Adc
- Peak (1)	I_{EM}	4.5		Adc
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	1.4		Watts
Derate above 25°C		11.2		mW/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	40		Watts
Derate above 25°C		320		mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150		$^\circ\text{C}$

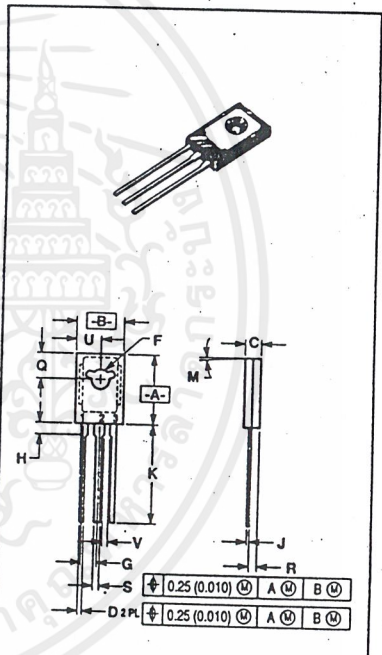
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	3.12	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	89	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes: 1/8" from Case for 5 Seconds	T_L	275	$^\circ\text{C}$

(1) Pulse Test: Pulse Width = 5 ms, Duty Cycle < 10%.

Designer's Data for "Worst Case" Conditions

The Designers Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. Limit data - representing device characteristics boundaries - are given to facilitate "worst case" design.



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. 077-01 THRU -06 OBSOLETE, NEW STANDARD 077-07.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	10.80	11.04	0.425	0.435
B	7.50	7.74	0.295	0.305
C	2.42	2.66	0.095	0.105
D	0.51	0.66	0.020	0.025
F	2.93	3.30	0.115	0.130
G	2.39 BSC		0.094 BSC	
H	1.27	2.41	0.050	0.095
J	0.38	0.63	0.015	0.025
K	14.61	16.63	0.575	0.655
M	3" TYP		3" TYP	
Q	3.76	4.01	0.148	0.158
R	1.15	1.39	0.045	0.055
S	0.64	0.68	0.025	0.035
U	3.69	3.93	0.145	0.155
V	1.02	-	0.040	-

STYLE 3:
PW 1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER

**CASE 77-07
TO-225AA TYPE**

MJE13002, MJE13003

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS (1)						
Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = 0$)	MJE13002 MJE13003 $V_{CE(sus)}$	300 400	—	—	Vdc	
Collector Cutoff Current ($V_{CEV} = \text{Rated Value}$, $V_{BE(off)} = 1.5 \text{ Vdc}$) ($V_{CEV} = \text{Rated Value}$, $V_{BE(off)} = 1.5 \text{ Vdc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	I_{CEV}	—	—	1 5	mAdc	
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 9 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	—	—	1	mAdc	
SECOND BREAKDOWN						
Second Breakdown Collector Current with base forward biased	$I_{S/b}$	See Figure 11				
Clamped Inductive SOA with base reverse biased	RBSOA	See Figure 12				
ON CHARACTERISTICS (1)						
DC Current Gain ($I_C = 0.5 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 2 \text{ Vdc}$) ($I_C = 1 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 2 \text{ Vdc}$)	h_{FE}	8 5	—	40 25	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 0.5 \text{ Adc}$, $I_B = 0.1 \text{ Adc}$) ($I_C = 1 \text{ Adc}$, $I_B = 0.25 \text{ Adc}$) ($I_C = 1.5 \text{ Adc}$, $I_B = 0.5 \text{ Adc}$) ($I_C = 1 \text{ Adc}$, $I_B = 0.25 \text{ Adc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	$V_{CE(sat)}$	—	—	0.5 1 3 1	Vdc	
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 0.5 \text{ Adc}$, $I_B = 0.1 \text{ Adc}$) ($I_C = 1 \text{ Adc}$, $I_B = 0.25 \text{ Adc}$) ($I_C = 1 \text{ Adc}$, $I_B = 0.25 \text{ Adc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	$V_{BE(sat)}$	—	—	1 1.2 1.1	Vdc	
DYNAMIC CHARACTERISTICS						
Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = 100 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1 \text{ MHz}$)	f_T	4	10	—	MHz	
Output Capacitance ($V_{CB} = 10 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 0.1 \text{ MHz}$)	C_{ob}	—	21	—	pF	
SWITCHING CHARACTERISTICS						
Resistive Load (Table 1)						
Delay Time	$(V_{CC} = 125 \text{ Vdc}$, $I_C = 1 \text{ A}$, $I_{B1} = I_{B2} = 0.2 \text{ A}$, $t_p = 25 \mu\text{s}$, Duty Cycle $< 1\%$)	t_d	—	0.05	0.1	μs
Rise Time		t_r	—	0.5	1	μs
Storage Time		t_s	—	2	4	μs
Fall Time		t_f	—	0.4	0.7	μs
Inductive Load, Clamped (Table 1, Figure 13)						
Storage Time	$(I_C = 1 \text{ A}$, $V_{clamp} = 300 \text{ Vdc}$, $I_{B1} = 0.2 \text{ A}$, $V_{BE(off)} = 5 \text{ Vdc}$, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	t_{sv}	—	1.7	4	μs
Crossover Time		t_c	—	0.29	0.75	μs
Fall Time		t_{fi}	—	0.15	—	μs

(1) Pulse Test: $PW = 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

MJE13002, MJE13003

FIGURE 1 - DC CURRENT GAIN

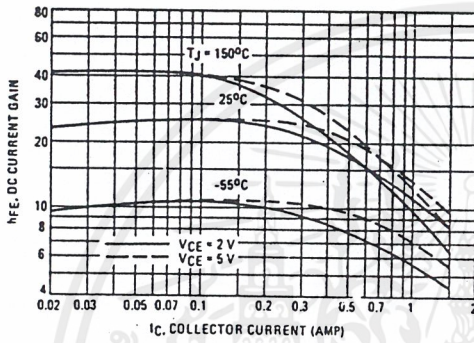


FIGURE 2 - COLLECTOR SATURATION REGION

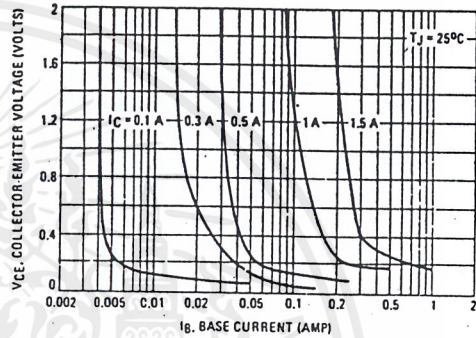


FIGURE 3 - BASE-EMITTER VOLTAGE

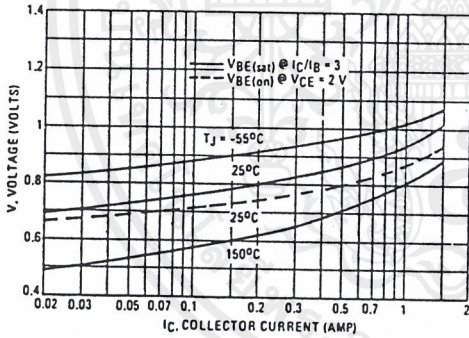


FIGURE 4 - COLLECTOR-EMITTER SATURATION REGION

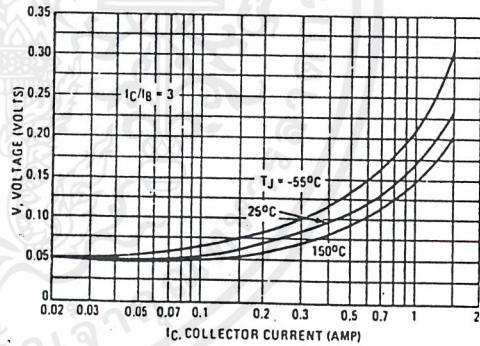


FIGURE 5 - COLLECTOR CUTOFF REGION

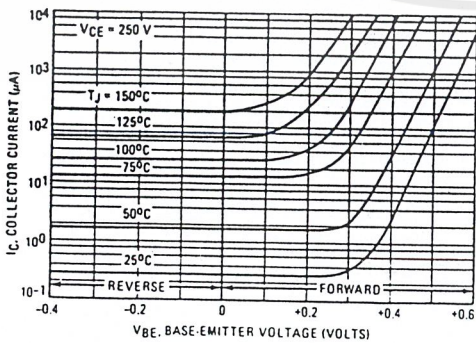
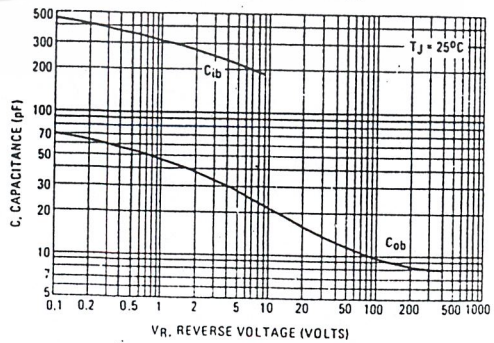


FIGURE 6 - CAPACITANCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MJE13002, MJE13003

SWITCHING TIMES NOTE

In resistive switching circuits, rise, fall, and storage times have been defined and apply to both current and voltage waveforms since they are in phase. However, for inductive loads which are common to SWITCHMODE power supplies and hammer drivers, current and voltage waveforms are not in phase. Therefore, separate measurements must be made on each waveform to determine the total switching time. For this reason, the following new terms have been defined.

- t_{sv} = Voltage Storage Time, 90% I_{B1} to 10% V_{clamp}
 - t_{rv} = Voltage Rise Time, 10-90% V_{clamp}
 - t_{fi} = Current Fall Time, 90-10% I_C
 - t_{ti} = Current Tail, 10-2% I_C
 - t_c = Crossover Time, 10% V_{clamp} to 10% I_C
- An enlarged portion of the inductive switching waveforms

is shown in Figure 7 to aid in the visual identity of these terms.

For the designer, there is minimal switching loss during storage time and the predominant switching power losses occur during the crossover interval and can be obtained using the standard equation from AN-222:

$$P_{SWT} = 1/2 V_{CC} I_C t_c f$$

In general, $t_{rv} + t_{fi} \approx t_c$. However, at lower test currents this relationship may not be valid.

As is common with most switching transistors, resistive switching is specified at 25°C and has become a benchmark for designers. However, for designers of high frequency converter circuits, the user oriented specifications which make this a "SWITCHMODE" transistor are the inductive switching speeds (t_c and t_{sv}) which are guaranteed at 100°C.

RESISTIVE SWITCHING PERFORMANCE

FIGURE 8 - TURN-ON TIME

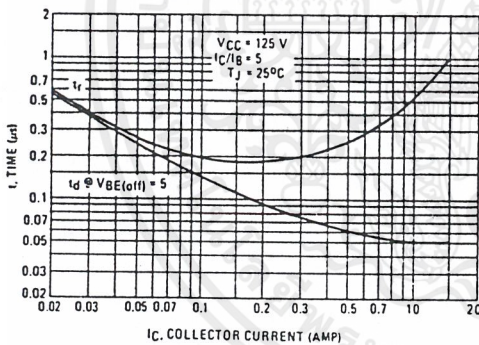


FIGURE 9 - TURN-OFF TIME

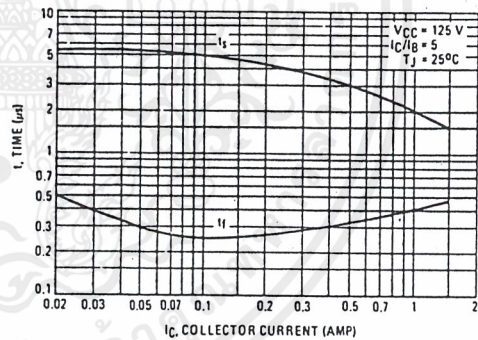
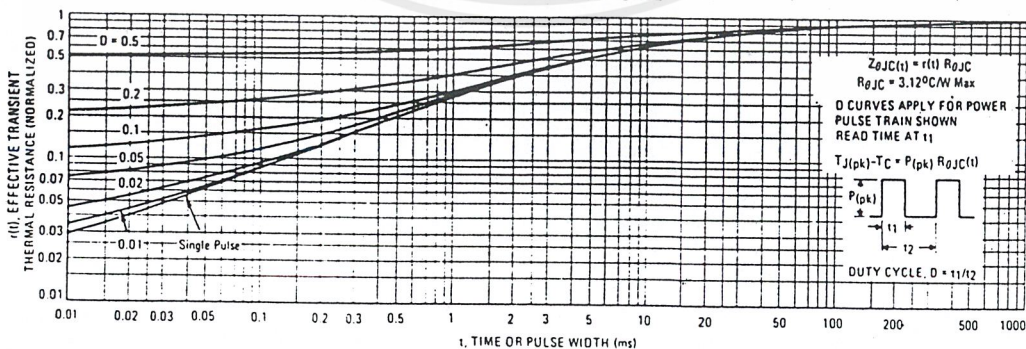


FIGURE 10 - THERMAL RESPONSE

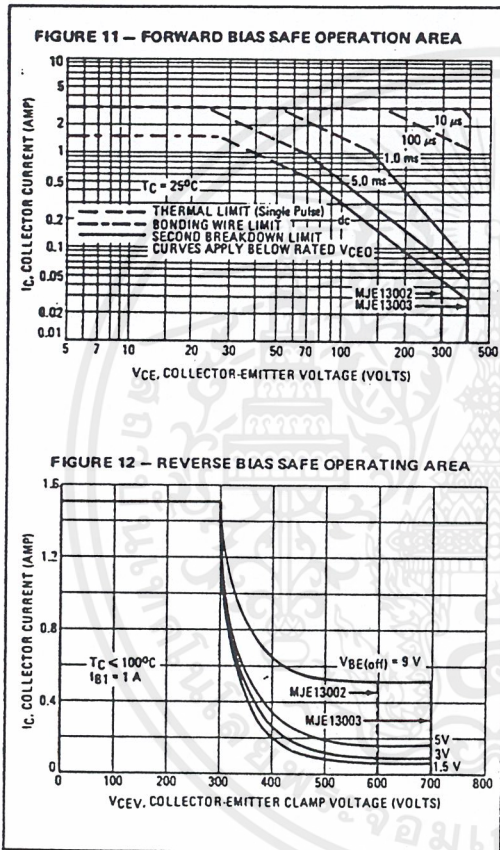


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MJE13002, MJE13003

The Safe Operating Area figures shown in Figures 11 and 12 are specified ratings for these devices under the test conditions shown.

SAFE OPERATING AREA INFORMATION



FORWARD BIAS

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate IC-VCE limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

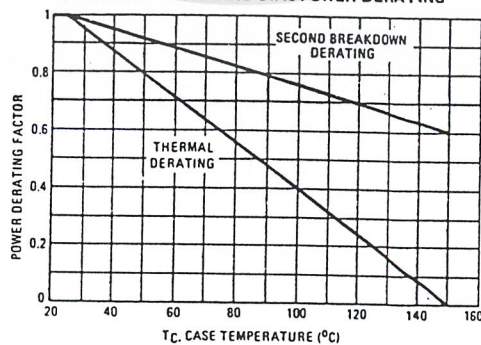
The data of Figure 11 is based on TC = 25°C; TJ(pk) is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated when TC > 25°C. Second breakdown limitations do not derate the same as thermal limitations. Allowable current at the voltages shown on Figure 11 may be found at any case temperature by using the appropriate curve on Figure 13.

TJ(pk) may be calculated from the data in Figure 10. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

REVERSE BIAS

For inductive loads, high voltage and high current must be sustained simultaneously during turn-off, in most cases, with the base to emitter junction reverse biased. Under these conditions the collector voltage must be held to a safe level at or below a specific value of collector current. This can be accomplished by several means such as active clamping, RC snubbing, load line shaping, etc. The safe level for these devices is specified as Reverse Bias Safe Operating Area and represents the voltage-current conditions during reverse biased turn-off. This rating is verified under clamped conditions so that the device is never subjected to an avalanche mode. Figure 12 gives RBSOA characteristics.

FIGURE 13 — FORWARD BIAS POWER DERATING



3

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความช่วยเหลือ การให้การสนับสนุนและกำลังใจจากบุคคลหลายท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ และ อาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ทั้งยังเป็นผู้ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านการขออนุญาตใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ อีกด้วย

อาจารย์นันทวัฒน์ จุลเดช และ อาจารย์ชวินทร์ บุญลักษณะนาสุรณ ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งที่อนุญาตให้ใช้ห้องในการวัด และทดสอบ

ขอขอบคุณ พี่ขวัญ พี่มนตรี และพี่ ๆ ที่ PTEC ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบสัญญาณรบกวน EMI ทั้งเครื่องมือและวิธีการวัด

ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ พี่เฉลิมเกียรติ เทพสำราญ (พี่เป้) ที่ให้คำแนะนำและช่วยสอนเกี่ยวกับเครื่องมือวัดทุกอย่างในห้อง

ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ พี่บัณฑิตย์ เข็มมณี ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบลายปริ้นท์และการลดสัญญาณรบกวน EMI

ขอขอบคุณซุ่มนุ้มคอมพิวเตอร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องสแกนเนอร์ และเครื่องพิมพ์ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ ชิ่ง 4B ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการหยิบยืมอุปกรณ์วัดจากไฟฟ้ากำลัง

ขอขอบคุณ เปียะ 4D ที่ให้คำแนะนำ และให้ยืมคอมพิวเตอร์ในการทำรายงานปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ปี 4 ทุกคนที่ช่วยเหลือ ให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ และเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้านอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

บรรณานุกรม

- [1]. S. Kaiwanidivilai , K. Aunchaleevarapan , B. Hutawarakorn and Y. Prempraneerach , “ The Effect Of Swithing Frequency and Duty Cycle on SMPC Conducted Emission : Simulation and Experimental” , Proceeding of International Power Engineering Conference , May 24-26 , 1999.
- [2]. Henry W. Ott , “Noise Reduction Techniques in Electronic Systems” ,John Wiley & Sons , P. 1-19
- [3]. Kye-Yoksee , “Controlling Conducted and Radiated EMI by Design ”, Nanyang Technology University School of Electrical and Electronic Engineering Singapore , 1999
- [4]. Richard Lee Ozenbaugh , “ EMI Filter Design ” , New York : Marcel Dekker , P. 42-55 , 1996.
- [5]. Christos Christopoulos , “ Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility ” , Boca Raton : CRC Press , P. 93-265 , c1995
- [6]. สมยศ เกียรติวนิชวิไล , “ อีเอ็มไอฟิลเตอร์ ” , วารสารบางกอกอิเล็กทรอนิกส์ , ปีที่ 10 , ฉบับที่ 109 , พ.ย. 2541 , หน้า 39-42
- [7]. นายพิพัฒน์ รัชชนะ และคณะ , “ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ” , วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2541
- [8]. นายณัฐวุฒิ ชินสุข , “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีเพาเวอร์เฟกเตอร์ใกล้เคียง 1 ” , วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารพระนครเหนือ , 2541
- [9]. สุวัฒน์ คั่น , “เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ” , เอนเทลไทย จำกัด , 2538