

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง
ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิลล์สำหรับหลอดไอปรอทความดันสูง 250 W ที่มีการควบคุม
กำลังของหลอดไฟให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้

DESIGN AND ANALYSIS OF AN ELECTRONIC BALLAST WITH POWER
FACTOR CORRECTION USING A VALLEY FILL CIRCUIT FOR A 250 W
HIGH PRESSURE MERCURY VAPOUR LAMP WITH CONSTANT POWER
CONTROL AND DIMMING

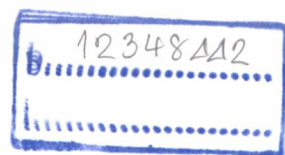


อพ.
ร353ก
2554

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

117906

22 ส.ค. 2554



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMITL-2011-EN-M-020-035
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DESIGN AND ANALYSIS OF AN ELECTRONIC BALLAST WITH POWER
FACTOR CORRECTION USING A VALLEY FILL CIRCUIT FOR A 250 W
HIGH PRESSURE MERCURY VAPOUR LAMP WITH CONSTANT POWER
CONTROL AND DIMMING**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิลล์สำหรับโหลดไอปรอท ความดันสูง 250 W ที่มีการควบคุมกำลังของโหลดไฟให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้

นักศึกษา

นายรัฐทาวุฒิ ปริบูรณ์

รหัสนักศึกษา

51060234

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2554

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.วิจิตร กิมเรศ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบ วิเคราะห์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิลล์ (Valley Fill) ซึ่งเป็นวงจรชนิดพาสซีฟสำหรับโหลดไอปรอท ความดันสูง 250 W ซึ่งให้ข้อดีในเรื่องราคาถูกและลดความยุ่งยากในการควบคุมของการแก้ไขตัวประกอบกำลังเมื่อเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรแบบ แอ็กทีฟ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนี้มีค่าตัวประกอบกำลังสูงอยู่ประมาณ 0.95 เมื่อเทียบกับ บัลลาสต์แกนเหล็กที่มีข้อต่ออยู่ในเรื่องน้ำหนักและความร้อนสะสม ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ ได้ใช้ LCC เรโซแนนซ์ช่วยในการให้แรงดันสูงในขณะจุดโหลดและสามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้ โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ของการสวิตช์ในช่วงประมาณ 30-70 kHz ช่วยในการหรี่แสงนอกจากนี้ ยังสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าของโหลดให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้

Thesis Title	Design and Analysis of An Electronic Ballast with Power Factor Correction Using a Valley Fill Circuit for a 250 W High Pressure Mercury Vapour lamp with Constant Power Control and Dimming
Student	Mr. Rathawut Boriboon
Student ID.	51060234
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinneres

ABSTRACT

This paper proposes design and analysis of electronic ballast with power factor correction using a valley fill circuit which is a passive circuit for 250 W high pressure mercury vapour lamp. Advantages are low cost and reduced complexity in power factor correction control compared with an active circuit. The proposed electronic ballast offers energy saving and 0.95 lagging power factor compared with a magnetic ballast having disadvantages in terms of weight and collected heat. The LCC load resonant inverter is used for giving high voltage during ignition and providing power variation with changing high switching frequency in the range of 30-70 kHz resulting in dimming. The proposed electronic ballast is also capable of controlling constant lamp power and dimming.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร.วิจิตร
กิตเรศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, อาจารย์ ฌรงค์ชัย ทศพร และ อาจารย์ ดร.ประสพโชค
โให้ทองคำ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้
ชี้แนะแนวทางในการออกแบบ ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณสำนักห้องสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้สนับสนุนข้อมูล
และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณสำนักบริหารวิชาการและบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความ
ช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณพ่อสมควร และคุณแม่ดวงจันทร์ และครอบครัวของ
ข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัฐทาวติ บริบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลอดไอปรอทความดันสูง.....	5
2.2.1 ลักษณะของหลอดไอปรอทความดันสูง.....	5
2.2.2 สีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัม.....	6
2.2.3 คุณลักษณะและขีดความสามารถของหลอดไอปรอทความดันสูง.....	7
2.3 บัลลัสต์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไอปรอทความดันสูง.....	8
2.4 บทสรุป.....	10
บทที่ 3 วงจรบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	11
3.1 บทนำ.....	11
3.2 โครงสร้างของวงจรบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ.....	12
3.3 วงจรกรองอีเอ็มไอ.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ.....	12
3.3.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดแตกต่าง (Differential Mode).....	12
3.3.3 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในร่วม (Common Mode).....	13
3.3.4 ลักษณะของวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	14
3.3.5 หลักการของวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	15
3.4 วงจรเรียงกระแส (Rectifier).....	16
3.4.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier).....	16
3.4.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น.....	17
3.5 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction).....	20
3.5.1 การปรับปรุงแบบพาสซีฟ (Passive Method).....	21
3.5.2 การปรับปรุงแบบแอคทีฟ (Active Method).....	24
3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit).....	25
3.6.1 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter).....	25
3.6.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter).....	26
3.6.3 อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี (Class-D Inverter).....	26
3.7 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant).....	27
3.7.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-Loaded Resonant: SLR).....	27
3.7.2 วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด (Parallel-Loaded Resonant: PLR).....	28
3.7.3 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด (Series-Parallel-Loaded Resonant: PLR).....	30
3.8 วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ (Active filters).....	33
3.8.1 ลำดับของวงจรกรองความถี่.....	35
3.8.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1.....	36
3.8.3 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1.....	36
3.8.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2.....	37
3.8.5 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2.....	38
3.8.6 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านในลำดับที่สูงขึ้น.....	38
3.8.7 วงจรกรองแถบความถี่.....	39
3.8.8 วงจรตัดแถบความถี่ (BEF).....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9 การควบคุม.....	42
3.9.1 ตัวควบคุมพีดี.....	42
3.9.2 ตัวควบคุมพีไอ.....	43
3.9.3 ตัวควบคุมพีไอดี.....	44
3.10 บทสรุป.....	45
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบที่นำเสนอ.....	46
4.1 บทนำ.....	46
4.2 การออกแบบวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	46
4.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแส.....	49
4.4 การออกแบบวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	50
4.5 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์.....	54
4.6 การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์.....	55
4.7 การออกแบบวงจรควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิกที่มีการ ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้.....	61
4.7.1 การออกแบบวงจรตรวจจับแรงดันตกคร่อมโหลดไฟ.....	62
4.7.2 การออกแบบวงจรตรวจจับกระแสที่ไหลผ่านโหลดไฟ.....	63
4.7.3 การออกแบบวงจรสัญญาณ.....	64
4.7.4 วงจรกรองแถบความถี่ (Band Pass Filter, BPF).....	65
4.7.5 การออกแบบตัวควบคุม PI.....	66
4.7.6 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์.....	69
4.7.7 การออกแบบวงจรปรับแต่งคาบเวลา (Dead Time Adjust Circuit).....	70
4.7.8 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	72
4.7.9 การออกแบบวงจร ABS (Absolute).....	73
4.7.10 การออกแบบวงจรเปลี่ยนสภาวะการจุดโหลดสู่การควบคุม กำลังไฟฟ้าที่โหลดไฟ.....	73
4.8 บทสรุป.....	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	76
5.1 บทนำ.....	76
5.2 การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	77
5.2.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด.....	77
5.2.2 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต.....	78
5.2.3 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสของหลอดไฟ.....	81
5.2.4 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า.....	83
5.3 การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	84
5.3.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด.....	84
5.3.2 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต.....	85
5.3.3 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสของหลอดไฟ.....	89
5.3.4 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า.....	92
5.4 การทดลองการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	93
5.4.1 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	93
5.4.2 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	95
5.4.3 กราฟแสดงผลการทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	97
5.5 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่ออินพุตเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์.....	101
5.5.1 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	101
5.5.2 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	102
5.5.3 กราฟแสดงผลการทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	103
5.5.4 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมปริมาณค่าฟลักซ์ส่องสว่างโดยการลดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ.....	108
5.5.5 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	113

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.6 บทสรุป.....	114
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	115
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	115
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	116
บรรณานุกรม.....	117
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	120
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	128



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 สูตรความสัมพันธ์ของ $LC_r C_p$ resonant inverter.....	55
5.1 ข้อกำหนดในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	76
5.2 การทดลองบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่ สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่.....	93
5.3 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุดโหลด จนถึงสภาวะคงที่.....	94
5.4 การทดลองบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่ สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่.....	95
5.5 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สภาวะจุดโหลด จนถึงสภาวะคงที่.....	96
5.6 การทดลองบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดพลาดสัญญาณ บัลลาสต์ ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์.....	101
5.7 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าตัวประกอบกำลัง ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อ แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์.....	101
5.8 การบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดพลาดของสัญญาณบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์.....	102
5.9 ผลของการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าตัวประกอบกำลัง ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อ แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์.....	103
5.10 การทดลองบันทึกค่าความถี่, แรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อ ปรับค่าแรงดันอ้างอิง.....	109
5.11 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับเปลี่ยนค่า แรงดันอ้างอิง.....	111
5.12 การทดลองบันทึกค่าตัวประกอบกำลัง, ค่าความผิดพลาดของสัญญาณ ของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง.....	112
5.13 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	114

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของหลอดไอปรอทความดันสูง.....	6
2.2 การกระจายพลังงานแสงของหลอดไอปรอทความดันสูง.....	7
2.3 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ.....	8
2.4 บัลลาสต์ชนิดเล็ก.....	9
2.5 บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ.....	9
2.6 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ.....	10
3.1 ไดอะแกรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	11
3.2 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง.....	13
3.3 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม.....	14
3.4 ลักษณะการต่อ LC ฟิเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน.....	14
3.5 ลักษณะการทำงานของวงจรกรองอีเอ็มไอในย่านความถี่ต่างๆ.....	15
3.6 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น.....	16
3.7 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น.....	18
3.8 คลื่นแรงดันและกระแสจากวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	21
3.9 Passive power factor correction แบบที่ 1.....	22
3.10 Passive power factor correction แบบที่ 2.....	22
3.11 Passive power factor correction แบบที่ 3.....	23
3.12 Passive power factor correction แบบที่ 4.....	23
3.13 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์.....	24
3.14 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณ โหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์.....	25
3.15 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณ โหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์.....	26
3.16 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณ โหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์.....	26
3.17 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด.....	27
3.18 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด.....	29
3.19 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด.....	30
3.20 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด.....	34
3.21 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ที่ลำดับต่างๆ.....	35
3.22 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1.....	36
3.23 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2.....	37
3.25 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2.....	38
3.26 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้มีลำดับที่สูงขึ้น.....	39
3.27 การตอบสนองความถี่ของวงจร BPF.....	39
3.28 วงจรกรองแถบความถี่ (BPF).....	40
3.29 วงจรตัดแถบความถี่ที่สร้างจาก BPF และวงจรบวกสัญญาณ.....	41
3.30 ตัวควบคุมพีดี.....	43
3.31 ตัวควบคุมพีไอ.....	43
3.32 ตัวควบคุมพีไอดีแบบอนาล็อก.....	44
4.1 วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	46
4.2 วงจรกรองอีเอ็มไอที่นำเสนอ.....	47
4.3 วงจรกรองอีเอ็มไอที่ได้ออกแบบ.....	48
4.4 ลักษณะรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	49
4.5 วงจรเรียงกระแสที่ได้ออกแบบ.....	50
4.6 ลักษณะการทำงานของวงจรวาล์วเลย์ฟิลา.....	51
4.7 วงจรวาล์วเลย์ฟิลาที่ได้ออกแบบ.....	53
4.8 แรงดัน (รูปบน) และกระแส (รูปล่าง) ทางด้าน input ที่ได้จากการจำลอง.....	54
4.9 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรวาล์วเลย์ฟิลา.....	54
4.10 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองการทำงานของวงจรวาล์วเลย์ฟิลา.....	54
4.11 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบคลาสตีที่ได้ออกแบบ.....	55
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Plamp กับ Q_p	57
4.13 การตอบสนองของ P_{lamp} ที่มีต่อของ C_p/C_s	57
4.14 วงจรเรโซแนนซ์ที่ได้ออกแบบ.....	59
4.15 แรงดันจุดหลอดที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์.....	59
4.16 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	60
4.17 กระแสเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	60
4.18 ความสัมพันธ์ของ Frequency และ Power ที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	61
4.19 วงจรตรวจจับแรงดันตกคร่อมหลอดไฟ.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟ.....	63
4.21 ลักษณะของหม้อแปลงกระแส.....	63
4.22 วงจรคุณสัญญาณ.....	64
4.23 วงจรตรวจจับแรงดันตกคร่อมหลอดไฟ.....	63
4.24 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟ.....	64
4.25 ลักษณะของหม้อแปลงกระแส.....	66
4.26 วงจรคุณสัญญาณ.....	66
4.27 วงจรควบคุมแบบพีไอที่นำเสนอ.....	68
4.28 ไอซีเบอร์ CD4046BC.....	68
4.29 การต่อใช้งานวงจร VCO ที่นำเสนอ.....	69
4.30 วงจรปรับแต่งคาบเวลา.....	70
4.31 ช่วงเวลาของสัญญาณขาขึ้น.....	70
4.32 ช่วงเวลาของสัญญาณขาลง.....	70
4.33 วงจรจับเกตมอสเฟตสวิทช์.....	71
4.34 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรปรับแต่งคาบเวลา.....	71
4.35 วงจร ABS.....	72
4.36 ลักษณะวงจรเปลี่ยนสถานะการทำงานของหลอด.....	73
4.37 สถานะการทำงานของวงจรเปลี่ยนสถานะการทำงานของหลอด.....	73
5.1 การวัดแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	77
5.2 แรงดันจุดหลอดจากบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	78
5.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	78
5.4 คลื่นแรงดันด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	79
5.5 คลื่นกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	79
5.6 คลื่นแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	80
5.7 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ แรงดัน.....	80
5.8 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ แรงดัน.....	81
5.9 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสของหลอดไฟที่ใช้กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 คลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดไฟ.....	82
5.11 คลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟ.....	82
5.12 คลื่นสัญญาณแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสไฟของหลอดไฟ.....	83
5.13 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	83
5.14 ค่า THD _r ด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	84
5.15 การวัดค่าแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	84
5.16 แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่สามารถจุดหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	85
5.17 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	85
5.18 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่อกับวงจรบริดจ์เรกติไฟล์.....	86
5.19 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต่อกับวงจรบริดจ์เรกติไฟล์.....	86
5.20 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	87
5.21 คลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	87
5.22 คลื่นสัญญาณแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	88
5.23 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดัน 195 V.....	88
5.24 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดัน 195 V.....	89
5.25 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	89
5.26 คลื่นสัญญาณแรงดันทางด้านหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	90
5.27 คลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	91
5.28 คลื่นสัญญาณแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	92
5.29 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	92
5.30 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.31 กราฟค่าแรงดันหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	97
5.32 กราฟค่ากระแสอินพุตตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	97
5.33 กราฟค่ากระแสหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	98
5.34 กราฟอิมพีแดนซ์อินพุตตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	98
5.35 กราฟอิมพีแดนซ์ของหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	98
5.36 กราฟ Average Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	99
5.37 กราฟ Average Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	99
5.38 กราฟ Apparent Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	99
5.39 กราฟ Apparent Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	100
5.40 กราฟ Reactive Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	100
5.41 กราฟ Reactive Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสถานะอยู่ตัว.....	100
5.42 กราฟค่าแรงดันคร่อมหลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	104
5.43 กราฟค่ากระแสอินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	104
5.44 กราฟค่ากระแสที่หลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต.....	104
5.45 กราฟค่าอิมพีแดนซ์อินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	105
5.46 กราฟค่าอิมพีแดนซ์ที่หลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	105
5.47 กราฟค่า Average Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต.....	105
5.48 กราฟค่า Average Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	106
5.49 กราฟค่า Apparent Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	106
5.50 กราฟค่า Apparent Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต.....	106
5.51 กราฟค่า Reactive Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	107
5.52 กราฟค่า Reactive Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	107
5.53 กราฟค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	107
5.54 กราฟค่า THD _v เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต.....	108
5.55 กราฟค่า THD _i เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต.....	108
5.56 กราฟแสดงค่าความถี่เมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง.....	109
5.57 กราฟค่าแรงดันหลอดเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่.....	110
5.58 กราฟกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่.....	110

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.59 กราฟค่าแรงดัน,กระแส,อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการ ปรับเปลี่ยนค่าความถี่.....	110
5.60 กราฟค่า Average Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่.....	111
5.61 กราฟค่า Apparent Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่.....	112
5.62 กราฟค่า Reactive Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่.....	112
5.63 กราฟค่า THD _i เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่.....	113



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การนำพลังงานมาใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปีในปัจจุบัน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ในส่วนของระบบส่องสว่างจะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมาก ดังนั้นในบทความวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จัดการพลังงานไฟฟ้าด้านส่องสว่างให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยหลอดไฟตระกูลคายประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge Lamp) ได้มีการนำมาใช้ในงานส่องสว่างอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างภายในและภายนอกอาคารรวมทั้งในแวดวงอุตสาหกรรม องค์ประกอบในการให้แสงสว่างของหลอดไฟชนิดนี้ประกอบไปด้วยหลอดไฟ บัลลาสต์และอิเหนอร์ แต่ว่าบัลลาสต์ที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ในปัจจุบันคือบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (Magnetic Ballast) จากการศึกษาการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กพบว่าก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานทางไฟฟ้าจำนวนมาก ประกอบไปด้วยการสูญเสียในแกนเหล็ก การสูญเสียในขดลวดทองแดงรวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังต่ำจากปัญหาข้างต้นแนวทางการที่จะลดการสูญเสียต่างๆ โดยการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาพัฒนาเพื่อใช้งานร่วมกับหลอดไฟแทนบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก รวมทั้งการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้นำไปใช้งานในสภาวะต่างๆ เช่น ไฟฟ้าตก ไฟฟ้าเกิน และการกระชากของแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การปรับปรุงแบบแอคทีฟและการปรับปรุงแบบพาสซีฟ[1] การปรับปรุงแบบแอคทีฟจะเป็นรูปแบบคอนเวอร์เตอร์สวิตชิง อย่าง Boost Converter เป็นวงจรพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป สภาวะการรักษาแรงดันเอาต์พุตสูงกว่าค่าสูงสุดของแรงดันอินพุต แต่ต้องมีวงจรเพื่อมาควบคุมความถี่สวิตชิงซึ่งต้องแลกกับความซับซ้อนและขนาดของวงจรที่ใหญ่ขึ้น ส่วนการปรับปรุงแบบพาสซีฟเป็นวงจร Valley Fill จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะนำไปใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์[4],[7] ที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับหลอดไอปรอทความดันสูง วงจรมีขนาดที่กะทัดรัดและสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ต้องการค่าความเหนี่ยวนำและไม่ต้องการความถี่สวิตชิงมาควบคุมแรงดัน output แต่แรงดันที่ได้จะแปรผันตามแรงดัน input เป็นผลทำให้ไม่สามารถควบคุมแรงดัน output ของวงจรได้ แต่สามารถนำวงจรควบคุมมาใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดได้โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรเรโซแนนท์ การจุดหลอดโซเดียมความดันไอสูงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก อิเหนอร์จะสร้างแรงดันสูงประมาณ 1,000~2,000 โวลต์เพื่อใช้ในการจุดหลอดจนกระทั่งเมื่อหลอดจุดติดแล้วก็ยังมีแรงดันตกคร่อม

หลอดตลอดเวลาที่ใช้งานทำให้เกิดการสูญเสียมาก สำหรับวงจรจุดหลอดของบัลลาสต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์จากงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้วงจรจุดหลอดแบบภายนอก (External Igniter) ซึ่งในการทดสอบพบว่าวงจรจุดแบบนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น วงจรรวมมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักโดยรวมมากและอายุการใช้งานที่สั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะใช้วงจรจุดหลอดแบบภายใน (Internal Igniter) โดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แบบ LCC ร่วมในการวิเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้หลอดไอปรอทความดันสูง (High-pressure Mercury Vapour Lamp) หรือที่เรียกว่าหลอดแสงจันทร์ เป็นหลอดดิสชาร์จความเข้มสูง high intensity discharge (HID) ที่ใช้กันมาก ตัวหลอดเป็นแก้ว 2 ชั้น ชั้นในคือหลอดอาร์ค ที่ข้างในมีอิเล็กโทรดอยู่ที่ปลายทั้งสอง บรรจุกด้วยไอปรอทและก๊าซอาร์กอน ส่วนหลอดชั้นนอกเป็นแก้วทรงลูกโบว์ลิ่งบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันหลอดแก้วชั้นใน มีทั้งชนิดที่โปร่งใสและชนิดเคลือบสารเรืองแสงเพื่อให้สมดุลของสีดีขึ้น การจะจุดหลอดให้ติดนั้นจะต้องให้แรงดันและกระแสที่สูงเพื่อให้เกิดล้ากระแสภายในหลอดอาร์ค [1] หลอดจึงจะเริ่มนำกระแสทำให้ความต้านทานของหลอดลดลงจนอยู่ในสภาวะที่คงที่ ในขณะที่แรงดันและกระแสจะต้องได้ตามสเปคของหลอดจากผู้ผลิต ขณะเดียวกันจะต้องคำนึงถึงค่า Power factor (PF) ให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่งที่สุดซึ่งมีผลกับกำลังของหลอด และค่าความผิดเพี้ยนรวม (Total Harmonic Distortion, THD) อยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน EN61000-3-2 Harmonic Current Limit [2]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาหลักการทำงานของ โครงสร้างและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างวงจรต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยทั้งวงจรกำลังและวงจรควบคุม เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟต้นแบบ และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แอคทีฟ รวมทั้งนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้งานจริงในสภาวะต่างๆ เช่น ไฟฟ้าตก ไฟฟ้าเกิน และการกระชากของแรงดันไฟฟ้า

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบสำหรับหลอดไอปรอทความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์คลาสดีต่อกับวงจร LCC ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้ บัลลาสต์ที่ใช้กันส่วนใหญ่จะเป็นบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่มีข้อเสียทางด้านค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำประมาณ (0.4~0.6) เป็นผลทำให้พลังงานเกิดการสูญเสียเป็นจำนวนมากถึงแม้ว่าจะมีการแก้ไขโดยการนำค่าความเป็นประจุ

เอกสารคุ้มครองระหว่างหลอดไฟแล้วก็ตาม รวมทั้งขนาดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ใหญ่และมีน้ำหนัก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก ด้วยสาเหตุนี้จึงได้มีการทำงานวิจัยทางด้านบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อหวังว่าอนาคตจะนำมาใช้ทดแทนบัลลาสต์แบบชนิดแกนเหล็ก โดยการศึกษาที่ผ่านมาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พบว่ามีปัญหาเรื่องของความคงทนวงจรที่ใช้แรกเริ่มเป็นวงจรแบบเรกติไฟส์ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยังต่ำอยู่ ต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยสามารถแบ่งเป็นวงจรแบบพาสซีฟและวงจรแบบแอคทีฟ การทำงานของวงจรเหล่านี้มีลักษณะเป็นวงจรแปรผันกำลังจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแต่ลักษณะของรูปคลื่นอินพุตที่ได้จะแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน แต่สามารถช่วยในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 หัวข้อใหญ่

- 1.4.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโหลดโอบรอตความดันสูง
- 1.4.2 วงจรจุดโหลดสำหรับโหลดโอบรอตความดันสูง ซึ่งกล่าวถึงการจุดใส่โหลดโอบรอตความดันสูง การออกแบบวงจรที่เหมาะสมในการใช้งานจริง
- 1.4.3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ ซึ่งจะกล่าวถึงเทคนิคการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ ทำให้สมรรถนะรวมทั้งประสิทธิภาพของระบบโดยรวมดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้คือการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์หลักการทำงานและการควบคุมการทำงานรวมทั้งจำลองการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งออกแบบวงจรควบคุมและสร้างวงจรกำลัง ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโหลดโอบรอตความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ให้สามารถใช้งานและมีความสัมพันธ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพื่อทดสอบให้ผลการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้คือ พิกัดกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์, ระบบไฟฟ้าป้อนเข้า 195-245 โวลต์, ค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.90, ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตไม่เกิน 25% , ค่าตัวประกอบยอดคลื่น Crest Factor ไม่เกิน 1.7 , ประสิทธิภาพของระบบมากกว่า 80% , รวมทั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบต้องประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก 10%

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีจากบทความ, วารสาร, เอกสาร และตำราต่างๆ ที่สามารถให้

ข้อมูลเกี่ยวกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.6.2 วิเคราะห์หลักการการทำงานของวงจรกำลังและวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
- 1.6.3 การออกแบบวงจรการทำงานโดยการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ บนโปรแกรมสำเร็จรูป PSpice
- 1.6.4 ออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบที่ใช้ในการวิจัย
- 1.6.5 ทดลองวงจรต้นแบบตามขอบเขตของวิทยานิพนธ์
- 1.6.6 เขียนวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์, การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดโอบปรอทความดันสูง 250 วัตต์ ซึ่งสามารถแบ่งรายละเอียดที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์เป็น 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และ โครงสร้างวิทยานิพนธ์ซึ่งกล่าวถึงเนื้อหาคร่าวๆ ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้

บทที่ 3 ทฤษฎีของวงจรที่ใช้ในการออกแบบสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การวิเคราะห์วงจร การเลือกวงจรที่เหมาะสมกับงานวิจัย สภาพะการทำงานของวงจร พร้อมทั้งกล่าวถึงเทคนิคการสร้างวงจรกำลังและวงจรควบคุม

บทที่ 4 การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบ กล่าวถึงการใช้อุปกรณ์ การออกแบบวงจรต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างวงจรต้นแบบและวงจรควบคุมที่ใช้ในการวิจัย

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ รวมถึงการทดลองวงจรต้นแบบด้วยเงื่อนไขการทำงานต่างๆ

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัย ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการพัฒนางจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

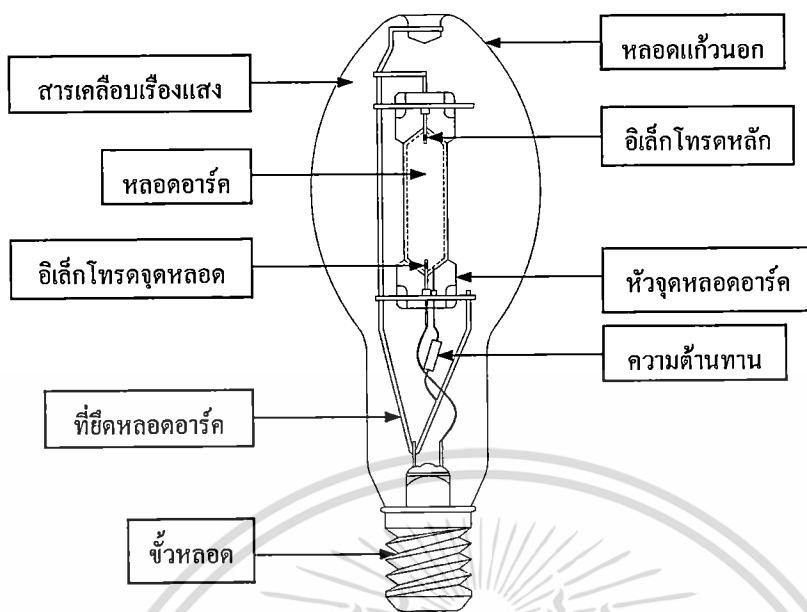
2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย ลักษณะของหลอดไอปรอทความดันสูง บัลลาสต์ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไอปรอทความดันสูง และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

2.2 หลอดไอปรอทความดันสูง

2.2.1 ลักษณะของหลอดไอปรอทความดันสูง

เนื่องจากคุณสมบัติของหลอดไส้ไม่สามารถให้ฟลักซ์แสงสว่างได้มาก ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่สามารถทำให้ขนาดสั้นและเล็ก จึงไม่เหมาะกับบริเวณที่ต้องการแสงสว่างมากและต้องการควบคุมแสงให้ตกลงในบริเวณพื้นที่ที่จำกัด จึงได้มีการพัฒนาหลอดไฟฟ้าแบบใหม่ชนิดแหล่งกำเนิดแสงเล็กแต่ให้ฟลักซ์แสงสว่างและให้ประสิทธิภาพแสงสว่างสูง หลอดตระกูลนี้เรียกว่าหลอดดิสชาร์จความเข้มแสงสูง (High Intensity Discharge: HID) หลอด HID แยกเป็น 3 จำพวกด้วยกันคือ หลอดไอปรอทความดันสูงหรือหลอดแสงจันทร์ (Mercury Vapor Lamp) หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) และหลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Vapor Lamp) แสงจากหลอดไอปรอทความดันสูงผลิตโดยหลอดอาร์ค หลอดอาร์คนี้ทำด้วยแก้วควอร์ตและยอมให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตผ่านได้ ภายในหลอดอาร์คจะประกอบด้วยปรอท ก๊าซฮาฟเนียม นีออน และคริปทอนจำนวนเล็กน้อย เมื่อเริ่มเปิดไฟจะเกิดอาร์คระหว่างขั้วอิเล็กโทรดหลักและขั้วอิเล็กโทรดจุดหลอด การอาร์คทำให้ปรอทแตกตัวกลายเป็นไอออนจะเกิดความร้อนทำให้ความต้านทานของหลอดอาร์คลดลง จนกระทั่งความต้านทานของหลอดอาร์คต่ำกว่าความต้านทานจุดหลอดก็จะเริ่มเกิดอาร์คขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดหลักทั้งสองข้าง อาร์คที่เกิดขึ้นจะทำให้ปรอทแตกตัวกลายเป็นไอออนและอิเล็กตรอนมากขึ้น การไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการปล่อยประจุอาร์คที่วิ่งด้วยความเร็วสูงเกิดการชนของอิเล็กตรอนและไอออนกับโมเลกุลของไอปรอททำให้วงโคจรวงนอกสุดของโมเลกุลไอปรอทเปลี่ยนไป เป็นเหตุให้โมเลกุลไอปรอทขาดเสถียรภาพ จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสว่าง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของหลอดไอปรอทความดันสูง

ส่วนหลอดแก้วนอกมีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ

1. หลอดแก้วภายนอกเป็นแก้วธรรมดาสำหรับกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากรังสีนี้ถูกผิวหนังจะทำให้ไหม้ดำคล้ำได้
2. เพื่อรักษาอุณหภูมิหลอดอาร์คให้คงที่เมื่อมีอากาศภายนอกพัดผ่าน
3. เป็นที่เคลือบสารเรืองแสง ทำการปรับปรุงคุณภาพของแสงสีให้เหมาะสมต่อการมองเห็น

สำหรับการจุดติดของหลอดไอปรอทความดันสูงนั้นตั้งแต่เริ่มเปิดไฟหลอดจะสว่างขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งหลอดมีแสงสว่างเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 3 ถึง 5 นาที เรียกเวลานี้ว่า เวลาจุดอุ่นหลอด (Warm Up Time) หลังจากนั้นให้แสงสว่างเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์โดยจะใช้เวลา 7 ถึง 10 นาที และถ้าปิดไฟแล้วเปิดไฟใหม่ทันทีอีกครั้งหนึ่งหลอดจะไม่ติด ต้องรอให้หลอดเย็นลงจนกระทั่งก๊าซต่างๆ ในหลอดอาร์คกลับคืนตัวอยู่ในสภาพก่อนแตกตัวเสียก่อน ช่วงนี้เรียกว่า เวลาคืนตัว (Prestrike Time) หลอดจึงจะติดใหม่อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะใช้เวลา 7 นาที

2.2.2 สีและการกระจายพลังงานทางสเปกตรัม

โดยปกติหลอดไอปรอทความดันสูงชนิดแก้วใสจะปล่อยสีออกทางน้ำเงินเขียวตามแถบคลื่นของปรอท 4 แถบด้วยกันคือ 404.7, 435.8, 546.1 และ 577.9 nm [5] ส่วนอีก 1 แถบอยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ตคือ 365 nm ทำให้สีของวัตถุที่มองเห็นผิดเพี้ยนไปมาก อย่างไรก็ตามหลอดชนิดนี้จะทำให้วัตถุสีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลืองดูสดใสขึ้นจึงเหมาะสำหรับส่องบริเวณสนามหญ้าสีเขียว

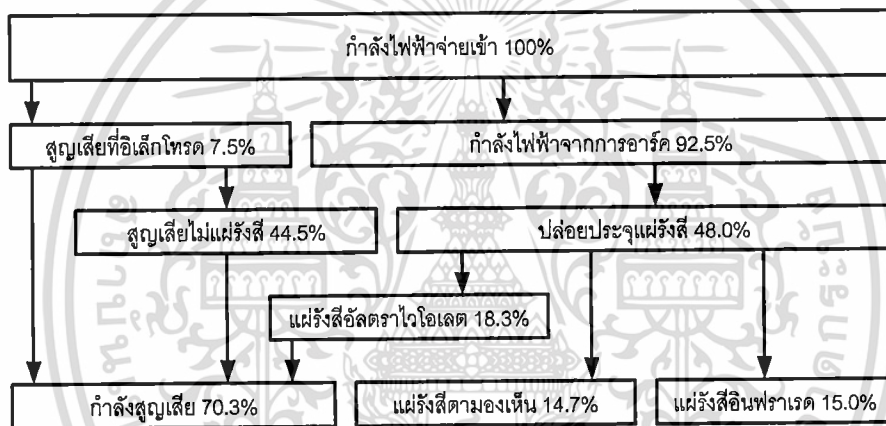
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเป็นวัสดุสีส้ม สีแดงจะดูซีดจางไม่น่าดู ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสีโดยการเคลือบสารเรืองแสง เพื่อเพิ่มแสงแถบสีส้มและสีแดงที่ขาดหายไปคือ

1. คัลเลอร์อิมปรูฟ (Color Improve) คุณสมบัติให้สีแดงไม่ดี
2. เดอลุกซ์ไวต์ (Deluxe White) คุณสมบัติให้สีแดงดีมากขึ้น

2.2.3 คุณลักษณะและขีดความสามารถของหลอดไอปรอทความดันสูง

1. การกระจายพลังงานแสง จากกำลังไฟฟ้าที่ป้อน 100 เปอร์เซ็นต์ หลอดไอปรอทความดันสูงจะให้แสงแผ่รังสีที่ตามองเห็น 14.7 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 2.2 แสดงการกระจายพลังงานแสงของหลอดไอปรอทความดันสูง



รูปที่ 2.2 การกระจายพลังงานแสงของหลอดไอปรอทความดันสูง

2. ค่าการเสื่อมของหลอดไอปรอทความดันสูง พลังแสงสว่างของหลอดไอปรอทความดันสูงจะลดลงไปเรื่อยๆ ตลอดเวลาของการใช้งาน เนื่องมาจากหลอดเสื่อมคุณภาพพลังแสงสว่างของหลอดไอปรอทความดันสูงชนิดแก้วใสจะลดน้อยกว่าหลอดไอปรอทความดันสูงชนิดเคลือบสารเรืองแสง นั้นแสดงว่าหลอดไอปรอทความดันสูงชนิดแก้วใสค่าการเสื่อมของหลอดน้อยกว่าชนิดเคลือบสารเรืองแสง เช่น หลอดไอปรอทความดันสูงชนิดเคลือบสารเรืองแสง เมื่อใช้ตลอดอายุการใช้งาน 24,000 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ลูเมนที่แท้จริงจะลดลงเหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

3. ผลของการปิดเปิดใช้งานต่ออายุการใช้งานของหลอด โดยปกติอายุการใช้งานของหลอดไอปรอทความดันสูงจะอยู่ระหว่าง 16,000 ถึง 24,000 ชั่วโมง โดยคิดที่วัฏจักรการใช้งาน 10 ชั่วโมง-ครั้ง ถ้าอายุการใช้งาน 24,000 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดเหลือ 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเปิดใช้งานตลอดโดยไม่ปิดเลยเปอร์เซ็นต์หลอดที่ยังไม่ขาดจะเพิ่มขึ้นเป็น 80

เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอายุการใช้งานของหลอดจะยาวนานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความบ่อยครั้งในการเปิด-ปิดใช้งาน อายุการใช้งานจะยาวนานเมื่อเปิดไฟไว้ตลอดเวลาโดยไม่ปิด

2.3 บัลลาสต์ที่ใช้ร่วมกับหลอดไอปรอทความดันสูง

บัลลาสต์จะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งจ่ายพลังงานให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในหลอดไฟให้มีค่าสม่ำเสมอเหมาะสมกับหลอดแต่ละประเภทแต่ละชนิดและแต่ละขนาด ซึ่งเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับหลอดก๊าซดิสชาร์จเพราะเมื่อหลอดไฟผ่านขั้นตอนการจุดติดแล้วนั้น ค่าความต้านทานของหลอดจะลดลงอย่างมาก จึงต้องนำบัลลาสต์มาต่ออนุกรมในวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไม่ให้กระแสไหลเกินพิกัดจนทำให้หลอดขาด การใช้งานร่วมกันระหว่างหลอดไฟและบัลลาสต์จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกันได้ หากใช้งานผิดชนิดกันย่อมทำให้เกิดผลเสียหายหลายอย่างเช่น หลอดจุดติดยาก หลอดเสื่อมสภาพเร็ว อายุการใช้งานสั้น กำลังสูญเสียในบัลลาสต์สูง ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานบัลลาสต์สั้นลงได้ โดยบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดไอปรอทความดันสูง ปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดแต่เท่าที่พบทั่วไปมีอยู่ 4 ชนิด

1. บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ (Reactor Ballast)

ทำมาจากขดลวดทองแดงพันอยู่บนแกนเหล็ก เวลาใช้งานต่ออนุกรมกับหลอดเพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอด บัลลาสต์ชนิดนี้โดยทั่วไปจะต่อตัวเก็บประจุขนานกับวงจรเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำนี้มีคุณสมบัติการเรอูร์ชั้นที่ดีคือ ถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 18% หรือแรงดันเปลี่ยนแปลง 5% จะทำให้กำลังที่หลอดเปลี่ยนแปลงเพียง 5%

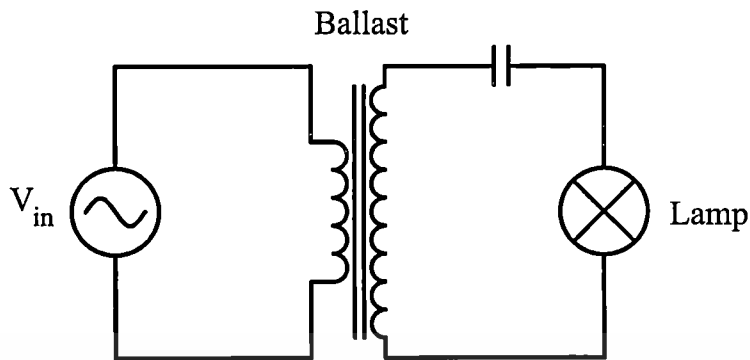


รูปที่ 2.3 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ

2. บัลลาสต์ชนิดเล็ก (Lag Ballast)

ประกอบด้วยหม้อแปลงชนิดออโตกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งคุณสมบัติบัลลาสต์ชนิดนี้เหมือนบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดจะถูกจำกัด อย่างไรก็ตามบัลลาสต์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่า แพงกว่า และมีกำลังงานสูญเสียมากกว่า

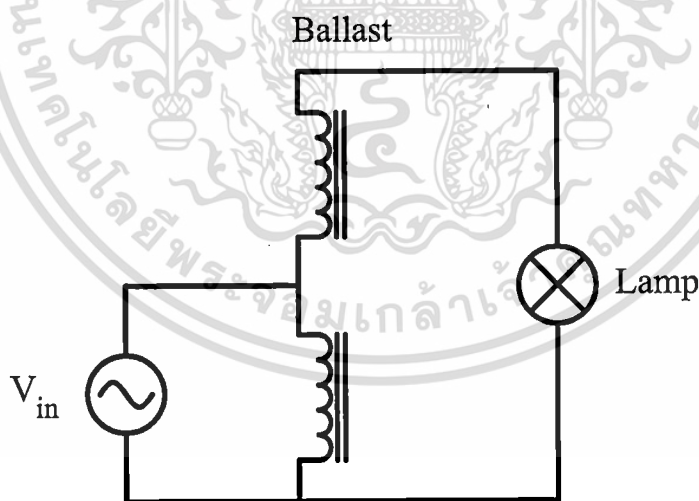
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 บัลลาสต์ชนิดเล็ก

3. บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ (Regulator Ballast)

มีลักษณะคล้ายหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ พันอยู่บนแกนเหล็กไม่มีการต่อกันทางไฟฟ้า โดยทางด้านปฐมภูมิจะทำการต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุทำให้สามารถจำกัดกระแสได้ ข้อดีของบัลลาสต์ชนิดนี้คือ แรงดันไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้มากถึง 13% รับแรงดันไฟฟ้าตกได้มากกว่า 50% และมีค่าตัวประกอบกำลังสูงถึง 0.95 แต่มีข้อเสียที่การสูญเสียในตัวบัลลาสต์ และค่าตัวประกอบยอดคลื่นมีค่าสูง แต่มีข้อเสียคือราคาแพงมาก

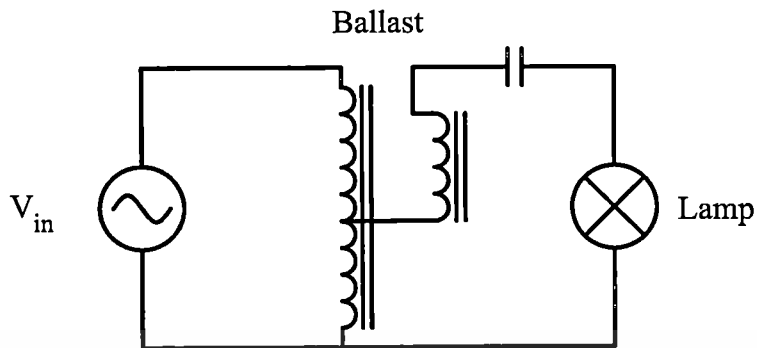


รูปที่ 2.5 บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

4. บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ (Auto Reactor Ballast)

เป็นการผสมระหว่างบัลลาสต์ชนิดเล็กกับบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ บัลลาสต์ชนิดนี้จะมีขนาดเล็กและราคาถูกแต่มีการเรกูเรชันที่ไม่ดีคือ ถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 10% จะทำให้กำลังที่โหลดเปลี่ยนแปลงถึง 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ

2.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของหลอดไอปรอทความดันสูง โครงสร้างของหลอด, หลักการให้แสงสว่างของหลอด, คุณสมบัติของหลอด พร้อมทั้งกล่าวถึงบัลลาสต์ที่นำมาใช้ทำงานร่วมกับหลอดไฟชนิดนี้ ซึ่งปัจจุบันบัลลาสต์แกนเหล็ก ได้ถูกนำมาใช้เป็นที่นิยมมากกว่า การเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์แกนเหล็กกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทำไมต้องนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานแทนบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก และได้กล่าวถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาออกแบบ

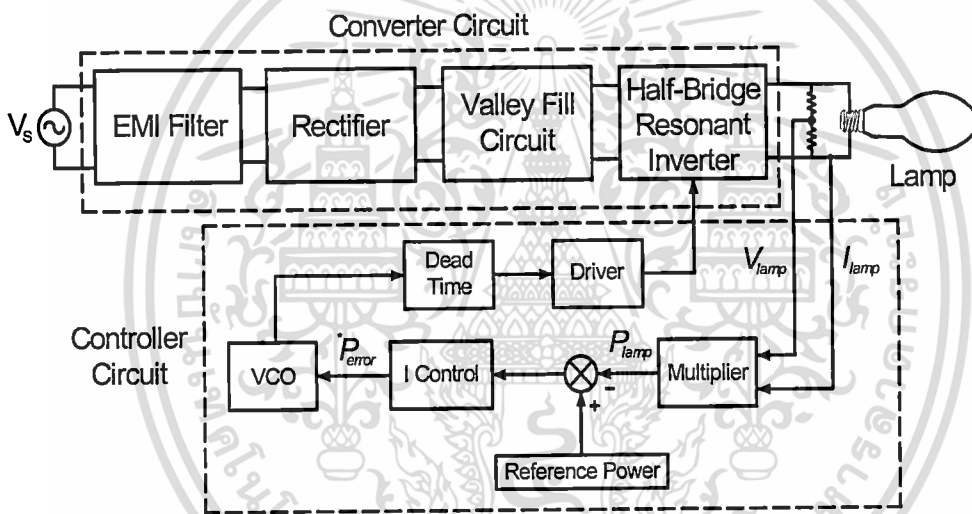
บทที่ 3

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบและการวิเคราะห์หลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละวงจร เพื่อนำไปสู่การสร้างทั้งวงจรควบคุมและวงจรกำลัง โดยรายละเอียดภายในได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบส่วนต่างๆ ของวงจร

3.2 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ



รูปที่ 3.1 ใ้คอะแกรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบ่งเป็นสองภาคการทำงานหลักภาคการทำงานแรกเป็นภาคกำลังซึ่งประกอบไปด้วยวงจรกรองสัญญาณอีเอ็มไอที่ช่วยลดฮาร์มอนิกทางด้านอินพุต เชื่อมต่อไปยังวงจรแปรผันแรงดันความถี่ต่ำและวงจรวาลเลย์ฟิลเพื่อปรับรูปค่าตัวประกอบกำลัง ต่อเข้าวงจรเรโซแนนซ์กึ่งบริดจ์คลาสิคซึ่งใช้เป็นวงจรจุดหลอด ภาคการทำงานที่สองเป็นภาคควบคุมประกอบไปด้วยวงจรแปรผันกำลังซึ่งแรงดันที่ได้อยู่ในรูปของแรงดันกระแสตรง นำแรงดันที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงผ่านเข้าตัวควบคุมชนิดโอเพื่อชดเชยสัญญาณจากนั้นเข้าสู่วงจรปรับเปลี่ยนความถี่แล้วต่อไปยังวงจรขับเคลื่อนสวิตช์มอสเฟตเพื่อควบคุมกำลังไฟของหลอดไฟซึ่งในสภาวะที่แรงดันทางด้านไฟไลน์เปลี่ยนแปลง เช่น ไฟตก ไฟเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรกรองอีเอ็มไอ

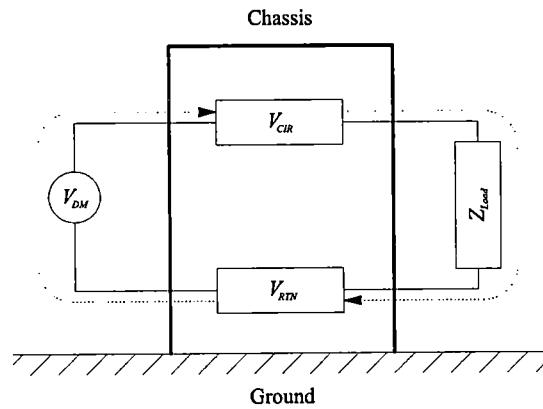
วงจรกรองสัญญาณทางด้านอินพุตในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้เป็นวงจรกรองอีเอ็มไอ (EMI Filter) ร่วมกับวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยมีการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและความถี่สูงอย่างฉับพลัน ด้วยการทำงานดังกล่าวทำให้มีการสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) ขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของระบบเกิดการผิดพลาด ถ้าระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่มากเกินไปอุปกรณ์หรือระบบจะรับได้ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเป็นสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated) และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางตัวนำ (Conducted)

3.3.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ

การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำคือสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่ส่งออกมาทางสายตัวนำ ซึ่งเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ การเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

3.3.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดแตกต่าง (Differential Mode)

สัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง สัญญาณจะเกิดจากการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สัญญาณนาฬิกา หรือ รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันในวงจรใดๆ โดยสัญญาณในโหมดแตกต่างนี้ทางเดินของกระแสหรือแรงดันจะไหลจากแหล่งจ่ายผ่านอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจร (Z_{cir}) เพื่อไปยังโหลด และจะไหลผ่านกลับมายังแหล่งจ่ายโดยผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งก็คือทางเดินหลักของสัญญาณในวงจรนั้น เช่นนั้นทางเดินของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานของวงจรถือคือทางเดินเดียวกัน ดังนั้นเราสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าการเกิดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำในโหมดแตกต่างจะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง 2 ตัวนำในการส่งสัญญาณ คือ ตัวนำสัญญาณไปยังโหลด (Signal Line) และตัวนำสัญญาณกลับ (Return Line) การทำงานของวงจรในย่านความถี่สูง คุณสมบัติของอุปกรณ์หรือตัวนำในวงจรอาจเปลี่ยนไป เช่น ทางเดินสัญญาณจะเกิดค่าการเหนี่ยวนำแฝงขึ้น (Parasitic Inductor) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้เองสามารถที่จะเหนี่ยวนำกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบเดียวกัน หรือระบบอื่นทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้ ซึ่งการป้องกันจะทำได้โดยการลดรูปของวงจร



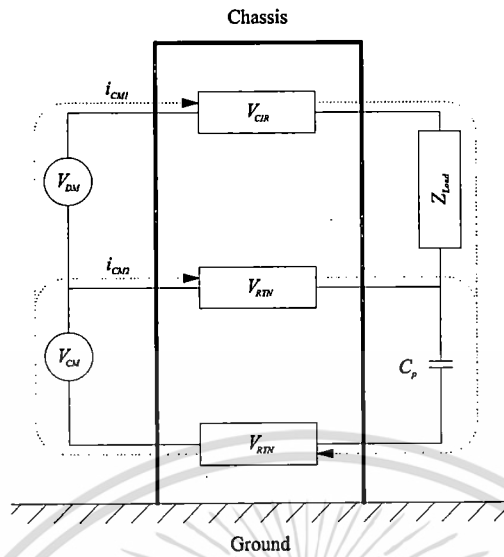
รูปที่ 3.2 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง

3.3.3 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในร่วม (Common Mode)

ในโหมดนี้จะพิจารณาการไหลของสัญญาณระหว่างกลุ่มของตัวนำกับกราวด์หรือกลุ่มตัวนำอื่นเป็นตัวอ้างอิง สำหรับการเกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วมนั้นเราจะมีตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วมคือ ตัวเก็บประจุแฝง (Parasitic Capacitor) โดยตัวเก็บประจุแฝงนี้จะเป็นเส้นทางเดินของสัญญาณไปยังกราวด์ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงในโหมดร่วมของทั้งสายสัญญาณ (line) และสายป้อนกลับ (Neutral) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3 ดังนั้นถ้าปราศจากตัวเก็บประจุแฝงนี้แล้วจะไม่เกิดสัญญาณรบกวนในกรณีโหมดร่วม จากรูปที่ 3.3 สัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายสัญญาณ ($V_{noiseCIR}$) จะไม่เท่ากับสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายป้อนกลับ ($V_{noiseRTN}$) ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของสัญญาณรบกวนในแต่ละสายมีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน เพราะการไหลของสัญญาณจะผ่านอิมพีแดนซ์ของวงจรแล้วผ่านไปยังอิมพีแดนซ์ของโหลด ในขณะที่การไหลของสัญญาณในสายป้อนกลับจะผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับเพียงอันเดียว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สายสัญญาณรบกวนในโหมดร่วมไม่เท่ากัน โดยจะแสดงดังสมการที่ (3.1) และ (3.2) และเมื่อกระแสโหมดร่วมไม่เท่ากันก็จะทำให้ระบบเกิดความไม่สมดุลขึ้นและกระแสโหมดร่วมในขณะนี้จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่างได้ (Differential Noise)

$$V_{noiseCIR} = I_{cm1} \cdot (Z_{CIR} + Z_{Load} + X_{Cp}) \quad (3.1)$$

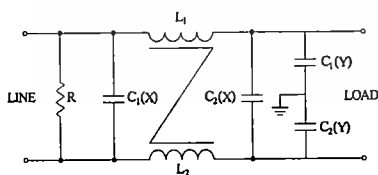
$$V_{noiseRTN} = I_{cm2} \cdot (Z_{RTN} + X_{Cp}) \quad (3.2)$$



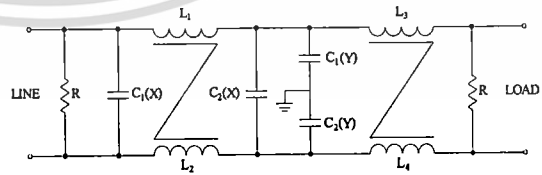
รูปที่ 3.3 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม

3.3.4 ลักษณะของวงจรกรองอีเอ็มไอ

อินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือการต่อ LC ฟิลเตอร์กันอยู่ที่อินพุตกับระบบแรงดันไฟกระแสสลับ เพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งโหมดความแตกต่างและโหมดร่วม การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แบบพาย (π) หรือแบบที (T) ดังรูปที่ 3.4 (ก) และ 3.4 (ข) ตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือแบบ π เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า ประหยัด และมีวงจรที่ง่าย



(ก) วงจรแบบ π



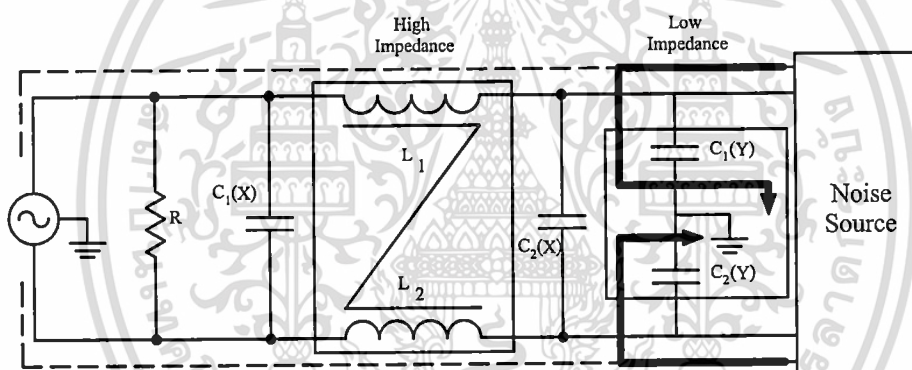
(ข) วงจรแบบ T

รูปที่ 3.4 ลักษณะการต่อ LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน

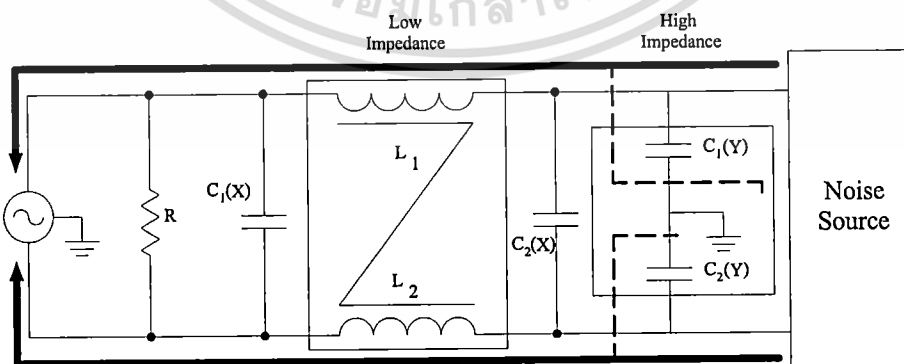
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 หลักการของวงจรกรองอีเอ็มไอ

ตามรูปที่ 3.5 (ก) ตัวเก็บประจุ $C(X)$ ที่อยู่ในวงจรจะมีผลในการลดทรานเซียนต์ $C_1(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดในสายไฟฟ้ากระแสสลับไม่ให้ผ่านเข้าหาวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วน $C_2(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากวงจรอินเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังสายไฟฟ้ากระแสสลับได้ วงจรฟิลเตอร์จะเป็นส่วนป้องกันสัญญาณความถี่สูงจากอินเวอร์เตอร์ส่งผ่านเข้าสู่ระบบแหล่งจ่ายไฟภายนอก ดังนั้นจากลักษณะของวงจรเมื่อมีสัญญาณความถี่สูงกว่าในย่านการทำงานของวงจรที่ถูกกำหนดให้ผ่านได้ (Cutoff Frequency) โดยจะกำหนดไว้ให้มีค่ามากกว่า 9 เท่าของความถี่ไลน์ ต่ำไม่เกินความถี่ตามมาตรฐานที่กำหนดของแต่ละอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากค่าอินดักแตนซ์ L_1 หรือ L_2 มีค่าที่สูงมาก ($X_L = 2\pi fL$) สัญญาณความถี่สูงดังกล่าวจะไหลผ่านตัวเก็บประจุ $C_1(Y)$ หรือ $C_2(Y)$ เข้าสู่ระบบกราวด์แทนเพราะค่าคาปาซิแตนซ์มีค่าต่ำลง ($X_C = 1/(2\pi fC)$) ซึ่งแสดงให้เห็นเส้นทางการไหลของสัญญาณความถี่สูงและต่ำได้ตามรูปที่ 3.5 (ก) และ 3.5 (ข) ตามลำดับ



(ก) การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่สูง



(ข) การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่ต่ำ

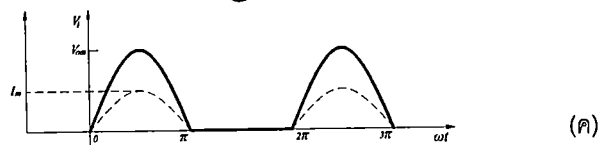
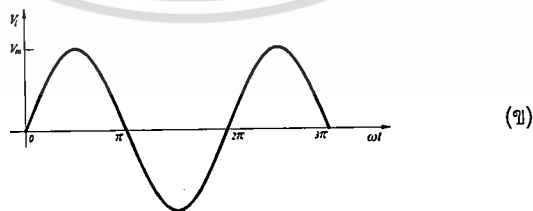
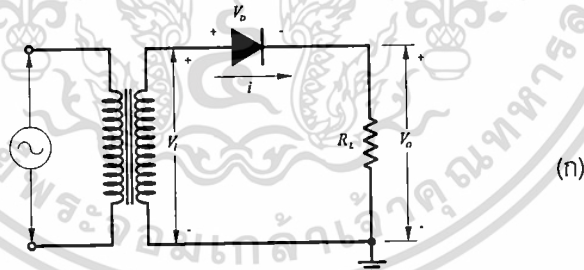
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.5 ลักษณะการทำงานของวงจรกรองอีเอ็มไอในย่านความถี่ต่างๆ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแส (Rectifier) คือ วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสทิศทางเดียว (Unidirectional Current) โดยทั่วไปแล้วกระแสทิศทางเดียวที่ได้จะยังมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอยู่ตามแบบรูปคลื่นรายคาบ (Periodic Waveform) ค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวนี้เป็นส่วนที่มีชื่อว่า ส่วนประกอบกระแสตรง (DC Component) ซึ่งไม่แปรตามเวลา ผลต่างระหว่างรูปคลื่นผลรวมกับส่วนประกอบกระแสตรงนี้มีชื่อเรียกว่า ะลอกคลื่น (Ripple) หรือ ส่วนประกอบกระแสสลับ (AC Component) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ถ้าหากว่าเราต้องการเพียงส่วนประกอบกระแสตรงเพียงส่วนเดียว ซึ่งก็จะเป็นจุดมุ่งหมายของแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรง (DC Power Supply) ทั่วๆไปเราจะต้องพยายามกำจัดคลื่นระลอกให้เหลือน้อยที่สุด ในการนี้เราจะต้องนำวงจรกรองซึ่งประกอบขึ้นจากตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำมาใช้

3.4.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier)

ในรูปที่ 3.6 แสดงวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นซึ่งใช้ร่วมกับหม้อแปลง ในรูปนี้ไดโอด D ทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแส R_L เป็นตัวต้านทานโหลด (Load Resistance) $V_{in} = V_m \sin \omega t$ เป็นแรงดันเข้า (Input Voltage) ซึ่งมีรูปคลื่นเป็นเส้นโค้งไซน์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.6(ข) i เป็นกระแสที่ผ่านวงจร และ V_o เป็นแรงดันออก (Output Voltage) หรือแรงดันโหลด (Load Voltage) ซึ่งอยู่คร่อม R_L กระแส i และแรงดัน V_o มีรูปคลื่นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.6(ค)



รูปที่ 3.6 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (ก) แผนภาพวงจร (ข) รูปคลื่นแรงดันเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน (ค) รูปคลื่นแรงดันออกและกระแสออก นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากที่ไดโอดรับแรงดันเดินหน้า และมีกระแสเดินหน้าไหลผ่าน คือช่วง $0 \leq \omega t \leq \pi$ ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.6 (ข) และ 3.6 (ค) ส่วนที่ไดโอดได้รับแรงดันกลับทางและไม่มีกระแสไหลผ่านเลยช่วง $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ ดังแสดงไว้ในรูปทั้งสอง ดังนั้นเราจึงได้กระแส i แรงดันออก V_o และแรงดันคร่อมไดโอด V_D เป็น

$$i = \left\{ \begin{array}{l} \frac{V_i}{R_f + R_L} = \frac{V_m \sin \omega t}{R_f + R_L} = I_m \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ \frac{V_i}{R_f + R_L} = \frac{V_m \sin \omega t}{\infty + R_L} = 0 \dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

$$V_o = iR_L = \left\{ \begin{array}{l} I_m R_L \sin \omega t = V_{om} \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ 0 \dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

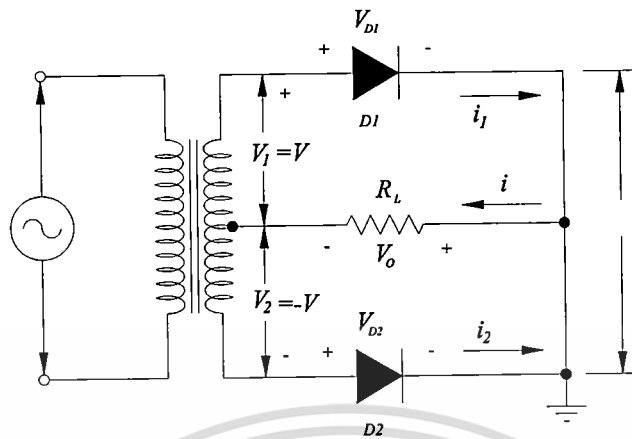
$$V_D = V_i - V_o = \left\{ \begin{array}{l} (V_m - V_{om}) \sin \omega t = I_m R_f \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ V_m \sin \omega t \dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

โดยที่

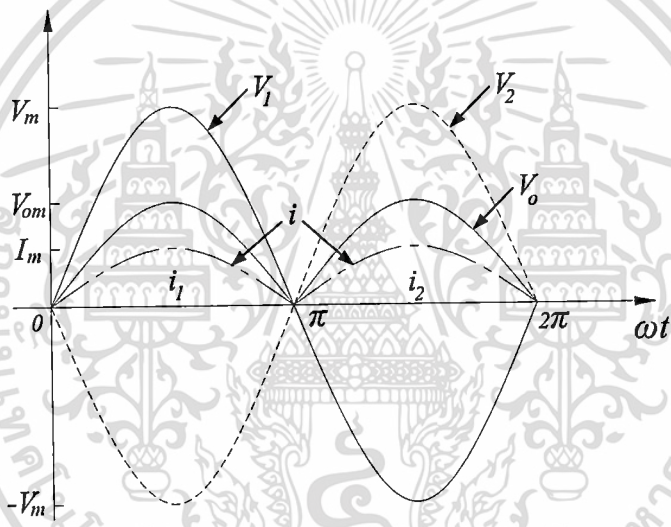
$$I_m = \frac{V_m}{R_f + R_L} \text{ และ } V_{om} = I_m R_L \quad (3.6)$$

3.4.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

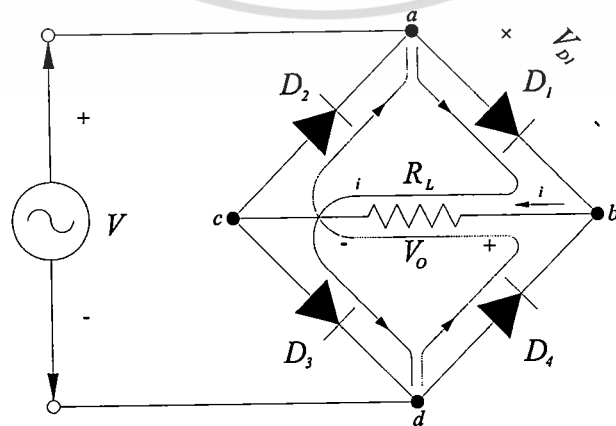
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่มีหม้อแปลงมีจุดต่อกลาง (Center-Tapped Transformer) ร่วมกับไดโอด 2 ตัวดังรูปที่ 3.7 (ก) และแบบที่ใช้ไดโอด 4 ตัวต่อกันในรูปของบริดจ์ (Bridge) ตามรูปที่ 3.7 (ข) วงจรแบบหลังนี้มีชื่อเรียกสั้นๆว่า วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) ในวงจรตามรูปที่ 3.7 (ก) แรงดัน $V_1 = V_m \sin \omega t$ ทางซีกบนของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงจะต่างกับแรงดัน $V_2 = V_m \sin(\omega t + \pi) = -V_1$ ทางซีกล่างอยู่ 180 องศาตอนที่ V_1 มีค่าเป็นบวก



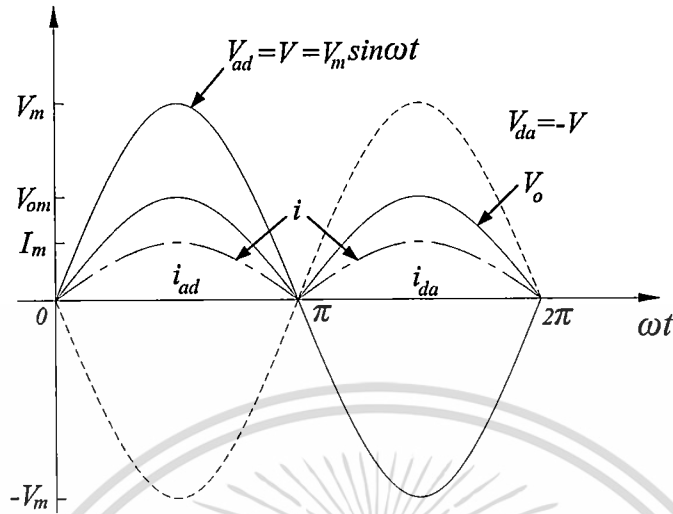
(ก)



(ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 3.7 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น (ก) วงจรแบบใช้หม้อแปลงมีจุดต่อกลาง (ข) วงจรแบบบริดจ์ (ค) (ง) รูปคลื่นแรงดันและกระแสในช่วงเวลาจาก 0 ถึง $2\pi/\omega$ ของรูป (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ซึ่งทำให้ D_1 มีแรงดันไบอัสเดินหน้าและมีกระแส i_1 ค่าบวกไหลผ่าน D_1 กับตัวต้านทานโหลด R_L นั้น V_2 จะมีค่าเป็นลบทำให้ D_2 มีแรงดันไบอัสกลับทางและกระแส i_2 มีค่าเป็นลบเท่ากับกระแสนอนินตัวของไดโอด D_2 ซึ่งต่ำมากจนถือว่าเป็นศูนย์ได้ ในทางกลับกันตอนที่ V_1 มีค่าเป็นลบทำให้กระแส i_1 มีค่าเป็นลบใกล้เคียงค่าศูนย์ V_2 จะมีค่าเป็นบวกและมีกระแส i_2 ค่าบวกไหลผ่าน R_L ถ้ารูปคลื่นแรงดัน V_1 และ V_2 เป็นแบบไซน์ดังในรูปที่ 3.7(ก) เราจะได้รูปคลื่นกระแส i ที่ผ่าน R_L และรูปคลื่นแรงดันออก V_o คร่อม R_L เป็นดังที่แสดงในรูปเดียวกันนั้น ให้สังเกตว่า $I \geq 0$ หรือไหลในทิศทางตลอดช่วงเวลา 1 รอบของแรงดัน V_1 และ V_2

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ดังรูปที่ 3.7(ค) ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงมีจุดต่อกลางมาสร้างแรงดัน 2 แรงดันซึ่งต่างกัน 180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ก) ทั้งนี้ก็เพราะว่าไดโอด 2 คู่จะสามารถเลือกในช่วงค่าบวกและช่วงค่าลบของแรงดัน V ในการทำให้กระแสทิศทางเดียวไหลผ่าน R_L ได้อยู่แล้ว กล่าวคือเมื่อ $V=V_{sd}$ มีค่าเป็นบวก กระแส i จะไหลไปตามเส้นทาง $abcd$ ซึ่งลักษณะของรูปคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.7(ง) และเมื่อ $V=-V_{sd}$ มีค่าเป็นลบ (เท่ากับ $-V_{sd}$) กระแส i จะไหลไปตามเส้นทาง d_{ca} ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวงจรแบบบริดจ์จะให้กระแส i และแรงดัน $V_o=iR_L$ เป็นแบบเต็มคลื่นได้เช่นเดียวกับวงจรแบบที่ใช้หม้อแปลงในรูปที่ 3.7(ก)

ถ้าให้ไดโอดแต่ละตัวในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นตามรูปที่ 3.7 (ก) และ 3.7(ค) มีแบบจำลองเช่นเดียวกับไดโอดในวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นซึ่งได้พิจารณาแล้วคือมี $V_f = 0, R_f = \infty$, แต่ $R_f \neq 0$ ไม่เกิดความต้านทานในขดลวดหุ้มขั้วของหม้อแปลงและให้

$$\left. \begin{aligned} R_F &= R_f \quad \text{สำหรับวงจรในรูปที่ 3.7(ก)} \\ R_F &= 2R_f \quad \text{สำหรับวงจรในรูปที่ 3.7(ค)} \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

ซึ่งสามารถคำนวณค่ากระแส I แรงดันออก V_o และแรงดัน V_{D1} คร่อมไดโอด D_1 ได้เป็น

$$i = \left\{ \begin{aligned} \left(\frac{V_m}{R_f + R_L} \right) \sin \omega t &= I_m \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ \left(\frac{-V_m}{R_f + R_L} \right) \sin \omega t &= -I_m \sin \omega t \dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

$$V_o = \left\{ \begin{aligned} (V_m - V_{om}) \sin \omega t &= V_{om} \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ -I_m R_L \sin \omega t &= -V_{om} \sin \omega t \dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

$$V_o = \left\{ \begin{aligned} (V_m - V_{om}) \sin \omega t &= I_m R_f \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ V_m \left(1 + \frac{R_L}{R_f + R_L} \right) \sin \omega t &\dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

หรือ

$$V_{D1} = \left\{ \begin{aligned} 1/2 (V_m - V_{om}) \sin \omega t &= I_m R_f \sin \omega t \dots \dots 0 \leq \omega t \leq \pi \\ \left[\frac{V_m (R_f + R_L)}{2R_f + R_L} \right] \sin \omega t &\dots \dots \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

โดยที่

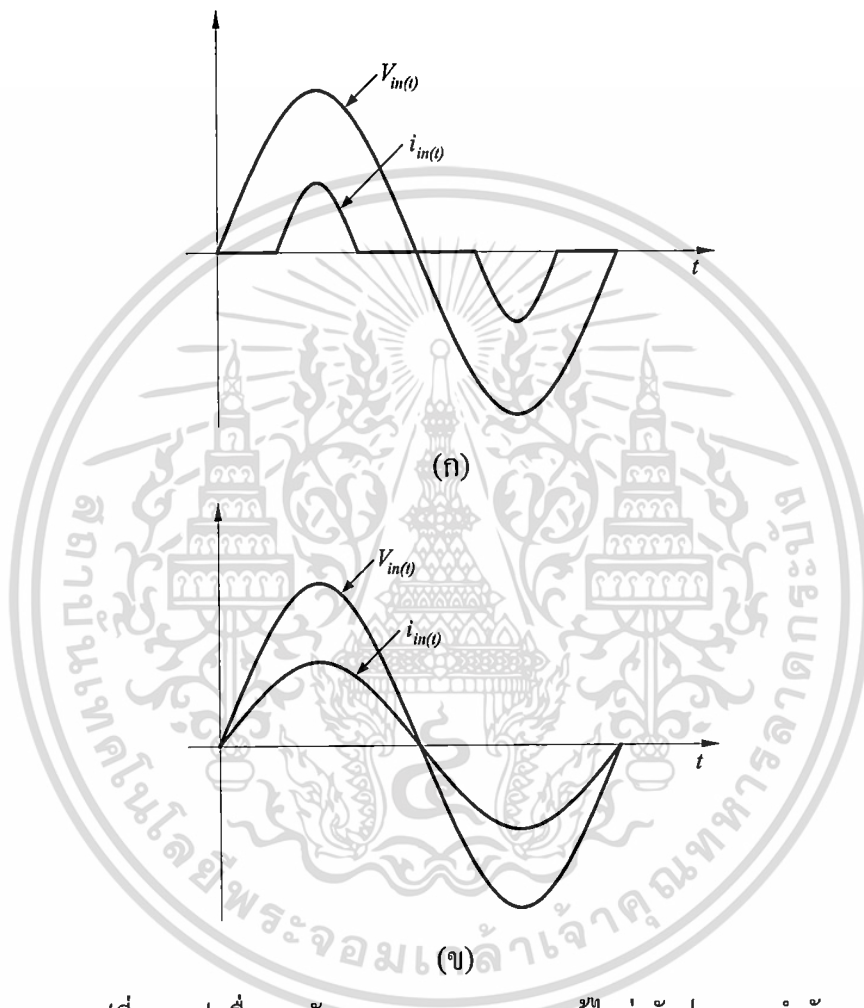
$$I_m = \frac{V_m}{R_f + R_L} \quad \text{และ} \quad V_{om} = I_m R_L \quad (3.12)$$

3.5 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)

สัญญาณรูปคลื่นที่ออกจากวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลังประมาณ 0.4-0.6 มีฮาร์มอนิกและกระแสกระเพื่อมสูง ถ้าหากต้องการให้สัญญาณมีความราบเรียบยิ่งขึ้น การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ (Capacitor Filter) ขนานกับส่วนเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส เมื่อวงจรเรียงกระแสทำงานแรงดันของแหล่งจ่ายมีค่ามากกว่าแรงดันตัวเก็บประจุ ทำให้กระแสถูกดึงจากแหล่งจ่ายเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นรูปคลื่นและกระแสจะเป็นสัญญาณไซน์ที่สั้น แม้ว่าการต่อตัว

เก็บประจุเข้ากับวงจรเรียงกระแส ทำให้สัญญาณมีความราบเรียบมากขึ้นแต่ก็ทำให้ค่ากระแสพิก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกระแสอาร์เอ็มเอสของทางอินพุตมีค่าสูงมากเกิดขึ้น Over Current ในสายนิวตรอนและในระบบไฟฟ้าดังนั้นจึงใช้หลักการสวิตซิ่ง (PFC Preregulator) ต่อระหว่างวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุ เพื่อลดทอนกระแสหลักที่เป็น Guasi-sinusoidal ทำให้รูปคลื่นกระแสมีเฟสใกล้เคียงรูปคลื่นแรงดันมากที่สุด ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง



รูปที่ 3.8 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

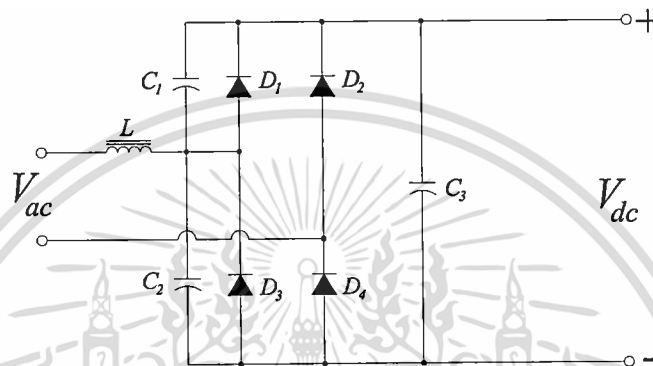
การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณมีวิธีการปรับปรุงแก้ไข 2 วิธีคือ

3.5.1 การปรับปรุงแบบพาสซีฟ (Passive Method)

หลักการในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ สามารถกระทำได้โดยการนำอุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน, ตัวเหนี่ยวนำ, ตัวเก็บประจุ เพราะว่าการจะกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่มีความถี่สูง การนำเอาตัวเหนี่ยวนำต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

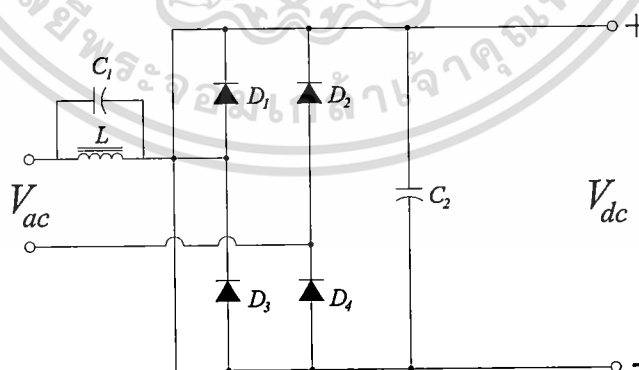
อนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันของสายเป็นการทำกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สูงไม่สามารถผ่านเข้าได้ ส่วนตัวเก็บประจุถ้าต่อขนานกับสายด้านเข้ากระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สูงจะถูกคัดลงกราวด์ เพราะว่าที่อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะต่ำนั่นเอง

แบบที่ 1 ต่อ LC Series Network เข้ากับวงจรโดยต่อด้านหน้าของวงจรเรียงกระแสกร ค่าพารามิเตอร์ L, C ที่เหมาะสมจะคำนวณที่ 2.5 ถึง 3 เท่าของความถี่จากแหล่งจ่าย



รูปที่ 3.9 Passive power factor correction แบบที่ 1

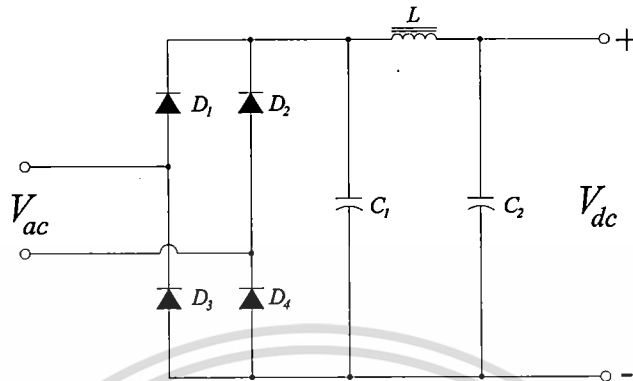
แบบที่ 2 ต่อ LC Parallel Resonant ตรงตำแหน่งเดียวกับที่ 1 ข้อดีของวงจรนี้จะช่วยลดทอนสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 และปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ดีขึ้น อีกทั้งยังได้เปรียบในเรื่องของราคาและขนาดของวงจรที่ไม่ใหญ่แต่มีข้อเสียคือ ฮาร์มอนิกในอันดับที่สูงกว่าอันดับที่ 3 จะยังปรากฏอยู่และการพันตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดเสียงรบกวน



รูปที่ 3.10 Passive power factor correction แบบที่ 2

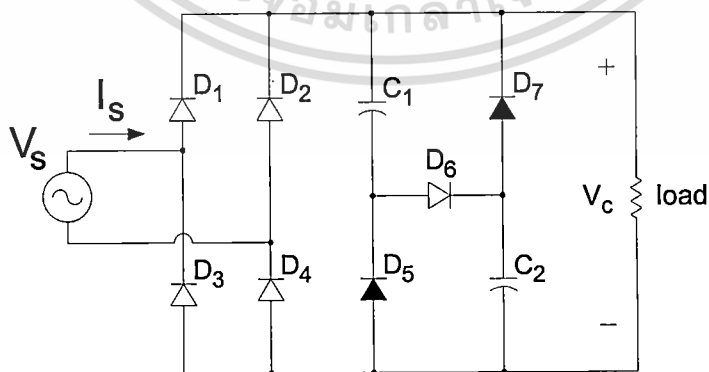
แบบที่ 3 มีลักษณะการต่อวงจรคล้ายกับแบบที่ 1 คือ ใช้ LC Series Network แต่นำไปต่อด้านหลังของวงจรเรียงกระแส มีข้อดีคือ ให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ดีและมีตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้อุปกรณ์ราคาไม่แพง แต่มีข้อจำกัดในการปรับปรุงลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Harmonics Distortion)



รูปที่ 3.11 Passive power factor correction แบบที่ 3

แบบที่ 4 เป็นวงจรปรับปรุุงค่าตัวประกอบกำลังเรียกว่า วาลเลย์ฟิล (Valley Fill) ซึ่งเป็นวงจรที่ช่วยปรับปรุุงค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณให้พอเหมาะ โดยตัวเก็บประจุ C_1 และตัวเก็บประจุ C_2 จะถูกเก็บประจุด้วยแรงดันค่ายอดของแหล่งจ่าย ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันค่ายอดของแหล่งจ่าย เมื่อแรงดันของแหล่งจ่ายลดลงต่ำกว่า 50% ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะทำการคายประจุไปยังโหลดแทนแหล่งจ่าย เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันตกคร่อมหลอดเป็นศูนย์ ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุจะต้องสามารถชดเชยแรงดันกระเพื่อมที่เกิดขึ้นได้ประมาณ 50% ผลของฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นจะถูกลดลงประมาณ 75%



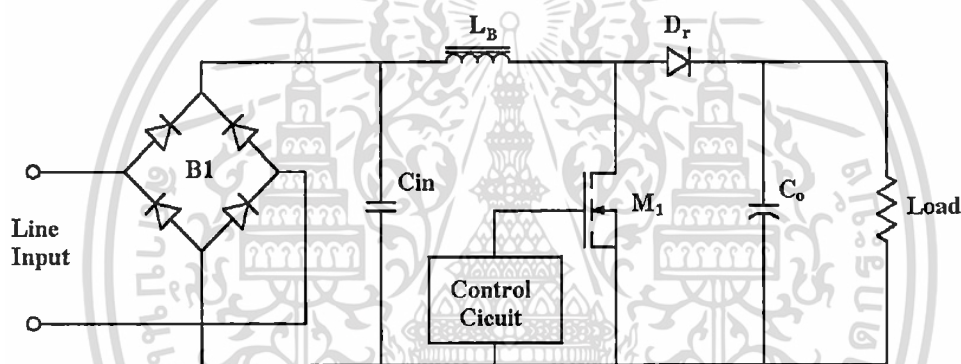
รูปที่ 3.12 Passive power factor correction แบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การปรับปรุงแบบแอคทีฟ (Active Method)

หลักการในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ด้วยวิธีการแบบแอคทีฟ สามารถกระทำได้โดยการนำอุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน, ตัวเหนี่ยวนำ, ตัวเก็บประจุ คล้ายกันกับการปรับปรุงแบบพาสซีฟแต่จะต่างกันที่นำอุปกรณ์ประเภทไอซีมาใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรทระดับคือ วงจรที่ทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า โดยแรงดันที่ป้อนเข้าสู่วงจรจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งได้จากวงจรเรียงกระแสไดโอด โดยมีแหล่งจ่ายทางด้านเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับคลื่นไซน์ กระแสไฟฟ้าด้านเข้าที่ไหลเข้าสู่วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับกระบวนการทำงานของสวิตช์แปรผันตามค่าตัวไซเคิล (Duty Cycle)



รูปที่ 3.13 วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

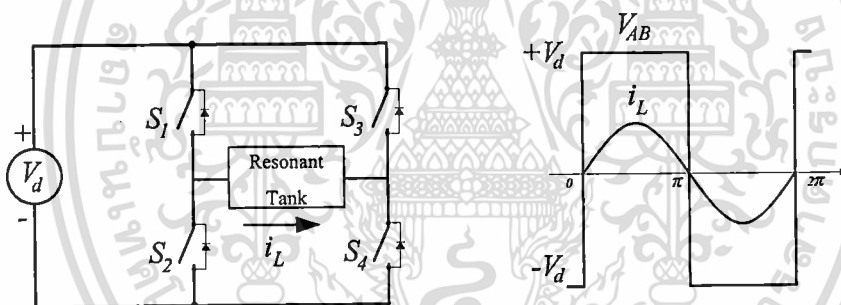
จากรูปที่ 3.13 เป็นวงจร boost converter ซึ่งเป็นวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟ แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักของอุปกรณ์สะสมพลังงานคือ boost inductor L_B เก็บสะสมพลังงานถ้ามีค่ามากทำให้กระแสไหลต่อเนื่อง C_o ใช้กรองความถี่ต่ำและรักษาแรงดันไฟตรงเอาที่พูน นอกจากนี้วงจรต้องการสวิตช์ M_1 และ D_r มาควบคุมวงจรซึ่งต้องแลกกับความซับซ้อนที่มากขึ้น ส่วนวงจร valley fill การที่จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังเหมาะสมไม่ต้องการค่าความเหนี่ยวนำและมีขนาดกะทัดรัด

3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit)

วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้าสลับความถี่ต่างๆ แหล่งจ่ายกำลังสวิตช์จึงมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยวงจรอินเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตช์จึงนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของวงจรอินเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้

- ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

3.6.1 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)



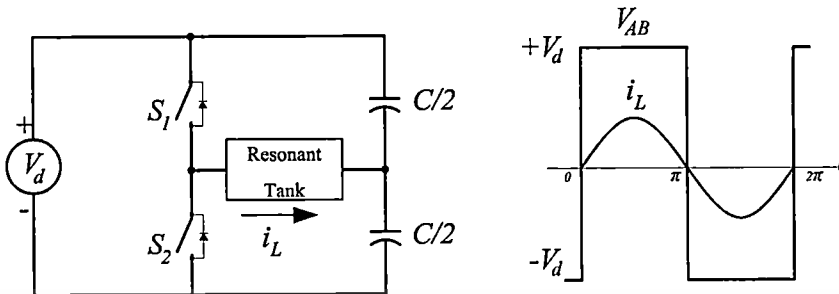
(ก) วงจรกำลัง

(ข) รูปคลื่นแรงดัน

รูปที่ 3.14 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณโหนดอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.14 (ก) จะมีคู่สวิตช์ S_1, S_4 และ S_2, S_3 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ (V_{AB}) จะได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันสูงเท่ากับ $+V_d$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ $-V_d$ และกระแสไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.14(ข) จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ให้กำลังไฟฟ้าได้มากกว่าเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

3.6.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter)



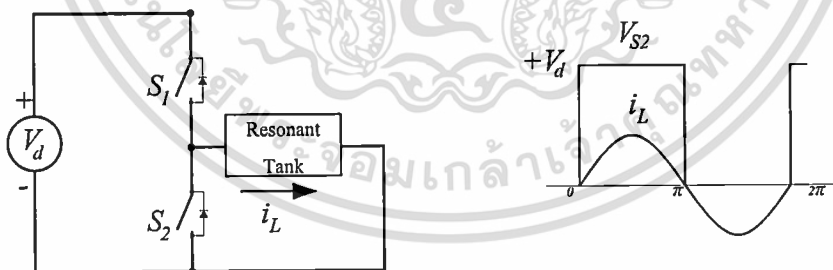
(ก) วงจรกำลัง

(ข) รูปคลื่นแรงดัน

รูปที่ 3.15 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณ โหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.15(ก) จะมีสวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ (V_{AB}) จะได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันสูงเท่ากับ $+V_d$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ $-V_d$ และกระแสไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.15(ข) ซึ่งอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์จะให้กำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับชนิดฟูลบริดจ์

3.6.3 อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี (Class-D Inverter)



(ก) วงจรกำลัง

(ข) รูปคลื่นแรงดัน

รูปที่ 3.6 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณ โหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

ลักษณะการทำงานของวงจรจะเป็นดังรูปที่ 3.16(ก) จะมีสวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ (V_{S2}) จะได้ค่าแรงกดันสูงสุดเท่ากับ $+V_d$ และค่าแรงกดันต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสที่ไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.16(ข) จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าเหมาะสมกับโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนักซึ่งต้องจ่ายแรงดันและกระแสในปริมาณที่เพียงพอได้ ด้วยเหตุนี้อินเวอร์เตอร์แบบคลาสติจึงถูกนิยมใช้กับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.7 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant)

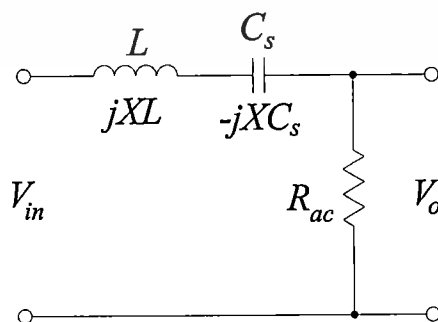
ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์คือ ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง ซึ่งทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร ($Z=R+X_L+X_C$; ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเรโซแนนซ์แบบอนุกรม) มีค่าเท่ากับความต้านทานพอดี กล่าวคือ ทำให้ค่า $X_L=X_C$ ณ จุดนี้จะให้กระแสที่ไหลผ่านวงจรมากที่สุดและให้กำลังงานกับวงจรมากที่สุด

จากการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูง หลอดจะมีค่าความต้านทานที่สูงมากขณะจุดหลอดและจะลดลงในสถานะที่เสถียรภาพ ดังนั้นวงจรที่นำมาประยุกต์ในการจุดหลอดจึงต้องเป็นวงจรที่ทำงานขึ้นกับโหลด (Load Dependent) คือ สามารถให้แรงดันด้านออกที่สูงมากพอในขณะที่จุดหลอดและลดลงเมื่อหลอดทำงานในสภาวะปกติ ทั้งนี้เมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงมากพอเสมือนว่าโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว ต่างจากการทำงานที่ความถี่ต่ำที่มีค่าอิมพีแดนซ์หลายแบบต่อรวมกันอยู่ ทั้งตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน

การพิจารณาเลือกชนิดของวงจรเรโซแนนซ์มาประยุกต์ใช้นั้น เราจะพิจารณาที่อัตราขยาย (Gain) ของวงจร โดยเปรียบเทียบระหว่างแรงดันเข้าออก ในการวิเคราะห์นี้จะทำการสมมติอุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้มีคุณสมบัติในอุดมคติ และพิจารณาว่าหลอดไอปรอทความดันสูงเป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

3.7.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-Loaded Resonant: SLR)

วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด จะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.17 ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุและโหลดความต้านทาน



รูปที่ 3.17 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 3.17

$$v_o = i_i \cdot R_{lamp} \quad (3.13)$$

$$v_{in} = i_i (R_{lamp} + j[XL - XC_s])$$

หาฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer Function)

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{i_i R_{lamp}}{i_i (R_{lamp} + j[XL - XC_s])} \quad (3.14)$$

$$= \frac{R_{lamp}}{(R_{lamp} + j[XL - XC_s])}$$

นำตัวแปร R_{lamp} หาคัดลอดสมการ

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 + j \left[\frac{XL}{R_{lamp}} - \frac{XC_s}{R_{lamp}} \right]} \quad (3.15)$$

แทนค่าความสัมพันธ์ของเรโซแนนซ์แบบอนุกรมกับโพลแทนค่าลงในสมการ (3.15)

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 + j \left[\left[\omega L \cdot \frac{Q_s}{\omega_s L} \right] - \left[Q_s \omega_s C_s \cdot \frac{1}{\omega C_s} \right] \right]}$$

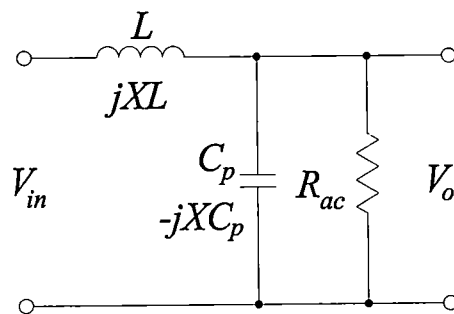
$$= \frac{1}{1 + j Q_s \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]}$$

$$\left| \frac{v_o(j\omega)}{v_{in}(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_s^2 \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]^2}} \quad (3.16)$$

3.7.2 วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโพล (Parallel-Loaded Resonant: PLR)

วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนาน จะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.18 ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำต่อขนานกับตัวเก็บประจุและโพลความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด

จากวงจรรูปที่ 3.18

$$v_o = (i_i - i_R) \cdot (-jXC_p) = -(i_i - i_R) \cdot jXC_p$$

$$v_{in} = jXL \cdot i_L - (i_i - i_R) \cdot jXC_p$$

หาฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer Function)

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{-(i_i - i_R) \cdot jXC_p}{-(i_i - i_R) \cdot jXC_p + jXL \cdot i_L} \quad (3.17)$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{jXL \cdot i_L}{(i_i - i_R) \cdot jXC_p}}$$

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 - \frac{XL}{XC_p} \cdot i_L \left(\frac{1}{i_i - i_R} \right)} \quad (3.18)$$

จากความสัมพันธ์ของ i_R

$$\therefore i_R = \frac{-jXC_p \cdot i_i}{R_{lamp} - jXC_p}$$

แทนค่า i_R ในสมการที่ (3.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 - \frac{XL}{XC_p} \cdot i_L \left(\frac{1}{i_i + R_{lamp} - jXC_p} \right)}$$

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 - \frac{XL}{XC_p} + j \frac{XL}{R_{lamp}}} \quad (3.19)$$

แทนค่าความสัมพันธ์ของเรโซแนนซ์ขนานกับโหนดลงในสมการ (3.17)

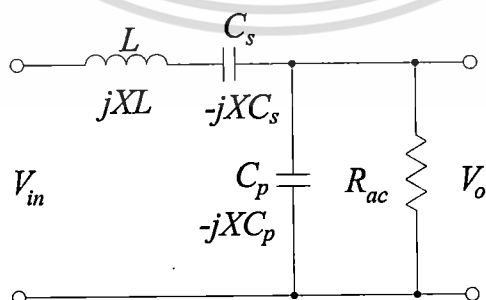
$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 - \omega L \cdot \omega C_p + j \frac{\omega L}{Q_p \omega_p L}}$$

$$= \frac{1}{\left[1 - \left[\frac{\omega}{\omega_p} \right]^2 \right] + j \frac{\omega}{\omega_p} \frac{1}{Q_p}}$$

$$\left| \frac{v_o(j\omega)}{v_{in}(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left[\frac{\omega}{\omega_p} \right]^2 \right]^2 + \left[\frac{\omega}{\omega_p} \frac{1}{Q_p} \right]^2}} \quad (3.20)$$

3.7.3 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหนด (Series-Parallel-Loaded Resonant: PLR)

วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหนด จะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหนด

จากวงจรรูปที่ 3.19

$$v_o = (i_i - i_R) \cdot (-jXC_p) = -(i_i - i_R) \cdot jXC_p$$

$$v_{in} = i_i \cdot jXL - i_i \cdot XC_s - (i_i - i_R) \cdot jXC_p$$

หาฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer Function)

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{-(i_i - i_R) \cdot jXC_p}{-(i_i - i_R) \cdot jXC_p - i_i \cdot jXC_p + i_i \cdot jXL} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{1 + \frac{i_i \cdot jXC_s}{(i_i - i_R) \cdot jXC_p} - \frac{i_i \cdot jXL}{(i_i - i_R) \cdot jXC_p}} \\ \frac{v_o}{v_{in}} &= \frac{1}{1 + Z_1 - Z_2} \end{aligned} \quad (3.22)$$

เมื่อพิจารณาจากกระแสที่ไหลผ่านโหลด i_R

$$i_R = \frac{-jXC_p \cdot i_i}{R_{lamp} - jXC_p}$$

แทนค่า i_R ลงใน Z_1 จากสมการที่ (3.22)

$$Z_1 = \frac{i_i \cdot jXC_s}{(i_i - i_R) \cdot jXC_p} = \frac{XC_s}{XC_p} \cdot \frac{i_i}{i_i} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{jXC_p}{R_{lamp} - jXC_p}\right)} \quad (3.23)$$

$$= \frac{XC_s}{XC_p} \cdot \left(\frac{R_{lamp} - jXC_p}{R_{lamp} - jXC_p + jXC_p} \right)$$

$$= \frac{XC_s}{XC_p} \cdot \left(1 - j \frac{XC_p}{R_{lamp}} \right)$$

$$Z_1 = \frac{XC_s}{XC_p} - j \frac{XC_s}{R_{lamp}} \quad (3.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า i_R ลงใน Z_2 จากสมการที่ (3.24)

$$Z_2 = \frac{i_i \cdot jXL}{(i_i - i_R)jXC_p} = \frac{XL}{XC_p} \cdot \frac{i_i}{i_i} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{jXC_p}{R_{lamp} - jXC_p}\right)} \quad (3.25)$$

$$= \frac{XL}{XC_p} \cdot \left(\frac{R_{lamp} - jXC_p}{R_{lamp} - jXC_p + jXC_p} \right)$$

$$= \frac{XL}{XC_p} \cdot \left(1 - j \frac{XC_p}{R_{lamp}} \right)$$

$$Z_2 = \frac{XL}{XC_p} - j \frac{XL}{R_{lamp}} \quad (3.26)$$

แทนค่า Z_1, Z_2 ลงในสมการที่ (3.26)

$$\begin{aligned} \frac{v_o}{v_{in}} &= \frac{1}{1 + \frac{XC_s}{XC_p} - \frac{jXC_s}{R_{lamp}} - \frac{XL}{XC_p} - \frac{jXL}{R_{lamp}}} \\ &= \frac{1}{1 + \left(\frac{XC_s}{XC_p} - \frac{XL}{XC_p} \right) + j \left(\frac{XC_s}{R_{lamp}} - \frac{XC_s}{R_{lamp}} \right)} \end{aligned} \quad (3.27)$$

แทนค่าความสัมพันธ์ของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนานกับโหนดแทนค่าลงในสมการ 3.27

$$\begin{aligned} \frac{v_o}{v_{in}} &= \frac{1}{1 + \left[\frac{\omega C_p}{\omega C_s} - \omega L \cdot \omega C_p \right] + j \left[\omega L \cdot \frac{Q_s}{\omega_s L} - \frac{1}{\omega C_s} \cdot Q_s \omega_s C_s \right]} \quad (3.28) \\ &= \frac{1}{1 + \frac{C_p}{C_s} \frac{\omega^2}{\omega_p^2} + j Q_s \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]} \\ &= \frac{1}{\left[1 + \frac{C_p}{C_s} - \left[\frac{\omega}{\omega_p} \right]^2 \right] + j Q \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]} \end{aligned}$$

กรณี $C_s = C_p$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{\left[2 - \left[\frac{\omega}{\omega_p}\right]^2\right] + jQ_s \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right]} \quad (3.29)$$

จะเห็นว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน เมื่อ $C_s = C_p$

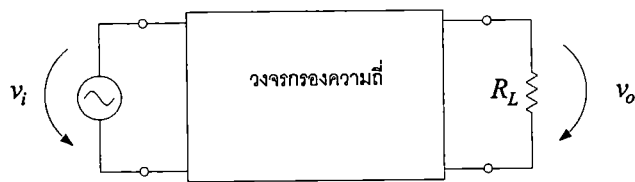
$$\left| \frac{v_o(j\omega)}{v_{in}(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left[2 - \left[\frac{\omega}{\omega_p}\right]^2\right]^2 + Q_s^2 \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right]^2}} \quad (3.30)$$

3.8 วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ (Active filters)

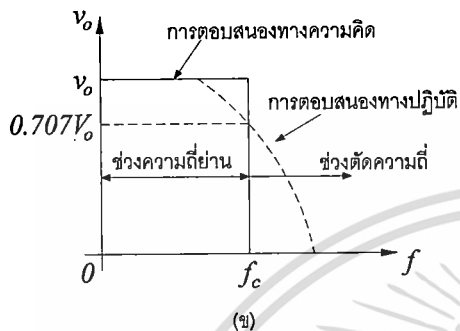
วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟที่ใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งออกเป็นชนิด ตามหน้าที่การทำงานได้อีกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF)
- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter, HPF)
- วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter, BPF)
- วงจรตัดแถบความถี่ (Notch Filter หรือ Band Eliminate Filter, BEF)

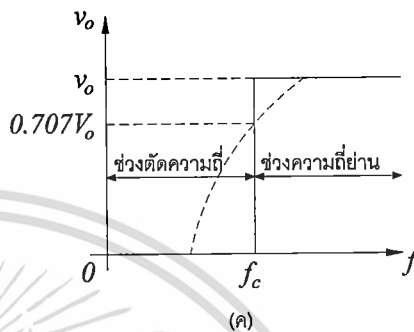
การทำงานของวงจรกรองความถี่แต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 3.6



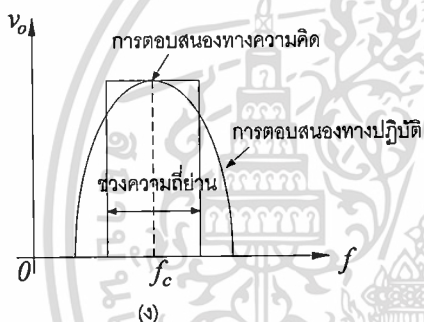
(ก)



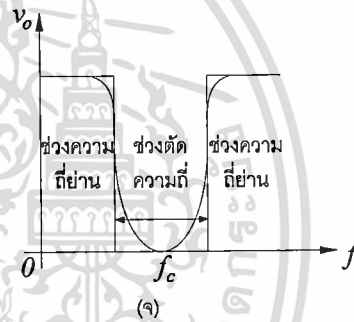
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

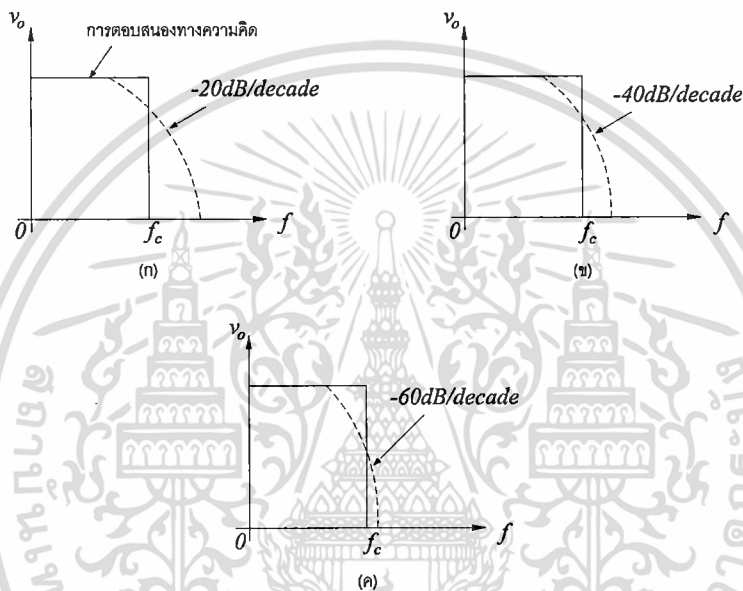
รูปที่ 3.20 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด

- (ก) วงจรทดสอบวงจรกรองความถี่
- (ข) การทำงานของวงจร LPF
- (ค) การทำงานของวงจร HPF
- (ง) การทำงานของวงจร BPF
- (จ) การทำงานของวงจร BEF

จากรูปที่ 3.20 (ข) ซึ่งเป็นผลการตอบสนองความถี่ของวงจร LPF จะพบว่าในทางความคิดหรืออุดมคติ ถ้าความถี่ของอินพุตมีค่ามากกว่า ความถี่ตัดที่ต้องการ (Cut off frequency, f_c) แล้ว วงจรจะตัดสัญญาณความถี่นั้น ไม่ให้ออกไปที่เอาต์พุตเลย แต่ในทางปฏิบัติวงจรไม่ต้องการลง ส่วนผลการตอบสนองความถี่ของวงจร HPF ดังรูปที่ 3.20 (ค) มีลักษณะตรงกันข้ามกับวงจร LPF ส่วนในรูปที่ 3.20 (ง) เป็นผลการตอบสนองความถี่ของวงจร BPF คือ วงจรจะยอมให้ความถี่เฉพาะแถบหรือช่วงที่ต้องการเท่านั้นออกไปที่เอาต์พุต สำหรับผลของวงจร BEF ดังรูปที่ 3.20 (จ) ก็จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับวงจร BPF

3.8.1 ลำดับของวงจรกรองความถี่

จากรูปที่ 3.20 (ข) จะเห็นได้ว่าในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อความถี่อินพุตเปลี่ยนแปลงถึงจุดตัดความถี่ (f_c) ของวงจร วงจรจะค่อยๆ ลดการตอบสนองความถี่ลง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับลำดับ (Order) ของวงจรกรองความถี่ซึ่งโดยทั่วไป วงจรกรองความถี่มีตั้งแต่ลำดับที่ 1,2,3,3 ไปเรื่อยๆ จนถึงลำดับที่ n สำหรับลำดับของวงจรกรองความถี่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองความถี่ ของวงจรความถี่ต่ำผ่าน (LPF) แสดงไว้ในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ที่ลำดับต่างๆ

(ก) ลำดับที่ 1 (First order)

(ข) ลำดับที่ 2 (Second order)

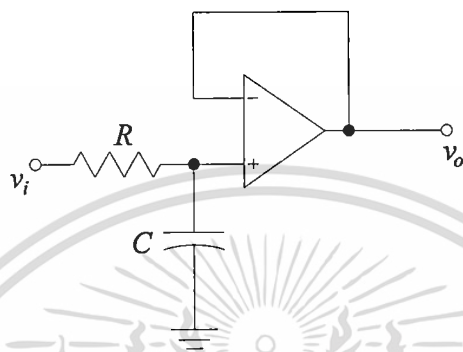
(ค) ลำดับที่ 3 (Third order)

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ตอบสนองความถี่ได้ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุดคือลำดับที่ 3 ถ้าลำดับยิ่งสูงกว่านี้การตอบสนองความถี่ก็ยิ่งใกล้เคียงกับอุดมคติมากขึ้นไปอีก แต่ก็ทำให้วงจรกรองความถี่ที่มีลำดับสูงขึ้นมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในทางใช้งานจริงมักจะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ลำดับที่ 2 (2nd order filter) มากกว่าเนื่องจากสามารถใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียวสร้างได้

วงจรกรองความถี่ลำดับที่ 2 จากรูปที่ 3.21 (ข) พบว่าอัตราการตกของความถี่เมื่อเทียบกับอัตราการขยายเท่ากับ -40 dB/decade โดยเครื่องหมายลบแสดงถึง อัตราให้เห็นว่าเป็นการตกและตัวเลขนี้หมายถึง วงจรกรองความถี่ต่ำอยู่ที่ลำดับที่ 2 ซึ่งจะมีอัตราการตกของอัตราขยาย 40 dB ต่อช่วง 10 เท่าของความถี่ ยกตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 1kHz วงจรกรองความถี่มีอัตราขยาย 40 dB (100 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่า) เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นไปถึง 10 kHz วงจรกรองความถี่มีอัตราการขยายลดลงเหลือ 0 dB (1 เท่า) เนื่องจากความถี่ 1 kHz ไปยังความถี่ 10 kHz เรียกว่า 1 decade

3.8.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1



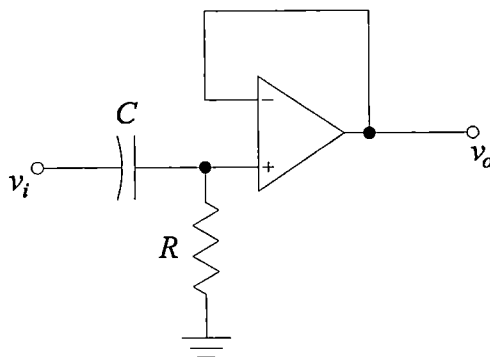
รูปที่ 3.22 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1

จากรูปที่ 3.22 ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรตามแรงดันเพื่อให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองความถี่มีค่าความถี่ตัด (f_c) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ภายนอกดังสมการ (3.3)

$$f_c = \frac{0.1591}{RC} \quad (3.31)$$

วงจรในรูปที่ 3.22 นี้จะมีอัตราขยายรูปปิด (ACL) เท่ากับ 1 ตามสมการของวงจรตามแรงดัน

3.8.3 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1

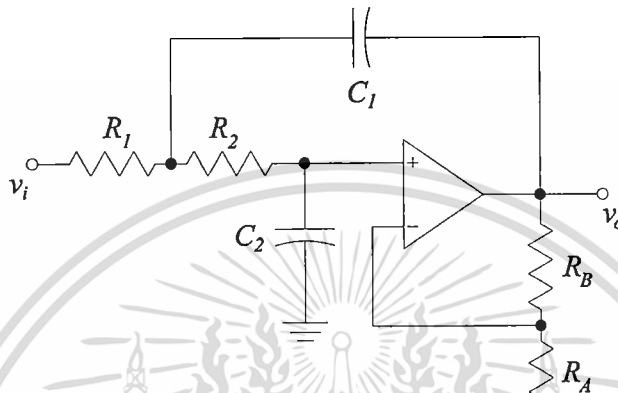


รูปที่ 3.23 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในรูปที่ 3.22 ถ้าหากสลับตำแหน่ง R และ C ดังรูปที่ 3.23 ก็จะได้วงจรกรองความถี่สูงผ่านที่มีสมการของความถี่ตัดผ่านเท่ากับสมการ (3.3)

3.8.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2



รูปที่ 3.24 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2 สามารถสร้างได้โดยใช้ออปแอมป์เพียงตัวเดียว ดังในรูปที่ 3.24 วงจรนี้อาจเรียกว่า วงจรกรองความถี่แบบ Silent and Key ซึ่งตั้งชื่อตามผู้ออกแบบวงจร สำหรับวงจรนี้ความถี่ตัด (Cut off frequency, f_c) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ภายนอกตามสมการ (3.32)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (3.32)$$

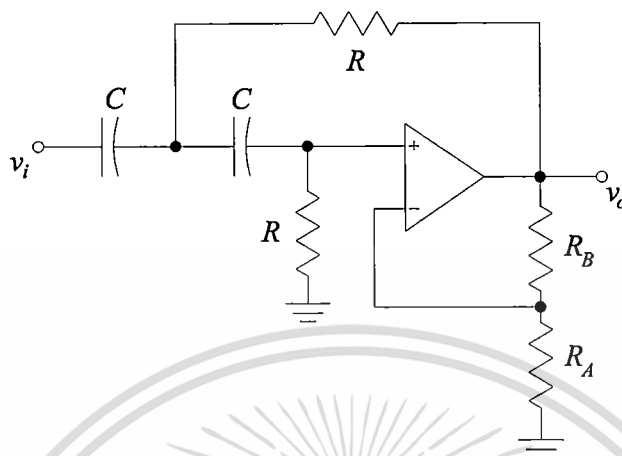
ถ้ากำหนดให้ $R_1=R_2=R$ และ $C_1=C_2=C$ สมการ (3.32) สมการลดรูปได้เป็น

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.33)$$

ส่วนตัวต้านทาน R_A และ R_B มีไว้เพื่อเป็นตัวกำหนดอัตราขยายลูปปิด (ACL) ได้ แต่โดยปกติแล้วเราจะมีกำหนดให้ ACL นี้มีค่าเท่ากับ 1.586 เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด นั่นแสดงว่าค่า R_B มีค่าเป็น 0.586 เท่าของ R_A เนื่องจากออปแอมป์ต่อ

เอกสารเป็นวงจรรายแบบไม่กลับเฟสสำหรับค่า R_A และ R_B ที่เหมาะสมคือ $R_A=47k\Omega$ และ $R_B=27k\Omega$ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.5 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2



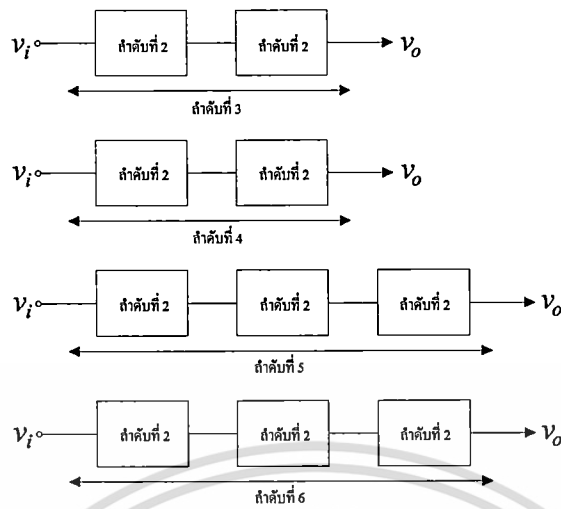
รูปที่ 3.25 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2

วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2 มีลักษณะคล้ายกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในรูปที่ 3.24 เพียงแต่สลับตำแหน่งของ R และ C เท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 3.25 ส่วนค่าความถี่ตัด (f_c) สามารถหาได้จากสมการ (3.34)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.34)$$

3.8.6 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านในลำดับที่สูงขึ้น

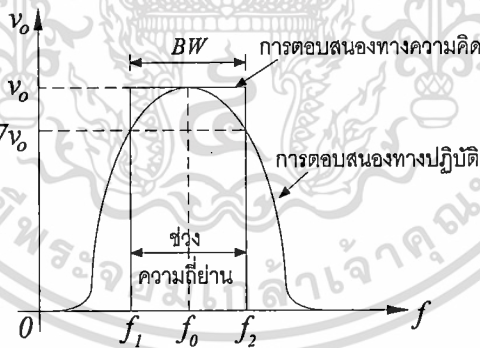
วงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านสามารถสร้างให้มีลำดับที่สูงกว่าลำดับที่ 2 ได้ โดยการนำวงจรของความถี่ที่มีความถี่ตัดเท่ากันมาต่อเรียงกัน ดังรูปที่ 3.26 ซึ่งเรียกว่าการต่อแบบนี้ว่า แคสเคด (Cascade) จะทำให้ลำดับที่สูงขึ้นตามผลบวกของวงจรกรองความถี่ที่ต่อเรียงกัน



รูปที่ 3.26 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้มีลำดับที่สูงขึ้น

3.8.7 วงจรกรองแถบความถี่

วงจรกรองความถี่ (Band Pass Filter, BPF) หรือ BPF เป็นวงจรที่กรองเอาเฉพาะความถี่ช่วงที่ต้องการออกเท่านั้น ดังนั้นการตอบสนองความถี่ของวงจร BPF นี้เป็นดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การตอบสนองความถี่ของวงจร BPF

ความถี่ศูนย์กลาง (Center Frequency, f_0) ของวงจร BPF สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจรเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพ (Quality factor, Q) ของวงจร BPF นี้สามารถวัดได้จาก

$$Q = \frac{f_0}{BW} \tag{3.35}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ BW คือ แถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่านมีหน่วยเป็น Hz หาได้จาก

$$BW = f_2 - f_1 \quad (3.36)$$

และ f_0 ก็สามารถหาได้จาก

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (3.37)$$

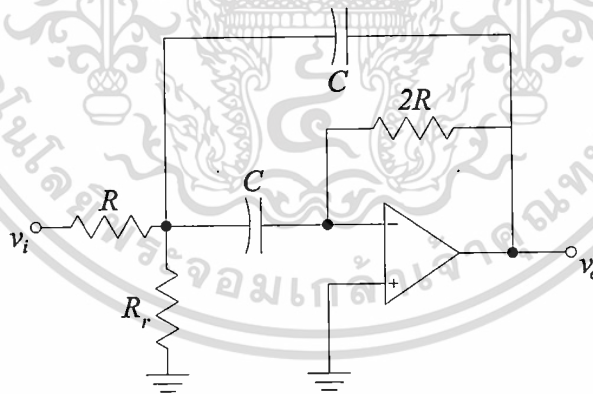
ดังนั้น

$$f_1 = \sqrt{\frac{BW^2}{4} + f_0^2} - \left(\frac{BW}{2}\right) \quad (3.38)$$

และ

$$f_2 = f_L + BW \quad (3.39)$$

ซึ่งลักษณะของวงจรกรองแถบความถี่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 วงจรกรองแถบความถี่ (BPF)

วงจรกรองแถบความถี่มีอัตราการขยายลูปปิด (ACL) เท่ากับ 1 ที่ความถี่ศูนย์กลาง f_0 โดย BW สามารถหาได้จาก

$$BW = \frac{0.1591}{RC} \quad (3.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

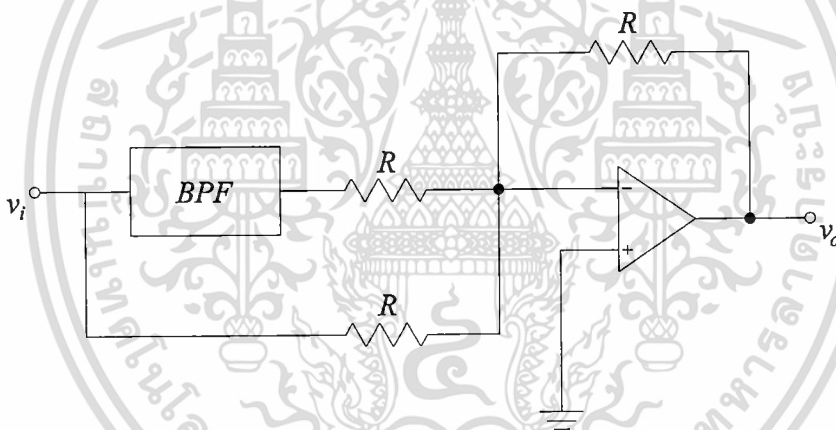
และความถี่ศูนย์กลาง f_0 สามารถกำหนดได้จาก

$$f_0 = \frac{0.1125}{RC} \sqrt{1 + \frac{R}{R_r}} \quad (3.41)$$

จากสมการ (3.40) และ (3.41) จะเห็นได้ว่า เราสามารถปรับค่าความถี่ศูนย์กลางได้โดยไม่ทำให้ค่า BW เปลี่ยนโดยการปรับที่ R_r ซึ่งสามารถหา R_r ได้จาก

$$R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1} \quad (3.42)$$

3.8.8 วงจรตัดแถบความถี่ (BEF)



รูปที่ 3.29 วงจรตัดแถบความถี่ที่สร้างจาก BPF และวงจรบวกสัญญาณ

การสร้างวงจรตัดแถบความถี่ (Band Elimination Filter, BEF) หรือเรียกอีกชื่อว่าวงจร Notch Filter จากวงจร BPF และวงจรบวกสัญญาณโดยใช้โอปแอมป์ดังแสดงในรูปที่ 3.29 โดยสมการต่างยังมีค่าเท่ากับวงจร BPF จะต่างกันตรงที่การตอบสนองความถี่ที่มีลักษณะตรงกันข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจรควบคุม

3.9.1 ตัวควบคุม PD

การออกแบบตัวควบคุม PD เพื่อให้ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบวงปิดมีความรวดเร็ว ยิ่งขึ้นซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบพลวัต ทำให้ทราบว่า ผลการตอบสนองเชิงเวลาของระบบวงปิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของโพลวงปิด การใช้ตัวควบคุม PD จะเป็นการช่วยในด้านความเร็วของการตอบสนองชั่วคราว แต่อาจยังคงมีค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของผลตอบสนอง จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการอินทิเกรต (Integrate action) ในตัวควบคุมด้วย ลักษณะของการควบคุม PD เป็นการเพิ่มซีโรให้กับระบบเพื่อปรับเปลี่ยนทางเดินรากของระบบให้เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งโพลวงปิดที่ต้องการ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PD คือ

$$\begin{aligned} G_C(s) &= K_P + K_D s = K_P \left(1 + \frac{K_D}{K_P} s \right) \\ &= K_P (1 + K_D s) = K_P (1 + T_D s) \end{aligned} \quad (3.43)$$

เมื่อ K_P และ K_D เป็นค่าอัตราขยายส่วนของตัวควบคุมแบบสัดส่วนและอนุพันธ์ T_D เป็นเวลาอนุพันธ์ (Derivative Time) ตัวควบคุม PD แสดงในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนอีกแบบเป็น

$$G_C(s) = K(s + Z_C) \quad (3.44)$$

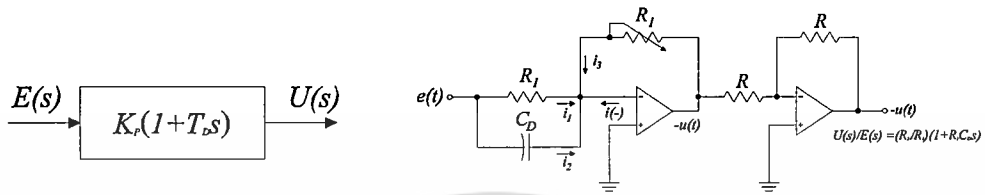
เมื่อ K กับ Z_C เป็นอัตราขยายซีโรของตัวควบคุม เห็นได้ว่าตัวควบคุม PD เป็นการเพิ่มซีโรที่ตำแหน่ง $-Z_C$ ในระนาบ s ให้กับระบบ ส่งผลให้ทางเดินรากมีการผิเปลี่ยนไปจากเดิมโดยคาดหวังว่าการตัดแปลงเส้นทางเดินรากนี้จะทำให้ผ่านจุดตำแหน่ง s ที่ต้องการได้ด้วยการปรับค่า K

รูปที่ 3.30 แสดงวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตัวควบคุม PD โดยจะมีความสัมพันธ์กับฟังก์ชันถ่ายโอนใน (3.43) คือ

$$K = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3.45)$$

เอกสารและเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_C = R_1 C_P \tag{3.46}$$



(ก) บล็อกไดอะแกรม

(ข) วงจรอิเล็กทรอนิกส์

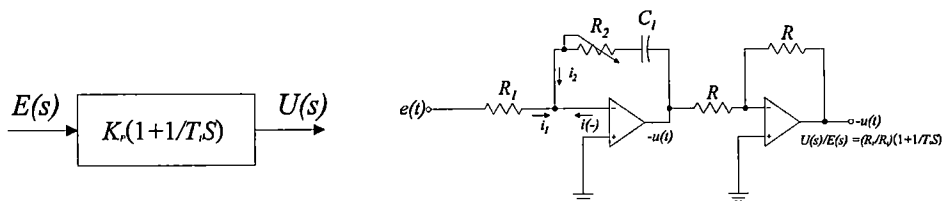
รูปที่ 3.30 ตัวควบคุม PD

3.9.2 ตัวควบคุม PI

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัล หรือเรียกว่าตัวควบคุม PI (PI Controller) การตอบสนองหรือค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของระบบวงปิดสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดของระบบ หรือแปรผกผันตามอัตราการขยายดีซี นั่นคือการใช้ตัวควบคุม PI เป็นการเปลี่ยนแปลงชนิดของระบบ โดยเพิ่มตำแหน่งโพลที่จุดกำเนิดนอกจากตัวควบคุม PI จะเพิ่มชนิดโพลของระบบแล้ว ซีโรที่ผสมอยู่กับตัวควบคุม PI จึงถูกทำการพิจารณาด้วยเนื่องจากเป็นส่วนที่ช่วยทำการแก้ไขผลของการเพิ่มโพลที่จุดกำเนิดของตัวควบคุม เพื่อให้สมรรถนะการตอบสนองชั่วคราวของระบบมีประสิทธิภาพดี การเพิ่มโพลที่จุดกำเนิดและซีโรให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิด ซึ่งเป็นการเพิ่มชนิดของระบบ เพื่อให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเท่ากับศูนย์ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PI เป็น

$$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \tag{3.47}$$

เมื่อ T_I เป็นเวลาอินทิกรัล (integral time) หรือเวลารีเซ็ต (reset time)



(ก) บล็อกไดอะแกรม

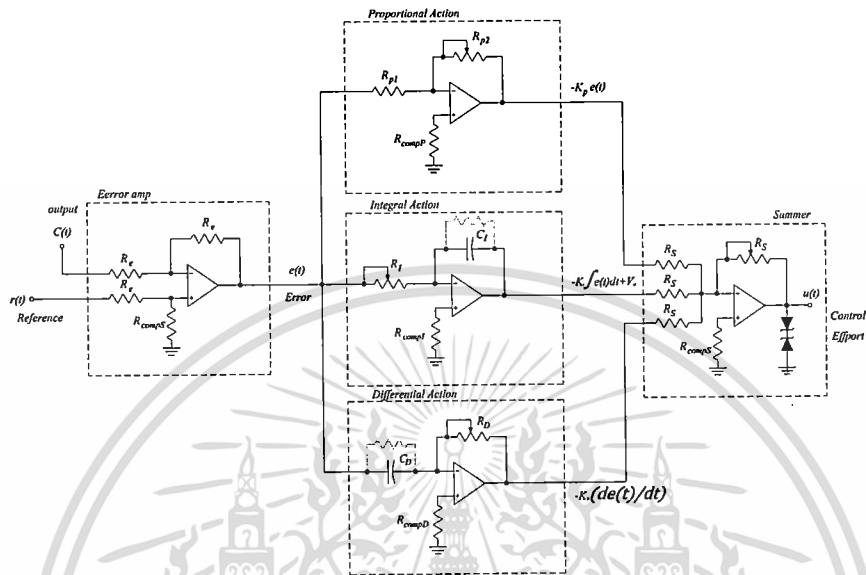
(ข) วงจรอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.31 ตัวควบคุม PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.3 ตัวควบคุม PID

วงจรทางอนาล็อกแบบออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม PID แสดงในรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 ตัวควบคุม PID แบบอนาล็อก

จากวงจรในรูปที่ 3.32 สามารถแสดงสมการอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$u(t) = \left(\frac{R_{P2}}{R_{P1}}\right) e(t) + \frac{1}{R_I C_I} \int e(t) dt + R_D C_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.48)$$

แสดงในพจน์ของพารามิเตอร์ของอัตราขยาย K เวลาอินทิกรัล T_I และเวลาอนุพันธ์ T_D มีสมการอนุพันธ์เป็น

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.49)$$

หรือแสดงเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (3.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุม PID คือตัวควบคุมที่รวมผลการควบคุม (Control Action) ของทั้งส่วนของสัดส่วน อินทิกรัล และ อนุพันธ์ เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบวงป้อนมีค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวเป็นศูนย์จากผลของตัวควบคุม PI และมีความเร็วในการตอบสนองจากผลของตัวควบคุม PD ฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการ (3.51) ตัวควบคุม PID มีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$G_C(s) = K_p + K_d s + \frac{K_i}{s} \quad (3.51)$$

เมื่อ K_p เป็นอัตราขยายสัดส่วน K_d และ K_i เป็นอัตราขยายของตัวอนุพันธ์และตัวอินทิกรัลตามลำดับ

3.10 บทสรุป

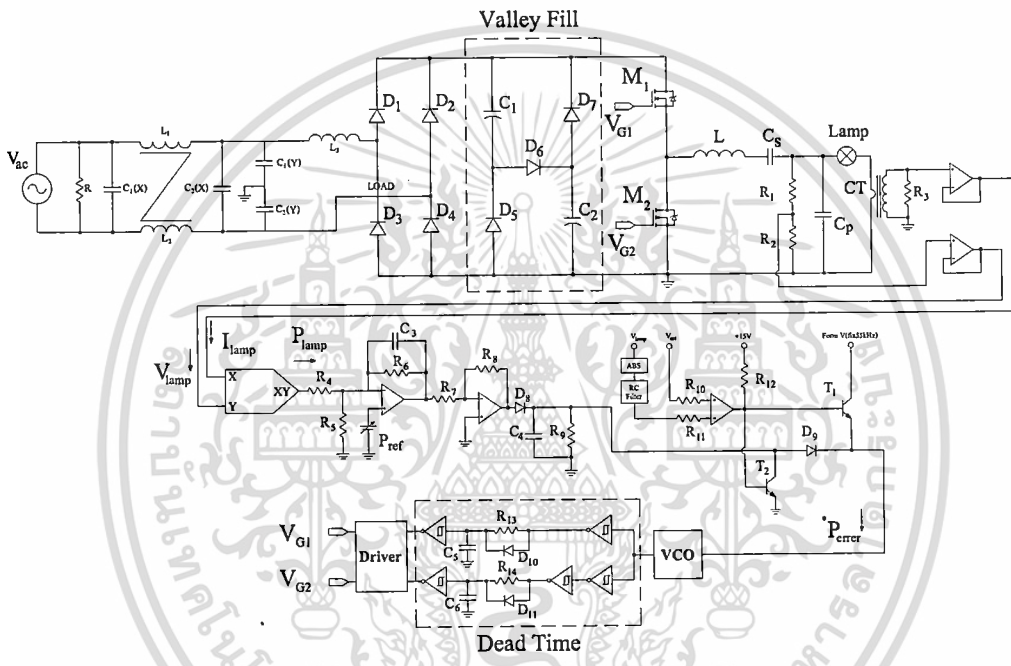
บทนี้จะเป็นการนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรที่ใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วย วงจรกรองสัญญาณ, วงจรเรียงกระแส, วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง, วงจรอินเวอร์เตอร์, วงจรเรโซแนนซ์, วงจรควบคุม พร้อมทั้งกล่าวถึงเทคนิคการสร้างวงจรกำลังและเทคนิคการจุดหลอด การออกแบบที่ดีเป็นผลทำให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพสามารถแสดงผลตรงตามกับทฤษฎี

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบที่นำเสนอ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้ ซึ่งเป็นการนำทฤษฎีในบทที่ผ่านมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในวงจรต่างๆ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

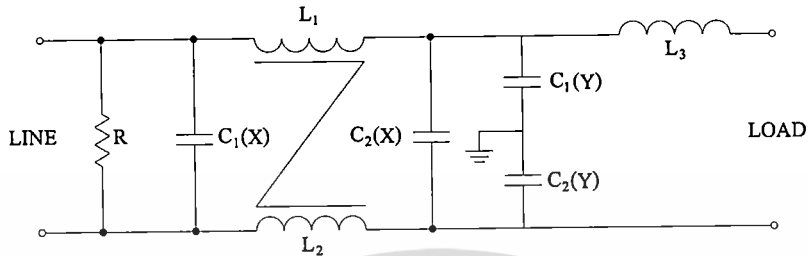
4.2 การออกแบบวงจรกรองอีเอ็มไอ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรกรองอีเอ็มไอแบบพาย (π) การกำหนดค่าตัวอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจรต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยทั่วไปกำหนดว่าถ้าค่าตัวเก็บประจุชนิด "X" มีค่าตั้งแต่ 0.1 ไมโครฟารัดขึ้นไปตัวต้านทาน R ทำหน้าที่ที่ดิซชาร์จกระแสตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{t}{2.21C} \tag{4.1}$$

โดยกำหนดให้ t มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ C คือ ผลรวมของค่าตัวเก็บประจุชนิด "X" ในวงจรฟิลเตอร์เป็นฟารัด ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจร LC ฟิลเตอร์จะขึ้นอยู่กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตของฟิลเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับและค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุตของฟิลเตอร์กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามาก อัตราลดทอนสัญญาณรบกวนจะมากตามไปด้วย



รูปที่ 4.2 วงจรกรองอีเอ็มไอที่นำเสนอ

จากรูปเป็นวงจรกรองอีเอ็มไอที่ผู้วิจัยใช้ในการออกแบบ ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y” เป็นตัวเก็บประจุสำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวน ใช้กับแรงดันไฟฟ้าสลับ 110 V หรือ 220 V การต่อตัวเก็บประจุเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนตามมาตรฐานความปลอดภัย IEC ได้กำหนดให้ต่อใช้งานแยกประเภทตามตำแหน่งการใช้งานโดยตำแหน่งตัวเก็บประจุ “X” อยู่ในตำแหน่งที่ไม่ทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูดหากตัวเก็บประจุเกิดลัดวงจรหรือทำงานผิดพลาด การใช้ตัวเก็บประจุชนิด “X” จะไม่มีการจำกัดค่าความจุสูงสุดของตัวเก็บประจุไว้แต่ที่ใช้กันส่วนใหญ่จะอยู่ที่ C_x : 0.1 ถึง 2 μF โดยมีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานได้มากกว่า 600 V ส่วนค่าตัวเก็บประจุ “Y” จะอยู่ในตำแหน่งที่อาจทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์เกิดอันตรายจากไฟฟ้าดูดถ้าตัวเก็บประจุเกิดการทะลุหรือทำงานผิดพลาด ตัวเก็บประจุชนิด “Y” จะเป็นอุปกรณ์ที่เสี่ยงกับความปลอดภัยซึ่งจะต้องมีโครงสร้างที่ป้องกันการทะลุได้ดี ค่าความจุของตัวเก็บประจุต้องมีค่าต่ำเพื่อจำกัดกระแสรั่วไหลภายในวงจร ค่าที่ใช้คือ 2200 pF ถึง 0.033 μF และตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมกับวงจรจะต้องใช้เส้นลวดที่ทนกระแสสำหรับจ่ายโหลดได้ โดยตัวเหนี่ยวนำจะพันอยู่บนแกนเดียวกันมีทิศทางการพันขดลวดที่สวนทางกัน ขดลวดที่พันได้นั้นมีค่าเท่ากับค่าที่ใช้คือ 1.8 mH ที่ 25A ถึง 47 mH ที่ 0.3A

การออกแบบข้างต้นเป็นการออกแบบวงจรกรองอีเอ็มไอตามลักษณะมาตรฐานการใช้งาน FCC และ VDE [4] แต่สัญญาณที่ได้จากการทำงานจริงนั้นลักษณะของกระแสยังเกิดการกระเพื่อมจึงต้องออกแบบตัวเหนี่ยวนำ L_3 เพื่อลดทอนการกระเพื่อมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตโดยค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$L_1 \frac{\Delta i_{s1}}{t_{on}} = \sqrt{2} V_s \sin \omega t + \frac{V_d}{2} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_1 \frac{\Delta i_{s2}}{t_{off}} = \sqrt{2}V_s \sin \omega t - \frac{V_d}{2} \tag{4.3}$$

$$T_s = t_{on} + t_{off} \tag{4.4}$$

เมื่อพิจารณาจากกระแสกระแสฟลักซ์สูงสุด $\Delta i_{max} = \Delta i_{s1} = \Delta i_{s2}$ จะได้

$$\Delta i_{max} = \frac{V_d T_s}{4L_1} \tag{4.5}$$

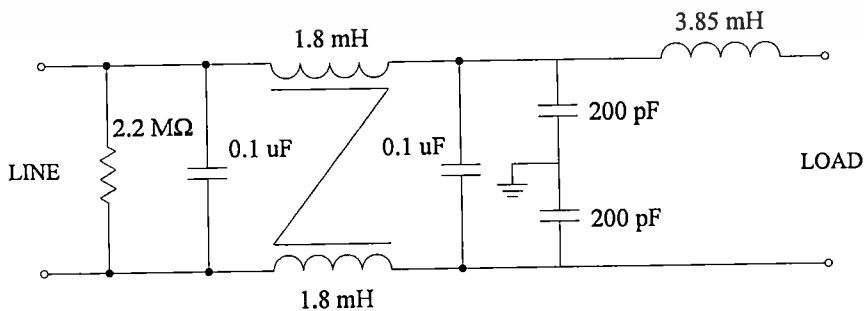
ค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการ (4.6)

$$L_1 = \frac{V_d}{4f_s \Delta i_{max}} = 3.85 \text{ mH} \tag{4.6}$$

และจากสมการที่ 4.1 สามารถคำนวณหาค่า R ได้ดังนี้
จากรูปที่ 4.1 $C3(X) = C4(X) = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$

$$R = \frac{t}{2.21C} = 2.2 \text{ M}\Omega$$

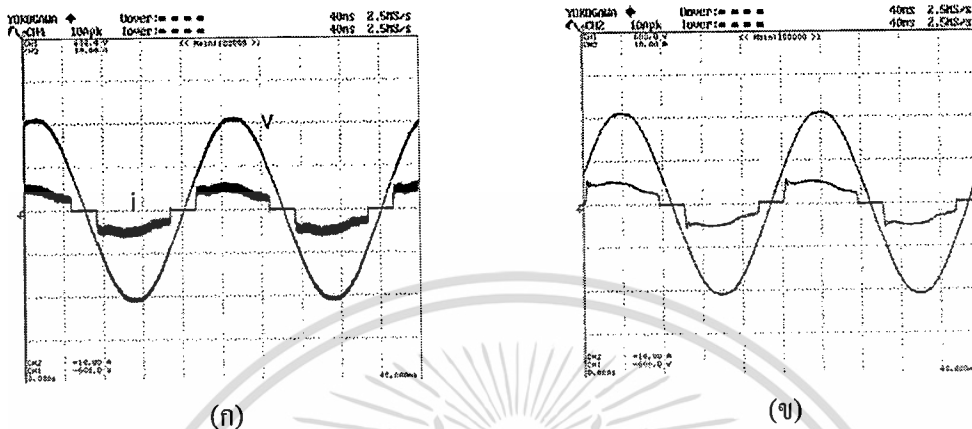
นำค่าที่ได้จากการคำนวณแทนลงในรูปที่ 4.3 ได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 วงจรกรองอีเอ็มไอที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำวงจรที่ได้ทำการออกแบบไปทดลอง ซึ่งสามารถเปรียบเทียบการทำงานขณะไม่ได้ต่อ L_3 และในขณะที่ต่อ L_3



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 ลักษณะรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรกรองอีเอ็มไอ

(ก) วงจรกรองอีเอ็มไอขณะที่ไม่ได้ต่อ L_3 (150V/div, 2.5A/div, 40 ms/div)

(ข) วงจรกรองอีเอ็มไอขณะที่ต่อ L_3 (150V/div, 2.5A/div, 40 ms/div)

4.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแส

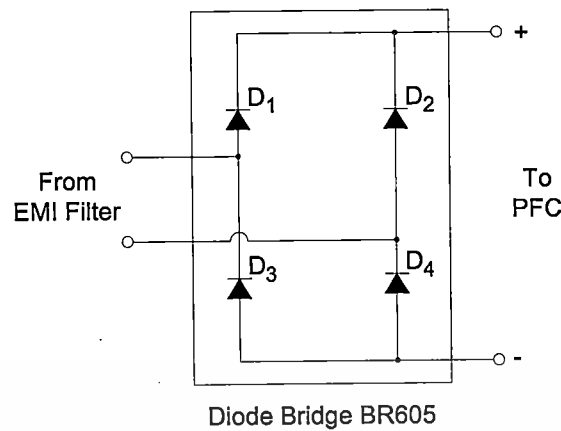
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 1 เฟส ใช้กับกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ขนาด 250 วัตต์ แรงดันด้านอินพุต 220 V ที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0.95 โดยสามารถพิจารณาคุณสมบัติของไดโอดกำลัง

- สามารถทนต่อกระแสสูงสุดช่วงขณะได้
- สามารถทนต่อกระแสไปอัสตรงได้
- สามารถทนต่อกระแสไปอัสกลับได้
- มีกระแสรั่วไหลน้อย

ซึ่งพิกัดกำลังสามารถหาได้ดังนี้

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in} \cdot \cos \phi \quad (4.7)$$

จากสมการที่ (4.7) สามารถคำนวณหากระแสที่ไหลผ่านไดโอดได้ 1.2 แอมป์ นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับขนาดของไดโอดที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งค่าที่แนะนำคือ BR605 พิกัด 500V 6A ค่าที่ได้แสดงเป็นวงจรดังรูป

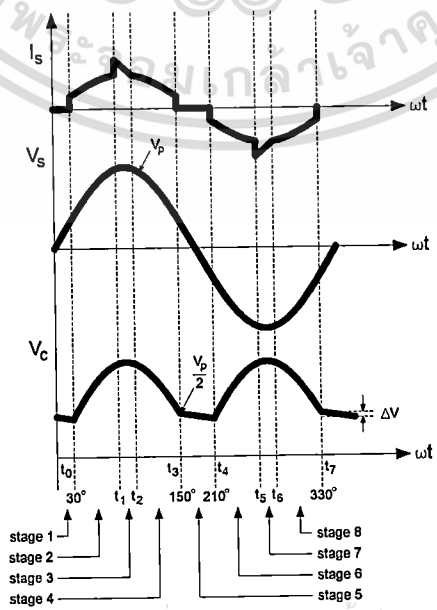
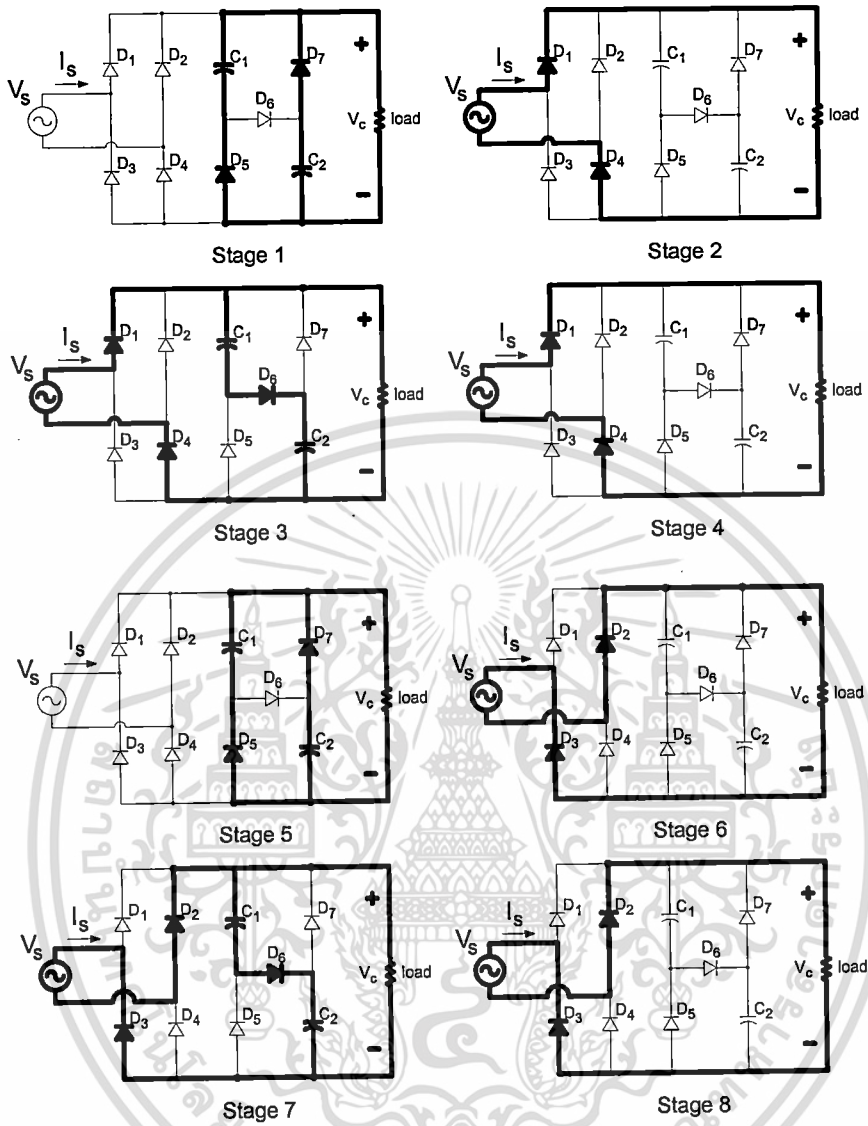


รูปที่ 4.5 วงจรเรียงกระแสที่ได้ออกแบบ

4.4 การออกแบบวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทางผู้วิจัยได้นำเสนอวงจรวาลเลย์ฟิลซึ่งเป็นวงจรชนิดพาสซีฟที่ไม่ต้องการไอซีมาใช้ในการควบคุมการทำงานของภาคกำลัง มีวงจรที่ง่ายต่อการใช้งาน ขนาดกระทัดรัดและราคาถูก เพราะเหตุนี้จึงได้นำคุณสมบัติดังกล่าวมาทดลองใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดไอปรอทความดันสูงซึ่งมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดโดยการควบคุมแบบป้อนกลับและสามารถหรี่แสงได้ ซึ่งการออกแบบวงจรวาลเลย์ฟิลได้นั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานในสถานะต่างๆ เสียก่อนเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่มีคุณสมบัติถูกต้องตามหลักการและทฤษฎี

วงจรวาลเลย์ฟิลเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังโดยตรง โดยอาศัยคุณสมบัติของไดโอดและตัวเก็บประจุที่ได้รับจากวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นแบบบริดจ์ที่มีคุณสมบัติแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงสัญญาณแรงดันที่ได้จะมีความราบเรียบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความจุของตัวเก็บประจุ ยิ่งถ้าค่าตัวเก็บประจุมากสัญญาณแรงดันด้านเอาต์พุตก็จะยิ่งราบเรียบมากขึ้น กระแสในช่วงพีคก็จะสูงขึ้นตามแต่ไม่ช่วยทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมากขึ้นตามไปด้วย จึงต้องนำคุณสมบัติของวงจรวาลเลย์ฟิลมาช่วยในการขยายกระแสเพื่อให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังมากยิ่งขึ้นซึ่งสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 ลักษณะการทำงานของวงจรผลคูณไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 สามารถแบ่งเป็นสภาวะการทำงานได้ 8 สภาวะดังนี้

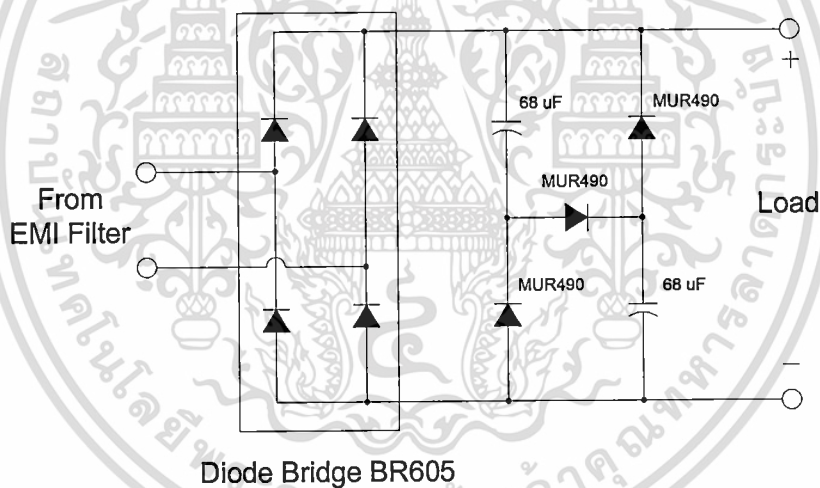
- สภาวะที่ 1 ในขณะที่วงจรมีไม่มีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าทางด้านอินพุตซึ่งในขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเริ่มคายประจุจากรูปจะเห็นได้ว่า I_s จะยังคงมีค่าเป็นศูนย์ แต่แรงดันทางด้านเอาต์พุตเกิดเป็นแรงดันดิสชาร์จจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ที่ต่อขนานกันผ่านคุณสมบัติการไบอัสตรงของไดโอด D_5 กับ D_7 ทำให้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้น
- สภาวะที่ 2 เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตป้อนเข้าวงจร ตัวของวงจรจะเริ่มนำกระแสซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.6 กระแส I_s เริ่มมีค่ามากขึ้น ขณะที่ตัวเก็บประจุได้ชาร์จทำให้เกิดเป็นแรงดันในช่วง V_C กับ V_O ที่กินช่วงขนาดและเวลาเหมือนกัน
- สภาวะที่ 3 จากสภาวะที่ผ่านมาเมื่อตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุเต็มที่แล้วก็จะเป็นช่วงของการคายประจุกระแสไฟฟ้ารวมกันกับช่วงของกระแสอินพุตทำให้เกิดเป็นยอดแหลมดังแสดงในกราฟในรูปที่ 4.6 ถ้าค่าของตัวเก็บประจุยิ่งมากก็จะทำให้ยอดของกระแส I_s สูงมากขึ้นตาม
- สภาวะที่ 4 เป็นช่วงของการชาร์จประจุของ C_5 และ C_7 เหมือนกับสภาวะที่ 2 แต่จะต่างกันตรงที่เป็นการชาร์จประจุในช่วงขาลงของแหล่งจ่ายแรงดันอินพุตไฟฟ้าสลับเกิดเป็นกราฟลักษณะของช่วงลงของแรงดันและกระแส
- สภาวะที่ 5 จะคล้ายกับการทำงานในสภาวะที่ 1 คือในขณะที่วงจรมีไม่มีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าทางด้านอินพุตซึ่งในขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเริ่มคายประจุจากรูปจะเห็นได้ว่า I_s จะยังคงมีค่าเป็นศูนย์ แต่แรงดันทางด้านเอาต์พุตเกิดเป็นแรงดันดิสชาร์จจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ที่ต่อขนานกันผ่านคุณสมบัติการไบอัสตรงของไดโอด D_5 กับ D_7 ทำให้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้น
- สภาวะที่ 6 ตัวของวงจรจะเริ่มนำกระแสผ่านทางไดโอด D_3 ที่ไบอัสกลับแรงดันด้านลบซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.6 กระแส I_s เริ่มมีค่ามากขึ้น ขณะที่ตัวเก็บประจุได้ชาร์จทำให้เกิดเป็นแรงดันในช่วง V_C
- สภาวะที่ 7 จากสภาวะที่ผ่านมาเมื่อตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุเต็มที่แล้วก็จะเป็นช่วงของการคายประจุกระแสไฟฟ้ารวมกันกับช่วงของกระแสอินพุตทำให้เกิดเป็นยอดแหลมดังแสดงในกราฟในรูปที่ 4.6 ถ้าค่าของตัวเก็บประจุยิ่งมากก็จะทำให้ยอดของกระแส I_s สูงมากขึ้นตาม
- สภาวะที่ 8 เป็นช่วงของการชาร์จประจุของ C_1 และ C_2 เหมือนกับสภาวะที่ 6 แต่จะต่างกันตรงที่เป็นการชาร์จประจุในช่วงขาขึ้นของแหล่งจ่ายแรงดันอินพุตไฟฟ้าสลับเกิดเป็นกราฟลักษณะของช่วงลงของแรงดันและช่วงขาขึ้นของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะการทำงานดังกล่าวเป็นผลทำให้ช่วงของกระแสอินพุตขยายช่วงของเวลาออกเข้าใกล้ช่วงเวลาของแรงดันทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงหนึ่งและจะสังเกตได้ว่าแรงดันต้านเอาต์พุตเกิดการลดลงของแรงดันที่มีลักษณะที่ไม่ราบเรียบของแรงดันสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรเรียงกระแสทั่วไปเป็นผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าลดต่ำลงแต่ก็ไม่มากเมื่อเทียบกับคุณสมบัติการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังซึ่งการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สามารถหาได้จากสมการดังนี้

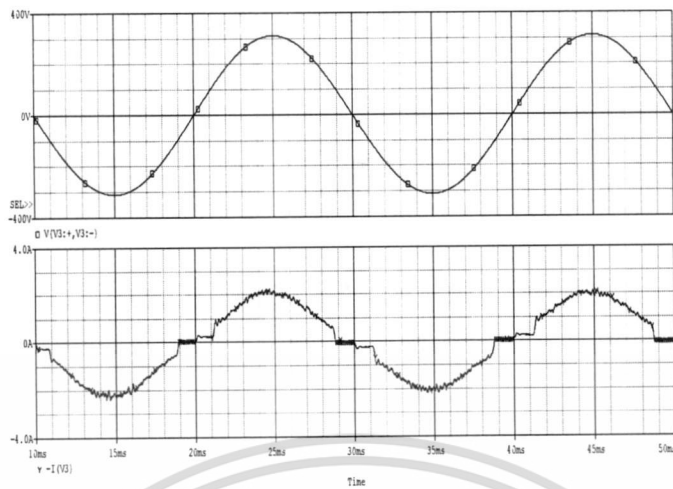
$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{C_1}{2} V_p^2 = \frac{1}{2} (2C_1) \left(\frac{V_p}{2} \right)^2 \quad (4.8)$$

เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ขนานกันผ่านทาง D_5 และ D_7 โดย C_1 จะเท่ากับ C_2 ซึ่งผลรวมประจุเท่ากับ C_T หรือ $2C_1$ โดย $E=1.64$ และ $V_p=311$ ได้ค่า $C_1=68\mu\text{F}$ นำค่าที่ได้แทนลงในวงจรดังต่อไปนี้

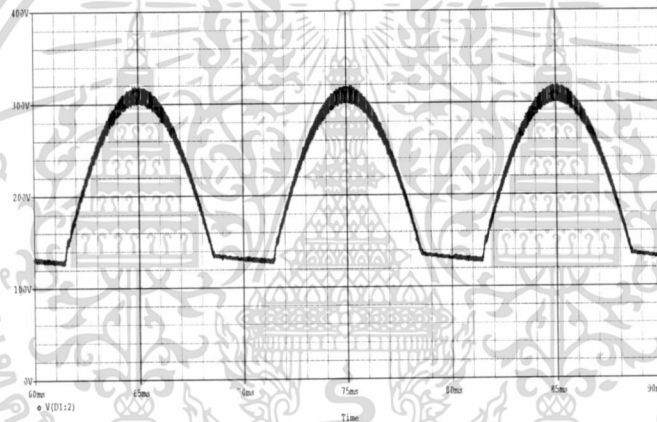


รูปที่ 4.7 วงจรवालเลย์ฟิลที่ได้ออกแบบ

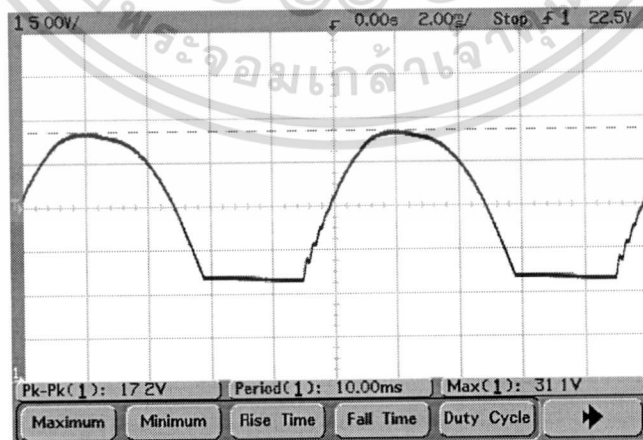
นำค่าที่ได้ไปทำการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม Orcad PSpice เปรียบเทียบกับผลการทดลองจะได้ลักษณะของรูปคลื่นดังนี้



รูปที่ 4.8 แรงดัน (รูปบน) และกระแส (รูปล่าง) ทางด้าน input ที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 4.9 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรวาลเลย์ฟิล



รูปที่ 4.10 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองการทำงานของวงจรวาลเลย์ฟิล
(125V/div, 2 ms/div)

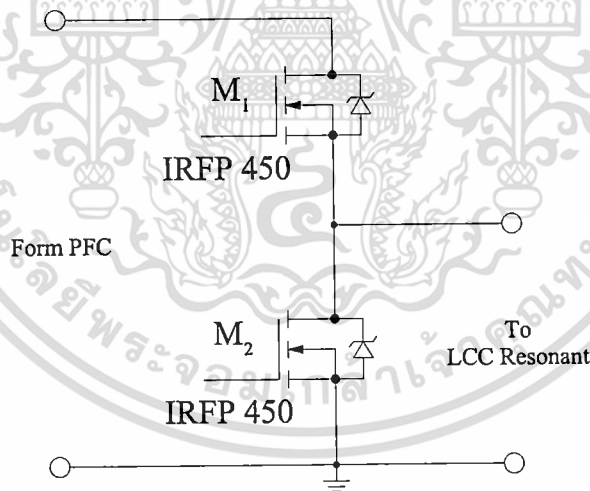
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิก โดยนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มอสเฟสมาใช้เป็นอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดีมาก นิยมใช้เป็นสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ แต่มีพิกัดแรงดันต่ำประมาณ 500V 50A และ 1000V 4.7A สามารถทำเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่สูงได้ถึง 100 kHz จากคุณสมบัติดังกล่าวเหมาะสมกับการมาใช้ในวงจรของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การหาพิกัดของมอสเฟสกำลังสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านสูงสุดได้ดังนี้

$$I_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot P_o}{V} \quad (4.9)$$

ในการใช้งานมอสเฟสจำเป็นต้องเผื่อพิกัดในการใช้งานไว้ที่ 70% เพื่อป้องกันการกระชากและการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้มอสเฟสเบอร์ IRFP450 มีพิกัดกระแสที่ 14A พิกัดแรงดันที่ 500V นำค่าที่ได้แทนลงในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิกได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิกที่ได้ออกแบบ

4.6 การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทางผู้วิจัยใช้เป็นวงจรแบบ $LC_r C_p$ หลักการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์นอกจากจะสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตด้วยความถี่สวิตช์มอสเฟสแล้ว ยังสามารถใช้เป็นวงจรจุดหลอดภายในตัว โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าที่สูงพอจากอินเวอร์เตอร์ในช่วงหนึ่งวงจรเรโซแนนซ์ทางด้านเอาต์พุตที่ต่ออยู่กับหลอดจะสร้างแรงดันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์แก่ผู้อื่น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

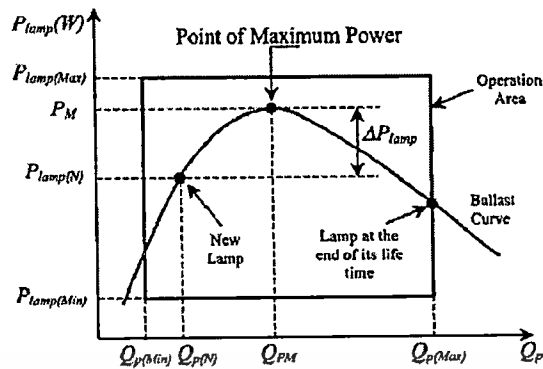
สูงมาก เนื่องจากความต้านทานทางของหลอดจะสูงมากขณะที่หลอดยังไม่ติด เพราะฉะนั้นค่าของตัวเก็บประจุ C_p จำเป็นต้องมีคุณสมบัติในการรับแรงดันในช่วงที่เกิดภาวะชั่วคราวที่สูงโดยไม่ต่ำกว่า 900 V การที่จะทำให้หลอดติดได้จำเป็นต้องมีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของ $LC_s C_p$ เป็นอย่างดี เพื่อลดการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นถึงแม้ว่าจะจุดหลอดให้ติดได้ก็ยังคงต้องควบคุมกระแสและแรงดันที่หลอดให้อยู่ในสภาวะที่คงที่ การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์สามารถกระทำได้โดยการโดยขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

การออกแบบส่วนประกอบ $LC_s C_p$ อาศัยตารางที่ 2 [4]

		Parallel Resonant Frequency	Parallel Characteristic Impedance	Parallel Quality Factor
		$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC_p}}$		
Series Resonant Frequency	$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC_s}}$	$\frac{\omega_s}{\omega_p} = \sqrt{\frac{C_p}{C_s}}$	$Z_p = \omega_p L = \frac{1}{\omega_p C_p}$	$Q_p = \frac{R_{lamp}}{Z_p}$
Series Characteristic Impedance	$Z_s = \omega_s L = \frac{1}{\omega_s C_s}$		$\frac{Z_s}{Z_p} = \sqrt{\frac{C_p}{C_s}}$	
Series Quality Factor	$Q_s = \frac{Z_s}{R_{lamp}}$			$Q_s Q_p = \sqrt{\frac{C_p}{C_s}}$

ตารางที่ 4.1 สูตรความสัมพันธ์ของ $LC_s C_p$ resonant inverter

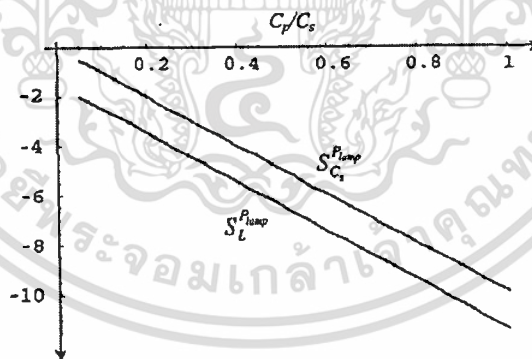
ทางผู้วิจัยใช้หลอดโพรทความดันสูง 250 วัตต์ ยี่ห้อ PHILLIP รุ่น HPL-N 250 HG ในสภาวะการทำงานคงที่ของหลอด $P_{lamp} = 250$ W, $V_{lamp} = 135$ V_{rms}, $I_{lamp} = 2.10$ A_{rms}, $R_{lamp} = 64.29\Omega$ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า $LC_s C_p$ ได้ดังนี้ [3],[9]



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_{lamp} กับ Q_p

$$\frac{\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}} = \frac{P_M - P_{lamp(N)}}{P_{lamp(N)}} = \pm \frac{Q_{p(N)}^2 \left(1 - k^2 + \frac{C_p}{C_s}\right)^2 + \left(k - \frac{C_p}{kC_s}\right)^2}{2 \left(k - \frac{C_p}{kC_s}\right) \left(1 - k^2 + \frac{C_p}{C_s}\right) Q_p} - 1 \quad (4.10)$$

จากรูปที่ 4.12 $\Delta P_{lamp} = 10\%$ ของ P_M เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ (4.10) จะได้ $\Delta P_{lamp} / P_{lamp} = 0.1$ เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากวงจร Valley Fill $V_{dc} = 310V_{rms}$



รูปที่ 4.13 การตอบสนองของ P_{lamp} ที่มีต่อของ C_p / C_s

จากรูปที่ 4.13 จะได้ค่า $S_L^{P_{lamp}} = -1.7$ นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ (4.11) และ (4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\left(\frac{\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}}\right)^2 + \frac{2\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}}}}{2\left(\frac{\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}} + 1\right)} \quad (4.11)$$

$$\frac{S_L^{P_{lamp}} \left[1 - \left(\frac{2V_{dc}}{\pi\sqrt{2V_{lamp}}} \right) \Delta \right]}{2 \left[\left(\frac{\pi\sqrt{2V_{lamp}}}{2V_{dc}} \right) \Delta - 1 \right]} + \left(\frac{2V_{dc}}{\pi\sqrt{2V_{lamp}}} \right) \Delta - 1 = \frac{C_p}{C_s} \quad (4.12)$$

$$C_p / C_s = 0.01846$$

$$\left(1 - k^2 + \frac{C_p}{C_s} \right) = \pm \left(\frac{2V_{dc}}{\pi\sqrt{2V_{lamp}}} \right) \cdot \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\left(\frac{\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}}\right)^2 + \frac{2\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}}}}{2\left(\frac{\Delta P_{lamp}}{P_{lamp}} + 1\right)} \quad (4.13)$$

จากสมการที่ (4.13) จะได้ $k = 0.6781$

นำค่า k และ C_p/C_s ที่ได้ไปคำนวณในสมการที่ (4.14)

$$Q_{p(N)} = \frac{\left(k - \frac{C_p}{kC_s} \right)^2}{\sqrt{\left(\frac{2V_{dc}}{\pi\sqrt{2V_{lamp}}} \right)^2 - \left(1 - k^2 + \frac{C_p}{C_s} \right)^2}} \quad (4.14)$$

$$Q_{p(N)} = 0.7478$$

นำค่าที่ได้จาก (4.14) แทนลงในสมการที่ (4.15)

$$Z_p = \frac{R_{lamp}}{Q_{p(N)}} \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_p = 85.9616$$

หาค่าความถี่การสวิตช์ $\omega = k\omega_p$ ความถี่ที่ได้เป็นไปตาม[5]

$$k\omega_p = 2\pi(70\text{kHz}) \text{ ดังนั้น } \omega_p = 2\pi(648.237\text{kHz})$$

นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ (4.16),(4.17) จะได้ค่า L, C_s, C_p ที่นำไปใช้

$$L = \frac{Z_p}{\omega_p} \tag{4.16}$$

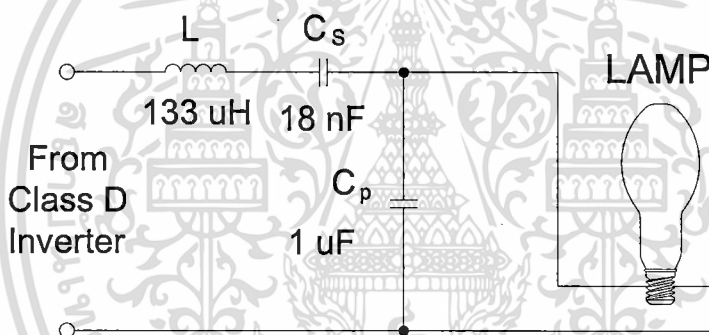
$$= 133\mu\text{H}$$

$$C_p = \frac{1}{\omega_p Z_p} \tag{4.17}$$

$$= 18\text{nF}$$

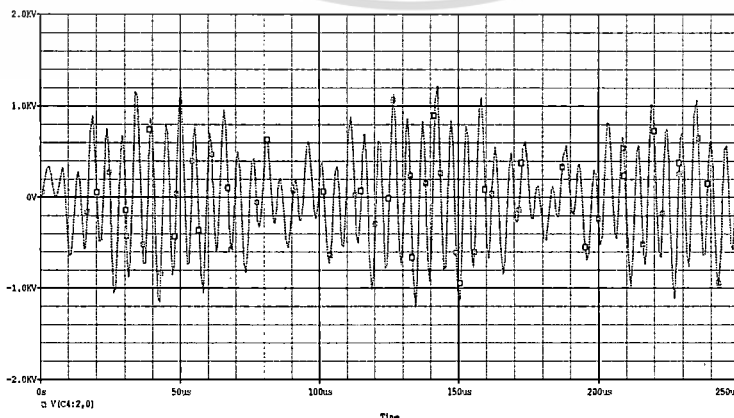
$C_s = 972\text{nF}$ ใช้ค่าใกล้เคียงประมาณ $1\mu\text{F}$

นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบไปแทนค่าในวงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 4.14 วงจรเรโซแนนซ์ที่ได้ออกแบบ

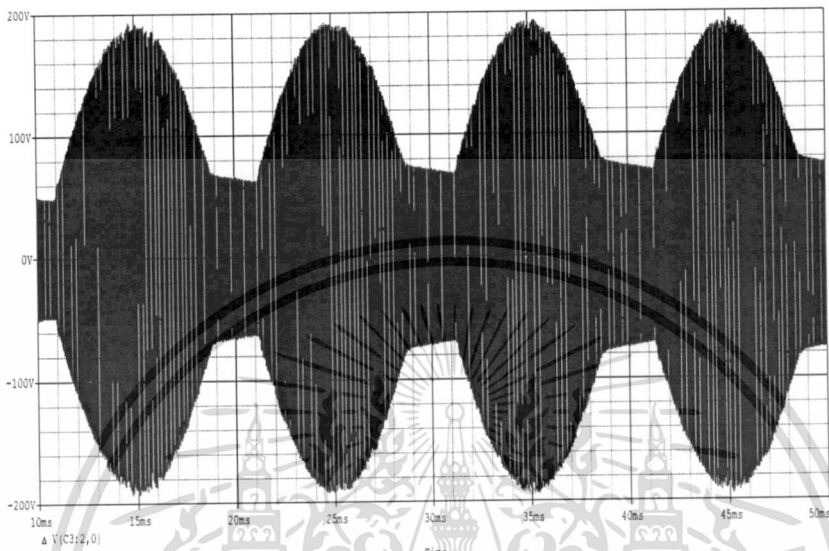
นำวงจรที่ได้ทำการออกแบบไปจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม Ocad PSpice



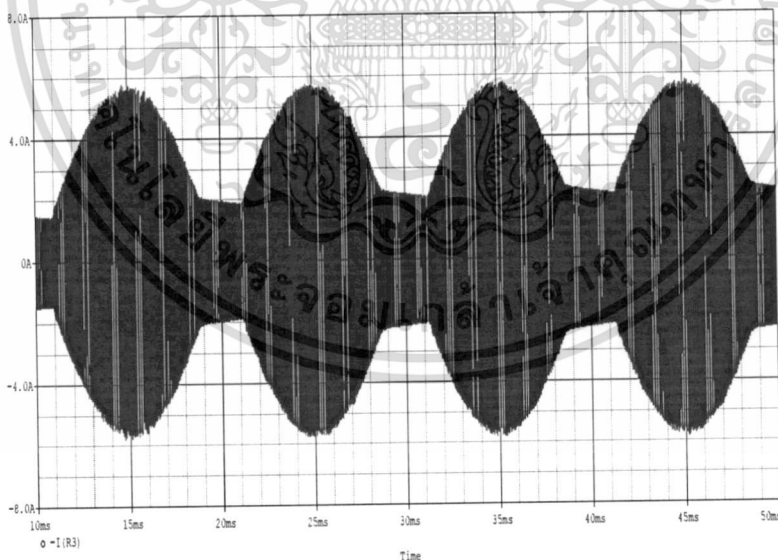
รูปที่ 4.15 แรงดันจุดโหลดที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 เป็นลักษณะของแรงดันจุดหลอดที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขณะที่หลอดยังไม่ติด โดยจำลองให้ความต้านทานของหลอดสูงแล้วป้อนแรงได้เข้าวงจรเรโซแนนซ์ช่วงของแรงดันสูงไม่ต่ำกว่า 1,000 V



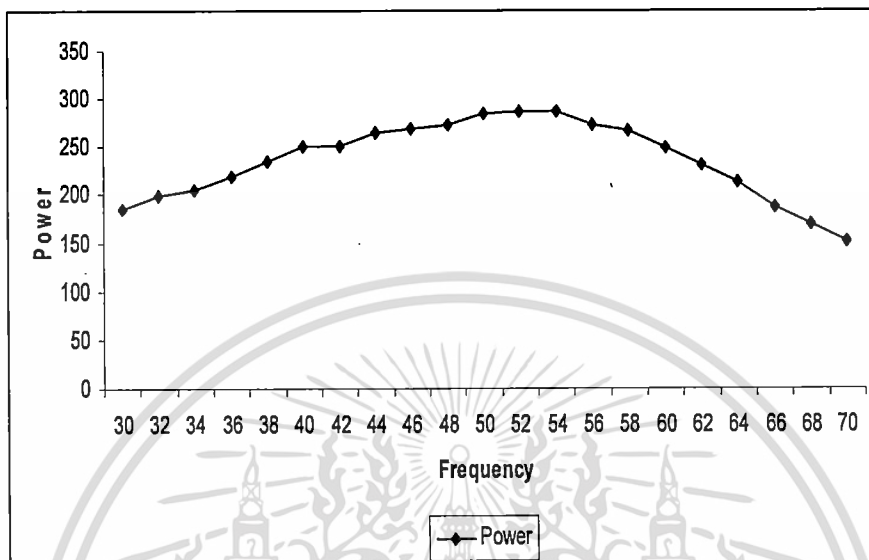
รูปที่ 4.16 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.17 กระแสเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 เป็นแรงดันและกระแสรอมหลอดที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์โดยในการจำลองนั้นแทนค่าของหลอดเป็นโหลดความต้านทานในสภาวะคงที่ซึ่งได้จากผู้ผลิตอยู่ที่ 63.679 Ω ลักษณะของรูปคลื่นเมื่อเทียบกับแรงดันทางด้าน input คือจากวงจรบาลเลย์ฟิลที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะด้านที่เป็นบวกเมื่อผ่านวงจรเรโซแนนซ์จะออกมาเป็นแรงดันไฟกระแสสลับแล้วที่เห็นเป็นเส้นทึบเป็นความถี่ภายในตามความถี่ที่สวิทซ์ให้กับมอสเฟส



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของ Frequency และ Power ที่ได้จากการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 4.18 เป็นผลจากการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดเปรียบเทียบกับความถี่ที่ต่างกัน โดยใช้ความถี่ตั้งแต่ 30kHz-70kHz ผลที่ได้นั้นเป็นแนวโน้มของความถี่ที่เหมาะสมในการป้อนความถี่สวิทซ์ให้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจากรูปความถี่เรโซแนนซ์ที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 52kHz

4.7 การออกแบบวงจรควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสติที่มีกรควบคุม

กำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้

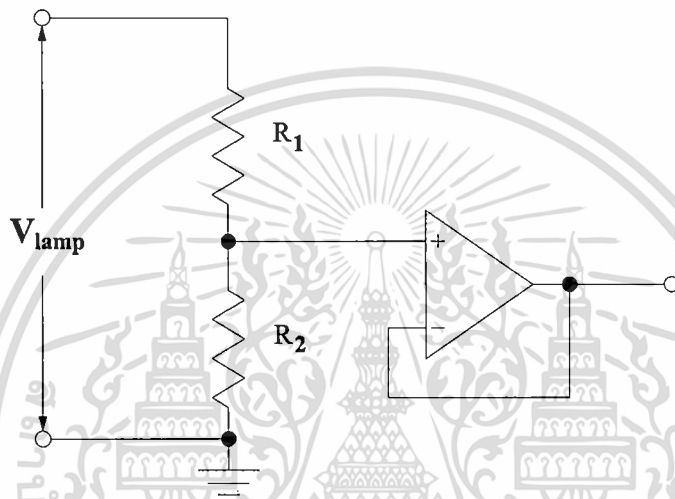
การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้วงจรชนิดพาสซีฟที่เป็นวงจรวาลเลย์ฟิล ในส่วนของภาคกำลังสามารถทำให้หลอดไฟติดและสามารถทำงานในสภาวะคงที่ได้แต่หากเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางด้านอินพุตจะทำให้กำลังไฟฟ้าของหลอดลดลงตามไปด้วย เพราะภายในวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟไม่มีไอซีที่คอยควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของภาคกำลังให้คงที่ได้ หากต้องการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดให้คงที่ได้นั้นจึงต้องใช้วงจรตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของหลอดไฟ แล้วป้อนกลับผลของสัญญาณที่มีเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้กลับไปยังภาคกำลังในส่วน

เอกสารนี้
สวิตซ์มอสเฟสเพื่อใช้คุณสมบัตินี้ของวงจรเรโซแนนซ์ที่ผลของแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ การทำงานจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติต่างๆ ของวงจรที่ใช้ ผลตอบสนองต่อสัญญาณเล็ก ซึ่งวงจรที่ใช้ในการควบคุมมีดังนี้

4.7.1 การออกแบบวงจรตรวจจับแรงดันตกคร่อมหลอดไฟ

การที่จะนำเอาสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปใช้ควบคุมจำเป็นต้องทำการใช้เป็นตัวแบ่งแรงดัน เพื่อนำเอาสัญญาณขนาดเล็กป้อนเข้าออปแอมป์ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้ดังนี้



รูปที่ 4.19 วงจรตรวจจับแรงดันตกคร่อมหลอดไฟ

จากรูปที่ 4.19 เป็นวงจรตรวจจับแรงดันทางด้านหลอดไฟโดยต้องการแรงดัน 5 V จากความต้านทาน R2 เพื่อป้อนสัญญาณเข้าที่ออปแอมป์ที่มีการต่อแบบวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) โดยวงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรกันชน เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่นระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอร์ที่ไม่แมทซ์อิงมิทีแดนซ์กัน ซึ่งวงจรบัฟเฟอร์มีคุณสมบัติของออปแอมป์คือทางเอาท์พุทอิงมิทีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1 เบอร์ของไอซีออปแอมป์ที่ใช้คือ TL084 และสามารถค่าของ R1 และ R2 ได้จากสมการดังนี้

$$V_{R_2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_{lamp} \quad (4.18)$$

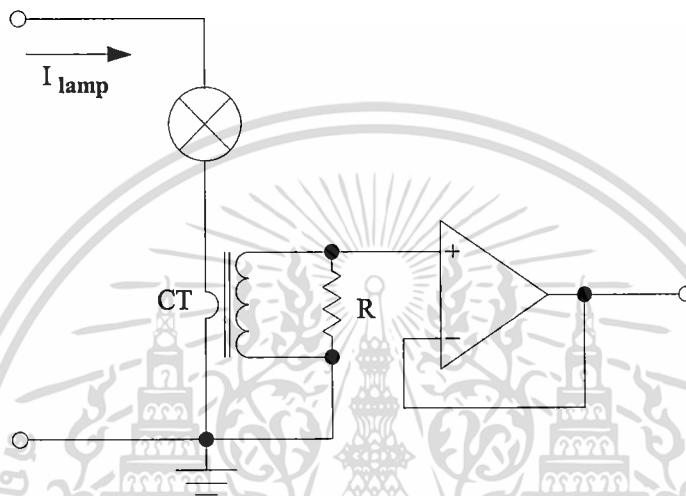
จะได้

$$R_1 = 37 \text{ k}\Omega \text{ และ } R_2 = 960 \text{ k}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

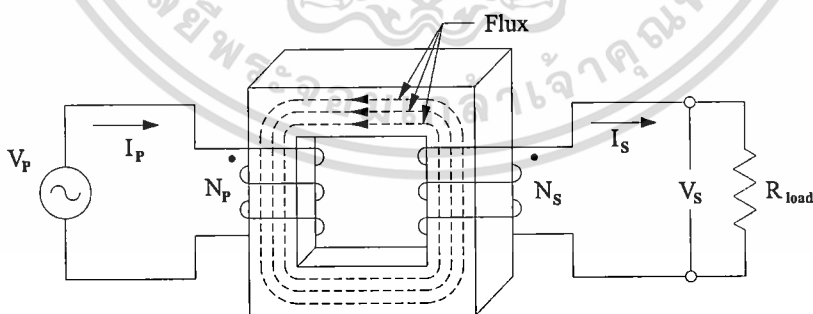
4.7.2 การออกแบบวงจรตรวจจับกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟ

วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟทำหน้าที่แปลงสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า โดยใช้หม้อแปลงกระแสเป็นตัวแปลงสัญญาณใช้หลักการของกระแสเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทองแดงใช้กับความถี่ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 10 kHz ถึง 1 MHz ซึ่งลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.20 วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟ

จากรูปที่ 4.20 สามารถคำนวณหาค่าของหม้อแปลงกระแสได้ดังนี้



รูปที่ 4.21 ลักษณะของหม้อแปลงกระแส

จากรูปที่ 4.21 จะได้

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นของฟลักซ์

$$B_{\max} = \frac{(V_P)10^8}{KfN_P A_e} \quad (4.20)$$

$$= 27367.602 \text{ G}$$

จากสมการ (4.19) จะได้

$$N_S = \left(\frac{I_P}{I_S} \right) \cdot N_P$$

$$= 42 \text{ turns}$$

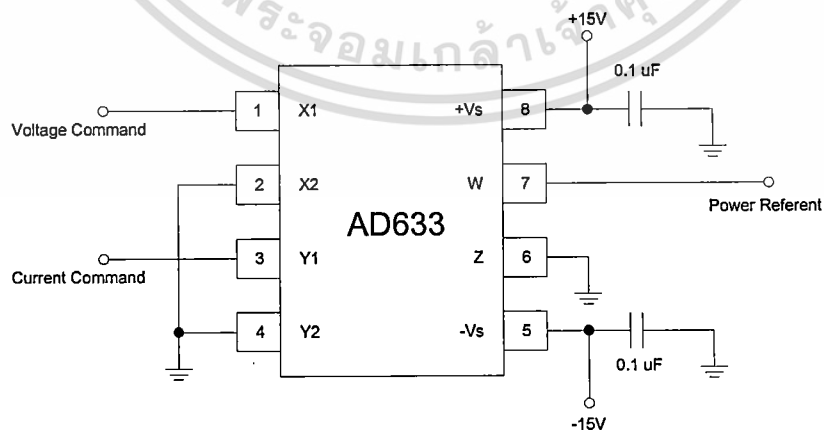
ความต้านทานโหลด

$$R = 100 \Omega - \frac{1}{4} \text{ w}$$

ใช้ขดลวดขนาด 0.0253 inches, 23AWG

4.7.3 การออกแบบวงจรคุณสัญญาณ

การคุณสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นการนำเอาค่าสัมประสิทธิ์ของเอาต์พุตทั้งแรงดันและกระแส โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นกำลังไฟฟ้าอ้างอิงที่นำไปเปรียบเทียบกับวงจรชดเชยสัญญาณ วงจรคุณสัญญาณที่ใช้เป็นไอซีเบอร์ AD633 เป็นไอซีคุณสัญญาณแบบอนาล็อกที่สามารถใช้กับย่านความถี่ถึง 1 MHz ซึ่งลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.22 วงจรคุณสัญญาณ

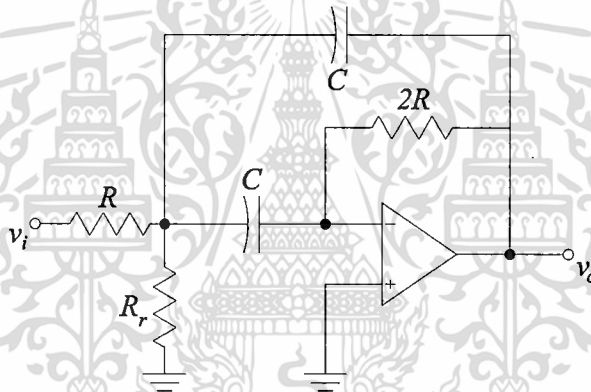
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 เป็นการต่อใช้งานของไอซีคุณสัญญาณ AD633 สัญญาณที่ป้อนเข้าวงจรเป็นสัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณ คือ สัญญาณแรงดันอ้างอิงของหลอดไฟและสัญญาณกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟได้เป็นสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณกำลังไฟฟ้าอ้างอิง ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับสัญญาณทางด้านอินพุตซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$W = \frac{(X1-X2)(Y1-Y2)}{10V} + Z \quad (4.21)$$

4.7.4 วงจรกรองแถบความถี่ (Band Pass Filter, BPF)

จากทฤษฎีที่ผ่านมาวงจรกรองแถบความถี่เป็นวงจรที่กรองเอาเฉพาะช่วงที่ต้องการออกมา ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กรองช่วงความถี่ที่ต้องการจากวงจรคุณสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณที่ราบเรียบมากที่สุด การออกแบบวงจรสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.23 วงจรกรองความถี่ที่นำเสนอ

ช่วงของความถี่ที่ต้องการ ความถี่ตัดด้านสูง (Upper Cut off frequency, f_2) = 70 kHz และ ความถี่ตัดด้านต่ำ (Lower Cut off Frequency, f_1) = 30 kHz หาค่า BW และ f_0

$$BW = f_2 - f_1$$

$$= 40 \text{ kHz}$$

และ

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

$$= 45.826 \text{ kHz}$$

เลือกค่า $C = 0.33 \text{ uF}$ สามารถหาค่า R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \frac{0.1591}{C} = 482.121 \text{ k}\Omega$$

หาค่า R_r ได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_o}{BW}$$

$$= 1.146$$

$$R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1}$$

$$= 296.392 \text{ k}\Omega$$

4.7.5 การออกแบบตัวควบคุม PI

การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดไอปรอทความดันสูงเป็นระบบลูปปิด (Close Loop) โดยการรักษาค่าลิ่งไฟฟ้าที่หลอดไฟให้คงที่ จำเป็นต้องมีวงจรที่ใช้สำหรับชดเชยสัญญาณที่ขาดหาย วงจรควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) เนื่องจากให้การตอบสนองค่อนข้างรวดเร็วและวงจรมีลักษณะที่ง่ายต่อการใช้งาน การทำงานของวงจรมีอยู่ 2 ส่วนการทำงานดังนี้

1. การควบคุมแบบอัตราส่วน หมายถึงการควบคุมที่ให้ปริมาณการแปรเปลี่ยนที่ทำให้เกิดการแก้ไขเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับค่าความผิดพลาด(Error)ที่เกิดขึ้นระหว่างสัญญาณเข้ากับสัญญาณออกของระบบ
2. การควบคุมแบบอินทิเกรต หมายถึง การควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็นอัตราส่วนกับการอินทิเกรตของค่าความผิดพลาด (Time Integral of the Error)

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอมีดังต่อไปนี้

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (4.22)$$

$$G_s(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (4.23)$$

ดังนั้นตัวควบคุมแบบพีไอเขียนได้ในลักษณะหนึ่งคือ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (4.24)$$

โดยที่ K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน (Proportional gain)

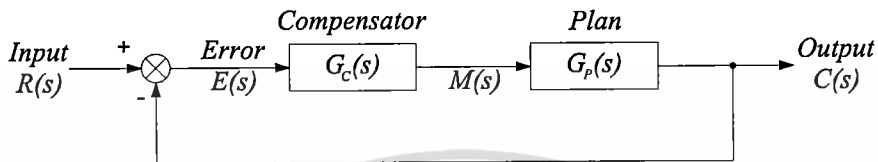
K_i คือ อัตราขยายอินทิเกรต (Integral gain)

ถ้า $e(t)$ เป็นสัญญาณเข้าของตัวควบคุมแบบพีไอ

$u(t)$ เป็นสัญญาณออกของตัวควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในระบบควบคุมแบบฟีดแบ็คที่ใช้เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยนำสัญญาณเอาต์พุตของกระบวนการ $C(s)$ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง $R(s)$ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบ $E(s)$ มาเข้ากระบวนการควบคุมแบบฟีดแบ็ค เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุม $M(s)$ ที่นำไปควบคุมกระบวนการต่อไปดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กระบวนการของตัวควบคุมแบบฟีดแบ็ค

โดย $G_c(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมฟีดแบ็ค

$G_p(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ(Process)

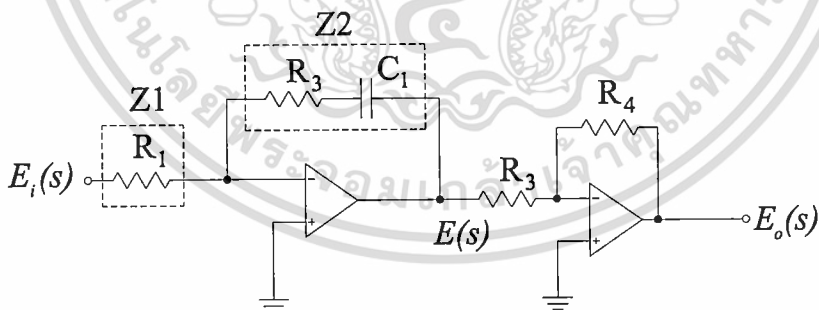
$R(s)$ คือ สัญญาณอ้างอิง

$C(s)$ คือ สัญญาณเอาต์พุตของระบบ

$E(s)$ คือ สัญญาณผิดพลาดที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่าง $C(s)$ และ $R(s)$

$M(s)$ คือ สัญญาณออกจากตัวควบคุม

จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาสร้างเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ออปแอมป์สร้างตัวควบคุมแบบฟีดแบ็คได้ดังนี้



รูปที่ 4.25 วงจรควบคุม PI

เมื่อ

$$\frac{E(s)}{E_i(s)} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad (4.25)$$

$$Z_1 = R_1, Z_2 = \frac{R_1 C_1 S + 1}{C_1 S} \quad (4.26)$$

เอกสารที่แนบมาเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{E(S)}{E_i(S)} = -\frac{R_1 C_1 S + 1}{R_1 C_1 S} \quad (4.27)$$

และ

$$\frac{E_o(S)}{E(S)} = -\frac{R_4}{R_3} \quad (4.28)$$

จะได้ว่า

$$\frac{E_o(S)}{E_i(S)} = \frac{E_o(S).E(S)}{E(S).E_i(S)} = \frac{R_4}{R_3} \left(\frac{R_2 C_1 S + 1}{R_1 C_1 S} \right) \quad (4.29)$$

$$\frac{E_o(S)}{E(S)} = -\frac{R_4}{R_3} \quad (4.30)$$

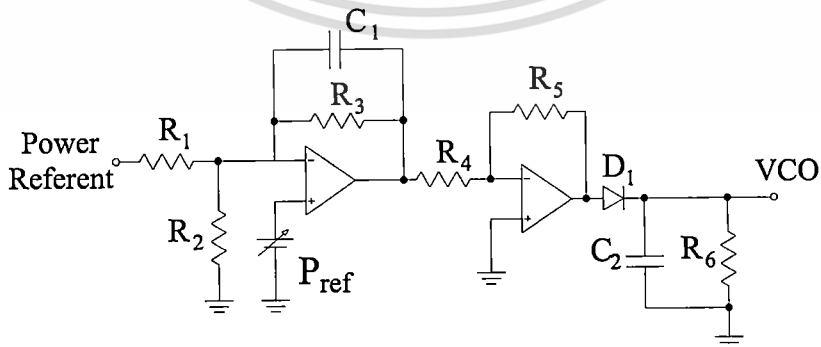
จากสมการที่ (4.29) และสมการที่ (4.30) จะได้ว่า

$$K_P = \frac{R_2}{R_1} \quad (4.31)$$

$$T_i = R_1 C_1 \quad (4.32)$$

$$K_1 = \frac{1}{R_1 C_1} \quad (4.33)$$

อย่างไรก็ตามวงจรควบคุมที่ใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีคุณสมบัติในการลดสัญญาณรบกวนเพื่อให้ประสิทธิภาพของสัญญาณที่ได้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งลักษณะของวงจรควบคุมพีไอที่ใช้ในการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้



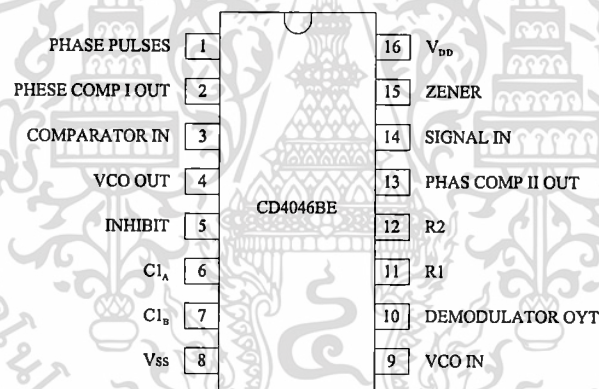
รูปที่ 4.26 วงจรควบคุมแบบพีไอที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร $R_1=5.6 \text{ k}\Omega$, $R_2=27 \text{ k}\Omega$, $R_3=12 \text{ k}\Omega$, $C_1=22 \text{ nF}$, R_4 , R_5 และ $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$, $C_2=100 \text{ uF}$, $D_1=1N4001$ เสถียรภาพของระบบขึ้นอยู่กับค่าการปรับค่าแรงดัน P_{ref}

4.7.6 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์

การควบคุมสวิตช์กระทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นพัลส์ ด้วยลักษณะของแรงดันที่มีการสลับการขึ้นลงของแรงดันไฟฟ้าอย่างฉับพลันจึงได้มีการนำเอาคุณสมบัตินี้มาป้อนให้กับมอเตอร์ทำงานสลับให้นำกระแสไฟฟ้าและไม่นำกระแสไฟฟ้า ในวงจรควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนั้น ลักษณะของรูปคลื่นที่ได้จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการปรับเปลี่ยนค่าของแรงดันตามอินพุตที่ได้รับมา เพื่อนำสัญญาณที่ได้แปลงเป็นสัญญาณพัลส์จะใช้เป็นวงจร (Voltage Control Output)VCO การทำงานของวงจรจะแปรผันตามแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแปลงเป็นสัญญาณพัลส์ ความถี่ที่ได้ของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าทางอินพุต ซึ่งลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.27 ไอซีเบอร์ CD4046BC

การคำนวณหาค่าความถี่ต่ำสุด (f_{min}) ต้องการที่ 40 kHz และค่าความถี่สูงสุด (f_{max}) ต้องการความถี่ที่ 80 kHz ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

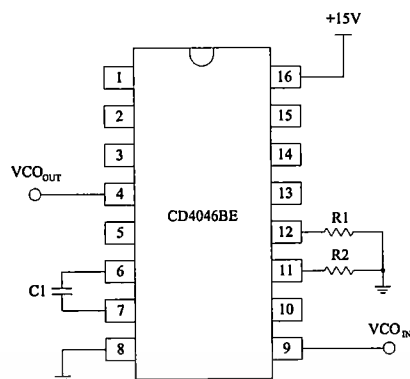
$$f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1+32pF)} \quad (4.34)$$

และ

$$f_{max} = \frac{1}{R_2(C_1+32pF)} + f_{min} \quad (4.35)$$

จากสมการจะได้ค่าพารามิเตอร์ $R_1= 10 \text{ k}\Omega$, $R_2= 300 \text{ k}\Omega$, $C_1=50 \text{ pF}$ และการต่อใช้งานสามารถแสดงได้ดังนี้

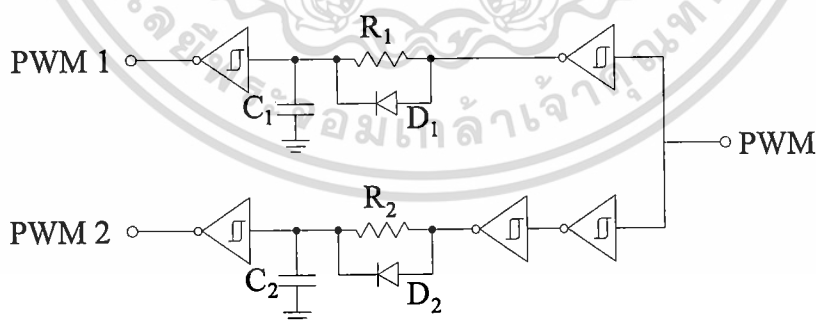
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การต่อใช้งานวงจร VCO ที่นำเสนอ

4.7.7 การออกแบบวงจรปรับแต่งคาบเวลา (Dead Time Adjust Circuit)

เมื่อได้สัญญาณพัลส์ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้จากวงจร VCO แล้วก็ยังไม่สามารถนำไปใช้ในการขับเคลื่อนสวิตช์มอเตอร์ที่มีอยู่ 2 ตัวได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรที่มีคุณสมบัติปรับแต่งคาบเวลาในการสวิตช์ของมอเตอร์ การที่จะให้มอเตอร์ทำงานเป็นสวิตช์สลับการทำงานนั้น สวิตช์หนึ่งทำการต่ออีกสวิตช์หนึ่งต้องทำการตัด โดยทั้งสองสวิตช์จะต้องไม่มีสถานะการทำงานที่พร้อมกันในขณะที่นำกระแสไฟฟ้าสูง ไมเช่นนั้นจะเกิดความเสียหายแก่มอเตอร์ได้ ค่าของเวลาขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละเบอร์ว่าสามารถทำงานในช่วงของคาบเวลาตั้งแต่เท่าใด ในการออกแบบนี้ต้องการให้คาบของเวลาไม่น้อยกว่า 1 μs เพื่อให้ระยะห่างของเวลาการสวิตช์ของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะของวงจรที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังนี้

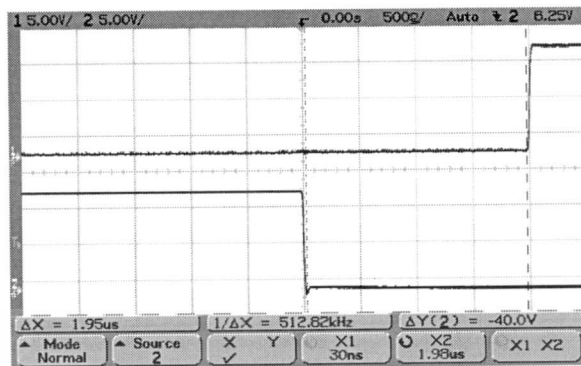


รูปที่ 4.29 วงจรปรับแต่งคาบเวลา

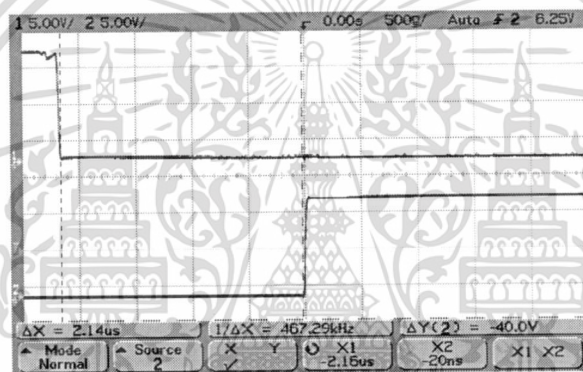
จากรูปที่ 4.29 เป็นวงจรปรับแต่งคาบเวลาโดยใช้ไอซีเบอร์ CD40106 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่มีคุณสมบัติเลื่อนเฟสของสัญญาณมาทำการปรับแต่งช่วงของคาบเวลาที่จะป้อนให้วงจรขับเคลื่อนสวิตช์มอเตอร์ ค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้ได้แก่ $R_1, R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $C_1, C_2 = 1 \text{ nF}$, $D_1, D_2 = 1\text{N}4001$

ลักษณะของรูปคลื่นที่ได้สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ช่วงเวลาของสัญญาณขาขึ้น(5V/div, 500 ns/div)

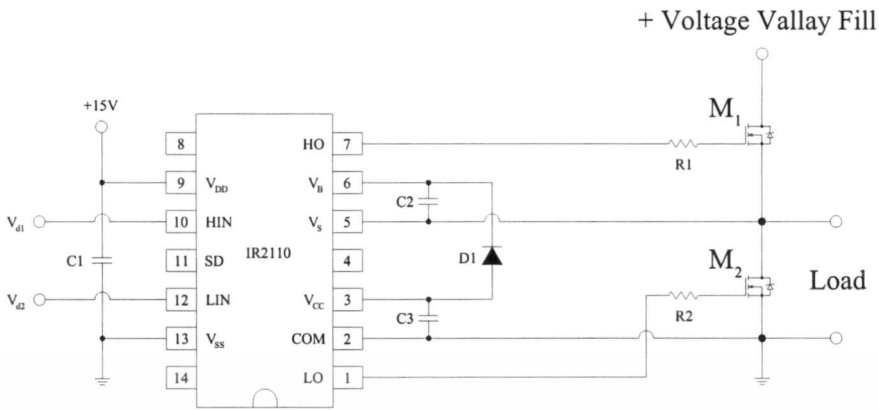


รูปที่ 4.31 ช่วงเวลาของสัญญาณขาลง(5V/div, 500 ns/div)

4.7.8 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

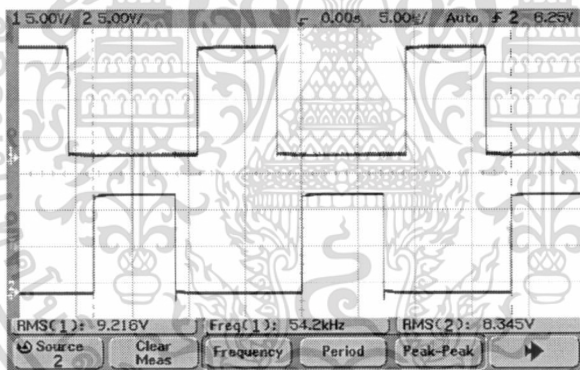
แม้ว่าจะได้สัญญาณที่มีการปรับแต่งคาบของเวลาและมีสัญญาณทั้งสองช่วงที่เหมาะสมแต่ยังไม่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้โดยตรงเนื่องจากการป้อนสัญญาณให้กับมอเตอร์จำเป็นต้องใช้ไอซีขับต่างหากในการออกแบบใช้ไอซีเบอร์ IR2110 สามารถรองรับแรงดันได้สูงสุด 500 V กระแสไฟฟ้สูงสุด 2 แอมป์ แรงดันขับเคลื่อน 10-12 V ช่วงเวลาปิดเปิดสูงสุด 10 ns ลักษณะการต่อใช้งานสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 วงจรขับเกตมอสเฟตสวิตซ์

จากรูปที่ 4.32 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คือ $C1, C2, C3 = 100 \mu\text{F}$, $R1, R2 = 100 \Omega$, $D1 = \text{MUR160}$ นำค่าที่ได้แทนค่าในวงจรแล้วทำการทดลองจะ ได้รูปคลื่นดังนี้

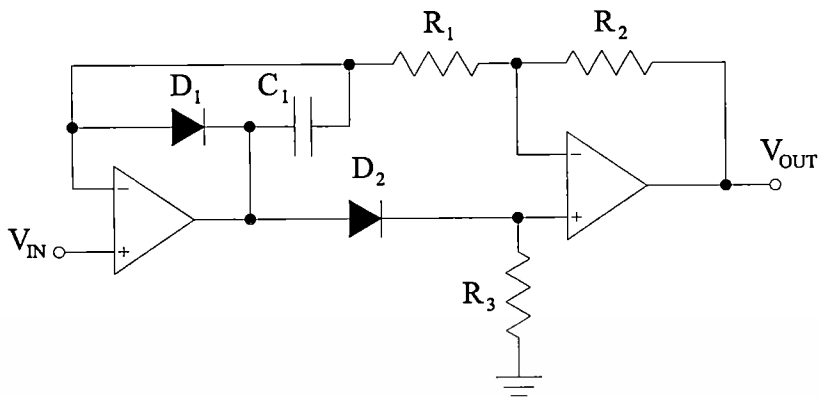


รูปที่ 4.33 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากวงจรปรับแต่คาบเวลา (5V/div, 5 us/div)

4.7.9 การออกแบบวงจร ABS (Absolute)

วงจร ABS เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติแปลงสัญญาณที่อยู่ในรูปที่ติดลบให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เป็นบวกเพียงอย่างเดียวเพราะในการใช้งานจริงอาจมีเรื่องของสัญญาณรบกวนเข้ามาทำให้สัญญาณที่นั่นไม่ราบเรียบซึ่งมีผลทำให้เสถียรภาพของระบบลดน้อยลง ลักษณะของวงจรและค่าพารามิเตอร์สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

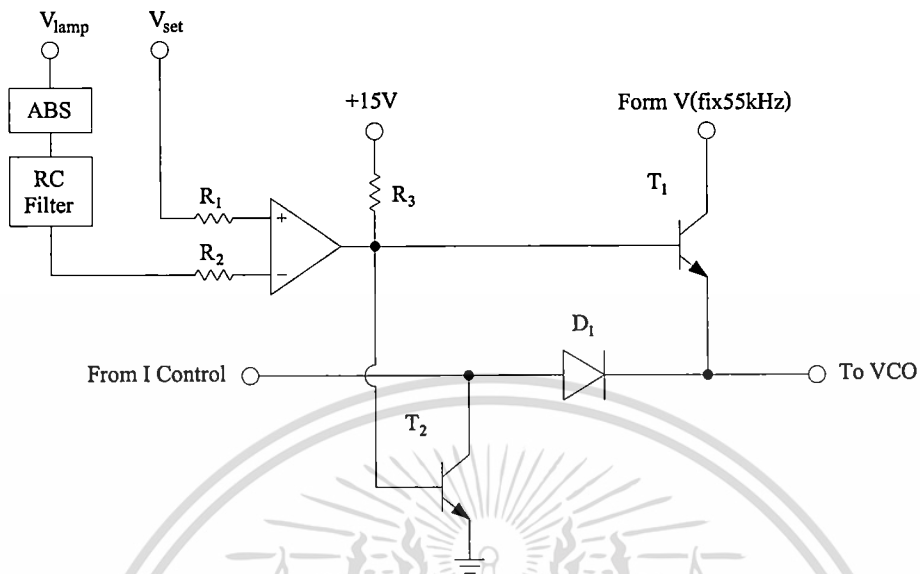


รูปที่ 4.34 วงจร ABS

จากรูปที่ 4.34 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรได้แก่ $R_1, R_2, R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $D_1, D_2 = \text{MUR120}$, $C_1 = 100 \text{ pF}$

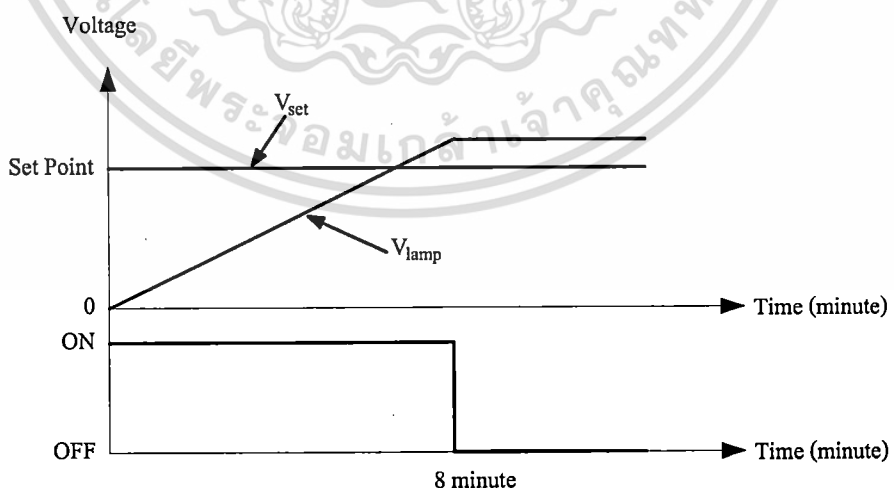
4.7.10 การออกแบบวงจรเปลี่ยนสถานะการจุดหลอดคู่การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ หลอดไฟ

การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรจุดหลอดแบบภายในต้องอาศัยคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์สร้างแรงดันชั่วขณะที่สูงมากในการจุดหลอด จากนั้นตัวเหนี่ยวนำจะควบคุมกระแสไฟฟ้าของหลอดให้อยู่ในสถานะคงที่ ในการควบคุมก็ต้องทำให้สอดคล้องกับหลักการทำงานนี้ด้วย เมื่อได้วงจรควบคุมแล้วการที่จะสลับจากสถานะความถี่ที่ใช้ในการจุดหลอดสู่สถานะที่ความถี่ที่ทำให้หลอดอยู่ในสถานะคงที่ที่ก่้างไฟฟ้าสูงสุดจำเป็นต้องมีวงจรมาช่วยในการควบคุมการสลับการทำงานนี้ โดยเป็นวงจรที่ใช้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ในการเป็นสวิตช์เปิดและปิดสถานะระหว่างแรงดันที่ต้องควบคุมความถี่จุดหลอดและแรงดันที่ได้จากวงจรควบคุมแล้วใช้ตัวเปรียบเทียบสัญญาณสถานะช่วงการเปลี่ยนจากสถานะจุดหลอดเป็นสถานะคงที่โดยใช้ไอซีเบอร์ LM393 เป็นไอซีที่มีโครงสร้างภายในเป็นออปแอมป์สองตัวซึ่งลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.35 ลักษณะวงจรเปลี่ยนสภาวะการทำงานของหลอด

จากรูปที่ 4.35 แรงดัน V_{lamp} เป็นแรงดันที่ได้รับมาจากวงจรควบคุมผ่านวงจร (Absolute) ABS แล้วผ่านวงจรเรกติไฟล์เพื่อให้สัญญาณที่ได้มีความราบเรียบมากขึ้นนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคงที่เพื่อให้ความถี่ที่ออกจากวงจร VCO เป็นความถี่จุดหลอด ทรานซิสเตอร์ T_1 และ T_2 ทำหน้าที่ตัดต่อเปลี่ยนสภาวะการทำงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรได้แก่ $R_1, R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $T_1, T_2 = BC337$, $D_1 = MUR120$ สภาวะการทำงานของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 สภาวะการทำงานของวงจรเปลี่ยนสภาวะการทำงานของหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงลักษณะโครงสร้างการทำงานของบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้ และวิธีการออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละวงจรอย่างละเอียดเพื่อความน่าเชื่อถือได้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบประกอบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง วงจรที่นำเสนอส่วนใหญ่เป็นวงจรที่ใช้กันทั่วไปแต่ได้มีการเพิ่มในส่วนจากรายละเอียดเพื่อให้ประสิทธิภาพของวงจรดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 บทนำ

จากทฤษฎีการออกแบบที่ผ่านมาทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ที่ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดไอปรอทความดันสูงมีการควบคุมการทำงานของหลอดให้อยู่ตัวและสามารถหรี่แสงได้ ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำมาทดลองในสภาวะการทำงานต่างๆ ว่าตรงตามกับทฤษฎีหรือไม่ ข้อมูลที่ได้นั้นสามารถบอกได้ถึงลักษณะการทำงานของหลอดได้เป็นอย่างดี ฉะนั้นในการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 6 หัวข้อใหญ่ดังนี้

- 5.1.1 การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
- 5.1.2 การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
- 5.1.3 การทดลองการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัวของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
- 5.1.4 การทดลองการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้ง 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก
- 5.1.5 การทดสอบการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างหรือทำการหรี่แสงของหลอดไฟ
- 5.1.6 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถกำหนดขอบเขตการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้ดังนี้

รายละเอียด	ข้อกำหนด
พิกัดกำลังไฟฟ้า	250 วัตต์
ระบบไฟฟ้าป้อนเข้า	195-245 โวลต์
ค่าตัวประกอบกำลัง	> 0.95
ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต	$< 25\%$
ค่า Crest Factor	< 1.7
ประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก	$> 10\%$

ตารางที่ 5.1 ข้อกำหนดในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6.1 อุปกรณ์ที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชุดต้นแบบ
- บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ยี่ห้อ Phillipe รุ่น BHL250-L200
- อิกนิตอร์สำหรับบัลลาสต์แกนเหล็ก ยี่ห้อ Phillipe รุ่น SN 58TS
- หลอดไฮปรอทความดันสูง 250 วัตต์ Phillipe รุ่น HPL 250HG E40 , $V_{lamp} 135 V_{rms}$,
 $I_{lamp} 2.1 A_{rms}$

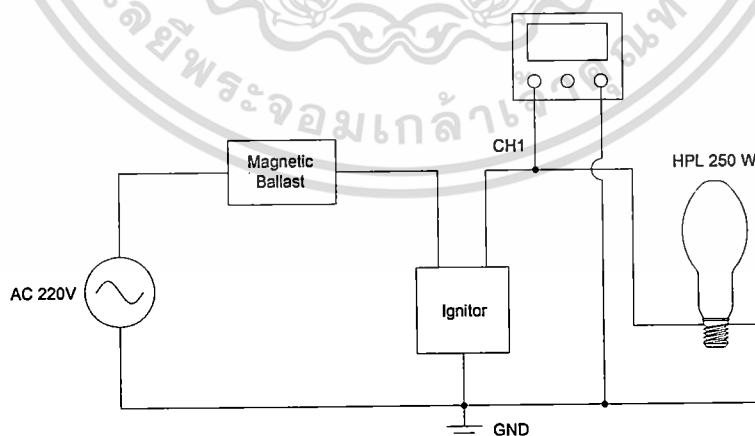
5.1.6.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและบันทึกผลค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- Power Analyzer ยี่ห้อ Yogogawa รุ่น PZ4000
- Mixed Signal Oscilloscope ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 54622
- Power Quality Analyzer ยี่ห้อ Fluke รุ่น 43B
- Multi meter ยี่ห้อ Hewlett Packart รุ่น 973A
- Illuminace Meter ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น T-1M

5.2 การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ในการทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กสามารถแบ่งได้ดังนี้

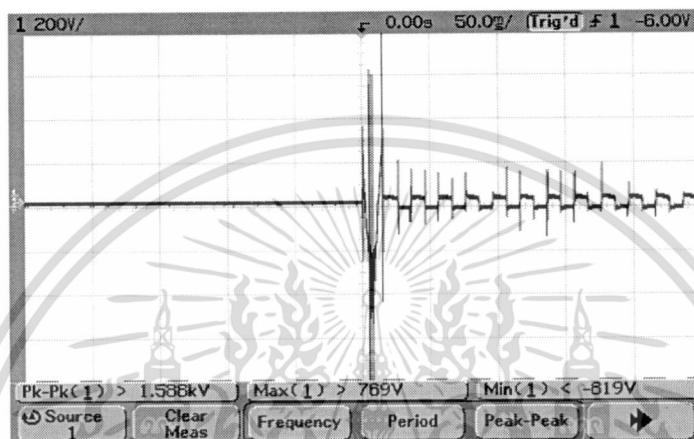
5.2.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด



รูปที่ 5.1 การวัดแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

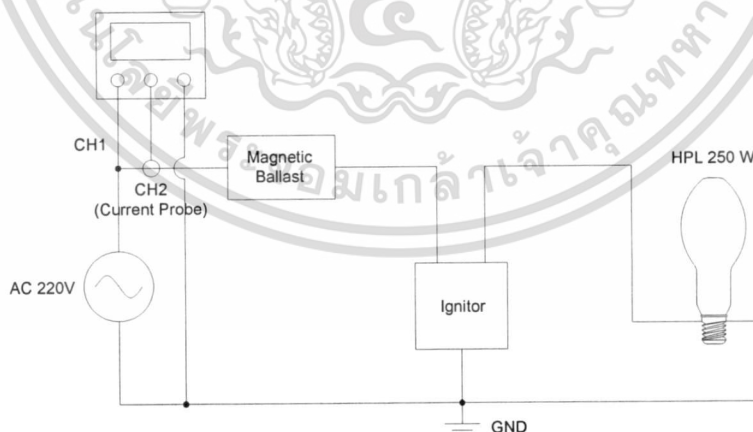
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองบันทึกค่าแรงดันจุดหลอดจากบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กสามารถทำได้จากการต่อวงจรตามรูปที่ 5.1 โดยตัว Igniter จะทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าสูงมากชั่วขณะหนึ่งเพื่อทำให้หลอดไอปรอทความดันสูงติดเสถียรก่อนจากนั้นตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านไปยังหลอดทำให้หลอดอยู่ในสถานะที่อยู่ตัว จากการทดลองได้แรงดันไฟฟ้าตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แรงดันจุดหลอดจากบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (200V/div, 50 ms/div)

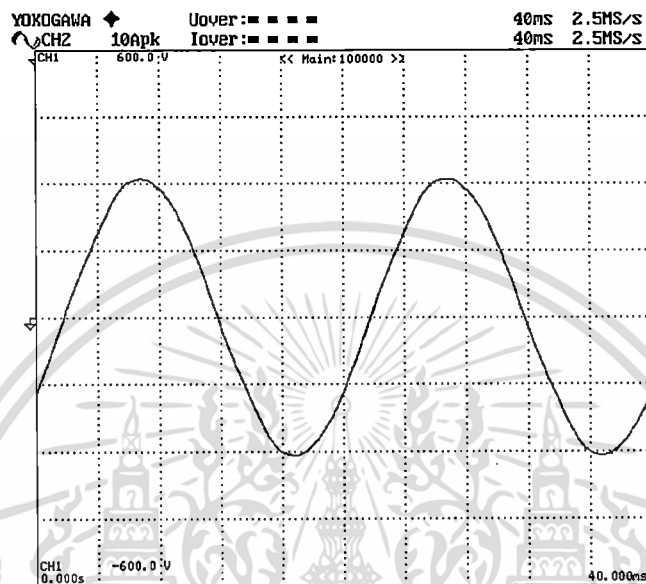
5.2.2 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต



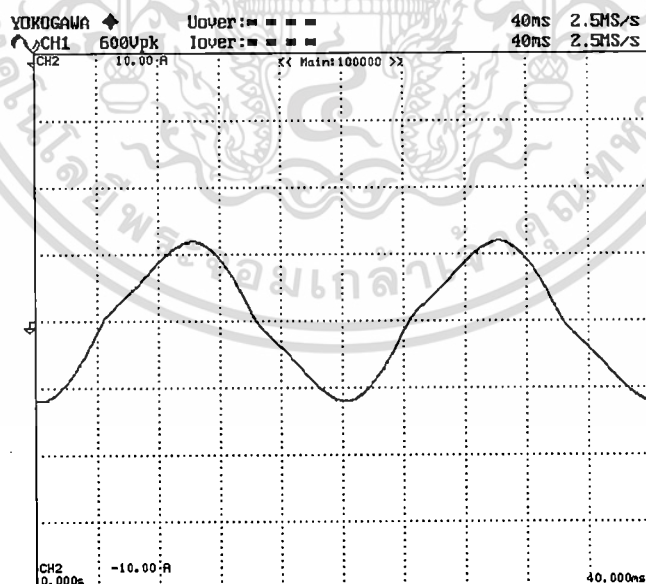
รูปที่ 5.3 การวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 เป็นการจับสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอิน CH1 จับคร่อมแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต ส่วน CH2 ใช้เป็น Current Probe จับสัญญาณกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต ซึ่งรูปคลื่นที่ได้มีลักษณะดังนี้

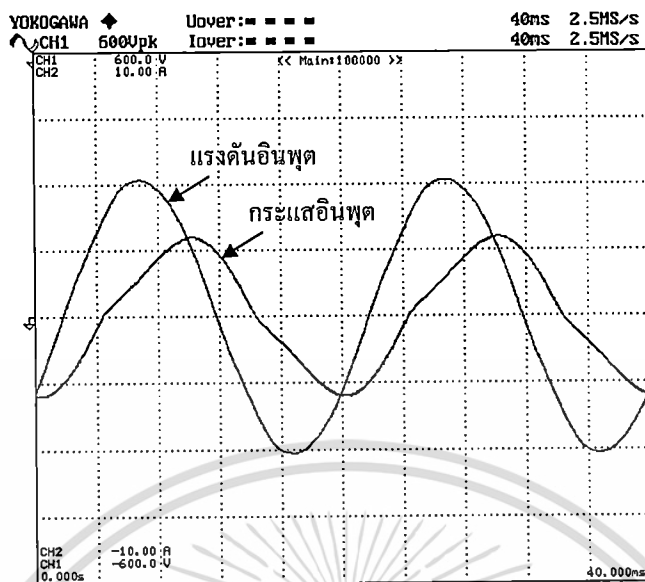


รูปที่ 5.4 คลื่นแรงดันด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (150V/div, 40 ms/div)



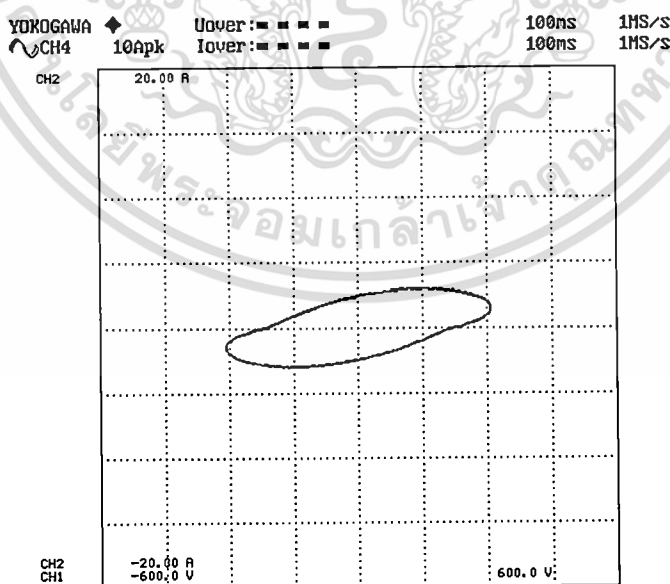
รูปที่ 5.5 คลื่นกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (2.5A/div, 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



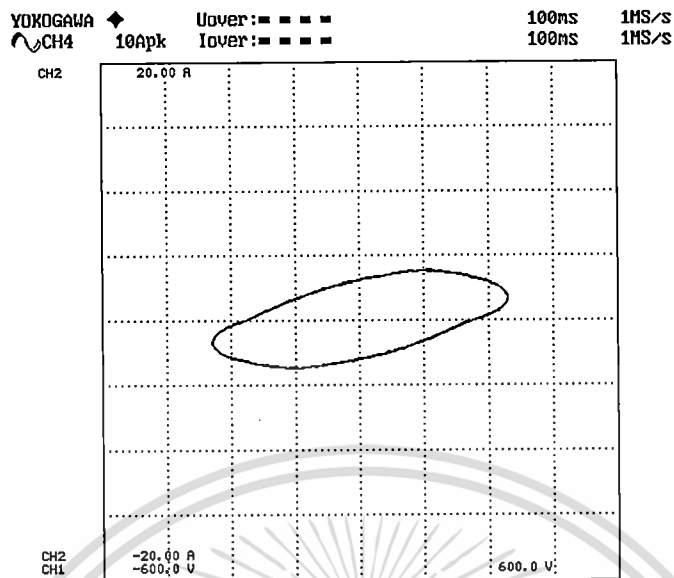
รูปที่ 5.6 คลื่นแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (150V/div, 2.5A/div, 40 ms/div)

จากรูปที่ 5.6 เป็นการเปรียบเทียบลักษณะของแรงดันกับกระแสทางด้านอินพุต พบว่า กระแสที่ได้มีมุมนำหน้าแรงดันซึ่งเป็นผลจากตัวเหนี่ยวนำที่นำมาใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ หลอด



รูปที่ 5.7 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ แรงดัน 195 V (150V/div, 5A/div, 100 ms/div)

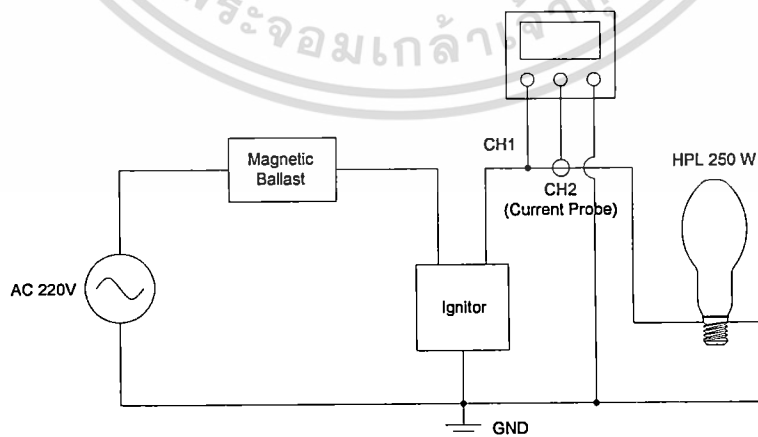
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่แรงดัน 245 V (150V/div, 5A/div, 100 ms/div)

จากรูปที่ 5.7 และ 5.8 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กในรูปของ X-Y Waveform แสดงให้เห็นถึงลักษณะของกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต จากรูปจะเห็นได้ว่าความกว้างของวงรีมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากกำลังไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตามแรงดันที่ป้อนให้กับบัลลาสต์

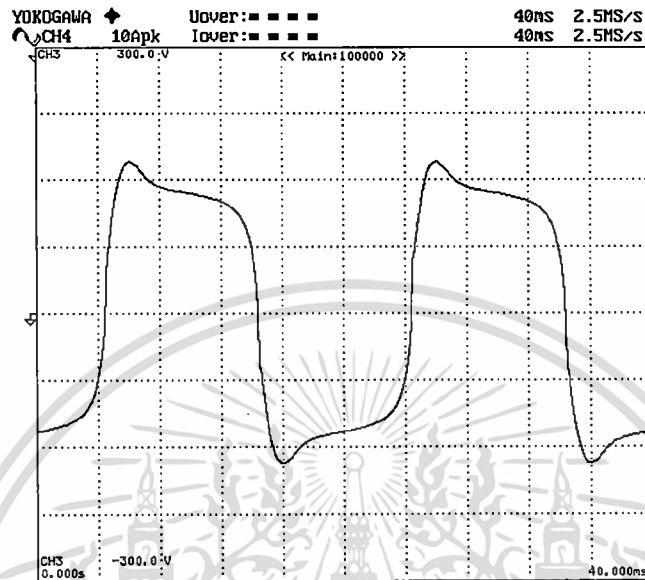
5.2.3 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสของหลอดไฟ



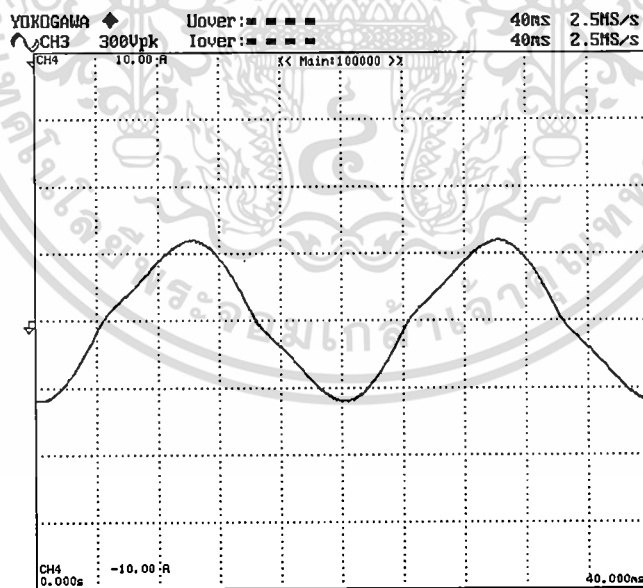
รูปที่ 5.9 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสของหลอดไฟที่ใช้กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.9 เป็นการใช้เครื่องวัดจับค่าของแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต
เชื่อมต่อกับโหลดที่เป็นหลอดไอปรอทความดันสูง ซึ่งจะได้ลักษณะของรูปคลื่นดังนี้

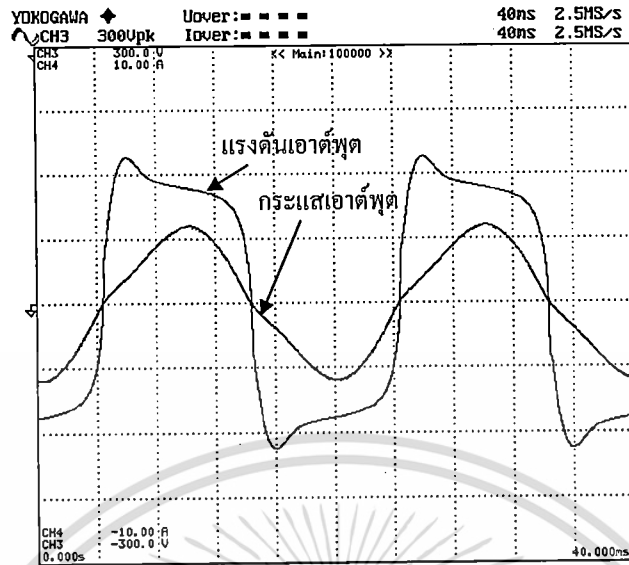


รูปที่ 5.10 คลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดไฟ (75 V/div, 40 ms/div)



รูปที่ 5.11 คลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟ (2.5 A/div, 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 คลื่นสัญญาณแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสไฟของหลอดไฟ (75 V/div, 2.5 A/div, 40 ms/div)

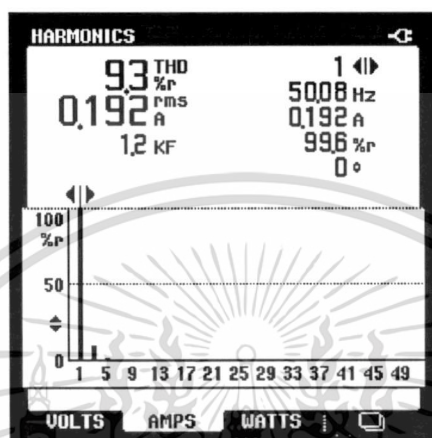
5.2.4 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า

การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ใช้กับหลอดโคมโปรทความดันสูงนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีคุณสมบัติในการวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องบันทึกผล Power Analyzer YOKOGAWA รุ่น PZ4000 ซึ่งได้ผลดังนี้

YOKOGAWA		Uover: ■■■■		100ms	1MS/s		
CH1		Iover: ■■■■		100ms	1MS/s		
	Element1	Element2	Element3	Element4	Σ A	Σ B	
Urms[V]	220.47	131.15	0.00	0.00	220.47	131.15	
Umn [V]	220.41	141.96	0.00	0.00	220.41	141.96	
Udc [V]	0.05	0.27	0.19	-0.26	0.05	0.27	
Uac [V]	220.47	131.15	0.00	0.00	220.47	131.15	
Irms[A]	2.048	2.047	0.0000	0.074	2.048	2.047	
Imn [A]	2.018	2.016	0.0000	0.067	2.018	2.016	
Idc [A]	-0.014	-0.014	0.0012	0.001	-0.014	-0.014	
Iac [A]	2.048	2.047	0.0000	0.074	2.048	2.047	
P [W]	0.2661k	0.2429k	0.00	-0.0000k	0.2661k	0.2429k	
S [VA]	0.4516k	0.2684k	0.00	0.0000k	0.4516k	0.2684k	
Q [var]	0.3649k	0.1144k	0.00	0.0000k	0.3649k	0.1144k	
λ []	0.5893	0.9047	Error	Error	0.5893	0.9047	
φ [°]	53.89	25.22	Error	Error	53.89	25.22	
fU [Hz]	50.034	50.036	Error	Error			
fI [Hz]	50.041	50.041	Error	Error			
U+pk[V]	316.12	170.31	1.12	0.72			
U-pk[V]	-314.81	-168.80	-0.68	-1.44			
I+pk[A]	3.054	3.055	0.0037	0.201			
I-pk[A]	-3.087	-3.091	-0.0011	-0.182			
CFU []	1.43	1.30	Error	Error			
CFI []	1.51	1.51	Error	2.74			
FFU []	1.11	1.03	Error	Error			
FFI []	1.13	1.13	Error	1.22			
Z [Ω]	107.63	64.077	Error	0.00	107.63	64.077	
Rs [Ω]	63.428	57.970	Error	-622.60m	63.428	57.970	

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.13 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ระยะขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่วัดได้ $\lambda = 0.5893$ และกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต $P_{in} = 266.1 \text{ W}$ ในขณะที่กำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต $P_{out} = 242.9 \text{ W}$ ซึ่งแสดงว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานให้แสงสว่างมากเป็นผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก

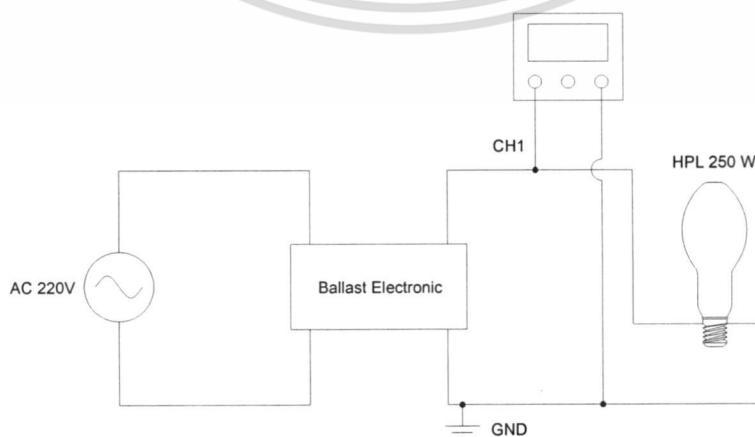


รูปที่ 5.14 ค่า THD, ด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.3 การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การทดลองค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการจุกหลอดแบบภายใน ตัวของวงจรไม่จำเป็นต้องมีตัวสร้างแรงดันสูงอีกชุดเพื่อใช้จุกหลอด สามารถป้อนแรงดันการไฟฟ้าต่อเข้าทางด้านอินพุตของวงจรและต่อพร้อมหลอดทางด้านเอาต์พุตได้เลย ลักษณะการต่อใช้งานเพื่อทดสอบสามารถแสดงได้ดังนี้

5.3.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุกหลอด



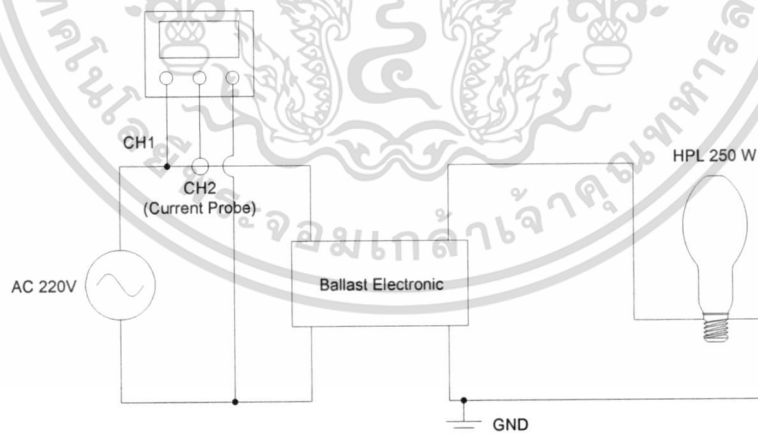
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.15 การวัดค่าแรงดันจุกหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าตอนจุดหลอดนั้นจะต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีคุณสมบัติจับค่าขณะที่สัญญาณชั่วขณะที่สามารถทำให้หลอดไฟติด ทางผู้วิจัยใช้ Mixed Signal Oscilloscope ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 54622 ซึ่งค่าที่ได้แสดงดังนี้



รูปที่ 5.16 แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่สามารถจุดหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (200 V/div, 50 us/div)

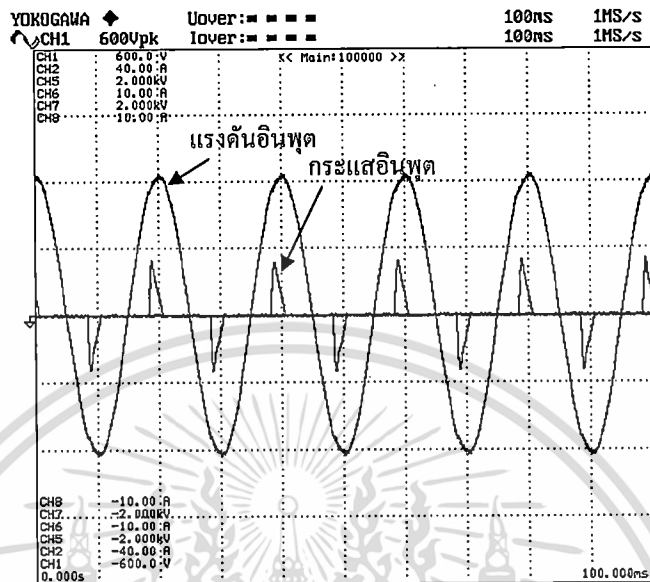
5.3.2 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต



รูปที่ 5.17 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 5.17 เป็นลักษณะของการต่อวงจรเพื่อวัดค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง Power Analyzer YOKOGAWA รุ่น PZ4000 ซึ่งการทดลองแบ่งได้เป็น 2 กรณีดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรณีที่ต่อกับวงจรบริดจ์เรกติไฟล์



รูปที่ 5.18 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของมัลติสแต็คอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่อกับวงจรบริดจ์เรกติไฟล์ (150V/div, 10A/div, 100 ms/div)

YOKOGAWA \blacktriangle		Uover: ■■■■		100ms		1MS/s	
CH4 10Apk		Iover: ■■■■		100ms		1MS/s	
	Element1	Element2	Element3	Element4	Σ A	Σ B	
Urms[V]	1 220.58	134.90	0.0000k	0.0000k	220.58	134.90	
Umn [V]	1 220.63	134.29	0.0000k	0.0000k	220.63	134.29	
Udc [V]	1 0.04	-1.30	-0.0003k	-0.0013k	0.04	-1.30	
Uac [V]	1 220.58	134.89	0.0000k	0.0000k	220.58	134.89	
Irms[A]	1 2.314	1.860	0.000	0.000	2.314	1.860	
Imin [A]	1 1.071	1.827	0.000	0.000	1.071	1.827	
Idc [A]	1 0.003	0.000	0.001	0.001	0.003	0.000	
Iac [A]	1 2.314	1.860	0.000	0.000	2.314	1.860	
P [W]	1 0.2817k	0.2499k	-0.000k	-0.000k	0.2817k	0.2499k	
S [VA]	1 0.5104k	0.2509k	0.000k	0.000k	0.5104k	0.2509k	
Q [var]	1 0.4255k	0.0222k	0.000k	0.000k	0.4255k	0.0222k	
λ [°]	1 0.5520	0.9961	Error	Error	0.5520	0.9961	
ϕ [°]	IG 56.49	G 5.07	Error	Error	56.49	5.07	
fU [Hz]	1 50.019	59.458k	Error	Error	---	---	
fI [Hz]	1 50.025	59.458k	Error	Error	---	---	
U+pk[V]	1 314.80	198.90	0.0055k	0.0038k	---	---	
U-pk[V]	1 -314.69	-201.34	-0.0077k	-0.0070k	---	---	
I+pk[A]	1 8.184	3.034	0.027	0.021	---	---	
I-pk[A]	1 -8.154	-2.984	-0.020	-0.020	---	---	
CfU []	1 1.43	1.49	Error	Error	---	---	
CfI []	1 3.54	1.63	Error	Error	---	---	
FfU []	1 1.11	1.12	Error	Error	---	---	
FfI []	1 2.40	1.13	Error	Error	---	---	
Z [Ω]	1 95.336	72.539	Error	Error	95.336	72.539	
Rs [Ω]	1 52.628	72.255	Error	Error	52.628	72.255	

Stopped 149

111

2011/05/02 12:33:38

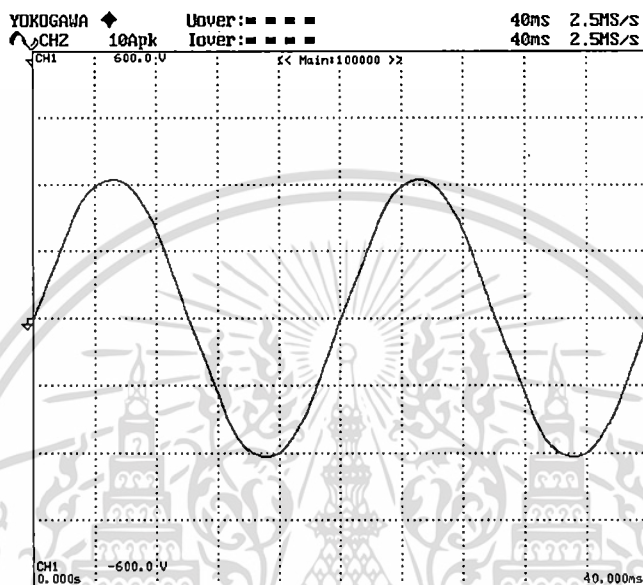
รูปที่ 5.19 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของมัลติสแต็คอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่อกับวงจรบริดจ์เรกติไฟล์

จากรูปที่ 5.18 และ 5.19 พบว่าค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จากวงจรบริดจ์เรกติไฟล์มีค่าต่ำประมาณ 0.552 เนื่องมาจากลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่ได้มีช่วงของคาบเวลาที่แคบ เป็นผล

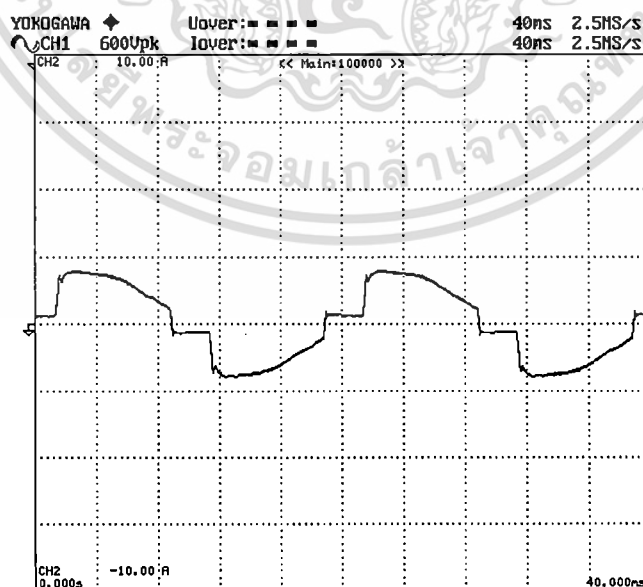
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อย ซึ่งถ้าต้องการให้ค่าของตัวประกอบกำลังเข้าใกล้หนึ่งยิ่งขึ้นจำเป็นต้อง แลกกับขนาดของตัวเก็บประจุที่ใหญ่ขึ้นตามไปด้วย

2. กรณีที่ต่อกับวงจรวาลเลย์ฟิล

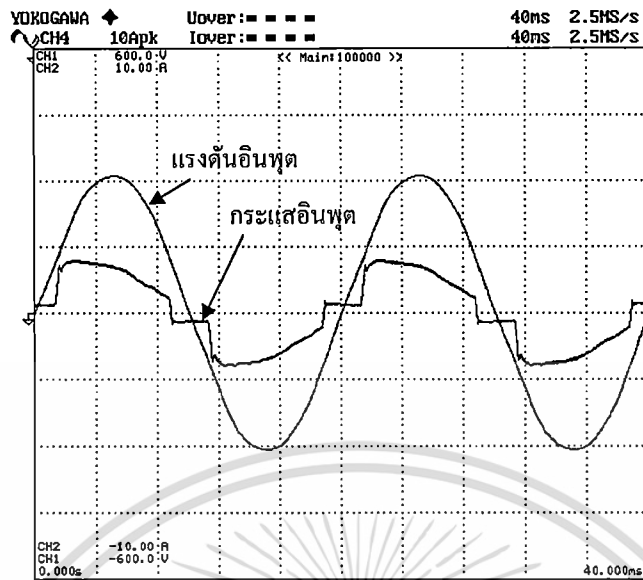


รูปที่ 5.20 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (150 V/div, 40 us/div)

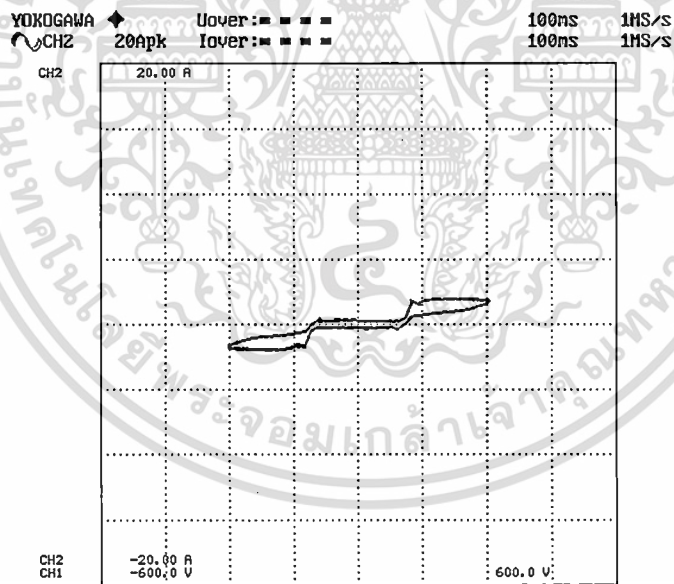


รูปที่ 5.21 คลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (2.5 A/div, 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ms/div)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

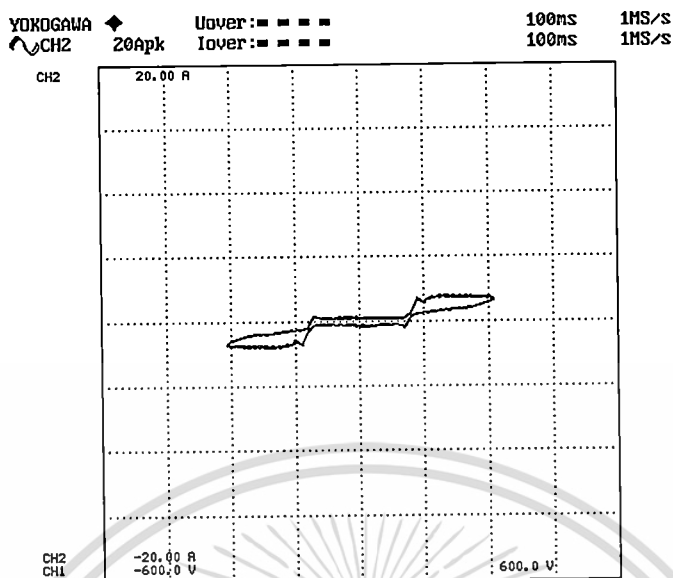


รูปที่ 5.22 คลื่นสัญญาณแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (150 V/div, 2.5 A/div, 40 ms/div)



รูปที่ 5.23 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดัน 195 V (150V/div, 5A/div, 100 ms/div)

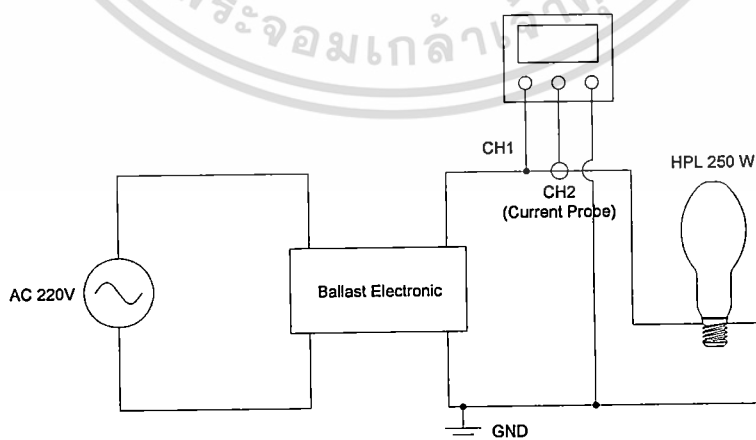
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 X-Y Waveform แรงดันเปรียบเทียบกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดัน 245 V (150V/div,5A/div, 100 ms/div)

จากรูปที่ 5.23 และ 5.24 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันกับกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในรูปของ X-Y Waveform แสดงให้เห็นถึงลักษณะของกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตซึ่งส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต ในขณะที่แรงดันทางด้านอินพุตเปลี่ยนแปลง จากรูปจะเห็นได้ว่าความกว้างของวงรีมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลมาจากกำลังไฟอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นคงสถานะอยู่ตัว

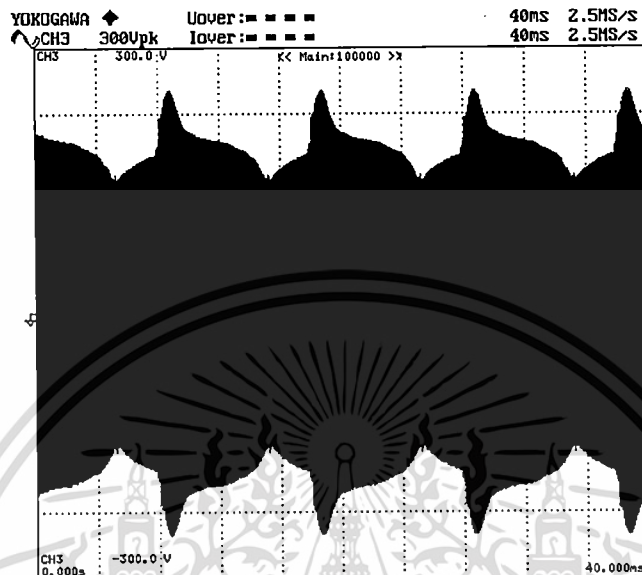
5.3.3 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสของหลอดไฟ



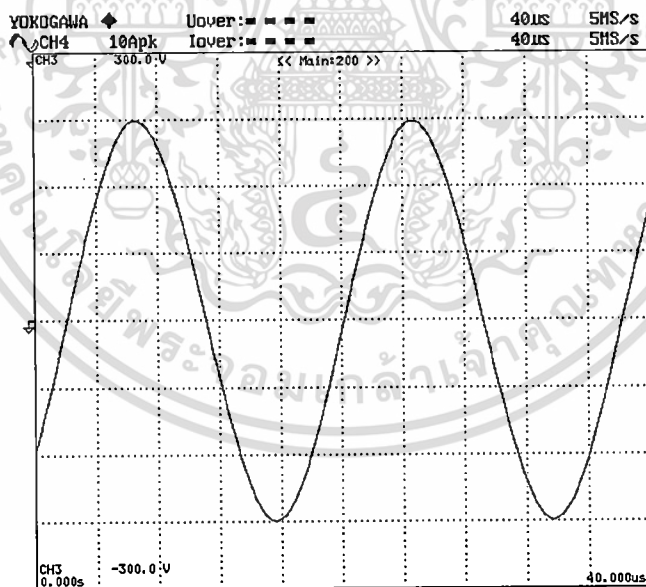
รูปที่ 5.25 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดและทดลองค่าของแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตหรือทางด้าน
โหลดไฟโดยใช้เครื่อง Power Analyzer YOKOGAWA รุ่น PZ4000 ซึ่งได้ผลดังนี้



(ก)



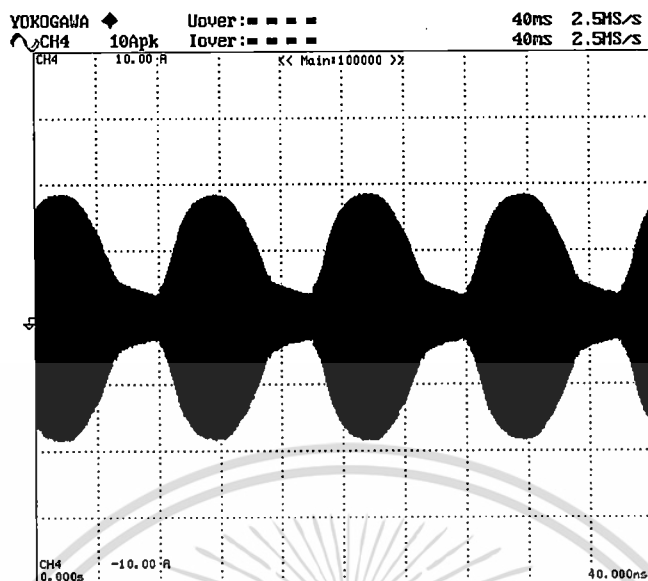
(ข)

รูปที่ 5.26 คลื่นสัญญาณแรงดันทางด้านโหลดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

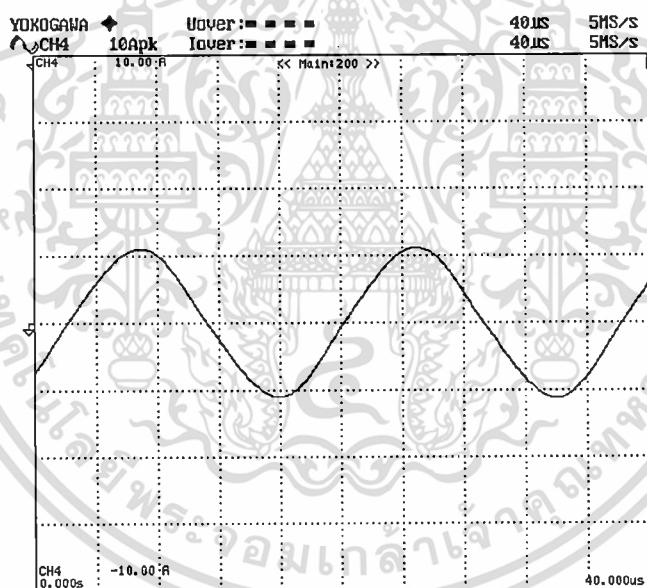
(ก) (75 V/div, 40 ms/div)

(ข) (75 V/div, 40 us/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



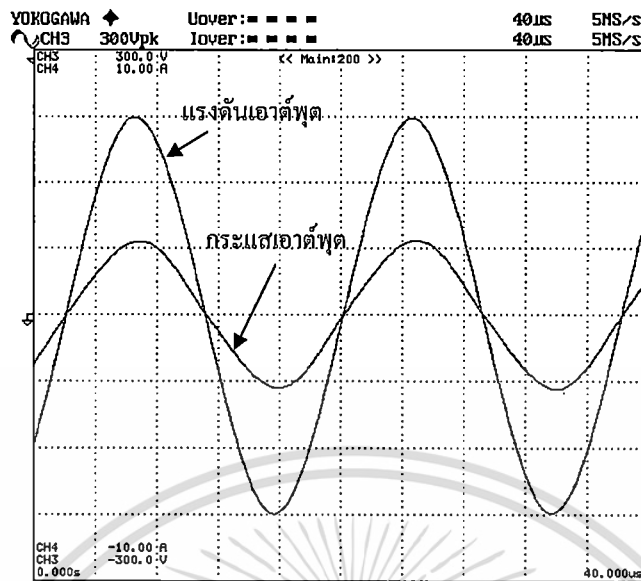
(ข)

รูปที่ 5.27 คลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

(ก) (2.5 A/div, 40 ms/div)

(ข) (2.5 A/div, 40 μs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 คลื่นสัญญาณแรงดันเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (75 V/div, 2.5 A/div, 40 us/div)

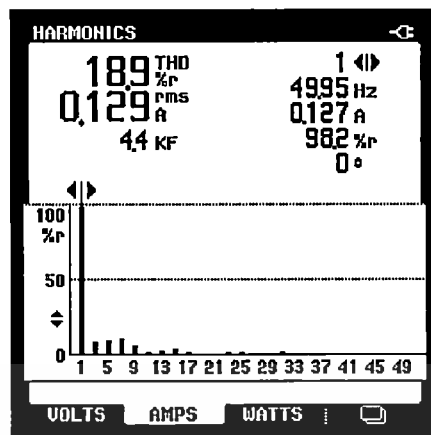
5.3.4 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า

การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ใช้กับหลอดไอปรอทความดันสูงนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีคุณสมบัติในการวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือบันทึกผล Power Analyzer YOKOGAWA รุ่น PZ4000 ซึ่งได้ผลดังนี้

YOKOGAWA	Uover: ■■■■	40ns	2.5MS/s	
CH3	Iover: ■■■■	40ns	2.5MS/s	
300Vpk	10.00A			
Element1	Element2	Element3	Element4	Σ A
Urms[V]	123.073	2.188	0.00000k	220.866
Umn[V]	131.541	2.145	0.00000k	220.439
Udc[V]	0.230	-0.050	-0.00122k	0.058
Uac[V]	133.073	2.187	0.00000k	220.866
Irms[A]	1.6613	0.0000	0.0000	1.3455
Irn[A]	1.8801	0.0000	0.0000	1.2784
Idc[A]	0.0085	0.0062	0.0011	0.0066
Iac[A]	2.1113	0.0000	0.0000	1.3455
P [W]	0.21243k	-0.0000k	-0.0000k	0.28977k
S [VA]	0.28096k	0.0000k	0.0000k	0.29717k
Q [var]	0.06589k	0.11701k	0.0000k	0.06589k
λ []	0.97511	0.90915	Error	0.97511
φ [°]	12.81	24.61	Error	12.81
fU [Hz]	55.277k	Error	Error	---
fI [Hz]	55.277k	Error	Error	---
U+pk[V]	249.67	5.37	0.0040k	---
U-pk[V]	-248.92	-5.04	-0.0080k	---
I+pk[A]	4.496	0.066	0.022	---
I-pk[A]	-4.480	-0.055	-0.024	---
CFU []	1.876	2.453	Error	---
CFI []	2.129	Error	Error	---
FFU []	1.124	1.133	Error	---
FFI []	1.247	Error	Error	---
Z [Ω]	63.0290	Error	Error	164.154
Rs [Ω]	57.3026	Error	Error	160.068

รูปที่ 5.29 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 5.29 และ 5.30 เป็นผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ค่าตัวประกอบกำลังจากการวัดได้ $\lambda = 0.97511$ กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กคิดเป็นการลดลงของพลังงาน 10 % เมื่อเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก และค่า $THD_i = 18.9$ ซึ่งอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน EN61000-3-2 Harmonic Current Limit [2]

5.4 การทดลองการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัวของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ในการทดลองการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูงตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัวของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งระยะเวลาการทำงานของหลอดตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัวใช้เวลา 15 นาที โดยทางผู้วิจัยได้แบ่งเป็นการบันทึกค่าช่วงละ 1 นาทีและนำผลที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟเพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูงได้อย่างชัดเจน

5.4.1 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

T (นาที)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
1	220.460	35.160	3.272	3.269	67.395	10.755
2	221.700	73.830	2.782	2.780	79.701	26.556
3	221.250	127.470	2.109	2.107	104.900	60.498

T (นาที)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
4	220.640	128.440	2.084	2.083	105.850	61.648
5	220.140	129.500	2.062	2.060	106.780	62.863
6	220.080	130.880	2.041	2.039	107.850	64.197
7	220.020	130.730	2.043	2.042	107.690	64.032
8	219.850	131.210	2.032	2.030	108.210	64.621
9	220.130	131.080	2.036	2.034	108.130	64.458
10	219.460	131.170	2.022	2.021	108.530	64.907
11	219.200	131.020	2.023	2.020	108.380	64.851
12	220.020	130.850	2.037	2.035	107.990	64.292
13	219.940	131.090	2.034	2.032	108.160	64.500
14	220.170	131.070	2.038	2.038	108.010	64.328
15	219.750	131.230	2.030	2.028	108.250	64.694

ตารางที่ 5.2 การทดลองบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่
สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

T (นาที)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)
1	154.80	109.80	721.40	114.90	704.60	57.10
2	223.10	191.50	616.70	205.30	574.90	95.80
3	267.70	252.80	466.60	268.60	382.20	114.70
4	266.30	252.10	459.90	267.60	375.00	113.90
5	264.90	251.20	453.90	266.80	368.50	113.90
6	264.80	251.20	449.10	266.80	362.70	114.10
7	265.00	251.40	449.50	266.90	363.10	113.90
8	264.30	250.90	446.70	266.40	360.10	113.70
9	264.40	250.80	448.10	266.60	361.80	114.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T (นาที)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)
10	262.80	249.60	443.80	265.10	357.60	113.40
11	262.40	249.10	443.30	264.70	357.30	113.70
12	264.60	250.80	448.30	266.30	361.90	113.70
13	264.50	251.00	447.30	266.40	360.60	113.70
14	265.10	251.50	448.80	267.10	362.10	114.10
15	264.30	250.70	446.10	266.20	359.40	113.70

ตารางที่ 5.3 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัสลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุด
โหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

5.4.2 การทดลองการทำงานของบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

T (นาที)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
1	220.240	25.710	0.422	1.904	521.560	10.692
2	219.620	58.220	0.720	1.832	304.890	24.968
3	220.570	95.810	1.173	1.731	188.120	47.439
4	220.470	121.980	1.386	1.647	159.060	61.478
5	220.840	123.630	1.403	1.651	157.400	62.133
6	220.800	122.800	1.401	1.657	157.590	61.555
7	221.020	123.230	1.408	1.660	156.950	61.691
8	221.290	123.170	1.412	1.665	156.270	61.508
9	221.010	124.390	1.420	1.657	155.660	62.314
10	221.410	122.590	1.414	1.669	156.580	61.123
11	220.450	122.770	1.414	1.663	155.700	62.310
12	220.020	123.070	1.415	1.626	154.060	62.584
13	221.100	123.380	1.424	1.663	155.250	61.658
14	220.870	123.070	1.419	1.659	155.690	61.629

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T (นาทิจ)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
15	220.020	124.690	1.435	1.647	153.350	62.745

ตารางที่ 5.4 การทดลองบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สถานะจุดโหลดจนถึงสถานะอยู่ตัว

T (นาทิจ)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)
1	51.00	19.30	93.00	61.80	63.50	17.60
2	64.80	75.10	158.20	135.70	74.00	52.70
3	167.70	166.80	258.60	236.00	89.30	93.30
4	215.30	207.80	305.60	283.30	95.30	117.60
5	219.60	211.20	309.80	287.40	95.90	119.90
6	219.10	210.50	309.40	286.50	96.00	119.20
7	220.80	211.70	311.20	287.70	96.70	119.70
8	222.00	212.40	312.40	288.30	96.90	119.50
9	223.40	213.10	313.80	289.80	97.00	121.60
10	222.60	212.00	313.10	287.60	97.30	118.70
11	264.40	204.50	354.40	291.90	102.00	122.40
12	218.40	207.50	308.50	283.00	95.40	117.40
13	224.30	212.80	314.90	288.50	97.70	119.00
14	222.80	211.00	313.30	287.30	97.40	120.10
15	225.30	212.50	315.70	289.10	97.40	121.10

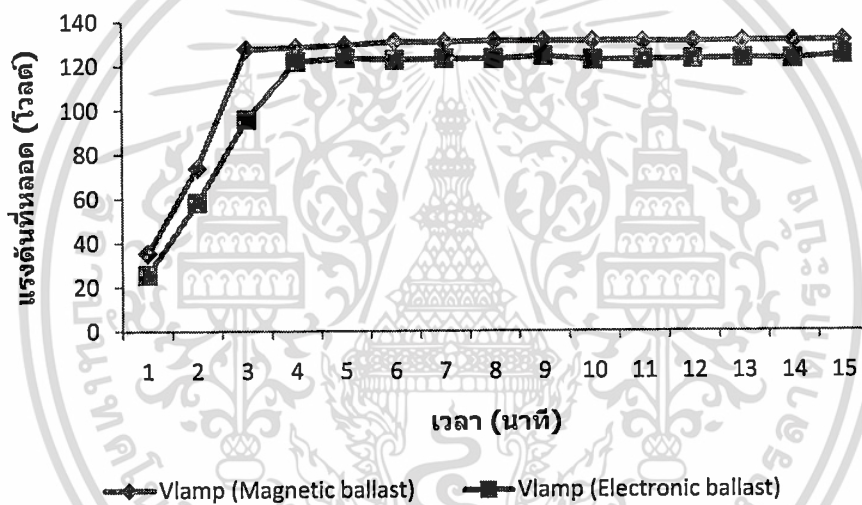
ตารางที่ 5.5 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สถานะจุดโหลดจนถึงสถานะอยู่ตัว

ในตารางที่ 5.2 และ 5.3 เป็นผลการบันทึกค่าการทดลอง แรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ค่า Average Power, ค่า Apparent Power, ค่า Reactive Power แบ่งการบันทึกค่าเทียบกับเวลาการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

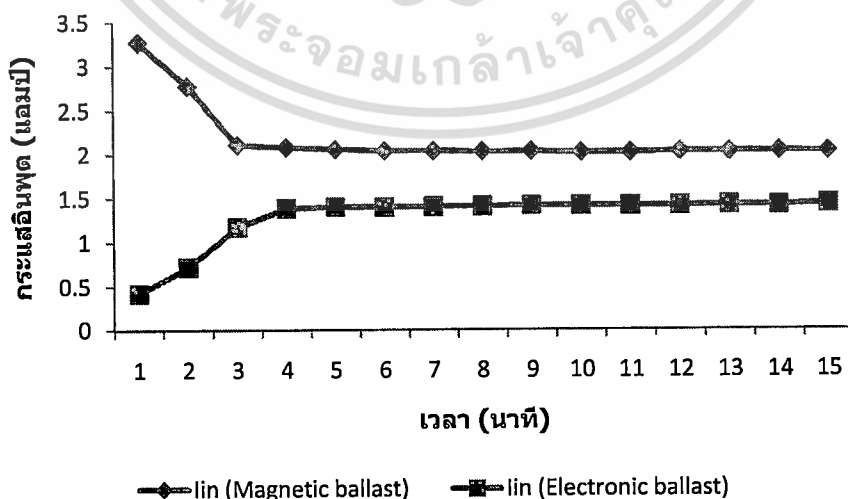
ทำงานตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะการทำงานของหลอดอยู่ตัวของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนในตารางที่ 5.4 และ 5.5 เป็นผลการบันทึกค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

5.4.3 กราฟแสดงการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

การเปรียบเทียบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจะแสดงในรูปของกราฟ เพื่อให้เห็นถึงลักษณะแนวโน้มการทำงานของบัลลาสต์และสภาวะการทำงานของหลอดเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ทั้งสองชนิด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

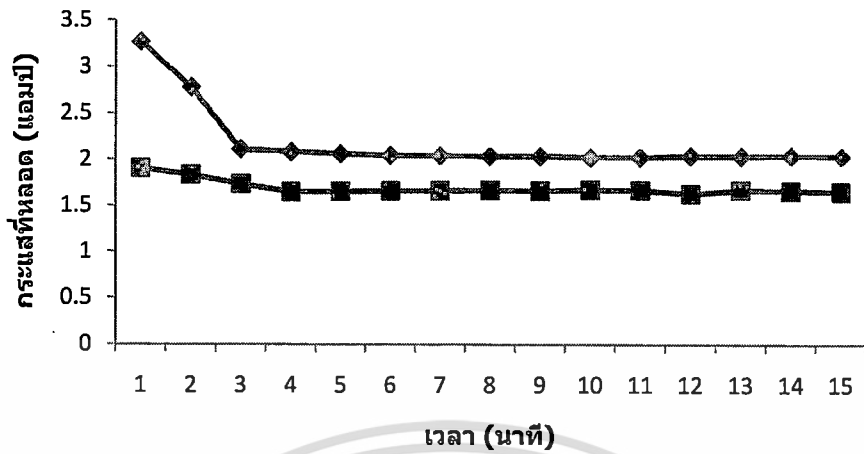


รูปที่ 5.31 กราฟค่าแรงดันหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 5.32 กราฟค่ากระแสเหนี่ยวนำตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

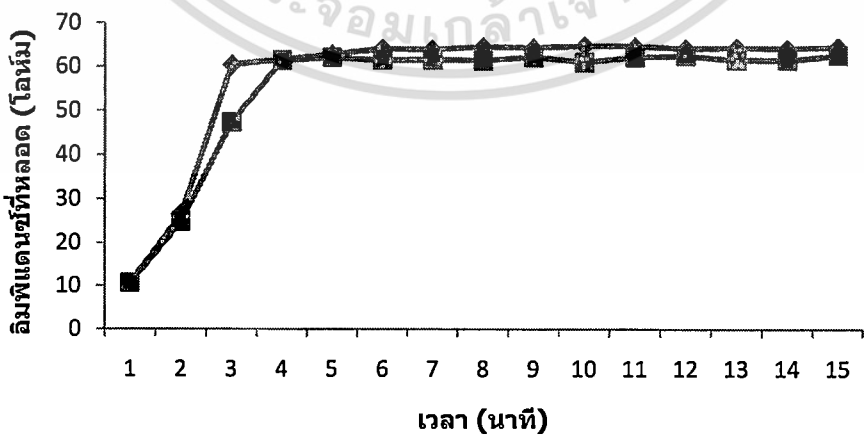
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 กราฟค่ากระแสหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

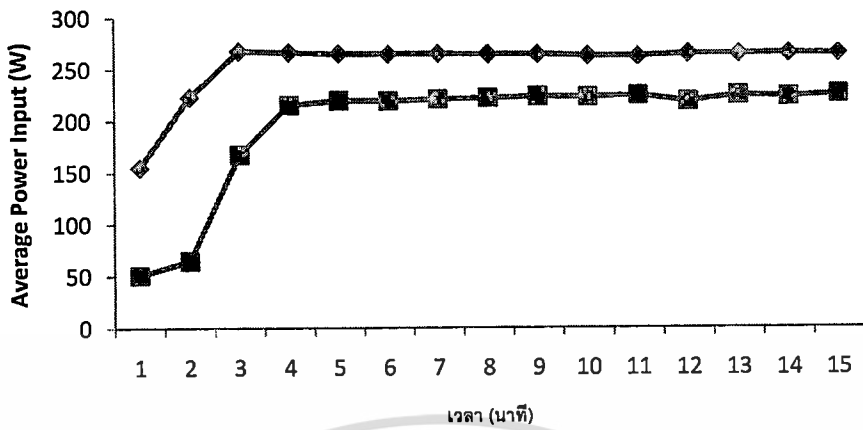


รูปที่ 5.34 กราฟอิมพีแดนซ์อินพุตตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

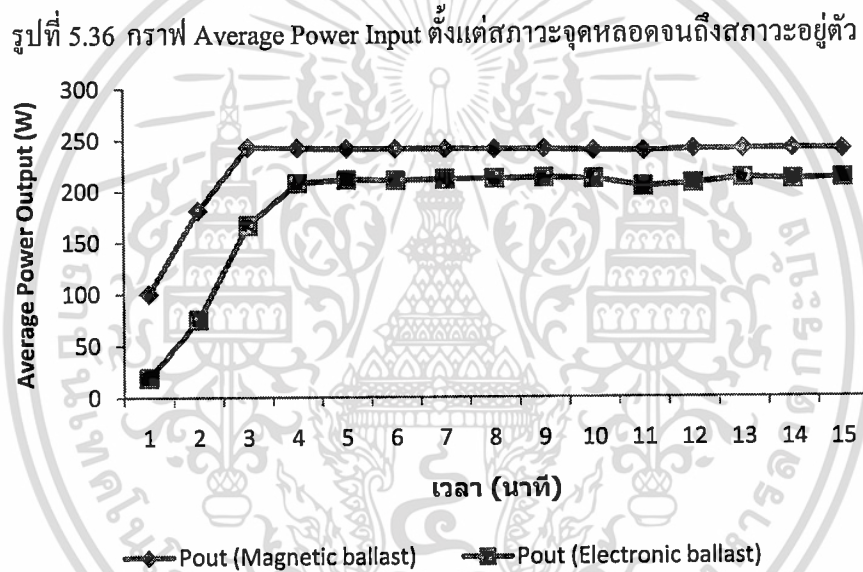


รูปที่ 5.35 กราฟอิมพีแดนซ์ของหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

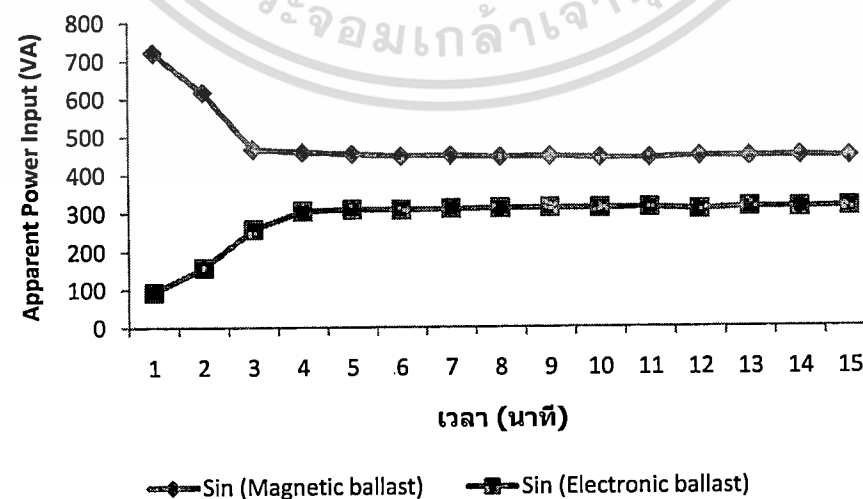
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.36 กราฟ Average Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

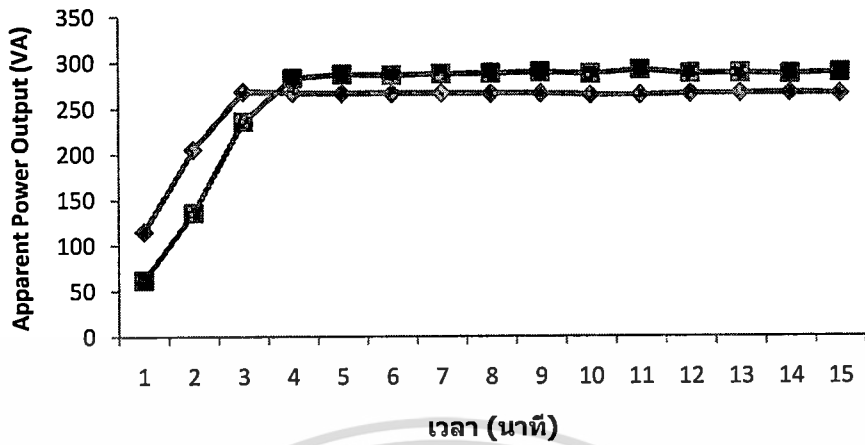


รูปที่ 5.37 กราฟ Average Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

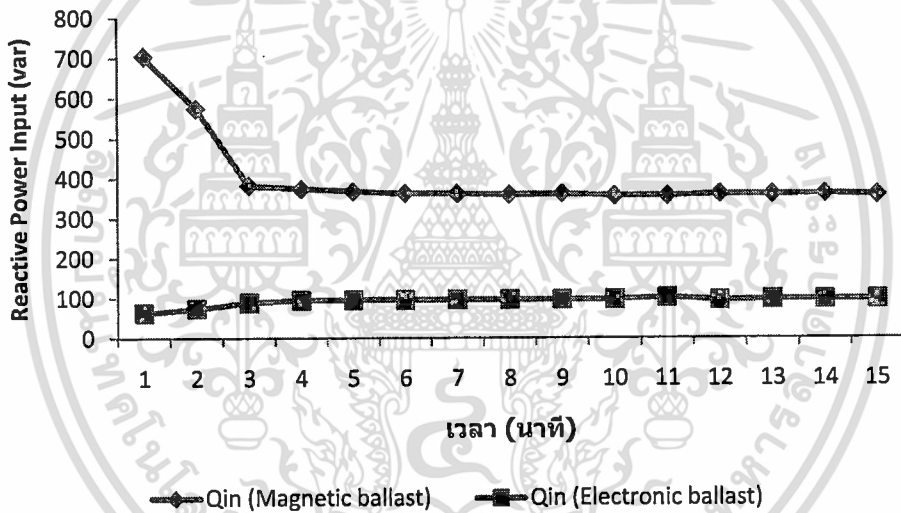


รูปที่ 5.38 กราฟ Apparent Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

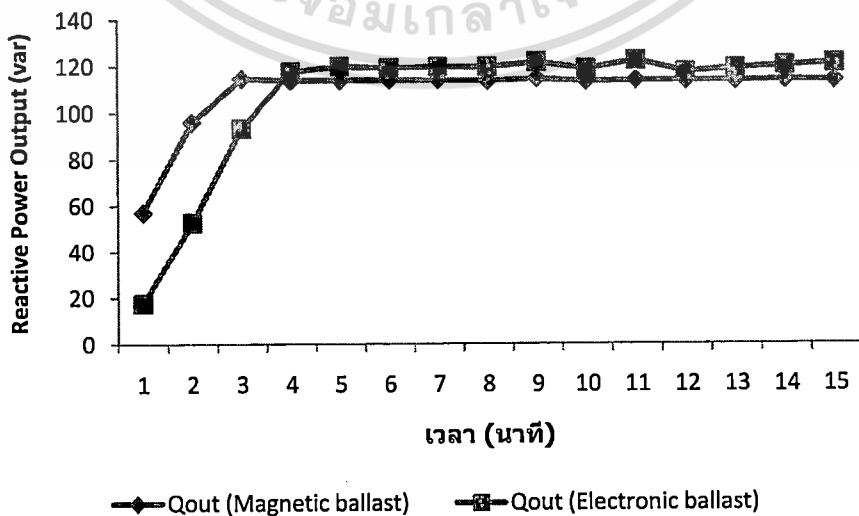
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.39 กราฟ Apparent Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 5.40 กราฟ Reactive Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัว



รูปที่ 5.41 กราฟ Reactive Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะอยู่ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าโดยไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่ออินพุตเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

การทดลองการทำงานในสภาวะนี้เพื่อทำให้เห็นถึงคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กในขณะที่แรงดันการไฟฟ้าไม่อยู่ตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุต แรงดันที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงแรงดัน 195 ถึง 245 โวลต์ ซึ่งคิดเป็น 10% ของแรงดันตกและแรงดันไฟฟ้าเกิน

5.5.1 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)	THD_v (%)	THD_i (%)
195	131.290	1.570	1.568	124.380	83.718	1.1	12.5
200	130.120	1.689	1.687	118.590	77.108	1.2	12.1
205	130.410	1.771	1.770	115.810	73.685	1.1	12.5
210	130.650	1.859	1.858	112.950	70.327	1.1	12.3
215	131.310	1.944	1.942	110.690	67.598	1.2	12.2
220	131.260	2.043	2.042	107.870	64.272	1.2	12.3
225	131.800	2.131	2.129	105.910	61.901	1.1	12.5
230	132.700	2.210	2.209	104.400	60.079	1.1	12.5
235	132.910	2.295	2.294	102.590	57.949	1.2	12.3
240	133.140	2.380	2.379	100.920	55.966	1.1	12.5
245	130.400	2.535	2.533	96.805	51.477	1.1	12.5

ตารางที่ 5.6 การทดลองบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณ บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

V_{in} (โวลต์)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)	Power Factor
195	198.30	183.90	306.40	205.90	233.60	92.70	0.6471
200	213.40	196.80	338.40	219.60	262.60	896.30	0.6307
205	225.50	207.50	363.10	230.80	284.60	101.20	0.621

V_{in} (โวลต์)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)	Power Factor
210	238.70	218.60	390.50	242.70	309.00	105.40	0.6114
215	252.00	230.00	418.30	255.10	333.80	110.20	0.6026
220	266.50	242.30	450.40	268.00	363.10	114.60	0.5917
225	280.40	254.00	480.80	280.60	390.50	119.20	0.5833
230	293.90	265.30	510.10	293.10	417.00	124.50	0.5761
235	307.10	276.30	540.30	304.90	444.60	128.80	0.5684
240	320.10	286.90	571.80	316.70	473.80	134.20	0.5598
245	337.60	299.40	622.10	330.30	522.50	139.50	0.5427

ตารางที่ 5.7 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าตัวประกอบกำลัง ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

5.5.2 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)	THD_v (%)	THD_i (%)
195	122.494	1.525	1.640	127.931	63.403	1.2	18.5
200	122.690	1.478	1.634	135.766	63.687	1.2	18.5
205	122.102	1.45.5	1.656	141.510	62.724	1.2	18.5
210	124.190	1.411	1.629	148.941	64.559	1.2	18.5
215	123.810	1.375	1.641	156.514	64.009	1.2	18.5
220	123.073	1.346	1.661	164.154	63.029	1.2	18.5
225	122.854	1.316	1.664	171.184	62.850	1.2	18.5
230	123.358	1.296	1.671	177.691	62.865	1.2	18.5
235	123.303	1.259	1.676	187.256	62.694	1.2	18.5
240	123.729	1.230	1.673	195.491	62.997	1.2	18.5
245	123.119	1.197	1.675	205.085	62.659	1.2	18.5

ตารางที่ 5.8 การบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนของสัญญาณบัลลาสต์

อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าไม่เหมาะสมในการค้า

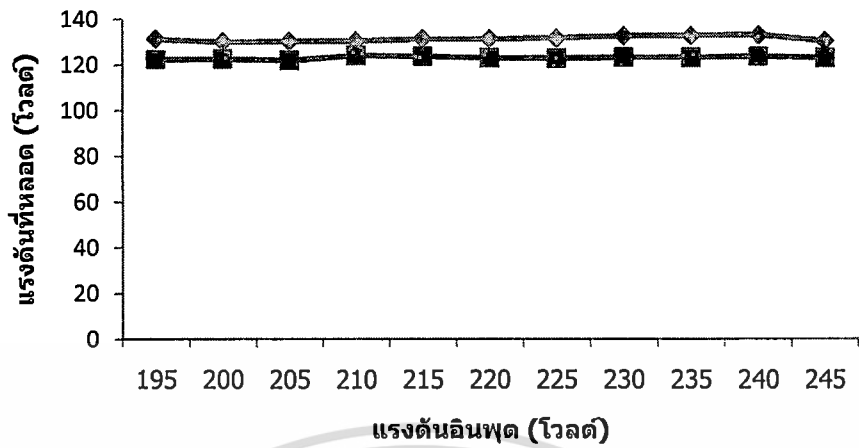
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{in} (โวลต์)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)	$Power$ $Factor$
195	222.50	211.56	297.40	276.88	72.00	108.90	0.97
200	222.10	210.87	296.40	276.46	69.60	109.44	0.97
205	223.60	212.44	297.70	278.22	69.10	110.24	0.97
210	222.15	211.38	296.69	278.92	66.47	114.41	0.97
215	222.67	211.28	296.02	279.73	65.56	116.57	0.97
220	223.77	212.43	297.17	280.96	65.89	117.01	0.97
225	223.24	211.69	296.51	280.83	65.26	118.31	0.97
230	225.06	212.26	298.25	282.90	65.08	121.95	0.97
235	223.79	212.59	296.79	283.43	64.07	122.50	0.97
240	222.94	212.01	295.75	283.88	63.11	124.73	0.97
245	221.10	210.71	293.80	282.81	62.37	124.95	0.97

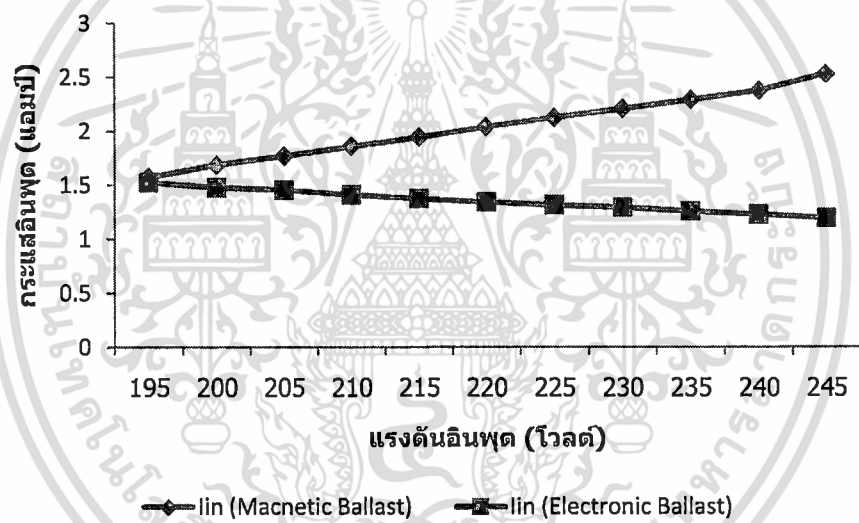
ตารางที่ 5.9 ผลของการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าตัวประกอบกำลัง ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

5.5.3 กราฟแสดงการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

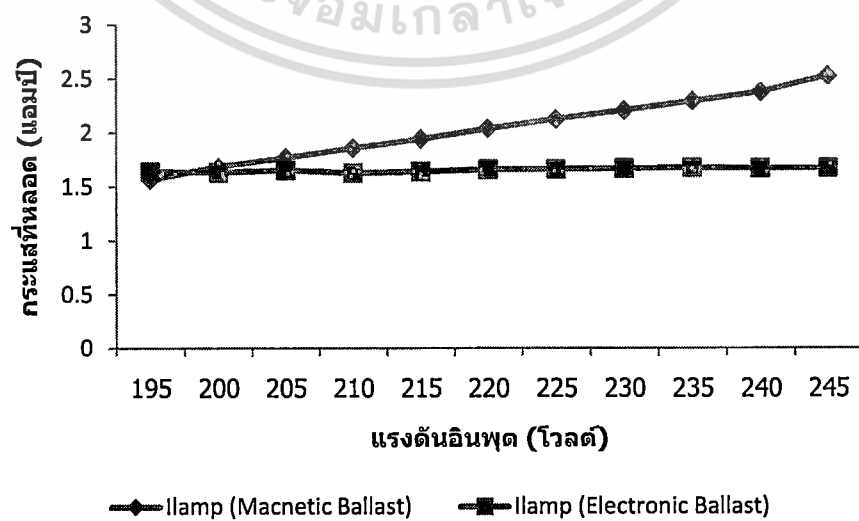
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ใช้การจำลองสภาวะการทำงานของบัลลาสต์ขณะที่แรงดันอินพุตเกิดการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ซึ่งผลที่ได้สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 5.42 กราฟค่าแรงดันคร่อมหลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

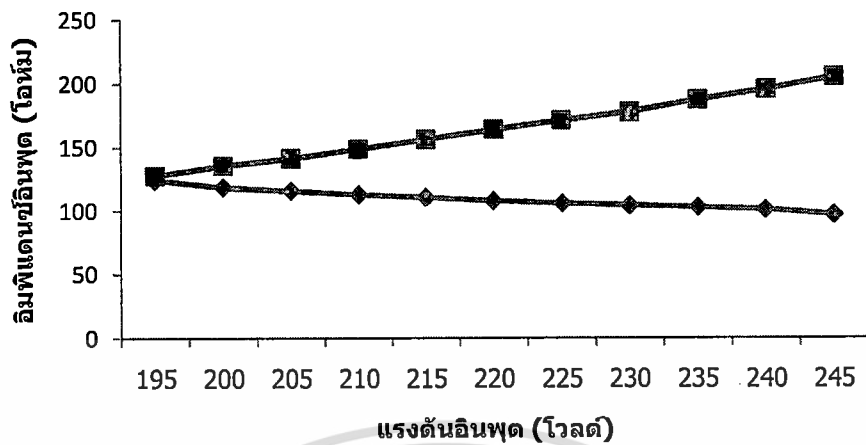


รูปที่ 5.43 กราฟค่ากระแสอินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

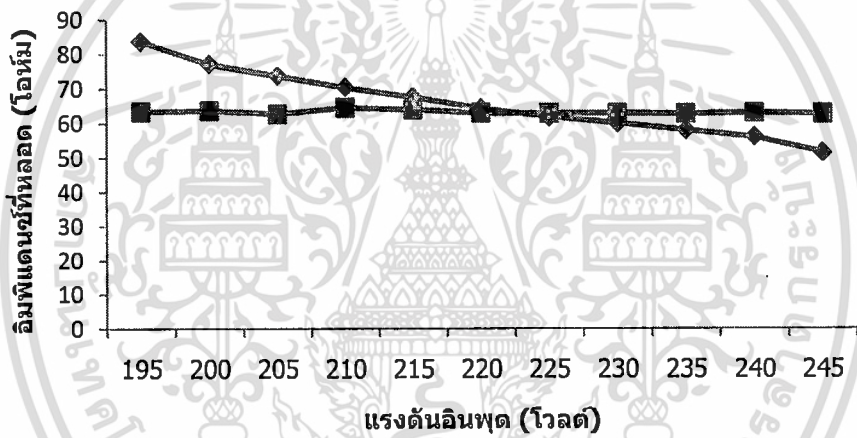


รูปที่ 5.44 กราฟค่ากระแสที่หลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต

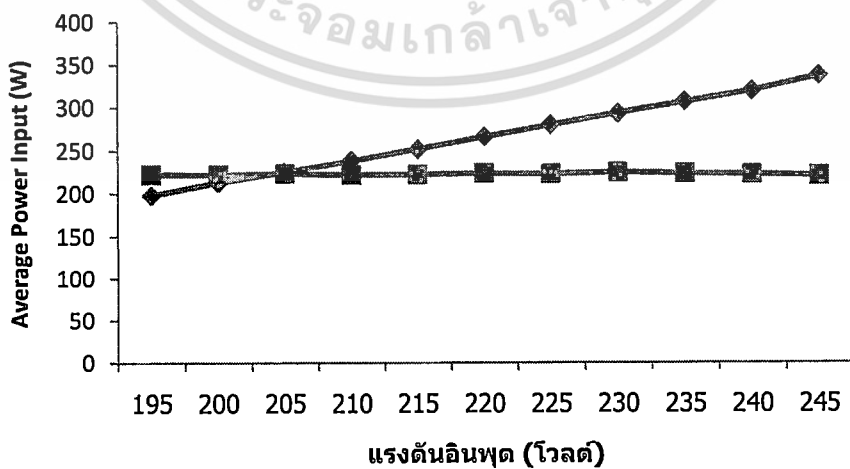
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



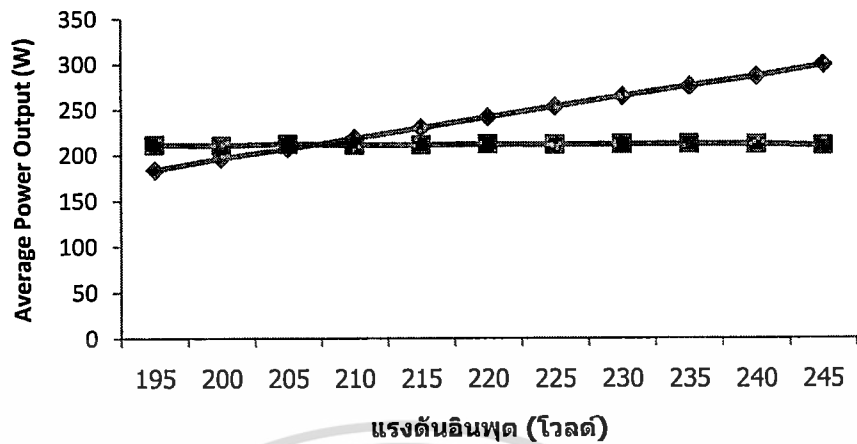
รูปที่ 5.45 กราฟค่าอิมพีแดนซ์อินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



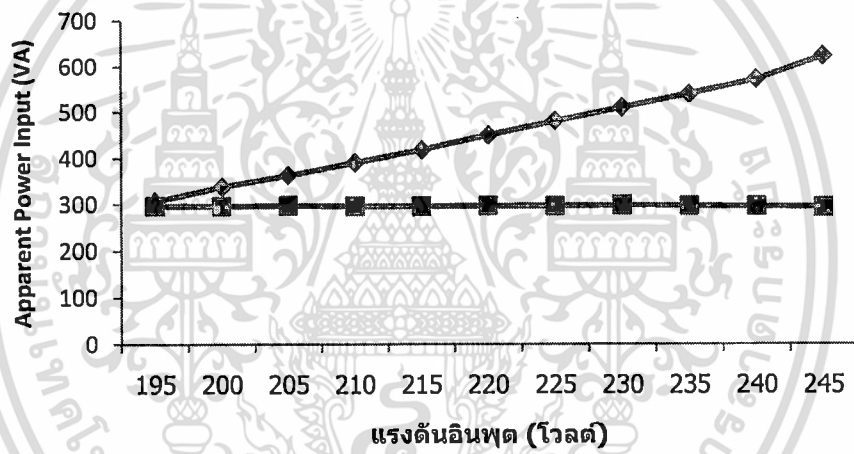
รูปที่ 5.46 กราฟค่าอิมพีแดนซ์ที่โหลดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



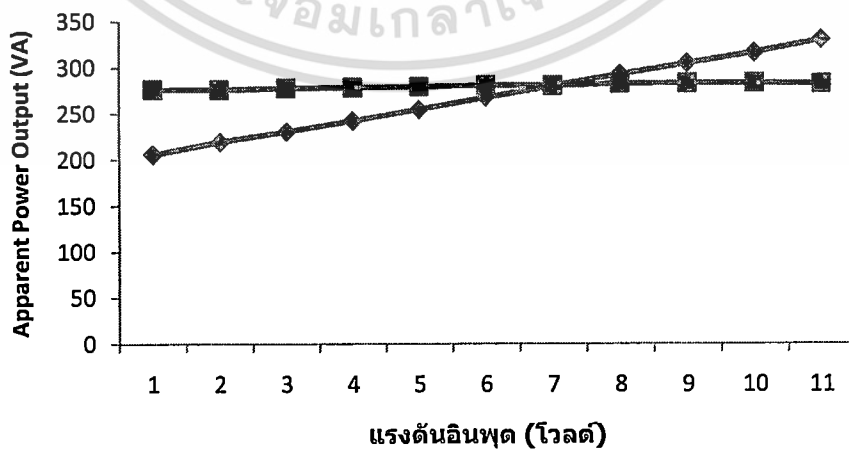
รูปที่ 5.47 กราฟค่า Average Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต



รูปที่ 5.48 กราฟค่า Average Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

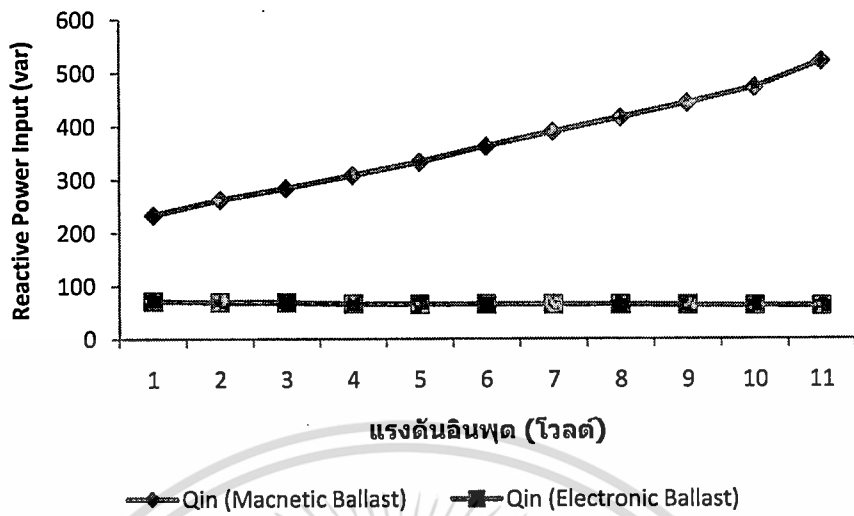


รูปที่ 5.49 กราฟค่า Apparent Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

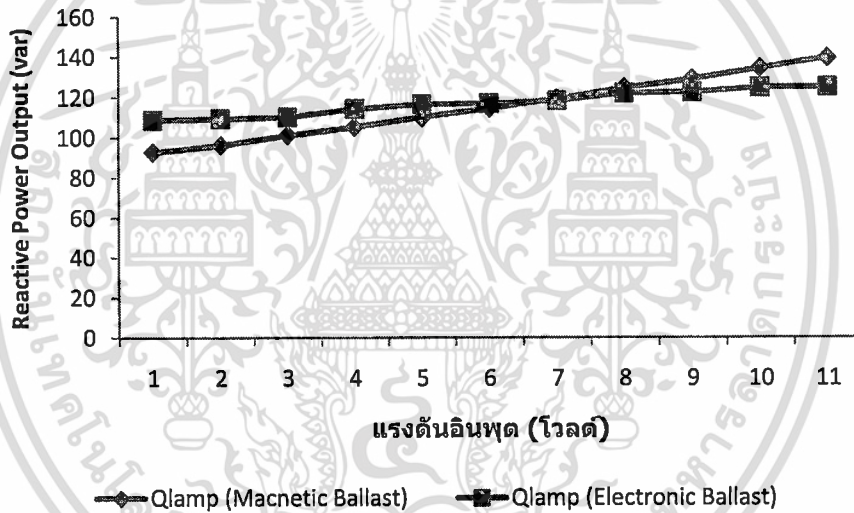


รูปที่ 5.50 กราฟค่า Apparent Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต

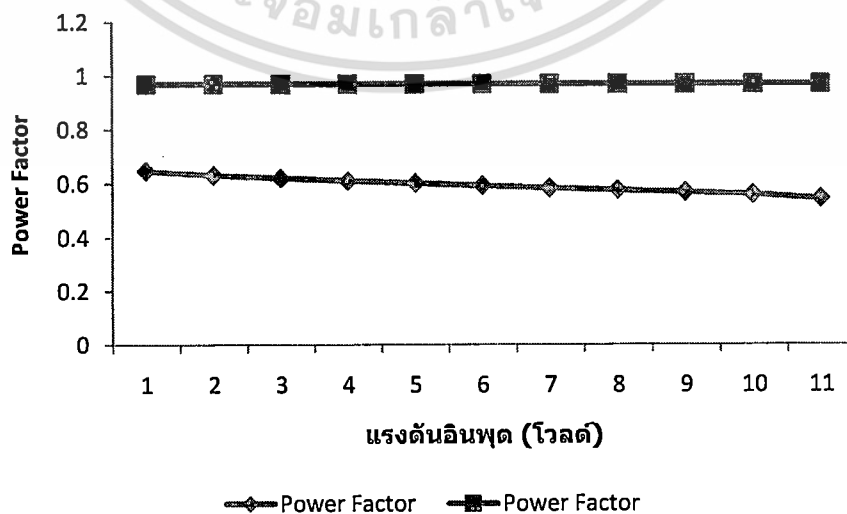
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.51 กราฟค่า Reactive Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

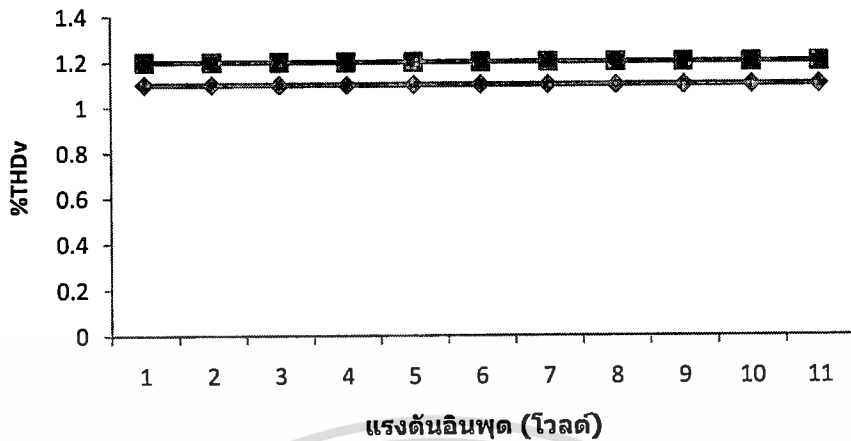


รูปที่ 5.52 กราฟค่า Reactive Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



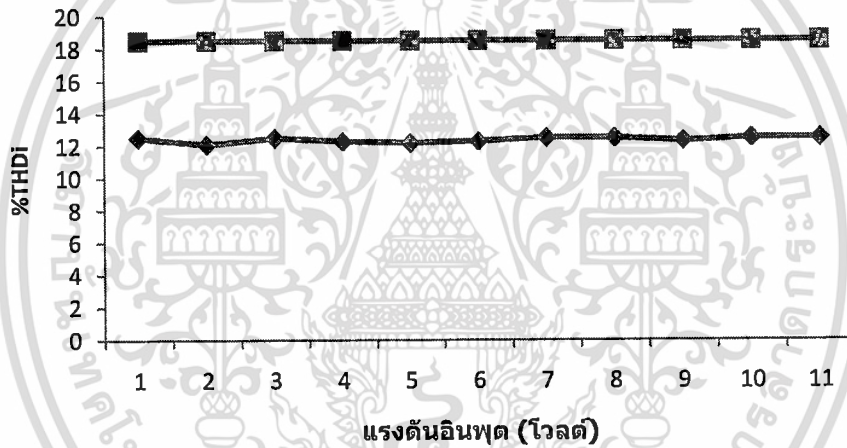
รูปที่ 5.53 กราฟค่าตัวประกอบกำลังเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารของโรงเรียนเทคโนโลยีช่างอุตสาหกรรมจันทบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากโรงเรียน



◆ %THDv (Macnetic Ballast) ■ %THDv (Electronic Ballast)

รูปที่ 5.54 กราฟค่า THD_v เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต



◆ %THDi (Macnetic Ballast) ■ %THDi (Electronic Ballast)

รูปที่ 5.55 กราฟค่า THD_i เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต

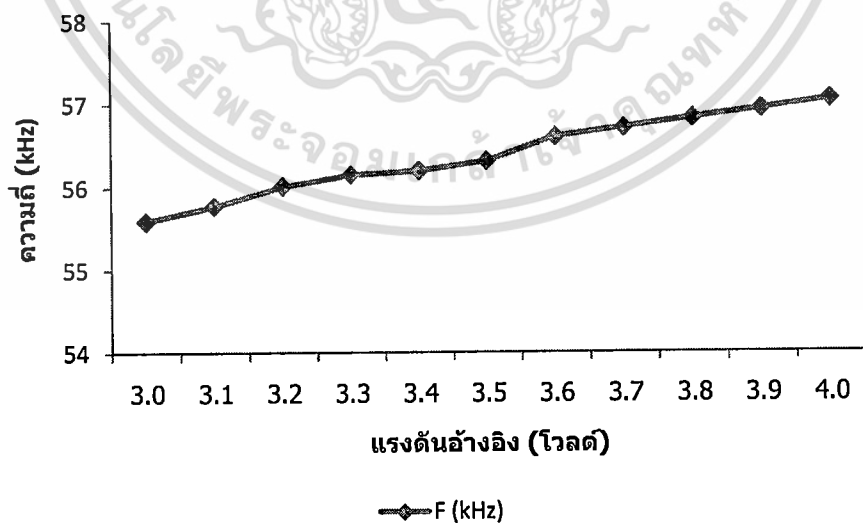
5.5.4 การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

เพื่อควบคุมปริมาณค่าฟลักซ์ส่องสว่างโดยการลดกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ

การหรี่แสงในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้โดยการปรับค่าแรงดันอ้างอิง V_{ref} ที่ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ที่สวิตช์ที่ป้อนให้วงจรเรโซแนนซ์ โดยอาศัยคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางด้านเอาต์พุตตามความถี่เป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าทางด้านหลอดไฟลดลง ซึ่งลักษณะการทำงานสามารถแสดงได้ดังนี้

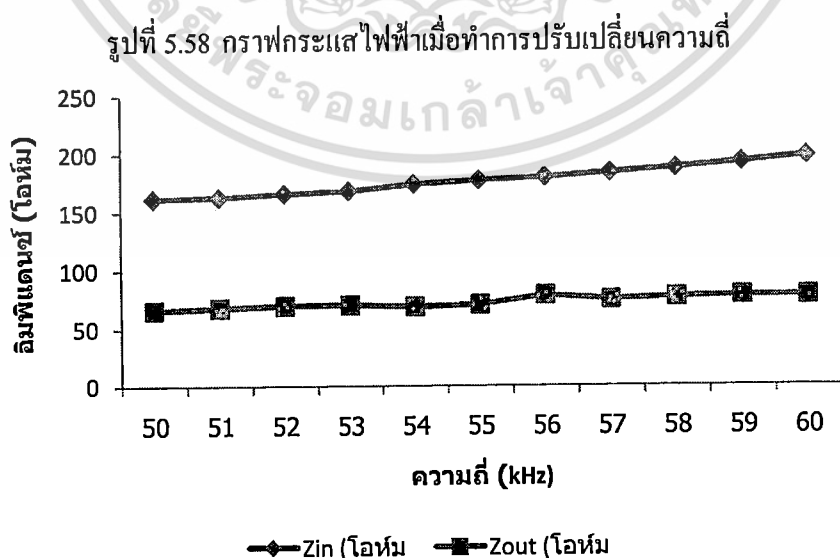
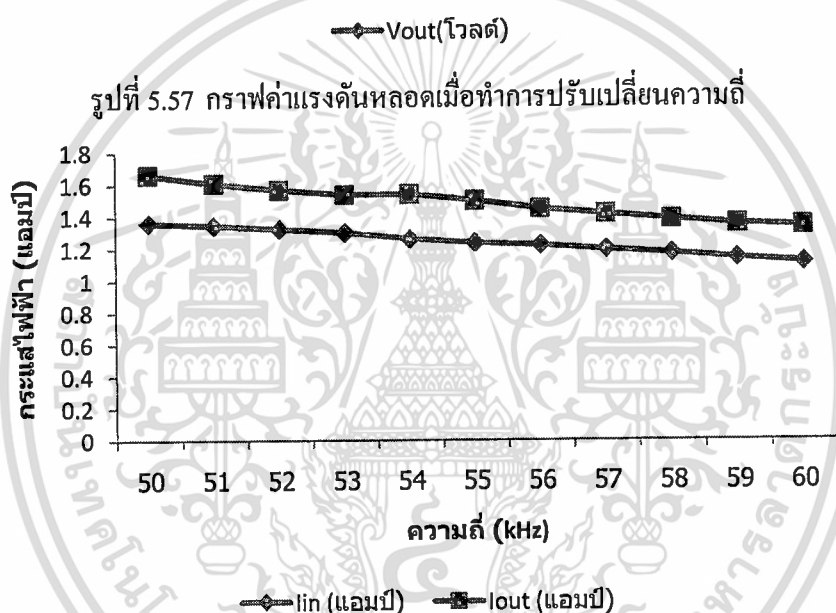
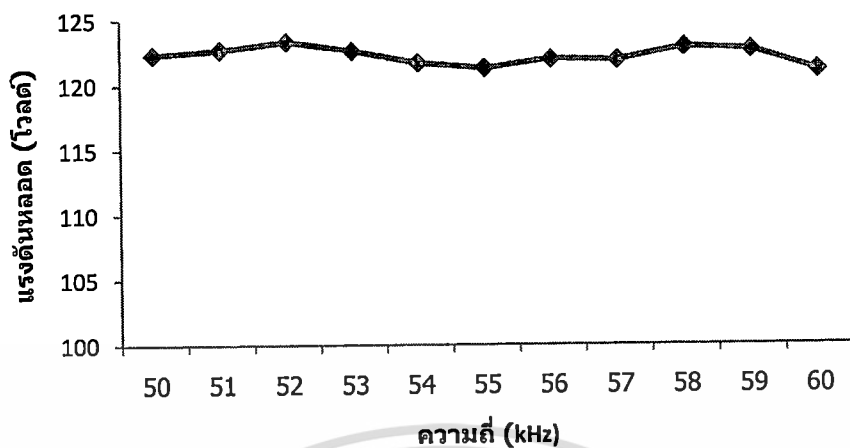
V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
3.0	55.596	220.620	122.350	1.363	1.663	161.870	66.095
3.1	55.777	219.940	122.710	1.347	1.609	163.340	68.055
3.2	56.017	220.150	123.350	1.325	1.568	166.180	69.803
3.3	56.156	219.520	122.650	1.302	1.539	168.620	70.491
3.4	56.205	220.140	121.700	1.262	1.541	174.420	68.893
3.5	56.322	219.800	121.270	1.237	1.501	177.630	70.651
3.6	56.616	219.830	121.990	1.220	1.448	180.110	78.584
3.7	56.727	219.900	121.890	1.194	1.416	184.180	74.817
3.8	56.837	219.970	122.890	1.169	1.382	188.160	76.837
3.9	56.947	219.660	122.680	1.139	1.352	192.860	78.018
4.0	57.056	220.090	121.090	1.111	1.338	198.160	77.742

ตารางที่ 5.10 การทดลองบันทึกค่าความถี่, แรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง



รูปที่ 5.56 กราฟแสดงค่าความถี่เมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

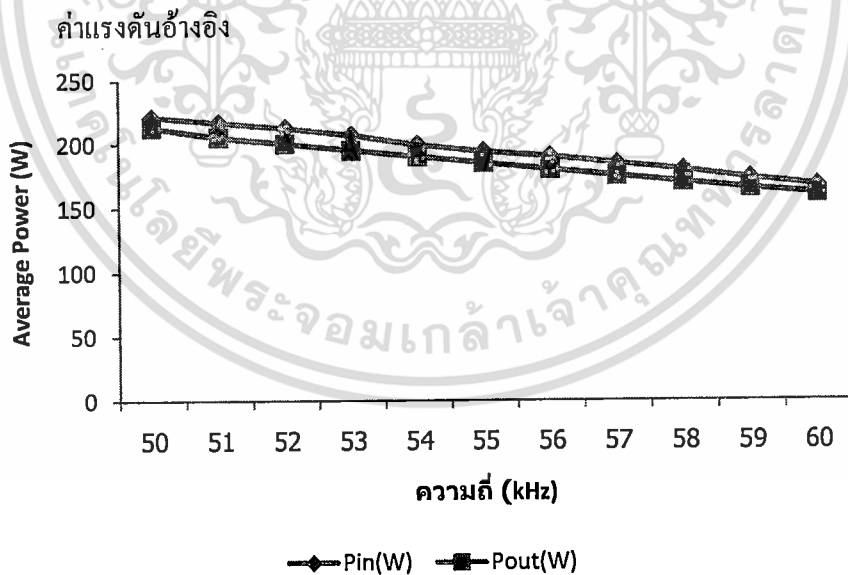


รูปที่ 5.59 กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

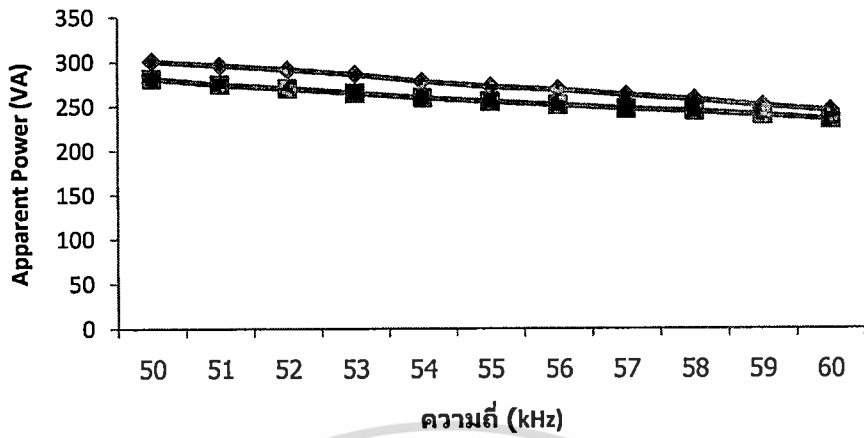
V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)
3.000	55.596	221.4	213.0	300.7	281.3	91.6	123.0
3.100	55.777	217.0	205.4	296.1	274.6	90.4	123.2
3.200	56.017	212.6	200.4	291.6	270.2	89.2	123.4
3.300	56.156	207.0	195.1	285.8	264.9	87.8	122.2
3.400	56.205	199.4	190.3	277.9	259.5	85.3	119.6
3.500	56.322	194.0	185.3	272.0	255.2	83.0	119.9
3.600	56.616	190.3	180.1	268.3	251.3	82.6	121.3
3.700	56.727	184.9	175.1	262.5	246.8	80.4	121.1
3.800	56.837	179.8	170.5	257.2	243.9	78.7	123.2
3.900	56.947	173.3	165.5	250.2	239.5	76.3	122.9
4.000	57.056	167.6	161.2	244.4	234.7	75.2	121.0

ตารางที่ 5.11 การทดลองบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับเปลี่ยน

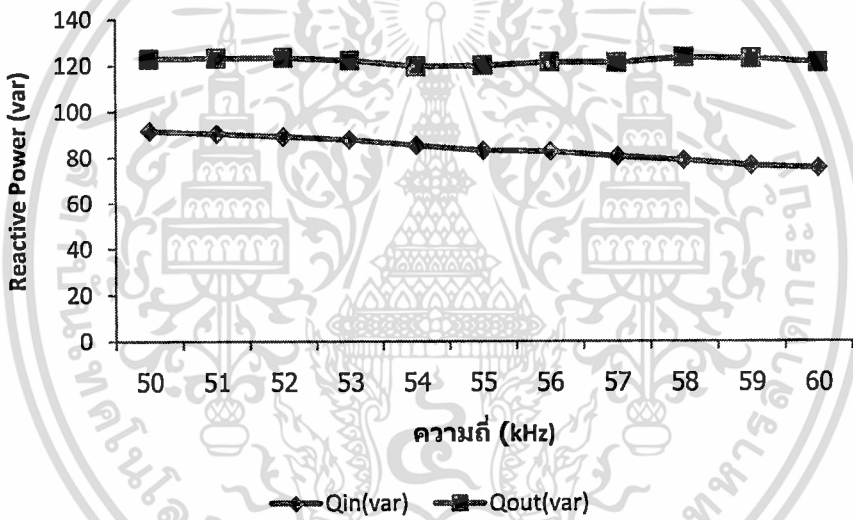


รูปที่ 5.60 กราฟค่า Average Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.61 กราฟค่า Apparent Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่



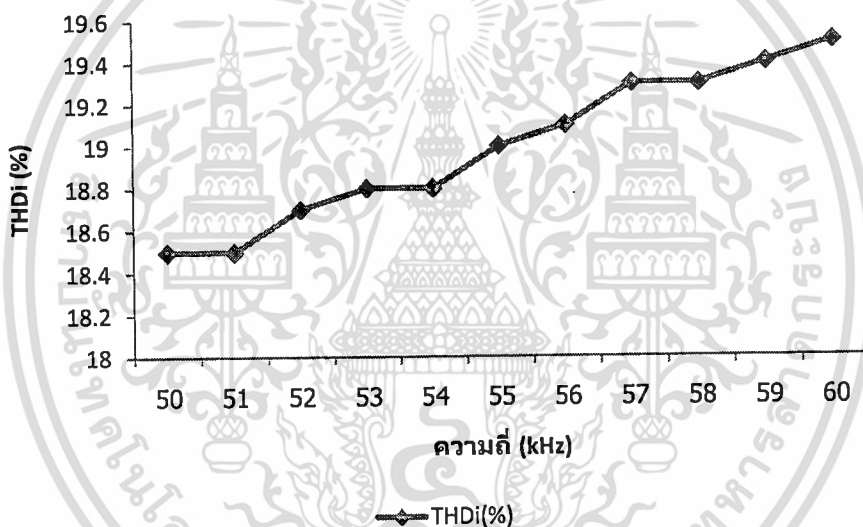
รูปที่ 5.62 กราฟค่า Reactive Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	PF	THD_v (%)	THD_i (%)
3.0	55.596	0.97	1.2	18.5
3.1	55.777	0.97	1.2	18.5
3.2	56.017	0.97	1.2	18.7
3.3	56.156	0.97	1.2	18.8
3.4	56.205	0.97	1.2	18.8
3.5	56.322	0.97	1.2	19
3.6	56.616	0.97	1.2	19.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	PF	THD_v (%)	THD_i (%)
3.7	56.727	0.97	1.2	19.3
3.8	56.837	0.97	1.2	19.3
3.9	56.947	0.97	1.2	19.4
4.0	57.056	0.97	1.2	19.5

ตารางที่ 5.12 การทดลองบันทึกค่าตัวประกอบกำลัง,ค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง



รูปที่ 5.63 กราฟค่า THDi เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

5.5.5 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การเปรียบเทียบผลการบันทึกการค่าเป็นการนำผลการทดลองที่ได้โดยรวมมาเปรียบเทียบให้เป็นถึงลักษณะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กว่าแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งแสดงได้ดังนี้

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า	บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
แรงดันจุดหลอด (โวลต์)	1,588	957
แรงดันอินพุต (โวลต์)	220.470	220.866
แรงดันที่หลอด (โวลต์)	131.150	123.073
กระแสอินพุต (แอมป์)	2.048	1.346
กระแสที่หลอด (แอมป์)	2.047	1.6613
กำลังไฟฟ้าอินพุต (วัตต์)	266.10	223.77
กำลังไฟฟ้าที่หลอด (วัตต์)	242.90	212.43
ค่า THDv (%)	1.1	1.2
ค่า THDi (%)	9.3	18.9
ค่า Power Factor	0.589	0.975
ค่า Crest Factor	1.491	1.428

ตารางที่ 5.13 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

5.6 บทสรุป

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งภายในวงจรประกอบด้วยวงจรกรองสัญญาณอีเอ็มไอ วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรจุดหลอด LCC เรโซแนนซ์ และวงจรควบคุมการทำงานของหลอดให้อยู่ตัว และสามารถหรี่แสงได้โดยการปรับกำลังไฟฟ้าของหลอด การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่ได้มากกว่า 0.95 วงจรต้นแบบมีราคาถูก ขนาดกะทัดรัดและน้ำหนักเบา

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ การออกแบบและวิเคราะห์การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดไอปรอทความดันสูงที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดให้คงที่และสามารถหรี่แสงได้ การวิจัยเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีจากบทความ, วารสาร, เอกสาร และตำราต่างๆ ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูงที่จะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงชั่วขณะหนึ่งในการจุดหลอดแล้วจะต้องมีการควบคุมสถานะการทำงานของหลอดให้คงที่วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย วิเคราะห์หลักการการทำงานของวงจรกำลังที่เป็นวงจรแปรผันกำลังและสามารถช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแล้วนำวงจรควบคุมมาใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกิน การทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้ออกแบบวงจรการทำงาน โดยการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป PSpice สร้างวงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง โดยอยู่ในขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และเขียนเป็นวิทยานิพนธ์

สรุปรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ที่ได้นำเสนอมาแล้วดังนี้

1. การออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นการนำเอาคุณสมบัติของวงจรต่างๆ มาประกอบกัน แล้วนำมาอ้างอิงกับทฤษฎีหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรมานั้นๆ ค่าที่ได้จากการออกแบบนำไปจำลองแทนค่าในโปรแกรม Spice ซึ่งผลที่ได้เป็นผลตามทฤษฎี
2. วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง วาเลย์ฟิลสามารถใช้แก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือมีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงกว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. การใช้วงจรจุดหลอดแบบภายใน LCC เรโซแนนซ์สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงชั่วขณะเพื่อจุดหลอดให้ติดได้แล้วควบคุมการทำงานของหลอดให้อยู่ในสถานะคงที่
4. วงจรควบคุมที่ออกแบบสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟให้คงที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการทดลองได้จำลองสถานะแรงดันไฟฟ้าตกและสถานะแรงดันไฟฟ้าเกิน ซึ่งกำลังไฟฟ้าของหลอดที่ได้อยู่ในระดับคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่มีการแปรผันกำลังไฟฟ้าทางด้านหลอดโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต การควบคุมนอกจากจะสามารถทำให้กำลังไฟฟ้าของหลอดคงที่แล้วยังสามารถหรี่แสงได้ โดยการปรับกำลังไฟฟ้าของหลอดให้ลดลงตามการปรับค่าของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พิสูจน์ว่าค่าของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและแบบจำลองทางไฟฟ้าที่ได้ทำการวัดและคำนวณมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้วงจรขับสวิตช์มอสเฟตต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอย่างดี ซึ่งไม่เพียงแต่อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะเสียหายแล้วยังส่งผลต่อวงจรที่ใช้สัญญาณขนาดเล็กอื่นๆ ที่ใช้เป็นตัวควบคุมก็จะเสียหายตามไปด้วย
2. การออกแบบวงจรของบัลลาสต์ควรทำการจำลองการทำงานโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสียก่อน เพื่อดูแนวโน้มการทำงานของแต่ละวงจรนั้นๆ ว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ จากนั้นจึงเริ่มต่อใช้งานวงจรจริง
3. การออกแบบวงจรควรมีอุปกรณ์การระบายความร้อนที่ดีไม่ว่าจะเป็น มอสเฟต ความเหนียวนำ และตัวเก็บประจุ เพื่ออายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
4. วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังเป็นที่นิยมกันมากด้วยประสิทธิภาพที่สามารถแปรผันกำลังขณะเดียวกันยังช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งการพัฒนาจรรยาบรรณผู้ผลิตมาใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรอื่นสามารถกระทำได้อีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Christian Branas, Francisco J. Azcondo, Salvador Bracho “**Evaluation of and electronic ballast circuit for HID lamps with passive power factor correction**”, *IECON 02 Industrial Electronics Society, Volume 1*, pp: 371-376, 5-8 Nov 2002.
- [2] European Standard EN61000-3-2, “**Limit for Harmonic Current Emissions**”, 2001.
- [3] J.Spangler, B. Hussain, A.K. Behera, “**Electronic Fluorescent Ballast Using a Power Factor Correction Techniques for Loads Greater than 300Watts**”, Proceedings of APEC'91, pp.393-399, 1991.
- [4] Ch. Branas, F. Azcondo, S. Bracho, “**Study of Output Power Variation due to Component Tolerances in LCsCp Resonant Inverters Applied to HPS Lamp Control**”, *Proceeding of IECON'01*, pp. 1021-1026.
- [5] European Standard EN60662, “**High Pressure Sodium Lamps**”, June 1990.
- [6] John Chi Wo Lam, Member, IEEE, and Praveen K. Jain, Fellow, IEEE, “**A Modified Valley Fill Electronic Ballast Having a Current Source Resonant Inverter With Improved Line-Current Total Harmonic Distortion (THD), High Power Factor, and Low Lamp Crest Factor**” *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol.55, No.3, March 2008.
- [7] S.-J. Choi, K.-C. Lee, and B.H.Cho, “**Design of fluorescent lamp ballast with PFC using a power piezoelectric transformer**,” *IEEE Trans, Ind. Electron.*, vol. 52, no.1, pp.56-65, Feb. 2005.
- [8] J. M. Alonso, A. J. Calleja, J. Ribas, E. L. Corominas, and M. Rico-Aecades, “**Analysis and design of a novel single-stage high-power-factor electronic ballast based on integrated buck half-bridge resonant inverter**,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol.19, no.2, pp.550-559, Mar. 2004.
- [9] Dongyan Zhang, Weiping Zhang, Yuanchao Liu, Xuesun Zhao, “**Design of LCC Resonant Inverter for Metal Halide Lamp Ballast**,” *IEEE*, October 6, 200.
- [10] Branas C., Azcondo F.J., Bracho, S., “**Design of LC/sub p/C/sub s/ resonant inverters as a power source for HID lamp ballast application**” *Industry Application, IEEE Transactions on Volume 41*, Issue 6, Nov.-Dec. 2005 Page(s):1584-1593.
- [11] Yan Yin, Student Member, IEEE, Regan Zane, Member, IEEE, John Glaser, Member, IEEE, and Robert W. Ericson, Fellow, IEEE “**Small-Signal Analysis of Frequency-**

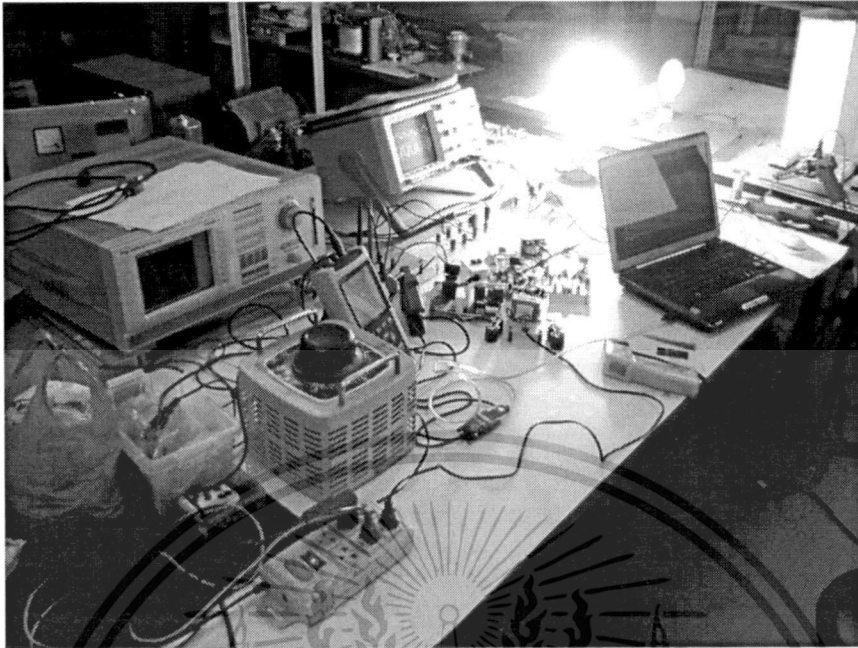
- Controlled Electronic Ballasts”** *IEEE Transactions on circuit and systems-fundamental theory and application*, Vol. 50, No. 8, August 2003.
- [12] S. Ben-Yaakov, S. Glozman, and R. Rabinovici, “**Envelope simulation by SPICE-compatible models of linear electric circuit driven by modulated signals**” *IEEE Tran. Ind. Applicat.*, vol. 37, pp. 527-533, Mar./Apr. 2001.
- [13] Shmuel Ben-Yaakov, Member, IEEE, and Michael Gulko”**Design and Performance of an Electronic Ballast for High-Pressure Sodium (HPS) Lamps**” *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol.44, no.4, August 1997.
- [14] Yong-Sik Youn, Gyun Chae and Gyu-Hyeong Cho “**A Unity Power Factor Electronic Ballast for Fluorescent Lamp having Improved Valley Fill and Valley Boost Converter**” *IEEE*,. 1997.
- [15] Gyun Chae, Yong-Sik Youn and Gyu-Hyeong Cho “**High Power Factor Correction Circuit using Valley Charge-Pumping for Low Cost Electronic Ballasts**” *IEEE*, 1998.
- [16] Adam J. Gilbert, Christopher M. Bingham, David A. Stone, and Martin P. Foster “**Self-Oscillating Control Methods for LCC Current-Output Resonant Converter**” *IEEE Transaction on power electronics*. vol.23,no.4, July 2008.
- [17] M. Castilla, L. Garcia de Vicuna, J.M. Guerrero, J.Matas, and J. Miret,”**Sliding-mode control of quantum series-parallel resonant converters via input-output linearization,**” *IEEE Trans. Ind. Electron.*,vol. 52, no.2, pp. 566-575, Apr.2005.
- [18] Fabio Toshiaki Wakabayashi and Carlos Alberto Canesin, “**An Improved Design Procedure for LCC Resonant Filter of Dimmable Electronic Ballasts for Fluorescent Lamps, Based on Lamp Model**” *IEEE Transaction on power electronics*. vol.20,no.5, September 2005.
- [19] C. S. Moo, H. L. Cheng, H. N. Chen, and H. C. Yen, “**Designing a dimmable electronic ballast with frequency control,**” in *Proc. IEEE APEC’99*, 1999, pp. 727–733.
- [20] R. N. Prado, A. R. Seidel, F. E. Bisogno, and M. A. D. Costa, “**A design method for electronic ballast for fluorescent lamps,**” in *Proc. IEEE IECON’00*, 2000, pp. 2279–2284.
- [21] T. J. Liang, C. A. Cheng, W. B. Shyu, and J. F. Chen, “**Design procedure for resonant components of fluorescent lamps electronic ballast based on lamp model,**” in *Proc. IEEE PEDS’01*, 2001, pp. 618–622.

- [22] C. A. Cheng, T. J. Liang, C. M. Chuang, and J. F. Chen, "A novel method of using second-order lamp model to design dimmable fluorescent lamps electronic ballast," in *Proc. IEEE IECON'01*, 2001, pp. 1033–1037.
- [23] Y. K. E. Ho, S. T. S. Lee, H. S. H. Chung, and S. Y. Hui, "A comparative study on dimming control methods for electronic ballasts," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 16, no. 6, pp. 828–836, Nov. 2001.
- [24] T. J. Ribarich and J. J. Ribarich, "A new procedure for high-frequency electronic ballast design," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 37, no. 1, pp. 262–267, Jan./Feb. 2001.
- [25] F. E. Bisogno, A. R. Seidel, R. Holsbach, and R. N. Prado, "Resonant filter applications in electronic ballast," in *Proc. IEEE IAS'02 Annu. Meeting*, 2002, pp. 348–354.
- [26] J. Adams, T. J. Ribarich, and J. J. Ribarich, "A new IC for dimmable high-frequency electronic ballasts," in *Proc. IEEE APEC'99*, 1999, pp. 713–719.
- [27] C. S. Moo, Y. C. Hsieh, H. C. Yen, and C. R. Lee, "Fluorescent lamp model with power and temperature dependence for high-frequency electronic ballasts," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 39, no. 1, pp. 121–127, Jan./Feb. 2003.
- [28] F. T. Wakabayashi and C. A. Canesin, "A new model for tubular fluorescent lamps operated at high frequencies for dimmable applications," in *Proc. IEEE ISIE'03*, 2003. CD-ROM.
- [29] F. T. Wakabayashi and C. A. Canesin, "An improved design procedure for LCC resonant filter of dimmable electronic ballasts for fluorescent lamps, based on lamp model," in *Proc. IEEE IECON'03*, Nov. 2003. To be published. Data Sheet n PD60169-C, International Rectifier. [Online]. Available: <http://www.irf.com>
- [30] Y. Ji, R. Davis, C. O'Rourke, and E. W. M. Chui, "Compatibility testing of fluorescent lamp and ballast systems," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 35, no. 6, pp. 1271–1276, Nov./Dec. 1999.

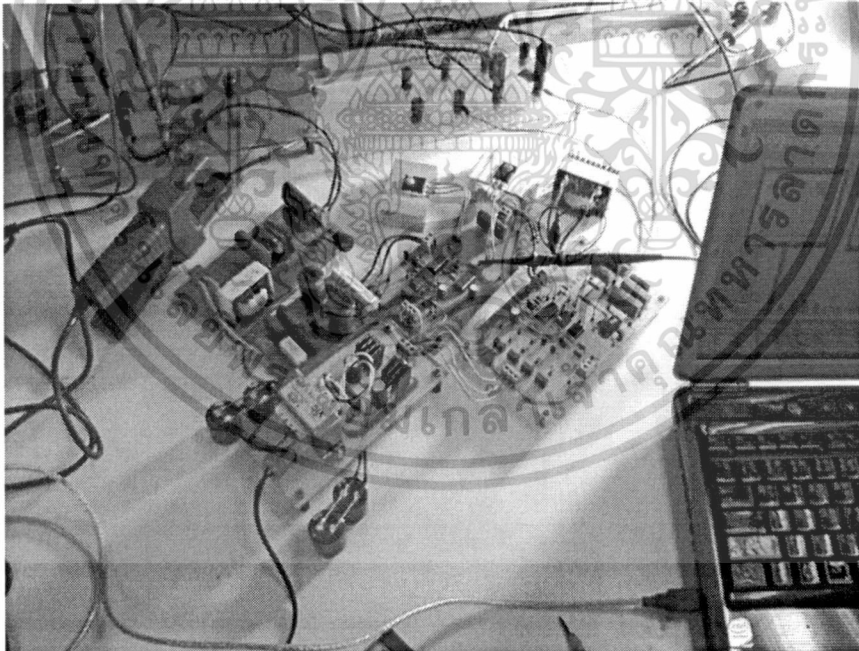


ภาคผนวก ก.
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก1 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ ก2 วงจรต้นแบบที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PROCEEDINGS
VOL. 1**

PW : Electrical Power System
PE : Power Electronics
GN : General Research Related to
Electrical Engineering

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33
1-3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่
33rd Electrical Engineering Conference
1-3 December 2010, Centara Duangtawan Hotel, Chiangmai, Thailand



ABB **CSG**
SOLUTION

111 ปี นวัตกรรมเพื่อสร้างสรรค์ เป็นปีแห่งวาระการเฉลิมฉลอง

50 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

40 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

20 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ วิเคราะห์และทดสอบสมรรถนะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วยวงจร
 วาลเลย์ฟิลล์สำหรับหลอดไอปรอทความดันสูง 250 วัตต์ ที่มีการควบคุมกำลังของหลอดไฟให้คงที่
 Design, Analysis and Performance Testing of An Electronic Ballast with Power Factor Improvement Using
 a Valley Fill Circuit for a 250 W High Pressure Mercury Vapour lamp with Constant Power Control

รัชชาวุฒิ บริบูรณ์¹ วีระ ชันยภักดิ์² ณรงค์ชัย พศพร³ และ วิจิตร กิณเรศ⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520
 โทร 023264550 โทรสาร 023264550

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตศาลายา จังหวัดสุพรรณบุรี 47160
 โทร 042 772 391-2

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดนครปฐม 73170
 โทร 02-889-4585-7 ต่อ 2001,02-4416000

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบ วิเคราะห์ และทดสอบสมรรถนะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขด้วยประกอบกำลังด้วยวงจรวาลเลย์ฟิลล์ (Valley Fill) ซึ่งเป็นวงจรชนิดพาสซีฟสำหรับหลอดไอปรอทความดันสูง 250 วัตต์ ซึ่งให้ข้อดีในเรื่องราคาถูกและลดความยุ่งยากในการควบคุมของการแก้ไขด้วยประกอบกำลังเมื่อเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขด้วยประกอบกำลังด้วยวงจรแบบแอคทีฟ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอมีค่าตัวประกอบกำลังสูงอยู่ประมาณ 0.95 เมื่อเทียบกับบัลลาสต์แบบแม่เหล็กที่มีข้อดีในเรื่องประสิทธิภาพ น้ำหนัก และความร้อนสะสม ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ใช้ LCC เรโซแนนท์ช่วยในการให้แรงดันสูงในขณะจุดหลอดและสามารถปรับกำลังไฟฟ้ได้โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ของกราดสวิทช์ในช่วงประมาณ 30-70kHz ช่วยในการปรับแสงนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้ของหลอดให้คงที่ได้

คำสำคัญ: บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์, วาลเลย์ฟิลล์ (Valley Fill), หลอดไอปรอทความดันสูง

ABSTRACT

This paper proposes design, analysis and implementation of electronic ballast with power factor correction using a valley fill circuit for 250 W high pressure mercury vapour lamp. Advantages are low cost and reduced complexity in power factor correction control compared with an active circuit. The proposed electronic ballast offers energy saving and 0.95 lagging power factor compared with a magnetic ballast having disadvantages in terms of efficiency, weight and collected heat. The LCC load resonant inverter is used for giving high voltage during ignition and providing power variation with changing high frequency in

the range of 30-70kHz resulting in dimming. The proposed electronic ballast is also capable of controlling constant lamp power.

Key words: Electronic Ballast, Valley Fill, High Pressure Mercury Vapour Lamp

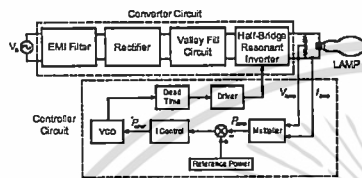
1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำหลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Vapour lamp) มาใช้ในงานส่องสว่างอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่สูง ในส่วนของบัลลาสต์ที่ใช้กันส่วนมากจะเป็นชนิดแม่เหล็ก (Magnetic Ballast) ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากรวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ (ประมาณ 0.4-0.6) จากปัญหาข้างต้นแนวทางที่จะลดความสูญเสียต่างๆ โดยการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาพัฒนาใช้งานแทนที่บัลลาสต์แม่เหล็กซึ่งจะให้ค่าตัวประกอบกำลังที่สูง การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การปรับปรุงแบบแอคทีฟและการปรับปรุงแบบพาสซีฟ การปรับปรุงแบบแอคทีฟจะเป็นรูปแบบคอนเวอร์เตอร์สวิทช์ ซึ่งจ่ายแรงดันเพิ่มแรงดัน (Boost Converter) เป็นวงจรพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไป สภาวะการรักษาระดับแอมเพอต์สูงสุดกว่าค่าสูงสุดของแรงดันอินพุต แต่จะต้องมีวงจรเพื่อบริหารควบคุมความถี่สวิทช์ ซึ่งต้องแลกกับความซับซ้อนและขนาดของวงจรที่ใหญ่ขึ้น ส่วนการปรับปรุงแบบพาสซีฟใช้มีวงจรวาลเลย์ฟิลล์ จากแนวคิดที่ผ่านมานี้จะนำไปใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับหลอดฟลูออโรลูมินีสเซนส์ (FL) ที่ใช้กำลังไฟฟ้ต่ำเมื่อเทียบกับหลอดไอปรอทความดันสูง วงจรมีขนาดที่กะทัดรัดและสามารถปรับกำลังการประกอบกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ต้องการค่าความเหนี่ยวนำและไม่ต้องการความถี่สวิทช์มากควบคุมแรงดันเอาต์พุต แต่แรงดันที่ได้จะแปรผันตามแรงดันอินพุต เป็นผลทำให้ไม่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้ตรงเอาต์พุตได้ ส่วนของวงจรจุดหลอดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในใช้ LCC เรโซแนนซ์ โดยนำวงจรเรโซแนนซ์มาใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยการควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมพบว่าเมื่อความถี่สวิทช์ที่ป้อนให้กับวงจรเรโซแนนซ์ที่เปลี่ยนแปลงนั้นเป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่ออกจากวงจรเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย[3] ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ความถี่ในอันดับกล่าวมาควบคุมกำลังไฟฟ้าของหลอดให้คงที่ได้โดยใช้เป็นวงจรชดเชยความถี่ชนิดโอมาชดเชยความถี่ที่ขาดหายไปของกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตไม่คงที่

2. วงจรการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 1. บล็อกโคจรแกมมาของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทังทั้ง

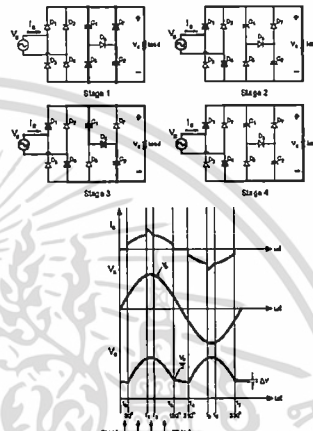
โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นสองภาคการทำงานหลัก ภาคการทำงานแรกเป็นภาคกำลังซึ่งประกอบไปด้วยวงจรกรองสัญญาณอินพุตที่ช่วยลดฮาร์มอนิกทางด้านอินพุตเชื่อมต่อไปยังวงจรแปรผันแรงดันความถี่ต่ำและวงจรเรโซแนนซ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังต่อเข้าวงจรโซแนนซ์ที่มีรีดักชันความถี่ซึ่งใช้เป็นวงจรหลอด ภาคการทำงานที่สองเป็นภาคควบคุมประกอบไปด้วยวงจรแปรผันกำลังซึ่งแรงดันที่ได้ขึ้นอยู่กับแรงดันกระแสตรง นำแรงดันที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงผ่านตัววงจรควบคุมชนิดโอเพิลลอปเพื่อควบคุมความถี่ของหลอดให้คงที่ในสภาวะที่แรงดันทางด้านไฟโอดีเปลี่ยนแปลง เช่น ไฟตก ไฟเกิน

3. วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

สัญญาณรูปคลื่นที่ออกจากวงจรเรโซแนนซ์โดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (ประมาณ 0.4-0.6) มีฮาร์มอนิกและกระแสกระเพื่อมสูง หากต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณทำได้โดยการต่อวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่เป็น รีฟิเรกทูเลเตอร์ (PFC Pre-regulator) โดยในรูปที่ 2 เป็นสภาวะการทำงานวงจรเรโซแนนซ์ สภาวะที่หนึ่งเมื่อแรงดันโอดีอินพุตต่ำกว่าแรงดันตัวเก็บประจุตัวคู่ ตัวเก็บประจุ C₁ และ C₂ จะขนานกันผ่านทาง D₁ และ D₂ โดย C₁ เท่ากับ C₂ ผลรวมประจุเท่ากับ C₂ หรือ 2C₂ สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) [5]

$$E = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 + \frac{1}{2} C_2 V_2^2 - \frac{1}{2} (2C_2) \left(\frac{V_1}{2}\right)^2 \quad (1)$$

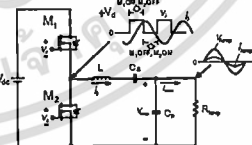
โดย E=1.64 และ V₁=311 ได้ค่า C₁=68nF สภาวะที่สองกับสภาวะที่หนึ่งช่วงที่แตกต่างจากวงจรเรโซแนนซ์ทั่วไปเมื่อแรงดันโอดีอินพุตสูงกว่าแรงดันโอดี D₁ และ D₂ จะถูกไบอัสกลับทำให้กระแสไหลถูกดึงโดยตรงจากแรงดันโอดี เกิดการลัดทอนกระแสหลักที่เป็นเก็งโซนทำให้รูปคลื่นกระแสหลักมีลักษณะรูปคลื่นแรงดันเป็นคลื่นทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่งและสภาวะที่สามเมื่อ D₁ เริ่มทำงานแรงดันอินพุตจะเกินผลรวมของแรงดันกร่อม C₁ และ C₂ ทำให้กระแสในสภาวะนี้เกิดเป็นฮอตเทม เหมือนกับวงจรเรโซแนนซ์ทั่วไป



รูปที่ 2. วงจรเรโซแนนซ์ฟิล์มและรูปคลื่นสัญญาณ

4. วงจรเรโซแนนซ์อินเวอร์เตอร์

เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์คาทาคติซึ่งบริดจ์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรหลอดเรโซแนนซ์ การทำงานจะมีสวิทช์อินพุต M₁ และ M₂ ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง เมื่อรีดักชันคกรวมสวิทช์จะได้ค่าสูงสุดเท่ากับ +V_d และค่าแรงดันต่ำสุดเท่ากับศูนย์ กระแสไหลผ่านหลอดเป็นรูปคลื่นไซน์โดยอินเวอร์เตอร์แบบคาทาคติจะให้กำลังไฟที่เหมาะสมกับหลอดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนักซึ่งจะต้องจ่ายแรงดันและกระแสในปริมาณที่เพียงพอให้กับวงจรโซแนนซ์และค่าของ LCC_p ที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะทำได้ หลอดไฟผลิตขึ้นได้



รูปที่ 3. วงจรอินเวอร์เตอร์คาทาคติ LCC_p resonant inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบส่วนประกอบ LC, C, อาศัยตารางที่ 1 [2]

Parallel Resonant Frequency	Characteristic Impedance	Parallel Quality Factor
$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC_r}}$	$Z_r = \frac{1}{\omega_r C_r}$	$Q_r = \frac{R_{mp}}{Z_r}$

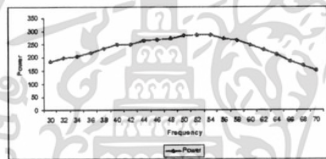
ตารางที่ 1. สูตรความถี่พ้องพารามิเตอร์ของ LC, C_r resonant Inverter

หลอดไอปรอทความถี่สูงที่ใช้ทดสอบชื่อ PHILLIP รุ่น HPL-N 250 HG ในสภาวะการทำงานคงที่ของหลอด P_{amp} = 250 W, V_{amp} = 135 V_{max}, I_{amp} = 2.10 A_{max}, R_{amp} = 64.29 Ω ใช้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 52 kHz นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ตามตารางที่ 2

L	C ₁	C ₂
210 μH	94 nF	84 nF

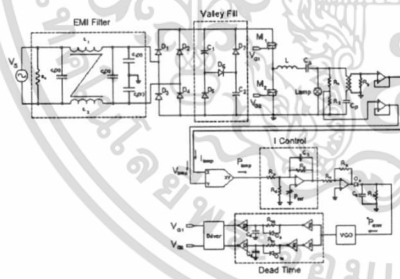
ตารางที่ 2. ค่าพารามิเตอร์ของ LC, C_r resonant inverter

นำค่าที่ได้จากร่างมาจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม Orad PSpice ได้เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังไฟของหลอด



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ของ Frequency กับ Power

5. วงจรควบคุมกำลังไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

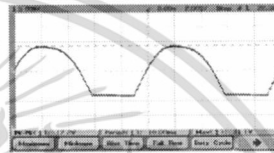


รูปที่ 5. วงจรรวมของวงจรกำลังและวงจรควบคุมกำลังไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 5 เป็นการทำงานวงจรควบคุมกำลังไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยตรวจจับสนแรงดันไฟที่ตกคร่อมหลอด (V_{amp}) มาทำการคูณกับกระแสไฟฟ้ที่ไหลผ่านหลอด (I_{amp}) จะได้กำลังไฟของหลอดไฟ (P_{amp}) นำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกำลังไฟอ้างอิง (P_{ref}) ผ่านตัวควบคุมแบบโอซึ่งจะทำให้การชดเชยค่าผิดพลาดของระบบ จากนั้นสัญญาณ (P_{err}) จะถูกส่งไปยังวงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์เพื่อนำไปจับกับสวิตช์ขั้วต่อของวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อไป [3]

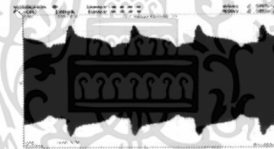
6. การทดลอง

ในหัวข้อนี้เป็นผลที่ได้จากการทดลองค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดันอินพุต V_s = 220 Vrms

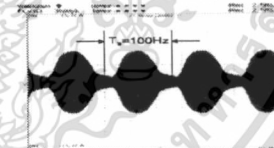


รูปที่ 6. แรงดันเอาต์พุตของวงจรบัลลาสต์ (125 V/div, 2 ms/div)

จากรูปที่ 6 เป็นลักษณะของรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากวงจรบัลลาสต์ซึ่งสอดคล้องกับบทปฏิบัติการวิเคราะห์ในรูปที่ 2



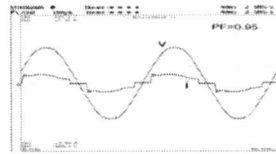
รูปที่ 7. รูปคลื่นแรงดันหลอด (75 V/div, 40 ms/div)



รูปที่ 8. รูปคลื่นกระแสหลอด (2.5 A/div, 40 ms/div)

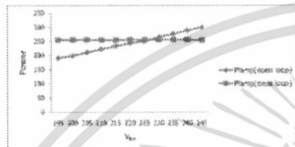
จากรูปที่ 7 และ 8 เป็นลักษณะของแรงดันกับกระแสที่ได้จากหลอดไฟมีลักษณะเป็นแฉกเกิดจากการกระเพื่อมของแรงดันที่มีความถี่ 100 Hz โดยภายในเกิดความถี่ที่ต่างกัน เกิดการลatchingของกระแสซึ่งส่งผลกับกำลังไฟฟ้ที่หลอดเพราะเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุมให้คงที่



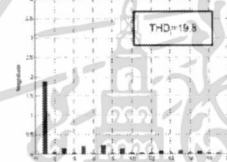


รูปที่ 9. รูปคลื่นแรงดันอินพุต (150 V/div, 40 ms/div) และกระแสอินพุต (2.5 A/div, 40 ms/div)

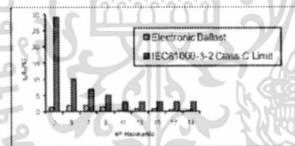
ในรูปที่ 9 เป็นลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันกับกระแสอินพุตนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าช่วงเวลาที่กระแสกลับขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่าประกอบกำลังสูงมีค่าใกล้เคียงหนึ่งมากขึ้น



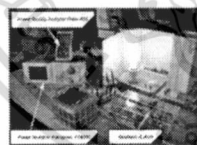
รูปที่ 10. กำลังไฟที่ของหลอดไฟ



รูปที่ 11. ค่าฮาร์มอนิกที่ได้จากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 12 ผลการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกที่ได้จากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับมาตรฐาน IEC61000-3-2 Class C Limit



รูปที่ 13. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในทดลอง

ตารางที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ของหลอดไฟที่ไม่ได้มีการควบคุมกำลังไฟในแต่ละขณะที่มีการควบคุมกำลังไฟที่ของหลอด ผลจาก

การควบคุมกำลังไฟที่ของหลอดไฟที่ของหลอดไฟที่ รูปที่ 11 เป็นค่าฮาร์มอนิกของกระแสอินพุตที่ได้จากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ %THD ที่ได้นั้นยังสูง แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่นำมา[5] ซึ่งเป็นผลจาการกรองสัญญาณที่เพิ่มเข้ามาซึ่งการใส่ค่า THD, ค่าที่น้อยต้องเพิ่ม Passive Filter เข้าไปอีก ซึ่งจะเพิ่มการเพิ่มราคาและขนาดของวงจรซึ่งในรูปที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าฮาร์มอนิกที่ได้จากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เทียบกับมาตรฐาน IEC61000-3-2 Class C Limit [4] ค่าที่ฮาร์มอนิกที่ได้จะต้องไม่เกินค่ามาตรฐานซึ่งค่าที่ได้จากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าที่น้อยมากซึ่งมีผลทำให้การคิดต้นทุนของสัญญาณน้อยลง

6. สรุป

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้นี้สามารถใช้งานได้กับหลอดไฟประเภทความดันไอสูง 250 W โดยได้มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวงจรพาสซีฟที่ช่วยลดการบิดเบือนของสัญญาณที่เข้ามาในขั้วอินพุตของหลอดไฟที่นำมาทำการทดลองเปรียบเทียบกับรูปที่ประกอบกำลังด้วยวงจรโซลิตอนที่อินเวอร์เตอร์ที่ตามหลักการและทฤษฎี ในกระบวนการควบคุมกำลังไฟที่ของหลอดไฟที่ได้ใช้วิธีการที่เพิ่มและลดความถี่ของอินเวอร์เตอร์จากวงจรควบคุมขั้วไอ ค่าที่ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลังอยู่ในค่าที่น้อยนับได้

เอกสารอ้างอิง

1. Mustansir H. Kheraluwala , Sayed Amr El-Hanamsy "Modified valley fill high power factor electronic ballast for compact fluorescent lamps", PESC'95 ,P.10-14,1995.
2. Christian Branas, Francisco J. Azcondo, Salvador Bracho "Evaluation of an electronic ballast circuit for HID lamps with passive power factor correction", IECON 02 Industrial Electronics Society, Volume1, pp. 371-376, 5-8 Nov 2002.
3. Ch. Branas, F. Azcondo, S. Bracho, "Study of Output Power Variation due to Component Tolerances in LCsCp Resonant Inverters Applied to HPS Lamp Control", Proceeding of IECON'01, pp. 1021-1026.
4. European Standard EN61000-3-2, "Limit for Harmonic Current Emissions", 2001.
5. John Chi Wo Lam, Member, IEEE, and Praveen K. Jain, Fellow, IEEE, "A Modified Valley Fill Electronic Ballast Having a Current Source Resonant Inverter With Improved Line-Current Total Harmonic Distortion (THD), High Power Factor, and Low Lamp Crest Factor" IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol.55, No.3, March 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล นายรัฐทาวุฒิ บริบูรณ์
วัน เดือน ปี เกิด วันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2528
ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดร้อยเอ็ด
ที่อยู่ปัจจุบัน 47 ถ. รณชัยชาญยุทธ 23 ต. ในเมือง อ. เมือง
จ. ร้อยเอ็ด 45000
ประวัติการศึกษา ระดับปริญญาตรี : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยสยาม ปีการศึกษา 2551
งานวิจัยที่สนใจ อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประยุกต์ใช้งาน (Power Electronics and Its
Application)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้