

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียม
ความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์คลาส D แบบ LCC ที่มีการ
ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่

DESIGN AND ANALYSIS OF AN ELECTRONIC BALLAST FOR A 250-W
HIGH PRESSURE SODIUM LAMP USING A CLASS-D LCC INVERTER
WITH CONSTANT LAMP POWER CONTROL

ภูธร พงษ์ไทย
PUYTHON PONGTHAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

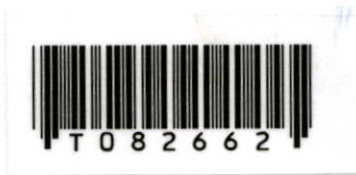
พ.ศ. 2551

KMITL-2003-EN-M-020-355

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียม
ความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์คลาส D แบบ LCC ที่มีการ
ควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่

**DESIGN AND ANALYSIS OF AN ELECTRONIC BALLAST FOR A 250-W
HIGH PRESSURE SODIUM LAMP USING A CLASS-D LCC INVERTER
WITH CONSTANT LAMP POWER CONTROL**



ภูธร พงษ์ไทย
PUTHON PONGTHAI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....82662
วัน,เดือน,ปี...21 ก.ค. 2551

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551
KMITL-2008-EN-M-020-355

**DESIGN AND ANALYSIS OF AN ELECTRONIC BALLAST FOR A 250-W
HIGH PRESSURE SODIUM LAMP USING A CLASS-D LCC INVERTER
WITH CONSTANT LAMP POWER CONTROL**

PUTHON PONGTHAI

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

2008

KMITL-2008-EN-M-020-355

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

กำหนดหัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด โซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์คลาส D แบบ LCC ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่
นักศึกษา	นายภูธร พงษ์ไทย
รหัสประจำตัว	47060215
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์คลาส D แบบ LCC ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ซึ่งภายในประกอบไปด้วย วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ที่ร่วมใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง และวงจรอินเวอร์เตอร์คลาส D ที่ป้อนพลังงานให้กับหลอดไฟ จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เน้นที่การออกแบบและวิเคราะห์การจุกใส่หลอดโซเดียมความดันสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วงจรจุกหลอดแบบภายใน โดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แบบ LCC ร่วมในการวิเคราะห์ และการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ทำให้การทำงานของระบบมีเสถียรภาพ จากหลักการที่ได้แนะนำเสนอนี้ง่ายต่อการออกแบบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ยังได้มีการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (OrCAD) ข้อมูลที่ได้จากการจำลองจะเป็นแนวทางในการออกแบบ ในตอนท้ายของวิทยานิพนธ์นี้ยังได้นำเสนอการสร้างเครื่องต้นแบบและทดสอบภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

Thesis Title	Design and Analysis of an Electronic Ballast for a 250-W High Pressure Sodium Lamp using A Class-D LCC Inverter with Constant Lamp Power Control
Student	Mr. Puthon Pongthai
Student ID.	47060215
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinneres

ABSTRACT

This thesis proposes the design and construction of an electronic ballast for a 250-W high sodium lamp, using a class-D LCC inverter with constant power control. The system consists of a power factor correction-boost converter and a inverter class-D supplying energy to the lamp. The aim of the research is to design and analyze the start-up for high pressure sodium lamps, using a LCC resonant circuit combined with constant power control of the lamp resulting in an operation stability. The proposed technique provides simplicity of the design and the prototype can operate successfully. In addition, the simulation by OrCAD for a guideline in the design is given. In the final part, the prototype has been constructed and tested under various operating conditions. The test results appear satisfactory.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความกรุณาของ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า

ขอกราบพระคุณประธานกรรมการและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ชี้แนะแนวทางในการออกแบบ ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัย ECC 405 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ได้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมาและโดยเฉพาะอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณสำนักห้องสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้สนับสนุนข้อมูลและหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณพ่อสตี๊ดชัย คุณแม่ชูลีพร ญาติพี่น้องของข้าพเจ้าทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภูธร พงษ์ไทย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
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 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย.....	3
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลอดโซเดียมความดันสูง.....	5
2.2.1 โครงสร้างของหลอด.....	5
2.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของหลอด.....	7
2.2.3 คุณสมบัติของหลอด.....	8
2.3 บัลลาสต์ที่ใช้ร่วมกับหลอดโซเดียมความดันไอสูง.....	9
2.3.1 หน้าที่ของบัลลาสต์.....	10
2.3.2 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์.....	11
2.4 บทสรุป.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	12
3.1 บทนำ.....	12
3.2 โครงสร้างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	12
3.3 วงจรกรองอีเอ็มไอ.....	12
3.3.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ.....	13
3.3.2 ลักษณะวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	14
3.4.3 หลักการของวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	15
3.4 วงจรเรียงกระแส.....	16
3.4.1 หลักการทำงานวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด.....	17
3.5 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	18
3.5.1 วงจรบุสคอนเวอร์เตอร์ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	22
3.5.2 วงจรควบคุมที่ใช้เทคนิคการควบคุมแบบเส้นแบ่งเขต.....	24
3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์.....	25
3.6.1 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	26
3.6.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์.....	26
3.6.2 อินเวอร์เตอร์แบบคลาสตี.....	27
3.7 วงจรเรโซแนนท์.....	28
3.7.1 วงจรเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด.....	28
3.7.2 วงจรเรโซแนนท์ขนานกับโหลด.....	30
3.8.3 วงจรเรโซแนนท์อนุกรม-ขนานกับโหลด.....	32
3.8 วงจรจุดหลอด.....	35
3.8.1 วงจรจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	35
3.8.1 วงจรจุดหลอดแบบภายนอก.....	36
3.8.2 วงจรจุดหลอดแบบภายใน.....	37
3.9 บทสรุป.....	38
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบที่นำเสนอ.....	39
4.1 บทนำ.....	39
4.2 การออกแบบวงจรกรองอีเอ็มไอ.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y”	40
4.2.2 ตัวเหนี่ยวนำ.....	40
4.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแส.....	41
4.4 การออกแบบวงจรวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	43
4.4.1 คุณสมบัติของ ไอซี L6561.....	43
4.4.2 วงจรการทำงานภายในของไอซีL6561	44
4.4.3 การออกแบบวงจรภาคกำลัง	47
4.4.4 การออกแบบวงจรการทำงานภายนอกของไอซี L6561	48
4.4.5 การออกแบบวงจรชดเชยแรงดัน.....	50
4.5 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์.....	53
4.6 การออกแบบวงจรควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิกที่มีการควบคุมกำลัง ไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่.....	54
4.6.1 วงจรตรวจจับแรงดันคร่อมโหลด	55
4.6.2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านโหลด	55
4.6.3 การออกแบบวงจรควบคุมสัญญาณ	56
4.6.4 วงจรหาค่าเฉลี่ย.....	56
4.6.5 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง.....	58
4.6.6 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ	58
4.6.7 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์	61
4.6.7 วงจรปรับแต่งเวลาเดทไทม์.....	62
4.6.8 วงจรจับแกตมอสเฟต.....	63
4.6.8 วงจรเปลี่ยนสถานะการจุดโหลดสู่การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่	64
4.7 การออกแบบวงจรจุดโหลด.....	65
4.8 บทสรุป.....	68
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ.....	75
5.1 บทนำ.....	75
5.2 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	77
5.2.1 การวัดบันทึกค่าแรงดันจุดโหลด	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต	78
5.2.3 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านโหลดไฟ.....	80
5.2.4 การวัดบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า	82
5.3 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	83
5.3.1 การวัดบันทึกค่าแรงดันจุดโหลด	83
5.3.2 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต	84
5.3.3 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านโหลดไฟ.....	86
5.2.4 การวัดบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า	88
5.4 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึง สภาวะคงที่พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	89
5.4.1 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	89
5.4.2 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	93
5.4.3 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัล ลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	97
5.4.4 การทดสอบเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อ เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	101
5.5 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดัน ไฟฟ้าด้านอินพุต มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 196 ถึง 244 โวลต์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ ชนิดแกนเหล็ก.....	102
5.5.1 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	102
5.5.2 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	106
5.5.3 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัล ลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	110
5.5.4 การทดสอบเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อ เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	115
5.6 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อ ควบคุมปริมาณค่าฟลักซ์ส่องสว่างของโหลดไฟ.....	117

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.7 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสง ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	123
5.8 บทสรุป.....	124
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	125
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	125
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	126
เอกสารอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย.....	129
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ.....	132
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ.....	135
ประวัติผู้เขียน.....	143

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูง 8
2.2	เปรียบเทียบคุณสมบัติข้อดี-ข้อเสียของหลอดโซเดียมความดันสูง 8
2.3	การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างบัลลาสต์แกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 12
3.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ระหว่างแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ 24
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน 71
4.2	แรงดันตกคร่อมหลอดที่พิกัดแรงดัน Vdc 60 – 360 โวลต์ 72
5.1	ข้อกำหนดในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 75
5.2	การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่ สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ 89
5.3	การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุด หลอดจนถึงสภาวะคงที่ 91
5.4	การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ 93
5.5	การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สภาวะจุด หลอดจนถึงสภาวะคงที่ 95
5.6	การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ของบัล ลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 101
5.7	การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณบัลลาสต์ ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 102
5.8	การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 104
5.9	การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 106
5.10	การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของบัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 108
5.11	การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ... 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.12 การทดสอบบันทึกค่าความถี่, แรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง	117
5.13 การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับ ค่าแรงดันอ้างอิง	119
5.14 การทดสอบบันทึกค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์, ค่าความผิดเพี้ยนสัญญาณ, ค่าฟลักซ์ส่อง สว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง	121
5.15 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของ บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	123

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง 6
2.2	ลักษณะของหลอดโซเดียมความดันสูง 7
2.3	การกระจายแสงทางสเปกตรัมของหลอดโซเดียมความดันสูง 8
2.4	คุณลักษณะของกระแสและแรงดันของหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดถึงสภาวะคงตัว (อัตราส่วน โดยประมาณ) 9
2.5	บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ 10
2.6	บัลลาสต์ชนิดเล็ก 10
2.7	บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ 11
2.8	บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ 11
3.1	ไดอะแกรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ 15
3.2	เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง 16
3.3	เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม 17
3.4	ลักษณะการต่อ LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน 18
3.5	ลักษณะการทำงานของวงจรกรองอีเอ็มไอในย่านความถี่ต่าง ๆ 19
3.6	ชนิดของวงจรเรียงกระแสชนิด 1 เฟส แบบต่างๆ 19
3.7	รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากจากวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง 21
3.8	Passive power factor correction แบบที่ 1 22
3.9	Passive power factor correction แบบที่ 2 22
3.10	Passive power factor correction แบบที่ 3 23
3.11	Passive power factor correction แบบที่ 4 23
3.12	วงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิ่งไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ... 24
3.13	วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ 25
3.14	วงจรสมมูลย์เมื่อสวิตช์นำกระแส 26
3.15	แรงดันที่ตกคร่อมและกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ 27
3.16	วงจรสมมูลย์เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส 28
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับคิวดั้ไซเคิล 29
3.18	วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ที่นำไปใช้การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง 30
3.19	สัญญาณรูปคลื่นการทำงานของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 วงจรกำลังและสัญญาณรูปคลื่นของโพลคอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์	33
3.21 วงจรกำลังและสัญญาณรูปคลื่นของโพลคอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์	33
3.22 วงจรพื้นฐานเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด	34
3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนท์ของวงจร เรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด (PLR) โดยมีค่า $Q_p = 1-5$	35
3.24 วงจรพื้นฐานเรโซแนนท์ขนานกับโหลด.....	36
3.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนท์ของวงจร เรโซแนนท์ขนานกับโหลด (PLR) โดยมีค่า $Q_p = 1-5$	37
3.26 วงจรพื้นฐานเรโซแนนท์อนุกรม-ขนานกับโหลด	38
3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนท์ของวงจร เรโซแนนท์ขนาน-อนุกรมกับโหลด (PLR) โดยมีค่า $Q_p = 1-5$	40
3.28 วงจรจุดหลอดและแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....	41
3.29 วงจรจุดหลอดแบบภายนอกและแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด	42
3.30 วงจรจุดหลอดภายในแบบ LCC	43
4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่นำเสนอ.....	45
4.2 วงจรอีเอ็มไอฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบ	47
4.3 วงจรเรียงกระแสที่ได้ออกแบบ	48
4.4 Internal Block Diagram ของไอซี L6561	49
4.5 Internal Supply Block	50
4.6 Error Amplifier and Overvoltage Detector Block	50
4.7 Zero Current Detection and Triggering and Disable	51
4.8 Multiplier Block.....	51
4.9 Current Comparator and PWM Latch.....	52
4.10 Driver	52
4.11 ความสัมพันธ์ในการจัดเตรียมตัวคูณของไอซี L6561	55
4.12 ผลตอบสนองเชิงความถี่แสดงอัตราขยายในการออกแบบตัวชดเชย $G_{vc}(s)$, $G_c(s)$	57
4.13 แผนภาพโบคของฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	58
4.14 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้ไอซีเบอร์ L6561 ที่ได้ออกแบบ	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ที่ได้ออกแบบ..... 63
4.17	ระบบควบคุมแบบลูปปิดเพื่อควบคุมสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ 64
4.18	วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลด 64
4.19	วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านโหลด 65
4.20	วงจรอุณหภูมิสัญญาณ..... 65
4.21	วงจรหาค่าเฉลี่ย 67
4.22	วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง 67
4.23	วงจรตัวควบคุมแบบพีไอ 69
4.24	กระบวนการของตัวควบคุมพีไอ 70
4.25	วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์..... 71
4.26	การออกแบบวงจรปรับแต่งเวลาเคทใหม่..... 72
4.27	การออกแบบวงจรจับสัญญาณโดยไอซีเบอร์ IR2110..... 73
4.28	วงจรเปลี่ยนสถานะการจุดโหลดสู่การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่..... 74
4.29	วงจรจุดโหลดแบบ LCC..... 75
5.1	การวัดแรงดันจุดโหลดจากอิกนิเตอร์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 77
5.2	แรงดันจุดโหลดจากอิกนิเตอร์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก..... 77
5.3	การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก..... 78
5.4	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก..... 79
5.5	การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านโหลดไฟของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 80
5.6	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสด้านโหลดไฟของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 81
5.7	การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก..... 82
5.8	ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และค่า THDi ด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 82
5.9	การวัดแรงดันจุดโหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 83
5.10	แรงดันที่ใช้ในการจุดโหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 83
5.11	การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 84
5.12	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 84
5.13	การวัดแรงดันและกระแสด้านโหลดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14	รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 87
5.15	การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 88
5.16	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และค่า THDi ด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 88
5.17	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่..... 90
5.18	กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่..... 92
5.19	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่..... 94
5.20	กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่..... 96
5.21	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 98
5.22	กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 100
5.23	กราฟค่า Luminous Flux ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ 101
5.24	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันไฟฟ้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 104
5.25	กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันไฟฟ้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์..... 106
5.26	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันไฟฟ้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 108
5.27	กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันไฟฟ้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์..... 110
5.28	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์..... 112
5.29	กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันไฟฟ้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ 114

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.30	กราฟค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และความผิดเพี้ยนสัญญาณ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์..... 115
5.31	กราฟค่า Luminous Flux เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต..... 116
5.32	การปรับแรงดันอ้างอิงเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 117
5.33	กราฟแสดงค่าความถี่เมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง..... 118
5.34	กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่..... 119
5.35	กราฟกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่..... 120
5.36	กราฟค่า Power Efficiency เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่..... 121
5.37	กราฟค่า THDi ทำการปรับเปลี่ยนความถี่..... 122
5.38	กราฟค่า Luminous Flux เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่..... 122
5.39	กราฟค่า Luminous Flux เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าด้านอินพุต..... 122
5.40	กราฟค่า Luminous Efficiency เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่..... 122

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการมีนำพลังงานมาใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า เมื่อพิจารณาในส่วนของระบบส่องสว่างจะเห็นว่าการใช้พลังงานในส่วนนี้มีความจำเป็นและมีส่วนสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นในบทความวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะจัดการพลังงานไฟฟ้าด้านส่องสว่างให้เป็นไปอย่างเหมาะสมเกิดประโยชน์สูงสุด เมื่อพิจารณาในส่วนของหลอดไฟตระกูลคายประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge Lamp) ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานส่องสว่างอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูง โดยเฉพาะหลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp) ทั้งในส่วนของกาให้แสงสว่างภายในและภายนอกอาคารรวมทั้งในแวดวงอุตสาหกรรม องค์ประกอบในการให้แสงสว่างของหลอดไฟชนิดนี้ประกอบไปด้วยหลอดไฟ, บัลลาสต์และอิเหนอร์ แต่ทว่าบัลลาสต์ที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ในปัจจุบันคือบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (Magnatic Ballast) จากการศึกษาการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กพบว่าก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานทางไฟฟ้าจำนวนมาก ประกอบไปด้วยการสูญเสียในแกนเหล็ก, การสูญเสียในขดลวดทองรวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จากปัญหาข้างต้นแนวทางที่จะลดการสูญเสียต่างๆ โดยการนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาพัฒนาเพื่อใช้งานร่วมกับหลอดไฟแทนบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก รวมทั้งการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้นำไปใช้งานในสภาวะต่างๆ เช่น ไฟฟ้าตก ไฟฟ้าเกิน และการกระชากของแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น

การจุดไส้หลอดโซเดียมความดันสูงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก อิเหนอร์จะสร้างแรงดันสูงประมาณ 2,000 ถึง 4,000 โวลต์[1],[17] เพื่อใช้ในการจุดหลอดจนกระทั่งเมื่อหลอดจุดติดแล้วก็ยังมีแรงดันตกคร่อมหลอดตลอดเวลาที่ใช้งานทำให้เกิดการสูญเสียมาก สำหรับวงจรจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะใช้วงจรจุดหลอดแบบภายนอก (External Ignitor)[1], [3], [9] ซึ่งในการทดสอบพบว่าวงจรจุดแบบนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น วงจรรวมมีขนาดใหญ่, มีน้ำหนักโดยรวมมากและอายุการใช้งานที่สั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะใช้วงจรจุดหลอดแบบภายใน (Internal Ignitor) โดยใช้หลักการโซแนนท์แบบ LCC ร่วมในการวิเคราะห์ [2], [6], [7]

บัลลาสต์แกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ที่ได้มีการจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปประสิทธิภาพโดยรวมเช่นค่าตัวประกอบกำลังถือว่าต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น โดยมีการนำวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ร่วมใช้ในการปรับปรุงแก้ไขค่าตัว

ประกอบกำลัง[8], [13] และมีการใช้เทคนิคการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่[3], [5], [12] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวิธีการออกแบบวงจรที่ง่าย เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้จริง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาหลักการทํางาน โครงสร้าง และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนศึกษาการทํางานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยทั้งวงจรกำลังและวงจรควบคุม เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบเดิมและแบบที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่สร้างขึ้นไปทดสอบใช้งานจริงในสภาวะต่างๆ เช่น ไฟฟ้าตก ไฟฟ้าเกิน และการกระชากของแรงดันไฟฟ้า

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบสำหรับโหลดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์คลาสตีแบบ LCC ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าให้คงที่ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบเดิมทั่วไปไม่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ (ประมาณ 0.5-0.7) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ประยุกต์ใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงรวมทั้งปรับปรุงค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณกระแสด้านอินพุต การจุดไส้หลอดโซเดียมความดันสูงของอินดิเคเตอร์โดยทั่วไปจะใช้แรงดันสูงประมาณ 2,000 ถึง 4,000 โวลต์หลอดไฟถึงจะติดได้ แต่ทว่าวงจรจุดหลอดแบบภายในที่นำเสนอโดยใช้หลักการ LCC เรโซแนนท์จะให้กำเนิดแรงดันประมาณ 2,000 ถึง 3,000 โวลต์ แรงดันสูงพอที่จะจุดไส้หลอดโซเดียมความดันสูงได้และได้มีการนำเทคนิคการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ ซึ่งทำให้สมรรถนะรวมทั้งประสิทธิภาพของระบบโดยรวมดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

นอกจากนี้ข้อพิจารณาในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงสำหรับหลอดตระกูลคายประจุความเข้มสูงที่ต้องคำนึงถึงคือ การเกิดอะคูสติกรีโซแนนท์ [9],[10] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานกับหลอดชนิดเมทัลฮาไลด์ การวิเคราะห์ปัญหาจากหลายสาเหตุได้อธิบายถึงอะคูสติกรีโซแนนท์ คือ คาบเวลากำลังไฟฟ้านั้นด้านอินพุตที่มาจากกรรวมสัญญาณของการดิซชาร์จกระแส เป็นเหตุให้ความดันของปริมาณก๊าซที่บรรจุในหลอดแกว่งขึ้นลงไปมาถ้าหากว่าความถี่ที่ กำลังไฟฟ้าจุดนั้นมีความความสัมพันธ์กับความถี่ Eigen Frequency ของหลอดและความถี่ของกำลังไฟฟ้านั้นมากเกินไปกว่าค่ามาตรฐาน จนกระทั่งเข้าสู่ค่าที่ทำให้รูปคลื่นที่เกิดขึ้นในกระบอกอาร์กลักษณะที่ดังขึ้นมากขึ้นซึ่งสภาวะที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าอะคูสติกรีโซแนนท์ อะคูสติกรีโซแนนท์ที่เกิดขึ้นได้สร้างปัญหาหลายอย่าง เช่น การเกิดอาร์คจากการไร้เสถียรภาพ, แสงจาก

หลอดไฟไม่สม่ำเสมอ, อุณหภูมิของหลอดมีการเปลี่ยนแปลงทำให้สีที่เปล่งออกมาแปรผันตาม อาจจะมีแรงถึงขั้นที่หลอดไฟดับ รวมทั้งการเกิดรอยร้าวของท่อที่อยู่ภายในหลอดได้ จากการศึกษาวิเคราะห์พบว่าข้อพิสูจน์ที่กำจัดอะคูสติกรีโซแนนซ์ด้วยหลักการที่ว่า คือ การทำงานของหลอดไฟที่ฟรีความถี่ของอะคูสติกรีโซแนนซ์หรือการจ่ายให้กับหลอดไฟโดยกระแสรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ต่ำ [10]

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 หัวข้อใหญ่

1.4.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง

1.4.2 วงจรจุดหลอดสำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง ซึ่งจะกล่าวถึงการจุดไส้หลอดโซเดียมความดันสูง การออกแบบวงจรที่เหมาะสมในการใช้งานจริง

1.4.3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่ ซึ่งจะกล่าวถึง เทคนิคการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่ ทำให้สมรรถนะรวมทั้งประสิทธิภาพของระบบโดยรวมดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้คือการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์หลักการทำงานและการควบคุมการทำงานรวมทั้งจำลองการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งออกแบบวงจรควบคุมและสร้างวงจรกำลัง สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250วัตต์ โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่ ให้สามารถใช้งานและมีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพื่อทดสอบให้ผลการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้คือ พิกัดกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์, ระบบไฟฟ้าป้อนเข้า 196-244 โวลต์, ค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.90, ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตไม่เกิน 25 %, ค่า Ballast Lumen Factor ไม่น้อยกว่า 94 %, ค่า Crest Factor ไม่เกิน 1.7, ประสิทธิภาพของระบบมากกว่า 90 %, รวมทั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบต้องประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก 10 %

1.6 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีจากบทความ, วารสาร, เอกสาร และตำราต่างๆ ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

1.4.2 วิเคราะห์การทำงานของวงจรกำลังและวงจรควบคุมการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1.4.3 ออกแบบวงจรการทำงานโดยการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ บนโปรแกรมสำเร็จรูป PSpice

1.4.4 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการวิจัย

1.4.5 ทดสอบเครื่องต้นแบบตามขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.4.6 เขียนวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์, การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ ซึ่งสามารถแบ่งรายละเอียดที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์เป็น 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และโครงสร้างวิทยานิพนธ์ซึ่งกล่าวถึงเนื้อหาคร่าวๆ ของแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

บทที่ 3 วงจรที่ใช้ในการออกแบบสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การวิเคราะห์วงจร การเลือกวงจรที่เหมาะสมกับงานวิจัย สภาพะการทำงานของวงจร พร้อมทั้งกล่าวถึงเทคนิคการสร้างวงจรกำลังและวงจรควบคุมควบคุม

บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ กล่าวถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ การออกแบบวงจรต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบทั้งวงจรกำลังและวงจรควบคุมที่ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ กล่าวถึงผลการจำลองและผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ รวมถึงการทดสอบเครื่องต้นแบบด้วยเงื่อนไขการทำงานต่างๆ

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัย ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการพัฒนาจวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยหลอดโซเดียมความดันสูง บัลลาสต์ที่ใช้งานร่วมกับหลอดโซเดียมความดันสูง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

2.2 หลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดไฟชนิดคายประจุความเข้มสูง (High Intensity Discharge Lamp) ซึ่งหลอดที่อยู่ในตระกูลนี้ประกอบด้วย หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp) หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp) และหลอดไอปรอท (Mercury Vapor Lamp)

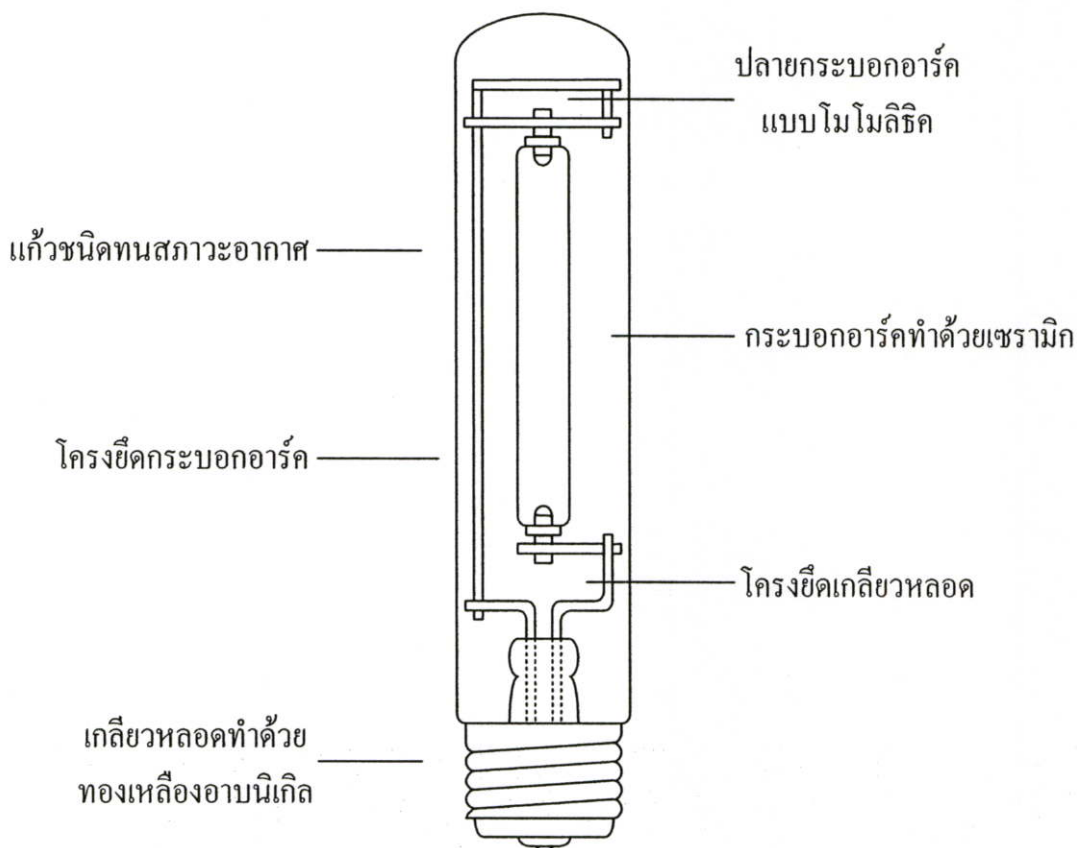
หลักการให้แสงสว่างของหลอดตระกูลนี้คือ การที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่อยู่ห่างกัน ซึ่งก็เป็นหลักการที่คล้ายคลึงกับหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่อิเล็กโทรดของหลอดคายประจุความเข้มสูงจะอยู่ห่างจากกันเพียงไม่กี่นิ้ว โดยอยู่ที่แต่ละด้านของกระบอกอาร์ค (Arc Tube) ที่มีขนาดเล็กและจะมีลักษณะใสหรือขุ่นตามแต่ชนิดของหลอด กระบอกอาร์คนี้จะปิดสนิทและถูกบรรจุไว้ในหลอดแก้วที่ห่อหุ้มเป็นเปลือกภายนอกอีกทีหนึ่ง ตัวเปลือกนี้จะทำหน้าที่แยกกระบอกอาร์คจากอากาศภายนอก โดยดูดอากาศที่บรรจุอยู่ระหว่างกระบอกอาร์คกับตัวหลอดแก้วภายนอกออกและบรรจุก๊าซชนิดพิเศษเข้าไป เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของพวกโลหะตัวนำป้องกันกระบอกอาร์คจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปและยังเป็นสื่อกลางในการกรองการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นบางช่วงออกไปหรือสำหรับหลอดบางชนิดเปลือกในของหลอดแก้วจะเคลือบสารฟอสเฟอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพแสงที่ออกมาให้ดียิ่งขึ้นมากอีกด้วย

การที่หลอดตระกูลคายประจุความเข้มสูงได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานประเภทต่างๆ เนื่องจากหลอดในตระกูลนี้มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่าง (จำนวนลูเมนต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่น) จึงทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีพื้นที่กว้างหรือมีความสูงมาก เช่น โรงงานอุตสาหกรรม, สนามกีฬา, ทางด่วน เป็นต้น

2.2.1 โครงสร้างของหลอด

โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูงแสดงในรูปที่ 2.1 โดยจะมีส่วนที่ทำหน้าเป็นกระบอกอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนในเป็นกระบอกอาร์คและส่วนนอกจะเป็นเปลือกให้แก่กระบอกส่วนใน

ภายในกระบอกอาร์คจะมีขั้วอิเล็กโทรมด์ สารผสมของโซเดียมและปรอทรวมทั้งแก๊สซีนอนอยู่จำนวนน้อย เปลือกนอกทำหน้าที่ป้องกันกระบอกอาร์คจะทำด้วยแก้วชนิดพิเศษ (Poly Silicate Glass) อากาศที่อยู่ในเปลือกหลอดแก้วจะถูกสูบออกมา เพื่อป้องกันมิให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของโลหะที่ต่ออยู่ระหว่างกระบอกอาร์คกับอากาศภายนอกและควบคุมอุณหภูมิของกระบอกอาร์คให้สม่ำเสมอ โดยการทำให้ไม่มีอากาศจากภายนอกเข้าไปเกิดการพาความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ ตัวกระบอกอาร์คของหลอดโซเดียมความดันสูงจะมีลักษณะเรียวยาวสร้างจากสารเซรามิกที่ชื่อว่า Polycry Stalline Aluminium Oxide ดังที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง

ส่วนสำคัญที่สุดของกระบอกอาร์คที่ทำด้วยสารเซรามิกคือ ที่ส่วนปลายด้านเป็นหลอดที่มีคุณภาพดีจะใช้สารเซรามิกชนิดเดียวกันที่ทำด้วยกระบอกอาร์ค เพราะเซรามิกมีคุณสมบัติการขยายตัวในลักษณะในลักษณะเดียวกันกับกระบอกอาร์ค ส่วนการต่อขั้วอิเล็กโทรมด์นั้นจะใช้ท่อที่ทำด้วยโลหะนิโอเบียม (Niobium) ที่สอดผ่านสารเซรามิกที่ปิดหัวท้ายของกระบอกอาร์ค เพื่อต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับขั้วอิเล็กโทรมด์ บริเวณที่มีโลหะสอดเข้าไปในกระบอกอาร์คนี้จะเป็นบริเวณที่เกิด

การสูญเสียสาร โซเดียมมากที่สุด ดังนั้นการที่สามารถจำกัดแผ่น โลหะที่ครอบห้วท้ายของกระบอกอาร์คไปได้จึงช่วยลดการสูญเสียโซเดียมทำให้ค่าแรงดันของหลอดไม่เพิ่มสูงขึ้นและทำให้หลอดมีอายุการใช้งานสูงขึ้น แต่ก็มีผู้ผลิตบางรายที่ได้วางสารผสมของโซเดียมและไอปรอทนี้ไว้ภายในกระบอกอาร์คในจุดที่มีอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งโดยปกติแล้วจะอยู่หลังขั้วอิเล็กโทรดแตกต่างไปจากหลอดที่ใช้วิธีการเก็บสารผสมไว้ภายนอกเพราะหลอดที่เก็บสารผสมไว้ภายในกระบอกอาร์คจะสามารถติดตั้งในตำแหน่งใดก็ได้

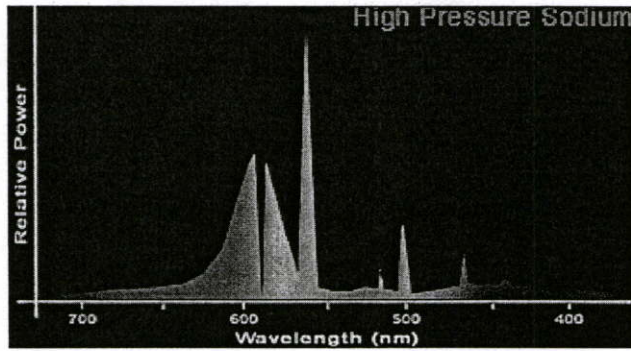


รูปที่ 2.2 ลักษณะของหลอดโซเดียมความดันสูง

2.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของหลอด

หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูงคือ ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในไอระเหยของโซเดียม (Sodium Vapor) ที่มีความดันภายใต้อุณหภูมิที่สูง แต่ในทางปฏิบัติเมื่อไอของสารโซเดียมยังมีอุณหภูมิสูงก็ยังมีอำนาจการกัดกร่อนที่รุนแรงมาก ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาบรรจุไอของโซเดียมจึงต้องใช้สารเซรามิกที่ชื่อว่า Polycrystalline Aluminium Oxide ซึ่งเป็นสารเซรามิกที่มีความบริสุทธิ์สูงมีความทนทานต่อความร้อนและยังสามารถปล่อยให้แสงลอดผ่านออกมาได้ ใช้เป็นกระบอกสำหรับบรรจุไอปรอทที่ใช้กับหลอดโซเดียมความดันสูง โดยกระบอกอาร์คจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กซึ่งจะทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มียอิเล็กโทรดสตาร์ทที่อยู่ภายในกระบอกอาร์ค

หลอดโซเดียมความดันสูงจะต้องใช้เวลาในการอุ่นไส้หลอดก่อนที่จะให้แสงสูงสุดเป็นเวลา 3-5 นาที ในช่วงการอุ่นไส้หลอดนี้แสงสว่างที่ถูกเปล่งออกมาจะมีการเปล่งสีไปเรื่อยๆ ในตอนแรกจะมีสีน้ำเงินขาวจาง ที่เกิดจากก๊าซซีนอนที่ถูกออไนซ์หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่ค่อนข้างสดใสเป็นสีของไอปรอท เมื่อความสว่างเพิ่มมากขึ้นแสงก็จะเปลี่ยนสีเพิ่มมากขึ้นจนเป็นสีเหลือง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไอโซเดียมที่มีความดันต่ำ และเมื่อความดันในกระบอกอาร์คสูงเพิ่มมากขึ้นหลอดไฟก็จะให้โทนแสงออกมาในปริมาณสูงสุดเป็นสีขาวออกไปทางสีทอง (Golden White) โดยมีลักษณะการกระจายแสงของหลอดตามแถบสเปกตรัมดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายแสงทางสเปกตรัมของหลอดโซเดียมความดันสูง

2.2.3 คุณสมบัติของหลอด

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูง

กำลังไฟฟ้า	250 Watt
แรงดันไฟฟ้า	100 Volt
กระแสไฟฟ้า	3 Amp
Colour Temperature	2,100 K
Luminous Flux	25,000 lumen
Luminous Efficacy	100 lm/W
Warm Up Time	4 minutes
Re-strike Time	15 minutes
อายุการใช้งาน	24000 hours

(อ้างอิงจาก Data Sheet : High Pressure Sodium Lamp ยี่ห้อPhillips รุ่น SON-T250W)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติข้อดี - ข้อเสียของหลอดโซเดียมความดันสูง

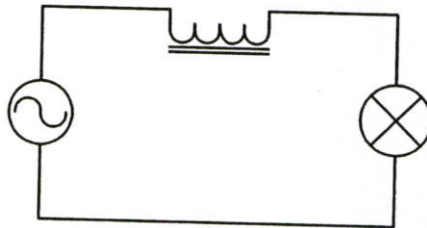
ข้อดี	ข้อเสีย
1. อายุใช้งานยาวมาก คือ 24,000 ชั่วโมง	1. ราคาหลอด และค่าเสื่อมก่อนข้างสูง
2. ประสิทธิภาพสูงมาก (70-110 lm/W)	2. ค่าดัชนีความเหมือนสีต่ำ(Ra=25)
3. มีหลอดพิเศษที่ให้แสงคุณภาพใกล้เคียงกับหลอดไส้	3. ต้องใช้อุปกรณ์ต่อร่วมบัลลาสต์ อิเล็กโทรนิก และคาปาซิเตอร์
4. มีหลอดบางรุ่นที่ไม่ต้องรอจุดเข้า (ใช้อิเล็กโทรนิกพิเศษ)	4. เลือกอุณหภูมิสีไม่ได้ และมีค่าต่ำประมาณ 2,000K
5. ความเสื่อมของหลอดไฟฟ้าไม่สูงมาก ประมาณ 25%เมื่อครบอายุการใช้งาน	5. ใช้เวลาอุ่นหลอด 3-5 นาที และรอจุดเข้า 15 นาที

2.3 บัลลาสต์ที่ใช้ร่วมกับหลอดโซเดียมความดันสูง

บัลลาสต์จะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งจ่ายพลังงานให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในหลอดไฟให้มีค่าสม่ำเสมอเหมาะสมกับหลอดแต่ละประเภทแต่ละชนิดและแต่ละขนาด ซึ่งเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับหลอดก๊าซดีสชาร์จเพราะเมื่อหลอดไฟผ่านขั้นตอนการจุดติดแล้วนั้น ค่าความต้านทานของหลอดจะลดลงอย่างมาก จึงต้องนำบัลลาสต์มาต่ออนุกรมในวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานมิให้กระแสไหลเกินพิกัดจนไส้หลอดขาด การใช้งานร่วมกันระหว่างหลอดไฟและบัลลาสต์จะต้องเป็นชนิดที่ออกแบบให้ใช้งานร่วมกันได้ หากใช้งานผิดชนิดกันย่อมนำให้เกิดผลเสียหายหลายอย่างเช่น หลอดจุดติดยาก หลอดเสื่อมสภาพเร็ว อายุใช้งานสั้น กำลังสูญเสียในบัลลาสต์สูง ซึ่งจะทำให้อายุงานบัลลาสต์สั้นลงได้ โดยบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดโซเดียมความดันสูงปัจจุบัน มีอยู่หลายชนิดแต่เท่าที่พบทั่วไปมีอยู่ 4 ชนิด

1) บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ (Reactor Ballast)

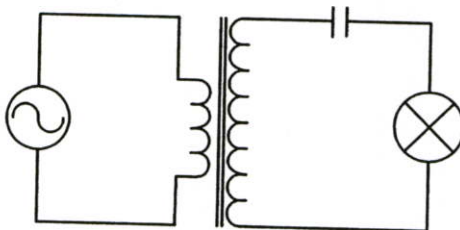
ทำมาจากขดลวดทองแดงพันอยู่บนแกนเหล็ก เวลาใช้งานต่ออนุกรมกับหลอดเพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอด บัลลาสต์ชนิดนี้โดยทั่วไปจะต่อตัวเก็บประจุขนานกับวงจรเพื่อปรับรูปค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำนี้มีคุณสมบัติการเรกูลेशनที่ดีคือถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 18 % หรือแรงดันเปลี่ยนแปลง 5% จะทำให้กำลังที่หลอดเปลี่ยนแปลงเพียง 5 %



รูปที่ 2.4 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ

2) บัลลาสต์ชนิดเล็ก (Lag Ballast)

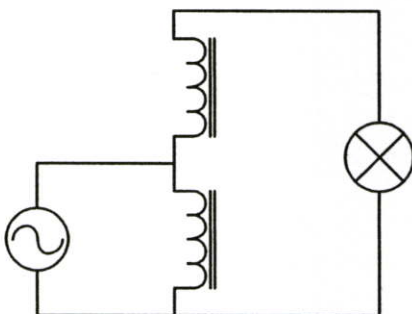
ประกอบด้วยหม้อแปลงชนิดออโตกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งคุณสมบัติบัลลาสต์ชนิดนี้เหมือนบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดจะถูกจำกัด อย่างไรก็ตาม บัลลาสต์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่า แพงกว่า และมีกำลังงานสูญเสียมากกว่า



รูปที่ 2.5 บัลลาสต์ชนิดเล็ก

3) บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ (Regulator Ballast)

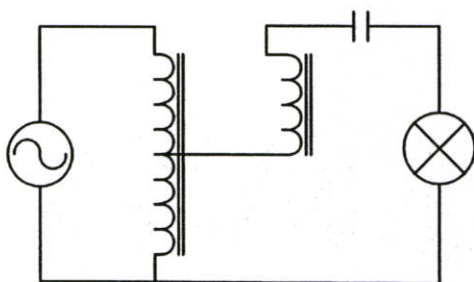
มีลักษณะคล้ายหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ พันอยู่บนแกนเหล็กไม่มีการต่อกันทางไฟฟ้า โดยทางด้านปฐมภูมิจะทำการต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุทำให้สามารถจำกัดกระแสได้ ข้อดีของบัลลาสต์ชนิดนี้คือ แรงดันไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้มากถึง 13% รับแรงดันไฟฟ้าตกได้มากกว่า 50% และมีค่าตัวประกอบกำลังสูงถึง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



รูปที่ 2.6 บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

4) บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ (Auto Reactor Ballast)

เป็นการผสมระหว่างบัลลาสต์ชนิดเล็กกับบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ บัลลาสต์ชนิดนี้จะมีขนาดเล็กและราคาถูกแต่มีการเรอูเลชั่นที่ไม่ดีคือ ถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 10 % จะทำให้กำลังที่โหลดเปลี่ยนแปลงถึง 5 %



รูปที่ 2.7 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ

2.3.1 หน้าที่ของบัลลาสต์

1. กำหนดค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอดให้เป็นไปอย่างเหมาะสมทำให้หลอดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. จ่ายกระแสที่คงที่ให้กับหลอด ไม่ว่าแรงดันจากแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นหรือลดลง
3. กระแสที่ไหลผ่านหลอดต้องสมมาตร ไหลสลับไปมาระหว่างทั้ง 2 ขั้ว
4. สามารถที่จะจ่ายแรงดันที่สูงในขณะที่จุดหลอด

2.3.2 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

คุณสมบัติ	บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
1. ค่าตัวประกอบกำลัง	ต่ำ	สูง
2. ประสิทธิภาพการส่องสว่าง	ต่ำ	สูง
3. กำลังสูญเสียในบัลลาสต์	มาก	น้อย
4. ความร้อนที่ตัวบัลลาสต์	มาก	น้อย
5. ค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอด	มาก	น้อย
6. ผลของ Stroboscopic	มาก	ไม่เกิด
7. การเกิดเสียงรบกวน	มาก	ไม่เกิด
8. อุปกรณ์ร่วม	ใช่(Starter)	ไม่ใช่
9. การกระพริบของหลอด	มาก	น้อยมาก
10. การทนรับแรงดันตกหรือแรงดันเกิน	ทนได้น้อย	ทนได้มาก
11. ผลที่เกิดขึ้นเมื่อลัดวงจรที่ขั้วหลอด	เกิดความร้อนสูง	ไม่เกิดความร้อน
12. ผลรบกวนจากคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า	ไม่เกิดการรบกวน	เกิดการรบกวนมาก
13. ความทนทาน	สูง	ต่ำ
14. อายุการใช้งานของหลอด	สั้น	ยาว
15. ราคา	ถูก	สูง

2.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของหลอดโซเดียมความดันสูง โครงสร้างของหลอด, หลักการให้แสงสว่างของหลอด, คุณสมบัติของหลอด พร้อมทั้งกล่าวถึงบัลลาสต์ที่นำมาร่วมใช้งาน ร่วมกับกับหลอดไฟชนิดนี้ ซึ่งปัจจุบันบัลลาสต์แกนเหล็กได้ถูกนำไปใช้เป็นที่นิยมมากกว่า การเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์แกนเหล็กกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ถึงต้องนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้แทนบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก และได้กล่าวถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาออกแบบ

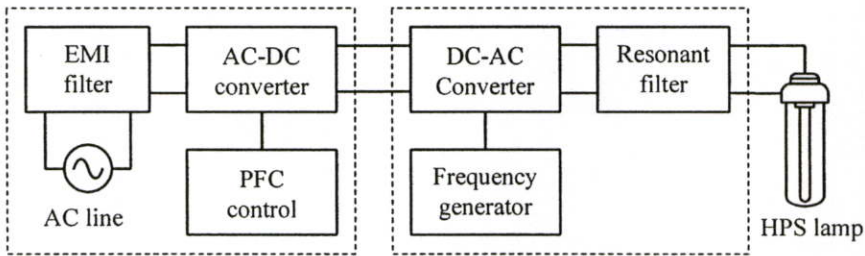
บทที่ 3

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบและการวิเคราะห์หลักการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละวงจร เพื่อนำไปสู่การสร้างทั้งวงจรควบคุมและวงจรกำลัง โดยรายละเอียดภายในได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบส่วนต่างๆ ของวงจร

3.2 โครงสร้างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.1 โค้ดแกรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ

โครงสร้างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยสองภาคการทำงานหลักตามรูปที่ 3.1 ภาคแรกเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีการนำวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ร่วมใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและวงจรกรองอีเอ็มไอช่วยลดสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กรบกวนทางด้านอินพุต ส่วนภาคหลังเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ป้อนพลังงานไปยังหลอดไฟ

3.3 วงจรกรองอีเอ็มไอ (EMI Filter)

ในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยมีการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและความถี่ต่างๆ อย่างฉับพลัน ด้วยการทำงานดังกล่าวทำให้มีการสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) ขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของระบบวงจรตัวเองหรือระบบใกล้เคียงเกิดการผิดพลาด ถ้าระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่มากเกินไปอุปกรณ์หรือระบบจะรับได้ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเป็นสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สัญญาณรบกวนทาง

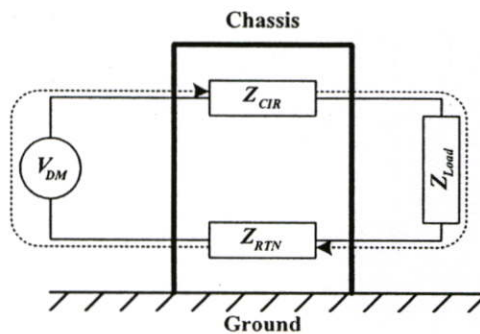
แม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated) และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางตัวนำ (Conducted)

3.3.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำ

การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำคือสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่ส่งออกมาทางสายตัวนำ ซึ่งเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ การเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวนำได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

3.3.1.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดแตกต่าง (Differential Mode)

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



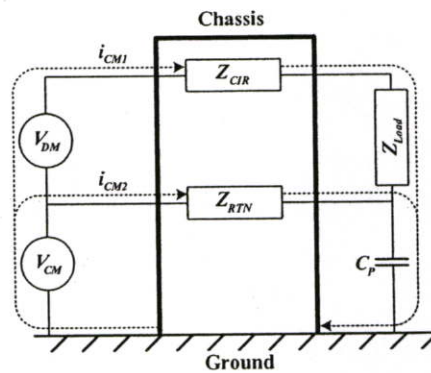
รูปที่ 3.2 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่าง

3.3.1.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดร่วม (Common Mode)

ในโหมดนี้จะพิจารณาการไหลของสัญญาณระหว่างกลุ่มของตัวนำกับกราวด์หรือกลุ่มตัวนำอื่นเป็นตัวอ้างอิง สำหรับการเกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วมนั้นเราจะมีตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วมคือ ตัวเก็บประจุแฝง (Parasitic Capacitor) โดยตัวเก็บประจุแฝงนี้จะเส้นทางเดินของสัญญาณไปยังกราวด์ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงในโหมดร่วมของทั้งสายสัญญาณ (line) และสายป้อนกลับ (Neutral) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3 ดังนั้นถ้าปราศจากตัวเก็บประจุแฝงนี้แล้วจะไม่เกิดสัญญาณรบกวนในกรณีโหมดร่วม จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายสัญญาณ ($V_{noiseCIR}$) จะไม่เท่ากับสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายป้อนกลับ ($V_{noiseRTN}$) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเส้นทางของการไหลของสัญญาณรบกวนในแต่ละสายมีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน เพราะว่าการไหลของสัญญาณจะผ่านอิมพีแดนซ์ของวงจรแล้วผ่านไปยังอิมพีแดนซ์ของโหลด ในขณะที่การไหลของสัญญาณในสายป้อนกลับจะผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับเพียงอันเดียว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สัญญาณการรบกวนในโหมดร่วมไม่เท่ากัน โดยจะแสดงดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 และเมื่อกระแสโหมดร่วมไม่เท่ากันก็จะทำให้ระบบเกิดความไม่สมดุลขึ้นและกระแสโหมดร่วมในกรณีนี้ก็จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่างได้ (Differential Noise)

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

$$V_{noiseRTN} = I_{CM2} \cdot (Z_{RTN} + X_{C_p}) \quad (3.2)$$

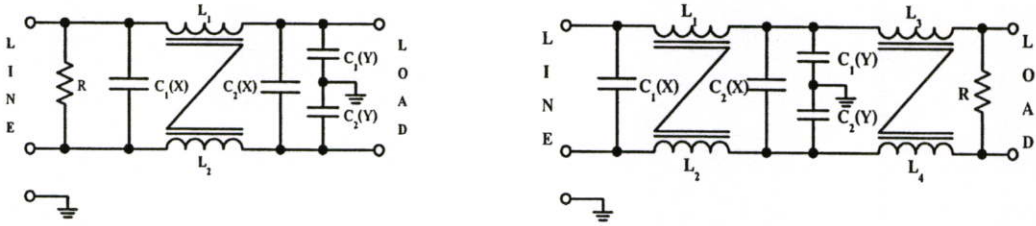


รูปที่ 3.3 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม

3.3.2 ลักษณะวงจรกรองอีเอ็มไอ

ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือการต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นอยู่ที่อินพุตกับระบบแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งโหมดความ

แตกต่างกันและโหมคร่วม การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แบบพาย (π) หรือแบบที (T) ดังรูปที่ 3.4 (ก) และ 3.4 (ข) ตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ แบบ π เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า ประหยัด และมีวงจรที่ง่าย



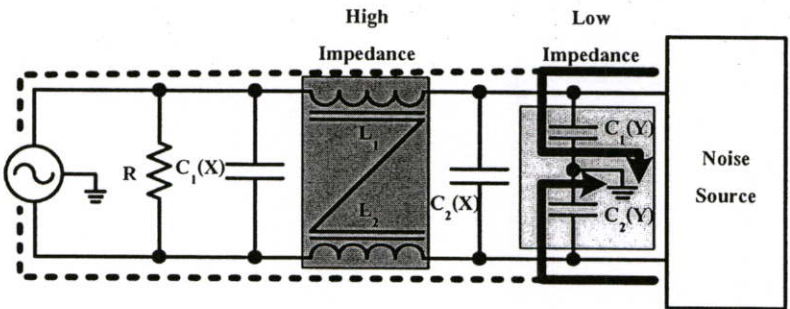
(ก) วงจรแบบ π

(ข) วงจร แบบ T

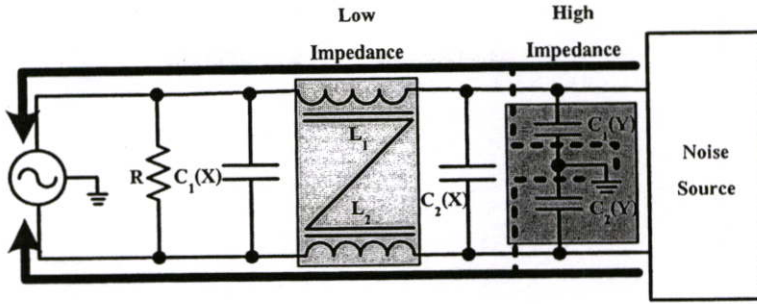
รูปที่ 3.4 ลักษณะการต่อ LC ฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวน

3.3.3 หลักการของวงจรกรองอีเอ็มไอ

ตามรูปที่ 3.5 (ก) ตัวเก็บประจุ $C(X)$ ที่อยู่ในวงจรจะมีผลในการลดทรานเซียนต์ $C_1(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดในสายไฟสลับไม่ให้อ่านเข้าหาวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วน $C_2(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากวงจรอินเวอร์เตอร์ไม่ให้อ่านไปยังสายไฟสลับได้ วงจรฟิเตอร์จะเป็นส่วนป้องกันสัญญาณความถี่สูงจากอินเวอร์เตอร์ส่งผ่านเข้าสู่ระบบแหล่งจ่ายไฟภายนอก ดังนั้นจากลักษณะของวงจรเมื่อมีสัญญาณความถี่สูงกว่าในย่านการทำงานของวงจรที่ถูกกำหนดให้ผ่านได้ (Cutoff Frequency) โดยจะกำหนดไว้ให้มีค่ามากกว่า 9 เท่าของความถี่ไลน์ แต่ไม่เกินความถี่ตามมาตรฐานกำหนดของแต่ละประเภทอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากค่าอินดักแตนซ์ L_1 หรือ L_2 มีค่าสูงมาก ($X_L = 2\pi fL$) 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

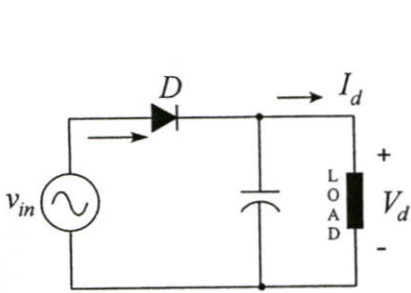


(ข) การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่ต่ำ

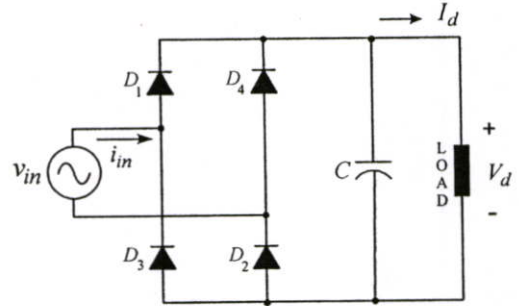
รูปที่ 3.5 ลักษณะการทำงานของวงจรกรองอีเอ็มไอในย่านความถี่ต่าง ๆ

3.4 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

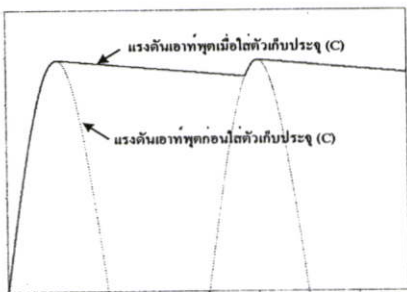
ในส่วนของวงจรนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ไดโอดเป็นตัวเปลี่ยนขนาดและทิศทางของไดโอดขึ้นอยู่กับทิศทางของโหลดที่ต้องการ ไดโอดประเภทนี้จะเป็นชนิดไดโอดเรียงกระแส (Rectifier diode) ที่ไม่จำเป็นต้องมีความไวในการทำงานสูงนัก ถ้าทิศทางกำลังของโหลดมีค่าสูงๆ ไดโอดที่จะนำมาใช้จะต้องมีพิกัดสูงด้วย ซึ่งไดโอดเหล่านั้นจะถูกเรียกว่าไดโอดกำลัง (Power diode) รูปแบบวงจรจะถูกแบ่งตามชนิดของแรงดันที่ป้อนเข้า คือชนิดสามเฟสและหนึ่งเฟส เนื่องจากในงานวิจัยนี้ถูกออก



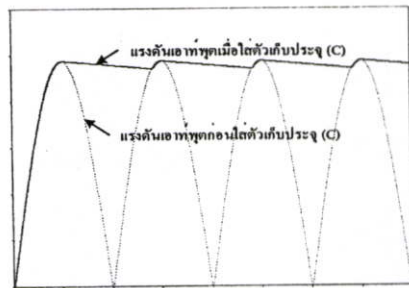
(ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น



(ข) วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



(ค) แรงดันเอาต์พุตของวงจรครึ่งคลื่น



(ง) แรงดันเอาต์พุตของวงจรเต็มคลื่น

รูปที่ 3.6 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส แบบต่างๆ

แบบให้รับแรงดันด้านอินพุตขนาด 220 โวลต์ 1 เฟส ดังนั้นวงจรเรียงกระแสจึงใช้เป็นชนิดหนึ่งเฟส ซึ่งรูปแบบของวงจรเรียงกระแสชนิดนี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) ดังแสดงตามรูปที่ 3.6 โดยวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะมีข้อดีเหนือกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นคือ จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้าหรือด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเป็นศูนย์ และจะมีค่าตัวประกอบระลอกคลื่น (ripple factor) ต่ำกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้านอกสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดเท่านั้น

3.4.1 หลักการทำงานของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด

1. การทำงานของไดโอดจะนำกระแสเป็นคู่โดยไดโอด D_1 และ D_2 ทำงานคู่กันและไดโอด D_3 และ D_4 จะทำงานคู่กัน เป็นผลทำให้กระแสไหลจะเป็นบวกหรือเป็นศูนย์
2. เมื่อไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแส แรงดันตกคร่อมโหนดจะเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย เมื่อไดโอด D_3 และ D_4 นำกระแส แรงดันตกคร่อมโหนดจะตรงกันข้ามกับแรงดันของแหล่งจ่าย คือ $-V_s$
3. ค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอด จะมีค่าเท่ากับค่ายอดของแรงดันจากแหล่งจ่าย กล่าวคือเมื่อไดโอด D_1 นำกระแสและแรงดันตกคร่อม D_3 จะตรงกันข้ามกับแรงดันของแหล่งจ่าย
4. กระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจรบริดจ์ไดโอดคือ $i_{D1} - i_{D4}$ ทำให้ค่ากระแสแหล่งจ่ายเฉลี่ยเป็นศูนย์
5. ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสจากแหล่งจ่ายจะเท่ากับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไหล
6. ความถี่ของแรงดันด้านออกเป็นสองเท่าของความถี่ของแรงดันจากแหล่งจ่ายโดยที่แรงดันฮาร์มอนิกส์จะประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและฮาร์มอนิกส์ลำดับคู่ แรงดันคร่อมโหนดตัวด้านทานสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีค่า

$$V_o(\omega t) = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) & \text{สำหรับ } 0 < \omega t \leq \pi \\ -V_m \sin(\omega t) & \pi < \omega t \leq 2\pi \end{cases} \quad (3.3)$$

องค์ประกอบแรงดันด้านออกจะหาได้จากการหาค่าเฉลี่ยของสมการที่ 3.5 ดังนี้

$$V_o = V_{av} = \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi [V_m \sin(\omega t)] d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} \quad (3.4)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{2V_m}{\pi R} \quad (3.5)$$

กำลังไฟฟ้าที่โหลดตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับ $P_o = I_{rms}^2 R$ โดยค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะเป็นสัญญาณไซน์ทำให้มีค่าเท่ากับ

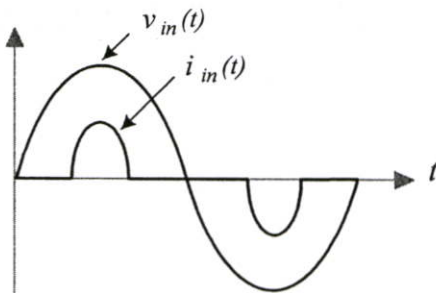
$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (3.6)$$

เนื่องจากค่ากระแสที่แหล่งจ่ายกระแสกลับด้านเข้าที่มีโพลตัวต้านทานจะมีสัญญาณไซน์และมีค่าอินเฟสกับแรงดันทำให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จากวงจรมีค่าสูงสุดเท่ากับหนึ่ง

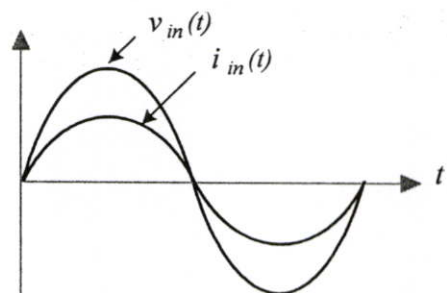
$$V_{ripple} = \sqrt{V_{d,rms}^2 - V_{d,avg}^2} \quad (3.7)$$

3.5 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)

สัญญาณรูปคลื่นที่ออกจากวงจรเรียงกระแสโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ (ประมาณ 0.4 - 0.6) มีฮาร์มอนิกส์และกระแสกระเพื่อมสูง ถ้าหากต้องการให้สัญญาณมีความราบเรียบยิ่งขึ้น การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ (Capacitor Filter) ขนานกับส่วนเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส เมื่อวงจรเรียงกระแสทำงานแรงดันของแหล่งจ่ายมีค่ามากกว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุ ทำให้กระแสถูกดึงจากแหล่งจ่ายเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นรูปคลื่นกระแสจะเป็นสัญญาณไซน์ที่สั้น แม้ว่า การต่อตัวเก็บประจุเข้ากับวงจรเรียงกระแส ทำให้สัญญาณมีความเรียบมากขึ้นแต่ก็ทำให้ค่ากระแสพิกและกระแสอาร์เอ็มเอส ของทางด้านอินพุตมีค่าสูงมากขึ้นเกิด Over Current ในสายนิวตรอนและในระบบไฟฟ้างั้นจึงใช้หลักการสวิตซิ่ง (PFC Preregulator) ต่อระหว่างวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุ เพื่อลดทอนกระแสหลักที่เป็น Guasi-sinusoidal ทำให้รูปคลื่นกระแสมีเฟสใกล้เคียงรูปคลื่นแรงดันมากที่สุด ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง



(ก) ก่อนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



(ข) หลังทำการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

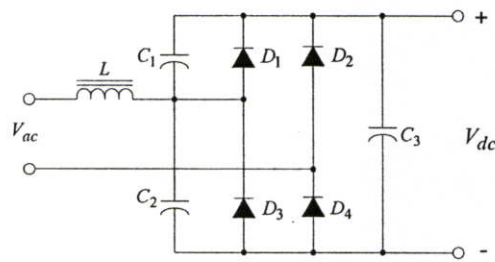
รูปที่ 3.7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณมีวิธีการปรับปรุงแก้ไข 2 วิธีคือ

1) การปรับปรุงแบบพาสซีฟ (Passive Method)

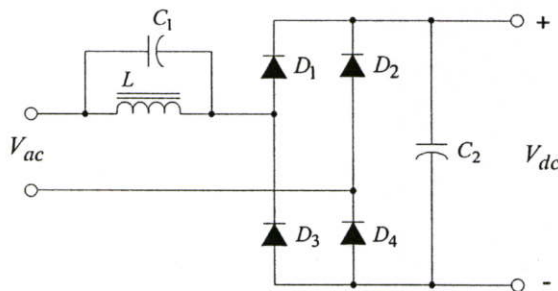
หลักการในการการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ สามารถกระทำได้โดยการนำอุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน, ตัวเหนี่ยวนำ, ตัวเก็บประจุ เพราะว่าการจะกำจัดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่สูง การนำเอาตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันของสายเป็นการทำให้กระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่สูงไม่สามารถผ่านเข้าได้ ส่วนตัวเก็บประจุถ้าต่อขนานกับสายด้านเข้ากระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่สูงจะถูกตัดลงกราวด์เพราะที่อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะต่ำนั่นเอง

แบบที่ 1 ต่อ LC Series Network เข้ากับวงจรโดยต่ออยู่ด้านหน้าวงจรเรียงกระแสการคำนวณค่า L , C ที่เหมาะสมนั้นจะคำนวณที่ 2.5 ถึง 3 เท่าของความถี่จากแหล่งจ่าย



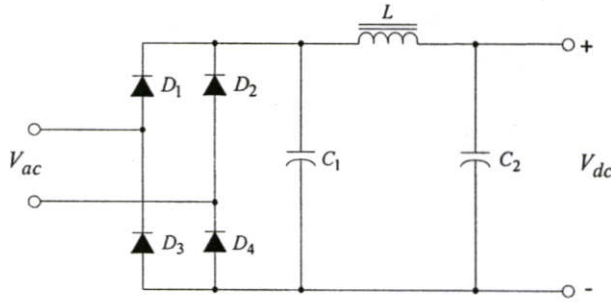
รูปที่ 3.8 Passive power factor correction แบบที่ 1

แบบที่ 2 ต่อ LC Parallel Resonant ตรงตำแหน่งเดียวกับแบบที่ 1 ข้อดีของวงจรนี้จะช่วยลดทอนสัญญาณฮาร์มอนิกส์อันดับที่ 3 และปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ดีขึ้น อีกทั้งยังได้เปรียบในเรื่องของราคาและขนาดของวงจรที่ไม่ใหญ่แต่มีข้อเสียคือ ฮาร์มอนิกส์ในอันดับที่สูงกว่าอันดับที่ 3 จะยังปรากฏอยู่และการพันตัวเหนี่ยวนำทำให้เสียงครางอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ค่อนข้างยาก



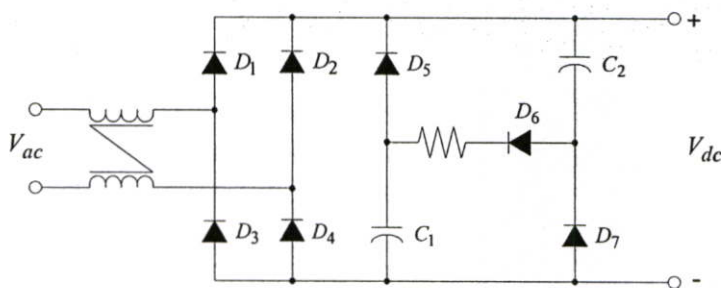
รูปที่ 3.9 Passive power factor correction แบบที่ 2

แบบที่ 3 มีลักษณะการต่อวงจรคล้ายกับแบบที่ 1 คือ ใช้ LC Series Network แต่นำไปต่อด้านหลังของวงจรเรียงกระแส มีข้อดีคือ ให้ค่าตัวประกอบกำลังที่ดีและมีตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กทำให้อุปกรณ์ราคาไม่แพง แต่มีข้อจำกัดในการปรับปรุงลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Harmonics Distortion)



รูปที่ 3.10 Passive power factor correction แบบที่ 3

แบบที่ 4 เป็นวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง หรือที่เรียกว่า “Valley fill” เป็นวงจรที่ช่วยปรับค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณให้พอเหมาะ โดยตัวเก็บประจุ C_1 และตัวเก็บประจุ C_2 จะถูกเก็บประจุด้วยแรงดันค่ายอดของแหล่งจ่าย ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันค่ายอดของแหล่งจ่าย เมื่อแรงดันของแหล่งจ่ายลดลงต่ำกว่า 50 % ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะทำการคายประจุไปยังโหลดแทนแหล่งจ่าย เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันตกคร่อมโหลดเป็นศูนย์ ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุจะต้องสามารถชดเชยแรงดันกระแสที่เพิ่มขึ้นได้ประมาณ 50 % ผลของฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นจะถูกลดลงประมาณ 75 % และเมื่อต่อ L อนุกรมกับ D_6 แล้วทำให้การลดทอนผลของฮาร์มอนิกส์จะมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย ส่วนคู่ L ที่ต่อหน้าวงจรเรียงกระแส นั้น หรือที่เรียกว่า balun นั้นจะช่วยป้องกันภาวะทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้น และช่วยจำกัด Radio Frequency Interference (RFI)



รูปที่ 3.11 Passive power factor correction แบบที่ 4

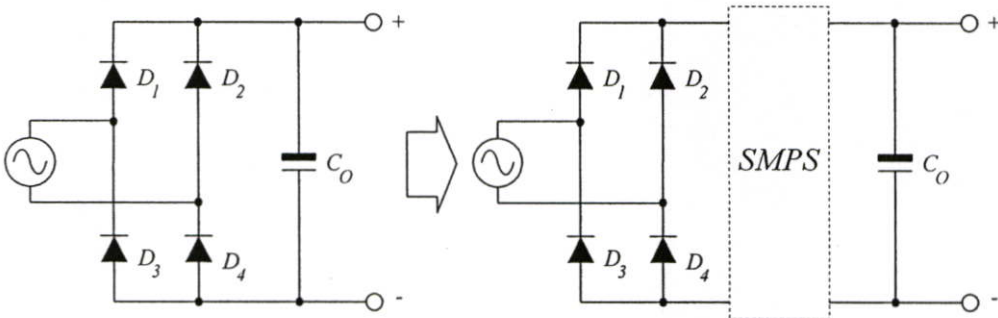
2) การปรับปรุงแบบแอคทีฟ (Active Method)

จากการทดลองแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวิธีพาสซีฟ ทำให้สังเกตได้ว่าจะต้องใช้อุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุร่วมในวงจร ซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากรวมทั้งไม่มีความแน่นอนในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังคือไม่สามารถออกแบบได้และไม่สามารถควบคุมระบบได้นั่นเอง ดังนั้นเราจึงหันมาพิจารณาการแก้ไขปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยวิธีแอคทีฟ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปคือ พยายามให้รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณไซน์และมีเฟสตรงกันกับรูปคลื่นของแรงดันด้านเข้า โดยการนำวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรง (Switching Power Supply) ใช้หลักการสร้างสัญญาณสวิตชิงจากวงจรควบคุม สัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมจะแปรผันตามค่าคิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ระหว่างแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ

	แบบพาสซีฟ	แบบแอคทีฟ
ราคา	ถูก	แพงกว่า
เรกูเลเตอร์	ปรับแรงดันไม่ละเอียด ไม่ไวมากนัก	ปรับแรงดันได้ละเอียด ไวกว่า
ขนาด	เมื่อใช้กับกำลังไฟฟ้าสูง จะมีขนาดใหญ่	ขนาดเล็กกว่า น้ำหนักเบา

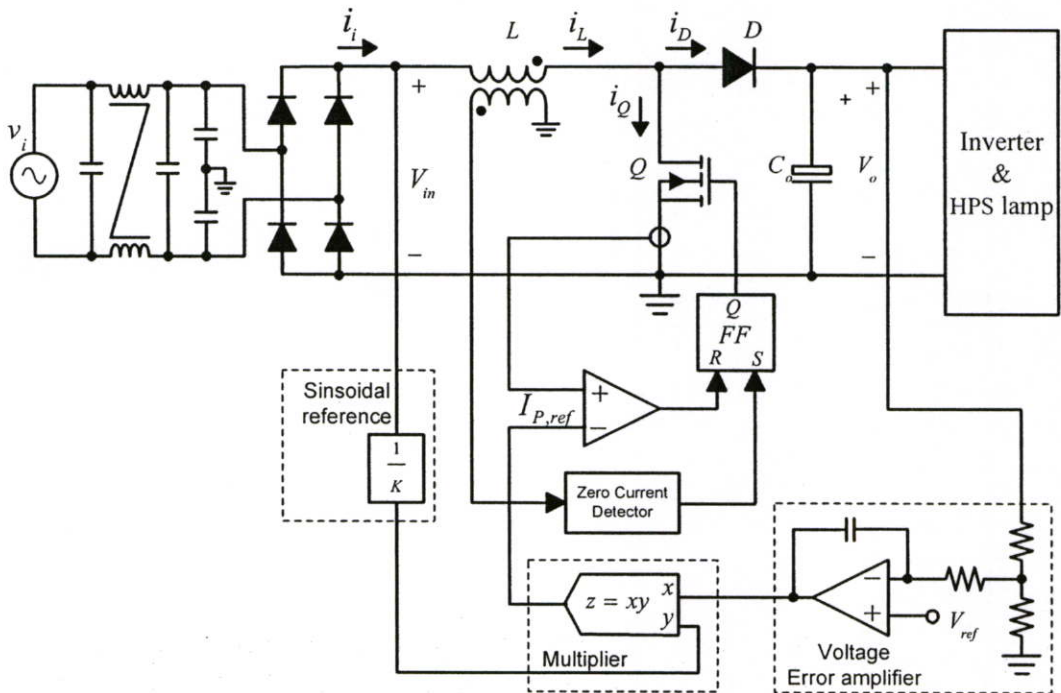
เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ เมื่อนำวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังมาใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรจะต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีเสถียรภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟ โดยการนำเอาวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรง มาใช้ก่อนอื่นต้องทำการเปลี่ยนที่อยู่ของตัวเก็บประจุด้านออก (C_o) ออกไปก่อนแล้วเอาวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงมาใส่แทนเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าทางเข้าก่อนเข้าวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณรูปไซน์มากขึ้นดังรูป



รูปที่ 3.12 วงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

3.5.1 วงจรboostคอนเวอร์เตอร์ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

โดยปกติวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงจะนิยมใช้วงจรboostคอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะต่ออยู่ระหว่างวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุด้านออก วงจรboostคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรทบระดับคือ วงจรที่ทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกววงจรboostคอนเวอร์เตอร์ (boost converter) ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านั่นเอง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์หลักการทำงานวงจรboostคอนเวอร์เตอร์กรณีเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้ามีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ฟูลเวฟซึ่งได้จากวงจรเรียงกระแสไดโอดบริดจ์ โดยการควบคุมแบบป้อนกลับจากการควบคุมให้กระแสไฟฟ้าด้านเข้าของวงจรboostคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะคลื่นเช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าและมีเฟสตรงกันหรือเกือบจะทับกัน โดยจะอธิบายให้เห็นถึงหลักการทำงาน การควบคุมและการออกแบบวงจร



รูปที่ 3.13 วงจรboostคอนเวอร์เตอร์ที่นำไปใช้การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

3.5.3.1 การควบคุมกระแสไฟฟ้าด้านเข้า

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่วงจรboostคอนเวอร์เตอร์ในรูปที่ 3.13 จะมีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้าตรงคลื่นไซน์ฟูลเวฟซึ่งได้จากวงจรเรียงกระแสไดโอด โดยมีแหล่งจ่ายทางด้านเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับคลื่นไซน์ ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าด้านเข้าที่ไหลเข้าสู่วงจรboostคอนเวอร์เตอร์นี้ซึ่งก็คือกระแส i_L ที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ L ให้มีคลื่นเช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้าตรงคลื่นไซน์ฟูลเวฟ v_{in} ที่อยู่ด้านหลังวงจรเรียงกระแสไดโอดนี้และมีเฟสตรงกันก็

จะทำให้กระแสไฟฟ้าสลับด้านเข้าเป็นคลื่นไซน์เช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้าสลับคลื่นไซน์ด้านเข้าด้วยและจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียง 1 ดังนั้นสัญญาณอ้างอิงที่จะใช้ในการควบคุมกระแส i_L ก็คือกระแสอ้างอิง i_{MO} ซึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นเช่นเดียวกับแรงดัน v_{in} และมีเฟสตรงกัน โดยปกติแล้วกระแส i_L ที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรกำลังจะมีค่าสูงกว่ากระแสอ้างอิงซึ่งอยู่ในส่วนของวงจรควบคุม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดกระแสลงและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดัน โดยใช้ตัวต้านทาน ส่วนปริมาณกระแสอ้างอิงก็จะถูกขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดันเช่นเดียวกันโดยใช้ตัวต้านทาน ดังนั้นกระแสทั้งสองเมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดันแล้วก็จะอยู่ในระดับปริมาณเดียวกัน ซึ่งผลต่างของกระแสทั้งสองที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าจะถูกป้อนให้กับ current error amplifier ซึ่งเป็นวงจรควบคุมแบบพีไอ จะพยายามควบคุมให้ผลต่างของกระแสทั้งสองมีค่าน้อยที่สุด โดยการปรับความกว้างของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มซึ่งต่ออยู่กับวงจรจับเกตเพื่อใช้ในการขับสวิตช์มอสเฟตของวงจรถูกคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นความกว้างของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มนี้จะได้จากการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรควบคุมแบบพีไอกับสัญญาณฟีดแบ็กในแต่ละคาบเวลาของความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ซึ่งความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์นี้จะมีค่าคงที่

3.5.3.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออก

เมื่อต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าคงที่อันเนื่องมาจากการดิ่งกระแสของโหลด จึงจำเป็นต้องเพิ่มส่วนของการควบคุมแรงดันทางด้านออกดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยการป้อนกลับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมายังวงจรที่ใช้ควบคุมแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ป้อนกลับเข้ามานี้จะถูกลดระดับลงเพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ผลต่างของแรงดันทั้งสองจะถูกขยายสัญญาณเพื่อไปกำหนดค่าของปริมาณกระแสอ้างอิงที่เป็นคลื่นไซน์ ซึ่งจะเป็นตัวบังคับปริมาณการดิ่งกระแสไฟฟ้าด้านเข้าให้เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดที่ต่ออยู่ทางด้านออกเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าคงที่

3.5.3.3 การชดเชยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

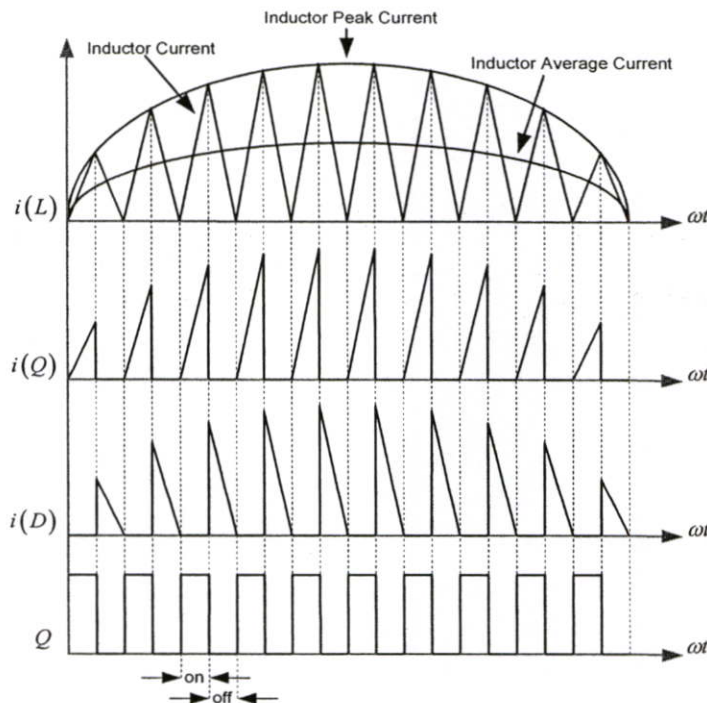
เมื่อกระแสอ้างอิง i_{MO} มีลักษณะรูปคลื่นเช่นเดียวกับแรงดัน v_{in} และมีเฟสตรงกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.5.3.1 ดังนั้นเราสามารถเลือกรูปคลื่นของแรงดัน v_{in} ซึ่งเป็นคลื่นไซน์แบบฟลูเวฟแทนแหล่งกำเนิดกระแส i_{MO} ได้ ดังในรูปที่ 3.13 โดยที่สัญญาณทางด้านออกของวงจรจะอยู่ในรูปของกระแส

ส่วนวงจรควบคุมใช้เทคนิคการควบคุมแบบเส้นแบ่งเขต (Border line Control) ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องการการชดเชยความลาดชันของสัญญาณแรมป์ (Slope Compensation) ไม่ต้องการตัวขยายความแตกต่างกระแสสำหรับวงจรควบคุมที่ใช้ตัวตรวจจับกระแสสวิตช์ (Switch Current

Sensing) สามารถใช้ตัวจำกัดกระแสวิตซ์ได้ (Switch Current Limitation) ข้อควรพิจารณาคือ ความถี่วิตซ์ปรับเปลี่ยนได้ ต้องทำการตรวจจับแรงดันตัวเหนี่ยวนำเพื่อตรวจจับกระแสศูนย์ในตัวเหนี่ยวนำ และสำหรับชุดควบคุมที่มีการตรวจจับกระแสไวต่อการเกิดสัญญาณรบกวน

3.5.2 วงจรควบคุมที่ใช้เทคนิคการควบคุมแบบเส้นแบ่งเขต

ส่วนวงจรควบคุมใช้เทคนิคการควบคุมแบบเส้นแบ่งเขต (Border line Control) หลักการทำงานของการทำงานการควบคุมวิธีการนี้คือ เริ่มจากการควบคุมไฟฟ้าด้านออกโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าด้านออกกลับมายังวงจรขยายความผิดพลาดแรงดัน (Voltage error amplifier) ซึ่งแรงดันที่ถูกป้อนกลับมานี้จะถูกลดระดับลงเพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ ผลต่างของแรงดันทั้งสองจะถูกขยายสัญญาณส่งไปยังวงจรคูณสัญญาณ (Multiplier) ทำการคูณกับสัญญาณไซน์อ้างอิง (Sinsoidal Reference) เพื่อไปกำหนดค่าของกระแสอ้างอิง ($I_{p,ref}$) ซึ่งจะเป็นตัวบังคับการดึงกระแสไฟฟ้าด้านเข้าให้เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าคงที่ จากนั้นกระแสอ้างอิง ($I_{p,ref}$) จะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกระแส (Current Comparator) เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสป้อนกลับ (Current sense) จากนั้นจะส่งไปยังวงจรสร้างสัญญาณขั้วเกิด ในขณะเดียวกันตัวเหนี่ยวนำควบคุมกระแส L จ่ายพลังงานไปให้กับโหลดจนกระทั่งกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเร็วกว่าแรงดันด้านแหล่งจ่ายจากวงจรป้องกันกระแสศูนย์ (Zero current detector) จะจับสัญญาณให้มอเตอร์เริ่มทำงานใหม่และกลับสู่สถานะเดิมอีกครั้ง



รูปที่ 3.14 สัญญาณรูปคลื่นการทำงานของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง

จากรูปคลื่นสัญญาณการทำงานของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่แสดงในรูปที่ 3.14 สามารถที่จะหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ 3.8

$$I_{L(pk)} = 2\sqrt{2} \cdot \frac{P_{in}}{V_{in(rms)}} \quad (3.8)$$

$$L = \frac{V_{in(rms)}^2 \cdot (V_o - \sqrt{2}V_{in(rms)})}{2f_{sw(min)} \cdot P_{in} \cdot V_o} \quad (3.9)$$

กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ไดโอดกำลังหาได้จากสมการที่ 3.10

$$I_{D(rms)} = 2\sqrt{2} \cdot I_{rms} \sqrt{\frac{4\sqrt{2} \cdot V_{in(rms)}}{9\pi V_o}} \quad (3.10)$$

กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟตกำลังหาได้จากสมการที่ 3.11

$$I_{Q(rms)} = 2\sqrt{2} \cdot I_{rms} \cdot \sqrt{\frac{1}{6} - \left(\frac{4\sqrt{2}}{9\pi} \cdot \frac{V_{in(rms)}}{V_o}\right)} \quad (3.11)$$

ช่วงเวลาในการสวิตช์มอสเฟตหาได้จากสมการที่ 3.12 และสมการที่ 3.13

$$T_{on} = \frac{L}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{L(pk)}}{V_{in(rms)}} \quad (3.12)$$

$$T_{off} = \frac{L \cdot I_{L(pk)} \cdot \sin(\theta)}{V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in(rms)} \cdot \sin(\theta)} \quad (3.13)$$

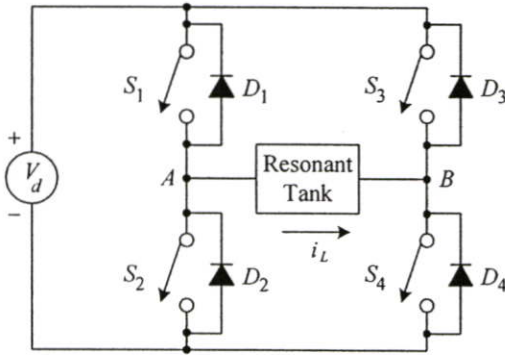
3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

วงจรอินเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้าไฟกระแสสลับความถี่สูง แหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยวงจรอินเวอร์เตอร์แต่ละแบบแต่ละจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป การเลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตช์ซึ่งนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของวงจรอินเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

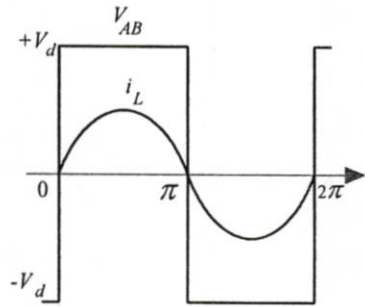
1. ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ในอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

จากข้อพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของอินเวอร์เตอร์ เพื่อตัดสินใจเลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบใด ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

3.6.1 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)



(ก) วงจรกำลัง

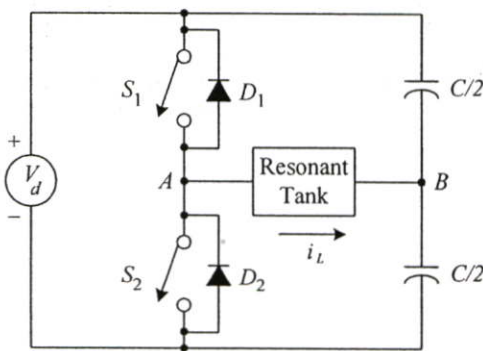


(ข) รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด

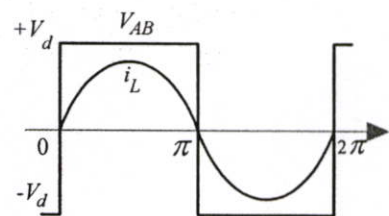
รูปที่ 3.15 วงจรกำลังและสัญญาณรูปคลื่นของโหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.15 (ก) จะมีคู่สวิตช์ S_1, S_4 และ S_2, S_3 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัตต์แรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ (V_{AB}) จะได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันสูงเท่ากับ $+V_d$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ $-V_d$ และกระแสไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.15 (ข) จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ให้กำลังไฟฟ้าได้มากกว่าเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

3.6.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter)



(ก) วงจรกำลัง

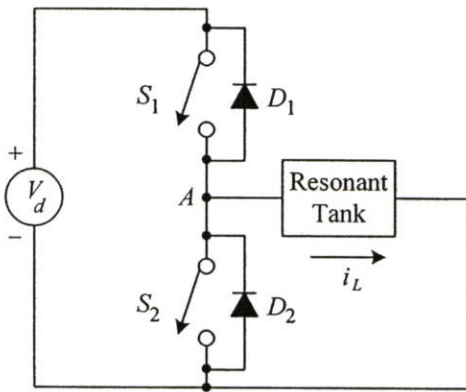


(ข) รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด

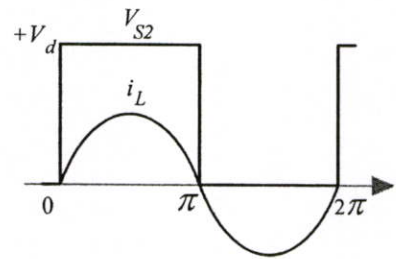
รูปที่ 3.16 วงจรกำลังและสัญญาณรูปคลื่นของโหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ซึ่งมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.16 (ก) จะมีสวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันเอาท์พุทอินเวอร์เตอร์ (V_{AB}) จะได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันสูงเท่ากับ $+V_d$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ $-V_d$ และกระแสไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.16 (ข) จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ให้กำลังไฟฟ้าเหมาะสมกับโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนักซึ่งจะต้องจ่ายแรงดันและกระแสในปริมาณที่เพียงพอได้

3.6.3 อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี (Class-D Inverter)



(ก) วงจรกำลัง



(ข) รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด

รูปที่ 3.17 วงจรกำลังและสัญญาณรูปคลื่นของโหลดอินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี

จากที่กล่าวมาแล้วว่า โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้เป็นวงจรโหลดเรโซแนนซ์ โดยที่วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรโหลดเรโซแนนซ์ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี ซึ่งมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.17 (ก) จะมีสวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ (V_{S2}) จะได้ค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ $+V_d$ และค่าแรงดันต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.17 (ข) จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ให้กำลังไฟฟ้าเหมาะสมกับโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนักซึ่งจะต้องจ่ายแรงดันและกระแสในปริมาณที่เพียงพอได้ ด้วยเหตุนี้ อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดีจึงถูกนิยมนำมาใช้กับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.7 วงจรเรโซแนนท์ (Resonant)

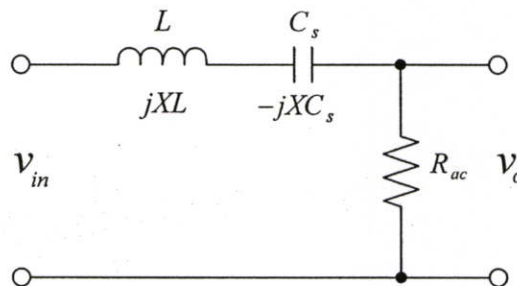
ปรากฏการณ์เรโซแนนท์คือ ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่ความถี่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร ($Z = R + X_L + X_C$; ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเรโซแนนท์แบบอนุกรม) มีค่าเท่ากับค่าความต้านทานพอดิ กล่าวคือ ทำให้ค่า $X_L = X_C$ ณจุดนี้จะให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรมากที่สุด และให้กำลังงานกับวงจรมากที่สุด

จากการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูง หลอดจะมีค่าความต้านทานที่สูงมากขณะจุดหลอดและจะลดลงในสถานะที่เสถียรภาพ ดังนั้นวงจรที่นำมาประยุกต์ใช้ในการจุดหลอดจึงต้องเป็นวงจรที่ทำงานขึ้นกับโหลด (Load Dependent) คือ สามารถให้แรงดันด้านออกที่สูงมากพอในขณะจุดหลอดและลดลงเมื่อหลอดทำงานในสถานะปกติ ทั้งนี้เมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงจะเสมือนว่าโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว ต่างจากการทำงานที่ความถี่ต่ำที่มีค่าอิมพีแดนซ์หลายแบบต่อรวมกันอยู่ ทั้งตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน

การพิจารณาเลือกชนิดของวงจรเรโซแนนท์มาประยุกต์ใช้นั้น เราจะพิจารณาที่อัตราขยาย (Gain) ของวงจร โดยเปรียบเทียบระหว่างแรงดันเข้ากับแรงดันออก ในการวิเคราะห์นี้จะทำการสมมติอุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้มีคุณสมบัติในอุดมคติ และพิจารณาว่าหลอดโซเดียมความดันสูงเป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

3.7.1 วงจรเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด (Series-loaded Resonant : SLR)

วงจรพื้นฐานเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด จะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.18 ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุและโหลดความต้านทาน



รูปที่ 3.18 วงจรพื้นฐานเรโซแนนท์อนุกรมกับโหลด

จากวงจรรูปที่ 3.18

$$v_o = i_i \cdot R_{lamp}$$

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

หาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

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

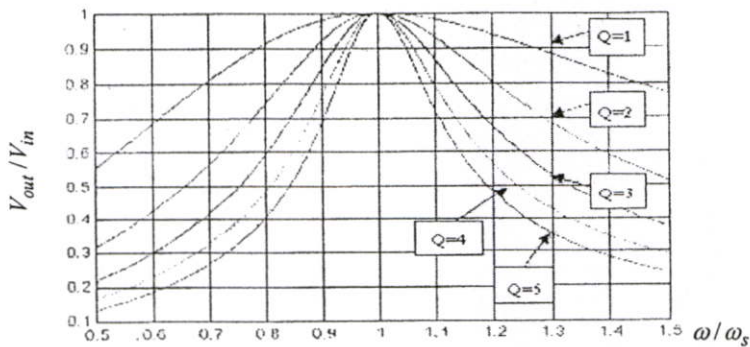
นำตัวแปร R_{lamp} หาคลอดสมการ

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

แทนค่าความสัมพันธ์ของเรโซแนนซ์แบบอนุกรมกับโพลเดแทนค่าลงในสมการ 3.15

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

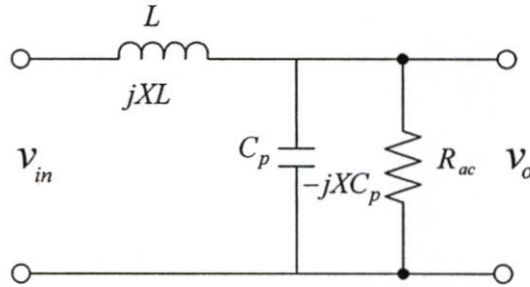
จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโพลเด สามารถนำมาวาด (Plot) กราฟ ได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโพลเด (SLR) โดยมีค่า $Q_s = 1-5$

3.7.2 วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด (Parallel-loaded Resonant : PLR)

วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนาน จะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.20 ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำต่อขนานกับตัวเก็บประจุและโหลดความต้านทาน



รูปที่ 3.20 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด

จากวงจรรูปที่ 3.20

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

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

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

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

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

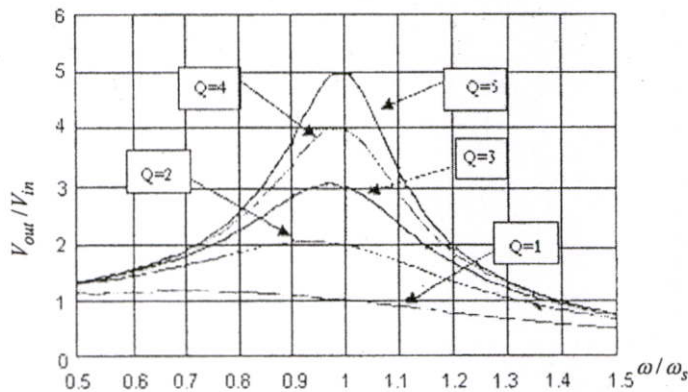
แทนค่าความสัมพันธ์ของเรโซแนนซ์ขนานกับโหลดแทนค่าลงในสมการ 3.17

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

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

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

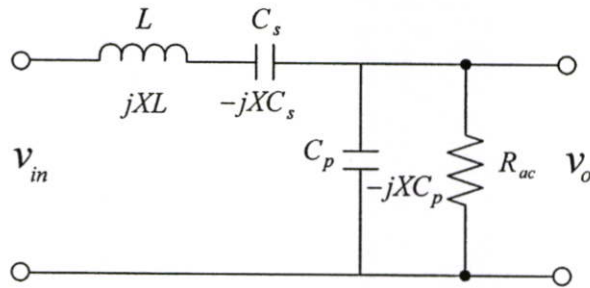
จากฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด สามารถนำมาวาด (Plot) กราฟได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ขนานอนุกรมกับโหลด (PLR) โดยมีค่า $Q_p = 1-5$

3.7.3 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด (Series-Parallel-loaded Resonant : SPLR)

วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด จะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด

จากวงจรรูปที่ 3.22

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

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

หาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

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

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

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 + Z_1 - Z_2} \quad (3.22)$$

เมื่อพิจารณาจากกระแสที่ไหลผ่านโหลด i_R

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

แทนค่า i_R ลงใน Z_1 จากสมการที่ 3.22

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{XC_s}{XC_p} \cdot \left(\frac{R_{lamp} - jXC_p}{R_{lamp} - jXC_p + jXC_p} \right) \\
 &= \frac{XC_s}{XC_p} \cdot \left(1 - j \frac{XC_p}{R_{lamp}} \right) \\
 Z_1 &= \frac{XC_s}{XC_p} - j \frac{XC_s}{R_{lamp}} \tag{3.24}
 \end{aligned}$$

แทนค่า i_R ลงใน Z_2 จากสมการที่ 3.24

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

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

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

$$Z_2 = \frac{XL}{XC_p} - j \frac{XL}{R_{lamp}} \tag{3.26}$$

แทนค่า Z_1, Z_2 ลงในสมการที่ 3.26

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

แทนค่าความสัมพันธ์ของเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนานกับโหนดแทนค่าลงในสมการ 3.27

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1}{1 + \left[\frac{\omega C_p}{\omega C_s} - \omega L \cdot \omega C_p \right] + j \left[\omega L \cdot \frac{Q_s}{\omega_s L} - \frac{1}{\omega C_s} \cdot Q_s \omega_s C_s \right]} \tag{3.28}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \frac{\omega^2}{\omega_p^2} + jQ_s \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]}$$

$$= \frac{1}{\left[1 + \frac{C_p}{C_s} - \left[\frac{\omega}{\omega_p} \right]^2 \right] + jQ_s \left[\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega} \right]}$$

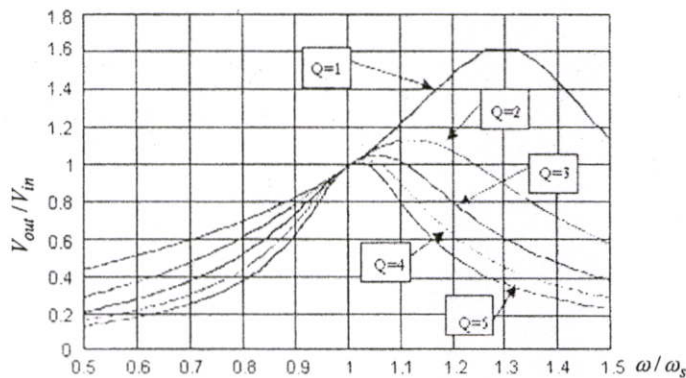
กรณี $C_s = C_p$

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

จะได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอน ของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน เมื่อ $C_s = C_p$

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

จากฟังก์ชันถ่ายโอน ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด สามารถนำมาวาด (Plot) กราฟได้ดังรูปที่ 3.23



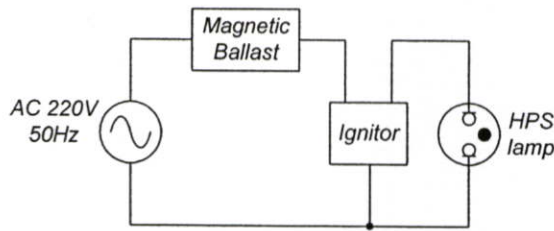
รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายเทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหลด (SPLR) โดยมีค่า $Q_s = 1-5$

3.8 วงจรจุดหลอด (Ignition)

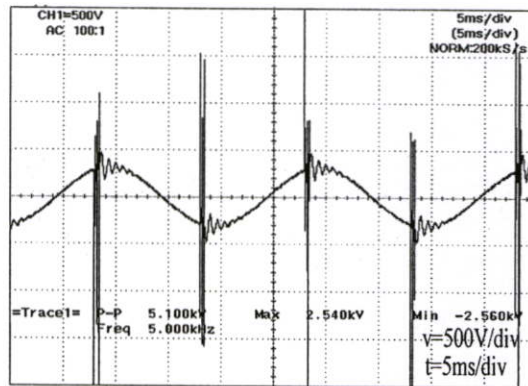
หลักการจุดหลอดโซเดียมความดันสูงคือ ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในไอระเหยของโซเดียม (Sodium Vapor) ที่มีความดันภายใต้อุณหภูมิต่ำซึ่งใช้แรงดันสูง 2,000 - 4,000 โวลต์ จึงจะทำให้หลอดติดได้ ใช้เวลาในการอุ่นไส้หลอดก่อนที่จะให้แสงสูงสุดเป็นเวลา 3 - 5 นาที ซึ่งจะแตกต่างไปจากการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แรงดันในการจุดหลอดที่ไม่สูงมากและหลอดจะสว่างทันที

3.8.1 วงจรจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

วงจรจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจะมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 3.24 (ก) เมื่ออิเหนอร์ได้สร้างแรงดันในการจุดหลอดจนกระทั่งครบวงจรแล้วแต่ก็ยังคงสร้างแรงดันคร่อมหลอดตลอดเวลาที่ใช้งานทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานมาก ซึ่งแสดงได้จากผลการทดสอบในรูปที่ 3.24 (ข)



(ก) วงจรจุดหลอดโดยอิเหนอร์



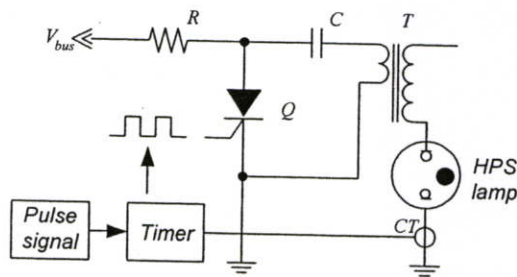
(ข) แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด

รูปที่ 3.24 วงจรจุดหลอดและแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

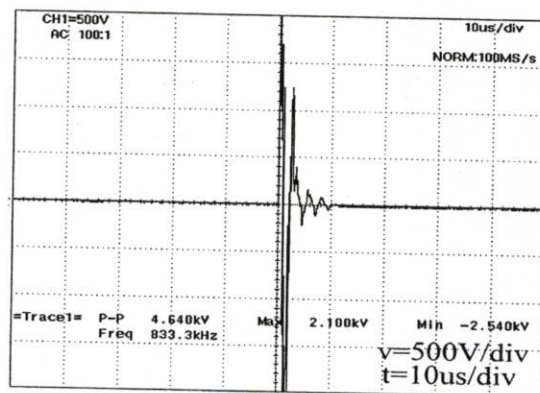
ในการออกแบบวงจรจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงนั้นหลักการที่ใช้ในการออกแบบคือ การสร้างพัลส์แรงดันสูงป้อนให้กับหลอดไฟแรงดันจะต้องสูงพอที่จะทำให้หลอดติดได้และมีการตัดวงจรเมื่อหลอดจุดติดแล้ว จะเห็นได้ว่าวงจรจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการสูญเสียลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก สำหรับวงจรจุดหลอดที่นำมาใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะแบ่งออกได้ 2 วงจรหลักคือ วงจรจุดหลอดแบบภายนอกและวงจรจุดหลอดแบบภายใน

3.8.2 วงจรจุดหลอดแบบภายนอก (External Ignition)

วงจรจุดหลอดแบบภายนอกจะมีลักษณะวงจรตามรูปที่ 3.25 (ก) ประกอบไปด้วยหม้อแปลงยกระดับแรงดันขึ้น (Step up Transformer) ที่สร้างแรงดันมากกว่า 3,000 โวลต์ จนกระทั่งเมื่อหลอดติด กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรจากนั้นหม้อแปลงนำกระแส (Current Transformer) จะส่งสัญญาณป้อนกลับมายังหน่วยควบคุมให้ทำการสวิตช์ เปลี่ยนการทำงานของหม้อแปลงยกระดับแรงดันเป็นหม้อแปลงรักษาระดับแรงดัน (Holding Transformer)



(ก) วงจรจุดหลอดแบบภายนอก

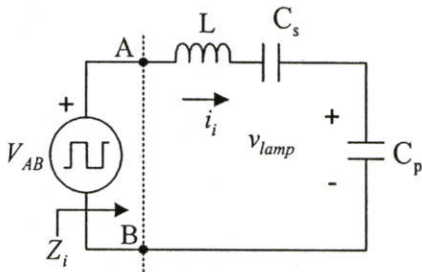


(ข) แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด

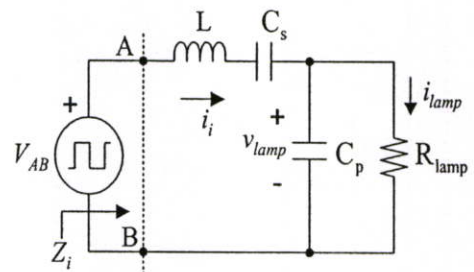
รูปที่ 3.25 วงจรจุดหลอดแบบภายนอกและแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด

3.8.3 วงจรจุดหลอดแบบภายใน (Internal Ignition)

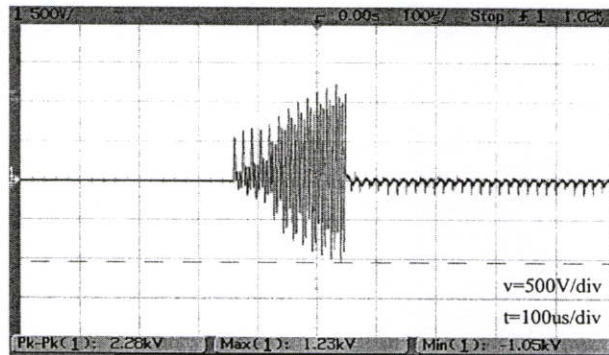
วงจรจุดหลอดภายในแบบ LCC โดยใช้ทฤษฎีหลักการเรโซแนนซ์ร่วมในการวิเคราะห์ในส่วนการวิเคราะห์ห้วงจรจุดหลอดจะพิจารณา 2 สภาวะ คือ กรณีที่หลอดยังไม่ติดจากรูปที่ 3.26 (ก) ค่าอิมพีแดนซ์ที่โหลดหลอดไฟมีค่าสูงมากโดยที่ตัวเก็บประจุ (C_p) ที่ขนานกับหลอดไฟจะทำหน้าที่ช่วยในการจุดหลอด จนกระทั่งเมื่อหลอดติดแล้วกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรค่าอิมพีแดนซ์ของหลอดไฟจะลดลงเปรียบเสมือนกับค่าความต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ข) ในการออกแบบวงจรจุดแบบนี้ต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน[1],[2] ร่วมในการวิเคราะห์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.26 วงจรจุดหลอดภายในแบบ LCC

- (ก) ก่อนการจุดไส้หลอด
- (ข) หลังการจุดไส้หลอด
- (ค) แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด

จากการทดลองพบว่าวงจรจุดหลอดแบบภายในนอกช่วงเวลาในการอุ่นไส้หลอด กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟมีค่าสูงกว่าแบบภายในมาก อุปกรณ์สวิตช์มีความเค้นสูงทำให้อุณหภูมิที่สวิตช์ มอสเฟตมีค่าสูงตามไปด้วย อีกทั้งในกรณีที่หลอดจุดไม่ติดยังทำให้ภาควงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานค้างสภาวะเกิดการเสียหายที่ตัวอุปกรณ์สวิตช์ได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วงจรจุดหลอดแบบภายใน จากการทดสอบการพบว่าใช้จุดหลอดได้จริง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดณช่วงเวลาในการอุ่นไส้หลอดไฟมีค่าไม่สูงมาก การทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ในภาคอินเวอร์เตอร์มีความนุ่มนวลมากขึ้นกว่าวงจรจุดแบบภายนอก

3.9 บทสรุป

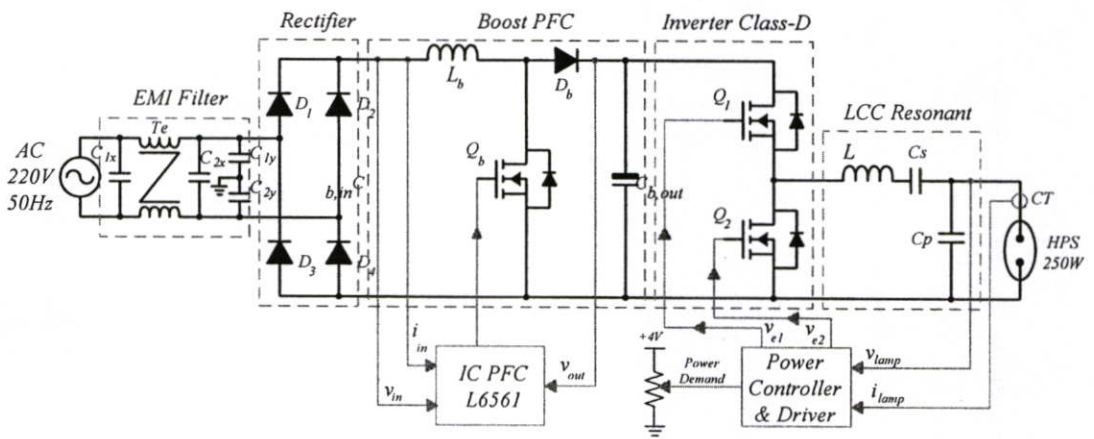
ในบทนี้จะกล่าวได้กล่าวถึง โครงสร้างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ภาพรวมของวงจรที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรกรองอีเอ็มไอฟิลเตอร์, วงจรเรียงกระแส, วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาร่วมใช้ในวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง, วงจรอินเวอร์เตอร์, วงจรเรโซแนนท์, วงจรจุดหลอด, การวิเคราะห์วงจร สภาวะการทำงานของวงจร การเลือกวงจรที่เหมาะสมกับงานวิจัย พร้อมทั้งกล่าวถึงเทคนิคการสร้างวงจรกำลังและวงจรควบคุม

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบที่นำเสนอ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะ โครงสร้าง การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้อินเวอร์เตอร์คลาสดีแบบ LCC ที่มีการควบคุมกำลังไฟที่โหลดให้คงที่เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับหลอดโซเดียมความดันสูงนั้นภายในประกอบไปด้วย วงจรกำลังและวงจรควบคุม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่นำเสนอ

4.2 การออกแบบวงจรกรองอีเอ็มไอ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรอีเอ็มไอฟิลเตอร์แบบพาย (π) การกำหนดค่าอุปกรณ์ ตัวต้านทาน R ที่ต่ออยู่ในวงจรมีไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุชนิด “X” คายประจุทิ้งไปได้ ตามมาตรฐานความปลอดภัยทั่วไปกำหนดว่าถ้าค่าตัวเก็บประจุชนิด “X” มีค่าตั้งแต่ 0.1 ไมโครฟารัดขึ้นไปตัวต้านทาน R จะต้องมีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{t}{2.21C} \quad (4.1)$$

โดยกำหนดให้ t มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ C คือ ผลรวมของค่าตัวเก็บประจุชนิด “X” ในวงจรฟิลเตอร์เป็นฟารัด ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจร LC ฟิลเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตของฟิลเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับและค่าความแตกต่าง

อิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุตของฟิลเตอร์กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามาก อัตราลดทอนสัญญาณรบกวนจะเป็นไปได้มากด้วย

4.2.1 ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y”

ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y” เป็นตัวเก็บประจุสำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวน ใช้กับแรงดันไฟสลับ 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ การต่อตัวเก็บประจุเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนตามมาตรฐานความปลอดภัยของ IEC ได้กำหนดให้ต่อใช้งานแยกประเภทตามตำแหน่งการใช้งานดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ตัวเก็บประจุชนิด “X” (X-capacitor)

ให้ใช้ต่อได้เฉพาะตำแหน่งที่ไม่ทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าช็อตหากตัวเก็บประจุเกิดลัดทะเลหรือทำงานผิดพลาด การใช้ตัวเก็บประจุชนิด “X” จะไม่มีการจำกัดค่าความจุสูงสุดของตัวเก็บประจุไว้ ตัวเก็บประจุชนิด “X” ยังแบ่งออกได้เป็นอีกชนิด “X₁” และชนิด “X₂” ตามอัตราทนแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุ โดยตัวเก็บประจุชนิด “X₁” มีอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานได้มากกว่า 1,200 โวลต์ ส่วนตัวเก็บประจุชนิด “X₂” มีอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานได้ต่ำกว่า 1,200 โวลต์ลงมา

4.2.1.2 ตัวเก็บประจุชนิด “Y” (Y - capacitor)

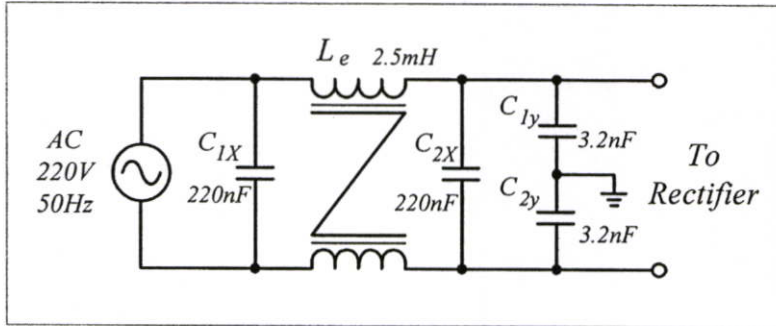
ยอมให้ใช้ได้เฉพาะตำแหน่งที่อาจทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับอันตรายจากไฟฟ้าช็อต ถ้าตัวเก็บประจุเกิดทะเลหรือทำงานผิดพลาด ตัวเก็บประจุชนิด “Y” จัดเป็นอุปกรณ์ที่เสี่ยงกับความปลอดภัยจึงต้องมีมาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยสูง และต้องมีโครงสร้างที่ป้องกันการลัดทะเลได้ดี ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิด “Y” ต้องมีค่าต่ำเพื่อจำกัดกระแสรั่วไหลหรือจำกัดกระแสลัดชอร์ตจากตัวเก็บประจุชนิด “Y” ลงดิน (ตามมาตรฐานความปลอดภัยเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทั่วไปจะต้องมีกระแสรั่วลงดินน้อยกว่า 0.5 มิลลิแอมป์)

4.2.2 ตัวเหนี่ยวนำ

ตามวงจรตัวเหนี่ยวนำจะต่ออนุกรมกับวงจร เพราะฉะนั้นการออกแบบจะต้องใช้เส้นลวดที่ทนกระแสสำหรับจ่ายโหลดได้ ตัวเหนี่ยวนำ L₁ และ L₂ หรือ L₃ และ L₄ จะพันอยู่บนแกนเดียวกัน ซึ่งมีทิศทางการพันขดลวดสวนทางกัน โดยทั้ง 2 จะมีค่าเท่ากันในแต่ละคู่ ส่วนแกนเหล็กที่จะนำมาใช้งานจะต้องเป็นแกนสำหรับใช้งานกับความถี่สูง ได้แก่ แกนที่ทำจากสารเฟอร์ไรต์ ซึ่งอาจเป็นแกนทรงกลม (toroids) หรือ ชนิด EE หรือ EI ก็ได้ ส่วนค่าของตัวเหนี่ยวนำจะได้ออกมาจากการทดลอง

สำหรับการออกแบบวงจรกรองอีเอ็มไอ การกำหนดค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะ ได้มาจากการปรับแต่งค่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาทดลองและ ตรวจสอบตามมาตรฐานในทุกๆย่านการทำงานของวงจร ถ้าผลที่ทดสอบได้เท่าหรือต่ำกว่าระดับ มาตรฐานจะถือได้ว่าค่านั้นเป็นค่าที่ใช้งานได้ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ค่ามาตรฐานย่านความถี่แถบ A ในการทดสอบ

วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 4.2 วงจรอีเอ็มไอฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบ

4.3 การออกแบบวงจรเรียงกระแส

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นแบบบริดจ์ 1 เฟส โดยข้อพิจารณาในการออกแบบวงจรเรียงกระแสจะอยู่ที่การเลือกใช้ไดโอดกำลังซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญ 5 ประการ คือ

1. ต้องสามารถทนกระแสกระชากได้ (Inrush Current : I_{FSM}) กระแสกระชากจะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มเปิดสวิตช์จ่ายไฟให้วงจร ซึ่งในขณะนั้นตัวเก็บประจุไม่มีประจุอยู่เลย ค่าความต้านทานของวงจรจะต่ำมาก คือมีความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุ (ESR) กับ R_s เท่านั้น

$$\text{กระแสกระชาก} \quad I_{FSM} = \frac{V_{out(DC)}}{R_s + ESR} \quad (4.2)$$

อัตราทนกระแสกระชาก I_{FSM} ของไดโอดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า I_{FSM} ที่คำนวณได้

2. ต้องสามารถทนกระแสสูงสุดได้ชั่วขณะ (I_{FRM}) เป็นกระแสสูงสุดที่เกิดขณะชาร์จตัวเก็บประจุฟิเตอร์ก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดจะเกิดในระยะเวลานั้นๆ โดยทั่วไปจะกำหนดจากวงจรการทำงานของไฟกระแสสลับ (1/50 วินาที หรือ 20 มิลลิวินาที) กระแสจำนวนนี้มีค่าสูงมากและไม่ใช้กระแสตอนปฏิบัติงานจริง

3. อัตราทนกระแสไบแอสตรง (Forward Bias : I_{FM}) เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดทนได้โดยไม่พังเสียก่อน โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 1.5 ถึง 2 เท่าของกระแสปกติ

4. อัตราการทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Bias :PRB) หรืออัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage : PIV) เมื่อเราต่อไดโอดแบบบริดจ์จะมีแรงดันตกคร่อมโพลดเมื่อไบแอสกลับเท่ากับแรงดันที่เอาท์พุทของวงจร แต่เมื่อต่อแบบเรกติไฟร์จะพบว่าแรงดันไบแอสกลับจะเป็น 2 เท่า ของแรงดันสูงสุดตามปกติและเป็น 2.83 เท่าของแรงดัน RMS

5. กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับไบแอสกลับ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปแล้วมีค่าน้อยมากเท่าใดก็จะดีมากเท่านั้น

ดังนั้นไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นไดโอดกำลังชนิดเต็มคลื่นแบบบริดจ์ดังแสดง โดยพิกัดกำลังหาได้ตามสมการที่ 4.3

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in} \cdot \cos \phi \quad (4.3)$$

ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้เป็น

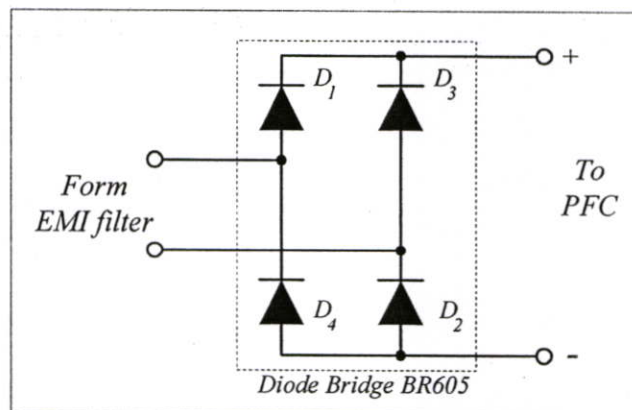
พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	250 วัตต์
ด้านอินพุตรับไฟฟ้ากระแสสลับ	220 โวลต์
ตัวประกอบกำลังมีค่า	0.95

จากสมการที่ 4.3 จะได้

กระแสที่จะไหลผ่านไดโอด 1.20 แอมป์

แต่เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีการทำงานแบบสวิตซ์ซึ่งดังนั้นจึงกำหนดให้ไดโอดทำงานที่ 70 % ของพิกัดตัวเอง จะได้ว่าไดโอดที่ควรเลือกมาใช้งานจะมีพิกัดกระแสอยู่ที่ 2.04 แอมป์ ดังนั้นจึงเลือกไดโอดบริดจ์เบอร์ **BR605** พิกัดขนาด **500 V 6 A** ซึ่งหาซื้อตามท้องตลาดได้ง่าย โดยมีลักษณะการต่อวงจรตามรูปที่ 4.3

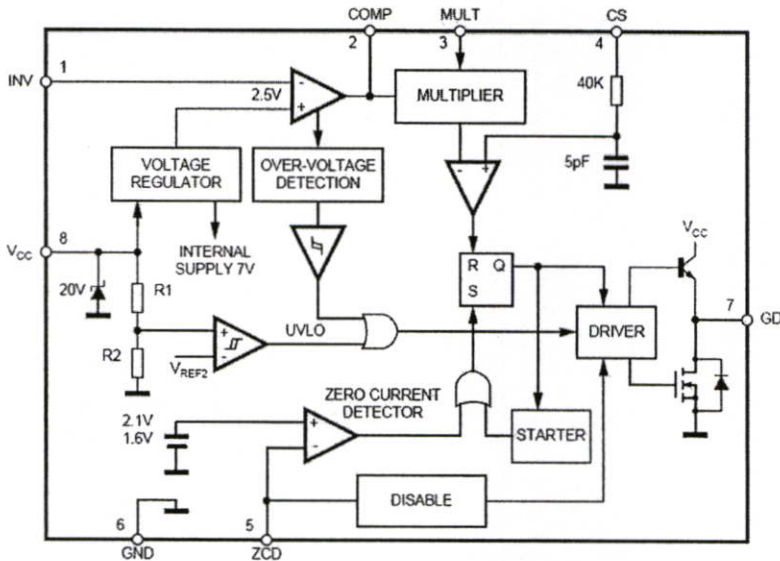
วงจรเรียงกระแสที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 4.3 วงจรเรียงกระแสที่ได้ออกแบบ

4.4 การออกแบบวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

ในงานวิจัยนี้เลือกการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบแอกทีฟ โดยใช้ไอซีทำหน้าที่สร้างสัญญาณในการขับสวิตช์ให้กับวงจรรูปสคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นได้เลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ L6561 (Power Factor Corrector) ซึ่งมีบล็อกไคอะแกรมของการทำงานแต่ละวงจรภายในตัวไอซี ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 Internal Block Diagram ของไอซี L6561

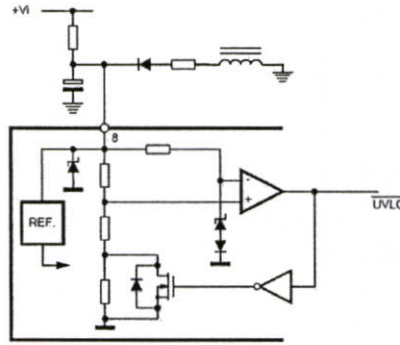
4.4.1 คุณสมบัติของไอซี L6561

1. ใช้งานได้ที่แรงดันอินพุตในช่วงกว้างตั้งแต่ 85-265 โวลต์ มีค่า THDi ต่ำ
2. สำหรับการป้องกันแรงดันย้อนกลับ มี Low Pass Filter ภายในตัวจึงไม่ต้องต่อจากภายนอกช่วยลดอุปกรณ์ในการคำนวณ
3. มี Under Voltage Lockout ด้วย Hysteresis
4. ใช้กระแสขณะเริ่มต้น (Start up Current) และกระแสระหว่างการทำงาน (Stand by Current) ต่ำ (μA) จึงไม่สิ้นเปลืองพลังงานมากนอกจากนี้ยังให้กระแสเอาต์พุตสำหรับการขับสวิตช์ MOSFET มีค่า $\pm 400mA$
5. อุปกรณ์ภายในมีความคลาดเคลื่อนเพียง 1%
6. ส่วนที่มีความเสียหายจะถูกตัดออกและมีการลดกระแสเลี้ยงวงจร
7. มีระบบป้องกันแรงดันเกิน (Over Voltage) 2 ระดับ
8. มี RC Filter สำหรับ Current sense
9. มีขาต่อร่วมใช้งาน 8 ขา

4.4.2 วงจรการทำงานภายในของไอซี L6561

1) Supply Block

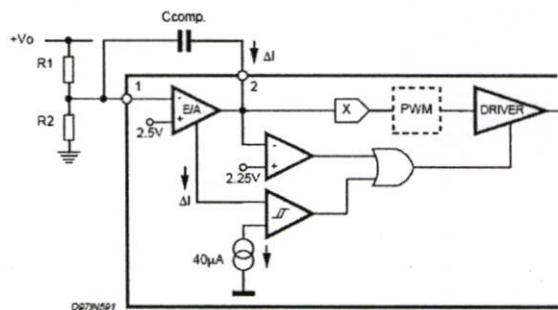
แรงดันเรกูเลเตอร์ที่จ่ายให้กับไอซีที่ขา V_{CC} เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ลิเนียร์ ซีเนอร์ไดโอดภายในตัวไอซีจะทำหน้าที่ลิมิตแรงดันไว้ที่ 7 โวลต์ โดยแต่ละวงจรภายในตัวไอซีจะใช้แรงดันอ้างอิงที่ $(2.5V \pm 1\% @ 25^{\circ}C)$ ในรูปควบคุม



รูปที่ 4.5 Internal Supply Block

2) Error Amplifier Block

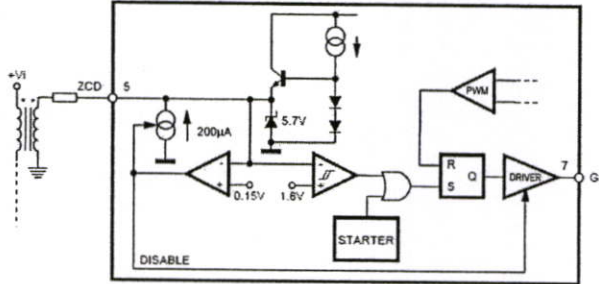
การทำงานของภาควงจรถบายความผิดพลาด (Error Amplifier) ภายในตัวไอซีเริ่มจากการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันด้านออก (V_o) ที่ได้จากการแบ่งแรงดันระหว่างตัวต้านทาน 2 ตัว ที่ต่อภายนอกที่ขา 1 (INV) กับแรงดันอ้างอิงภายใน (2.5 โวลต์) สร้างเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ต่างกัน (Error Signal) ของ E/A และการต่อตัวเก็บประจุภายนอกกับขา 2 (COMP) เพื่อใช้สำหรับแก้ไขความถี่โดยมีช่วงความถี่กว้าง (Bandwidth) ที่แคบเพราะเอาต์พุตของ E/A ต้องคงที่เพื่อให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่สูงในส่วนของการป้องกันแรงดันเกินจะทำงานโดยอาศัยกระแสเอาต์พุตของ E/A โดยมีการป้องกันแรงดัน 2 ระดับ คือ Soft Breaking ทำงานเมื่อแรงดันเกินมีค่าไม่มาก จะค่อยๆ หยุดวงจรลงเรื่อยๆ และ Sharp Breaking จะทำงานเมื่อแรงดันเกินมีค่ามากและ Soft Breaking ทำงานไม่ทันก็จะหยุดวงจรทันที ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Error Amplifier and Overvoltage Detector Block

3) Zero Current Detection and Triggering Block

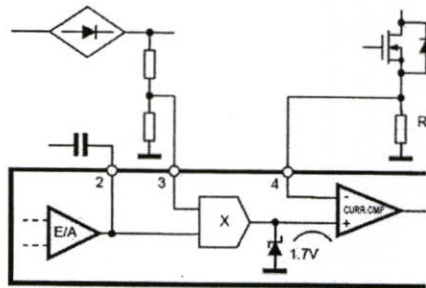
แรงดันตกคร่อมที่สวิตช์มอสเฟตจะตรงกันข้ามกับตัวเหนี่ยวนำของวงจรถูกควบคุมมอเตอร์ หลังจากกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมอเตอร์จนถึงศูนย์ จะทำให้ไทมเมอร์ (Timer) ภายในไอซีเริ่มทำงาน



รูปที่ 4.7 Zero Current Detection and Triggering and Disable

4) Multiplier Block

สัญญาณความผิดพลาดจากภาคขยายความผิดพลาด จะถูกส่งไปยังวงจรถคูณ (Multiplier) เพื่อทำการคูณกับสัญญาณแรงดันที่ตรวจจับจากแหล่งจ่ายที่ออกจากวงจรเรียงกระแสโดยตรงที่ขา 3 (MULT) ถ้าแรงดันที่ออกจากภาคขยายความผิดพลาด มีค่าคงที่สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจรถคูณ จะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณที่ได้รับมาจากวงจรเรียงกระแส

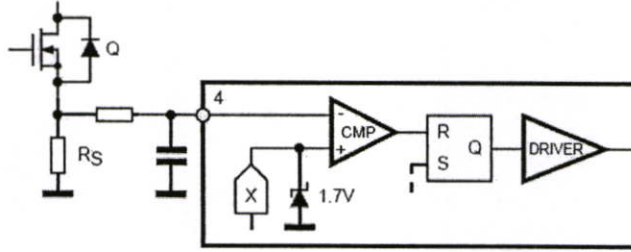


รูปที่ 4.8 Multiplier Block

5) Current Comparator and PWM Latch

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถคูณจะถูกส่งต่อไปเป็นสัญญาณอินพุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกระแส (Current Comparator :C/C) โดยอินพุตอีกตัวหนึ่งจะรับสัญญาณกระแสตรวจจับ (Current Sense) จาก R_s ที่ขา 4 (CS) ซึ่งจะถูกแควน (Clamp) ไว้ด้วยแรงดันอ้างอิง 1.7 โวลต์ ที่ขา บวกของวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เป็นการจำกัดกระแสที่เกิดขึ้นถ้าแรงดันตกคร่อม R_s ถึงค่า 1.7 โวลต์ ในสภาวะนี้มอสเฟตที่ต่อภายนอกกับขา 7 (GD) จะ "Turn off" ผลที่ตามมาคือกระแสสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำจะเป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำงานนี้จะสร้างช่วงเวลาการ "ON" ที่คงที่และส่วนของ PWM Latch จะป้องกันไม่ให้มอสเฟตทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากสัญญาณ

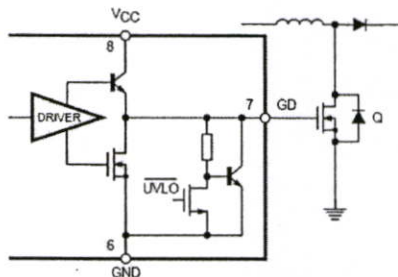
รบกวน (Noise) หลังจากมอสเฟต “Turn off” แล้วตัวเหนี่ยวนำในวงจรบรูส จะจ่ายพลังงานไปให้ โทลคจนกระทั่งกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเร็วกว่าแรงดัน ด้านแหล่งจ่ายวงจรป้องกัน (Zero Current Detention :ZCD) ที่รับสัญญาณจากขา 5 (ZCD) จะจับ สัญญาณให้มอสเฟตเริ่มทำงานใหม่และกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง



รูปที่ 4.9 Current Comparator and PWM Latch

6) Driver

สัญญาณกระแสเอาท์พุทที่ส่งออกจากวงจรจับภายในตัวไอซีมีค่า $\pm 400mA$ สามารถที่จะ นำไปขับสวิตซ์วงจรกำลังของวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ได้โดยตรงแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 Driver

ในการคำนวณหาค่าอุปกรณ์ของวงจรภาคกำลังต้องกำหนดคุณสมบัติของวงจวก่อน ซึ่งในงานวิจัย นี้ได้กำหนดคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าที่ต้องการทางด้านขาออก	P_o : 250 W
แรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้า	V_i : 90-240 Vac(rms)
ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า	f : 50 Hz
แรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก	V_o : 360 Vdc
ความถี่ของสวิตซ์ต่ำสุด	$f_{sw(min)}$: 40 kHz
ประสิทธิภาพ	η : 90 %

4.4.3 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

1) ตัวเก็บประจุด้านเข้า (C_{in})

ทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณด้านเข้าความถี่สูง ซึ่งสามารถที่จะลดสัญญาณรบกวนลดลงได้ในระดับที่เหมาะสม แรงดันกระแสที่เพิ่มสูงสุดที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 1% - 10% ของค่าแรงดันต่ำสุดทางด้านเข้า โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4 เมื่อ ($r = 0.01-0.1$)

$$C_{in} = \frac{I_{rms}}{2\pi \cdot f_{sw(min)} \cdot r \cdot V_{rms(min)}} \quad (4.4)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $C_{in} = 1.47\mu F$ ที่พิกัดแรงดัน 450 โวลต์

2) ตัวเก็บประจุด้านออก (C_o)

ในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุแรงดันทางด้านออกสามารถหาได้จากสมการที่ 4.5 โดยที่ค่า ΔV_o สามารถเลือกได้จาก 1 - 5 % ของแรงดันเอาต์พุทหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันกระแสเพิ่มทางด้านออก

$$C_o \geq \frac{I_o}{4\pi \cdot f \cdot \Delta V_o} = \frac{P_o}{4\pi \cdot f \cdot V_o \cdot \Delta V_o} \quad (4.5)$$

$$I_{Crms} = \sqrt{\frac{32\sqrt{2}}{9\pi} \cdot I_{rms}^2 \cdot \frac{V_{irms}}{V_o} - I_o^2}$$

ดังนั้นจะได้ค่า $C_o = 100\mu F$ ที่พิกัดแรงดัน 450 โวลต์

3) ค่าตัวเหนี่ยวนำบัส (L_b)

ในการหาค่าตัวเหนี่ยวนำบัส สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 4.6

$$I_{Lpk} = 2\sqrt{2} \frac{P_o}{V_{irms}}$$

$$L = \frac{V_{irms(min)}^2 (V_o - \sqrt{2}V_{irms(min)})}{2f_{sw(min)} P_i V_o} \quad (4.6)$$

เลือกค่าตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ $250 \mu H$

4) สวิตช์วงจรกำลัง (Q_b)

สวิตช์กำลังที่เลือกใช้ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์คือ MOSFET กำลัง โดยพิจารณากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำค่ากระแสด้านออกของวงจร

บวสคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 4.7

$$I_{Orms} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{rms} \cdot \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{4\sqrt{2} \cdot V_{irms}}{9 \cdot \pi \cdot V_o}} \quad (4.7)$$

เมื่อพิจารณากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์เท่ากับกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ 1.2 A. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์เท่ากับแรงดันไฟฟ้าทางด้านออก 360 V. ดังนั้นค่ากระแสด้านออกที่มอสเฟตต้องทนได้คือ 1.8 A และที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 500V เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ **IRFP450**

5) ไดโอดความถี่สูง (D_b)

ไดโอดกำลังที่นำมาใช้ในวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์นั้น จะต้องเป็นไดโอดชนิดที่ความถี่ในการเปิด-ปิดเร็วสูง พิจารณาที่กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านและแรงดันย้อนกลับ โดยเราสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ คือ

$$I_{Drms} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{rms} \cdot \sqrt{\frac{4\sqrt{2} \cdot V_{irms}}{9 \cdot \pi \cdot V_o}} \quad (4.8)$$

แรงดันพังทลายมากกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออก 360 V.

ทนกระแสไฟฟ้าได้สองเท่าของกระแสไฟฟ้าด้านออก 0.2 A. ดังนั้นจะได้ค่า $I_{Drms} = 0.29$ A เลือกใช้ไดโอดเบอร์ **MUR 490 (ULTRAFast RECTIFIERS)**

4.4.4 การออกแบบวงจรการทำงานภายนอกของไอซี L6561

โดยจะพิจารณาจากอุปกรณ์แต่ละขาภายในตัวไอซี ได้ดังนี้

ขา1 (INV)

เป็นหนึ่งในสองขาของวงจรขยายกระแสภายในไอซีไปยังภาคป้องกันแรงดันเกิน โดยอีกขาหนึ่งเป็นขา non-inverse ซึ่งเป็นอินพุตของวงจรขยายกระแสซึ่งจะมีสัญญาณแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ที่ 2.5V และระดับกระแสป้องกันแรงดันเกิน $40\mu A$ โดยเลือก รีปเปิลแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมรับได้ ΔV_{out} ที่ 40 โวลต์

โดยที่ R_{d1} และ R_{d2} สามารถหาได้จากความสัมพันธ์สมการที่ 4.9

$$\frac{R_{d1}}{R_{d2}} = \frac{V_o}{2.5V} - 1 \quad (4.9)$$

จะได้ค่า $R_{d1} = 998 \text{ k}\Omega$ และค่า $R_{d2} = 6.34 \text{ k}\Omega$

ขา2 (COMP)

เป็นขาเอาต์พุตของวงจรขยายกระแสและเป็นหนึ่งในสองของวงจรตัวคูณสัญญาณโดยทำหน้าที่เป็นวงชดเชยให้โอซี กับขา1 โดยจะต่อตัวเก็บประจุคร่อมขาทั้งสองไว้ โดยสามารถที่จะกรองความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี โดยคำนวณหาค่า C_{comp} ได้จากค่าแบนวิดธ์ระหว่าง 20 – 30 Hz

$$BW = \frac{1}{2\pi \cdot (R_{d1} // R_{d2}) \cdot C_{comp}} \quad (4.10)$$

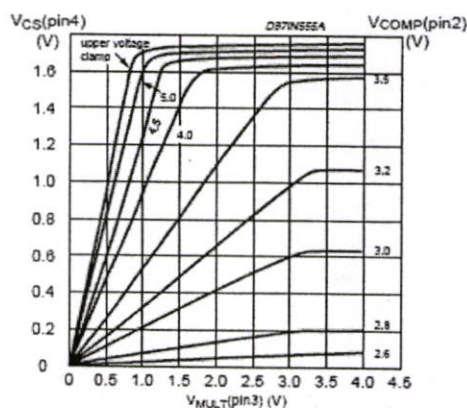
$$C_{comp} \geq \frac{1}{2\pi \cdot (R_{d1} // R_{d2}) \cdot BW} \quad (4.11)$$

ดังนั้นจะได้ค่าตัวเก็บประจุ $C_{comp} = 1\mu F$ 25V

ขา3 (MULT)

เป็นขาทำหน้าที่ของภาคตัวคูณซึ่งจะถูกต่อร่วมกับจุกรับสัญญาณแรงดันของวงจรเรียงกระแสด้านเข้าตามแรงดันสัญญาณไซน์โดยสามารถที่จะอธิบายได้ตามความสัมพันธ์

$$V_{CS} = k \cdot (V_{comp} - 3.5V) \cdot V_{mult} \quad (4.12)$$



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ในการจัดเตรียมตัวคูณของไอซี L6561

ช่วงการใช้งานในที่ที่เหมาะสมของภาคตัวคูณได้ดังนี้

$$V_{mult} = \frac{V_i \cdot R_{m2}}{R_{m1} + R_{m2}} \quad (4.13)$$

$$V_{mult, pk} = \frac{V_{irms} \cdot \sqrt{2} \cdot R_{m2}}{R_{m1} + R_{m2}}$$

$$\frac{R_{m2}}{R_{m1} + R_{m2}} = \frac{V_{mult, pk}}{\sqrt{2} \cdot V_{irms}}$$

กำหนดค่า R_{m2} ได้ก่อนซึ่งควรมีหน่วยเป็นหลักร้อยขึ้นไปเพื่อกระแสจะไหลได้น้อยลงและลดกำลังสูญเสียคั้งนั้นจะได้ค่าที่เหมาะสม

จะได้ $R_{m1} = 1.24 \text{ M}\Omega$, $R_{m2} = 10\text{k}\Omega$

ข4 (CS)

ทำหน้าที่ตรวจจับกระแสด้านเข้า สามารถที่จะหาค่าความต้านทานที่ใช้ตรวจจับได้จาก

$$I_{RS,pk} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{P_i}{V_{irms}}$$

$$R_S = \frac{V_{CS,pk}}{I_{RS,pk}} \quad (4.14)$$

คั้งนั้นจะได้ค่าตัวต้านทาน (R_S) = 0.5 Ω

4.4.5 การออกแบบวงจรถดเชยแรงดัน (Voltage error amplifier compensation)

การออกแบบตัวชดเชยจะใช้วิธีผลตอบสนองเชิงความถี่ คั้งนั้นฟังก์ชันถ่ายโอน [4]

$$G_{vc}(s) = \frac{1}{2} \cdot \frac{K_m \cdot K_p \cdot V_{irms}^2}{R_S \cdot V_O} \cdot \frac{1}{s \cdot C_O} \quad (4.15)$$

โดยที่

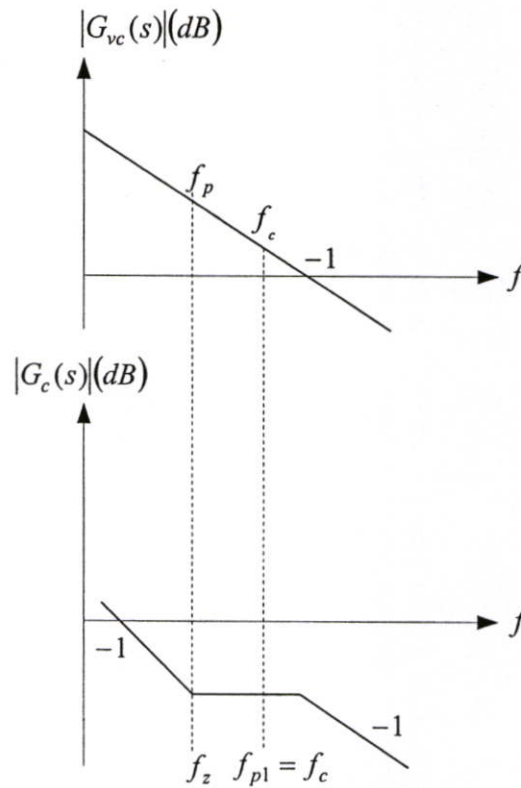
$$K_m(V_{comp}) = 0.651 \times (1 - 85.29e^{-1.776 \times V_{comp}}) \quad (4.16)$$

$$K_p = \frac{R_{d2}}{R_{d1} + R_{d2}} \quad (4.17)$$

พิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้ามีค่าต่ำ (V_{irms}) = 90V และ V_{comp} = 4V จะได้

$$G_{vc}(s) = 0.1005 \cdot \frac{1}{0.000136s} \quad (4.18)$$

ผลตอบสนองเชิงความถี่แสดงอัตราขยายโดยการประมาณแอสซิมโทต แสดงได้คั้งรูปที่ 4.12 โดยค่า -1 และค่า -2 ในรูปหมายถึง -20dB/decade และ -40dB/decade ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองเชิงความถี่แสดงอัตราขยายในการออกแบบตัวชดเชย $G_{vc}(s)$, $G_c(s)$

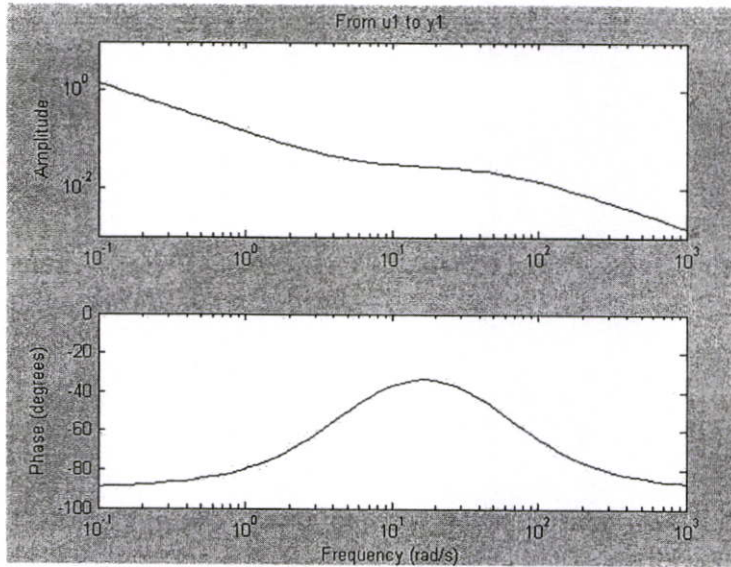
1. กำหนดให้ $f_c = 10$ Hz
2. วางโพลตัวหนึ่งของวงจรถดเชยที่ $f_{p0} = 1$ Hz (ที่ความถี่ต่ำ)
3. วางโพลตัวที่สองของวงจรถดเชยที่ $f_{p1} = 10$ Hz (ใกล้กับ $f_c = 10$ Hz)
4. วางซีโรทั้งสองตัวของวงจรถดเชยที่ $f_z = 1$ Hz (ที่ความถี่ต่ำ)
5. กำหนดค่าอุปกรณ์ชดเชยที่ใช้ ได้แก่ $R_{IV} = 400$ k Ω , $R_{ZV} = 2$ M Ω , $C_{ZV} = 0.1$ μ F และ $C_{PV} = 10$ pF

นำค่าอุปกรณ์ชดเชยไปแทนในฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรถดเชยดังนี้

$$G_c(s) = 0.0062 \cdot \frac{1}{\frac{s}{22.73}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{s}{5}\right)}{\left(1 + \frac{s}{55}\right)} \quad (4.19)$$

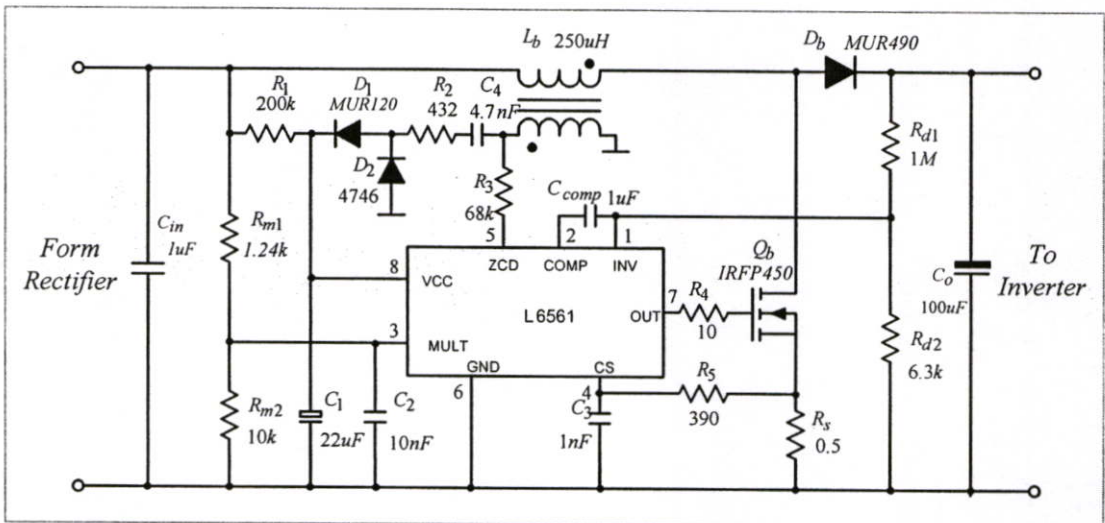
ตรวจสอบเสถียรภาพของระบบจากแผนภาพโบลของฟังก์ชันถ่ายโอนลูปิด ที่ได้จากการคูณฟังก์ชันถ่ายโอน $G_{vc}(s)$ กับฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ โดยการใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 แผนภาพโบลของฟังก์ชันถ่ายโอนลูปิดกรณีการทางไฟฟ้าคงที่ จะเห็นว่าความถี่ครอสโอเวอร์มีค่าประมาณ 4Hz ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากับค่าที่เลือกใช้ในการออกแบบ (10Hz) เนื่องจากแผนภาพโบลที่ใช้ในการออกแบบเป็นแผนภาพโบลในการประมาณแอสซิมโทต แต่แผนภาพโบล

โดยใช้โปรแกรม MATLAB เป็นแผนภาพโบดจริงของฟังก์ชันถ่ายโอน รวมถึงค่าอุปกรณ์
 ชนิดเซมิคอนดักเตอร์ที่เลือกใช้ได้มาจากการปิดค่าที่คำนวณได้ให้เป็นค่ามาตรฐาน อัตราขยายที่ความถี่ต่ำมี
 ค่าประมาณ 12.4 dB และเฟสมีค่าประมาณ 55 องศา แสดงว่าวงจรชนิดเซมิคอนดักเตอร์ที่ออกแบบทำให้
 ระบบมีเสถียรภาพ



รูปที่ 4.13 แผนภาพโบดของฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 4.14 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้ไอซีเบอร์ L6561 ที่ได้ออกแบบ

4.5 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

งานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิก พิจารณาในส่วนของวงจรกำลังเมื่อนำมาใช้ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อุปกรณสวิทช์ที่นิยมใช้ มีอยู่ 2 ชนิดคือ

- 1) ไบโพล่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Transistor)
- 2) มอสเฟตกำลัง (MOSFET Power Transistor)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกอุปกรณ์ที่ทำหน้าเป็นสวิทช์ คือ มอสเฟตกำลังจุดเด่นของมอสเฟตกำลังคือทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 50 kHz ถึงประมาณ 400 kHz ใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น พิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีข้อจำกัดกระแสไม่เกิน 100 แอมป์ และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มมีแนวโน้มจะทำให้มอสเฟตกำลังทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์ มอสเฟตกำลังจะไม่เกิดเซคันดารีเบรกดาวน์ เพราะค่าความต้านทานระหว่างขาเดรน (Drain) กับขาซอส (Source) ขณะนำกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะที่มอสเฟตกำลังทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ

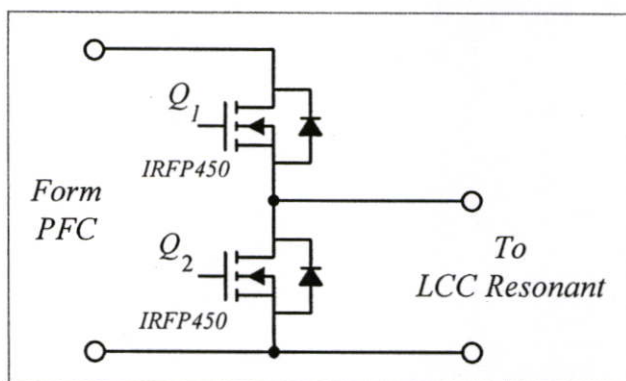
- 1) การสูญเสียขณะนำกระแส
- 2) การสูญเสียขณะสวิทช์

การหาพิคคของมอสเฟตกำลังเราสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านสูงสุดได้จากสมการที่ 4.20

$$I_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot P_o}{V} \quad (4.20)$$

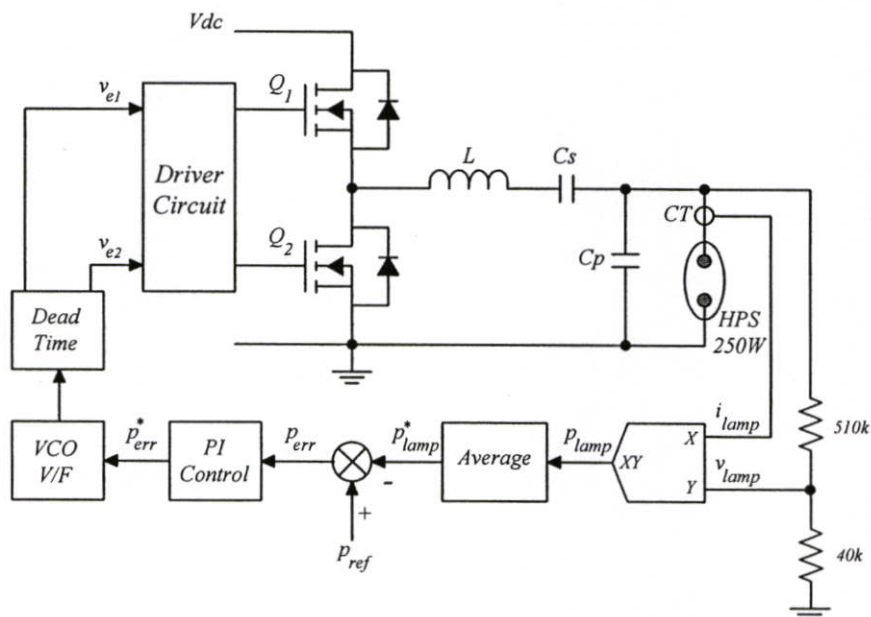
ในการใช้งานมอสเฟตจำเป็นต้องเผื่อพิคคในการใช้งานไว้ที่ 70 % เพื่อป้องกันการกระชากและการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ดังนั้นจึงเลือกใช้งานมอสเฟตกำลังเบอร์ *IRFP450* มีพิคคเท่ากับ *14 A 500 V* ซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไป

วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิกที่ได้จากการออกแบบ

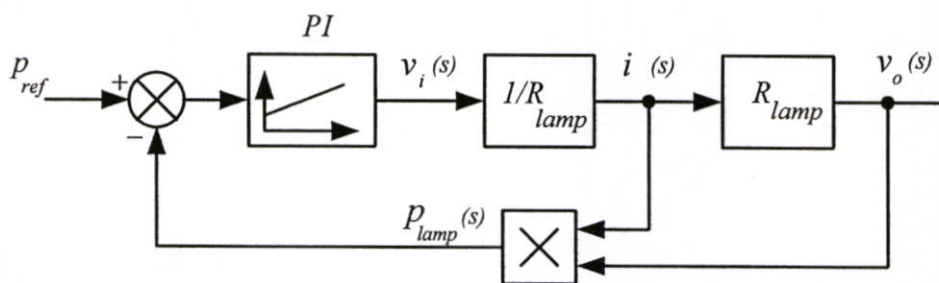


รูปที่ 4.15 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิกที่ได้จากการออกแบบ

4.6 การออกแบบวงจรควบคุมวงจรมอเตอร์แบบคลาสติที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่



(ก) วงจรควบคุมวงจรมอเตอร์แบบคลาสติที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่



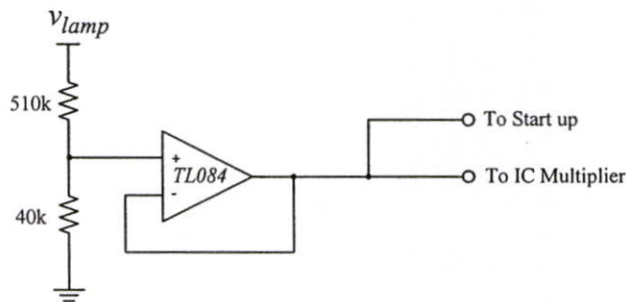
(ข) ระบบควบคุมแบบลูปปิด

รูปที่ 4.16 ระบบควบคุมสวิตช์ของวงจรมอเตอร์แบบคลาสติที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่

บล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 4.16 (ก) ของระบบควบคุมวงจรมอเตอร์แบบคลาสติที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ โดยการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าดกกร้อมโหลด (v_{lamp}) มาทำการคูณกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด (i_{lamp}) จะได้กำลังไฟฟ้าที่โหลด (P_{lamp}) นำสัญญาณที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าอ้างอิง (P_{ref}) จากนั้นนำค่าผิดพลาด (e) ไปผ่านตัวควบคุมแบบพีไอซึ่งจะทำการชดเชยค่าผิดพลาดของระบบ จากนั้นสัญญาณจะส่งไปยังวงจรมอเตอร์สร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์เพื่อนำไปขับเคลื่อนสวิตช์มอสเฟตวงจรมอเตอร์แบบคลาสติต่อไป

4.6.1 วงจรตรวจจับแรงดันคร่อมหลอด

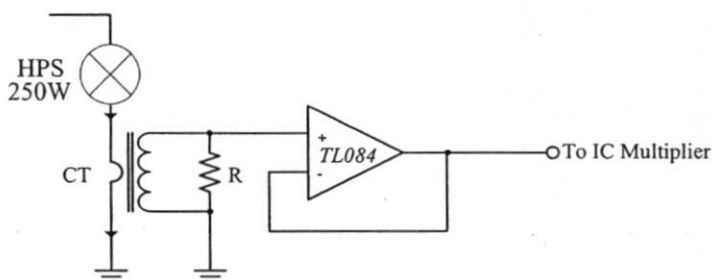
ในการตรวจจับแรงดันกระแสสลับความถี่สูงจากหลอดโซเดียมความดันสูงนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมหลอดทำการคูณกับกระแสที่ไหลผ่านหลอดเพื่อที่จะควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่ โดยแรงดันคร่อมหลอดที่ตรวจจับมาจะทำการลดทอนระดับแรงดันลงโดยใช้ตัวต้านทานต่อเป็นวงจรแบ่งของแรงดัน (Voltage divider) จากนั้นจะถูกส่งไปยังวงจรบัฟเฟอร์ซึ่งต่อเป็นวงจรตามแรงดัน (Voltage Follower) ก่อนที่จะส่งไปยังไอซีคูณสัญญาณและอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งต่อไปวงจรเปลี่ยนสภาวะการจุดหลอด



รูปที่ 4.17 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอด

4.6.2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด

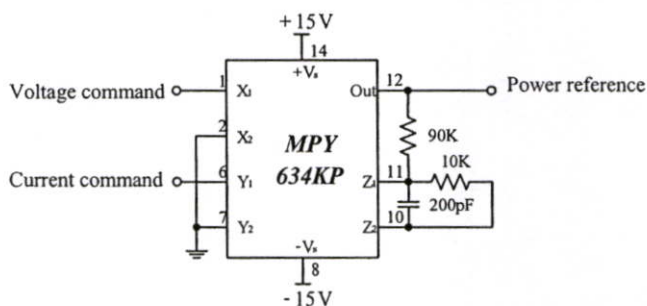
วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสจริงถือได้ว่าเป็นวงจรสำคัญอีกวงจรหนึ่งเนื่องจากต้องนำสัญญาณที่ได้นำมาคูณกับแรงดันตกคร่อมหลอดเพื่อที่จะนำสัญญาณนี้ไปใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดจริงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณกำลังไฟฟ้ากระแสอ้างอิง ถ้าวงจรมีการตรวจจับกระแสที่ผิดเพี้ยนหรือตรวจจับสัญญาณรบกวน (Noise) เข้ามาด้วยก็จะทำให้การทำงานของวงจรผิดเพี้ยนไปในงานวิจัยนี้เลือกใช้ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ซึ่งมีข้อดีคือ มีช่วงความถี่การตอบสนอง (Bandwidth) สูงถึง 200 kHz สัญญาณที่ได้มีความผิดเพี้ยนต่ำและราคาไม่สูงมาก โดยสัญญาณที่ได้จะส่งออกมาจะมีตัวต้านทาน R_S ต่ออนุกรมเทียบกับกราวด์ สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของแรงดัน



รูปที่ 4.18 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด

4.6.3 การออกแบบจรรยาคุณสัญญาณ

วงจรรักษาสัญญาณเลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ MPY634KP เป็นวงจรรักษาสัญญาณที่มีสองอินพุตและหนึ่งเอาต์พุต โดยให้ลักษณะการคูณที่เป็นแบบเชิงเส้นเมื่อแรงดันอยู่ในช่วง ± 10 โวลต์ ซึ่งวงจรรักษาสัญญาณทำหน้าที่คูณสัญญาณแรงดันที่ได้วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดกับสัญญาณกระแสที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด เพื่อสร้างสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริง (P_{lamp}^*) โดยจะนำไปลบกับสัญญาณกำลังไฟฟ้าอ้างอิงต่อไป วงจรรักษาสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 วงจรรักษาสัญญาณ

4.6.4 วงจรหาค่าเฉลี่ย

สัญญาณที่ได้จากวงจรรักษาสัญญาณจะเห็นว่ามีกระแสเพี้ยน (Ripple) ซึ่งเมื่อนำสัญญาณนี้ไปป้อนให้กับวงจรควบคุมแบบพีไออาจจะทำให้เกิดการคำนวณผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้การกระพือของสัญญาณลดน้อยลง ในที่นี้ได้ใช้วงจรหาค่าเฉลี่ย ตามรูปที่ 4.22 วงจรนี้ประกอบด้วยความต้านทาน, ตัวเก็บประจุและออปแอมป์ ซึ่งตามลักษณะวงจรก็คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ชนิดบัตเตอร์เวิร์ท (Butterworth) แบบ 2 ชั้น เป็นวงจรที่ง่าย มีคุณภาพการกรองที่ดีพอสมควรและมีอัตราการขยายสัญญาณสูง จากรูปสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรได้ดังนี้

ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$A(s) = \left[-\frac{\frac{R2}{R1}}{1 + \omega_c C2(R2 + R3 + \frac{(R2) \cdot (R3)}{R1})S + \omega_c^2 \cdot (C1) \cdot (C2) \cdot (R2) \cdot (R3) \cdot S^2} \right] \cdot \left[-\frac{R5}{R4} \right] \quad (4.21)$$

จากสมการที่ 4.21 ถ้ากำหนดให้

$$A_0 = -\frac{R2}{R1} \quad (4.22)$$

$$A_1 = -\frac{R5}{R4} \quad (4.23)$$

$$a_1 = \omega_c C2(R2 + R3 + \frac{(R2)(R3)}{R1}) \quad (4.24)$$

$$b_1 = \omega_c^2 (C1)(C2)(R2)(R3) \quad (4.25)$$

$$\omega_c = 2\pi f_c \quad (4.26)$$

เมื่อ f_c คือค่าความถี่คัทออฟ (Cutoff) ซึ่งเป็นความถี่ที่บอกถึงจุดกั้นไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่นี้ผ่านได้

ถ้ากำหนดค่า $C1$ และ $C2$ เราสามารถหาค่า $R1 - R5$ ได้คือ

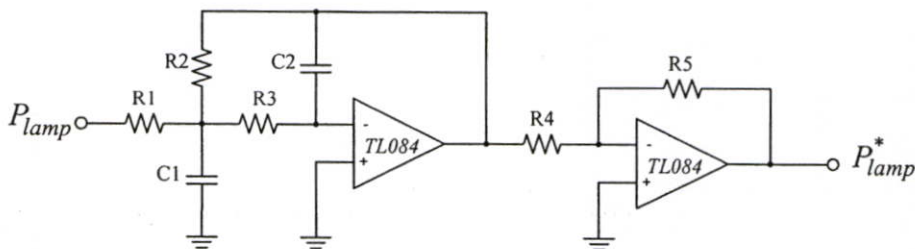
$$C1 \geq C2 \frac{4b_1(1-A_0)}{a_1^2} \quad (4.27)$$

$$R2 = \frac{a_1 C1 - \sqrt{a_1^2 C1^2 - 4b_1(C1)(C2)(1-A_0)}}{4\pi f_c C1 C2} \quad (4.28)$$

$$R1 = \frac{R2}{-A_0} \quad (4.29)$$

$$R3 = \frac{b_1}{4\pi^2 f_c^2 (C1)(C2)(R2)} \quad (4.30)$$

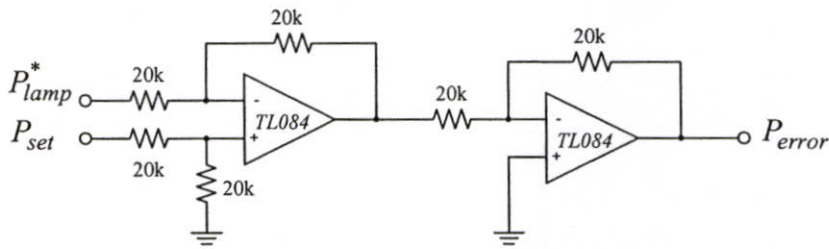
ในงานวิจัยนี้เราสามารถหาค่าต่างๆ เมื่อกำหนดให้ $A_0 = A_1 = -1$, $f_c = 15$ Hz, $C1 = 220$ nF, $C2 = 47$ nF และ $R1 = 100$ k Ω จากสมการที่ (4.28) - (4.30) จะหาค่า $R2 = 100$ k Ω , $R3 = 110$ k Ω , $R4 = 10$ k Ω และ $R5 = 10$ k Ω



รูปที่ 4.20 วงจรหาค่าเฉลี่ย

4.6.5 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง

ระบบการควบคุมนี้ต้องการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ ดังนั้นสัญญาณอ้างอิงก็คือสัญญาณกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทนั่นเอง วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงจะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ TL084 ซึ่งเป็นไอซีขยายสัญญาณที่มีการกินกำลังไฟฟ้าน้อยซึ่งมีแถบความถี่ใช้งานกว้าง โดยนำสัญญาณกำลังไฟฟ้าอ้างอิงที่ตั้งไว้ป้อนเข้าที่ขา (P_{set}) และนำสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ตรวจจับมาป้อนเข้าที่ขา (P_{lamp}^*) ทำการเปรียบเทียบสัญญาณจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ (P_{error}) ส่งต่อไปยังวงจรควบคุมแบบพีไอต่อไป



รูปที่ 4.21 วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง

4.6.6 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ

การทำงานของบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโหลดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ จะเป็นระบบลูปปิด (Close Loop) โดยการรักษากำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่ ในการคงที่กำลังไฟฟ้าที่โหลด จะใช้การควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) เนื่องจากให้ค่าการตอบสนองค่อนข้างรวดเร็วและทางคำนวณง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนเกินไป ในวงจรระบบควบคุมแบบพีไอ (PI System) ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนของอินทิกรัล (proportion – integral controller, PI control) เป็นกระบวนการควบคุมที่ไม่ต้องการให้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวในระบบ โดยคุณสมบัติของผลจากการควบคุมแบบอินทิกรัล (I-Controller) จะทำให้ไม่มีความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว แต่จะทำให้ระบบควบคุมมีการทำงานที่ช้าลงไป จึงต้องอาศัยคุณสมบัติของผลจากการควบคุมแบบพี (P-Controller) ซึ่งจะทำให้มีผลตอบสนองที่เข้าสู่เป้าหมายได้เร็วขึ้น แต่ทั้งนี้การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมและฟังก์ชันการถ่ายโอนของระบบควบคุมนั้น ๆ ด้วย ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ จะใช้วิธีการแผนภาพโบด (bode diagram) ซึ่งประกอบไปด้วยกราฟ 2 ชุด คือ กราฟของขนาดเทียบกับความถี่และกราฟเฟสเทียบกับความถี่และในแง่ของการวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนเวลาจะทดสอบโดยใช้ฟังก์ชันยูนิตสเตป (unit step) มาพิจารณา

ฟังก์ชันการถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอมีดังต่อไปนี้

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (4.31)$$

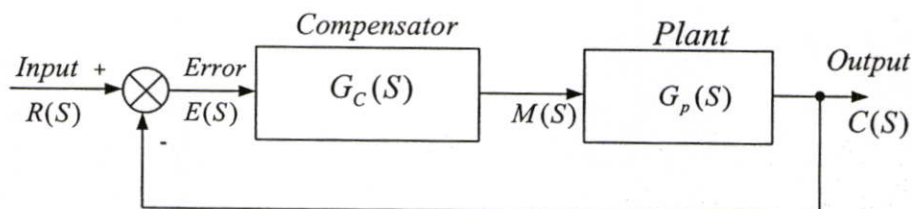
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (4.32)$$

ดังนั้น ตัวควบคุมแบบพีไอเขียนได้ในอีกลักษณะหนึ่ง คือ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (4.33)$$

โดยที่	K_p	คือ	อัตราขยายสัดส่วน (Proportional gain)
	K_i	คือ	อัตราขยายอินทิกรัล (Integral gain)
ถ้า	$e(t)$	เป็น	สัญญาณเข้าของตัวควบคุมแบบพีไอ
	$u(t)$	เป็น	สัญญาณออกของตัวควบคุมแบบพีไอ

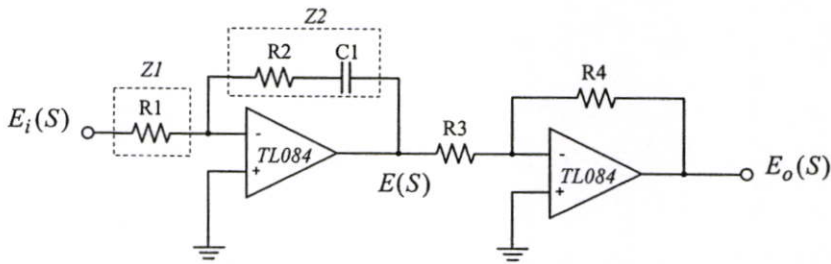
ซึ่งในระบบควบคุมแบบพีไอที่ใช้เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยนำสัญญาณเอาต์พุตของกระบวนการ $C(S)$ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง $R(S)$ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบ $E(S)$ มาเข้ากระบวนการควบคุมแบบพีไอ เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุม $M(S)$ ที่นำไปควบคุมกระบวนการต่อไป ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.22 กระบวนการของตัวควบคุมพีไอ

- โดย $G_c(S)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอ
 $G_p(S)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ (Process)
 $R(S)$ คือ สัญญาณอ้างอิง
 $C(S)$ คือ สัญญาณเอาต์พุตของระบบ
 $E(S)$ คือ สัญญาณผิดพลาดที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่าง $C(S)$ และ $R(S)$
 $M(S)$ คือ สัญญาณออกจากตัวควบคุม

จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาสร้างเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ออปแอมป์สร้างตัวควบคุมแบบพีไอดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 วงจรตัวควบคุมแบบพีไอ

เมื่อ
$$\frac{E(S)}{E_i(S)} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad (4.34)$$

$$Z_1 = R_1, Z_2 = \frac{R_1 C_1 S + 1}{C_1 S} \quad (4.35)$$

ดังนั้น
$$\frac{E(S)}{E_i(S)} = -\frac{R_2 C_1 S + 1}{R_1 C_1 S} \quad (4.36)$$

และ
$$\frac{E_o(S)}{E(S)} = -\frac{R_4}{R_3} \quad (4.37)$$

จะได้ว่า
$$\frac{E_o(S)}{E_i(S)} = \frac{E_o(S)}{E(S)} \frac{E(S)}{E_i(S)} = \frac{R_4}{R_3} \left(\frac{R_2 C_1 S + 1}{R_1 C_1 S} \right) \quad (4.38)$$

$$\frac{E_o(S)}{E_i(S)} = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{1}{R_1 C_1 S} \right) \quad (4.39)$$

จากสมการที่ (4.38) และสมการที่ (4.39) จะได้ว่า

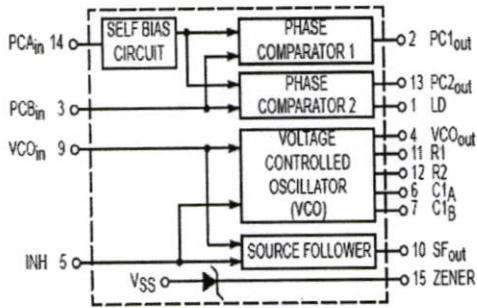
$$K_p = \frac{R_2}{R_1} \quad (4.40)$$

$$T_i = R_1 C_1 \quad (4.41)$$

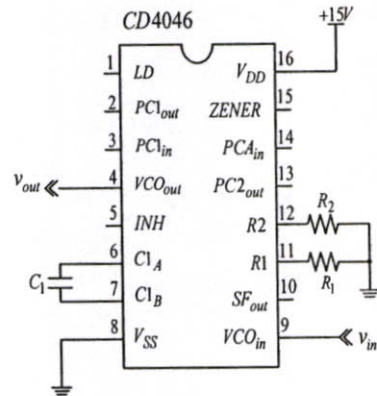
$$K_i = \frac{1}{R_1 C_1} \quad (4.42)$$

4.6.7 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์

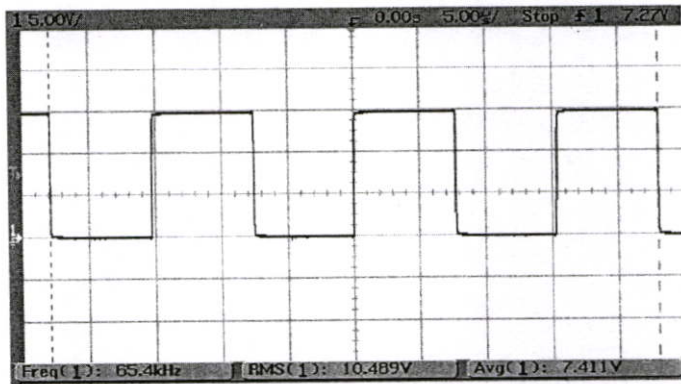
ในส่วนของการสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์มอเตอร์แบบคลาสติจะใช้ไอซีเบอร์ CD 4046 (Phase Locked Loop) ที่มีส่วนของ VCO ภายในตัวไอซีซึ่งความถี่ของสัญญาณที่ต้องการเลือกใช้กำหนดย่านความถี่ได้จากการต่อค่าความต้านทานที่ขา 11 (R_{11}), ขา 12 (R_{12}) และตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างขา 6 (C_{1A}) กับขา 7 (C_{1B}) โดยสัญญาณแรงดันด้านออกขา 4 (v_{out}) ความถี่จะปรับเปลี่ยนตามสัญญาณแรงดันเข้าที่เข้ามาที่ขา 9 (v_{in})



(ก) บล็อกไดอะแกรมของไอซี CD4046



(ข) การต่อใช้งานไอซี CD4046



(ค) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่ออกจากขา 4 (v_{out})

รูปที่ 4.24 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์

การคำนวณหาค่าความถี่ต่ำสุด (f_{min}) และค่าความถี่สูงสุด (f_{max}) ได้จากสมการที่ 4.43 และสมการที่ 4.44 ดังนี้

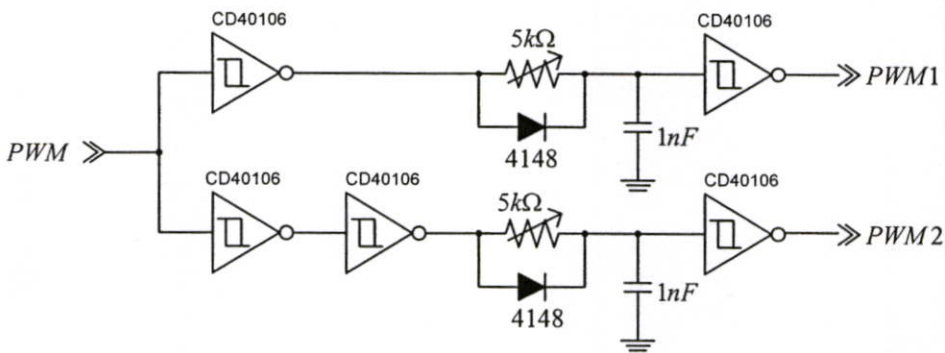
$$f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32 pF)} \quad (4.43)$$

$$f_{max} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32 pF)} + f_{min} \quad (4.44)$$

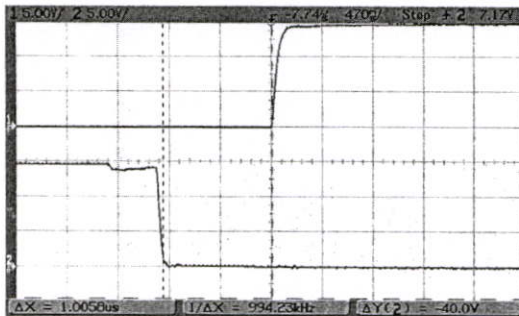
4.6.8 วงจรปรับแต่งเวลาเดดไทม์ (Dead Time Adjust Circuit)

เนื่องจากการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์จะอาศัยหลักการสวิตช์ซึ่งของเพาเวอร์มอสเฟต โดยจะสลับการทำงาน กล่าวคือ เมื่อมอสเฟตตัวหนึ่งนำกระแส มอสเฟตอีกตัวหนึ่งจะหยุดนำกระแส ดังนั้นข้อควรระมัดระวังในการควบคุมการทำงานในส่วนนี้คือ จะต้องไม่ให้มอสเฟต 2 ตัว นำกระแสพร้อมกันเพราะจะทำให้แหล่งจ่ายไฟที่ต่ออยู่กับวงจรกำลังมีผลทำให้กระแสจำนวนมากไหลผ่านมอสเฟต 2 ตัว ทำให้เกิดการเสียหายได้

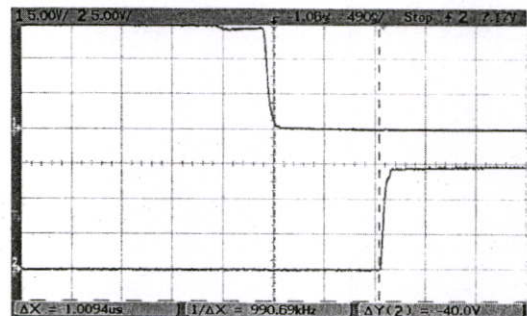
โดยในส่วนของวงจรปรับแต่งเวลาเดดไทม์ที่ได้ออกแบบประกอบไปด้วยไอซีชนิดเกตเบอร์ CD 40106 และวงจรหน่วงเวลา RC โดยสามารถปรับระยะเวลาการหน่วงได้โดยการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ ระยะเวลาการหน่วง T_d จะถูกออกแบบให้มีค่า 1 us แสดงผลดังรูปที่ 4.26



(ก) ลักษณะวงจร



(ก) ระยะเวลาการหน่วง T_d ขอบขาขึ้น

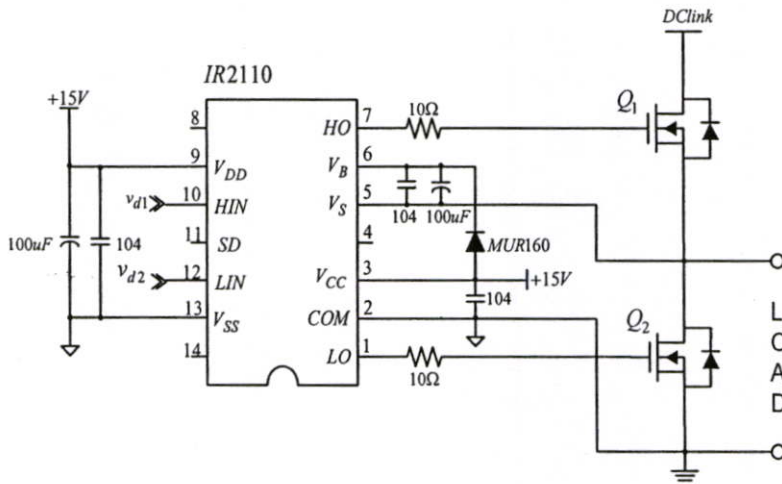


(ข) ระยะเวลาการหน่วง T_d ขอบขาลง

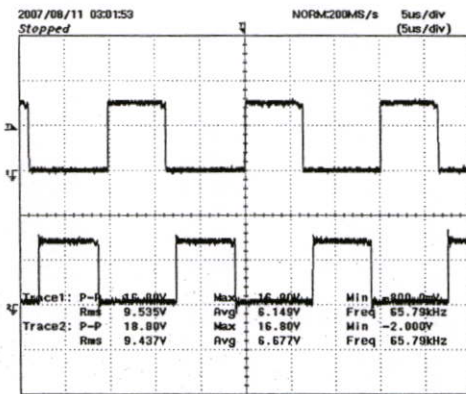
รูปที่ 4.25 การออกแบบวงจรปรับแต่งเวลาเดดไทม์

4.6.8 วงจรขับเกตมอสเฟต

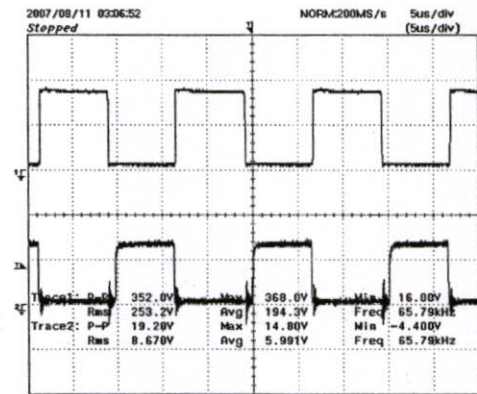
ในวงจรขับสัญญาณจะนำไอซีเบอร์ IR2110 (High and Low Side Driver) มาร่วมใช้งาน โดยนำสัญญาณ $PWM1$ และ $PMW2$ ที่ออกจากวงจรเคาท์ไปป้อนเข้าวงจรขับเกตที่ขา 10 (HIN) และขา 12 (LIN) โดยนำสัญญาณที่ออกจากขา 7 (HO) ไปควบคุมการสวิตช์มอสเฟตกึ่งบน (Q_1) ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ทำนองเดียวกันสัญญาณที่ออกจากขา 1 (LO) ก็จะไปควบคุมการสวิตช์มอสเฟตกึ่งล่าง (Q_2)



(ก) ลักษณะการต่อวงจร



(ข) แรงดัน V_{DS} กับ V_{GS} มอสเฟต Q_1

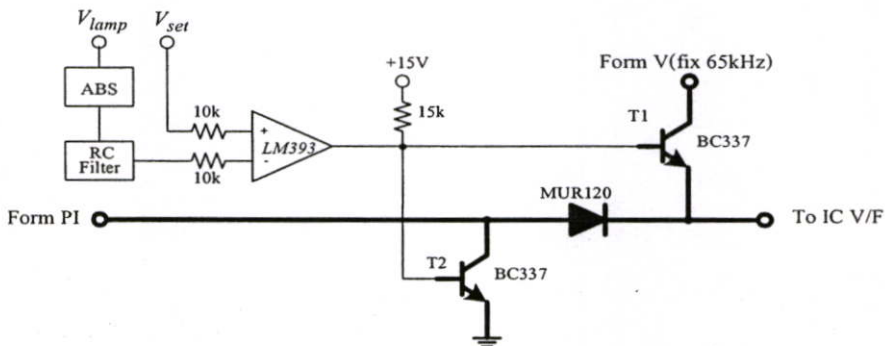


(ค) แรงดัน V_{DS} กับ V_{GS} มอสเฟต Q_2

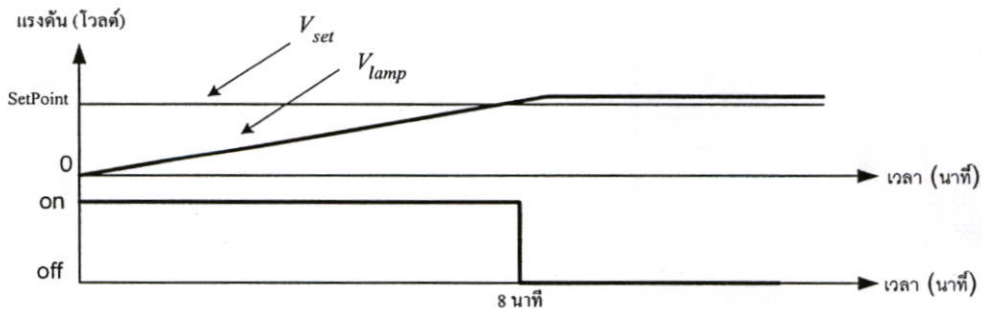
รูปที่ 4.26 การออกแบบวงจรขับสัญญาณโดยไอซีเบอร์ IR2110

4.6.9 วงจรเปลี่ยนสถานะการจุดหลอดสู่การควบคุมกำลังไฟฟ้ที่หลอดให้คงที่

เนื่องจากคุณลักษณะของหลอดโซเดียมความดันสูงในสถานะจุดหลอดต้องใช้แรงดันและกระแสในการจุดหลอดสูงพร้อมทั้งช่วงเวลาในการอุ่นไส้หลอดประมาณ 5-8 นาที ถึงจะเข้าสู่สถานะคงตัว ดังนั้นการควบคุมกำลังไฟฟ้ที่หลอดให้คงที่จะควบคุมระบบเมื่อหลอดไฟเข้าสู่สถานะคงตัว ดังนั้นความถี่ควบคุมสวิตช์หม้อสเฟดกำลังของวงจรอินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์จะมี 2 สถานะ คือ สถานะจุดหลอดและอุ่นไส้หลอดหลังจากเข้าสู่สถานะคงตัวจึงจะเปลี่ยนโหมดควบคุมแบบพีโอ อาศัยทรานซิสเตอร์ใช้ในการเปิด-ปิดวงจร ดังรูปที่ 4.28 (ก) โดยทำการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ตกคร่อมหลอด V_{lamp} ทำเปรียบเทียบกับค่า V_{set} ที่ได้ตั้งไว้โดยใช้ไอซีเบอร์ LM 393 (Comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ เนื่องจากการสถานะจุดหลอดจนถึงการอุ่นไส้หลอดแรงดัน V_{lamp} จะน้อยกว่าแรงดัน V_{set} ดังนั้นสัญญาณที่ออกจากไอซีเปรียบเทียบสัญญาณจะไปทริกขาเบสของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว (เบอร์ 337 ชนิด NPN) สถานะ “ON” สัญญาณ V (fix 65kHz) ที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T1 จะป้อนสัญญาณแรงดันไปให้กับไอซีสร้างสัญญาณ (CD4046) ที่ขา 9 ส่วนสัญญาณแรงดันที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T2 จากระบบควบคุมแบบพีโอ ไหลลงกราวด์ จนกระทั่ง V_{lamp} มากกว่าแรงดันที่ตั้งค่าไว้ สัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบจะไปทริกขาเบสของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวจะมีสถานะเป็น “OFF” ทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวหยุดนำกระแส จะทำให้สัญญาณแรงดันจากระบบควบคุมแบบ PI ป้อนสัญญาณแรงดันไปให้กับไอซีสร้างสัญญาณ (CD4046) ที่ขา 9 แทน



(ก) ลักษณะวงจร



(ข) ไลอะแกรมการทำงานวงจร

รูปที่ 4.27 วงจรเปลี่ยนสถานะการจุดหลอดสู่การควบคุมกำลังไฟฟ้ที่หลอดให้คงที่

4.7 การออกแบบวงจรจุดหลอด

ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วงจรจุดหลอดภายในแบบ LCC โดยใช้ทฤษฎีหลักการเรโซแนนซ์ร่วมในการวิเคราะห์ จากการทดสอบการพบว่าใช้จุดหลอดได้จริง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดณช่วงเวลาในการอุ่นไส้หลอดไฟมีค่าไม่สูงมาก การทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ในภาคอินเวอร์เตอร์มีความนุ่มนวลมากขึ้นกว่าวงจรจุดแบบภายนอก วงจรประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) ตัวเก็บประจุ (C_s) ต่ออนุกรมกับโหนดหลอดไฟ ตัวเก็บประจุ (C_p) ต่อขนานกับโหนดจะทำหน้าที่ช่วยในการจุดหลอด[3] จนกระทั่งเมื่อหลอดติดแล้วกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรค่าอิมพีแดนซ์ของหลอดไฟลดลงเปรียบเสมือนกับค่าความต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 ในการออกแบบวงจรจุดแบบนี้ต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน[1],[2] ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ร่วมในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน

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

จากตารางความสัมพันธ์ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานกับโหนดในรูปที่ 4.29 ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า Q มีค่าสูงจะสามารถใช้การวิเคราะห์เชิงความถี่ได้โดย

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{2LC_e}} \quad (4.45)$$

$$C_e = \frac{C_s \cdot C_p}{C_s + C_p} \quad (4.46)$$

กรณีที่ $\omega = \omega_o$ แอมพลิจูดของกระแส i_i

$$i_i \approx \frac{2V_s \cdot R \cdot C_p^2 \cdot \omega_o^2}{\pi} \quad (4.47)$$

และแรงดันตกคร่อมโหลด V_{lamp} มีแอมพลิจูดประมาณ

$$V_{lamp} \approx \frac{i_{lamp}}{C_p \cdot \omega_o} \quad (4.48)$$

จาก Data Sheet ของ High Pressure Sodium Lamp 250W

แรงดันคร่อมโหลด (V_{lamp}) = 100 V , และกระแสที่โหลด (i_{lamp}) = 3 A

สำหรับความถี่เรโซแนนซ์ตามมาตรฐาน IEC 929 แนะนำให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรมีความถี่อยู่ในช่วง 25-75 kHz ดังนั้นเลือกความถี่เรโซแนนซ์ที่ 65 kHz

$$C_p = \frac{i_{lamp}}{V_{lamp} \cdot 2\pi \cdot f} = 73 \text{ nF}$$

เมื่อกำหนดให้ค่าตัวเหนี่ยวนำที่ 200 uH จะได้ว่า

$$C_e = \frac{1}{L \cdot (2\pi f)^2} = 30 \text{ nF}$$

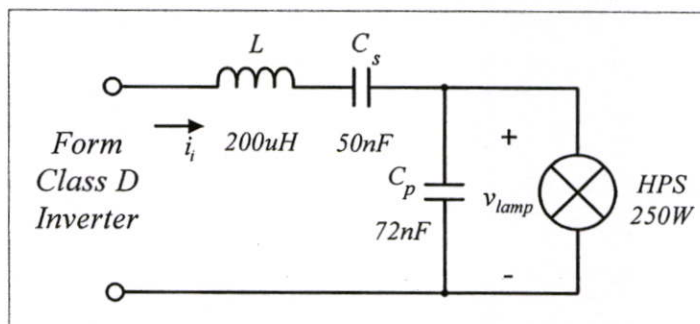
หาค่า C_s ได้จากความสัมพันธ์ของสมการ C_e (4.46) จะได้ว่า

$$(C_s \cdot C_p) - (C_s \cdot C_e) = (C_p \cdot C_e)$$

$$C_s = 51.42 \text{ nF}$$

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการออกแบบทำการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เพื่อทดสอบหาแนวโน้มนแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด

วงจรจุดหลอดแบบ LCC ได้จากการออกแบบ

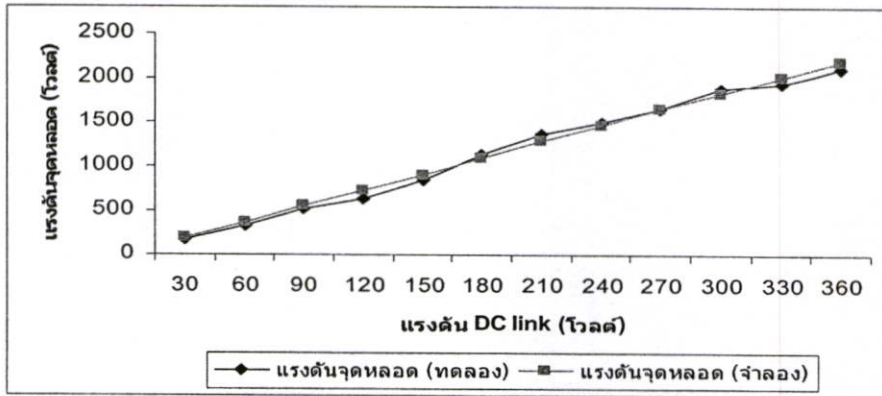


รูปที่ 4.28 วงจรจุดหลอดแบบ LCC ที่ได้จากการออกแบบ

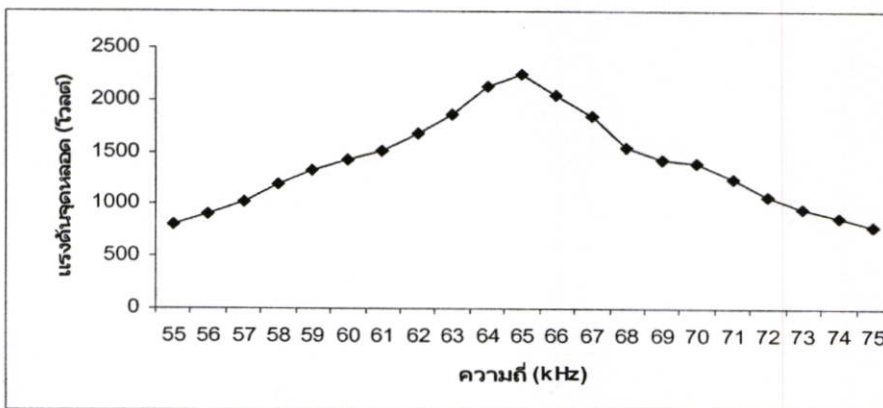
ตารางที่ 4.2 แรงดันตกคร่อมหลอดที่พิกัดแรงดัน Vdc 60 – 360 โวลต์

Vdc (V)	ผลจากการจำลอง	ผลจากการวัด
60	<p>Vlamp 366 Vp-p</p>	<p>Trace1: P-P 328.0V Max 160.0V Min -168.0V Freq 85.24kHz</p>
120	<p>Vlamp 732 Vp-p</p>	<p>Trace1: P-P 632.0V Max 328.0V Min -384.0V Freq 84.24kHz</p>
180	<p>Vlamp 1100 Vp-p</p>	<p>Trace1: P-P 1.148kV Max 580.0V Min -580.0V Freq 85.24kHz</p>
240	<p>Vlamp 1464 Vp-p</p>	<p>Trace1: P-P 1.508kV Max 760.0V Min -740.0V Freq 85.24kHz</p>
300	<p>Vlamp 1835 Vp-p</p>	<p>Trace1: P-P 1.890kV Max 980.0V Min -900.0V Freq 85.24kHz</p>
360	<p>Vlamp 2200 Vp-p</p>	<p>Trace1: P-P 2.120kV Max 1.120kV Min -1.000kV Freq 85.24kHz</p>

ในตารางที่ 4.2 เป็นการทดลองแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดโดยการปรับเปลี่ยนแรงดัน DC link จาก 30 ถึง 360 โวลต์ จากการจำลองและจากการทดสอบในกราฟรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 4.31 เป็นการทดสอบปรับความถี่รอบความถี่เรโซแนนซ์ โดยที่งานวิจัยนี้เลือกความถี่เรโซแนนซ์ที่ 65 kHz จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ 64 ถึง 66 kHz ให้แรงดันในการจุดหลอดสูงประมาณ 2,000 โวลต์ มากเพียงพอที่จะทำให้หลอดติดได้



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบแรงดันจุดหลอดจากการจำลองและการทดลอง



รูปที่ 4.30 กราฟทดสอบที่ความถี่รอบจุดเรโซแนนซ์

4.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง โครงสร้างโดยรวมพร้อมทั้งการออกแบบและสร้างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย อาทิ เช่น วงจรกรองอีเอ็มไอฟิลเตอร์, วงจรเรียงกระแส, วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง, วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์, วงจรจุดหลอดแบบ LCC ทั้งในส่วนของวงจรกำลังและวงจรควบคุม โดยได้นำหลักการทางทฤษฎีที่ได้นำเสนอไปแล้วมาสร้างวงจรที่ใช้งานจริง เพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรที่เป็นส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ออกมาอย่างละเอียด เพื่อให้มีความปลอดภัยในการทดลองและความน่าเชื่อถือในการออกแบบ โดยมุ่งเน้นในความถูกต้องและแม่นยำของสัญญาณที่ได้ออกมานั่นเอง

บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้เป็น การนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบสำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ ที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัย ทำการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบภายใต้สภาวะต่างๆ ที่สร้างขึ้นมา ข้อมูลจากทดสอบจะทำให้ทราบถึงความสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อกำหนดในการออกแบบในตารางที่ 5.1 โดยการทดสอบด้วยสภาวะการทำงานต่างๆ ซึ่งจะมีเงื่อนไขในการทดสอบแตกต่างกัน แบ่งออกได้ 6 หัวข้อใหญ่ ดังนี้

1. การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
2. การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. การทดสอบการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
4. การทดสอบการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
5. การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมปริมาณค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ
6. การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.1 ข้อกำหนดในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

รายละเอียด	ข้อกำหนด
พิกัดกำลังไฟฟ้า	250 วัตต์
ระบบไฟฟ้าป้อนเข้า	196 – 244 โวลต์
ค่าตัวประกอบกำลัง	> 0.90
ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต	< 25%
ค่า Ballast Lumen Factor	> 94%
ค่า Crest Factor	< 1.7
ประสิทธิภาพของระบบ	> 90%
ประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก	>10%

โดยบัลลาสต์, อิกนิเตอร์ และหลอดไฟ ที่นำมาทำการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ
2. บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ยี่ห้อ Phillips รุ่น BHL250 - L200
3. อิกนิเตอร์สำหรับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ยี่ห้อ Phillips รุ่น SN 58T5
4. หลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ ยี่ห้อ Phillips รุ่น SON-T250W ขั้วหลอด E40

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

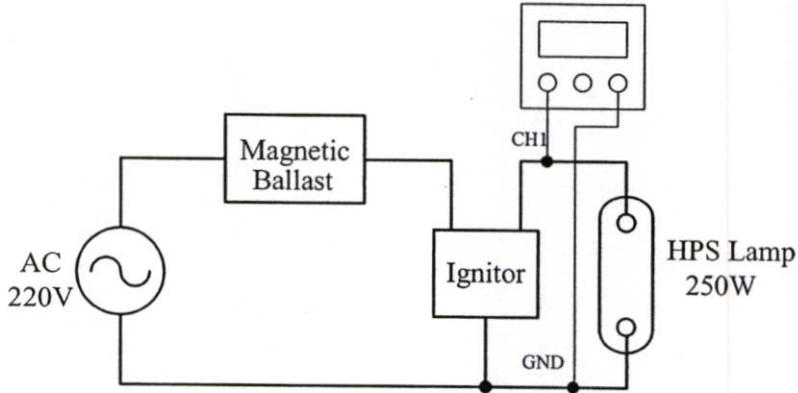
1. Power Analyzer ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น PZ4000
2. Mixed Signal Oscilloscope ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 54622
4. Power Quality Analyzer ยี่ห้อ Fluke รุ่น 43B
3. Multi Meter ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 973A
5. Illuminance Meter ยี่ห้อ MINOLTA รุ่น T-1M

ส่วนการทดสอบข้อมูลทางแสงได้ทดสอบและทำการบันทึกผลจาก Gonio Photometer ณ ศูนย์ทดสอบและวิจัยวิศวกรรมการส่องสว่าง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (Illumination Research Center : IRC KMIT'L)

5.2 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

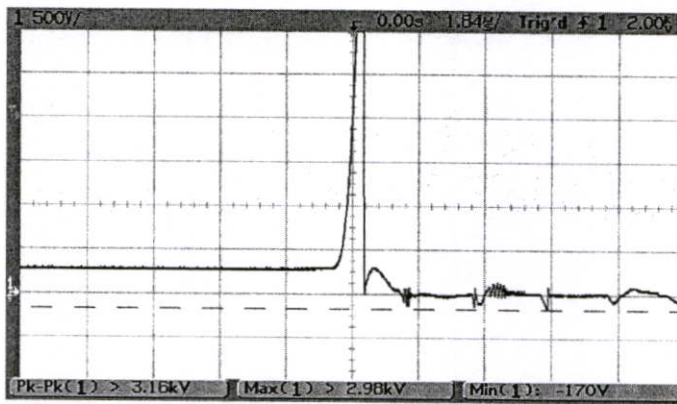
ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กนั้นจะแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าตามลำดับต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.2.1 การวัดบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด



รูปที่ 5.1 การวัดแรงดันจุดหลอดจากอิเหนอร์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

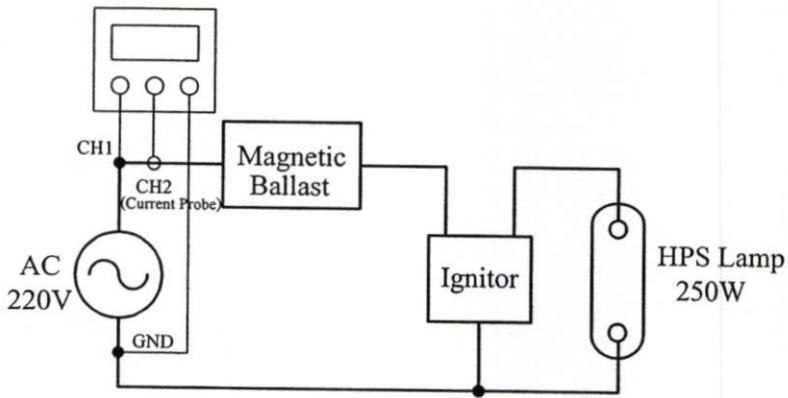
การทดสอบบันทึกค่าแรงดันจุดหลอดจากอิเหนอร์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก สามารถทำการวัดได้จากการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 5.1 สัญญาณแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่วัดได้แสดงในรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าอิเหนอร์ที่ใช้ในการจุดหลอดจะสร้างแรงดันจุดหลอดประมาณ V_{pk-pk} ที่ 3,160 โวลต์ หลอดไฟถึงจะติดได้



รูปที่ 5.2 แรงดันจุดหลอดจากอิเหนอร์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(500 V/div , 1.84us/div)

5.2.2 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต



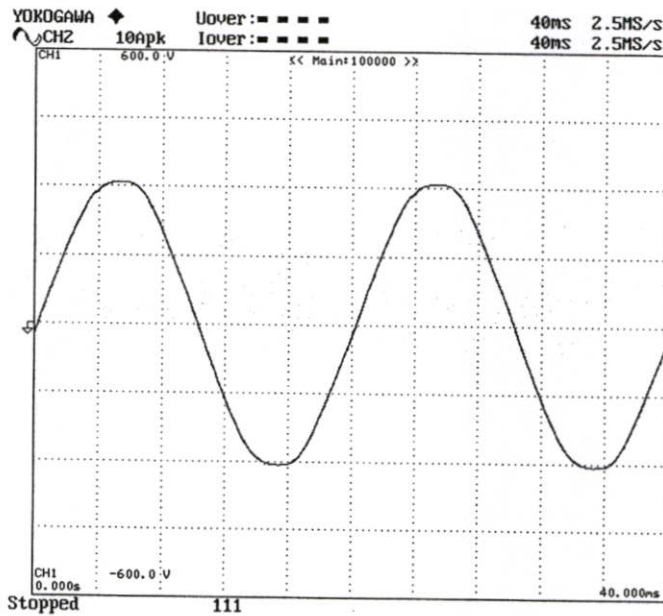
รูปที่ 5.3 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

การทดสอบบันทึกค่าแรงดันอินพุตและกระแสทางด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก สามารถทำการวัดได้ จากการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 5.3

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.4 (ก)

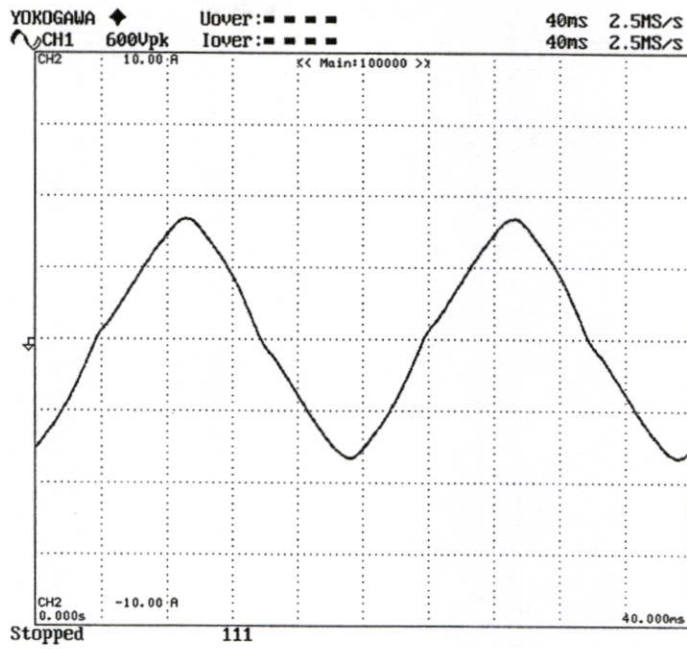
รูปคลื่นสัญญาณกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.4 (ข)

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุตและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.4 (ค)

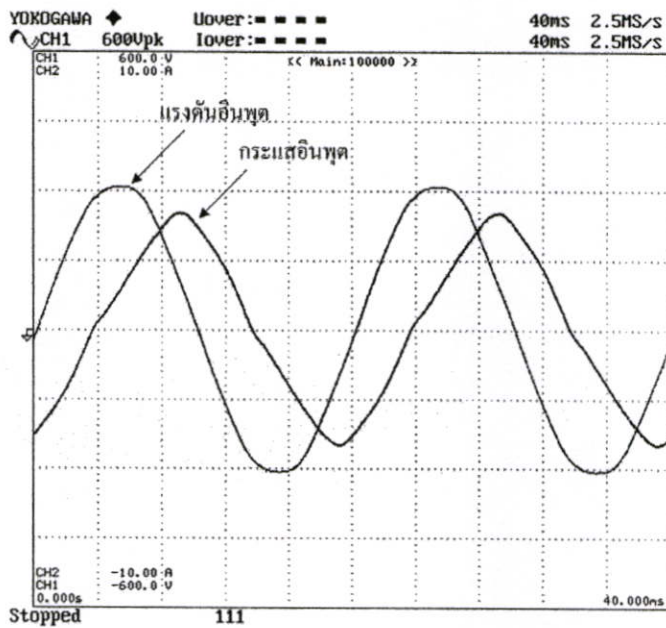


(ก) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุต

(150 V/div , 40 ms/div)



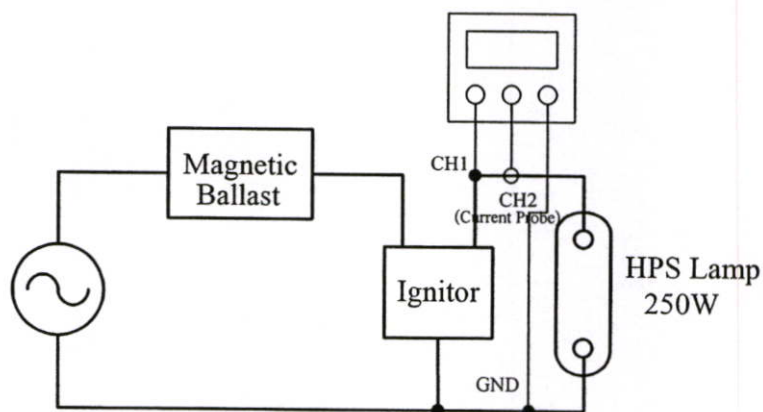
(ข) รูปคลื่นสัญญาณกระแสด้านอินพุต
(2.5 A/div , 40 ms/div)



(ค) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันอินพุตและกระแสอินพุต
(150 V/div , 2.5 A/div , 40 ms/div)

รูปที่ 5.4 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.2.3 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านหลอดไฟ



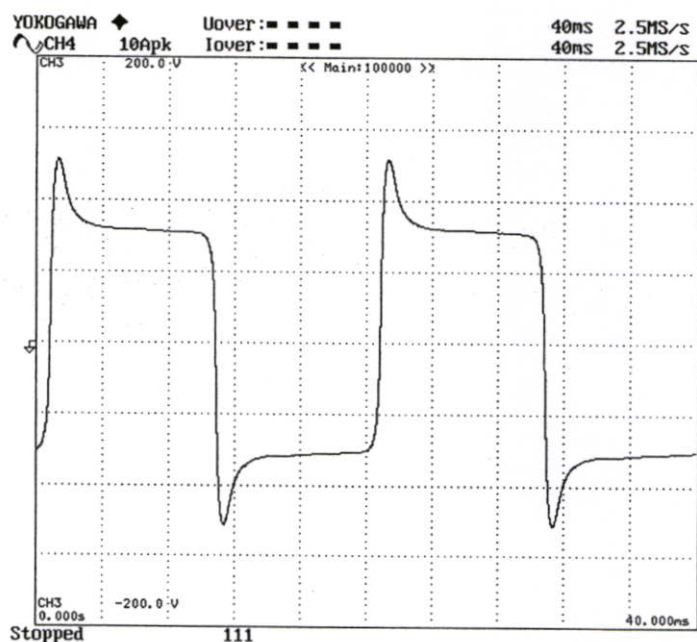
รูปที่ 5.5 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านหลอดไฟของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

การทดสอบบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านหลอดไฟของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กสามารถทำการวัดได้ จากการต่อวงจรวัดแสดงดังรูปที่ 5.5

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอดของบัลลาสต์แกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.6 (ก)

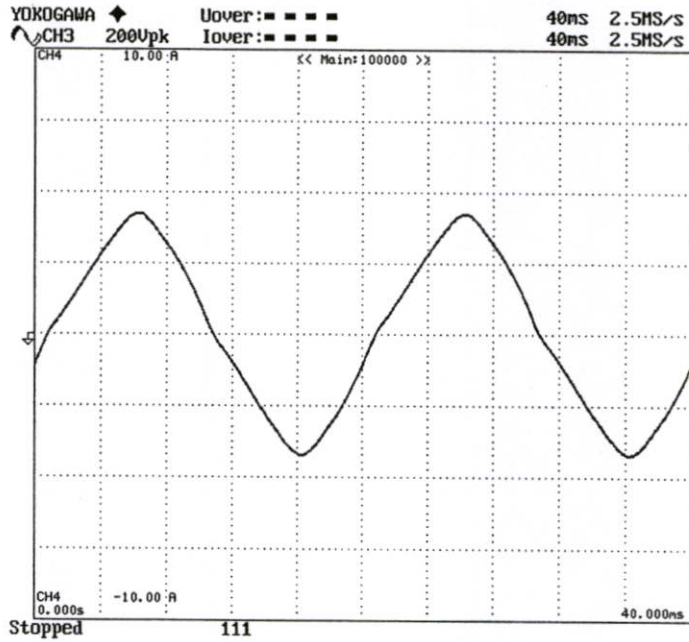
รูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์แกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.6 (ข)

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอดและกระแสที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์แกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.6 (ค)



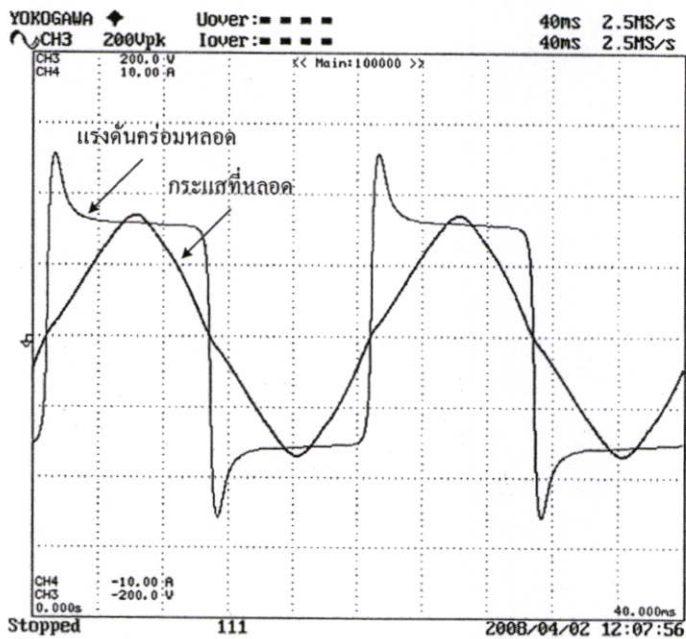
(ก) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอด

(50 V/div , 40 ms/div)



(ข) รูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านโหลด

(2.5 A/div , 40 ms/div)



(ค) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมโหลดและกระแสที่ไหลผ่านโหลด

(50 V/div , 2.5 A/div , 40 ms/div)

รูปที่ 5.6 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสด้านโหลดไฟของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.2.4 การวัดบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า

การทดสอบวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กซึ่งทำการวัดบันทึกผลโดย Power Analyzer (YAKOGAWA รุ่น PZ-4000) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.7

YOKOGAWA	◆	Uover: - - - -	40ms	2.5MS/s		
CH2	10Apk	Iover: - - - -	40ms	2.5MS/s	Σ A	Σ B
	Element1	Element2	Element3	Element4		
Urms [V]	220.58	82.80	0.0000k	0.0000k	220.58	82.80
Umn [V]	220.25	90.41	0.0000k	0.0000k	220.25	90.41
Udc [V]	0.20	0.02	-0.0000k	-0.0001k	0.20	0.02
Uac [V]	220.58	82.80	0.0000k	0.0000k	220.58	82.80
Irms [A]	2.683	2.681	0.000	0.000	2.683	2.681
Imn [A]	2.629	2.627	0.000	0.000	2.629	2.627
Idc [A]	0.016	0.003	0.001	0.001	0.016	0.003
Iac [A]	2.683	2.681	0.000	0.000	2.683	2.681
P [W]	0.2296k	0.1890k	-0.000k	-0.000k	0.2296k	0.1890k
S [VA]	0.5917k	0.2220k	0.000k	0.000k	0.5917k	0.2220k
Q [var]	0.5454k	0.1164k	0.000k	0.000k	0.5454k	0.1164k
λ []	0.3880	0.8515	Error	Error	0.3880	0.8515
φ [°]	67.17	31.62	Error	Error	67.17	31.62
fU [Hz]	50.071	50.063	Error	Error	-----	-----
fI [Hz]	50.061	50.055	Error	Error	-----	-----
U+pk [V]	305.82	128.18	0.0049k	0.0051k	-----	-----
U-pk [V]	-306.17	-128.07	-0.0047k	-0.0045k	-----	-----
I+pk [A]	4.172	4.147	0.021	0.022	-----	-----
I-pk [A]	-4.134	-4.145	-0.021	-0.024	-----	-----
CfU []	1.39	1.55	Error	Error	-----	-----
CfI []	1.56	1.55	Error	Error	-----	-----
FfU []	1.11	1.02	Error	Error	-----	-----
FfI []	1.13	1.13	Error	Error	-----	-----
Z [Ω]	82.221	30.890	Error	Error	82.221	30.890
Rs [Ω]	31.902	26.304	Error	Error	31.902	26.304

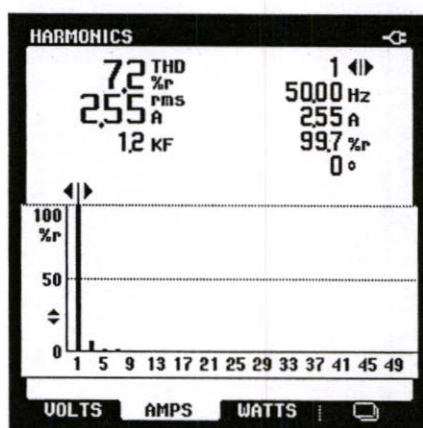
Stopped 111

รูปที่ 5.7 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ในรูปที่ 5.8 แสดงผลการทดสอบวัดค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก จากการวัดได้ 0.42 ถือได้ว่าค่อนข้างต่ำ และค่า THDi ด้านอินพุตของบัลลาสต์แกนชนิดเหล็ก จากการวัดได้ 7.2 %



(ก) ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์



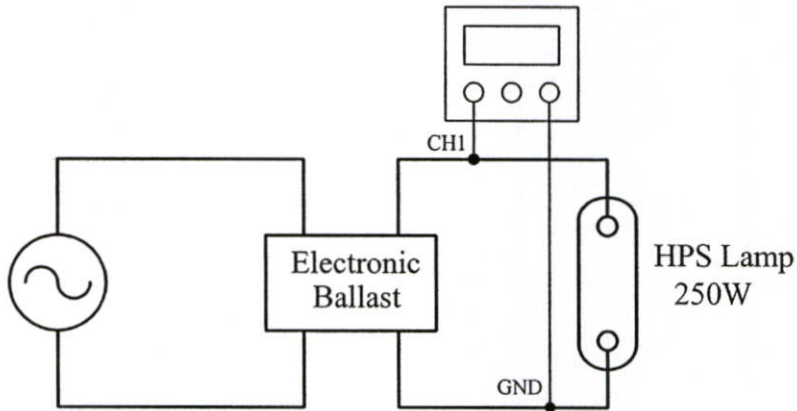
(ข) ค่า THDi

รูปที่ 5.8 ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์และค่า THDi ด้านอินพุตของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.3 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

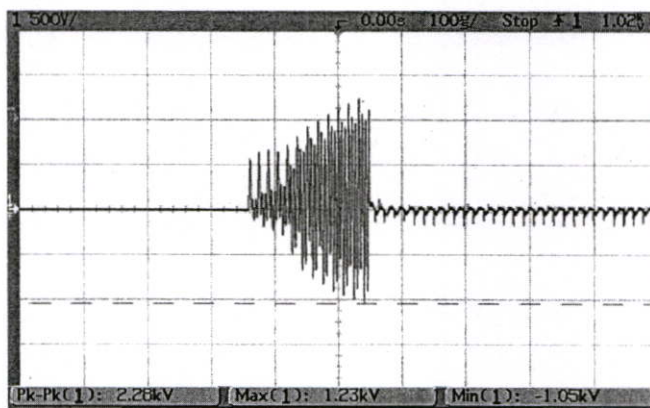
ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ นั้นจะแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.3.1 การวัดบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด



รูปที่ 5.9 การวัดแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

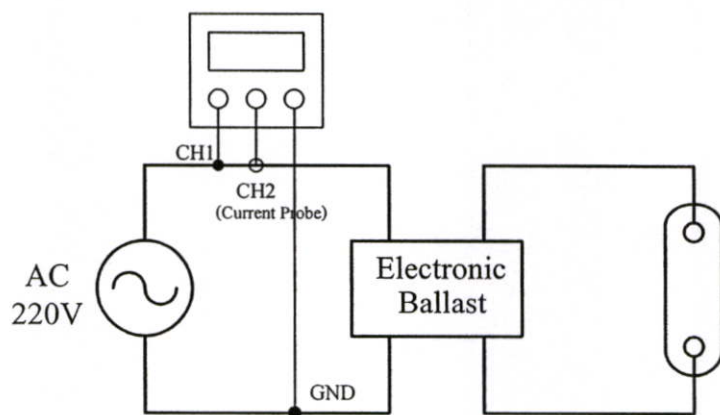
การทดสอบบันทึกค่าแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถทำการวัดได้จากการต่อวงจรวัดแสดงดังรูปที่ 5.9 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันจุดหลอดที่วัดได้แสดงในรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าวงจรจุดหลอดแบบ LCC ภายในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะสร้างแรงดันจุดหลอดประมาณ V_{pk-pk} ที่ 2,280 โวลต์ หลอดไฟถึงจะติดได้



รูปที่ 5.10 แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

(500 V/div , 100us/div)

5.3.2 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุต



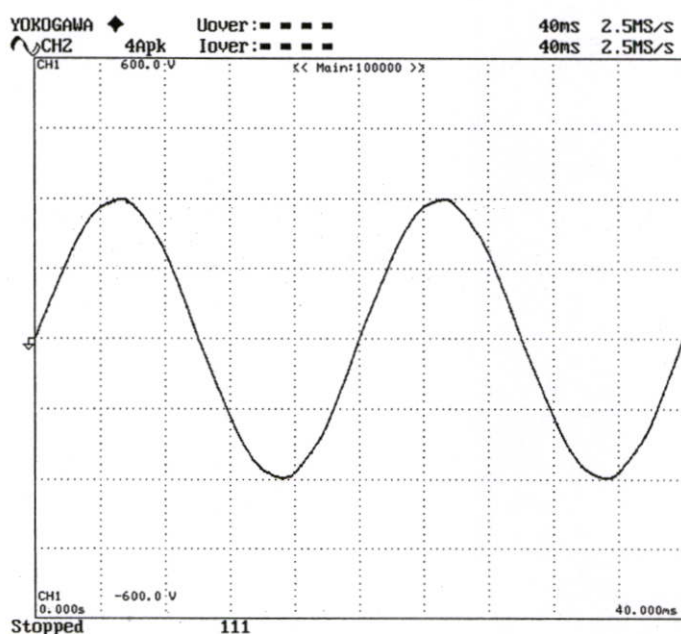
รูปที่ 5.11 การวัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การทดสอบบันทึกค่าแรงดันอินพุตและกระแสทางด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำการวัดได้ แสดงดังรูปที่ 5.11

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 5.12 (ก)

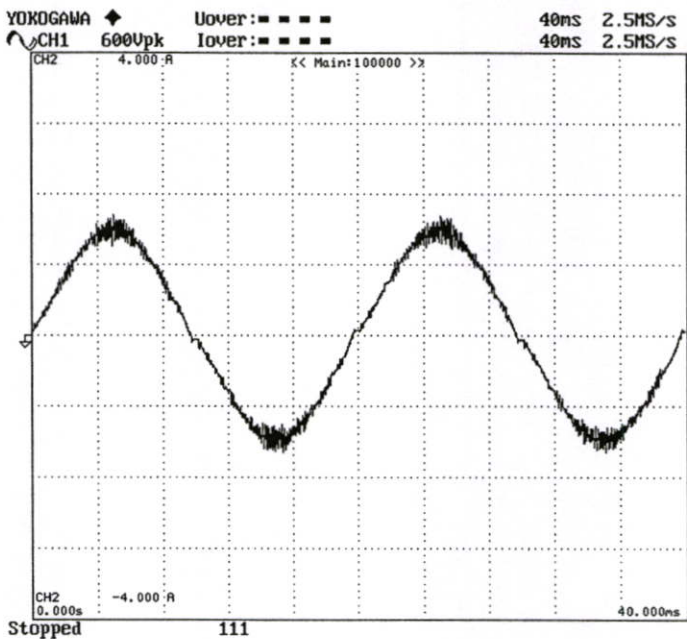
รูปคลื่นสัญญาณกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 5.12 (ข)

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุตและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 5.12 (ค)

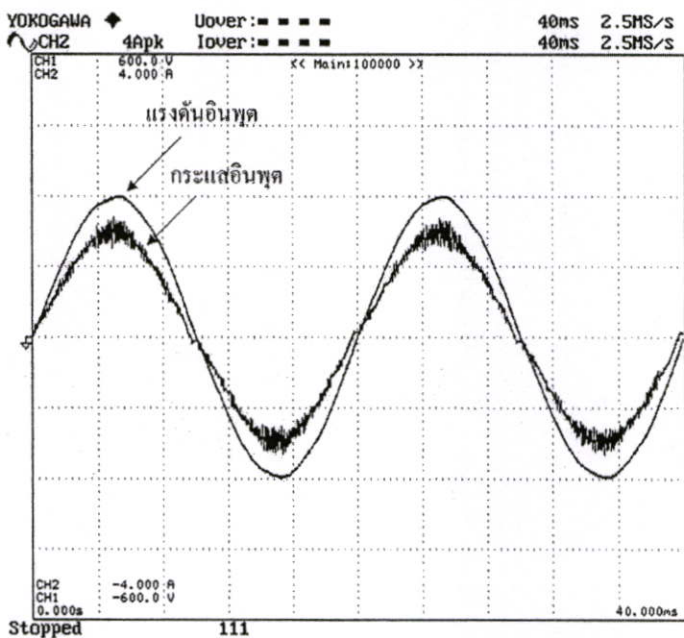


(ก) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุต

(150 V/div , 40ms/div)



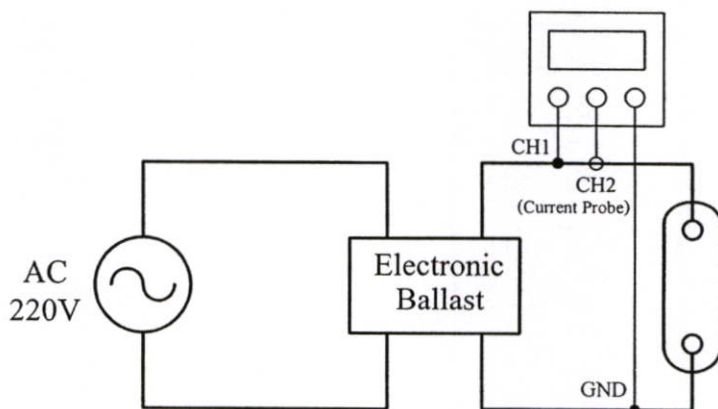
(ข) รูปคลื่นสัญญาณกระแสด้านอินพุต
(1 A/div , 40ms/div)



(ค) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านอินพุตและกระแสด้านอินพุต
(150 V/div , 1 A/div , 40ms/div)

รูปที่ 5.12 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

5.3.3 การวัดบันทึกค่าแรงดันและกระแสด้านหลอดไฟ



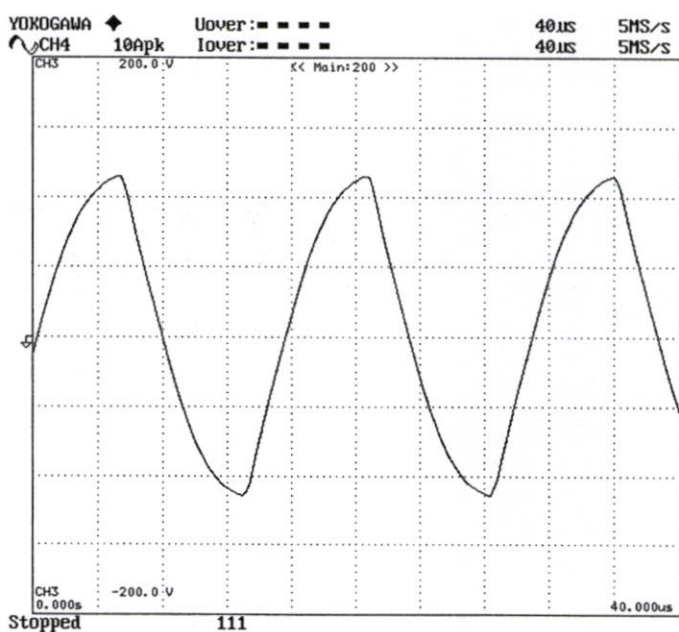
รูปที่ 5.13 การวัดแรงดันและกระแสด้านหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การทดสอบบันทึกค่าแรงดันคร่อมหลอดและกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถทำการวัดได้ แสดงดังรูปที่ 5.13

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 5.14 (ก)

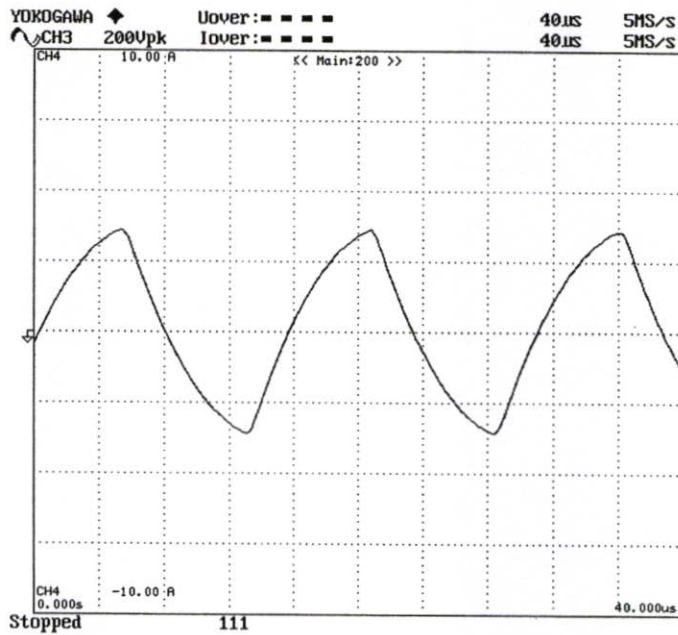
รูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 5.14 (ข)

รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอดกระแสที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 5.14 (ค)

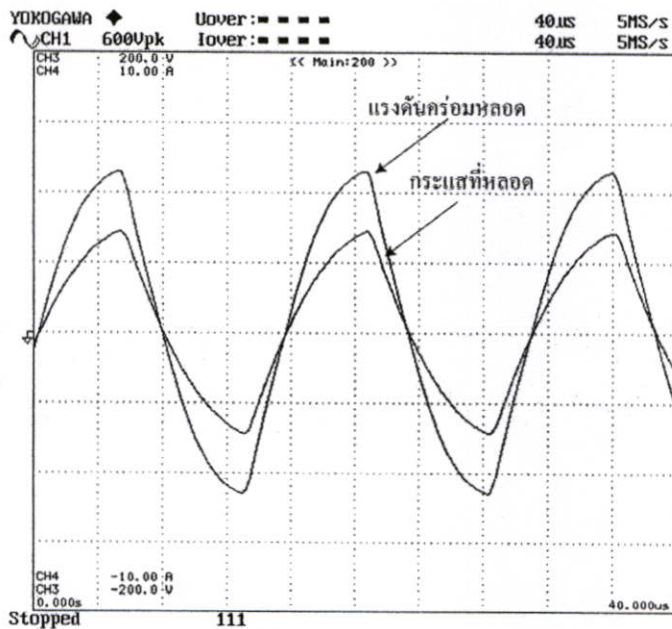


(ก) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอด

(50 V/div , 40 us/div)



(ข) รูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด
(2.5 A/div , 40 us/div)



(ค) รูปคลื่นสัญญาณแรงดันคร่อมหลอดกระแสที่ไหลผ่านหลอด
(50 V/div , 2.5 A/div , 40 us/div)

รูปที่ 5.14 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่หลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

5.3.4 การวัดบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า

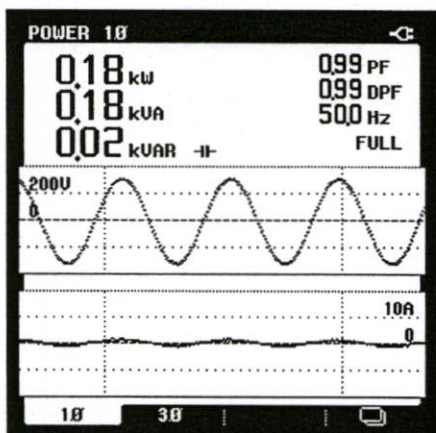
การทดสอบวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำการวัดบันทึกผลโดย Power Analyzer (YAKOGAWA รุ่น PZ-4000) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.15

YOKOGAWA		Uover:=====		40ns 2.5MS/s		40ns 2.5MS/s	
CH1	600Vpk	Element1	Element2	Element3	Element4	Σ A	Σ B
Urms[V]	]	220.73	78.93	0.0000k	0.0000k	220.73	78.93
Umn [V]	]	220.73	78.43	0.0000k	0.0000k	220.73	78.43
Udc [V]	]	0.11	-0.05	0.0000k	0.0001k	0.11	-0.05
Uac [V]	]	220.73	78.93	0.0000k	0.0000k	220.73	78.93
Irms[A]	]	0.9213	2.312	0.000	0.000	0.9213	2.312
Imn [A]	]	0.8994	2.280	0.000	0.000	0.8994	2.280
Idc [A]	]	0.0037	0.008	0.001	0.001	0.0037	0.008
Iac [A]	]	0.9212	2.312	0.000	0.000	0.9212	2.312
P [W]	]	0.2020k	0.1821k	-0.000k	0.000k	0.2020k	0.1821k
S [VA]	]	0.2033k	0.1825k	0.000k	0.000k	0.2033k	0.1825k
Q [var]	]	0.0234k	0.0123k	0.000k	0.000k	0.0234k	0.0123k
λ [ ]	]	0.9933	0.9977	Error	Error	0.9933	0.9977
φ [°]	]	16 6.62	6 3.88	Error	Error	6.62	3.88
FU [Hz]	]	50.033	65.233k	Error	Error	-----	-----
FI [Hz]	]	50.055	65.233k	Error	Error	-----	-----
U+pk[V]	]	313.26	115.30	0.0050k	0.0048k	-----	-----
U-pk[V]	]	-312.66	-115.39	-0.0058k	-0.0048k	-----	-----
I+pk[A]	]	1.5752	3.666	0.020	0.024	-----	-----
I-pk[A]	]	-1.6164	-3.656	-0.022	-0.023	-----	-----
CfU [ ]	]	1.42	1.46	Error	Error	-----	-----
CfI [ ]	]	1.75	1.59	Error	Error	-----	-----
FfU [ ]	]	1.11	1.12	Error	Error	-----	-----
FfI [ ]	]	1.14	1.13	Error	Error	-----	-----
Z [Ω]	]	239.59	34.133	Error	Error	239.59	34.133
Rs [Ω]	]	238.00	34.055	Error	Error	238.00	34.055

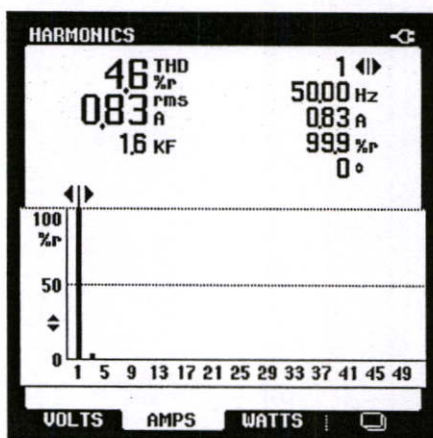
Stopped 111 2008/03/31 23:27:21

รูปที่ 5.15 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในรูปที่ 5.16 แสดงผลการทดสอบวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จากการวัดได้ 0.99 ถือได้ว่าค่อนข้างสูง และค่า THDi ด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จากการวัดได้ 4.6 %



(ก) ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์



(ข) ค่า THDi

รูปที่ 5.16 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และค่า THDi ด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

5.4 การทดสอบการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ในการทดสอบการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก โดยทำการวัดบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตั้งแต่ช่วงจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่เป็นเวลา 15 นาที บันทึกค่าทุกหนึ่งนาที จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นี้บันทึกจากเครื่องมือวัดมาทำการพล็อตด้วยโปรแกรม Excel เพื่อศึกษาการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.4.1 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ตารางที่ 5.2 การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่

T (นาที)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
1	220.49	20.91	3.418	3.415	64.21	6.12
2	220.02	31.52	3.373	3.371	65.82	9.34
3	220.64	47.53	3.124	3.122	70.62	15.22
4	220.76	62.34	2.945	2.942	74.97	21.18
5	220.42	70.91	2.826	2.823	78.12	25.12
6	220.12	75.38	2.761	2.759	79.70	27.32
7	220.16	77.19	2.741	2.738	80.32	28.19
8	220.26	79.07	2.720	2.716	80.92	29.11
9	220.47	80.59	2.710	2.710	81.34	29.73
10	220.86	81.73	2.720	2.697	81.80	30.30
11	220.80	81.14	2.705	2.704	81.62	30.06
12	220.07	80.64	2.712	2.710	81.51	29.83
13	220.87	80.71	2.715	2.715	81.39	29.73
14	220.64	80.75	2.713	2.712	81.31	29.77
15	220.71	80.70	2.710	2.709	81.42	29.79

ตารางที่ 5.3 การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กตั้งแต่สภาวะจุด
โหลดจนถึงสภาวะคงที่

T (นาทีก)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)
1	131.8	68.8	750.03	71.4	738.1	19.2
2	156.2	93.8	748.8	106.2	732.4	49.8
3	180.5	125.8	689.3	148.4	665.2	78.7
4	205.1	155.7	650	183.4	616.8	96.9
5	216.9	170.9	622.9	200.2	583.9	104.3
6	221.5	177.4	607.8	208.2	566.4	108.7
7	223.8	180.2	603.4	211.3	560.4	110.5
8	226.2	183.1	599.1	214.8	554.7	112.4
9	229.4	186.1	597.6	218.4	551.8	114.4
10	230.5	187.5	596.3	220.4	550.2	115.8
11	229.9	186.9	597.3	219.4	551.4	115.1
12	229.8	186.5	599.5	219.1	553.7	115.4
13	229.9	186.6	599.9	219.1	554.1	114.8
14	229.8	186.3	598.7	219.3	552.9	115.2
15	229.4	185.9	598.2	218.6	552.5	114.9

ในตารางที่ 5.2 เป็นการทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ในเงื่อนไขการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ส่วนในตารางที่ 5.3 เป็นการทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ประกอบด้วย ค่า Average Power, ค่า Apparent Power, ค่า Reactive Power ในเงื่อนไขการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

5.4.2 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในหัวข้อนี้เป็นการบันทึกการทดสอบการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.4 การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่

T (นาทีก)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
1	220.29	20.82	0.347	2.604	640.97	7.99
2	220.15	26.11	0.399	2.575	556.51	10.13
3	220.73	53.44	0.691	2.469	316.50	21.64
4	220.26	66.80	0.815	2.398	270.10	27.85
5	220.81	70.63	0.854	2.373	257.44	29.76
6	220.55	75.24	0.894	2.342	246.79	32.12
7	220.54	78.20	0.912	2.326	241.76	33.16
8	220.43	78.81	0.920	2.326	239.50	33.84
9	220.55	79.23	0.923	2.323	239.02	34.11
10	220.72	79.39	0.920	2.315	239.89	34.29
11	220.24	79.69	0.922	2.312	239.84	34.47
12	220.51	79.54	0.924	2.316	239.75	34.38
13	220.32	79.48	0.921	2.314	239.68	34.35
14	220.42	79.62	0.920	2.312	239.72	34.41
15	220.38	79.45	0.923	2.314	239.66	34.37

ในตารางที่ 5.2 เป็นการทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ในเงื่อนไขการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดแกนเหล็ก

ส่วนในตารางที่ 5.3 เป็นการทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ประกอบด้วย ค่า Average Power, ค่า Apparent Power, ค่า Reactive Power ในเงื่อนไขการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

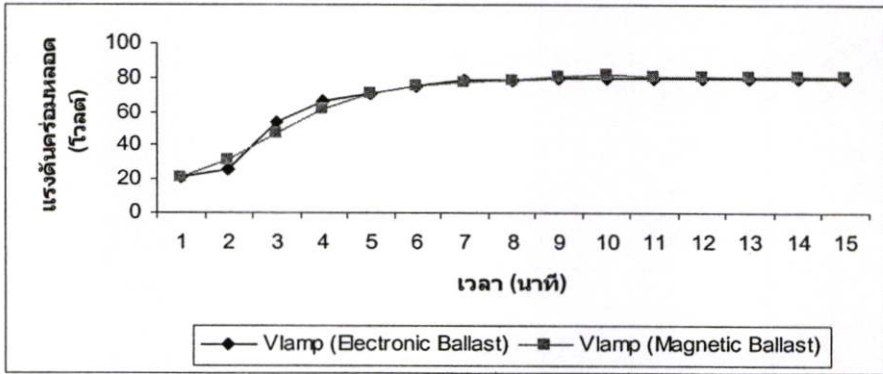
ตารางที่ 5.5 การทดสอบบันทึกกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สภาวะจุด
โหลดจนถึงสภาวะคงที่

T (นาที)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)
1	73.1	53.9	77.1	54.2	24.7	5.5
2	86.2	66.9	88.7	67.2	21.7	7.2
3	149.8	131.5	151.2	131.9	20.5	10.2
4	178.3	159.8	179.6	160.2	21.9	11.4
5	186.5	167.2	187.8	167.6	22.3	11.7
6	195.8	175.8	197.1	176.2	23.1	12.2
7	199.9	181.5	201.2	181.9	23.2	12.2
8	201.4	182.6	202.9	183.2	24.1	12.3
9	202.2	183.6	203.5	184.1	23.2	12.3
10	201.8	183.4	203.1	183.8	23.1	12.3
11	202.4	183.6	203.8	184.1	23.3	12.3
12	202.2	183.4	203.5	183.8	23.1	12.3
13	201.8	183.1	203.2	183.7	23.1	12.3
14	202.4	183.3	203.6	184.2	23.1	12.3
15	202.2	183.2	203.4	184.1	23.1	12.3

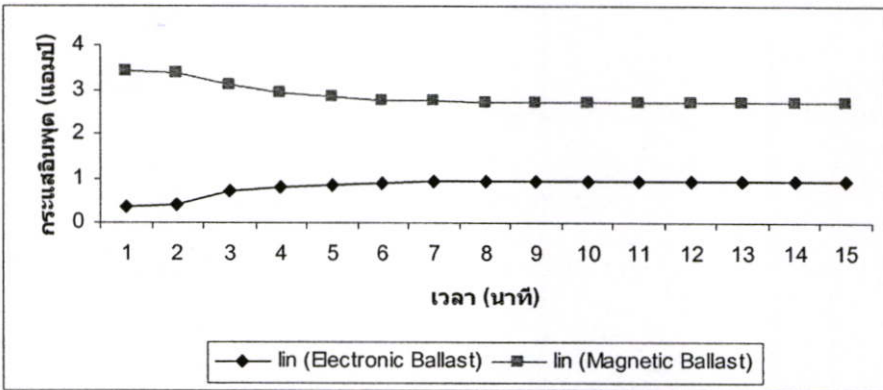
5.4.3 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิด แกนเหล็ก

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการทดสอบการทำงานตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่
ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก โดยข้อมูลที่ได้จากการ
ทดสอบทำการพล็อตกราฟ ประกอบด้วย

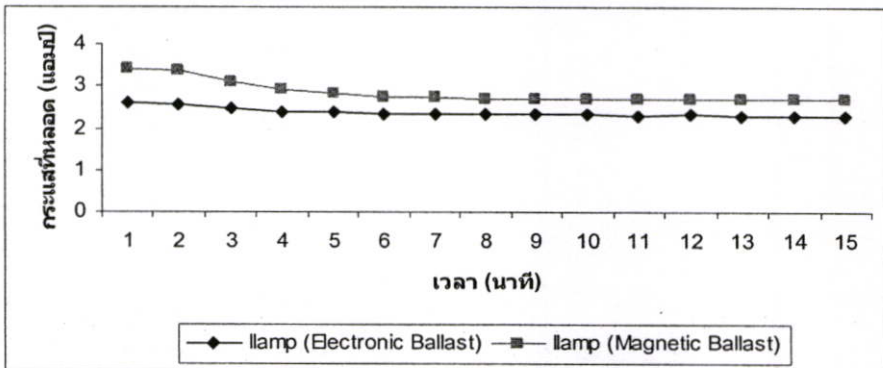
- กราฟค่าแรงดันคร่อมโหลดตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.17 (ก)
- กราฟค่ากระแสอินพุตตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.17 (ข)
- กราฟค่ากระแสที่โหลดตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.17 (ค)
- กราฟค่าอิมพีแดนซ์อินพุตตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.17 (ง)
- กราฟค่าอิมพีแดนซ์ที่โหลดตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.17 (จ)



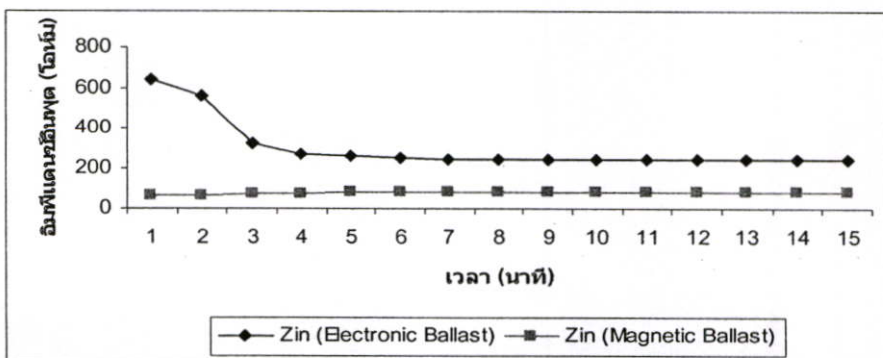
(ก) กราฟค่าแรงดันคร่อมหลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่



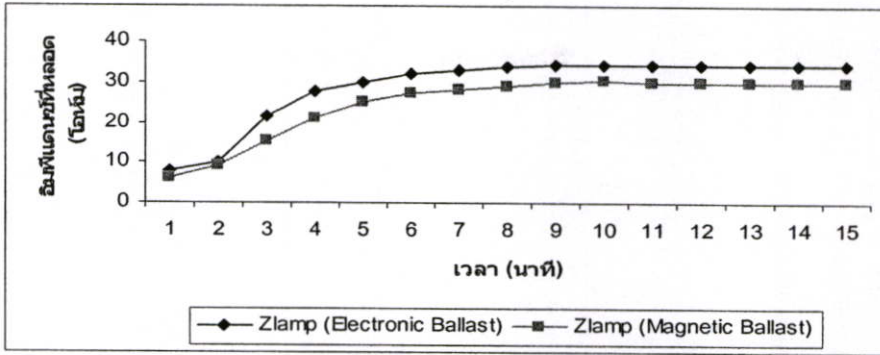
(ข) กราฟค่ากระแสอินพุตตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่



(ค) กราฟค่ากระแสที่หลอดตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่

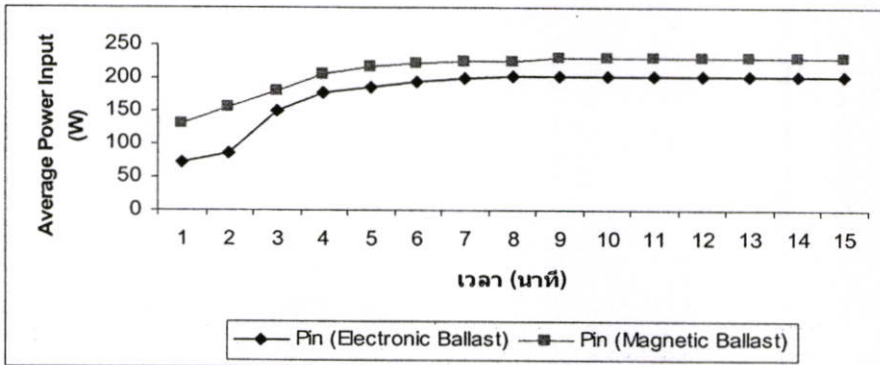


(ง) กราฟค่าอิมพีแดนซ์อินพุตตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่

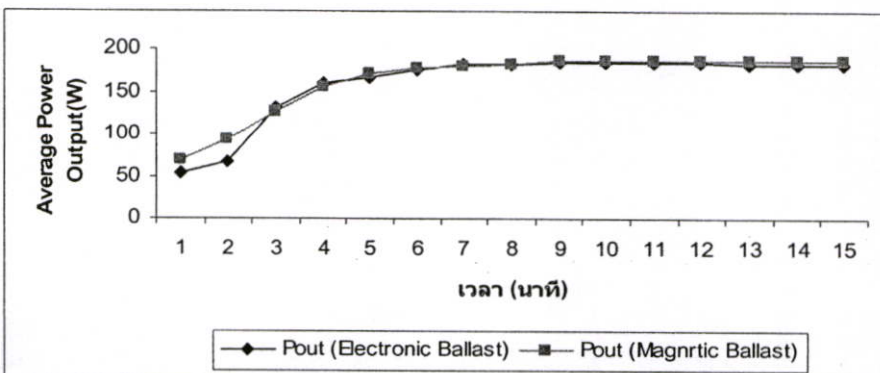


(จ) กราฟค่าอิมพีแดนซ์ที่ลดลงตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่
รูปที่ 5.17 กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

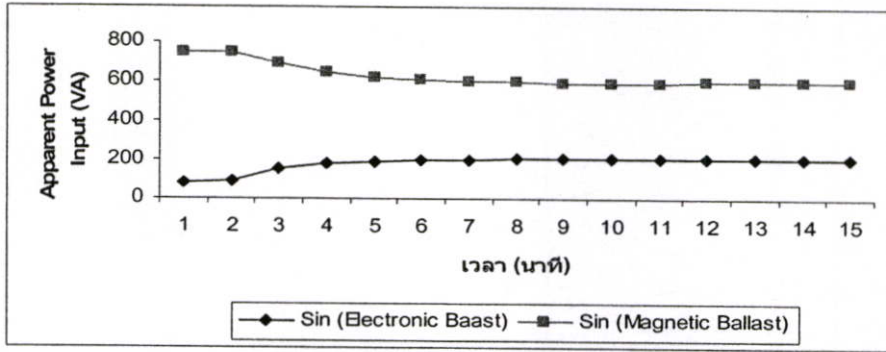
กราฟค่า Average Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.18 (ก)
กราฟค่า Average Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.18 (ข)
กราฟค่า Apparent Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.18 (ค)
กราฟค่า Apparent Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.18 (ง)
กราฟค่า Reactive Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.18 (จ)
กราฟค่า Reactive Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ แสดงในรูปที่ 5.18 (ฉ)



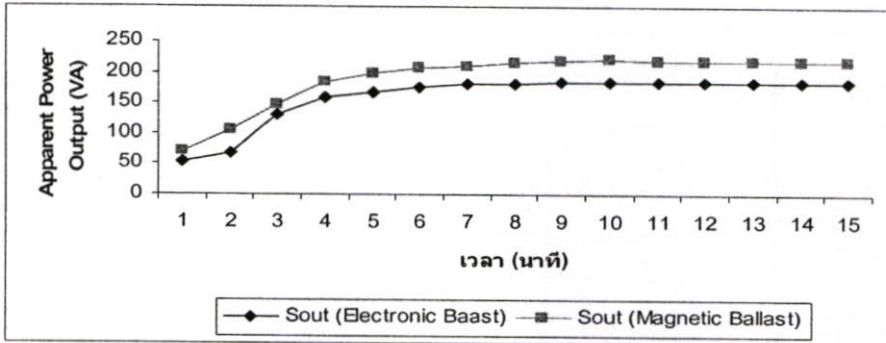
(ก) กราฟค่า Average Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่



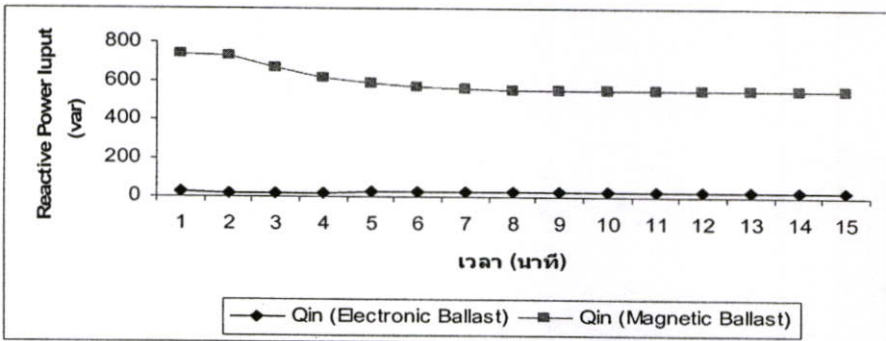
(ข) กราฟค่า Average Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่



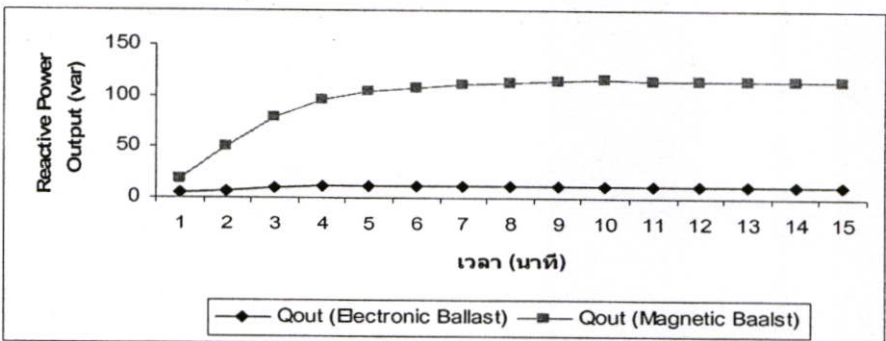
(ง) กราฟค่า Apparent Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่



(ง) กราฟค่า Apparent Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่



(จ) กราฟค่า Reactive Power Input ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่



(ฉ) กราฟค่า Reactive Power Output ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่

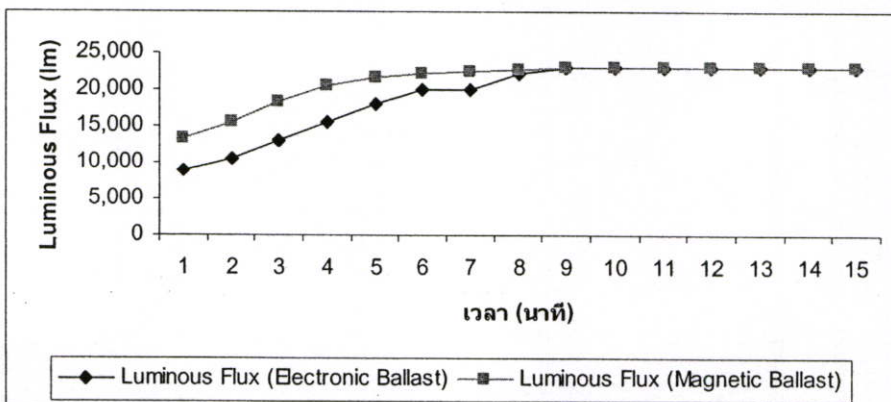
รูปที่ 5.18 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ตั้งแต่สภาวะจุดโหลดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.4.4 การทดสอบเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

T (min.)	Magnetic Ballast Luminous Flux (lm)	Electronic Ballast Luminous Flux (lm)
1	13,270	8,833
2	15,583	10,632
3	18,281	13,031
4	20,648	15,594
5	21,755	18,047
6	22,359	19,956
7	22,428	20,010
8	22,756	22,290
9	23,054	23,182
10	23,062	23,154
11	22,988	23,188
12	23,021	23,180
13	23,044	23,162
14	23,056	23,168
15	23,070	23,178

ในตารางที่ 5.6 เป็นการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ



รูปที่ 5.19 กราฟค่า Luminous Flux ตั้งแต่สภาวะจุดหลอดจนถึงสภาวะคงที่

5.5 การทดสอบการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ในการทดสอบการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก โดยทำการวัดบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตั้งแต่ช่วงแรงดัน 195 ถึง 245 โวลต์ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นำบันทึกจากเครื่องมือวัดทำการพล็อตด้วยโปรแกรม Excel เพื่อศึกษาการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.5.1 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ตารางที่ 5.7 การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณ บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)	THD_v (%)	THD_i (%)
195	70.12	2.329	2.327	83.91	30.13	1.7	4.8
200	72.11	2.402	2.402	83.61	30.04	1.7	5.2
205	77.03	2.446	2.445	84.06	31.50	1.7	5.8
210	79.81	2.515	2.514	83.83	31.74	1.7	6.7
215	81.10	2.596	2.596	83.03	31.23	1.7	6.9
220	82.8	2.683	2.681	82.22	30.89	1.7	7.2
225	84.67	2.791	2.788	80.83	30.37	1.7	8.1
230	85.07	2.913	2.912	79.05	29.21	1.7	9.5
235	87.35	3.034	3.032	77.65	28.08	1.7	10.8
240	91.46	3.126	3.124	76.84	29.28	1.7	11.6
245	96.94	3.203	3.210	76.62	30.29	1.7	12.8

ในตารางที่ 5.7 เป็นการทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณในเงื่อนไขการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

ตารางที่ 5.8 การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 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	170.7	139.6	455.1	163.1	421.9	84.5	0.40
200	181.2	148.2	482.5	173.1	447.2	89.5	0.41
205	195.3	161.1	503.1	188.3	463.6	97.6	0.41
210	207.5	171.5	530.3	200.7	488.1	104.3	0.42
215	217.9	179.8	559.6	210.6	515.4	109.6	0.42
220	229.6	189.1	591.7	222.2	545.4	116.4	0.42
225	245.4	200.4	629.6	232.4	579.8	124.7	0.42
230	258.3	209.6	671.2	247.7	619.3	131.9	0.43
235	275.9	223.4	714.7	264.9	659.3	142.3	0.44
240	295.4	239.7	750.1	285.7	690.2	155.4	0.46
245	317.4	258.8	786.1	310.2	719.2	171.3	0.46

ในตารางที่ 5.8 เป็นการทดสอบบันทึกค่า การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ในเงื่อนไขการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

5.5.2 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.9 การทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)	THD_v (%)	THD_i (%)
195	78.75	1.031	2.313	188.86	34.04	1.1	3.4
200	78.85	1.008	2.314	199.07	34.07	1.1	3.8
205	78.65	0.981	2.312	209.62	34.01	1.2	3.8
210	78.70	0.963	2.316	218.02	33.98	1.2	4.2
215	78.71	0.939	2.311	229.70	34.05	1.3	4.4
220	78.93	0.921	2.312	239.59	34.13	1.3	4.6
225	78.90	0.898	2.317	250.60	34.05	1.3	5.1

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)	THD_v (%)	THD_i (%)
230	79.04	0.876	2.311	262.68	34.19	1.3	5.4
235	79.11	0.866	2.317	272.03	34.14	1.3	5.7
240	79.17	0.850	2.313	282.94	34.22	1.2	5.8
245	79.13	0.828	2.313	296.70	34.20	1.2	6.1

ในตารางที่ 5.9 เป็นการทดสอบบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์, ความผิดเพี้ยนสัญญาณในเงื่อนไขการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.10 การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 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	202.1	181.7	202.8	182.1	15.9	12.3	1
200	201.9	182.1	202.6	182.5	16.6	12.3	1
205	201.1	181.4	201.8	181.8	17.1	12.3	1
210	201.5	181.8	202.4	182.3	18.9	12.3	0.99
215	201.4	181.5	202.6	181.5	22.3	12.3	0.99
220	202.1	182.1	203.3	182.5	23.4	12.3	0.99
225	201.3	182.4	202.5	182.8	23.9	12.3	0.99
230	200.2	182.3	201.9	182.7	25.6	12.3	0.99
235	201.9	182.9	204.1	183.3	30.4	12.3	0.99
240	201.7	182.7	204.6	183.1	34.2	12.3	0.99
245	201.8	182.6	204.7	183.3	35.1	12.3	0.99

ในตารางที่ 5.10 เป็นการทดสอบบันทึกค่า การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ในเงื่อนไขการทำงานเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ของบัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

5.5.3 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการทดสอบการเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทำการพล็อตกราฟ ประกอบด้วย

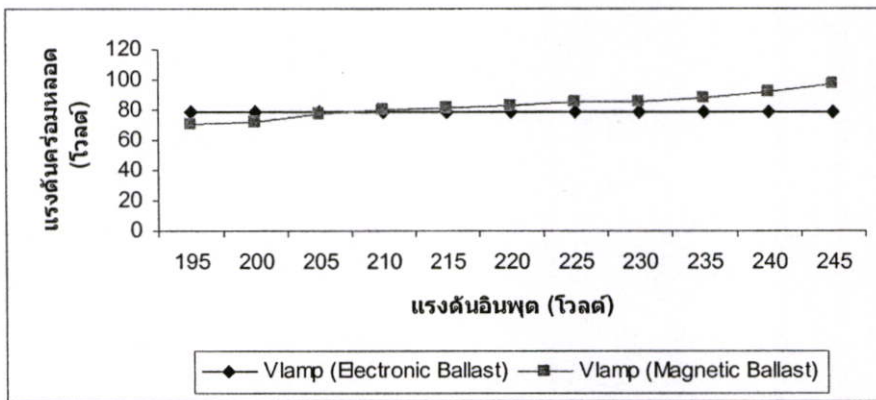
กราฟค่าแรงดันคร่อมหลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.20 (ก)

กราฟค่ากระแสอินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.20 (ข)

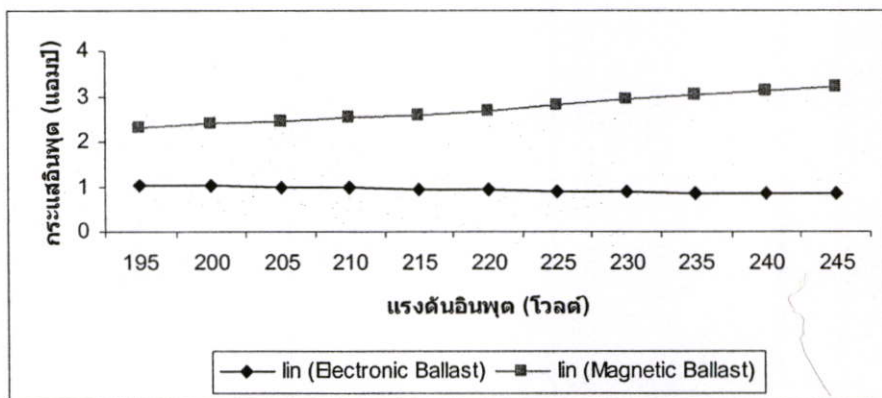
กราฟค่ากระแสที่หลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.20 (ค)

กราฟค่าอิมพีแดนซ์อินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.20 (ง)

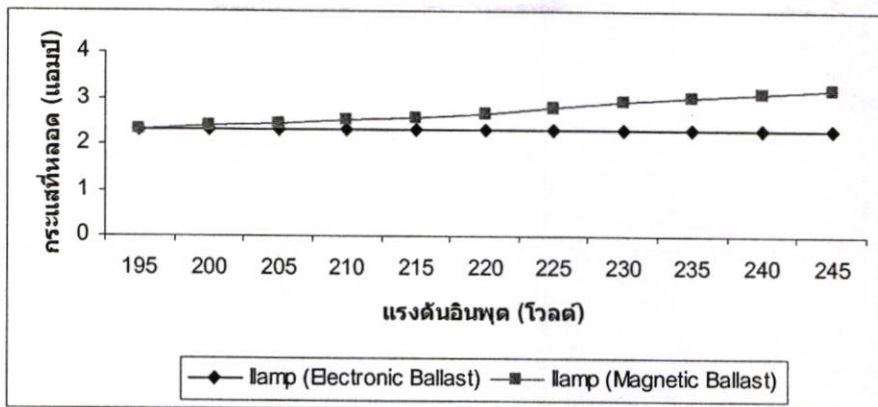
กราฟค่าอิมพีแดนซ์ที่หลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.20 (จ)



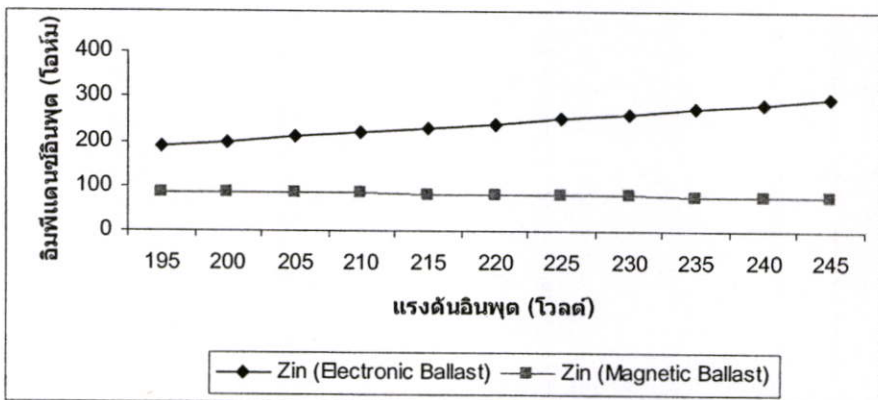
(ก) กราฟค่าแรงดันคร่อมหลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



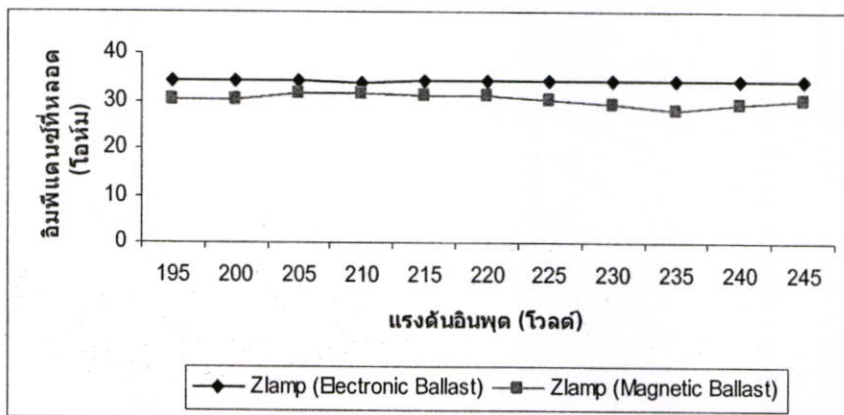
(ข) กราฟค่ากระแสอินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



(ก) กราฟค่ากระแสที่ไหลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



(ข) กราฟค่าอินพีแดนซ์อินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



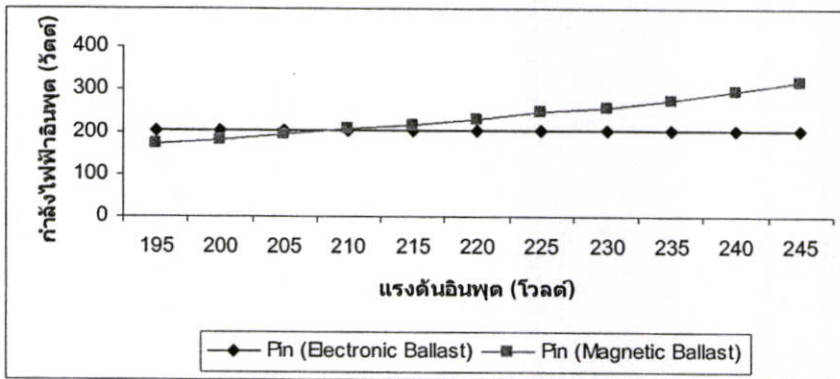
(ค) กราฟค่าอินพีแดนซ์ที่ไหลอดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

รูปที่ 5.20 กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อินพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

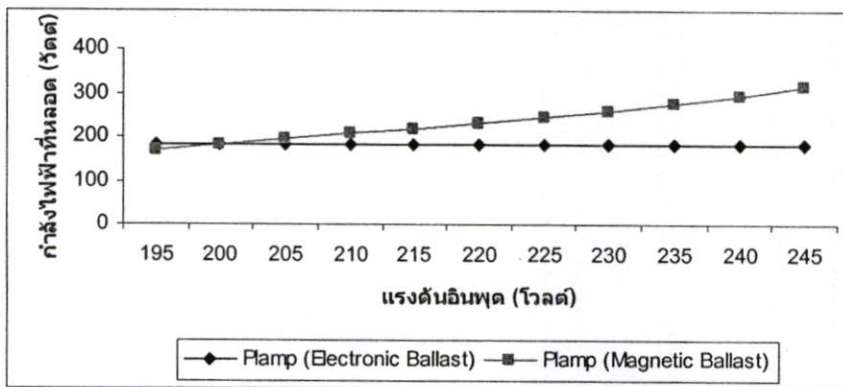
กราฟค่า Average Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุตแสดงในรูปที่ 5.21 (ก)
 กราฟค่า Average Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.21 (ข)
 กราฟค่า Apparent Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.21 (ค)
 กราฟค่า Apparent Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.21 (ง)

กราฟค่า Reactive Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.21 (จ)

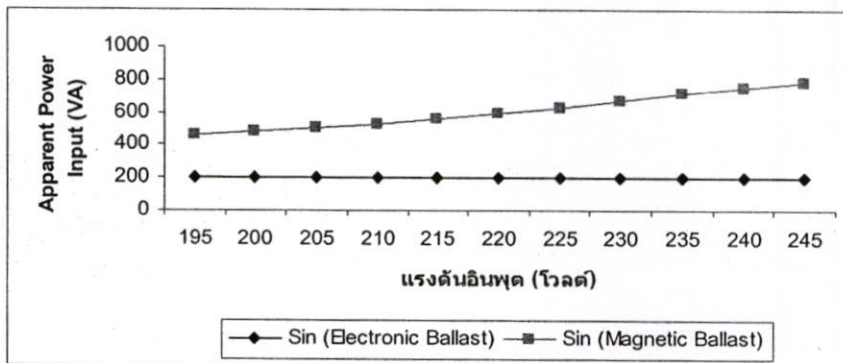
กราฟค่า Reactive Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.21 (ฉ)



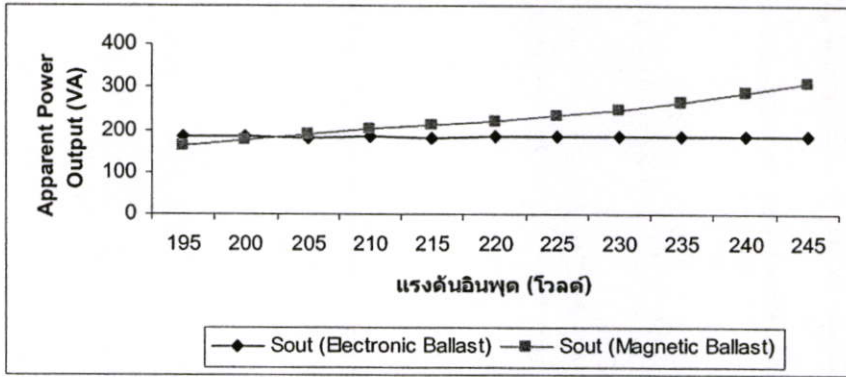
(ก) กราฟค่า Average Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



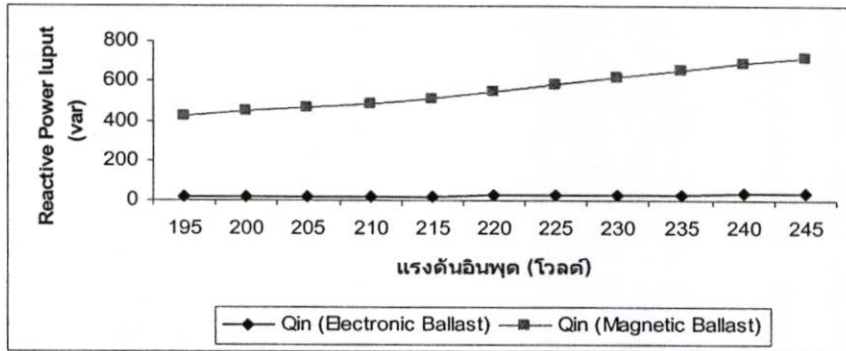
(ข) กราฟค่า Average Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



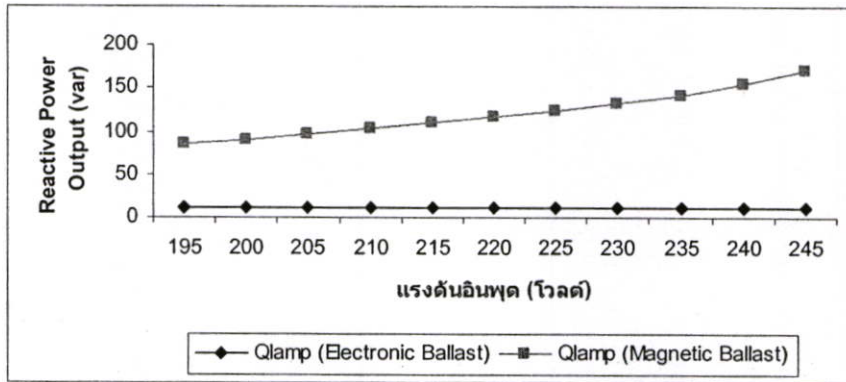
(ค) กราฟค่า Apparent Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



(ง) กราฟค่า Apparent Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



(จ) กราฟค่า Reactive Power Input เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



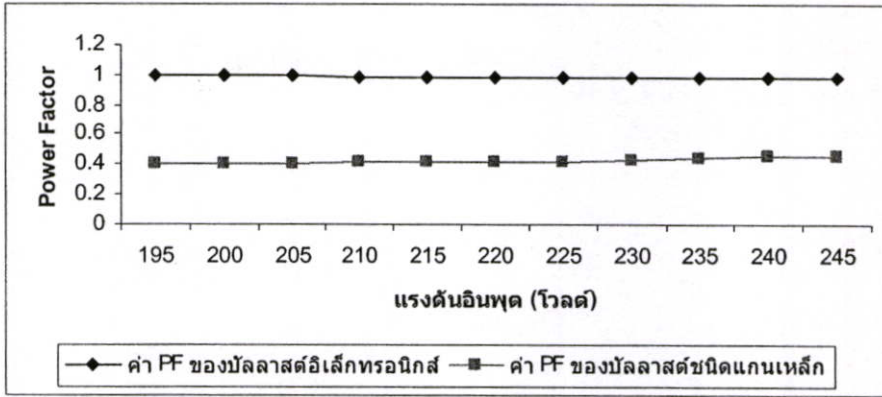
(ฉ) กราฟค่า Reactive Power Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

รูปที่ 5.21 กราฟค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

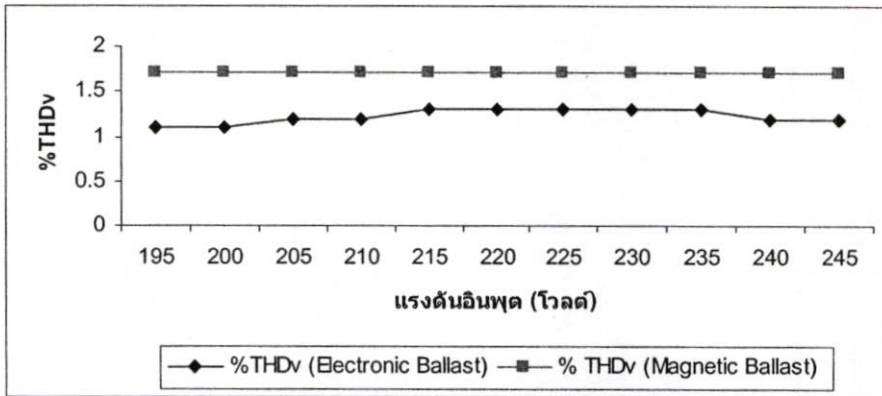
กราฟค่า THD_v เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.22 (ก)

กราฟค่า THD_i เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.22 (ข)

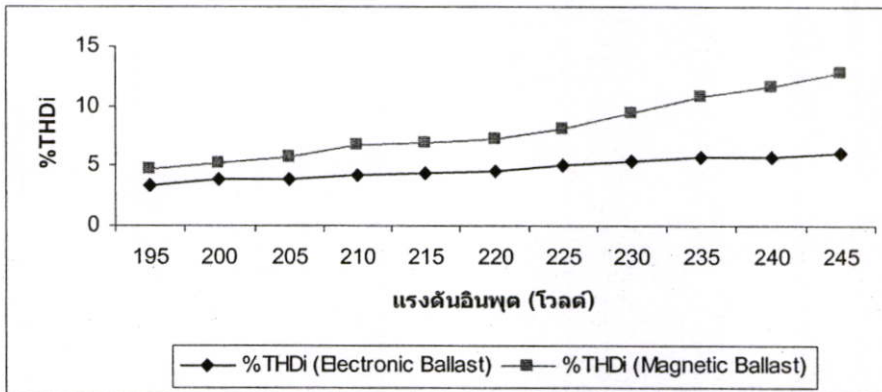
กราฟค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต แสดงในรูปที่ 5.22 (ค)



(ก) กราฟค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



(ข) กราฟค่า THDv เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต



(ค) กราฟค่า THDi เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านอินพุต

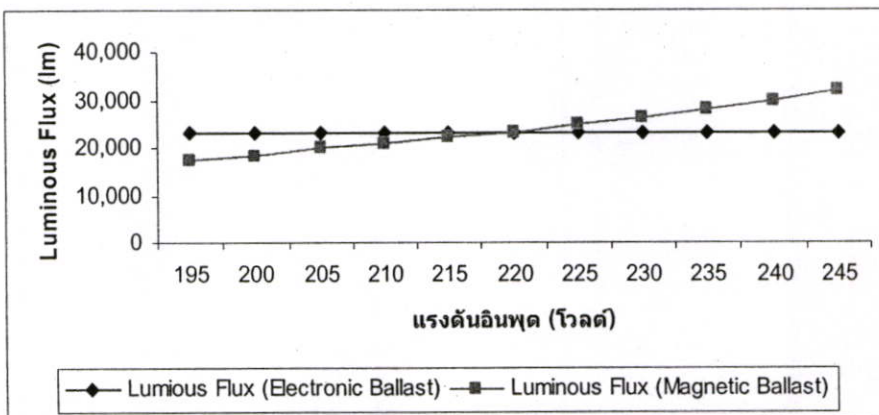
รูปที่ 5.22 กราฟค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และความผิดเพี้ยนสัญญาณ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์

5.5.4 การทดสอบเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ตารางที่ 5.11 การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

Vin (V)	Magnetic Ballast Luminous Flux (lm)	Electronic Ballast Luminous Flux (lm)
195	17,245	23,185
200	18,362	23,168
205	19,782	23,115
210	20,967	23,135
215	22,058	23,124
220	23,044	23,178
225	24,842	23,085
230	26,217	23,122
235	27,854	23,145
240	29,767	23,155
245	31,927	23,174

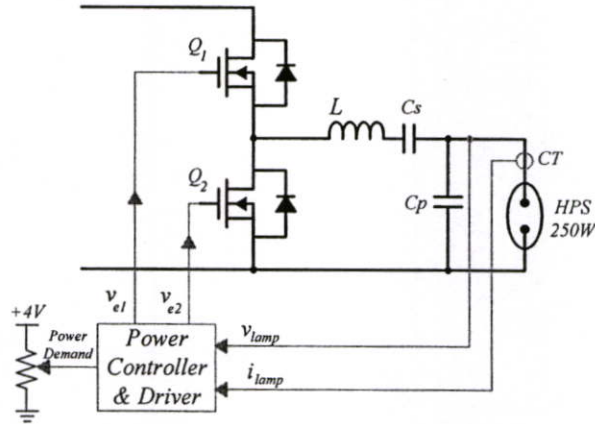
ในตารางที่ 5.11 การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ



รูปที่ 5.23 กราฟการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ส่องสว่างเมื่อแรงดันด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 195 ถึง 245 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

5.6 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมปริมาณค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ

ในการทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อควบคุมปริมาณค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ โดยการปรับค่าแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ดังแสดงในรูปที่ 5.32 จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นบันทึกจากเครื่องมือวัดมาทำการพล็อตด้วยโปรแกรม Excel เพื่อศึกษาการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 5.24 การปรับแรงดันอ้างอิงเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.12 การทดสอบบันทึกค่าความถี่, แรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง

V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	Z_{in} (โอห์ม)	Z_{out} (โอห์ม)
3.5	60.19	220.45	94.85	1.162	2.479	189.15	38.14
3.6	61.13	220.32	88.90	1.095	2.475	200.37	35.91
3.7	62.23	220.61	84.24	1.036	2.448	213.43	34.41
3.8	63.16	220.64	81.38	0.984	2.413	224.26	33.71
3.9	64.15	220.23	79.07	0.945	2.371	232.87	33.35
4.0	65.10	220.58	79.93	0.926	2.311	238.11	34.59
4.1	66.28	220.77	77.65	0.885	2.269	250.73	33.91
4.2	67.34	220.92	75.44	0.846	2.221	261.19	33.96
4.3	68.24	220.62	71.34	0.798	2.205	276.29	32.35
4.4	69.41	220.28	69.55	0.767	2.160	288.25	32.19
4.5	70.34	220.17	67.59	0.734	2.129	301.32	31.74

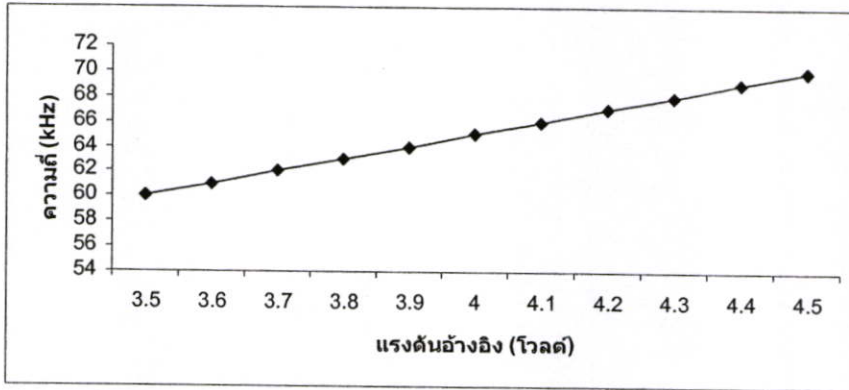
ในตารางที่ 5.12 เป็นการทดสอบบันทึกค่าความถี่สวิตช์, แรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิงเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ ประกอบด้วย

กราฟแสดงค่าความถี่เมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง แสดงในรูปที่ 5.25

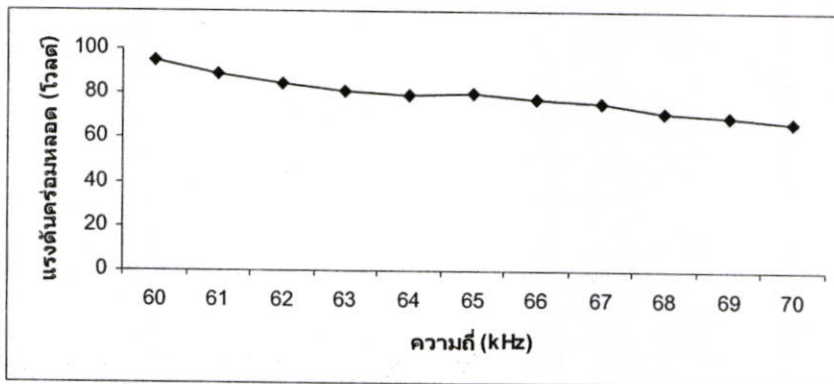
กราฟค่าแรงดันคร่อมโหลดเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.26 (ก)

กราฟค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.26 (ข)

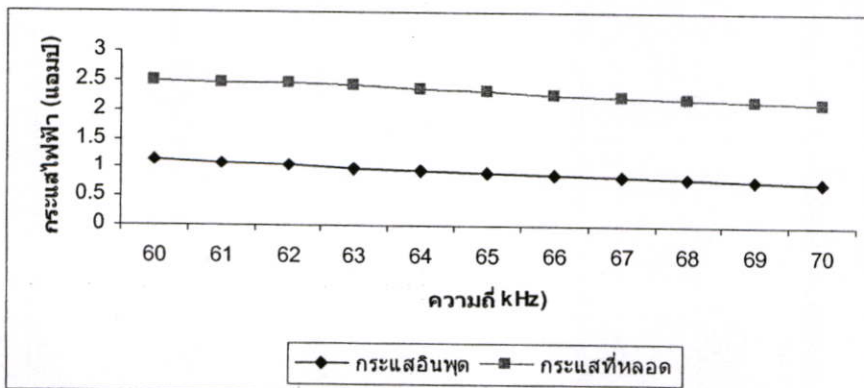
กราฟค่าอิมพีแดนซ์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.26 (ค)



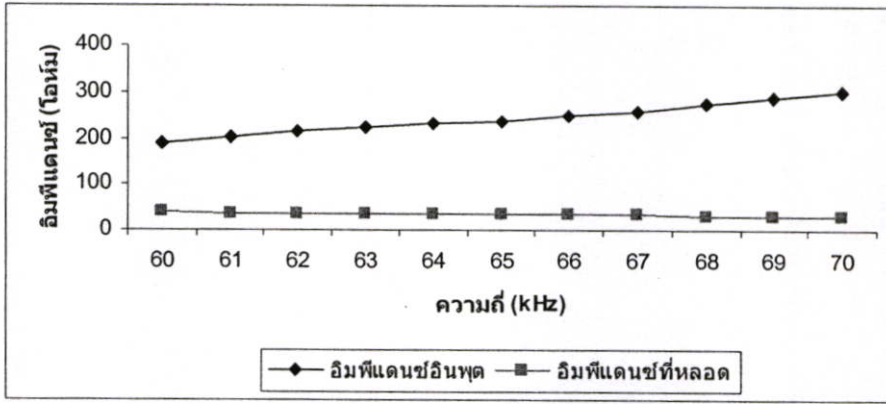
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงค่าความถี่เมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง



(ก) กราฟค่าแรงดันคร่อมโหลดเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่



(ข) กราฟค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่



(ค) กราฟค่าอิมพีแดนซ์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

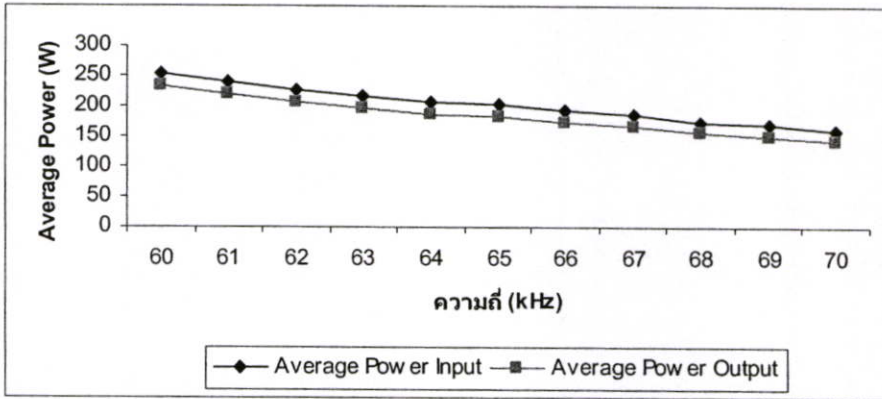
รูปที่ 5.26 กราฟค่าแรงดัน, กระแส, อิมพีแดนซ์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

ตารางที่ 5.13 การทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง

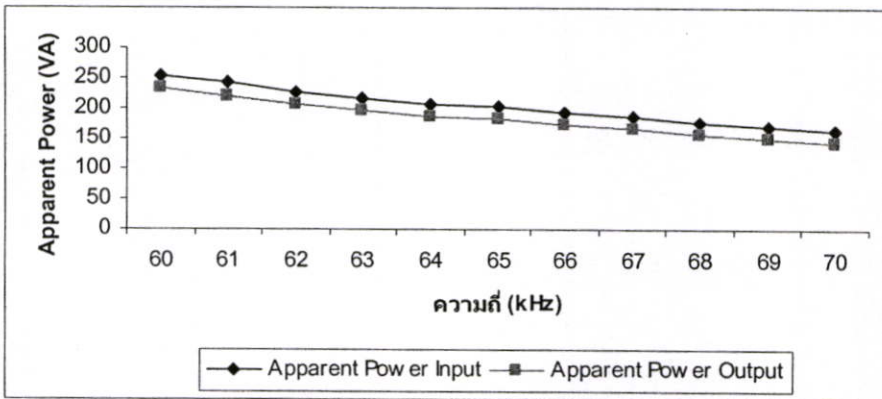
V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	P_{in} (W)	P_{out} (W)	S_{in} (VA)	S_{out} (VA)	Q_{in} (var)	Q_{out} (var)	Efficiency (%)
3.5	60.19	253.1	234.3	254.6	234.5	27.4	15.8	92.45
3.6	61.13	240.8	219.5	242.2	220.3	26.4	14.7	91.15
3.7	62.23	226.6	206.1	228.4	206.7	25.1	13.8	90.91
3.8	63.16	215.6	195.8	217.1	196.3	25.2	13.2	90.83
3.9	64.15	206.9	187.8	208.3	188.3	23.6	12.7	90.77
4.0	65.10	202.9	183.3	204.3	183.7	24.1	12.4	90.38
4.1	66.28	193.1	174.2	194.4	174.6	22.6	11.9	90.21
4.2	67.34	185.5	167.2	186.9	167.6	22.4	11.4	90.01
4.3	68.24	174.8	156.9	176.2	157.3	22.3	10.9	89.75
4.4	69.41	168.4	150.4	169.9	150.8	22.1	10.5	89.35
4.5	70.34	160.2	142.1	162.3	142.9	21.3	10.2	89.01

ในตารางที่ 5.13 เป็นการทดสอบบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ ประกอบด้วย ค่า Average Power, ค่า Apparent Power, ค่า Reactive Power เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิงเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

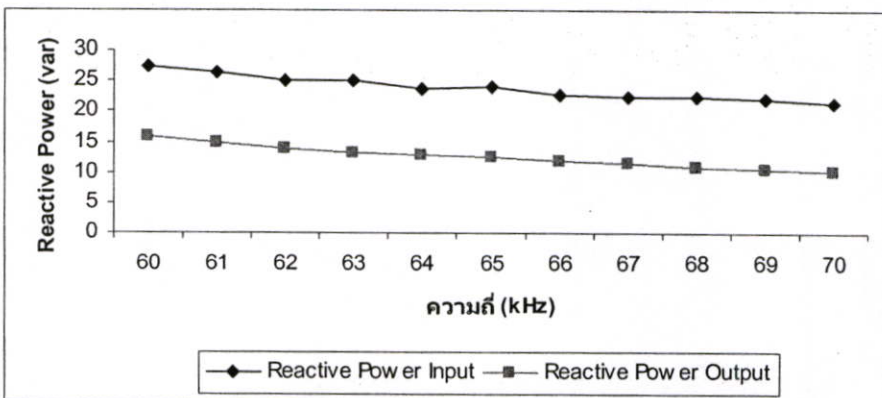
กราฟค่า Average Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.27 (ก)
 กราฟค่า Apparent Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.27 (ข)
 กราฟค่า Reactive Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.27 (ค)
 กราฟค่า Power Efficiency (%) เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.28



(ก) กราฟค่า Average Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

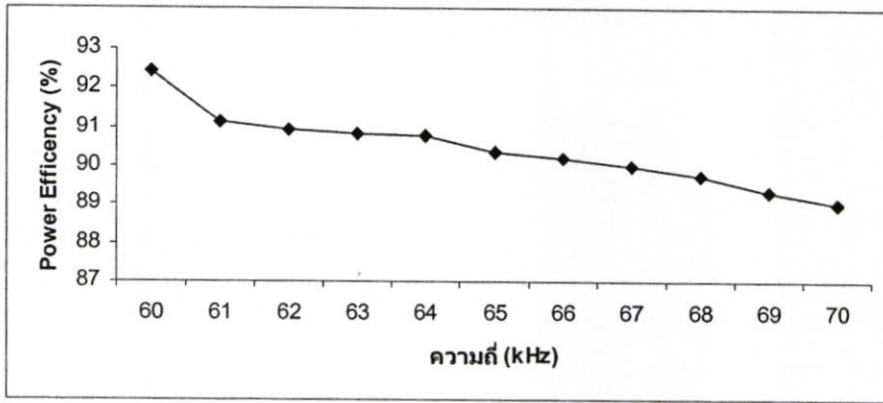


(ข) กราฟค่า Apparent Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่



(ค) กราฟค่า Reactive Power เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

รูปที่ 5.27 กราฟกำลังไฟฟ้าต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่



รูปที่ 5.28 กราฟค่า Power Efficiency เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

ตารางที่ 5.14 การทดสอบบันทึกค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์, ค่าความผิดเพี้ยนสัญญาณ, ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง

V_{ref} (โวลต์)	F (kHz)	PF	DPF	THD_v (%)	THD_i (%)	Luminous Flux (lm)	Efficiency (lm/W)
3.5	60.19	0.99	0.99	1.2	4.3	28,750	113.60
3.6	61.13	0.99	0.99	1.2	4.4	27,456	114.02
3.7	62.23	0.99	0.99	1.2	4.5	25,832	113.90
3.8	63.16	0.99	0.99	1.2	4.5	24,578	114.31
3.9	64.15	0.99	0.99	1.2	4.6	23,586	113.91
4.0	65.10	0.99	0.99	1.2	4.6	23,140	114.04
4.1	66.28	0.99	0.99	1.2	4.6	22,055	114.22
4.2	67.34	0.99	0.99	1.2	4.7	21,192	114.24
4.3	68.24	0.99	0.99	1.2	4.8	19,998	114.41
4.4	69.41	0.99	0.99	1.2	4.8	19,258	114.36
4.5	70.34	0.99	0.99	1.2	5.0	18,284	114.28

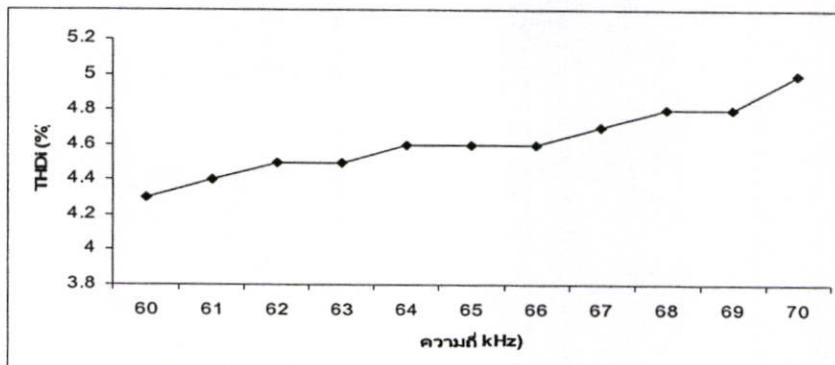
ในตารางที่ 5.14 เป็นการทดสอบบันทึกค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์, ค่าความผิดเพี้ยนสัญญาณ, ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อปรับค่าแรงดันอ้างอิง เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทำการพล็อตกราฟ

กราฟค่า THD_i ทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.29

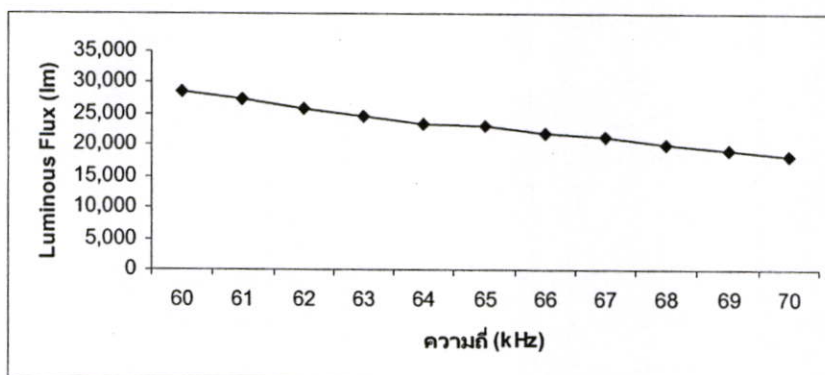
กราฟค่า Luminous Flux เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.30

กราฟค่า Luminous Flux เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้านินพุตแสดงในรูปที่ 5.31

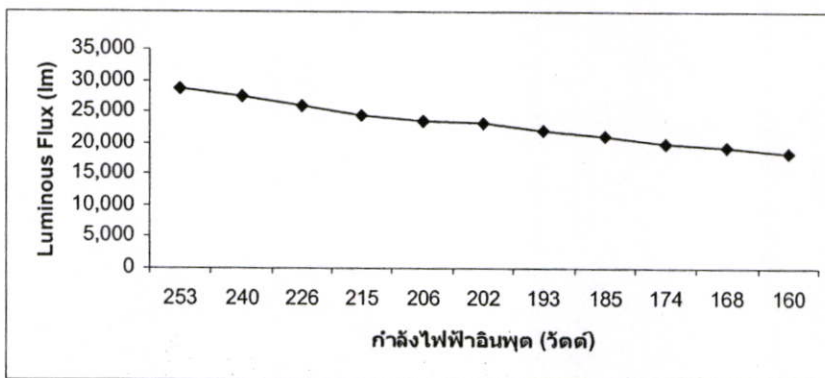
กราฟค่า Luminous Efficiency เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงในรูปที่ 5.32



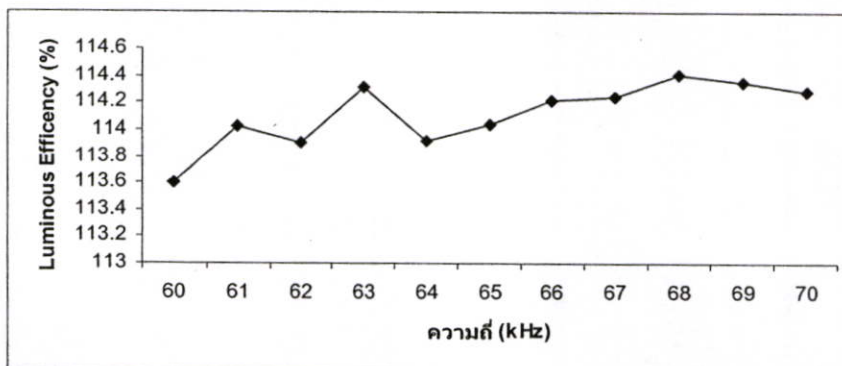
รูปที่ 5.29 กราฟค่า THDi ทำการปรับเปลี่ยนความถี่



รูปที่ 5.30 กราฟค่า Luminous Flux เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่



รูปที่ 5.31 กราฟค่า Luminous Flux เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าด้านอินพุต



รูปที่ 5.32 กราฟค่า Luminous Efficiency เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่

5.7 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวแสดงในตารางที่ 5.15 จากการพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าประสิทธิภาพในการส่องสว่างจากบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจะได้ว่า ($P_{lamp}/Lumions\ flux$) อยู่ที่ 122.06 lm/W ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ($P_{lamp}/Lumions\ flux$) อยู่ที่ 127.28 lmW จะเห็นได้ว่าแรงดันกระแสสลับความถี่สูงที่ป้อนให้กลับโหลดโซเดียมความดันสูงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างเพิ่มขึ้น 4.27 %

ตารางที่ 5.15 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การวัดค่าองค์ประกอบต่าง ๆ	บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
แรงดันจุดโหลด (โวลต์)	3,160	2,280
แรงดันอินพุต (โวลต์)	220.58	220.73
กระแสอินพุต (แอมป์)	2.683	0.921
กำลังไฟฟ้าอินพุต (วัตต์)	229.6	202
แรงดันคร่อมโหลด (โวลต์)	82.8	78.93
กระแสที่โหลด (แอมป์)	2.681	2.312
กำลังไฟฟ้าที่โหลด (วัตต์)	189	182.1
ค่า THDv (%)	1.7	1.3
ค่า THDi (%)	7.2	4.6
ค่า Power Factor	0.42	0.99
ค่า Crest Factor	1.55	1.7
ค่า Power Loss (%)	17.60 %	9.80 %
ค่า Power Efficiency (%)	82.31 %	90.14 %
ค่า Luminous Flux (ลูเมน)	23,070	23,178
ค่า Luminous Efficiency (ลูเมน/วัตต์)	100.47	114.74

5.8 บทสรุป

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการทดสอบและผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ และบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กเมื่อร่วมใช้งานกับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ จากผลการทดสอบในส่วนวงจรสคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังจะเห็นได้ว่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงถึง 0.99 มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต 4.6 % อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.1506 ในส่วนของวงจรจุดหลอดแบบภายในแบบ LCC สร้างแรงดันในช่วงการจุดหลอดประมาณ 2,280 โวลต์ สามารถที่จะจุดหลอดโซเดียมความดันสูงได้จริงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนา จากข้อมูลผลการทดสอบโดยรวมจะเห็นได้ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก 12.02 % ดังนั้นสามารถที่จะสรุปได้ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้นำเสนอมีสมรรถนะโดยรวมของระบบสูงกว่าบัลลาสต์แบบแกนเหล็กที่ใช้งานตามท้องตลาดทั่วไป เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานได้แทนกันได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองและออกแบบสร้างทดลองเวลาที่ผ่านมานั้น ได้มีการลองผิดลองถูกมากมาย โดยเริ่มจากการศึกษาและออกแบบตามวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยที่ผ่านมา และที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป อาทิเช่น วงจรจุกหลอดแบบภายนอกที่ให้แรงดันในการจุกหลอดที่สูงแต่กระแสช่วงสตาร์ทก็สูงมากทำให้ภาควงจรอินเวอร์เตอร์ได้รับความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงได้ศึกษาออกแบบสร้างวงจรจุกหลอดแบบภายใน LCC ขึ้นมาซึ่งก็จุกหลอดได้จริงพร้อมทั้งลดขนาดอุปกรณ์ลงได้มาก ในส่วนของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังช่วงแรกได้ทดลองใช้แบบพาสซีฟ (Valley fill) ซึ่งผลที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงได้นำวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟที่มีการนำไอซีสำเร็จรูปมาใช้ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงขึ้น ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสด้านอินพุตดีขึ้น ทำให้ระบบโดยรวมเป็นที่น่าพอใจ วงจรที่ออกแบบสร้างขึ้นมามีประสิทธิภาพ รวมทั้งได้ประกอบวงจรทั้งหมดให้อยู่ในโครงสร้างเดียวกัน โดยเน้นถึงขนาดและอุปกรณ์ที่ใช้ให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักที่เบา

6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบวิเคราะห์และสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่หลอดให้คงที่ โดยมีเป้าหมายให้สามารถใช้งานและมีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพื่อทดสอบให้ผลการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ พิกัดกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์, ระบบไฟฟ้าป้อนเข้า 196-244 โวลต์, ค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.90, ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตไม่เกิน 25%, ค่า Ballast Lumen Factor ไม่น้อยกว่า 94%, ค่า Crest Factor ไม่เกิน 1.7, ประสิทธิภาพของระบบมากกว่า 90%, รวมทั้งบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบต้องประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก 10%

จากการทดสอบและผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้นำเสนอกล่าวถึงในบทที่ 5 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ค่าความสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ (Watt loss) ต่ำกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
2. ประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้ผลที่ดีกว่า
3. ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

4. ค่าความผิดพลาดของสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต (THDi%) น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

สรุปผลการวิจัยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบสร้างขึ้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจได้ตามเป้าหมายของงานวิจัยที่ได้ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในระหว่างการทำวิจัย ทางผู้วิจัยได้พบปัญหาต่าง ๆ ดังนั้นจึงได้นำเสนอข้อมูลที่สำคัญที่จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. เพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดีขึ้นไป น่าจะทำการพัฒนาปรับปรุงในส่วนต่าง ๆ ของวงจรให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นไปในทางที่ดีขึ้น เช่น ค่าแรงดัน, ค่ากระแส, ค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าความสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์, ค่าประสิทธิภาพของบัลลาสต์ รวมไปถึงคุณสมบัติทางแสงด้วย
2. เพื่อให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ควรจะมีการพัฒนาให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้งานร่วมกับหลอดคายประจุความเข้มสูงชนิดอื่นได้นอกจากหลอดโซเดียมความดันสูง ไม่ว่าจะเป็นหลอดเมทัลฮาไลด์และหลอดไอปรอท ซึ่งบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้
3. ในส่วนของวงจรควบคุมถ้าต้องการระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น น่าจะมีการนำการระบบดิจิทัลมาใช้แทนระบบอนาลอก ทำให้วงจรควบคุมน่าเชื่อถือมากขึ้นและวงจรมีขนาดเล็กลง

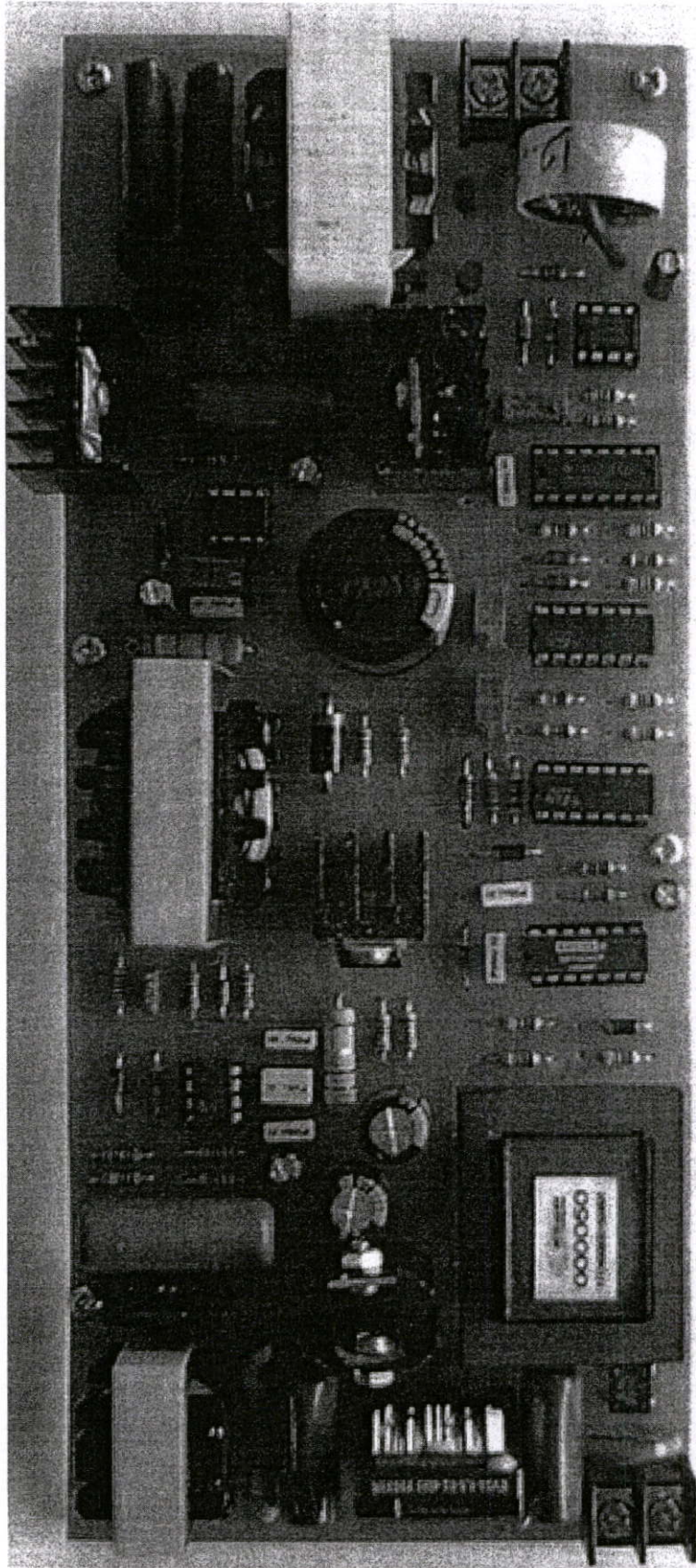
เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang Wei, Zhang Weiqiang, Gao Guoan, Xu Dianguo, "A study of an electronic ballast for high pressure sodium lamp" Power Electronics and Motion Control Conference, 2000. Proceedings. IPEMC 2000. The Third International Volume 3, 15-18 Aug. 2000 Page(s):1056 - 1060 vol.3
- [2] Jianqiang Wang, Dianguo Xu, Hua Yang, "Practical design considerations of LCC resonant inverter for metal halide electronic ballasts" Industrial Technology, 2003 IEEE International Conference on Volume 2, 10-12 Dec. 2003 Page(s):648 - 651 Vol.2
- [3] Zhang Weiqiang, Xu Dianguo, "Novel constant power control of electronic ballast for HPS lamps" Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT '02. 2002 IEEE International Conference on Volume 1, 11-14 Dec. 2002 Page(s):129 - 132 vol.1
- [4] Xu Dianguo, Zhang Weiqiang, Bao Zhiyun, Liu Gang, "Novel control strategies for HPS lamps driven by electronic ballast" Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the Volume 3, 13-18 Oct. 2002 Page(s):1852 - 1855 vol.3
- [5] Branas C., Azcondo F.J., Bracho, S., "Evaluation of an electronic ballast circuit for HID lamps with passive power factor correction" IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the] Volume 1, 5-8 Nov. 2002 Page(s):371 - 376 vol.1
- [6] 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 applications" Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 41, Issue 6, Nov.-Dec. 2005 Page(s):1584 - 1593
- [7] Branas C., Azcondo F.J., Bracho S., "Contributions to the design and control of LC_sC_p resonant inverters to drive high-power HPS lamps" Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 47, Issue 4, Aug. 2000 Page(s):796 - 808
- [8] Azcondo F.J., Branas C., Casanueva R., Bracho S., "Power-mode-controlled power-factor corrector for electronic ballast" Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 52, Issue 1, Feb. 2005 Page(s):56 - 65

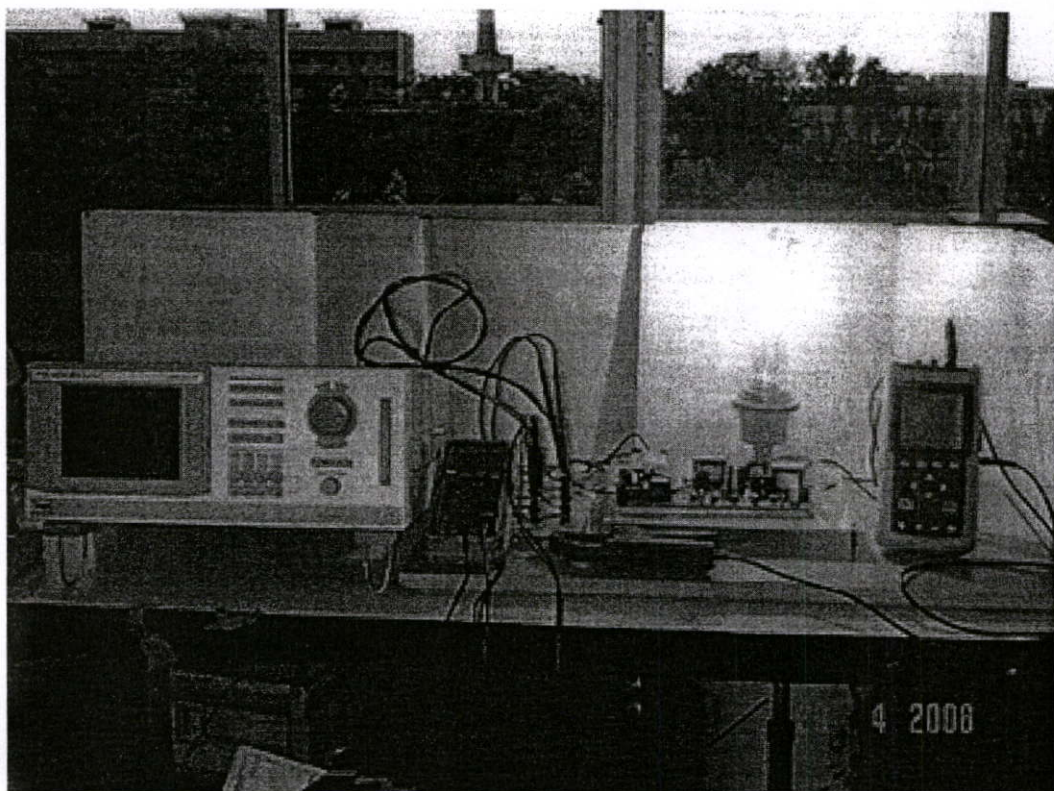
- [9] Miaosen Shen, Zhaoming Qian, Fang Zheng Peng, "Design of a two-stage low-frequency square-wave electronic ballast for HID lamps" Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 39, Issue 2, March-April 2003 Page(s):424 - 430
- [10] Hua L, Miaosen Shen, Yifeng Jiang, Zhaoming Qian, "A novel low-frequency electronic ballast for HID lamps" Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 41, Issue 5, Sept.-Oct. 2005 Page(s):1401 - 1408
- [11] Chang-Hua Lin, Chung-Lun Ou, Tien-Shuo Liu, Ken-Chuan Hsu, "A Novel Constant Power Control of High Frequency Electronic Ballast Applying the PLL Technique for a Metal Halide Lamp" Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC '06. CES/IEEE 5th International Volume 3, 14-16 Aug. 2006 Page(s):1 - 5
- [12] Ming Hian Chew, "Power Factor Correction Handbook" 2nd. On Semiconductor, www.onsemi.com, Aug 2004.
- [13] Rashid M.H. "Power Electronics Circuit, Devices, and Application" 3rd. New Jersey : Pearson Education, Inc. 2004.
- [14] Mohan N., Undelang T.M., Robins W.P. "Power Electronics converters, Applications, and Design" 2nd. New York: john wiley & Sons, Inc. 1995.
- [15] วีรเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ : หุ่นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรีนติ้ง. 2547.
- [17] ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว, "การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอดที่สามารถหรี่แสงได้โดยการออสซิลเลตด้วยตัวเอง", วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, มิถุนายน 2549, หน้า 25-30
- [18] วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล, "บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันไอสูง", วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548
- [19] วรวัฒน์ ตั้งศรีอนุกุล, "การพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดก๊าซดิสชาร์จความดันสูง", วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549

ภาคผนวก ก

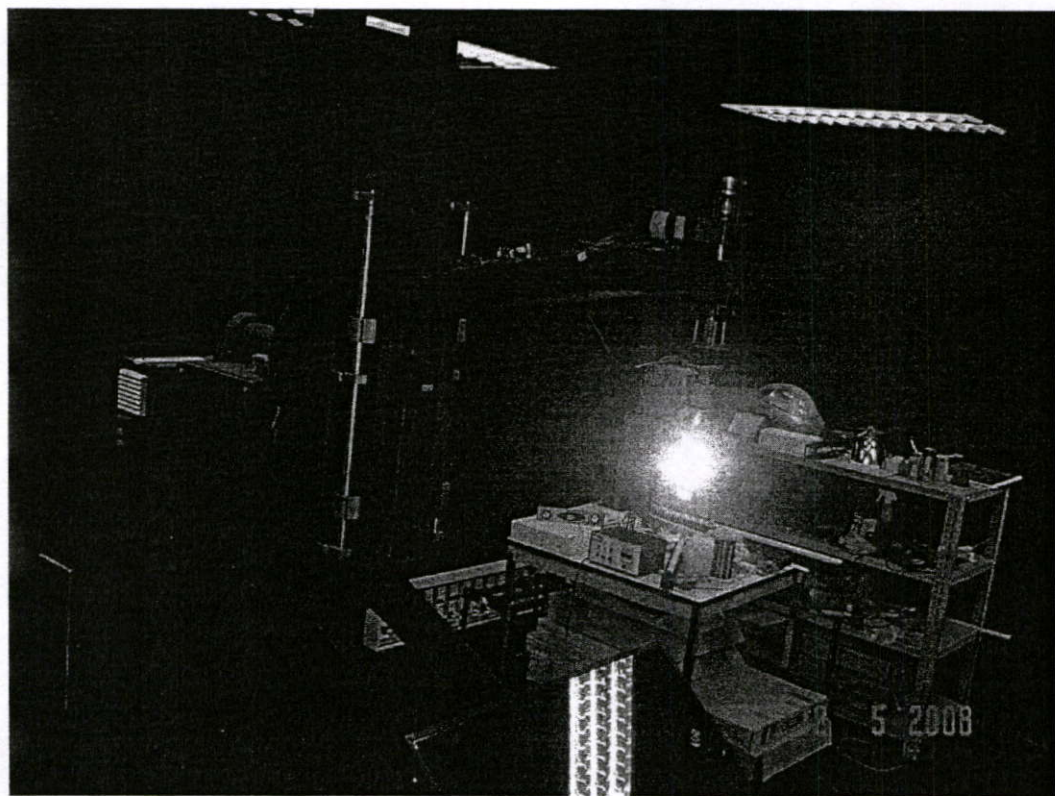
เครื่องต้นแบบ และภาพโครงการวิจัยโดยรวม



รูปที่ ก1 บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่สร้างขึ้น
(อัตราส่วน 1:1)



รูปที่ ก2 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า



รูปที่ ก3 การทดสอบและบันทึกค่าส่องสว่าง

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 24 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2550

1. การประมาณค่าแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ผสม
นิกร เกิดทองหลาง พงศ์ประภาส ปิยะโมทนา ญัฐพล ชุตมชัยทานิช สุรศักดิ์ อารีรัตน์ 1
2. วิธีการแบบประนีประนอมสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลระบบระบายอากาศ
ในอุโมงค์รถไฟที่ทำได้
อารีย์ หวังศุภผล ธนวิวัฒน์ ภูมิภาค ร้อยวุฒิ อัครอุทัย 7
3. การศึกษาสมรรถนะของหม้อน้ำสามเหลี่ยมในสภาวะแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไม่สมดุลโดยใช้แบบจำลอง
พลวัต
เอกวิวัฒน์ กิณเรศ อานันท์วัฒน์ คุณภากร 13
4. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตนเองชนิดเชื่อมต่อกับ
ระบบไฟฟ้า
ศิริโรจน์ ใจชาน อานันท์วัฒน์ คุณภากร 19
5. การวิเคราะห์และออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันเอซิปรับค่าได้แบบลดเคตคิก
ณัฐวุฒิ พลชะดิน วิริยะ พิเชษฐจำเริญ 25
6. การออกแบบและวิเคราะห์ปลั๊กสาคีอเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดใช้ความดันสูง 250 วัตต์
ที่ใช้หลักการจุดหลอดแบบภายใน
ภูธร พงษ์ไทย วิจิตร กิณเรศ 31
7. ชุดควบคุมอย่างประหยัดสำหรับระบบการให้ความร้อนด้วยวิธีเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า
ยงค์ ไชยสงคราม วิจิตร กิณเรศ 37
8. การใช้วิธีทางพันธุศาสตร์ในการคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ
ค่าความผิดพลาด
กฤษฎา ชีวีชอก เอื้อน ปิ่นเงิน 43
9. วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสโดยใช้เฉพาะอุปกรณ์แอกทีฟจำนวนน้อย
สิทธิพงษ์ สุริยะคำวรงค์ พิภพณ์ พรหมมี มนต์วี ศิวเงิน กอบชัย เศษหาญ 49
10. วงจรเวกเตอร์ออร์มอลโตเรชั่นแบบทรานซิลิเนียร์
ทรงพล กลิ่นสุคนธ์ กอบชัย เศษหาญ 55
11. Numeric Identification for Thai Spoken Language by Recognizing Vowels and Tones Using
Critical Band Intensity and Quantized Pitch
Pakdee Chantraket and Kraisin Songwatana 61

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอด โซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ ที่ใช้หลักการจุดหลอดแบบภายใน

Design and Analysis of An Electronic Ballast for A 250 W High Pressure Sodium Lamp using Internal Ignition

อุธร พงษ์ไทย วิจิตร กิณเรศ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ ที่อาศัยหลักการจุดหลอดแบบภายใน ประกอบด้วยวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ที่ร่วมใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง และวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ที่เปลี่ยนพลังงานให้กับหลอดไฟ จุดประสงค์หลักของบทความนี้เน้นที่การออกแบบและวิเคราะห์การจุดไส้หลอดโซเดียมความดันสูงซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วงจรจุดหลอดแบบภายใน โดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แบบ LCC ร่วมในการวิเคราะห์ คอนฟายของบทความวิจัยได้นำเสนอผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบเป็นที่น่าพอใจ

Abstract

This paper presents the design and implementation of an electronic ballast for a 250 W high pressure sodium lamp. The electronic ballast consists of a boost converter for using as power factor correction and half-bridge inverter for supplying the load. The main purpose of this paper is to design and analyse the ignition of high pressure sodium lamp using LCC resonant circuit. Finally, the test results are proposed to show system performance which appears satisfactory.

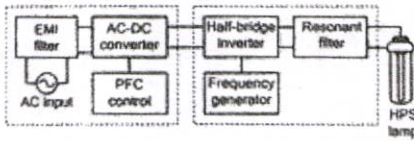
1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำหลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp) ประสิทธิภาพสูงสว่างอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูง องค์ประกอบในการให้แสงสว่างของหลอดไฟชนิดนี้ ประกอบไปด้วยหลอดไฟ, บัลลาสต์และอินดิเคอร์ ทว่าในส่วนของบัลลาสต์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันคือบัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast) จากการศึกษาพบว่าการทำงานของบัลลาสต์แกนเหล็กก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานทางไฟฟ้าจำนวนมากรวมทั้งค่าตัวประกอบกำลังต่ำ จากปัญหาข้างต้นแนวทางการสูญเสียต่างๆ โดย

การนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พัฒนาเพื่อใช้งานร่วมกับหลอดไฟแทนบัลลาสต์แกนเหล็ก เมื่อพิจารณาในส่วนของการจุดไส้หลอดโซเดียมความดันสูง วงจรจุดหลอดจะสร้างแรงดันประมาณ 2,000 ถึง 4,000 โวลต์ เพื่อใช้ในการจุดหลอด จากงานวิจัยที่ผ่านมา[3],[5],[6] วงจรจุดหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะใช้วงจรจุดหลอดแบบภายนอก (External Ignitor) ซึ่งในการทดสอบพบว่า วงจรจุดแบบนี้มีข้อเสียหลายประการ เช่น วงจรรวมมีขนาดใหญ่, มีน้ำหนักโดยรวมมากและอายุการใช้งานที่สั้น ดังนั้นในบทความนี้ได้นำเสนอการรวมพร้อมทั้งวิธีการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเน้นใน

ส่วนของวงจรจุดหลอดแบบภายใน [1],[2] (Internal Ignitor) โดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แบบ LCC ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวิธีการออกแบบวงจรที่ง่ายเหมาะสมที่จะสร้างเป็นเครื่องต้นแบบนำไปใช้งานได้จริง

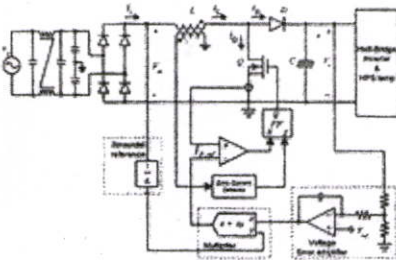
2. การออกแบบวงจรที่นำเสนอม



รูปที่ 1 โดอะแกรมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

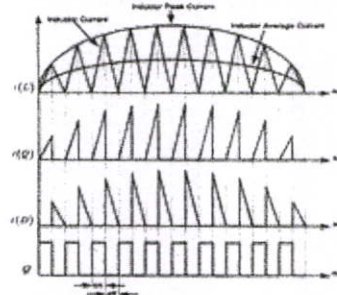
โดอะแกรมการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวถึงในบทความนี้ประกอบไปด้วยสองภาคการทำงานหลักตามรูปที่ 1 ภาคแรกเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีการนำวงจรบูตคอนเวอร์เตอร์ร่วมใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและวงจรกรองอีเอ็มไอช่วยลดสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กบริเวณทางด้านอินพุท ส่วนภาคหลังเป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ป้อนพลังงานไปยังหลอดไฟ

2.1 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



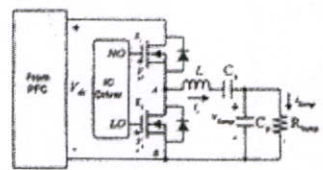
รูปที่ 2 วงจรบูตคอนเวอร์เตอร์แก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง สัญญาณรูปคลื่นที่ได้ออกจากรีจิสเตอร์กระแสบริดจ์ไดโอดพร้อมด้วยตัวเก็บประจุโดยทั่วไปนั้น พบว่าจะมีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ (ประมาณ 0.5 - 0.7) รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของสัญญาณกระแสด้านอินพุทมีค่าสูง ลักษณะของวงจรแอสแตในรูปที่ 2 ประกอบไปด้วยภาควงจรกำลังและภาคควบคุม ซึ่งใช้เทคนิคการ

ควบคุมแบบเส้นแบ่งเขต (Border line Control) หลักการทำงานของการทำงานการควบคุมวิธีการนี้คือ เริ่มจากการควบคุมไฟฟ้าด้านออกโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าด้านออกกลับมาซึ่งวงจรขยายความผิดพลาดแรงดัน (Voltage error amplifier) ซึ่งแรงดันที่ถูกป้อนกลับมานี้จะถูกลดระดับลงเพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ ผลต่างของแรงดันทั้งสองจะถูกขยายสัญญาณตั้งไปยังวงจรคูณสัญญาณ (Multiplier) ทำการคูณกับสัญญาณไซน์อ้างอิง (Sinsoidal Reference) เพื่อไปกำหนดค่าของกระแสอ้างอิง ($I_{p,ref}$) ซึ่งจะเป็นตัวบังคับการดึงกระแสไฟฟ้าด้านเข้าให้เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าคงที่ จากนั้นกระแสอ้างอิง ($I_{p,ref}$) จะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกระแส (Current Comparator) เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสป้อนกลับ (Current sense) จากนั้นจะส่งไปยังวงจรสร้างสัญญาณขับเกต ในขณะที่เดียวกันตัวเหนี่ยวนำควบคุมกระแส (L) จะส่งพลังงานไปให้กับ โหลดจนกระทั่งกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นวงจรตรวจจับกระแสศูนย์ (Zero current detector) จะขับสัญญาณให้มอเตอร์เฟตเริ่มทำงานใหม่และกลับสู่สภาวะเดิมอีกครั้ง



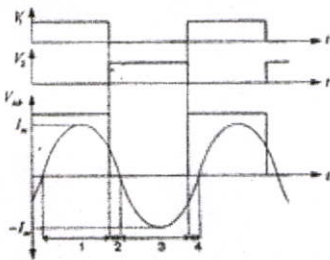
รูปที่ 3 สัญญาณรูปคลื่นในการสวิตซ์ของวงจรบูต

2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

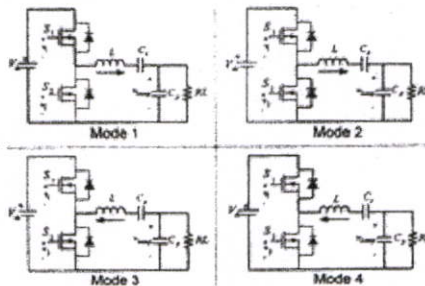


รูปที่ 4 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ต่อร่วมกับหลอด

จากที่กล่าวมาแล้วว่าโหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะเป็นวงจรโวลเทจเรโซแนนซ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ชนิดจ่ายแรงดัน (Voltage Source Half-bridge Inverter) ตามรูปที่ 4 เนื่องจากมีโครงสร้างของวงจรที่ง่ายมีที่กักการทำงานในช่วงปานกลางเพียงพอสำหรับการจ่ายพลังงานสู่โหลด หลักการทำงานของวงจรภาคกำลังคือ สวิตช์มอสเฟต (s_1) และสวิตช์มอสเฟต (s_2) ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง ส่วนวงจรขับเกตได้เลือกใช้อิซีเบอร์ IR215X (Self-Oscillating Half-Bridge Driver) ซึ่งอิซีเบอร์นี้จัดอยู่ในประเภทของไอซีที่ทำงานในวงจรแรงดันสูง สามารถที่จะกำหนดความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้ด้วยตัวไอซีเองจากวงจร RC ออสซิลเลเตอร์ สัญญาณพัลส์ที่ได้จะถูกขับออกจากเอาต์พุตทางด้านสูง(Hi) และทางด้านต่ำ (Lo) สัญญาณที่ขับออกมา มีกระแสสูงเพียงพอที่จะขับมอสเฟตได้โดยตรงในส่วนรูปที่ 5 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณรูปคลื่นการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ที่เชื่อมต่อกับโหลด LCC และรูปที่ 6 แสดงถึงโหมดการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ใน 1 คาบเวลา



รูปที่ 5 สัญญาณรูปคลื่นการทำงานของ 1 คาบเวลา



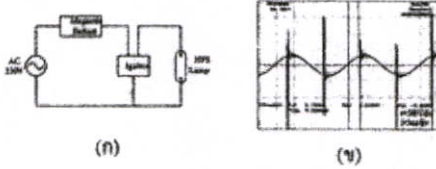
รูปที่ 6 โหมดการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์

2.3 วงจรจุดโหลดแบบภายนอก

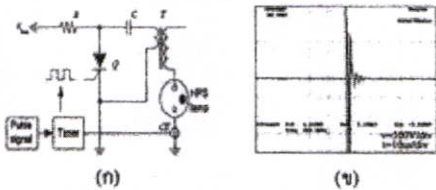
หลักการจุดโหลดโซเดียมความดันสูงคือ ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในโอรเซเหซของโซเดียม (Sodium Vapor) ที่มีความดันภายใต้อุณหภูมิที่สูงซึ่งใช้แรงดันสูง 2,000-3,000 โวลต์ จึงจะทำให้หลอดติดได้ ใช้เวลาในการอุ่นไส้หลอดก่อนที่จะให้แสงสูงจุดเป็นเวลา 3-5 นาที ซึ่งจะแตกต่างไปจากการจุดหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แรงดันในการจุดหลอดที่ไม่สูงมากและหลอดจะสว่างทันที ในจุดจุดหลอดของบัลลาสต์แกนเหล็ก เมื่ออินิเตอร์จุดหลอดติดแล้วแต่ก็ยังมีความร้อนหลอดตลอดเวลาที่ใช้งานทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานมาก ซึ่งแสดงให้เห็นจากผลการทดสอบตามรูปที่ 7(ข) ส่วนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรจุดโหลดแบบภายนอก(4),(5) จะมีลักษณะวงจรตามรูปที่ 8(ก) ประกอบไปด้วยหม้อแปลงระดับแรงดันขึ้น (Step up Transformer) ที่สร้างแรงดันมากกว่า 3,000 โวลต์ จนกระทั่งเมื่อหลอดติดกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรจากนั้นหม้อแปลงนำกระแส (Current Transformer) จะส่งสัญญาณป้อนกลับมายังหน่วยควบคุมให้ทำการสวิตช์ เปลี่ยนการทำงานของหม้อแปลงระดับแรงดันเป็นหม้อแปลงรักษาระดับแรงดัน (Holding Transformer) ซึ่งจากการทดสอบพบว่าช่วงเวลาในการอุ่นไส้หลอดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟมีค่าสูงกว่าแบบภายในมากอุปกรณ์สวิตช์มีความเค้นสูง อีกทั้งในกรณีที่หลอดจุดไม่ติดยังทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานค้างสภาวะเกิดการเสียหายได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วงจรจุดโหลดภายในแบบ LCC โดยใช้ทฤษฎีหลักการเรโซแนนซ์ร่วมในการวิเคราะห์ จากการทดสอบการพบว่าใช้จุดหลอดได้จริง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดในช่วงเวลาในการอุ่นไส้หลอดไฟมีค่าไม่สูงมาก การทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ในภาคอินเวอร์เตอร์มีความนุ่มนวลมากขึ้นกว่าวงจรจุดแบบภายนอก ในส่วนการวิเคราะห์วงจรจุดหลอดจะพิจารณา 2 สภาวะ คือกรณีที่หลอดยังไม่ติด ค่าอิมพีแดนซ์ที่โหลดหลอดไฟมีค่าสูงมาก ส่วนตัวเก็บประจุ (C_p) ที่ขนานกับหลอดไฟจะทำหน้าที่ช่วยในการจุดหลอด(3) จนกระทั่งเมื่อหลอดติดแล้วกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรค่า

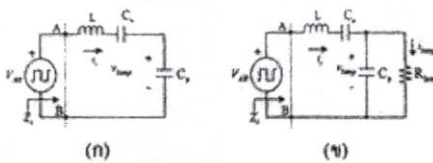
อิมพีแดนซ์ของโหลดไฟดลลงเปรียบเสมือนกับค่าความต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 9 ในการออกแบบวงจรจุดแบบนี้นี้ต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน[1],[2] ดังแสดงในตารางที่ 1 ร่วมในการวิเคราะห์



รูปที่ 7 วงจรจุดโหลดของบัลลาสต์แกนเหล็ก
(ก) วงจรจุดโหลดโดยอิกนิเตอร์
(ข) แรงดันที่ใช้ในการจุดโหลด



รูปที่ 8 วงจรจุดโหลดของบัลลาสต์คิเล็กทรอนิกส์
(ก) วงจรจุดโหลดแบบภายนอก
(ข) แรงดันที่ใช้ในการจุดโหลด



รูปที่ 9 วงจรจุดโหลดแบบภายใน LCC
(ก) ก่อนการจุดได้โหลด
(ข) หลังการจุดได้โหลด

3 ตัวอย่างการออกแบบวงจร

ในงานวิจัยนี้ได้นำไอซีเบอร์ L6561 (Power Factor Corrector) มาร่วมใช้ในวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง จากรูปคลื่นสัญญาณการทำงานของที่แสดงในรูปที่ 3 สามารถที่จะหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$I_{L(pk)} = 2\sqrt{2} \cdot \frac{P_o}{V_{in(rms)}} \quad (1)$$

$$L = \frac{V_{in(rms)}^2 \cdot (V_o - \sqrt{2}V_{in(rms)})}{2f_{sw(min)} \cdot P_o \cdot V_o} \quad (2)$$

- เมื่อ $I_{L(pk)}$ = กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด
- P_o = กำลังไฟที่พาด้านอินพุต
- $V_{in(rms)}$ = แรงดันอาร์เอ็มเอสด้านอินพุต
- $f_{sw(min)}$ = ความถี่ที่ใช้ในการสวิทช์
- V_o = แรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ

ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตของวงจรจุดคอนเวอร์เตอร์ $V_o = 360$ โวลต์ ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 1 และ 2 จะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำ $L = 780 \mu H$ ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน

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

จากตารางความสัมพันธ์ระหว่างเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน สามารถที่จะหาแรงดันคคกร้อมโหลดไฟได้จาก

$$V_{amp} = \frac{2V_o}{\pi} \cdot \frac{Q_p}{\sqrt{Q_p^2 \left(1 - k^2 + \frac{C_p}{C}\right)^2 + \left(k - \frac{C_p}{kC}\right)^2}} \quad (3)$$

หาค่ากำลังงานของโหลดไฟได้จาก

$$P_{amp} = \frac{2V_o^2}{\pi^2 Z_p} \cdot \frac{Q_p}{Q_p^2 \left(1 - k^2 + \frac{C_p}{C}\right)^2 + \left(k - \frac{C_p}{kC}\right)^2} \quad (4)$$

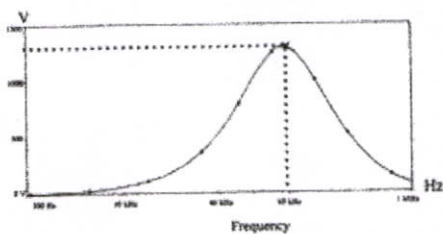
- เมื่อ V_{amp} = แรงดันคคกร้อมโหลด
- P_{amp} = กำลังไฟที่ที่โหลด
- k = ค่าคงที่ k แฟกเตอร์
- Q_p = ค่าตัวประกอบคุณภาพขนาน
- Z_p = ค่าอิมพีแดนซ์ขนาน

ทำการแทนค่าในสมการที่ 3 ที่หาค่าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (OrCAD) จะทำให้ทราบถึงแนวโน้มสภาวะเรโซแนนซ์ที่สามารถที่จะนำไปใช้ในการออกแบบวงจรจุดหลอดได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกความถี่ในการสวิตช์ที่ 65 kHz ซึ่งสูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

ค่าความเหนี่ยวนำ $L = 195 \mu\text{H}$

ตัวเก็บประจุ $C_s = 122 \text{ nF}$

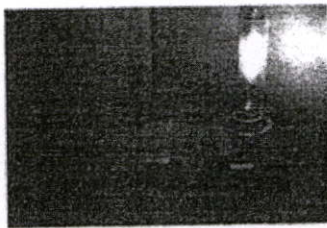
ตัวเก็บประจุ $C_p = 3.2 \text{ nF}$



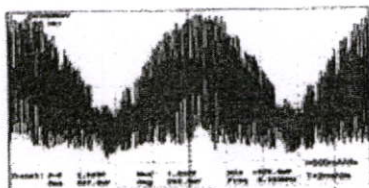
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันจุดหลอดและความถี่เรโซแนนซ์

4 การทดสอบและผลการทดสอบ

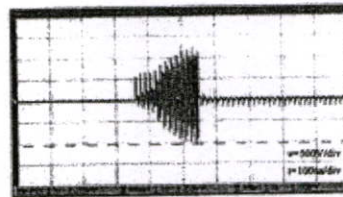
ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก



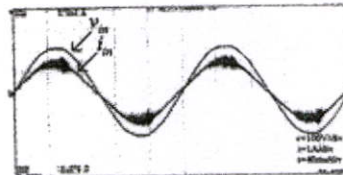
รูปที่ 11 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ



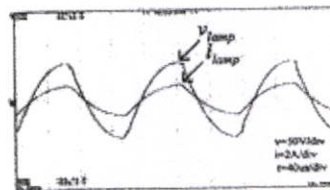
รูปที่ 12 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



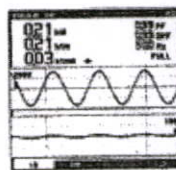
รูปที่ 13 รูปคลื่นแรงดันคร่อมหลอดขณะจุดหลอด



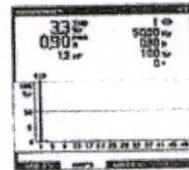
รูปที่ 14 รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางคานอินพุท



รูปที่ 15 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของหลอดไฟ



(ก)



(ข)

รูปที่ 16 (ก) ค่าเพาเวอร์เฟกเตอร์ทางด้านอินพุท

(ข) ค่า THDi ของกระแสไฟทางด้านอินพุท

รูปที่ 12 แสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรบัลลาสต์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิคการควบคุมแบบเส้นตรง

รูปที่ 13 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของวงจรจุดหลอดแบบภาวโณ ซึ่งวงจร LCC ในสภาวะเรโซแนนซ์จะสร้างแรงดันในการจุดหลอด (Vp-p) ประมาณ 2,200 โวลต์ จึงจะสามารถทำให้จุดไส้หลอดได้รูปที่

14 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันอินพุทและกระแสอินพุท จะเห็นว่าขนาดของมูมแรงดันมีที่ตรงกันกับขนาดของมูมกระแส

รูปที่ 15 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันตกคร่อมหลอดไฟและกระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟ จะเห็นได้ว่าแรงดันจะมีเฟสตรงกันกับกระแสแสดงให้เห็นถึงหลอดไฟเปรียบเสมือนโหลดความต้านทาน

รูปที่ 16(ก) แสดงถึงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบจากการทดสอบบันทึกค่าได้ (PF = 0.99) และรูปที่ 16(ข) แสดงค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าค่านินทูลซึ่งบันทึกค่าได้ (THDi = 3.3 %) จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่าขีดมาตรฐาน มอก.1506 สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างบัลลาสต์แบบเหนี่ยวนำกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

	บัลลาสต์แบบเหนี่ยวนำ	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
แรงดันอินพุต (โวลต์)	224.61	224.61
กระแสอินพุต (แอมป์)	2.958	1.031
กำลังไฟที่อินพุต (วัตต์)	259.58	229.9
แรงดันตกคร่อมหลอด (โวลต์)	84.50	89.43
กระแสไหลผ่านหลอด (แอมป์)	2.955	2.289
กำลังไฟที่หลอด (วัตต์)	211	204.3
ค่า Power Factor	0.42	0.99
ค่า THDi (%)	8.3 %	3.3 %
ค่า Crest Factor (CCF)	1.555	1.560
ค่า Efficiency (ลูเมน/วัตต์)	102.64	110.41
ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า	81.28 %	88.86 %

4 สรุปผลการทดสอบ

บทความนี้ได้ค้นคว้าการออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานร่วมกับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ จากผลการทดสอบในส่วนวงจรสวิตชิ่งคอนเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง จะเห็นได้ว่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงถึง 0.99 มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าค่านินทูล 3.3% อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.1506 ในส่วนของวงจรจุดหลอดแบบขนานโบนแบบ LCC สร้างแรงดันในช่วงการจุดหลอดประมาณ 2,200 โวลต์ สามารถที่จะจุดหลอดโซเดียมความดันสูงได้จริง เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนา

จากข้อมูลผลการทดสอบโดยรวมในตารางที่ 2 เห็นได้ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประหยัดพลังงานมากกว่าบัลลาสต์แบบเหนี่ยวนำถึง 11.43 % ดังนั้นสามารถที่จะสรุปได้ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้นั้นเสนอให้มีสมรรถนะโดยรวมของระบบสูงกว่าบัลลาสต์แบบเหนี่ยวนำที่ใช้งานตามที่องค์การทั่วไป เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานได้แทนกันได้

5 เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Branas, F.J. Azcondo, S. Bracho, "Design of LC/sub p/C/sub s/ resonant inverters as a power source for HID lamp ballast applications", Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 41, Issue 6, Nov.-Dec. 2005 Page(s):1584 - 1593
- [2] Branas, C.; Azcondo, F.J.; Bracho, S.; "Study of output power variation due to component tolerances in LC/sub s/C/sub p/ resonant inverters applied to HPS lamp control", Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 51, Issue 1, Feb. 2004 Page(s):122 - 131
- [3] Wang Wei, Zhang Weiqiang, Gao Guoan, Xu Dianguo, "A study of electronic ballast for high pressure sodium lamp", Power Electronics and Motion Control Conference, 2000. Proceedings. PIEMC 2000. The Third International Volume 3, 15-18 Aug. 2000.
- [4] ณรงค์กรณ ฝกณแก้ว, "การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอดที่สามารถหรี่แสงได้โดยการออสซิลเลตด้วยตัวเอง", วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, มิถุนายน 2549, หน้า 25-30
- [5] วรวิวัฒน์ ฉวโรพาสถกุล, "บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง", วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548
- [6] วรวิวัฒน์ ฉวโรพาสถกุล, "การพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดก๊าซชนิดซีอาร์จากความดันสูง", วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายภูธร พงษ์ไทย
วัน เดือน ปีเกิด	20 กุมภาพันธ์ 2523
ที่อยู่	36 หมู่ 13 ต. หนองทาน อ. หนองทาน จ. อุครธานี 41130
ประวัติการศึกษา	2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิชาวิศวกรรมวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคอุครธานี 2540 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคอุครธานี