สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง

ELECTRONICS BALLAST FOR HIGH PRESSURE SODIUM (HPS) LAMPS

T060919

วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล

WORAWAT THAWORNPHAISANKUL

TK
G2772
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 60919
วัน,เดือน,ปี - 6 ก.ค. 2549

b 11543162
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พศ. 2548

ISBN 974-15-1814-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRONICS BALLAST FOR HIGH PRESSURE SODIUM (HPS) LAMPS

WORAWAT THAWORNPHAISANKUL

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

2005

ISBN 974-15-1814-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง
นักศึกษา	นายวรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล
รหัสนักศึกษา	43061022
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ประภาษ ไพรสุวรรณา

บทคัดย่อ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) ได้รับความสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการเช่น น้ำหนักเบา , ขนาดเล็ก , ประสิทธิภาพสูงและทำให้อายุการใช้งานของหลอดยาวนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (Magnetic Ballast) วิทยานิพนธ์เล่มนี้กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง ขนาด 250 วัตต์ โดยมีวัตถุประสงค์ให้มีค่าความสูญเสียที่ของบัลลาสต์ (Watt Loss) ต่ำกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ไม่น้อยกว่า0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสด้านอินพุท (%THDi) ไม่เกิน 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Electronics Ballast for High Pressure Sodium (HPS) lamps
Student	Mr. Worawat Thawornphaisankul
Student ID.	43061022
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Prapas Prisuwanna

ABSTRACT

Electronics ballast received great attention in recent years because of their merits of light weight , small size , high efficiency and long lamp life compared to conventional magnetic ballast. This thesis presents the design of high frequency electronic ballast for 250 watt HPS lamp. Expect to decrease watt loss less than and increase efficiency more than magnetic ballasts. With power factor more than 0.85 and %THDi (Total Harmonic Distortion) less than 30%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีไม่ได้ ถ้าปราศจากแนวความคิดริเริ่ม , คำแนะนำ , คำปรึกษา รวมไปถึงกำลังใจอันมีค่ายิ่งสำหรับทุกสิ่งทุกอย่างที่ประกอบกันขึ้นเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จาก รศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา ผู้เขียนรู้สึกเทิดทูนและซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความเมตตาจากท่าน ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและจะระลึกถึงท่านตลอดไป

ขอขอบพระคุณ รศ. ศุลี บรรจงจิตร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือเป็นแรงผลักดันในการทำงานวิจัยรวมทั้งให้คำสั่งสอนกับผู้เขียน ทำให้ผู้เขียนมีความมานะพยายามตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผศ. เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่เป็นทั้งอาจารย์และพี่ชาย ซึ่งเป็นกำลังใจ ให้ความรู้และความช่วยเหลือผู้เขียนในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อความสะดวกทั้งในเรื่องของเอกสาร , การประสานงาน และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ และบุคคลซึ่งเป็นกำลังใจ ที่มีส่วนช่วยทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ , คุณแม่ และครอบครัวถาวรไพศาลกุล ด้วยความรักเป็นอย่างยิ่ง ที่ทำให้ผู้เขียนมีวันนี้ได้จากแรงใจที่ทุกคนมอบให้ซึ่งจะเป็นสิ่งที่อยู่เคียงข้างกับผู้เขียนตลอดไป

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูง.....4

2.2 หลักการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....11

2.3 หลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....15

2.4 หลักการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้อง.....16

2.5 ทฤษฎีและหลักการคำนวณต่างๆที่เกี่ยวข้อง.....26

บทที่ 3 การออกแบบวงจรที่นำเสนอ.....46

3.1 แผนภาพรวมของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ.....46

3.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์.....49

3.3 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....50

3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์.....51

3.5 วงจรสร้างสัญญาณขับเกท.....53

3.6 วงจรกรองสำหรับความถี่สูง.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.7 วงจรจุดหลอด.....55
3.8 วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....57

บทที่ 4 การออกแบบการทดสอบ.....58
4.1 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....58
4.1.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด.....58
4.1.2 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์.....60
4.1.3 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด.....63
4.1.4 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ.....66
4.2 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....70
4.2.1 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (No PFC).....70
4.2.1.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด.....70
4.2.1.2 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด.....71
4.2.1.3 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ.....74
4.2.2 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (PFC).....78
4.2.2.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด.....78
4.2.2.2 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด.....79
4.2.2.3 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ.....82
4.3 การวัดและบันทึกข้อมูลทางแสง.....86

บทที่ 5 ผลการทดสอบ.....88
5.1 ผลการทดสอบของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก.....90
5.2 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....91
5.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....93

6.1 สรุปผลการวิจัย.....93

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....95

บรรณานุกรม.....96

ภาคผนวก ก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....98

ประวัติผู้เขียน.....104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าทางแสงของหลอดโซเดียมความดันสูงขนาดต่างๆ	9
2.2	กำลังการสูญเสียในบัลลาสต์ของหลอดโซเดียมความดันสูง	13
2.3	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	14
2.4	การเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ	31
2.5	ลักษณะเฉพาะของแกนแม่เหล็กไฟฟ้า	37
4.1	ค่าฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux : lm)	87
5.1	ผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	88
5.2	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	90
5.3	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	91
5.4	การเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	92
6.1	การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง	5
2.2	การต่อขั้วอิเล็กโทรด	6
2.3	ตัวอย่างหลอดโซเดียมความดันสูง	6
2.4	การกระจายแสงตามแถบสเปคตรัมของหลอดโซเดียมความดันสูง	8
2.5	บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ	11
2.6	บัลลาสต์ชนิด LAG	12
2.7	บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ	12
2.8	บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ	13
2.9	Block Diagram แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	15
2.10	วงจรพื้นฐานฮาล์ฟบริดจ์	18
2.11	วงจรจำลองการคำนวณการเกิด Insertion Loss	19
2.12	กราฟแสดงการเกิด Insertion Loss และ Attenuation	20
2.13	(ก) วงจร π Filter	21
	(ข) วงจร Multiple π Filter	21
2.14	(ก) วงจร T Filter	22
	(ข) วงจร Multiple T Filter	22
2.15	(ก) วงจร L Filter	24
	(ข) วงจร Multiple L Filter	24
2.16	(ก) วงจร Commercial filter with Z and feedthrough	25
	(ข) วงจร Commercial filter with capacitors to ground	25
2.17	การหน่วงของเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากการประจุสะสม เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสพร้อมกัน	27
2.18	การกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_D ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	27
2.19	ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส	29
2.20	ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต	33
2.21	ลักษณะกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟสเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.22	E-I Core Configuration	35
2.23	Magnetic Circuit	36
3.1	Block Diagram แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	46
3.2	วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	47
3.3	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบรูปที่ 1	48
3.4	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบรูปที่ 2	48
3.5	(ก) วงจร AC-DC Converter	49
	(ข) สัญญาณจากการSimulation	49
	(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope	49
3.6	(ก) วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	50
	(ข) สัญญาณจากการ Simulation	50
	(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope	50
3.7	(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเมื่อไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	51
	(ข) คลื่นแรงดันและกระแสเมื่อมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	51
3.8	(ก) วงจร Half Bridge Inverter	52
	(ข) สัญญาณจากการ Simulation	52
	(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope	52
3.9	Block Diagram ของวงจรสร้างสัญญาณขับเกท	53
3.10	(ก) วงจรสร้างสัญญาณขับเกท (Gate Driver Circuit)	54
	(ข) สัญญาณจากการ Simulation	54
	(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope	54
3.11	วงจรกรองสำหรับความถี่สูง (Passive Filter for High Frequency)	55
3.12	Block Diagram ของวงจรจุดหลอด	55
3.13	(ก) วงจรจุดหลอด (Ignitor)	56
	(ข) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope	56
3.14	วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	57
4.1	การวัดค่าแรงดันจุดหลอดของ Ignitor เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	59
4.2	แรงดันจุดหลอดจาก Ignitor เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าที่บัลลาสต์ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	60
4.4	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	60
4.5	แรงดันตกคร่อมบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	61
4.6	กระแสไหลผ่านบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	61
4.7	แรงดันและกระแสของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	62
4.8	กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	62
4.9	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	63
4.10	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	63
4.11	แรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	64
4.12	กระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	64
4.13	ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	65
4.14	ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	65
4.15	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	66
4.16	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	67
4.17	แรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	67
4.18	กระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	68
4.19	ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	68
4.20	ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	69
4.21	การแปลง FFT ของกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	69
4.22	ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก	70
4.23	แรงดันจุดหลอดของวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	71
4.24	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	71
4.25	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่	72
4.26	ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	72
4.27	ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	73
4.28	ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	73
4.29	ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	74
4.30	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.31	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	75
4.32	ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	76
4.33	ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	76
4.34	ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	77
4.35	ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	77
4.36	ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1	78
4.37	แรงดันจุดหลอดของวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	79
4.38	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	79
4.39	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	80
4.40	ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	80
4.41	ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	81
4.42	ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	81
4.43	ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	82
4.44	การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	82
4.45	ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	83
4.46	ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	84
4.47	ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	84
4.48	ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	85
4.49	ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	85
4.50	ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะการณ์ปัจจุบัน ความต้องการพลังงานทางไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่าในอดีตหลายเท่าตัวและยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆอย่างไม่หยุดในอนาคต การที่จะตอบสนองความต้องการพลังงานทางไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นนั้น จำเป็นต้องเพิ่มแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะส่งผลกระทบหลายๆ ด้าน อาทิเช่น การลงทุน , สิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ ทำให้ประเทศต่างๆทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทย เห็นความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานกันมากขึ้น และมีการรณรงค์ให้ประหยัดพลังงาน เพื่อให้ใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดและใกล้จะหมดไปให้คุ้มค่ามากที่สุดและให้มีพลังงานใช้ยาวนานต่อไปในอนาคต ดังนั้นจึงมีการพัฒนาคิดค้นเทคโนโลยีด้านต่างๆมากขึ้นเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีด้านพลังงานไฟฟ้าและแสงสว่างซึ่งมีความจำเป็นมากต่อสังคมมนุษย์ในปัจจุบัน

ปัจจุบันการใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (บัลลาสต์แมกเนติก) จากการศึกษาพบว่าก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานสูงในตัวบัลลาสต์ เนื่องจากบัลลาสต์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำ มีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ต่ำ เป็นผลให้ค่ากระแสที่ใช้สูงเกินความต้องการของหลอด เกิดผลสโตรโบสโคปิกส์ (Stroboscopic) จากการทำงานที่ความถี่ต่ำ ทำให้เห็นภาพวัตถุเบลอ ส่งผลให้สายตาล้าได้ และช่วงสตาร์ทของหลอดเกิดการกระพริบ ทำให้สารที่เคลือบขั้วหลอดที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอน (Electron) หลุดหายไปมากเกินไป (ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการกระพริบ) ส่งผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยลดความสูญเสียดังกล่าว เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง จึงทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กลงได้ (ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$) ส่งผลให้ค่าเหนี่ยวนำลดลงได้ ทำให้ความสูญเสียลดลงด้วย แต่ในปัจจุบันบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งานแพร่หลายเพียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้งานทั่วไป ยังไม่รวมถึงการใช้งานด้านอุตสาหกรรม และการใช้กับหลอดที่มีกำลังสูงๆ เช่น หลอดไฟถนน หลอดไฟสนามกีฬา เป็นต้น ตามแนวความคิดนี้จึงต้องการศึกษา คิดค้นและพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดที่มีการใช้กำลังสูงๆ เพื่อนำมาใช้ทดแทนบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ใช้กันในปัจจุบันซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดพลังงาน

โดยทั่วไปส่วนใหญ่ในการเลือกใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เราจะคำนึงถึงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) และ เปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสอินพุท (THDi) แต่สิ่งหนึ่งที่เราไม่สามารถมองข้ามได้คือ การนำเอาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานในสภาวะต่างๆ เช่น ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นก็ควรจะคำนึงถึง การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า ไฟฟ้าตก ไฟฟ้าเกิน และการกระชากของแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น จากเหตุผลข้างต้นมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงชนิดและการทำงานของมันอย่างละเอียด เพราะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดนั้นจะมีคุณสมบัติและขอบเขตของการใช้งานแตกต่างกัน การเลือกใช้บัลลาสต์ให้ถูกต้องกับการใช้งานจะนำไปสู่การประหยัดอย่างแท้จริง

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ โดยมีเป้าหมายให้ ค่าความสูญเสียของบัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลังจะไม่ต่ำกว่า 0.85 และค่าผิดเพี้ยนของกระแสอินพุทจะไม่เกิน 30 % ใช้จุดหลอดโซเดียมความดันสูง (High pressure sodium lamp : HPS) ขนาด 250 วัตต์ ที่มีกระแสไหลผ่านหลอดประมาณ 3 แอมป์ และแรงดันตกคร่อมหลอดประมาณ 100 โวลท์ [1] [2] จากคุณสมบัติของหลอดตามข้อมูลมาตรฐาน

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษา ทดลอง ออกแบบ และสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ ให้สามารถนำมาใช้ทดแทนบัลลาสต์แมกเนติกได้ โดยเน้นถึงน้ำหนักที่เบาและขนาดที่เล็กกระทัดรัดของตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

2. เพื่อศึกษา ทดลอง ออกแบบ และสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ โดยมีเป้าหมายให้ค่าความสูญเสียของบัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไม่เกิน 30% [3] [4] [5]

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสูง ทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กลงได้ ส่งผลให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีน้ำหนักน้อยลงและขนาดเล็กลง

2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสูง ทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กลงได้ และวงจรจุดหลอดที่ใช้ มีหลักการทำงานเป็นแบบ Single Trig คือเมื่อหลอดติดแล้วจะไม่มีการสร้างสัญญาณจุดหลอดขึ้นมาอีก ส่งผลให้ค่าความสูญเสียน้อยลงและประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง ทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กลงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่ใช้แหล่งจ่ายพลังงานความถี่ต่ำ

การทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กจะมีการสร้างสัญญาณจุดหลอดขึ้นมาตลอดเวลาการใช้งาน ทำให้เกิดความสูญเสียมากในการใช้งาน แต่วงจรจุดหลอดที่ใช้มีหลักการทำงานเป็นแบบ Single Trig ทำให้ลดความสูญเสียในการใช้งานลงได้

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าความสูญเสียของบัลลาสต์ (Watt Loss) น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไม่เกิน 30%

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้คือการศึกษา ทดลอง ออกแบบ และสร้างสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ ให้สามารถใช้งานได้และมีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และเพื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ให้ผลการทดสอบเป็นไปตามเป้าหมายคือ มีค่าความสูญเสียของบัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไม่เกิน 30%

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูง
2. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
3. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
4. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic) ที่เกี่ยวข้อง
5. ออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
6. สร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวต้นแบบ
7. ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบการใช้งานบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
8. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium) จัดได้ว่าเป็นหลอดไฟชนิดหนึ่งที่อยู่ในตระกูลของหลอด High Intensity Discharge หรือเรียกสั้นๆว่า หลอด HID ซึ่งยังมีหลอดอีก 2 ประเภทที่อยู่ในตระกูลนี้คือ หลอดไอปรอท (Mercury Vapor) และ หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide) หลอด ชนิดนี้มีขนาดและรูปร่างเหมือนกับหลอดแสงจันทร์สามารถใช้แทนกันได้ในโคมเดียวกัน

หลักการให้แสงสว่างของหลอดในตระกูลนี้ก็คือ การที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่อยู่ห่างจากกัน ซึ่งก็เป็นหลักการที่คล้ายคลึงกับหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์นั่นเอง แต่อิเล็กโทรดของหลอด HID จะอยู่ห่างจากกันเพียงไม่กี่นิ้ว โดยอยู่ที่แต่ละด้านของกระบอกอาร์คทิ้ว (Arc Tube) ที่มีขนาดเล็กและจะมีลักษณะใสหรือขุ่นตามแต่ชนิดของหลอด

อาร์คทิ้วนี้จะปิดสนิทและถูกบรรจุไว้ในหลอดแก้วที่ห่อหุ้มเป็นเปลือกภายนอกอีกทีหนึ่ง ตัวเปลือกนี้จะทำหน้าที่แยกอาร์คทิ้วออกจากอากาศภายนอก โดยดูดอากาศที่บรรจุอยู่ระหว่างอาร์คทิ้วกับตัวหลอดแก้วภายนอกออก และบรรจุแก๊สพิเศษบางชนิดเข้าไป เพื่อลดการเกิดออกซิเดชั่นของพวกโลหะตัวนำต่างๆ ป้องกันอาร์คทิ้วจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำจนเกินไป และยังเป็นสื่อกลางในการกรองการแผ่รังสีอุลตร้าไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นบางช่วงออกไป หรือสำหรับหลอดบางชนิดเปลือกในของหลอดแก้วจะเคลือบสารฟอสฟอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพแสงที่ออกมาให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

การที่หลอดในตระกูล HID ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานประเภทต่างๆ เนื่องจากหลอดในตระกูลนี้มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่าง (จำนวนลูเมนต่อวัตต์สูงกว่าหลอดชนิดอื่นๆ) จึงทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีพื้นที่กว้างหรือมีความสูงมากๆ เช่น โรงงานต่างๆ เป็นต้น

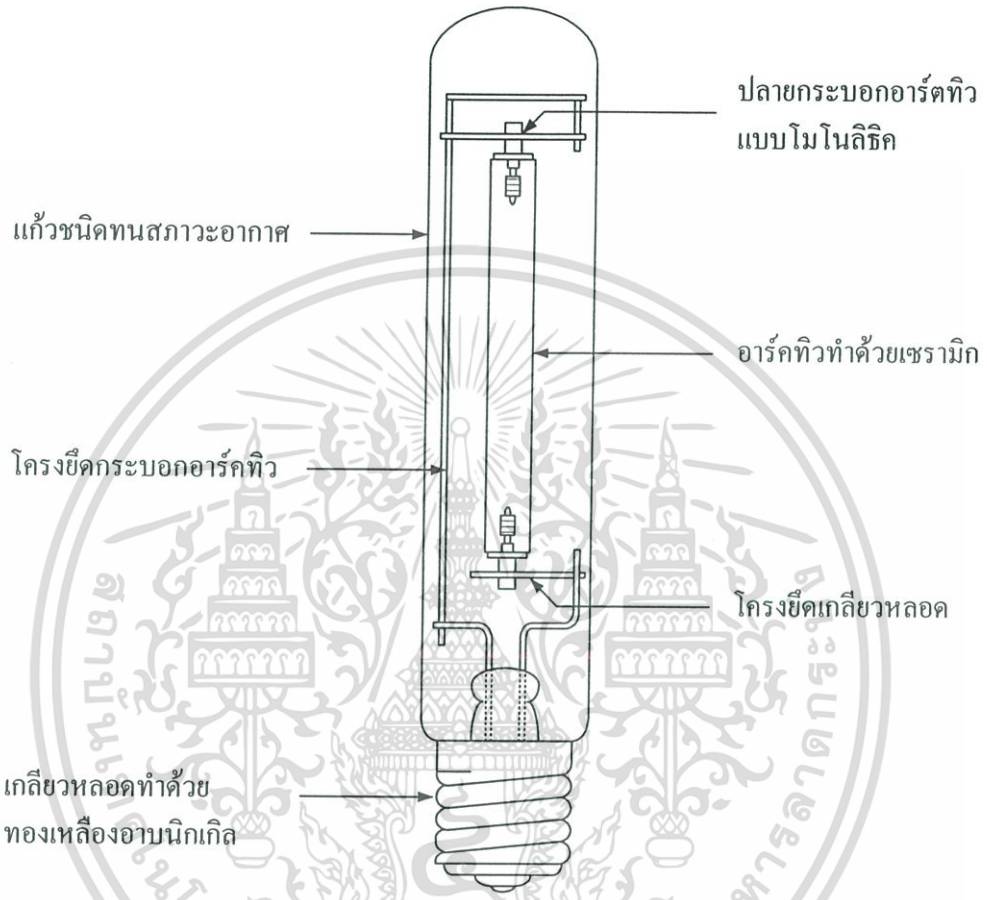
2.1.1 โครงสร้างของหลอด

โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูงจะปรากฏดังในรูปที่ 2.1 โดยจะมีส่วนที่ทำหน้าที่เป็นกระบอกอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนในเป็นอาร์คทิ้วและส่วนนอกจะเป็นเปลือกให้แก่กระบอกส่วนในภายในอาร์คทิ้วนี้จะมีขั้วอิเล็กโทรด และสารผสมของโซเดียมและปรอทรวมทั้งมีแก๊สซีนอนอยู่เป็นจำนวนน้อย เปลือกนอกที่ทำหน้าที่ป้องกันอาร์คทิ้วนั้น จะทำด้วยแก้วชนิดพิเศษ (Poly Silicate Glass) อากาศที่อยู่ในเปลือกหลอดแก้วจะถูกสูบออกมา เพื่อป้องกันมิให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะที่ต่ออยู่กับอาร์คทิ้วกับอากาศภายนอกและควบคุมอุณหภูมิของอาร์คทิ้วให้สม่ำเสมอโดยการทำให้ไม่มีอากาศจากภายนอกเข้าไปเกิดการพาความร้อน หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้

ตัวอาร์คทิ้วของหลอดโซเดียมความดันสูงเองจะมีลักษณะเรียวยาวสร้างจากสารเซรามิคที่มีชื่อว่า Polycrystalling Aluminium Oxide ดังที่กล่าวมาแล้ว

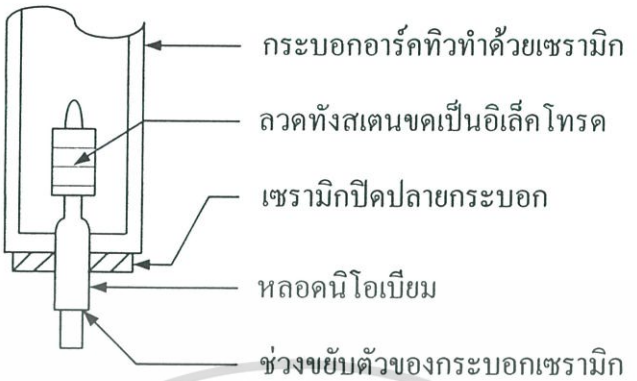


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของหลอดโซเดียมความดันสูง

ส่วนสำคัญที่สุดของอาร์คทิ้วที่ทำด้วยสารเซรามิคคือ ที่ส่วนปลายถ้าเป็นหลอดที่มีคุณภาพดีจะใช้สารเซรามิคชนิดเดียวกับที่ทำด้วยอาร์คทิ้ว เพราะเซรามิคมีคุณสมบัติในการขยายตัวในลักษณะเดียวกับอาร์คทิ้ว ซึ่งดีกว่าการใช้โลหะที่เปิดปลาย เนื่องจากการขยายตัวของอาร์คทิ้วและโลหะที่เปิดปลายไม่เท่ากัน ส่วนการต่อขั้วอิเล็คโทรดนั้นจะใช้ท่อทีทำด้วยโลหะนิโอเบียม (Niobium) ที่สอดผ่านสารเซรามิคที่ปิดหัวท้ายของกระบอกอาร์คทิ้ว เพื่อต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับขั้วอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2.2 บริเวณที่มีโลหะสอดเข้าไปในกระบอกอาร์คทิ้วนี้จะเป็นบริเวณที่เกิดการสูญเสียสารโซเดียมมากที่สุด ดังนั้นการที่สามารถกำจัดแผ่นโลหะที่ครอบหัวท้ายของกระบอกอาร์คทิ้วไปได้

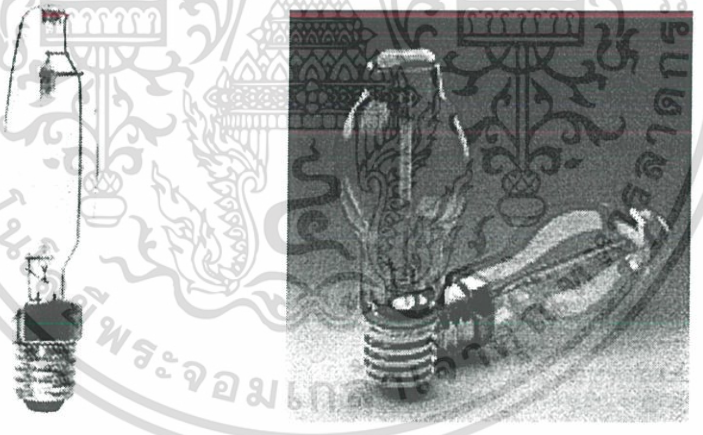
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงช่วยลดการสูญเสียโซเดียมจึงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของหลอดไม่เพิ่มสูงขึ้น และทำให้หลอดมีอายุการใช้งานสูงขึ้น



รูปที่ 2.2 การต่อขั้วอิเล็กโทรด

แต่ก็มีผู้ผลิตบางรายที่ได้วางสารผสมของโซเดียมและปรอทนี้ไว้ภายในอาร์คทิ้วในจุดที่มีอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งปกติแล้วจะอยู่หลังขั้วอิเล็กโทรดแตกต่างไปจากหลอดที่ใช้วิธีการเก็บสารผสมไว้ภายนอกเพราะหลอดที่เก็บสารผสมไว้ภายในอาร์คทิ้วจะสามารถติดตั้งในตำแหน่งใดก็ได้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างหลอดโซเดียมความดันสูง

2.1.2 หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูงก็คือ ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในไอระเหยของโซเดียม (Sodium Vapor) ที่มีความดันภายใต้อุณหภูมิสูง ซึ่งฟังดูก็เป็นหลักการที่ง่าย แต่ในทางปฏิบัติ ไอของโซเดียมยิ่งมีอุณหภูมิสูงก็ยิ่งมีอำนาจการกัดกร่อนที่รุนแรงมาก วัสดุที่จะนำมาบรรจุไอของโซเดียมนี้มีรากฐานมาจากนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานค้นคว้าด้านอวกาศ ซึ่งกำลังแสวงหาวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้ป้องกันยานอวกาศจากความร้อนที่เกิดการเสียดสีกับบรรยากาศของโลก ในขณะที่ยานอวกาศนั้นกำลังกลับสู่โลก จากการค้นคว้านี้เองได้พัฒนาสารเซรามิคที่มีความบริสุทธิ์สูงมีความทนทานต่อความร้อนและยังสามารถปล่อยให้แสงลอดผ่านออกมาได้ ห้องทดลองค้นคว้าด้านไฟฟ้าแสงสว่างจึงเอาสารเซรามิคนี้มาค้นคว้าวิจัยต่อจนปรากฏเป็นสารเซรามิคใหม่ที่มีชื่อว่า Polycry Stalline Aluminium Oxide ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นกระบอกสำหรับบรรจุไอปรอทที่ใช้กับหลอดโซเดียมความดันสูง

การที่ไอของโซเดียมสามารถให้แสงออกมาได้เกิดจากลำของอิออนที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งนั้นชนกับอะตอมของโซเดียม และทำให้อิเล็กตรอนของอนุภาคโซเดียมกระเด็นหลุดออกจากวงโคจรปกติไปสู่วงโคจรที่มีสถานะสูงขึ้น อิเล็กตรอนเหล่านี้จะพยายามกลับสู่วงโคจรเดิมโดยจะคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับนั้นออกมาในรูปของการแผ่รังสีความยาวคลื่นของการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไอโซเดียม ซึ่งเมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นการแผ่รังสีดังกล่าวนี้จะก่อให้เกิดคลื่นแสงที่ครอบคลุมสเปคตรัมของแสงเป็นช่วงกว้าง

ในทางปฏิบัตินั้น จะมีการผสมไอของปรอทเข้ากับไอของโซเดียม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมสีและควบคุมระดับความดันไฟฟ้า นอกจากนั้นยังมีแก๊สซีนอนอีกส่วนหนึ่งที่มีปริมาณเล็กน้อยบรรจุในกระบอกอาร์คทิ้วเพื่อช่วยนำกระแสในตอนต้น เนื่องจากอาร์คทิ้วมีลักษณะเป็นกระบอกขนาดเล็กและยาวเพื่อประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างและ เนื่องจากมีขั้วอิเล็กโทรดอยู่กันคนละข้างของกระบอกอาร์คทิ้วจึงต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงพอสมควรสำหรับการจุดหลอดให้ติด จึงต้องมีวงจรสตาร์ทเป็นพิเศษในบัลลาสต์ เพื่อสร้างค่าแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นช่วง ๆ (High Voltage Pulse) ทุกช่วงคลื่นหรือครึ่งคลื่น ซึ่งแรงดันเป็นช่วงๆ นี้จะต้องมีแอมปลิจูด และช่วงทางเวลาที่นานพอสำหรับการทำให้แก๊สซีนอนเกิดการอิออนไนซ์และจุดหลอดติดต่อไป

บัลลาสต์ยังจะต้องทำหน้าที่อื่นๆ ตามปกติด้วย เช่น จะต้องคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้มีอาร์คเกิดขึ้นในอาร์คทิ้วตลอดไป นอกจากนั้นยังจะต้องจำกัดค่ากระแสหลอด และต้องควบคุมวัตต์ของหลอด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับหลอดเองและค่าแรงดันไฟฟ้าด้วย ภายในกระบอกอาร์คทิ้วจริง ๆ แล้วจะมีโซเดียมส่วนเกินที่จะอยู่ในรูปของส่วนผสมกับปรอท ทั้งนี้เพื่อให้สารผสมดังกล่าวระเหยไปเป็นไอทดแทนไอของโซเดียมและไอของปรอทที่สูญเสียไประหว่างการใช้งาน จึงมีผู้ผลิตหลอดบางรายที่จะออกแบบอาร์คทิ้วให้มีส่วนปลายสำหรับบรรจุสารผสมโซเดียมและปรอทเอาไว้และจะมีช่องทางให้สารผสมดังกล่าวนั้นระเหยกลายเป็นไอเข้าไปในอาร์คทิ้วเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอดให้สูงขึ้น การบรรจุสารผสมของปรอทและโซเดียมไว้นอกกระบอกอาร์คทิ้วนี้ผู้ผลิตอ้างว่าจะดีกว่าที่จะปล่อยให้ก้อนสารผสมอยู่ภายในกระบอก เพราะถ้าหลอดเกิดถูกกระทบกระแทกหรือถูกแรงสั่นสะเทือน ก็จะทำให้ก้อนสารผสมนั้นกลายเป็นไอมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่ใช้ในการสร้างอาร์คเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลทำให้หลอดเกิดการดับไปและถูกจุดติดใหม่ เมื่อบัลลาสต์สามารถ

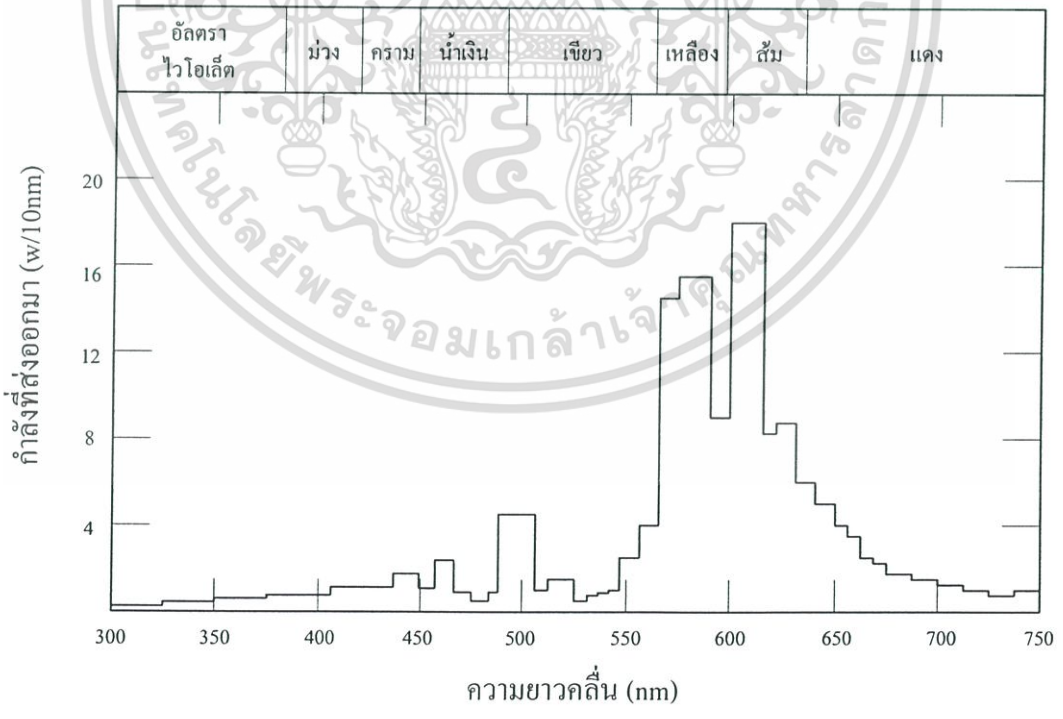
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างแรงดันไฟฟ้าได้สูงพอชั่วขณะ แต่แล้วก็จะกลับดับไปอีก ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดซ้ำแล้วซ้ำเล่าทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลงไปอย่างมาก

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้งานไปนานๆ หลังจากได้มีการเติมไอโซเดียมจากสารผสมดังกล่าวไปจนหมด อัตราส่วนของไอโซเดียมกับไอปรอทก็จะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของอาร์คมีค่าสูงขึ้น และในที่สุดก็จะถึงค่าแรงดันที่เกินความสามารถของบัลลาสต์ที่จะควบคุมไว้ได้อีกต่อไป ดังนั้นเมื่อหลอดจุดติดและมีอุณหภูมิสูงขึ้นหลอดก็จะเปล่งแสงออกมาเป็นปริมาณสูงสุดและหลังจากนั้นก็จะดับไปเป็นการสิ้นสุดอายุการใช้งานของหลอด

หลอดโซเดียมความดันสูงจะต้องใช้เวลาในการอุ่นหลอดก่อนที่จะให้แสงได้สูงสุด เป็นเวลา 3-4 นาที ในช่วงการอุ่นหลอดนี้แสงสว่างที่ถูกเปล่งออกมาจะมีการเปล่งสีไปเรื่อยๆ ในตอนแรกจะมีสีน้ำเงินขาวจางๆ ที่เกิดจากแก๊สซีนอนที่ถูกอิออไนซ์หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่ค่อนข้างสดใส เป็นสีของไอปรอท เมื่อความสว่างเพิ่มมากขึ้นแสงก็จะเปลี่ยนสีเพิ่มมากขึ้นค่อนข้างเหลือง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไอโซเดียมที่มีความดันต่ำ และเมื่อความดันในอาร์คทิ้วสูงเพิ่มมากขึ้น หลอดไฟก็จะให้แสงออกมาเป็นปริมาณสูงสุด เป็นสีขาวออกไปทางสีทอง (Golden White)

ความยาวคลื่นส่วนใหญ่จะตกอยู่ที่ประมาณ 2,100 K ค่า cie chromaticity coordinate ของแกน X จะอยู่ที่ X = 0.512 และ Y = 0.420 ลักษณะการกระจายแสงของหลอดตามแถบสเปคตรัมจะปรากฏดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การกระจายแสงตามแถบสเปคตรัมของหลอดโซเดียมความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าความดันในอาร์คทิ้วของหลอดโซเดียมความดันสูงจะต่ำกว่าหลอดไอปรอทมาก ดังนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าต้นทางเกิดขัดข้องไปชั่วขณะ และทำให้หลอดดับไปอาร์คทิ้วก็สามารถเย็นตัวลงได้อย่างรวดเร็วและทำให้เวลาที่หลอดจะสามารถจุดติดได้อีกครั้งหนึ่งเป็นเวลาเพียง 1 หรือ 2 นาที เท่านั้นซึ่งนับว่าสั้น ส่วนหลอดที่บรรจุสารผสมไว้ภายนอกจะต้องมีการสั่งว่าจะนำหลอดไปติดตั้งในลักษณะหงายขึ้นหรือว่าคว่ำลง ซึ่งตำแหน่งที่เก็บสารผสมจะไม่เหมือนกันและอาจก่อให้เกิดความเข้าใจผิดในกรณีเรื่องการนำหลอดมาติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง

หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 120 lumen / W เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงรองจากหลอดโซเดียมความดันต่ำ มีขนาดตั้งแต่ 50 – 1,000 W อายุการใช้งานประมาณ 20,000 ชั่วโมง ใช้แรงดันสตาร์ทประมาณ 1,500 – 3,000 V ใช้เวลาในการจุดติดหลอดเย็นจนกระทั่งสามารถจุดติดได้อีกครั้ง

แสงที่ได้จากหลอดโซเดียมความดันสูงนี้จะออกไปทางโทนเหลือง การมองเห็นสีจะดีกว่าหลอดโซเดียมความดันต่ำ เพราะยังมีแสงสีอื่นปนอยู่ด้วย หลอดชนิดนี้ใช้กันมากในถนนสายหลักและสี่แยกต่างๆ

2.1.3 คุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงแตกต่างจากหลอดไฟฟ้าชนิดอื่นๆในแง่ที่ว่า ค่าวัตต์และค่าโวลต์ของหลอดจะไม่คงที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการใช้งานของหลอด ผู้ผลิตหลอดได้กำหนดขีดจำกัดของค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าวัตต์ของหลอดที่จะต้องควบคุมให้อยู่ในช่วงขีดจำกัดดังกล่าวนี้ เพื่อให้หลอดสามารถทำงานและมีสมรรถนะได้ตามที่ทางผู้ผลิตได้กำหนดเอาไว้

ตารางที่ 2.1 ค่าทางแสงของหลอดโซเดียมความดันสูงขนาดต่างๆ

หลอด	ฐานหลอด	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้จุดหลอด (V)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่หลอด (V)	กระแสเฉลี่ย (I)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับการทำงานมีสถานะ (V)	กระแสสตาร์ตสูงสุด (A)	ค่าฟลักซ์เฉลี่ย (lm)	ค่าความสว่างเฉลี่ย (cd/cm^2)	ช่วงเวลาอุ่นหลอด (min)
SON 50 W-I[4)]	E27	198	85	0.76	200	1.08	3300	4.5	5
SON 50 W-I[4)]	E27	198	85	0.76	200	1.08	3300	4.5	5
SON 70 W-I[4)]	E27	198	90	1.00	200	1.35	5800	7.0	5
SON 70 E-I[4)]	E27	198	90	1.00	200	1.35	5800	7.0	5
SON 250 W	E40/45	198	100	3.00	200	4.50	25000	19.0	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

หลอด	ฐานหลอด	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้จุดหลอด (V)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่หลอด (V)	กระแสเฉลี่ย (I)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับการทำงานมีสถานะ (V)	กระแสสตาร์ตสูงสุด (A)	ค่าฟลักซ์เฉลี่ย (lm)	ค่าความสว่างเฉลี่ย (cd/cm^2)	ช่วงเวลาอุ่นหลอด (min)
SON 400 W	E40/45	198	105	4.45	200	6.50	47000	24.0	5
SON 1000 W	E40/45	198	110	10.30	200	14.00	120000	36.0	6

2.1.4 บัลลาสต์ของหลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงจำเป็นต้องใช้บัลลาสต์เพื่อปรับการไหลของกระแสอาร์ค และปล่อยค่าแรงดันที่เหมาะสมขณะอาร์ค หลอดโซเดียมความดันไอสูงจะไม่บรรจุขั้วไฟฟ้าสำหรับสตาร์ท จึงแทนวงจรสตาร์ทอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในบัลลาสต์เพื่อสร้างพัลส์แรงดันสูงในขณะทำงานของขั้วไฟฟ้า มาตรฐาน ANSI (American National Standards Institute) ของระบบหลอดและบัลลาสต์ได้กำหนดตัวแปรสำหรับองค์ประกอบทั้งหมดไว้ เว้นแต่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาใหม่

2.1.5 คุณสมบัติการทำงาน

ประสิทธิผล (Efficacy)	40 – 140 lpw.
อุณหภูมิสี (Color Temperature)	1900 – 2800 K.
ดัชนีการตอบสนองสี (Color Rendering Index : CRI)	20 – 80
ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)	10 – 15%
อายุการใช้งาน (Life)(10 hrs/start)	10000 – 24000 hrs.

2.1.6 การจุดหลอด (Striking) , การอุ่นหลอด (Warm-Up) , และการจุดหลอดอีกครั้ง (Re-Strike)

เป็นไปไม่ได้ที่จะจุดหลอดโซเดียมความดันสูงที่ยังเย็นอยู่ได้อย่างทันทีทันใด เพื่อให้เกิดความสว่างอย่างเต็มที่ เมื่อกำลังงานถูกนำมาใช้ อุณหภูมิและความดันถูกสร้างขึ้นทีละน้อยๆจะก่อให้เกิดการระเหยของแร่โลหะซึ่งเป็นส่วนประกอบของการอาร์ค และการปล่อยพลังงานแสง การอาร์คขณะเริ่มต้นบางครั้งใช้เวลา 2 – 3 วินาที และในช่วงของการอุ่นหลอดโดยปกติประมาณ 4 นาที โดยช่วงระหว่างนี้หลอดจะให้สีที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นกับปริมาณของไอโซเดียม แล้วเข้าสู่ลำแสงอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำลังงานถูกขัดจังหวะ (Interupted) แม้เพียงช่วงเวลาสั้นๆ การอาร์คของหลอดโซเดียมความดันสูงจะดับ หลอดต้องเย็นลงก่อนที่จะสามารถจุดหลอดอีกครั้ง โดยมีช่วงการจุดหลอดประมาณ 1 – 2 นาที ขึ้นอยู่กับชนิดของหลอด สิ่งนี้เป็นข้อพิจารณาหลักในการประยุกต์ให้ยืดเวลาการขัดจังหวะซึ่งสามารถทำให้เกิดสภาวะเสี่ยงอันตรายหรือการดับ (Shutdown)

สำหรับสถานการณ์ที่ต้องการแสงต่อเนื่อง หลอดโซเดียมความดันสูงสามารถใช้ 2 ท่ออาร์คเพื่อเป็นหลอดฉุกเฉิน (Standby) ที่มีรอบการจุดหลอดอีกครั้งอย่างรวดเร็วจะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของหลอด แต่ในช่วงอุ่นหลอดจะยังคงมีผลกระทบถ้าเกิดการขัดจังหวะของกำลังงาน อย่างไรก็ตามหลอดจะไม่ต้องรอเย็นลงก่อนที่จะจุดหลอดครั้งที่ 2 หลอดชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับไฟถนนและที่จอดรถ ในช่วงการทำงานปกตินั้น หลอดฉุกเฉินจะสลับการทำงานกันระหว่างท่ออาร์คซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของหลอดทั้งสอง แม้ว่าอายุของหลอดจะไม่ถูกทดสอบอย่างเต็มที่ก็ตาม

เนื่องจากวงจรจุดหลอดขณะเริ่มต้นของบัลลาสต์หลอดโซเดียมความดันสูง ทำให้ช่วงเวลาของการอุ่นหลอดและช่วงเวลาการจุดหลอดอีกครั้งของหลอดโซเดียมความดันสูง มีค่าเวลาสั้นกว่าหลอดเมทัลฮาไลด์ (Matal Halide Lamps)

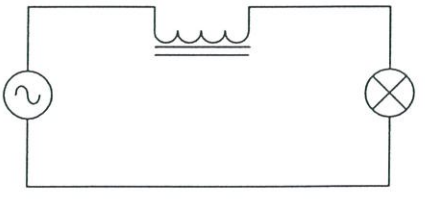
2.2 หลักการทำงานของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

2.2.1 ทฤษฎีบัลลาสต์ HID ชนิดแกนเหล็ก

บัลลาสต์แกนเหล็กสำหรับหลอด HID มีทั้งหมด 4 ชนิดดังนี้

1. บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ

ทำมาจากขดลวดพันรอบแกนเหล็ก เวลาใช้งานต่ออนุกรมกับหลอด เพื่อจำกัดกระแสที่จะผ่านหลอด บัลลาสต์ชนิดนี้โดยปกติจะต่อตัวเก็บประจุขนานกับวงจรเพื่อปรับปรุงค่า ตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำนี้มีคุณสมบัติการเรกูเลชั่นที่ดีคือถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 18% หรือแรงดันที่หลอดเปลี่ยนแปลง 5% จะทำให้กำลังที่หลอดเปลี่ยนแปลงเพียง 5%

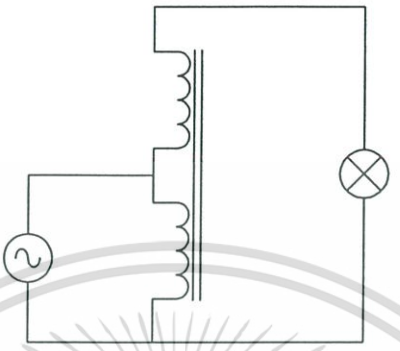


รูปที่ 2.5 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บัลลาสต์ชนิด LAG

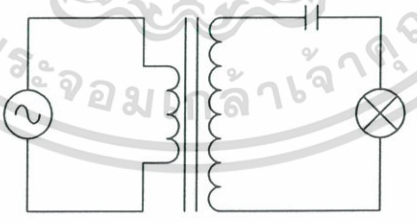
ประกอบด้วยหม้อแปลงชนิดออโตกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งคุณสมบัติบัลลาสต์ชนิดนี้เหมือนบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ แรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดจะถูกจำกัด อย่างไรก็ตาม บัลลาสต์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่า แพงกว่า และมีพลังงานสูญเสียที่สูงกว่า



รูปที่ 2.6 บัลลาสต์ชนิด LAG

3. บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

โดยทางด้านทุติยภูมิจะทำการต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุทำให้สามารถจำกัดกระแสได้ คุณสมบัติที่ดีของบัลลาสต์ชนิดนี้คือ มีการเรกกูเรชันที่ดีโดยถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 13 % กำลังที่หลอดจะเปลี่ยนแปลงเพียง 3 % เท่านั้น และตัวประกอบกำลังจะมีค่า 0.95 แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพงมาก และมีค่าตัวประกอบของค่าสูงสุดของกระแสที่หลอด (current crest factor) ที่สูงกว่า คือ 1.65 – 2.0

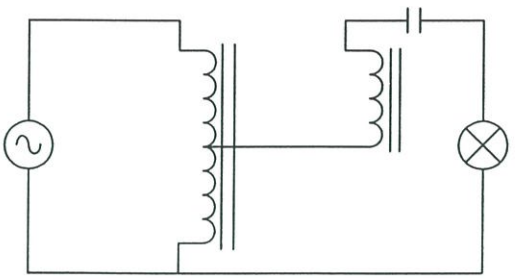


รูปที่ 2.7 บัลลาสต์ชนิดแยกขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

4. บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ

เป็นการผสมระหว่างบัลลาสต์ชนิด LAG กับบัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำ บัลลาสต์ชนิดนี้จะมีขนาดเล็กและราคาถูก แต่มีการเรกกูเรชันที่ไม่ดีคือ ถ้าแรงดันที่สายเปลี่ยนแปลง 10 % จะทำให้กำลังที่หลอดเปลี่ยนแปลงถึง 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บัลลาสต์ชนิดเหนี่ยวนำอัตโนมัติ

หลอดโซเดียมความดันสูงนั้นต้องการคุณสมบัติที่มีค่าตัวประกอบของค่าสูงสุดของกระแสที่หลอด (current crest factor) ไม่เกิน 1.8 สำหรับใช้งาน ต้องการแรงดันตอนจุดหลอดที่สูงกว่าหลอดชนิดอื่น ทำให้หลอดชนิดนี้ต้องการวงจรช่วยจุดหลอดที่จะสร้างแรงดันสูงชั่วขณะ เพื่อให้ก๊าซซีนอนในหลอดเริ่มแตกตัว

หลอดโซเดียมความดันสูงมีเส้นกราฟการทำงานเพราะกำลังงานที่หลอดกับแรงดันที่หลอดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุของหลอด เพราะเมื่อหลอดมีการใช้งานก๊าซโซเดียมที่หลอดจะมีการสูญเสีย ทำให้แรงดันที่คร่อมหลอดมีการเพิ่มขึ้นซึ่งจะเพิ่มทุกๆ 1 โวลท์ เมื่อหลอดใช้งานทุกๆ 1,000 ชั่วโมง

กราฟของบัลลาสต์จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากต่ำสุดถึงสูงสุด 84–140 โวลท์และกำลังที่หลอดต่ำสุดถึงสูงสุด 200–310 วัตต์ ตามอายุการใช้งานของหลอด การออกแบบบัลลาสต์จะต้องให้ได้กำลังการส่องสว่างสูงสุดที่ช่วงกลางอายุของหลอด

ตารางที่ 2.2 กำลังการสูญเสียในบัลลาสต์ของหลอดโซเดียมความดันสูง

กำลังของหลอด	กำลังของบัลลาสต์	กำลังรวม
100	35	135
150	50	200
250	60	310
400	75	475
1000	100	1100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หน้าที่ของบัลลาสต์

1. กำหนดค่ากระแสที่เหมาะสมให้ไหลผ่านหลอดทำให้หลอดทำงานอย่างมีเสถียรภาพ
2. ต้องสามารถให้แรงดันที่สูงพอขณะจุดหลอด
3. ต้องจ่ายกระแสที่คงที่ให้กับหลอด ไม่ว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟตกหรือเพิ่มขึ้นในช่วงที่กำหนด
4. กระแสที่ไหลผ่านหลอดต้องสมมาตรมีการไหลสลับไปมาระหว่างทั้ง 2ขั้วหลอด

2.2.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

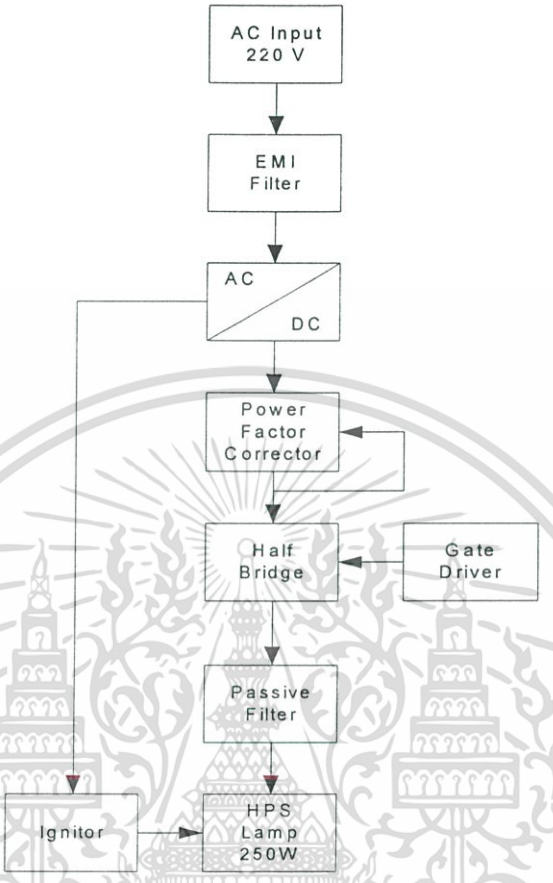
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ที่	คุณสมบัติ	Magnetic	Electronic
1	ค่าตัวประกอบกำลัง	ต่ำ	สูง
2	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง(Lumen/Watt)	ต่ำ	สูง
3	กำลังงานสูญเสียในบัลลาสต์(Watt Loss)	มาก	น้อย
4	ความร้อนที่เกิด	มาก	น้อย
5	กระแส	สูง	ต่ำ
6	ผลของ stroboscopic*	มาก	ไม่เกิด
7	เกิดเสียงรบกวน	มาก	ไม่เกิด
8	อุปกรณ์ร่วม	ใช้ Ignitor	ไม่ใช้
9	อายุใช้งานของหลอด	ยาว	ยาวมาก
10	การรับรู้ของสายตาต่อการกระพริบของหลอด	สังเกตได้	สังเกตไม่ได้
11	ความสามารถในการทนแรงดันตก และแรงดันเกิน	ทนได้น้อย	ทนได้มาก
12	ผลที่เกิดขึ้นเมื่อลัดวงจรที่ขั้วออก	เกิดความร้อนสูง	ไม่เกิดความร้อน
13	ผลรบกวนที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	ไม่เกิดการรบกวน	เกิดการรบกวนมาก
14	ราคา	ถูก	แพง
15	ความทนทาน	สูง	ปานกลาง

* stroboscopic เป็นปรากฏการณ์ความผิดผลาดในการมองเห็นวัตถุหมุนในความถี่เดียวกับการกระพริบของแสงไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.9 Block Diagram แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

หลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ตาม Block Diagram [6] [7] [8] ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งส่วนประกอบหลักของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นประกอบด้วย

1. วงจรคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)
2. วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Corrector : PFC)
3. วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)
4. วงจรสร้างสัญญาณขับเกท (Gate Driver Circuit)
5. วงจรกรองสำหรับความถี่สูง (Passive Filter for High Frequency)
6. วงจรจุดหลอด (Ignitor)
7. วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Filter :EMI Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลักการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และรายละเอียดของส่วนประกอบที่กล่าวมาจะนำเสนออย่างละเอียดในบทถัดไป

2.4 หลักการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้อง [9] [10]

2.4.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับส่วนของ Inverter อีกที ซึ่งในที่นี้เราใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) และใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองกระแสเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สาเหตุที่ใช้วงจรนี้เพราะขนาดเล็กและราคาถูก

2.4.1.1 การเลือกใช้ไดโอดในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ไดโอดที่เลือกใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 5 ประการคือ

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

กระแสกระชาก
$$I_{FSM} = \frac{V_{out\ (DC)}}{R_S + ESR} \tag{2.1}$$

อัตราการทนกระแสกระชาก I_{FSM} ของไดโอดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า I_{FSM} ที่คำนวณได้

2. ต้องสามารถทนกระแสสูงสุดได้ชั่วขณะ (I_{FRM}) เป็นกระแสสูงสุดที่เกิดขณะชาร์จเก็บประจุฟิลเตอร์ก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดจะเกิดในระยะเวลาสั้นๆ โดยทั่วไปจะกำหนดจากวง รอบการทำงานของไฟกระแสสลับ (1/50 วินาที หรือ 20 มิลลิวินาที) กระแสจำนวนนี้มีค่าสูงมากและไม่ใช่กระแสตอนปฏิบัติงาน

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

4. อัตราการทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Bias : PRB) หรืออัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage : PIV) เมื่อเราต่อไดโอดแบบบริดจ์จะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดเมื่อไบแอสกลับเท่ากับแรงดันที่เอาท์พุท (output) ของวงจร แต่เมื่อต่อแบบเรกติไฟร์จะพบว่าแรงดันไบแอสกลับจะเป็น 2 เท่าของแรงดันสูงสุดตามปกติและเป็น 2.83 เท่าของแรงดัน RMS

5. กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับไบแอสกลับ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปแล้วมีค่าน้อยมากเท่าใดก็จะดีมากเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.1.2 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นวงจรกรองกระแสนั้นเราเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลติก (Electrolytic Capacitor) ซึ่งหลักในการเลือกใช้นั้นขึ้นกับ

1. อัตราทนกระแสกระเพื่อม (Ripple Current) กระแสกระเพื่อมขึ้นอยู่กับค่าของตัวประจุโหลดและแรงดันอินพุท

2. แรงดันกระเพื่อม ข้อกำหนดนี้ใช้กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอย่างต่ำในวงจรโดยทั่วไปในการออกแบบวงจรเรกติไฟร์และวงจรกรองกระแสจะกำหนดให้แรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10% ของแรงดันไฟตรงที่ด้านออก แรงดันกระเพื่อมนี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อโหลดดึงกระแสมาก

3. อัตราทนแรงดัน ตัวเก็บประจุที่ใช้ควรทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่า ของแรงดันไฟตรงเอาท์พุท เช่นที่แรงดันไฟตรง 300 โวลท์ ตัวเก็บประจุของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะต้องทนได้ 450 โวลท์ เป็นอย่างต่ำ

4. ช่วงเวลาโฮลด์อัพ (Hold up time) เป็นระยะเวลาอย่างต่ำที่แหล่งจ่ายจะยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันด้านออกให้อยู่ในขีดจำกัดของการรักษาระดับคงที่ด้านออก (Output Regulation) ได้โดยที่เมื่อแหล่งจ่ายทางด้านเข้า (Input) หยุดจ่ายหรือลดลงต่ำกว่าค่าการรักษาระดับแรงดันด้านเข้า (Input Regulation) ที่กำหนดช่วงเวลาโฮลด์อัพนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ,โหลด,แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในขณะที่แรงดันด้านเข้าตกหรือหยุดจ่ายไฟ

2.4.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ (DC-AC Converter)

แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป วงจรพื้นฐานที่ใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งจะได้แก่

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้กำลังงานได้ไม่สูงมากนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและราคาถูก

2. ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูง ตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งมีผลต่อการเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้

3. พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่มีข้อดีคือ ปริมาตรของแกนเหล็กลดลง กระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต่ำ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองถูกขับกราวด์เดียวกัน ทำให้วงจรขับเบสไม่ยุ่งยาก มีข้อเสียคือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ต้องสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่าของแรงดันอินพุตรวมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
60919

แรงดันสไปค์ซึ่งเกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง เป็นปัญหาในการนำไปใช้งานกับโหลดที่ต้องการกำลังสูง ๆ เพราะทรานซิสเตอร์ที่ทนกระแสและแรงดันสูง ๆ หายากและราคาแพง

4. ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)

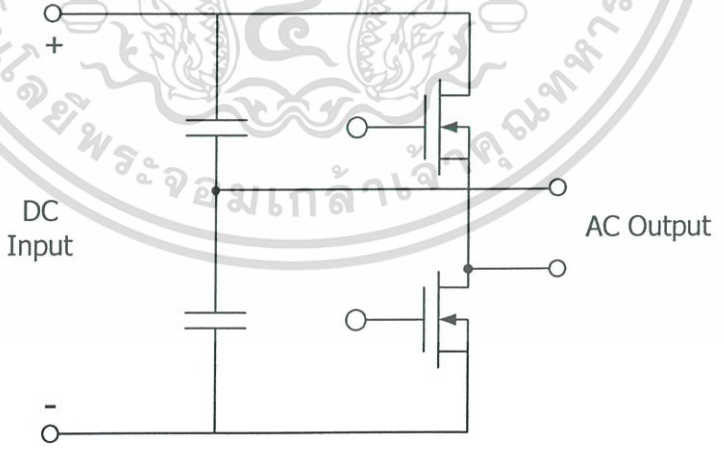
จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสน้อยกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามแบบที่กล่าวมา และลดการเกิดความไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนเหล็กได้ กำลังงานสูงสุดที่สามารถทำได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

5. ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงสุด ตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1000 วัตต์ คอนเวอร์เตอร์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีหลายวงจรด้วยกันเช่น Push-Pull Converter , Half-Bridge Converter , Full-Bridge Converter

2.4.3 วงจรฮาล์ฟบริดจ์ (Half Bridge Circuit)

วงจรฮาล์ฟบริดจ์ เป็นการสลับกันทำงานทีละครึ่งไซเคิลของอุปกรณ์สวิตช์ โดยที่หม้อแปลงไม่มีการแทป แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์เหล่านั้นจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุท การที่สวิตช์ตัวที่ 1 ทำงาน จะทำให้กระแสไหลผ่านหม้อแปลงในทิศทางหนึ่ง เมื่ออุปกรณ์อีกตัวหนึ่งทำงาน กระแสก็จะไหลผ่านหม้อแปลงในทิศทางตรงข้ามกับตอนแรก ทำให้เกิดไฟสลับไปมาเป็นไซเคิล



รูปที่ 2.10 วงจรพื้นฐานฮาล์ฟบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อได้เปรียบของวงจรฮาล์ฟบริดจ์

1. ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวสวิตชิ่งขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ ค่าแรงดันที่ด้านอินพุทซึ่งน้อยกว่าการใช้งานแบบอื่นๆ เช่น Push-Pull , Forward Converter

2. ลดการเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ไม่สมมาตรในขด Primary ได้ (กรณีที่ใช้หม้อแปลงเป็นตัวเหนี่ยวนำ)

3. กระแสที่ได้ทางด้านเอาท์พุทค่อนข้างเรียบ

4. วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ เป็นวงจรที่ใช้สวิตช์ทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัว จึงประหยัดกว่าวงจรแบบฟูลบริดจ์ที่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัว และสามารถให้กระแสไหลผ่านหลอดมีรูปคลื่นเป็น Sine ได้

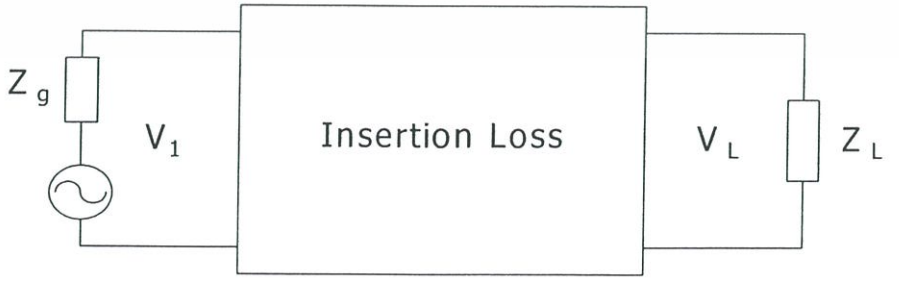
5. กำลังออกของวงจรไม่สูงนัก เมื่อเทียบกับ Full-Bridge Converter (สำหรับการใช้งานเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์) ดังนั้นการใช้สวิตช์เพียงสองตัว จะทำให้การขับนำสวิตช์ไม่ยุ่งยาก

ข้อเสียเปรียบของวงจรฮาล์ฟบริดจ์

เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด Primary (กรณีที่ใช้หม้อแปลงเป็นตัวเหนี่ยวนำ) มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่ด้านอินพุท ทำให้มีค่ากระแสไหลผ่านค่อนข้างสูง(มีค่าประมาณ 2 เท่าของ Push-Pull) แต่เราสมมารถแก้ไขปัญหานี้โดยการต่อ C-Coupling เข้าไป โดยต่ออนุกรมเข้ากับหม้อแปลงด้าน Primary ซึ่งจะยกระดับ DC ขึ้นมา หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การลดเวลา Turn-on ของทรานซิสเตอร์ โดยการใช้ Baker Clamp Diode ในวงจรขับเบส

2.4.4 EMI Filter

Electro Magnetic Interference (EMI) Filters เป็นวงจรกรองความถี่รบกวนที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ทำ Filter จะไม่ต่อ Resistor เพราะจะทำให้เกิดความร้อน (Loss) ได้ในการออกแบบ EMI Filter จะต้องคำนึงถึงการเกิดของ Insertion Loss และ Attenuation ของระบบที่จะเกิดขึ้นด้วย โดยจะพิจารณาได้จากกราฟและสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 วงจรจำลองการคำนวณการเกิด Insertion Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\max} = \left| V_g \right|^2 / 4R_g \tag{2.2}$$

$$P_{out} = V_L^{\,2} / R_0 \tag{2.3}$$

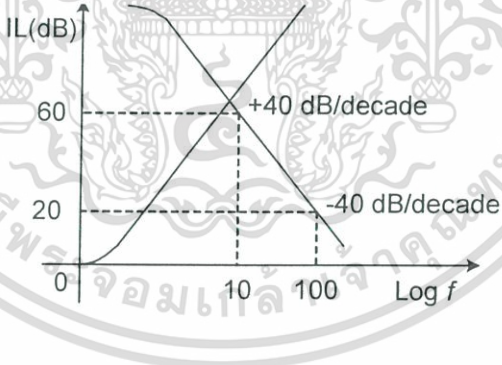
$$IL(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{R_0}{R_g}}\left|\frac{V_g}{V_L}\right|\right) \tag{2.4}$$

$$IL(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{V_1}{V_L}\right) \tag{2.5}$$

โดยที่ V_1 = แรงดันเอาท์พุตของสัญญาณจากแหล่งจ่าย โดยไม่ได้ต่อวงจร Filter

V_L = แรงดันเอาท์พุตของสัญญาณจากแหล่งจ่ายที่ด้านเอาท์พุตของวงจร Filter โดยต่อวงจร Filter เข้าไปกับระบบ

IL = Insertion Loss (dB)



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงการเกิด Insertion Loss และ Attenuation

ชนิดของ EMI Filter

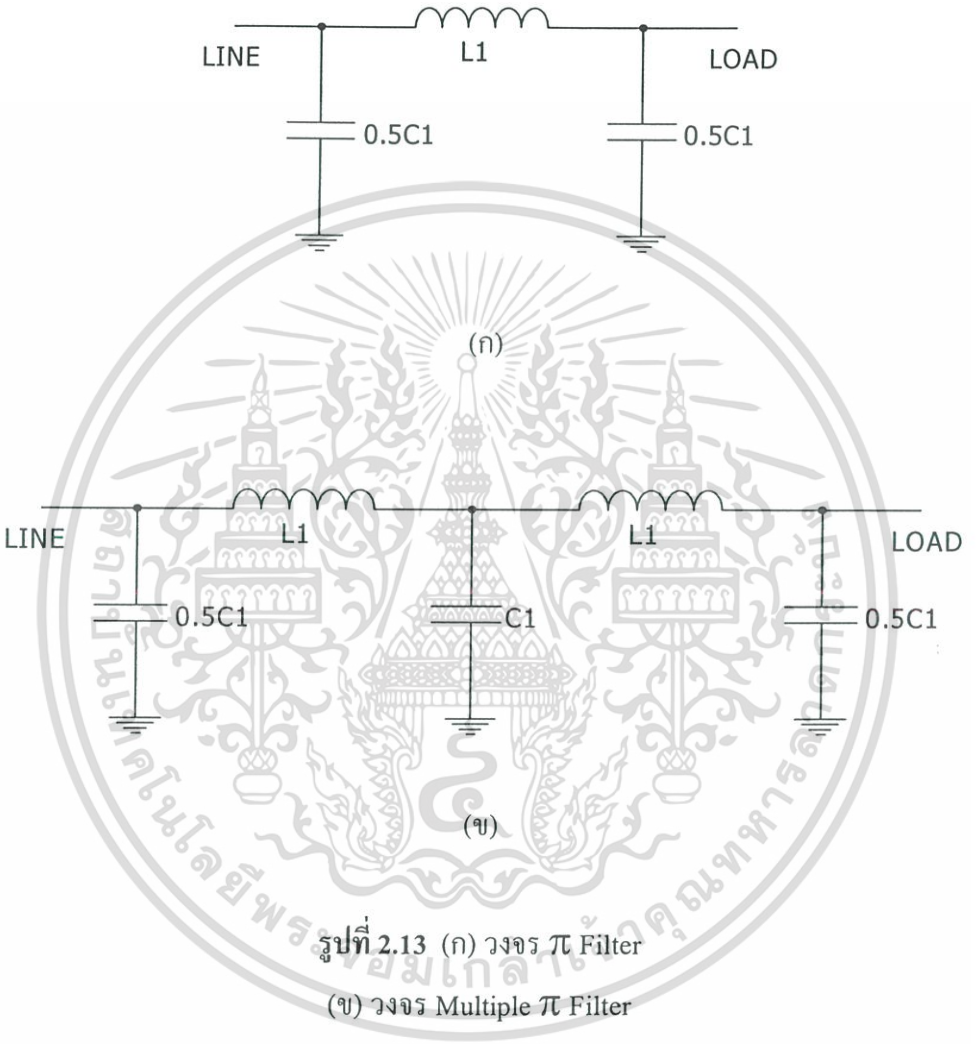
ปัจจุบันได้มีการแบ่งชนิดของ Electro Magnetic Interference (EMI) Filter โดยเบื้องต้นหลายชนิดคือ π Filter , T Filter , L Filter , Dissipative Filter , Cauer Filter , The R-C Shunt เป็นต้น EMI Filter แต่ละชนิดอาจประกอบด้วย Filter จำนวน 2 เท่า , 3 เท่า หรือบางครั้งก็ใช้ถึง 4 เท่า โดยแต่ละชนิดของ EMI Filter จะมีทั้งคุณสมบัติที่เป็นบวก (Positive) และที่เป็นลบ (Negative) ซึ่งแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละคุณสมบัติจะมีทั้งจุดที่เป็นข้อดีที่สุดในการใช้ประโยชน์และจุดบกพร่องขึ้นในระดับหนึ่ง EMI Filter ที่สำคัญได้แก่

1. π Filter

จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.13 (ก) วงจร π Filter
(ข) วงจร Multiple π Filter

สมการการออกแบบวงจร π Filter

$$IL(dB) = 10\log_{10}(1 + F^2\frac{(1-d)^2}{d^{2/3}} - 2F^4\frac{1-d}{d^{1/3}} + F^6) \quad (2.6)$$

โดยที่ $d = \frac{L}{2CR_0^2}$ เป็น Damping Factor (2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{f}{f_0} \tag{2.8}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{2LC}} = \frac{R_0}{\pi L} = \frac{1}{2\pi R_0 C} \quad ; \text{เมื่อ } d=1 \tag{2.9}$$

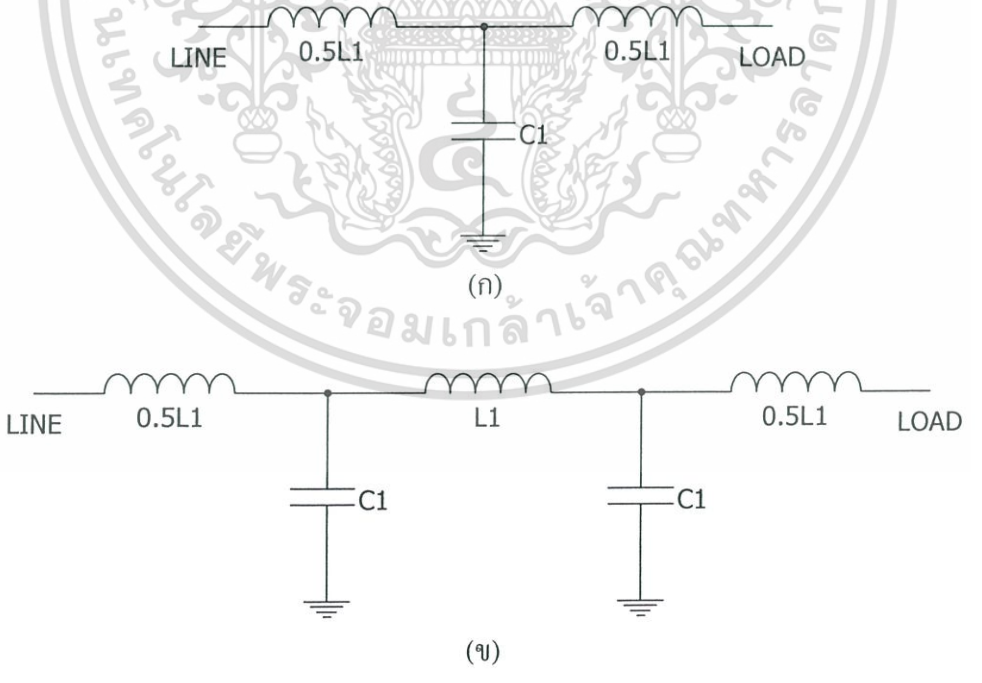
$$f_0 = \frac{1}{\pi\left(4R_0LC^2\right)^{1/3}} \quad ; \text{เมื่อ } d\neq 1 \tag{2.10}$$

ข้อสังเกตคือ ตัวเก็บประจุศูนย์กลาง (Center Capacitor) จะมีขนาดเป็น 2 เท่าของตัวเก็บประจุด้านปลาย (End Capacitor) กล่าวคือ ตัวเก็บประจุทั้งหมดที่อยู่ภายในจะมีค่าเป็น 2 เท่าของแต่ละตัวเก็บประจุด้านปลายทั้ง 2 ด้านสำหรับวงจร Multiple π Filter

กระแสสูงสุด (Peak Current) ถูกจัดหาให้ Filter เพื่อทะลุผ่าน Buffer หรือ ขยาย Buffer ออก Filter เหล่านี้จะมีค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) ขนาดใหญ่เพื่อรักษาสัญญาณออกในการทดสอบ EMI ของแหล่งจ่ายไฟ DC สิ่งเหล่านี้ถูกทำขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าขดลวดเหนี่ยวนำ Filter จะไม่เหนี่ยวนำอิ่มตัวที่กระแสสูงสุด

2. T Filter

จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.14 (ก) วงจร T Filter

(ข) วงจร Multiple T Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการออกแบบวงจร T Filter

$$IL(dB) = 10\log_{10}(1 + F^2\frac{(1-d)^2}{d^{2/3}} - F^4\frac{1-d}{d^{1/3}} + F^6) \quad (2.11)$$

โดยที่ $d = \frac{CR_0^{\ 2}}{2L}$ เป็น Damping Factor (2.12)

$$F = \frac{f}{f_0}$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{2LC}} = \frac{R_0}{2\pi L} = \frac{1}{\pi R_0 C} \quad ; \text{เมื่อ } d=1 \quad (2.13)$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi\left(\frac{R_0}{4LC^2}\right)^{1/3}} \quad ;\text{เมื่อ } d\neq 1 \quad (2.14)$$

T Filter ทำงานดีที่สุดในสายที่มีค่าอิมพิแดนซ์ต่ำ (Low Impedance Line) ทำให้มีกระแสสูง อิมพิแดนซ์ของสายจะต่ำมากจนถึง 100 kHz แต่จะสูญเสียความเฉพาะเจาะจงมาตรฐาน 461 (461 Specification) เริ่มที่ 10 kHz ไม่กี่ 14 kHz อิมพิแดนซ์เหนี่ยวนำอินพุท (Inductive Input Impedance) ของ T ได้รวมอิมพิแดนซ์สายต่ำด้วย (Low Line Impedance) ทำให้ C และ L ทำงานร่วมกัน สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ดีที่สุดที่กระแสโหลดสูงกว่า ถ้าวิธีการออกแบบไม่ต้องการค่าของอินดักเตอร์ T ที่มีค่าสูงมาก ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันพุ่งสูงขึ้นหรือตกลงในการจ่ายให้โหลด เช่นในกรณีที่แรงดันเพิ่มสูงขึ้นในการจ่ายโหลด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเรโซแนนซ์ ที่ความถี่ต่ำมากๆ เป็นเพราะผลของค่าความนำที่สูงขึ้น

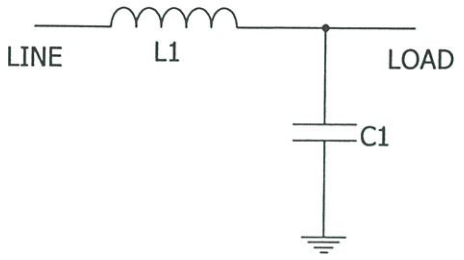
T Filter ไม่ควรใช้ในระบบไฟตรง ถ้าโหลดที่ใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เป็นตัวสวิตช์ เพราะว่าค่าอิมพิแดนซ์สูงของตัวนำด้านเอาท์พุทที่อยู่ทางด้านโหลดจะขาดตัวสวิตช์ การออกแบบตัวสวิตช์ควรพิจารณาสิ่งนี้ โดยการทำให้ต่ำกว่าของค่าอิมพิแดนซ์ด้วยตัวเก็บประจุที่อินพุทสวิตช์ ซึ่งจะทำให้ Filter กลาย เป็น L สองตัวที่ปรับค่าไม่ได้ เนื่องจากตัวเก็บประจุต่อขนานกับตัวนำที่อยู่ทางด้านโหลด ค่าตัวนำศูนย์กลาง (Central Inductor) จะมีขนาดเป็น 2 เท่าของทั้งสองตัวนำที่อยู่ด้านปลาย กล่าวคือตัวนำภายในทั้งหมดจะมีขนาดเป็นสองเท่าของตัวนำด้านปลาย

T Filter สามารถทำให้สมดุล โดยการย้ายค่าครึ่งหนึ่งของตัวนำ และวางครึ่งนี้ในขานิวตรอนแทน จะกลายเป็นโคลง H

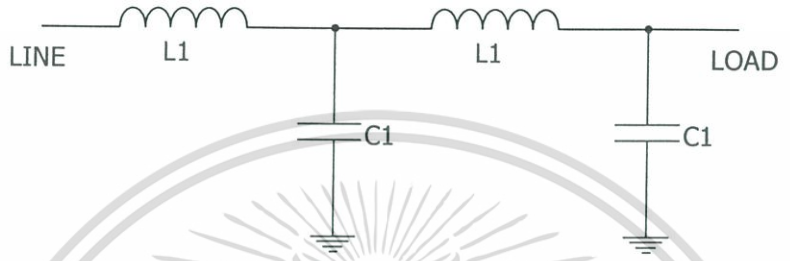
3. L Filter

จะมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 (ก) วงจร L Filter

(ข) วงจร Multiple L Filter

สมการการออกแบบวงจร L Filter

$$IL(dB) = 10\log_{10}(1 + \frac{(1-d^2)}{d}\frac{F^2}{2}) + F^4) \quad (2.15)$$

โดยที่ $d = \frac{L}{CR_0^2}$ เป็น Damping Factor (2.16)

$$F = \frac{f}{f_0}$$

$$f_0 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi R_0 C} = \frac{\sqrt{2}R_0}{2\pi L} \quad ; \text{เมื่อ d=1} \quad (2.17)$$

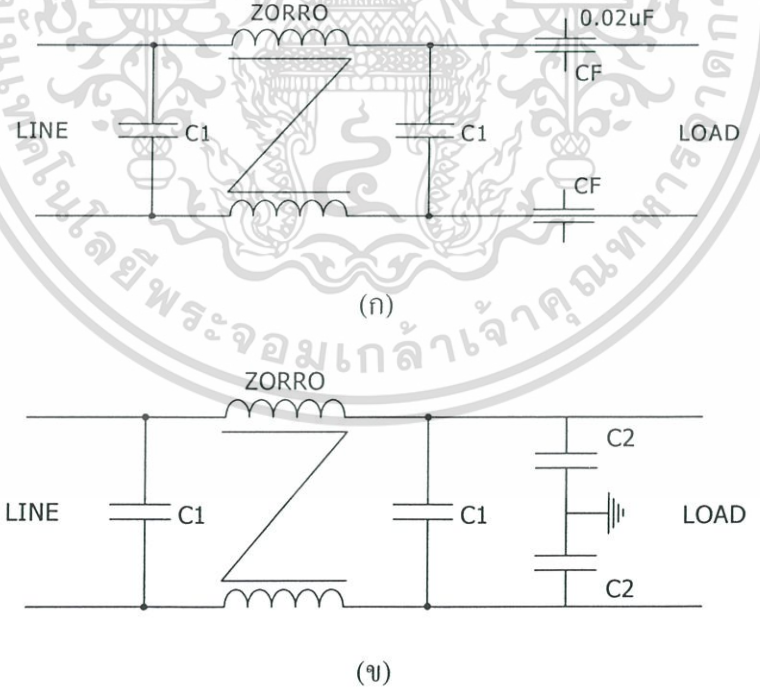
$$f_0 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi\sqrt{LC}} \quad ; \text{เมื่อ d} \neq 1 \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้งาน เนื่องจากทั้ง π Filter และ T Filter มีส่วนประกอบ 3 ส่วน แต่ L Filter มีส่วนประกอบเพียงสองลักษณะ การสูญเสียทั้งหมดเกี่ยวโยงไปถึงการสูญเสียขณะสตาร์ทเหนือความถี่คัทออฟ L Filter เดี่ยว (Single) จะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อทำงานในหมวดไฟตรง ถ้าโหลดมีตัวสวิทช์ เพราะว่า L ตัวใหญ่จะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟตรงและตัวเก็บประจุตัวใหญ่ (มีปริมาณสูง) จะให้ค่าอิมพิแดนซ์ต่ำ สำหรับความถี่ของตัวสวิตช์ ส่วนตัวนำ 2 ตัวถูกนำมาใช้เมื่อจำนวนความสูญเสียทั้งหมดรวมมีค่าน้อยกว่าตัวนำเดี่ยว ตัวเก็บประจุเอาท์พุทขนาดเล็ก มีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของที่มาจากเดิมจะไม่จัดให้มีการเก็บพลังงานที่จำเป็นจะสร้างค่าแรงดันตกยอดถึงยอด (Peak to Peak Voltage Drop) ขนาดใหญ่ที่จ่ายให้ตัวสวิตช์ แรงดันยอดถึงยอดนี้จะอยู่ที่ความถี่ตัวสวิตช์ หรือ 2 เท่าของความถี่ตัวสวิตช์ ถ้าแรงดันนี้จ่ายให้กับ Center Tap ของวงจรขยาย (Amplifier) ระดับ บี หรือ Royer (ความถี่ของตัวสวิตช์ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าการตก) L 2 ตัวสามารถนำมาใช้ตราบเท่าที่การตก (Drop) ไม่มากเกินควร หรือความถี่ตัวสวิตช์มีค่าสูงพอ แม้กระนั้นการกระเพื่อมจะเหมือนเดิมหรือดีกว่าแหล่งจ่ายไฟตรง หรือแรงดันที่จัดส่ง ทั้ง L และ Multiple L ทำงานได้ดีในการประยุกต์ใช้ทางไฟฟ้ากำลังที่สูงขึ้น

4. Typical Commercial Filter

จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 2.16 (ก) วงจร Commercial filter with Z and feedthrough

(ข) วงจร Commercial filter with capacitors to ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter ชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ทดสอบ , คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการค้า ผู้ผลิตต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน VDE , CSA และ U.S. Federal Communications Commission (FCC) และการทดสอบถูกดำเนินการโดยบริษัททดสอบ EMI ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิตทราบเกี่ยวกับข้อมูลทั้งหมด Filter เหล่านี้เป็นชนิด π Filter แบบสมดุล โดยบ่อยครั้งจะซื้อจากผู้จัดหาภายนอก และบ่อยครั้งจะสร้างในต่างประเทศ Filter เหล่านี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในหมวดปกติ ด้วยการต่อตัวเก็บประจุตรงข้ามกันทางด้านอินพุทและเอาท์พุทจากสายไลน์ถึงสายนิวตรอน และตัวเก็บประจุอีกสองตัวที่ต่อลงกราวด์ ซึ่งจะเจอกับค่าเฉพาะของกระแสรั่วไหล ค่าความนำที่รั่วไหล (Leakage Inductance) บ่อยครั้งถูกทำให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มวงแหวนรองข้อต่อ เพื่อให้ศูนย์กลางของแกนแยกเป็น 2 ขดลวด ซึ่งจะทำโดยการพัน 2 ขดลวดห่างกันเพียงพอบนแกน Toroid ตัวเก็บประจุแบบ Feedthrough (CF) จะถูกหุ้มกราวด์ (Case Ground) บางเทคนิคจะรวม Filter หมวดอนุพันธ์ (Differential Mode) กับหมวดปกติซึ่งจะทำให้ π Filter แบบสมดุลอยู่ในหมวดอนุพันธ์ และ Filter นี้จะทำงานทั้งหมดเนื่องจากข้อบ่งชี้การสูญเสียของ FCC เริ่มต้นที่ 450 kHz ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถทำให้เล็กเพื่อให้สำเร็จในงานเหล่านี้ ข้อควรจำอื่นๆคือกระแสที่ไหลผ่านค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลสามารถอิ่มตัวในตัวเหนี่ยวนำได้ บางชนิดของ Filter ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุชนิด Feedthrough โดยการต่อร่วมลงดินแทน ตัวเก็บประจุเหล่านี้แพงเล็กน้อย แต่ให้ความถี่เรโซแนนซ์ด้วยตัวเอง (Self Resonant Frequency) ที่ต่ำกว่า

2.4.5 วงจรจุดหลอด (Ignitor)

เป็นวงจรที่ใช้ในการจุดหลอด โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นประมาณ 3000 โวลต์ เมื่อหลอดติดแล้วก็จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเหนี่ยวนำ เพื่อรักษาระดับของกระแสที่ไหลในผ่านหลอดให้คงที่ตลอดเวลาที่ทำงาน

2.5 ทฤษฎีและหลักการคำนวณต่างๆที่เกี่ยวข้อง

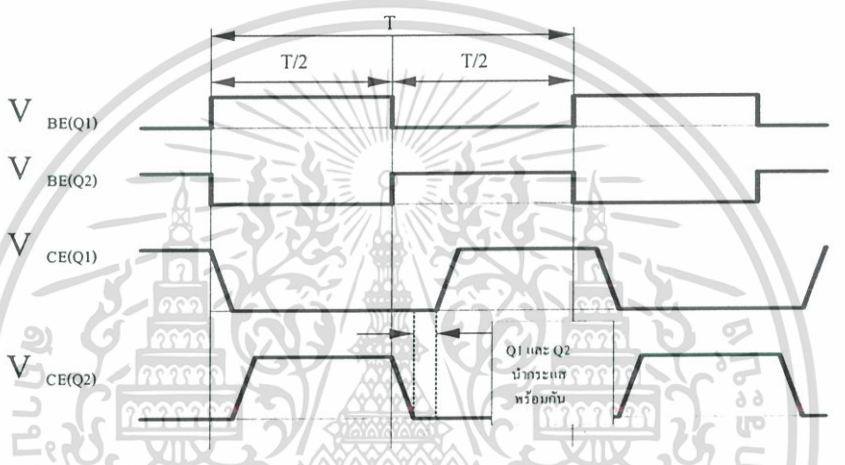
2.5.1 ค่าเวลาเผื่อ t_D (Dead Time) สำหรับการสวิตชิ่งในคอนเวอร์เตอร์

การกำหนดเวลาเผื่อไม่ให้มอสเฟตมีช่วงนำกระแสมากเกินไปมีเหตุผลหลักประการ คือ

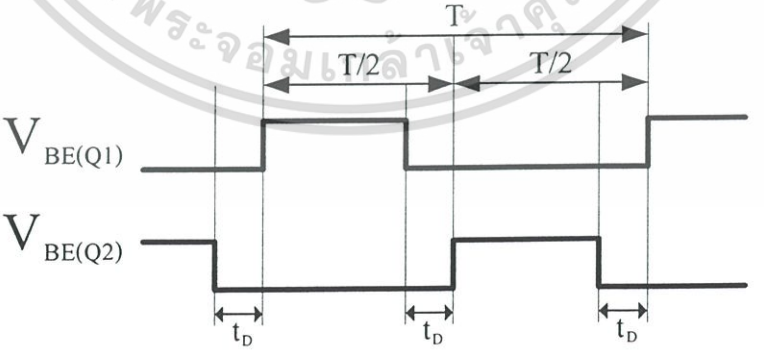
1. ถ้าไม่มีการจำกัดช่วงเวลานำกระแสเอาไว้ เมื่อเกิดกรณีโหลดดึงกระแสมากขึ้น วงจรควบคุมจะสั่งงานให้เพาเวอร์มอสเฟต มีค่าช่วงนำกระแสเพิ่มขึ้นทำให้ช่วงเวลานำกระแสเพิ่มขึ้น ทำให้ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่เหลือมีค่าลดลง และเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลง แกนเฟอร์ไรต์จะเข้าสู่จุดอิ่มตัวอย่างรวดเร็วทำให้เพาเวอร์มอสเฟตได้รับความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถึงแม้ว่าจะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งงานเพาเวอร์มอสเฟตที่ครึ่งหนึ่งของคาบเวลาเท่ากันแล้วก็ตาม เพาเวอร์มอสเฟตก็ยังไม่ปลอดภัยเพียงพอเพราะการตอบสนองของเพาเวอร์มอสเฟตอาจเป็นไปได้ช้า เนื่องจากเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแส เมื่อหยุดจ่ายกระแสไบแอสให้กับเพาเวอร์มอสเฟตที่เวลา t = T/2 ประจุสะสมจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสต่อไปอีกชั่วขณะหนึ่งก่อนที่กระแสจะมีค่าลดลงเป็นศูนย์ ในขณะเดียวกันกับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่เหลือเริ่มได้รับกระแสไบ แอสที่เวลา t = T/2 เช่นเดียวกันทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทั้งสองตัวเกิดการนำกระแสพร้อมกัน ในกรณีที่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะเท่ากับค่าของแรงดันอินพุท และทำให้เกิดการเสียหายอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.17 การหน่วงของเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากการประจุสะสมเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสพร้อมกัน



รูปที่ 2.18 การกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_D ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 หลักการในการเลือกตัวสวิตชิ่งในตัวอินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์สวิตชิ่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor) และเพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor) ซึ่งก็มีลักษณะการทำงานแตกต่างกันออกไป

2.5.2.1 ไบโพลาเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor)

ในการเลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สำหรับออกแบบในตัวอินเวอร์เตอร์นั้นต้องคำนึงถึง

1. ความสามารถในการทนกระแสขณะปิดวงจร
2. ความสามารถในการทนแรงดันขณะเปิดวงจร
3. ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ
4. อัตราทนกำลังสูญเสีย

ความสามารถในการทนกระแสขณะปิดวงจร และความสามารถในการทนแรงดันขณะเปิดวงจรนั้นเราจะพิจารณาว่าเราใช้ตัวทรานซิสเตอร์ร่วมกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบใด ส่วนความเร็วในการเปลี่ยนสถานะนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน

ส่วนอัตราทนกำลังสูญเสียนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 2 ประการ

1. อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อ (Average Junction Temperture)
2. เซคั่นดารี่เบรคดาวน์ (Secondary Breakdown)

โดยทั่วไปผู้ผลิตมักใช้กราฟแสดงพิกัดปลอดภัย SOA (Safe Operating Area) มาพร้อมกับข้อมูล (Data Sheet) ที่ให้มากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์กราฟ SOA จะแสดงพิกัดค่าต่าง ๆ ของกระแส และแรงดันขณะทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่จะไม่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อสูงเกินอุณหภูมิที่มันทนได้และไม่ทำให้เกิดเซคั่นดารี่เบรคดาวน์ (Secondary Breakdown) ขึ้น

นอกจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่กล่าวมาแล้ว เรายังพบว่าในการทำงานเป็นสวิชต์ของทรานซิสเตอร์จะเกิดกำลังสูญเสียในรูปของความร้อนในตัวไปโพลาร์เวอร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกข้อหนึ่งในการใช้งานทรานซิสเตอร์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์เพอร์เวอร์ทรานซิสเตอร์ แบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1. กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะที่สถานะการทำงาน (Switching Loss)
2. กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว (Saturation)

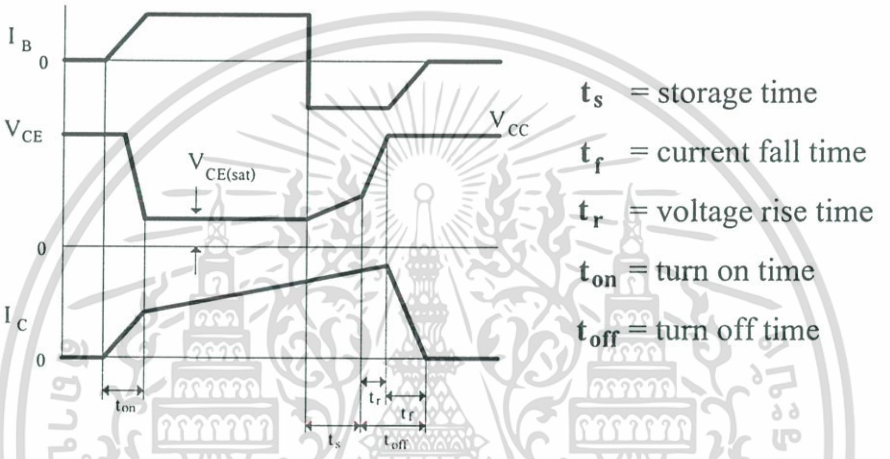
จากการเกิดกำลังสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะจะส่งผลต่อกำลังงานโดยรวมของวงจรคอนเวอร์เตอร์ แต่กำลังงานสูญเสียที่สำคัญที่เราต้องนำมาพิจารณา คือ กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching Loss) โดยกำลังสูญเสียจะเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะเริ่มนำกระแสและขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังงานที่สูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching Loss)

1. กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแส

เมื่อเราให้กระแสไบแอสที่ขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเลกเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเลกเตอร์และอิมิเตอร์ (V_{CE}) จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{CC} และจะใช้เวลาช่วงหนึ่งคือ t_{on} เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น $V_{CE(sat)}$ ดังรูปที่ 2.19 กำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลา t_{on} นี้ เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตามช่วงเวลา t_{on} นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมักมีค่าต่ำ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ



รูปที่ 2.19 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส

2. กำลังงานสูญเสียขณะกระแสเริ่มหยุดนำกระแส

เมื่อหยุดกระแสไบแอสและป้อนกระแสไบแอสลบให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดนำกระแสเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา t_s ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา t_s นี้เรียกว่า ช่วงสะสม (Storage Time) และขณะช่วงเวลา t_s นี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบแอสอยู่

จากนั้นแรงดันที่คอลเลกเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา t_r (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเลกเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ t_r (Current Fall Time) เพาเวอร์-ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา t_r และ t_s จะมีค่าสูง และเป็นช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะทำงาน ช่วงเวลา $t_r + t_s$ จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้างต้นเราจะให้ว่าการทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าน้อยที่สุด จะทำให้การใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงานด้วย

วงจรขับกระแสไบแอส

ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแส ไบแอสที่ขาเบส เพื่อนำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

วงจรขับกระแสไบแอสโดยทั่วไปจะทำได้ใน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive)

สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปที่กำลังไม่สูงมากนักจะนิยมใช้วงจรขับกระแสไบแอส ด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive) ด้วยค่ากระแสที่มากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสที่จุดอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา แต่วิธีนี้จะทำให้ค่าประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ค่อนข้างสูงและใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส

2. วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์ (Proportion Base Drive)

วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์ (Proportion Base Drive) นี้ค่ากระแสไบแอสที่ขาเบสจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านคอลเลกเตอร์ประจุสะสมจะเกิดเล็กน้อย การหยุดนำกระแสจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า จึงนิยมใช้กับคอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังสูงๆเท่านั้น

อุปกรณ์ที่สามารถใช้เป็นสวิตช์ในวงจร Half bridge inverter มีหลายชนิดดังนี้

1. FORCE-COMMUTATED THYRISTOR
2. GTO
3. POWER BJT
4. POWER MOSFET
5. IGBT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ

Electronic Device	Thyristor	GTO	BJT	MOSFET	IGBT
Normal ON/OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Breakdown Voltage (V)	~4000	~4500	~1000	~1000	~1200
Current Density (A cm)	100	100	40	10	60
Surge Current Capability	Good	Good	Bad	Bad	Bad
Carrier Frequency (kHz)	5	3	20	2000	20
Gate Drive Power	Low	Medium	High	Low	Low
Self Turn off Ability	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Operating Junction Temperate Limit (c)	125	125	150	200	150

งานวิจัยนี้เลือกใช้มอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตช์เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างดังนี้

- ทำงานในความถี่สูงได้ดี
- มีกำลังสูญเสียขณะสวิตช์ต่ำ
- ไม่มีแรงดันพังทลายที่สองขณะเทิร์นออฟ (Secondary Breakdown)
- มีอัตราการขยายสูงจึงง่ายต่อการสร้างวงจรขับ
- มีความต้านทานและเสถียรภาพทางอุณหภูมิดี
- มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย สามารถใช้กับงานกำลังต่ำได้เป็นอย่างดี

2.5.2.2 เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor)

สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 50 kHz ไปจนถึงประมาณ 200 – 400 kHz เนื่องจากตัวมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และในการพัฒนาปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานที่ความถี่สูงขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่เกิดเซคั่นดารี่เบรคดาวน์ (Secondary breakdown) เหมือนกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรน (Drain) และซอร์ส (Source) ขณะนำกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ขณะเกิดเซคั่นดารี่เบรคดาวน์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลมากขึ้น ซึ่งจะเกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิกัดความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่า เมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟต ไม่เกิดเซคั่นดารี่เบรคดาวน์ อัตราทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในรอยต่อที่ตัวมันเท่านั้น เช่น เดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ในการทำงานเป็นสวิตซ์ของเพาเวอร์มอสเฟตจะเกิดกำลังสูญเสียเกิด ขึ้นซึ่งเราสามารถพิจารณาได้ดังนี้

กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ คือ

1. กำลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ
2. กำลังสูญเสียขณะนำกระแส

แต่สำหรับมอสเฟตแล้วจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นจึงไม่มีอย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

พิกัดปลอดภัย FBSOA

ขีดจำกัดกำลังที่พิกัดปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟตนั้น อาจแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้คือ

1. ขีดจำกัดแรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส V_{DS} สูงสุดที่สามารถทนได้ (Maximum Drain Source Voltage)
2. ค่ากระแสเดรน I_D สูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้ และไม่ทำให้โครงสร้างภายในเสียหาย (Thermal Limit)
3. ขีดจำกัดเนื่องจากค่าความต้านทานขณะนำกระแส ($R_{DS(ON)}$ Limit)
4. ขีดจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง (Package Limit)

พิกัดปลอดภัย SOA

SSOA (Switching Safe Operation Area) เป็นกราฟแสดงพิกัดกระแสและแรงดันใช้งานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้ SOA สามารถใช้ได้ทั้งในการพิจารณาพิกัดปลอดภัยทั้งในช่วงเวลาเริ่มจะนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

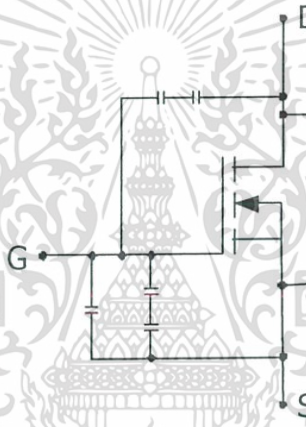
เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสนั้น เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมัน แค่ใช้กระแสต่ำ การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแส เป็นอันดับแรกเสียก่อน

ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Capacitance)

เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟตจึงเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบ ๆ ขาต่าง ๆ ของมันดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต

ตัวเก็บประจุเหล่านี้ บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS} มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแสในทางกลับกันการหยุดการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS}มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกตมีลักษณะดังในรูปที่ 2.21

การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะให้กราฟของค่าแรงดัน V_{GS} ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกตเพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาในเอกสารข้อมูล (Datasheet) ด้วย กราฟนี้มีประโยชน์มากในการคำนวณค่ากระแสไบแอสเกตและเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของกราฟจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้นคือ

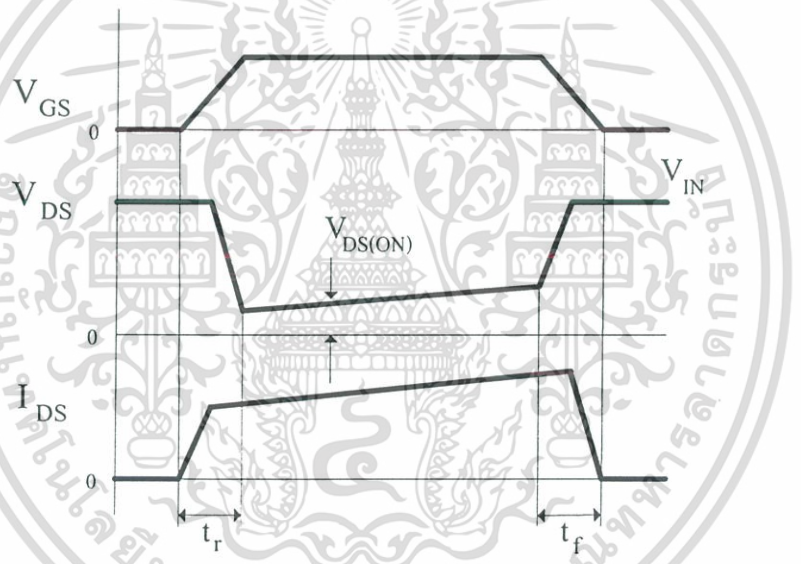
1. ช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแส (Turn On Delay)
2. ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Rise Time)
3. ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (Excess Charge Time)

เพาเวอร์มอสเฟตแต่ละเบอร์ จะนำมาหาค่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_r และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำ กระแส t_f ได้จาก

$$t = \frac{Q_G}{I_G} \tag{2.19}$$

เมื่อ Q_G คือ ค่าประจุที่ได้จากกราฟ เป็นคูลอมบ์

I_G คือ ค่ากระแสที่ใช้ชาร์จประจุที่ค่ากระแสคงที่ เป็นแอมป์



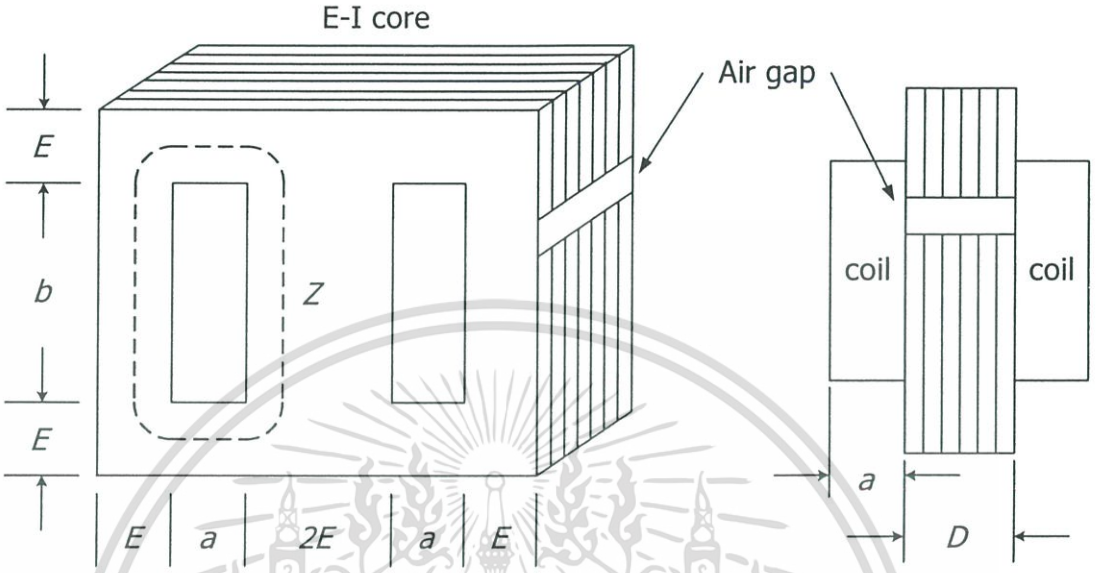
รูปที่ 2.21 ลักษณะกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟสเมื่อเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส

ปัญหาในลักษณะเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานในขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์ทรานซิส เตอร์ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้ตัวสวิตชิ่งคือ เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมด้วยแกน EI

รูปร่างของตัวเหนี่ยวนำแกน EI แสดงดังรูปที่ 3.13 ซึ่ง a คือ ความกว้างของช่องว่าง , b คือ ความยาวของช่องว่าง , 2E คือความกว้างของ torque และ D คือ ความหนาของแกนเหล็ก



รูปที่ 2.22 E-I Core Configuration

ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) จะเป็นอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องทั้งหมดในขดลวด (Flux Linkage) กับกระแสในขดลวด ซึ่งมีหน่วยทางไฟฟ้าเป็น เฮนรี่ (Henry , H) เขียนเป็นสมการได้ คือ

$$L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N\phi}{I} = \frac{NB_{\max}A_cF_s}{I} \qquad (2.20)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบของขดลวด

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

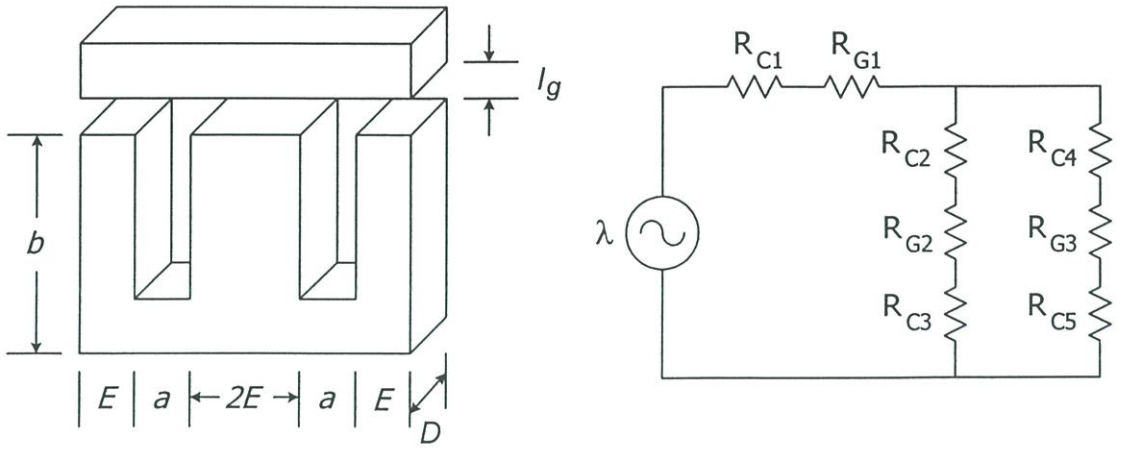
λ คือ Flux เกี่ยวคล้อง

$B_{\max}$ คือ ความหนาแน่น Flux แม่เหล็ก

I คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

F_s คือ stacking factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 Magnetic Circuit

$$L = \frac{N^2}{\Re} \tag{2.21}$$

$$= \frac{N^2(\mu_1\mu_2 ED)}{(2E + a + b)\mu_2 + \mu_1 l_g} \tag{2.22}$$

$$= \frac{\mu_0 N^2 ED}{l_g} \tag{2.23}$$

เมื่อ b = 3E, a = E, $\mu_1 >> \mu_2$, $\mu_2 = \mu_0$

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างช่องอากาศ กับค่าความเหนี่ยวนำ (L) จะแปรผกผันกัน

2.5.3.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำแกน EI

นักออกแบบจำเป็นต้องสังเกตในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ ในส่วนของการออกแบบมีสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 อย่าง เพื่อให้ได้รูปร่างของตัวเหนี่ยวนำแกน EI ที่เหมาะสม คือ ค่าความหนาแน่นของฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

$$B_{\max} = A_w F_s N = L_d I_p \tag{2.24}$$

ได้เลือก Magnesil (Si 3 %, Fe 97%) เป็นแกนแม่เหล็กซึ่งถูกใช้ในการออกแบบ ตามตารางที่ 2.5 จะสังเกตได้ว่าลักษณะเฉพาะของ Magnesil คือ มีค่าความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กสูง และความหนาแน่นวัสดุต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ลักษณะเฉพาะของแกนแม่เหล็กไฟฟ้า

Material	Percentage	B_{max}(tesla)	Density(g/cm^3)
Magnesil	3%Si, 97%Fe	1.6	7.63
Orthonol	50%Ni, 50%Fe	1.5	8.24
48 Alloy	48%Ni, 50%Fe	1.2	8.19

พื้นที่ช่องว่าง $$\frac{A_w N}{F_w} = ab \qquad (2.25)$$

เมื่อ A_w คือ พื้นที่หน้าตัดขดลวด

ซึ่ง F_w (Window Utilization) คือ พื้นที่ช่องว่างของขดลวดที่เกิดขึ้นบนแกนเหล็กที่นำมาพัน

ปัจจัยที่มีผลมีอยู่ 4 อย่างคือ ฉนวนของขดลวด , ขดลวดที่วางพาดกัน , พื้นที่กระสวย (Bobbin area) และฉนวนที่ป้องกันระหว่างขดลวดที่พันกันอยู่แต่ละชั้น

ตัวอย่างของค่านี้ประมาณ 0.4 ซึ่งค่านี้ทำให้แน่ใจได้ว่าค่าของประสิทธิภาพของช่องว่างแกนเหล็กเพียงพอในการพัน

2.5.3.2 สมการเงื่อนไข (Constrain Function)

จากสมการข้างต้น เราสามารถกำจัดตัวแปร N ได้คือ

$$N = \frac{LI}{B_{\max} A_c F_s} = \frac{abF_s}{A_w} \qquad (2.26)$$

$$\frac{B_{\max} A_c F_s abF_w}{A_w} - LI = 0 \qquad (2.27)$$

$$\frac{B_{\max} (2ED) 3E^2 F_s F_w}{A_w} - LI = 0 \qquad (2.28)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ Inquality Constraint คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{B_{\max} D6E^{3} F_s F_w}{A_w} - LI = 0 \tag{2.29}$$

$$0.002 < E < 0.3$$

$$0.0005 < D < 0.3$$

โดยที่ค่า D และค่า E จะกำหนดให้อยู่ในช่วง Feasible เพื่อให้สามารถหาซื้อแกนเหล็กได้ตามท้องตลาด

2.5.3.3 หลักการออกแบบตัวเหนี่ยวนำโดยทั่วไป

ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductor Design) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบก็คือการ

เลือกอุปกรณ์

1. ชนิด ลักษณะโครงสร้าง และขนาดของแกนเหล็ก
2. ชนิด รูปร่าง ขนาด และจำนวนรอบที่ใช้ในการพันของลวดตัวนำ
3. ชนิดและลักษณะของฉนวน
4. ลักษณะโครงสร้างของ Case
5. คุณสมบัติทางไฟฟ้า และเชิงกลอื่นๆ

ข้อกำหนด

1. ค่าความเหนี่ยวนำ
2. ขนาดและรูปร่างรวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน
3. กำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพ หรืออุณหภูมิ เพิ่ม (T_{rise})
4. คุณสมบัติทางไฟฟ้า และเชิงกลอื่นๆ

ขีดจำกัด

1. ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มตัวของแกนเหล็ก
2. กำลังสูญเสียในลวดทองแดงหรือแกนเหล็ก
3. คุณสมบัติอื่นๆ เช่น Permeability (μ) , Breakdown Voltage (V_b)

สมการของการออกแบบ

จากขีดจำกัดของแกนแม่เหล็ก(Saturation or Coreloss)

$$B_{\max} = \frac{\phi_{\max}}{S} = \frac{\lambda_{\max}}{S\,N} = \frac{LI_{peak}}{S\,N} \tag{2.30}$$

สนามแม่เหล็กแปรตามกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_{\max} = \frac{LI_{peak}}{N} \tag{2.31}$$

$k.W = N.A_W$ ขีดจำกัดของหน้าต่าง ; k = 0.3 – 0.9

จากขีดจำกัดของลวดทองแดง โดยคำนึงถึงการสูญเสีย (Cu loss : P_{CU})

$$P_{cu} = I_{rms}^2 .R \tag{2.32}$$

$$R = \frac{\rho.l}{A_W} \tag{2.33}$$

$$J = \frac{I_{rms}}{A_W} \tag{2.34}$$

โดยที่ J = 100 – 1000 (A/cm^2)

P = 1.724×10^{-8} (Ω - m)

จากคุณสมบัติของวงจรแม่เหล็กและตัวเหนี่ยวนำ

$$L = N^2 P_c = \frac{N^2}{R_c} \tag{2.35}$$

$$R_c = R_m + R_g ; R_c = \frac{l_g}{\mu_0 S} \tag{2.36}$$

$$l_g = \frac{N^2 \mu_0 S}{L} \tag{2.37}$$

2.5.3.4 การออกแบบ Inductor โดยทั่วไป

ในการออกแบบ Inductor เราจะต้องกำหนดค่าหรือทราบค่าดังต่อไปนี้

1. ค่ากระแสที่ต้องการใช้งาน (A)
2. ค่า Inductor ที่ต้องการในการออกแบบ (L)

ขั้นตอนการออกแบบ

1. หาค่าของแรงดัน จากสูตร

$$V = 2\pi fLI \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาพื้นที่หน้าตัด(A_i) และขนาดของแกนเหล็ก (2I) โดยนำค่า V จากข้อ 1. และค่ากระแส (A) ที่กำหนดมาแทนในสูตร

$$A_i = \frac{\sqrt{VA/2}}{5.58} \tag{2.39}$$

โดยที่ A_i คือพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่มีหน่วยเป็นตารางนิ้ว

3. หลังจากนั้นนำค่าแรงดันที่ได้จากข้อ 1. และพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากข้อ 2. ไปหาจำนวนรอบของลวด (N) ที่ใช้ในการพัน จากสูตร

$$V = 4.44f.N.B.A_i.(2.54)^2.10^{-4} \tag{2.40}$$

4. หาขนาดของลวดที่ใช้ในการพัน (A_W) จากสูตร

$$A_W = \frac{I}{J} \tag{2.41}$$

โดยที่ J คือ ค่า Current Density มีหน่วยเป็น (A / mm^2)

A_W คือ พื้นที่หน้าตัดลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น (mm^2)

I คือ กระแส มีหน่วยเป็น (A)

5. จากนั้นหาค่าพื้นที่หน้าตัดรวมของลวด ($A_{W(total)}$) จากสูตร

$$A_{W\,(total)} = N \times A_W \tag{2.42}$$

โดยที่ $A_{W(total)}$ มีหน่วยเป็น mm^2

6. หาค่าพื้นที่ใช้งานจริง หรือเรียกว่าพื้นที่หน้าต่าง (A_R) จากสูตร

$$A_R = 3a^2 * 25.4^2 \tag{2.43}$$

โดยที่ A_R มีหน่วยเป็น mm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดรวมของลวดที่ได้จากข้อ 5 และพื้นที่ใช้งานจริงที่ได้จากข้อ 6 ว่าสามารถพันลวดลงได้หรือไม่ หรือจากเงื่อนไข

$$A_{W\,(total)} < 0.5A_R \tag{2.44}$$

หมายเหตุ ถ้าหากตรวจสอบแล้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจะต้องปรับพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก (A_i) โดยที่เราคงค่าขนาดของแกนเหล็ก (2I) และเปลี่ยนความหนาของแกนเหล็กเพิ่มขึ้น แทนแล้วกลับไปคำนวณหาจำนวนรอบ (N) ตามข้อ 3 ใหม่ โดยที่ ค่า A_i ใหม่ในสูตรแล้วแทนค่า และทำตามขั้นตอนต่อไป

8. หาค่าของช่องว่างอากาศ (gap) จากสูตร

$$g = \frac{N^2 \mu_0 A_i}{2L} \tag{2.45}$$

2.5.4 การคำนวณค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (THD) และค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ในการคำนวณหาค่าความผิดเพี้ยนนั้น จะพบว่าทั้งแรงดันและกระแสจะเกิดการผิดเพี้ยนขึ้น แต่แรงดันจะมีน้อยจึงคิดถึงแต่เฉพาะกระแส โดยค่าที่ใช้วัดความผิดเพี้ยนคือค่า THD โดยพิจารณาดังสมการ

$$i_{dis}(t) = i_s(t) - i_{s1}(t) = \sum_{h\neq 1} i_{sh}(t) \tag{2.46}$$

เมื่อ $i_{dis}(t)$ คือ องค์ประกอบของกระแสที่ผิดเพี้ยนที่เวลาใดๆ

$i_s(t)$ คือ กระแสรวมจากแหล่งจ่ายที่เวลาใดๆ

$i_{s1}(t)$ คือ องค์ประกอบของกระแสที่มีความถี่มูลฐานที่เวลาใดๆ

$i_{sh}(t)$ คือ กระแสในแต่ละฮาร์มอนิกส์จากแหล่งจ่ายที่เวลาใดๆ

h คือ ลำดับของฮาร์มอนิกส์

เมื่อพิจารณากระแสเป็นค่า rms. (root mean square) จะได้ดังสมการ

$$I_{dis} = \left[I_s^2 - I_{s1}^2\right]^{1/2} = \left[\sum_{h\neq 1} I_{sh}^2\right]^{1/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.47)

เมื่อ I_{dis} คือ ค่า rms ของ $i_{dis}(t)$

I_s คือ ค่า rms ของ $i_s(t)$

I_{s1} คือ ค่า rms ของ $i_{s1}(t)$

I_{sh} คือ ค่า rms ของ $i_{sh}(t)$

โดยค่า THD หาได้จาก

$$\%THD = 100 \times \frac{I_{dis}}{I_{s1}} \tag{2.48}$$

$$\%THD = 100 \times \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}} \tag{2.49}$$

$$\%THD = 100\,x\,\frac{\sqrt{\sum_{h\neq 1} I_{sh}^2}}{I_{s1}} \tag{2.50}$$

และค่า PF หาได้จาก

$$PF = \frac{P}{S} \tag{2.51}$$

$$= \frac{V_s I_{s1} \cos\phi}{V_s I_s} \tag{2.52}$$

$$= \frac{I_{s1} \cos\phi}{I_s} \tag{2.53}$$

เมื่อ P คือ กำลังงานจริง

S คือ กำลังงานปรากฏ

V_s คือ แรงดันที่แหล่งจ่าย

ϕ คือ มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแสที่ความถี่มูลฐาน

และเมื่อ DPF (Displacement Power Factor) มีค่าเท่ากับ COSϕ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} DPF \tag{2.54}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} DPF \tag{2.55}$$

โดยตามข้อกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมนั้น PF ต้องไม่ต่ำกว่า 0.85 และค่า $\%THD_s$ จะต้องไม่เกิน 30 %

2.5.5 คุณสมบัติและประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Parameter)

การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ต้องคำนึงถึงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจร (System Efficiency)

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

2. ลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านหลอด (Lamp Input Current Wave Sharpes)

ทั้งนี้การวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอด เพื่อต้องการหาค่า The Lamp Current Crest Factor ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของกระแส (Peak Current) เทียบกับค่ากระแสอาร์เอ็มเอส (Rms Current) ที่ไหลผ่านหลอด จากมาตรฐานของ American Nation Standards Institute (ANSI) ค่า Current Crest Factor (CCF) ต้องไม่เกิน 1.7 $\sqrt{2}$ โดยที่ค่ากระแสไหลผ่านหลอดหากเป็นรูปคลื่น Sine แล้ว ค่า Current Crest Factor จะมีค่าเท่ากับ ทั้งนี้หากค่า Current Crest Factor สูงเป็นผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง

3. ลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านหลอด (Lamp Input Voltage Wave Shapes)

หน่วยวัดคุณสมบัติที่ดีของบัลลาสต์อีกอย่างคือ Voltage Crest Factor (VCF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของแรงดัน หารด้วยค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดัน ตามสูตรนี้

$$VCF = \frac{V_{pk}}{V_{rms}} \tag{2.56}$$

ทั้งนี้โดยปกติสำหรับรูปคลื่นแรงดันที่เป็นรูป Sine โดยสมบูรณ์จะได้ค่าVCF เป็น $\sqrt{2}$ สำหรับบัลลาสต์โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 2.0 ซึ่งจะประกอบไปด้วยฮาร์มอนิกส์ที่ 3 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่แกนเหล็กเข้าสู่ช่วงการอิ่มตัว (Saturation Region) เนื่องจากได้รับการจ่ายค่าแรงดันด้านเข้า (Input) ขณะหลอดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ฮาร์มอนิกส์ (Harmonic Current)

การที่รูปคลื่นไม่เป็น Sine โดยแท้จริงนั้น จะต้องประกอบไปด้วยฮาร์มอนิกส์ที่สูงกว่าฮาร์มอนิกส์พื้นฐาน 50 Hz ในกรณีที่รูปคลื่นกระแสเป็น Sine โดยแท้จริง ค่ากระแสในนิวตรอน (Neutral Line) ในวงจรสามเฟสจะเป็นศูนย์ และทั้งนี้ถ้าค่าฮาร์มอนิกส์ที่ 3 ไม่ได้ถูกหักลบกันพอดีในทั้งสามเฟสก็จะมีค่ากระแสไหลผ่านในนิวตรอน นอกจากนี้ยังจะทำให้เกิดสัญญาณไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆได้ด้วย เพราะฉะนั้นในการออกแบบบัลลาสต์ควรจะทำให้เกิดผลของฮาร์มอนิกส์น้อยที่สุด

5. การกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ConductedRadiated Tromagnetic Energy)

การที่วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz เป็นกระแสไฟฟ้าตรงแล้วใช้การสวิตช์ ความถี่สูงไปจุดหลอดนั้น ค่าพลังงานความถี่สูงและความถี่ฮาร์มอนิกส์อาจย้อนกลับเข้าแหล่งจ่ายค่ากระแสได้ และไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆที่ต่ออยู่กับสายไฟเส้นนี้รวมไปถึงจะเกิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ไปในอากาศ ซึ่งอาจนำไปสู่การรบกวนอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายได้

6. ค่าความสว่าง (Light Output)

การที่จะวัดประสิทธิภาพของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถวัดได้จากค่าพลังงานด้านเข้าเพียงอย่างเดียว ต้องมีการตรวจประสิทธิภาพของแสงสว่าง ที่ได้จากวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เทียบกับค่าความสว่างที่โรงงานผู้ผลิตหลอดกำหนดหรือที่เรียกว่าบัลลาสต์แฟคเตอร์ (Ballast Factor) โดยปกติบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการรับรอง และได้ Certificate Ballast Manufacturers (CBM) นั้นต้องมีค่าบัลลาสต์แฟคเตอร์อย่างน้อย $95 \pm 2.5\%$ ที่วัดได้จากหลอดที่อยู่ในมาตรฐานของ ANSI

7. Regulation

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ดีนั้น ต้องสามารถที่จะทำงานได้ในกรณีที่ค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือลดลงในช่วง 10 %

8. คุณสมบัติการจุดหลอด (Starting Characteristic)

ค่าแรงดันสูงสุดในการจุดหลอดของหลอดมักกำหนดโดย ANSI ทั้งนี้หากมากเกินกำหนดจะมีผลโดยตรงให้อายุการใช้งานหลอดสั้นลง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการออกแบบที่ดี จะมีการอุ่นไส้หลอดคาโทด (Cathode) และควบคุมแรงดันการจุดหลอดไม่ให้เกินข้อกำหนดของ ANSI

9. เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)

ลักษณะรูปร่างและเฟสของค่ากระแสสลับ และแรงดัน จะเป็นตัวกำหนด ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) โดยที่มี The Inductance Chokes ที่ทำหน้าที่ในการจำกัดค่ากระแสไหลผ่านหลอด นอกจากนี้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้รูปคลื่นไม่เป็น Sine จะเป็นผลให้ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ลดลง

10. ค่าพลังงานอุ่นไส้หลอด (Filament Power)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอุ่นไส้หลอดที่ขั้วคาโทด (Filaments) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยปกติตามข้อกำหนดของ ANSI นั้นระบุควรมีการอุ่นไส้ตลอดเวลา โดยการให้มีแรงดันตกคร่อมที่ไส้หลอดประมาณ 2.5 – 4.1 โวลต์ ทั้งนี้วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่มีการตัดการอุ่นไส้หลอดภายหลังที่หลอดได้ทำงานแล้ว ซึ่งก็สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 4 วัตต์ สำหรับวงจรที่มีการตัดหลอด 2 หลอดที่ใช้งานพร้อมกัน แต่จะเป็นผลให้อายุการใช้งานของหลอดสั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดที่ทำงานที่ความถี่ 50 Hz โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรที่สามารถปรับลดแสงสว่างได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการอุ่นไส้ตลอดเวลา

11. การกระพริบ (Flicker)

จะกระพริบมากเมื่อทำงานที่ความถี่ 50 Hz แต่เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ทำงานที่ความถี่สูงมาก ดังนั้นปัญหาของการกระพริบจะหมดไปโดยอัตโนมัติ

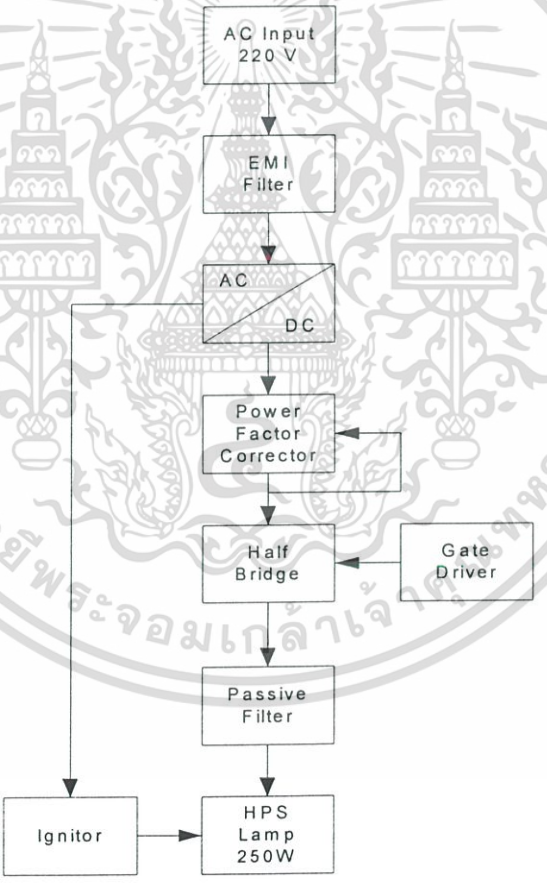
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบวงจรที่นำเสนอ

เนื้อหาของบทนี้เป็นการอธิบายวงจรของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ และส่วนประกอบการทำงานต่างๆ โดยจะแสดง Block Diagram , รายละเอียดของวงจร และหลักการทำงานของวงจร

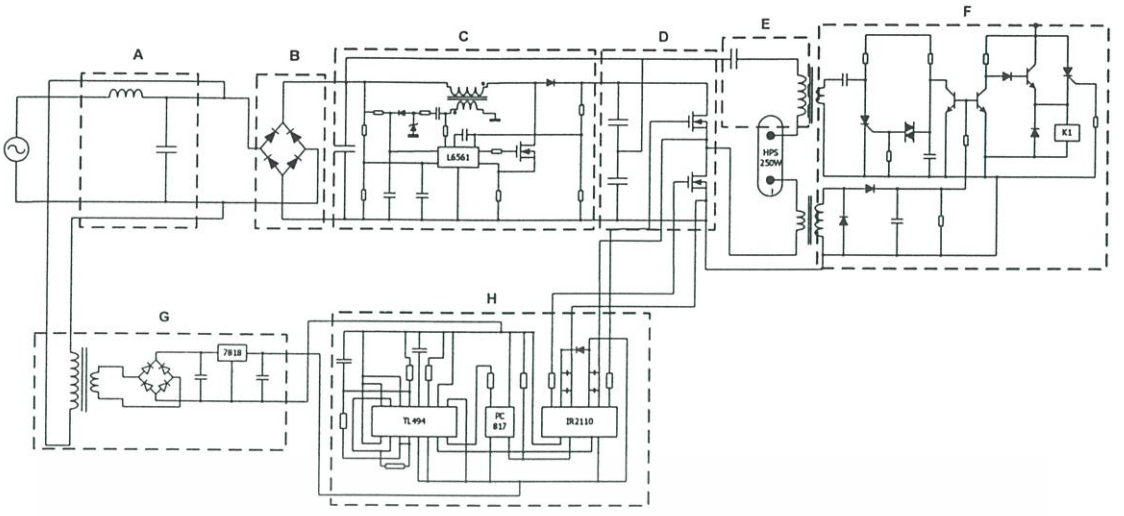
3.1 แผนภาพรวมของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอสำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ (250 Watt High Pressure Sodium Lamp) นั้นมีส่วนประกอบที่สามารถแสดงด้วย Block Diagram ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Block Diagram แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

โดยที่ วงจร A คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Filter : EMI FILTER)

วงจร B คือ วงจรคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)

วงจร C คือ วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Corrector : PFC)

วงจร D คือ วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

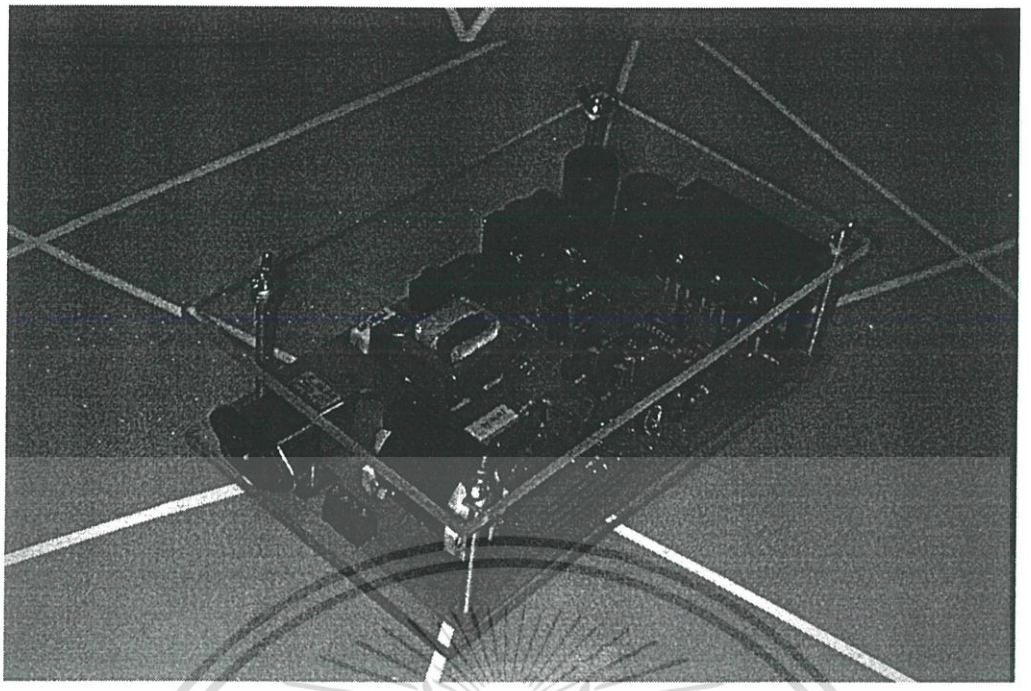
วงจร E คือ วงจรกรองสำหรับความถี่สูง (Passive Filter for High Frequency)

วงจร F คือ วงจรจุดหลอด (Ignitor)

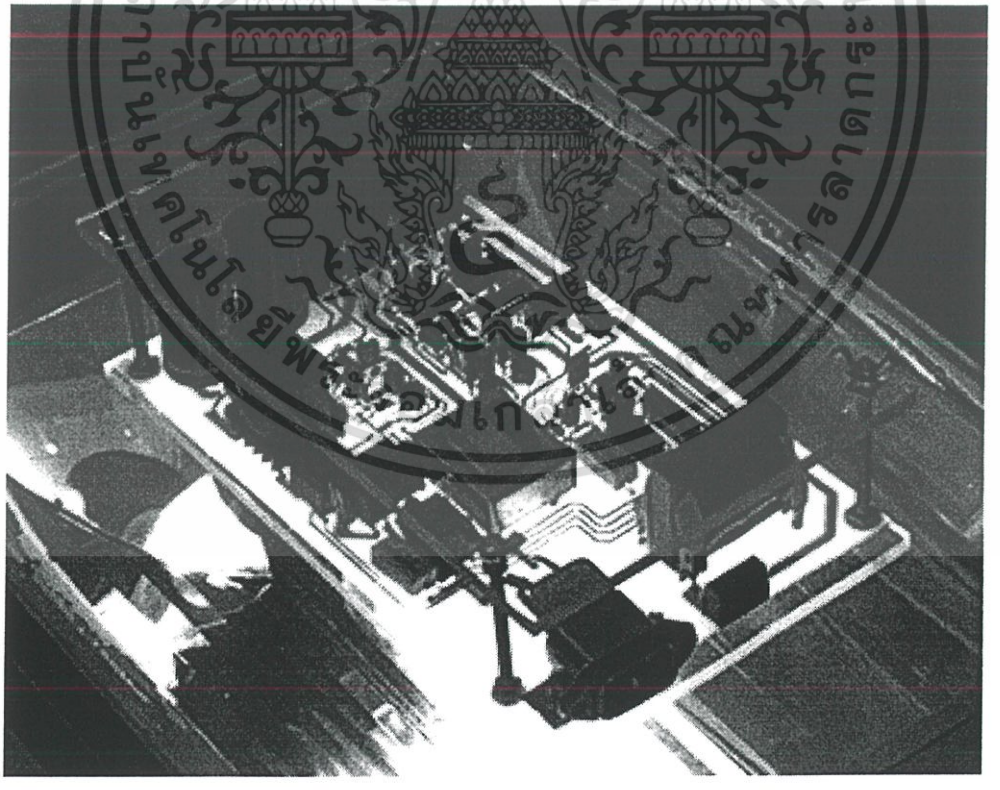
วงจร G คือ วงจรคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)

วงจร H คือ วงจรสร้างสัญญาณขับเกท (Gate Driver Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบรูปที่ 1

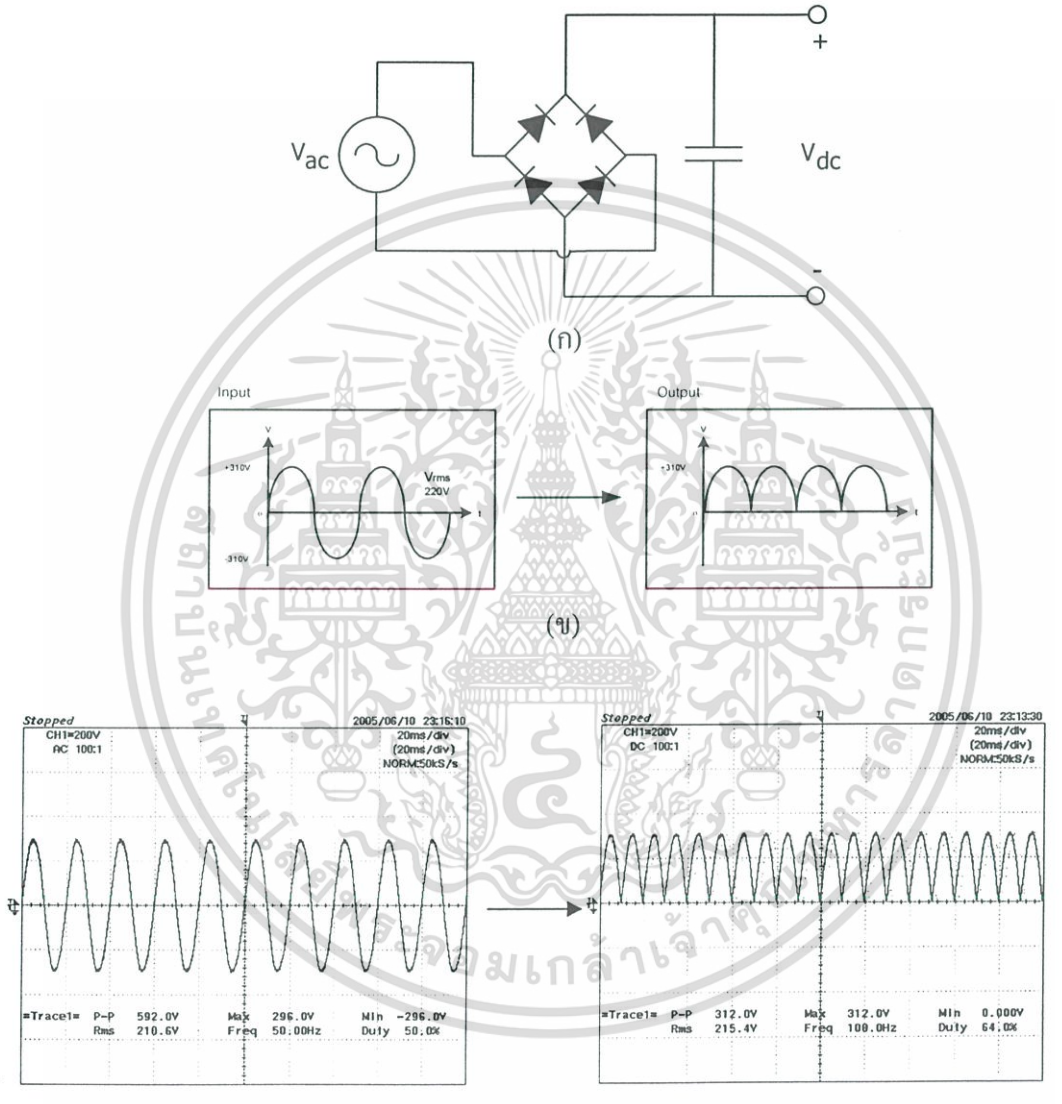


รูปที่ 3.4 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)

วงจรคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์ โดยใช้วงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier) ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดัน และนำตัวเก็บประจุมาต่อขนานทางด้านขาออกของวงจร แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ออกมานั้นจะมีลักษณะเป็น Full Wave ดังรูปที่ 3.5



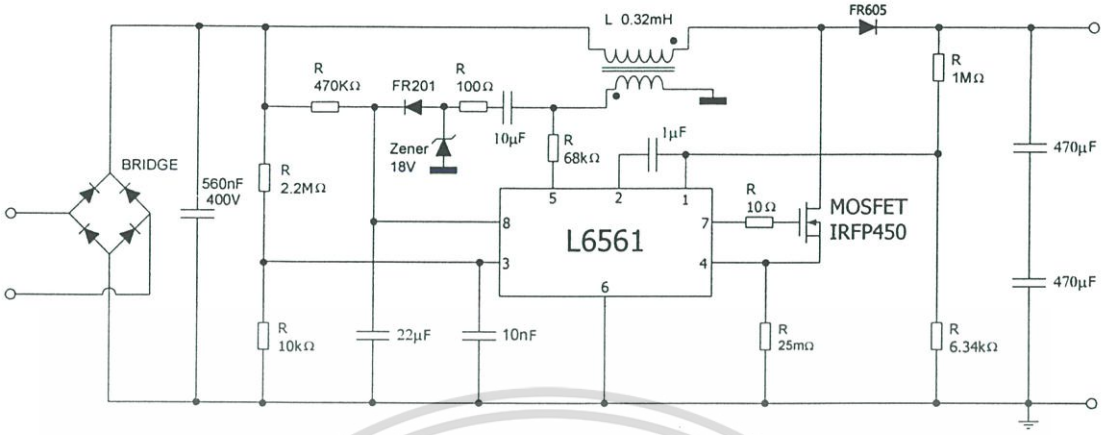
รูปที่ 3.5 (ก) วงจร AC-DC Converter

(ข) สัญญาณจากการSimulation

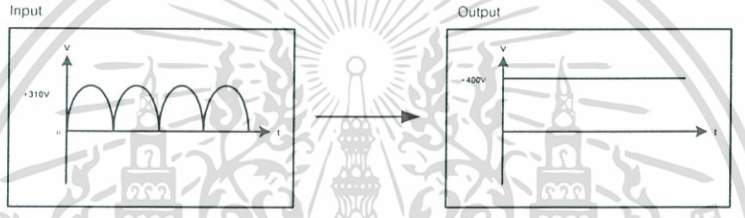
(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope (200 V/div , 20 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

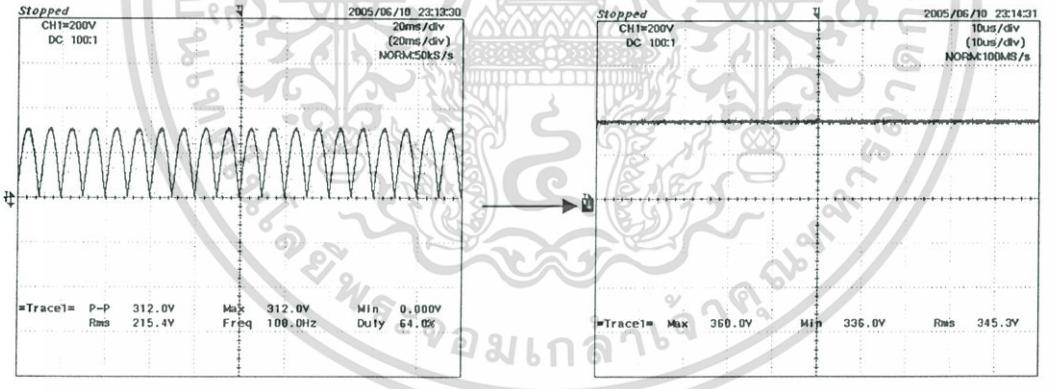
3.3 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Corrector : PFC)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 (ก) วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

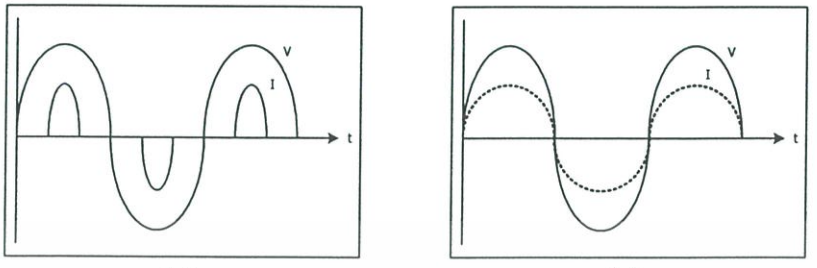
(ข) สัญญาณจากการ Simulation

(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope (200 V/div , 20 ms/div , 10 µs/div)

ในการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ตามข้อ 3.2 เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงที่มีการต่อตัวเก็บประจุเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันเอาท์พุทนั้น พบว่าค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพียง 0.5-0.7 เท่านั้น รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุท (THDi) ก็จะมีค่าสูง เนื่องจากกระแสจะมีการไหลก็ต่อเมื่อแรงดันที่แหล่งจ่ายมีค่ามากกว่าแรงดันที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุเท่านั้น ทำให้รูปคลื่นกระแสของระบบไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ดังรูปที่ 3.7 (ก)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.7 (ก) คลื่นแรงดันและกระแสเมื่อไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง
(ข) คลื่นแรงดันและกระแสเมื่อมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

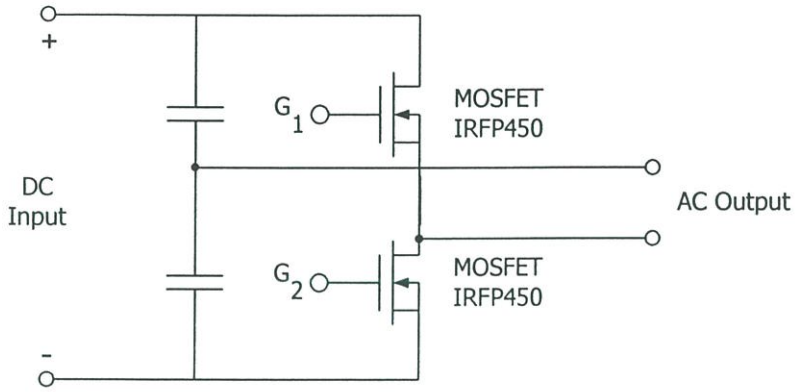
ดังนั้นจึงได้นำวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ดังรูปที่ 3.6 (ก) มาช่วยในการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Corrector:PFC) [3] [11] โดยวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังจะทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันให้สูงกว่าระดับแรงดันที่เก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุ ที่ 400 โวลต์ โดยใช้การทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่งที่ความถี่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลของกระแสที่ต่อเนื่องในจังหวะที่เกิดการปิดของอุปกรณ์สวิตชิ่งจะทำให้กระแสมีการไหลอย่างต่อเนื่องจากแหล่งจ่ายและมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากขึ้น ดังรูปที่ 3.7 (ข)

ในงานวิจัยนี้มีการใช้ IC L6561 มาช่วย [12] ในการควบคุมแรงดันทางด้านขาออกของวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ให้คงที่ตลอดเวลาที่ 400 โวลต์ โดยวงจร Power Factor Controller ที่ใช้ออกแบบตาม Application note ของ IC L6561

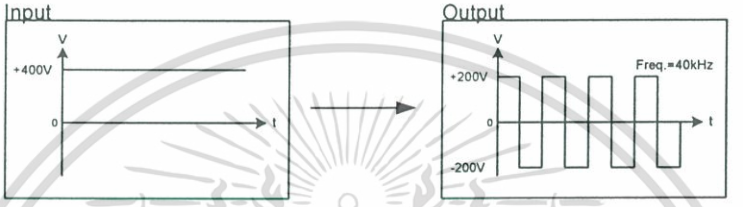
3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ในงานวิจัยนี้ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์ [1] [12] [13] ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็น แรงดันกระแสสลับโดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่ง 2 ตัว สลับช่วงการนำกระแสไฟฟ้า ทำงานตัวละครึ่งคาบเวลา โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีขนาดเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้าสู่วงจร

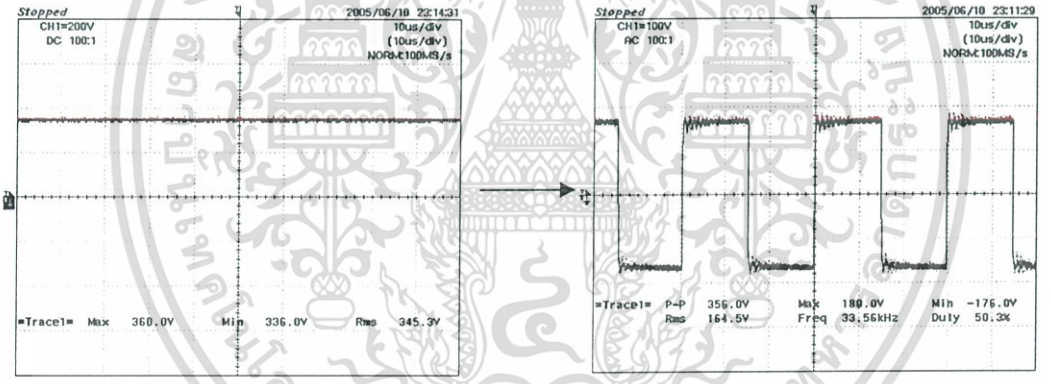
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.8 (ก) วงจร Half Bridge Inverter

(ข) สัญญาณจากการ Simulation

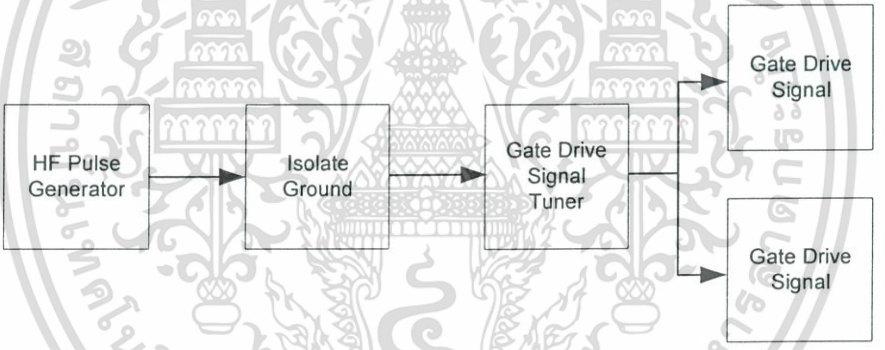
(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope (200 V/div , 100 V/div , 10 μs/div)

งานวิจัยนี้อุปกรณ์สวิตชิ่งที่ใช้เป็นชนิด MOSFET เบอร์ IRFP 450 เป็นตัวสวิตชิ่ง [12] เนื่องจากตอบสนองการทำงานในความถี่สูงได้ดี มีความสูญเสียขณะสวิตชิ่งต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

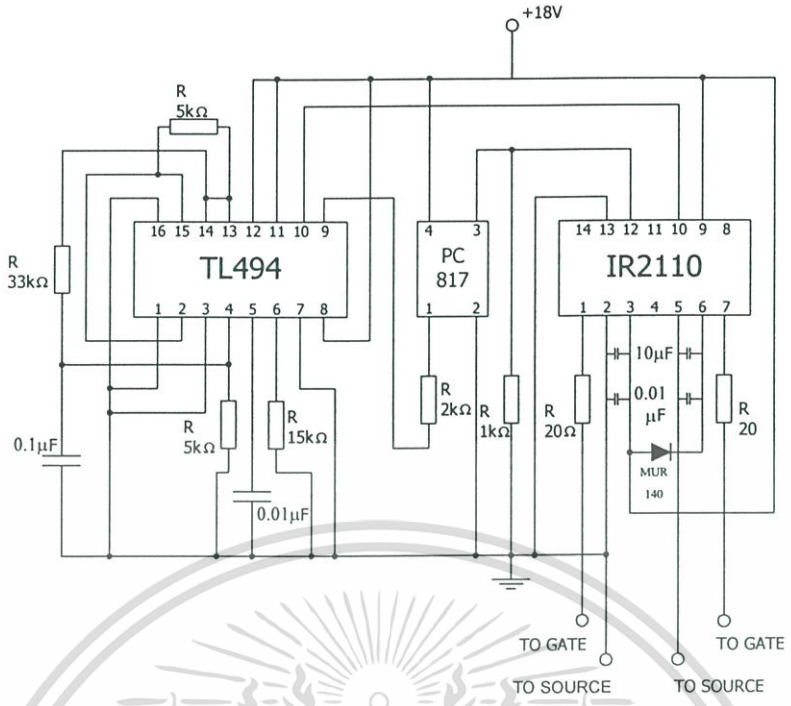
3.5 วงจรสร้างสัญญาณขับเกท (Gate Driver Circuit)

วงจรนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเพื่อทริกขาเกทของ MOSFET ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ งานวิจัยนี้ใช้ความถี่สวิตชิ่งที่ขนาดความถี่ 40kHz [11] ที่สร้างมาจาก IC เบอร์ TL494 [12] จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้นำมาผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Opto Couple เบอร์ PC817 เพื่อทำการแยกกราวด์ เพื่อจะนำไปทริกขาเกทของอุปกรณ์สวิตชิ่ง 2 ตัว ซึ่งต้องการอิสระทางไฟฟ้าต่อกัน แต่สัญญาณที่ได้ออกมานั้นไม่สามารถนำไปทริกขาของอุปกรณ์สวิตชิ่งได้เนื่องจากความสามารถของ Opto Couple ทำให้สัญญาณที่ได้มีช่วงเวลาขาขึ้นและ ช่วงเวลาขาลงมีความผิดเพี้ยนจากที่ได้ของ TL494 จึงต้องนำสัญญาณที่ได้มาปรับแต่งสัญญาณโดยใช้คุณลักษณะของอุปกรณ์ IC เบอร์ IR2110 [11] [12] พร้อมทั้งนำ Zener Diode ต่อกับวงจร เพื่อให้ค่าสัญญาณที่พร้อมจะนำไปขับขาเกทของอุปกรณ์สวิตชิ่งในวงจรอินเวอร์เตอร์มีค่าเป็น +13Volt ในซีกบวกและ –5Volt ในซีกลบของสัญญาณดังรูปที่ 3.10 เหตุผลที่ต้องทำสัญญาณให้อยู่ในรูป แบบนี้ เพื่อต้องการให้อุปกรณ์สวิตชิ่งมีช่วงเวลาคายประจุที่สะสมไว้ในขณะทำการเปิดวงจรให้หมดก่อนที่จะทำการเปิดวงจรครั้งต่อไป

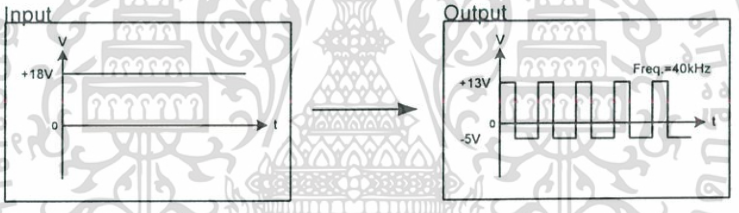


รูปที่ 3.9 Block Diagram ของวงจรสร้างสัญญาณขับเกท

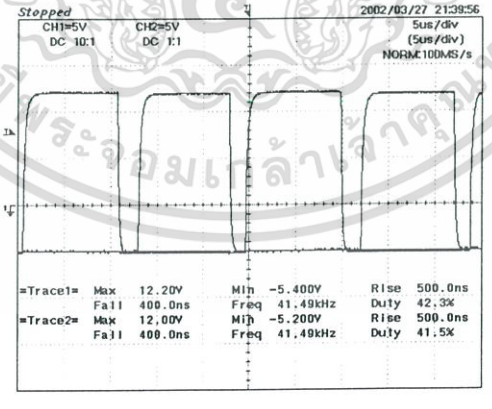
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.10 (ก) วงจรสร้างสัญญาณขับเกท (Gate Driver Circuit)

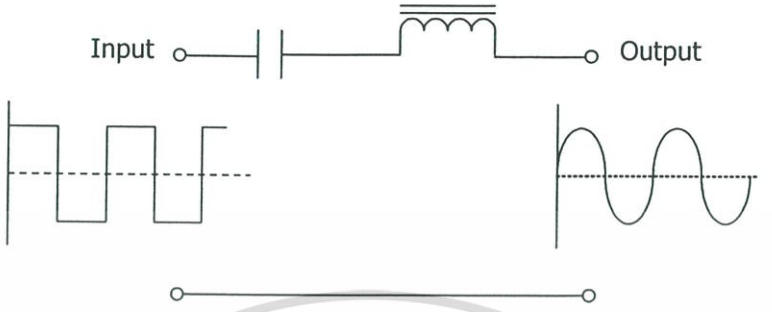
(ข) สัญญาณจากการ Simulation

(ค) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope (5 V/div , 5 μs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรกรองสำหรับความถี่สูง (Passive Filter for High Frequency)

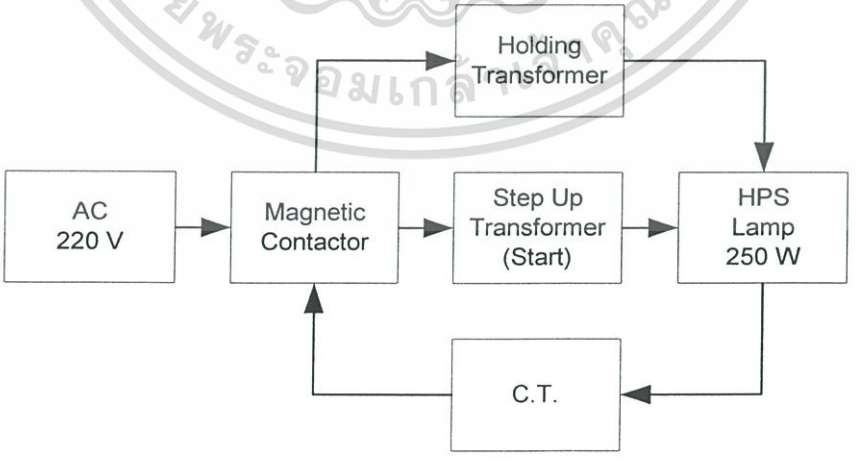
เป็นวงจรซึ่งทำหน้าที่กรองสัญญาณรูปพัลส์ที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 3.11 เพื่อให้สัญญาณที่จะจ่ายให้กับหลอดมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์มากขึ้น



รูปที่ 3.11 วงจรกรองสำหรับความถี่สูง (Passive Filter for High Frequency)

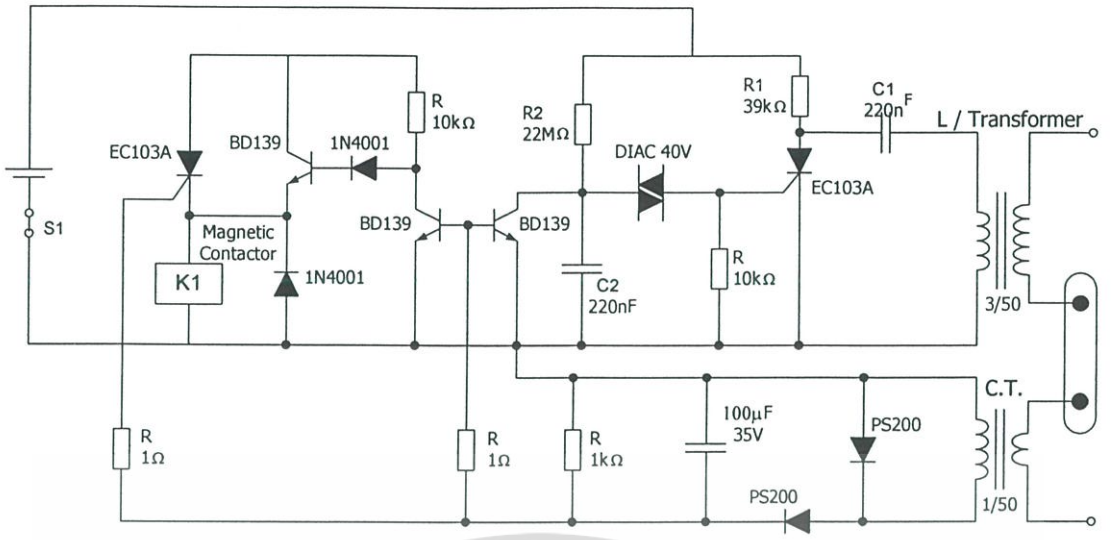
3.7 วงจรจุดหลอด (Ignitor)

วงจรจุดหลอดในงานวิจัยนี้ การทำงานเป็นแบบ Single trig [1] [12] โดยสามารถให้กำเนิดแรงดันมากกว่า 3,000 โวลท์ เพื่อใช้ในการจุดหลอดและเมื่อหลอดติด กระแสไฟฟ้าจะไหลครบวงจร ขดลวดของ C.T. จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนกับเซ็นเซอร์เหนี่ยวนำและส่งสัญญาณไปยังหน้าสัมผัส (Magnetic Contactor) ให้ทำการสวิตซ์ เปลี่ยนการใช้หม้อแปลงเป็น Holding Transformer เพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงพอที่ทำให้หลอดไม่ดับ ซึ่งการทำงานของตัวจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก จะมีการสร้างสัญญาณจุดหลอดขึ้นมาตลอดเวลาการทำงาน ทำให้เกิดการสูญเสียมากในการใช้งาน

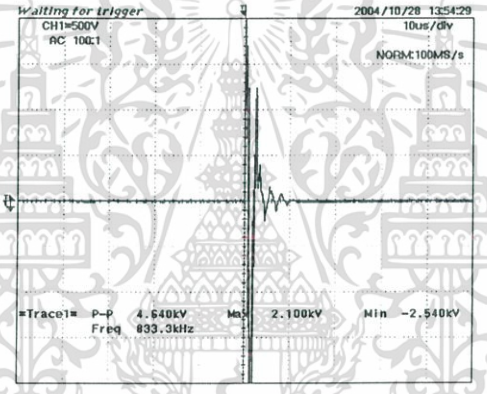


รูปที่ 3.12 Block Diagram ของวงจรจุดหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 (ก) วงจรจุดหลอด (Ignitor)
(ข) สัญญาณวัดจริงที่บันทึกจาก Oscilloscope (500 V/div , 10 μs/div)

จากรูปที่ 3.13 (ก) ขณะที่ยังไม่ได้ถูกจุดหลอด Capacitor C1 และ C2 จะถูกชาร์จผ่าน R1 และ R2 จนกระทั่งแรงดันตกคร่อม C2 เพิ่มมากขึ้นถึง Forward Breakover Voltage (V_{BR}) ของ DIAC ทำให้กระแสจาก C2 ไหลผ่านไปทริกขาเกทของ Thyristor ให้ทำงาน Capacitor C1 จะดิสชาร์จผ่าน Step up Transformer ทำให้เกิดกระแส Spike เพื่อทำการจุดหลอด

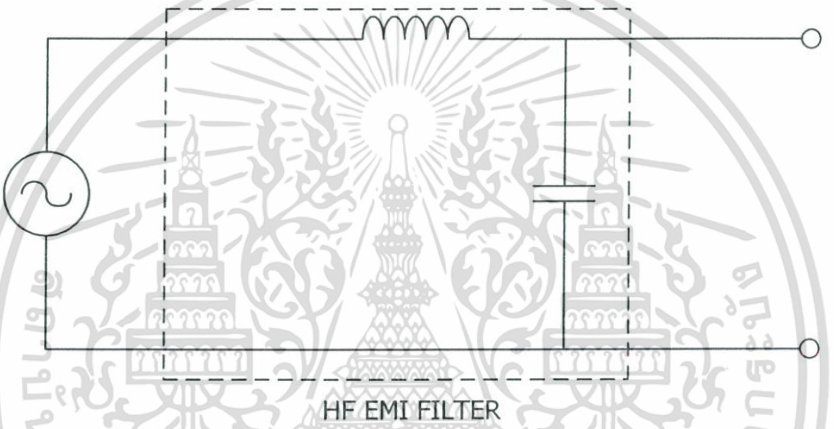
หลังจากหลอดติดแล้วจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน CT. โดยมีตัวต้านทานเป็นตัวจับกระแสไปทริกขาเกทของ Thyristor ทำให้กระแสไหลผ่านไปสู่ Coil ของ Magnetic Contactor K1 ทำให้หน้าสัมผัส S1 ตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจรจุดหลอดทำให้ไม่เกิดการสร้างแรงดันจุดหลอดขึ้นมาอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference Filter : EMI)

วงจร EMI Filter เป็นวงจรที่มีความสำคัญมากในงานทางด้าน Power Electronics มีบทบาทสำคัญในการกรองและลดทอนสัญญาณความถี่ฮาร์มอนิกส์ (Harmonic) ในลำดับต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสวิตชิ่งในระบบต่างๆทำให้ค่า %THD ของระบบลดลง อีกทั้งยังสามารถช่วยลดผลการรบกวนคลื่นวิทยุ (RFI) ที่ความถี่ที่สามารถแพร่กระจายออกสู่อากาศหรือสายส่งไปยังระบบไฟฟ้ากำลัง

วงจร EMI Filter [17] ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น High Frequency EMI Filter [14] [15] แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบการทดสอบ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดสอบของงานวิจัยนี้ โดยแบ่งทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ ได้แก่

1. การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
2. การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. การทดสอบและบันทึกข้อมูลทางแสง

การที่ได้ออกแบบการทดสอบโดยแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เพื่อเพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบ , การบันทึก และการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์และสมมติฐานของการศึกษาที่ได้กล่าวไว้ในบทนำหรือไม่

ค่าองค์ประกอบต่างๆที่ทางไฟฟ้าต้องการบันทึกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า , กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของบัลลาสต์ , หลอด และระบบ รวมไปถึงแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด , ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) และค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุท (THDi)

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย เครื่อง Digital Oscilloscope ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL1520 , Power Analyzer ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น PZ4000 และ Power Meter

ส่วนการทดสอบข้อมูลทางแสงได้ทำการทดสอบและบันทึกผลจาก Gonio Photometer ณ ศูนย์ทดสอบและวิจัยวิศวกรรมการส่องสว่าง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMIT'L Illumination Research Center : IRC)

4.1 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

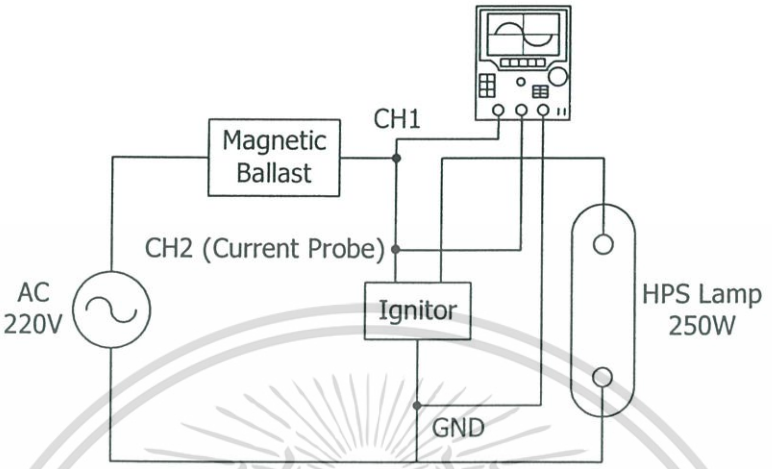
ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กนั้นจะแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.1.1 การวัดและบันทึกค่าแรงดันจุดหลอด

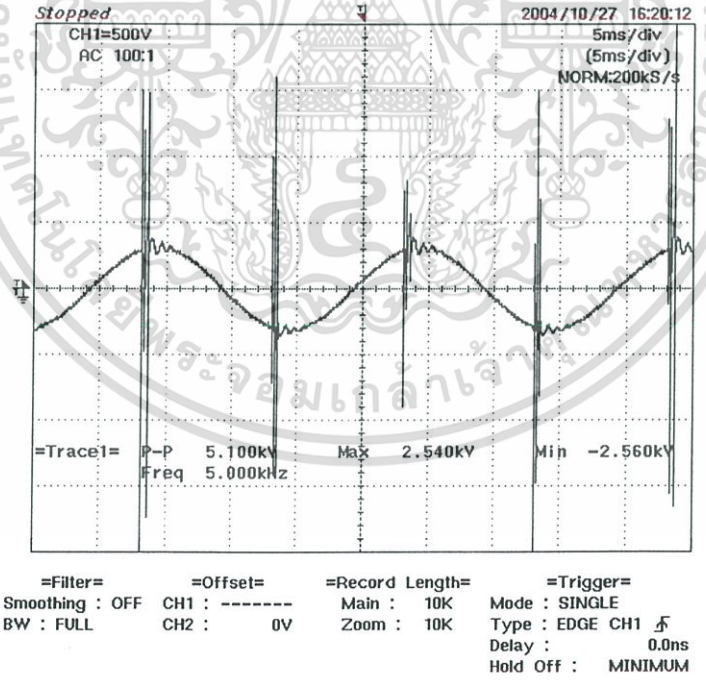
การวัดค่าแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กโดยทั่วไปมีลักษณะสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าคล้ายคลึงกันคือ จะมีการสร้างสัญญาณจุดหลอดขึ้นมาตลอดการใช้งาน ค่าแรงดันจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กที่วัดได้ แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การวัดค่าแรงดันจุดหลอดของ Ignitor เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก



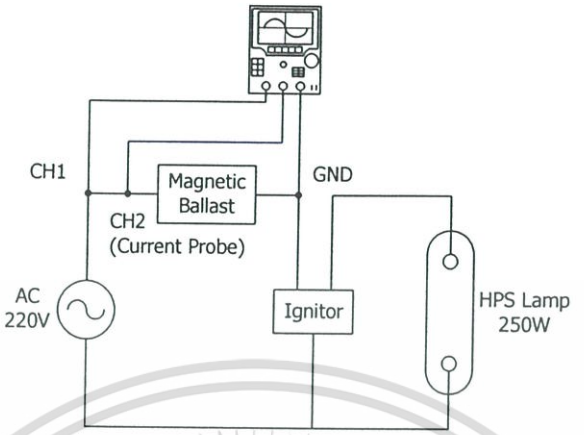
รูปที่ 4.2 แรงดันจุดหลอดจาก Ignitor เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(500 V/div , 5 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

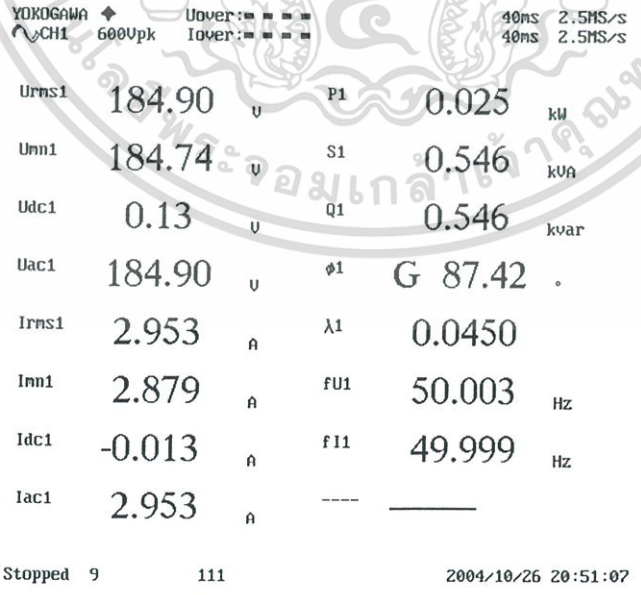
4.1.2 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์

การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.3



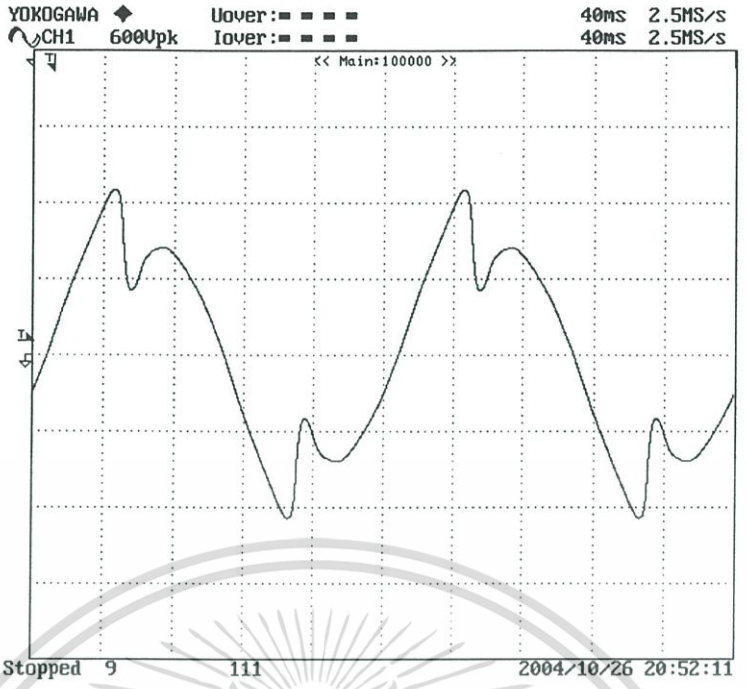
รูปที่ 4.3 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าที่บัลลาสต์ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.4
ค่าแรงดันตกคร่อมบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.5
ค่ากระแสไหลผ่านบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.6
ค่าแรงดันและกระแสของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.7
ค่ากำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.8



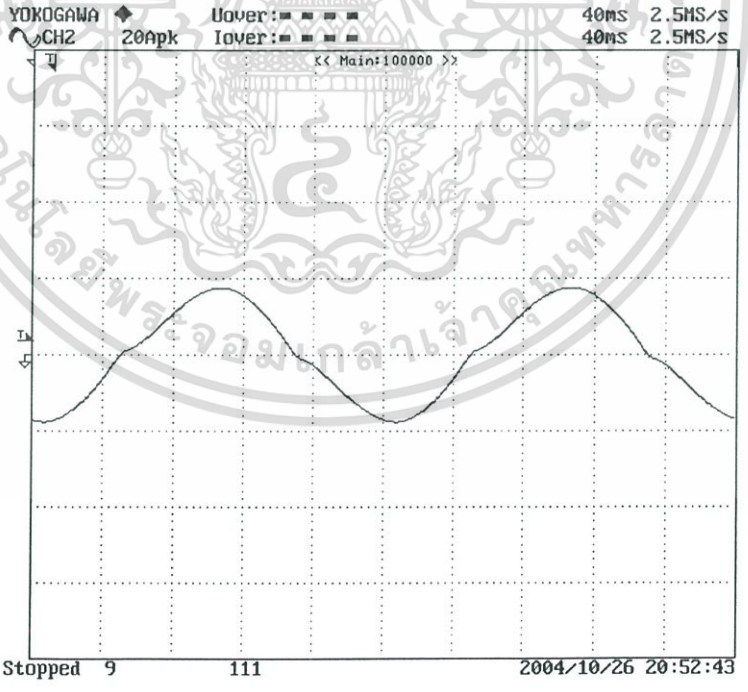
รูปที่ 4.4 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แรงดันตกคร่อมบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

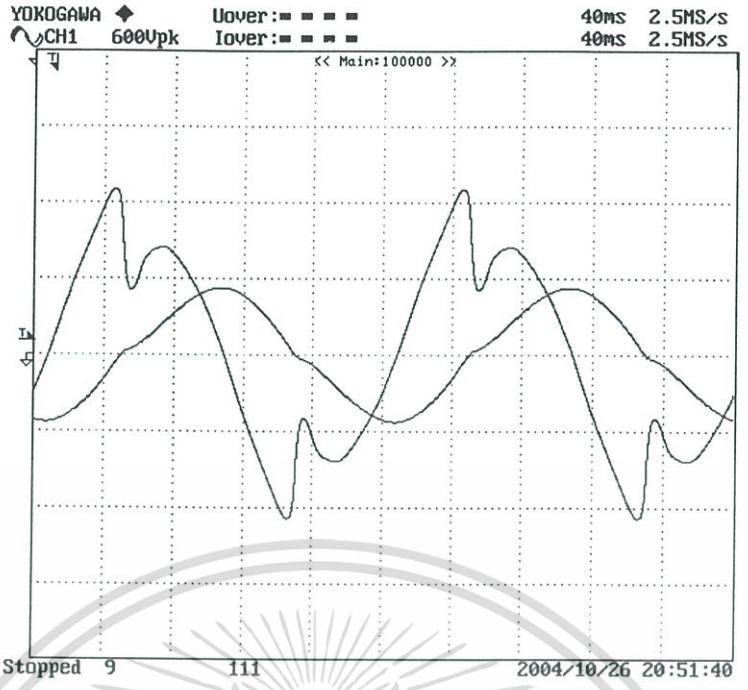
(150 V/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.6 กระแสไหลผ่านบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

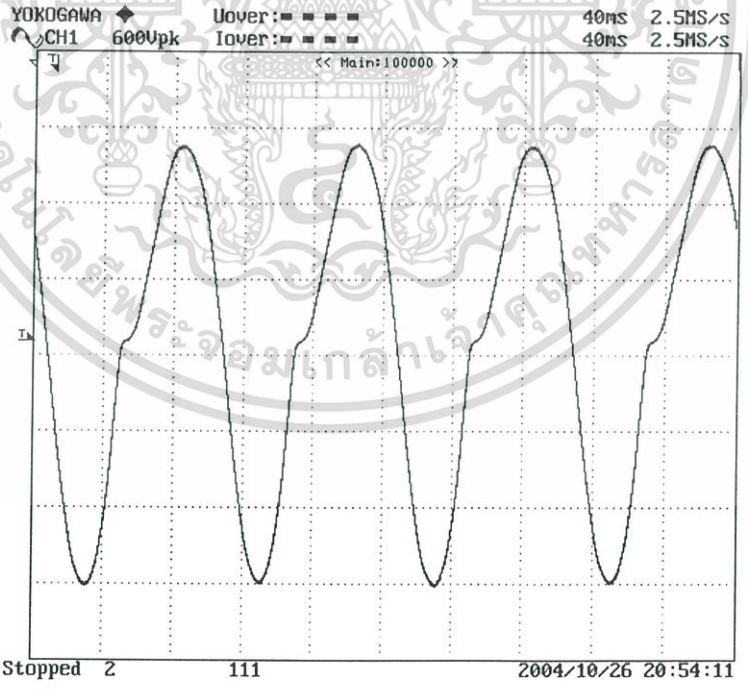
(5 A/div , 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แรงดันและกระแสของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(150 V/div , 5 A/div , 40 ms/div)



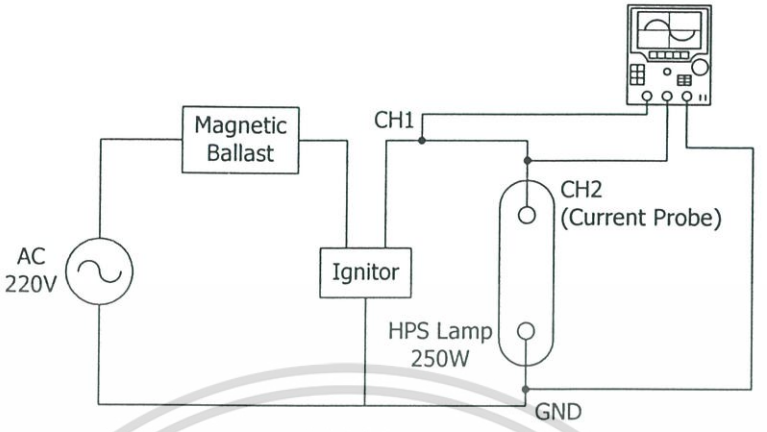
รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

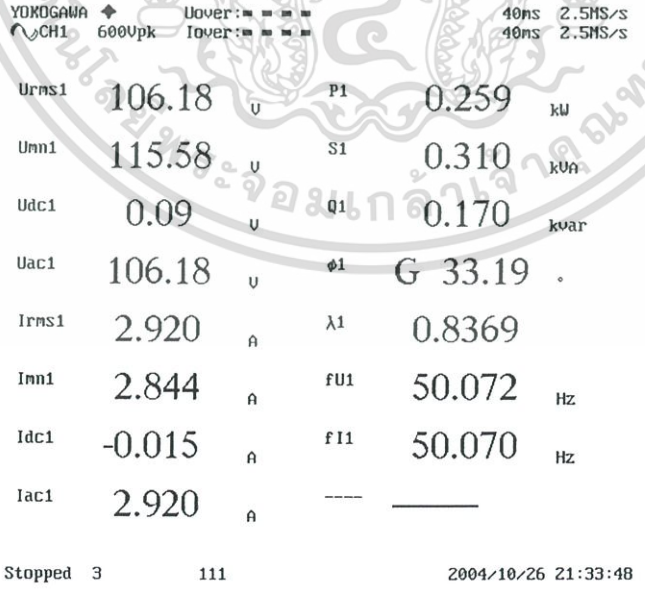
4.1.3 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด

การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.9



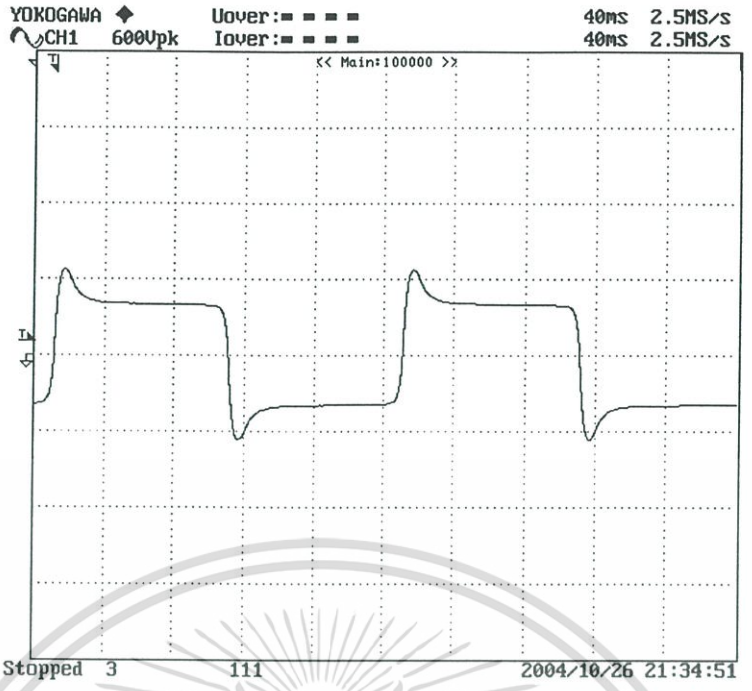
รูปที่ 4.9 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.10
ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.11
ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.12
ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.13
ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.14



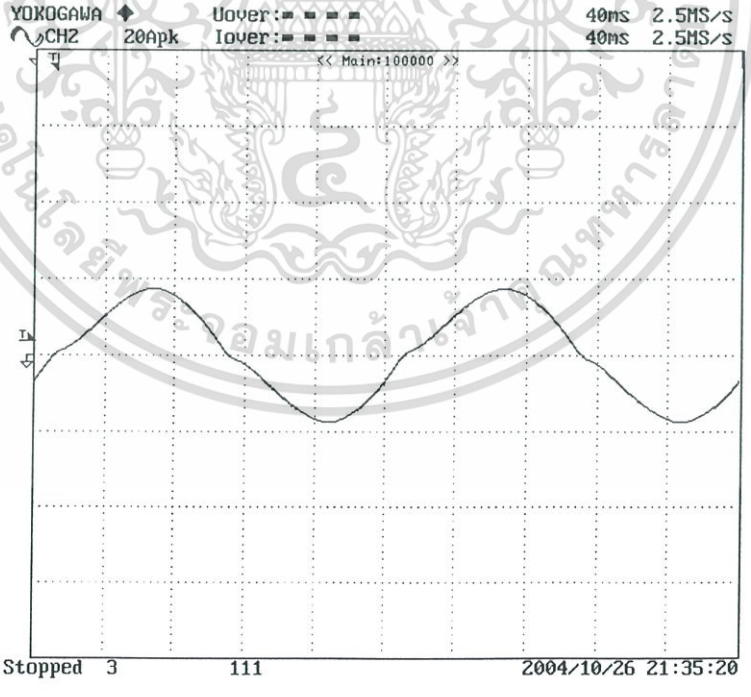
รูปที่ 4.10 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

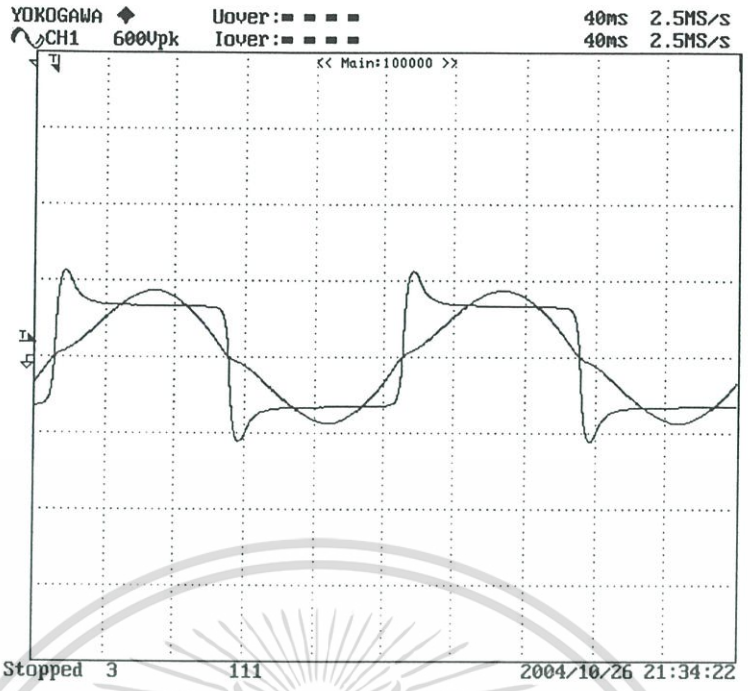
(150 V/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.12 กระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

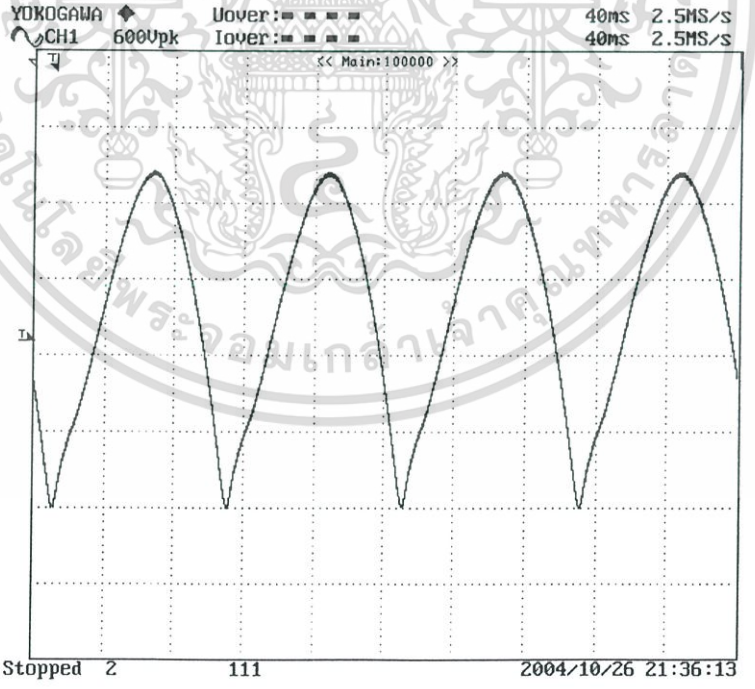
(5 A/div , 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(150 V/div , 5 A/div , 40 ms/div)



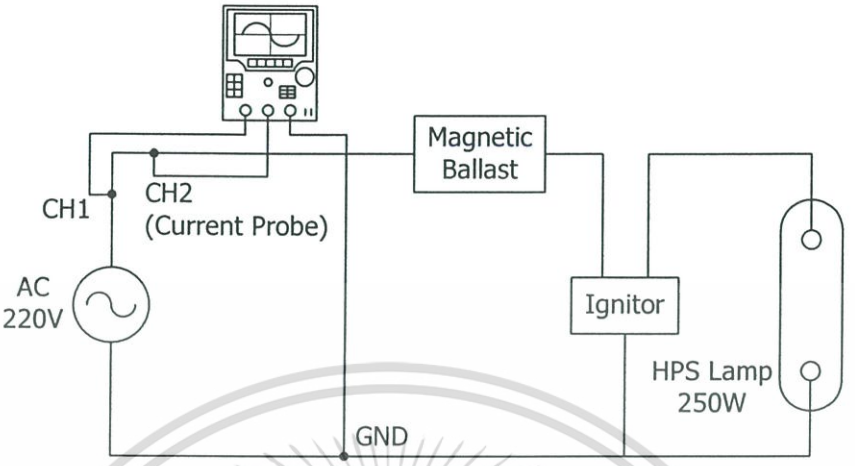
รูปที่ 4.14 ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การวัดและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ

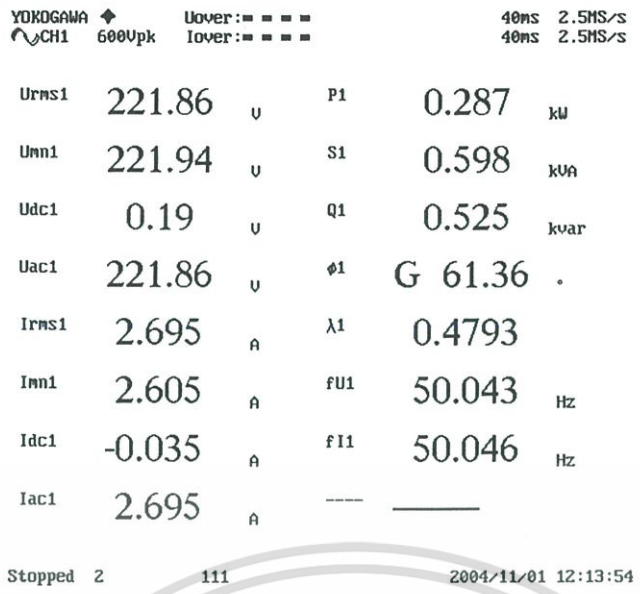
การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.15



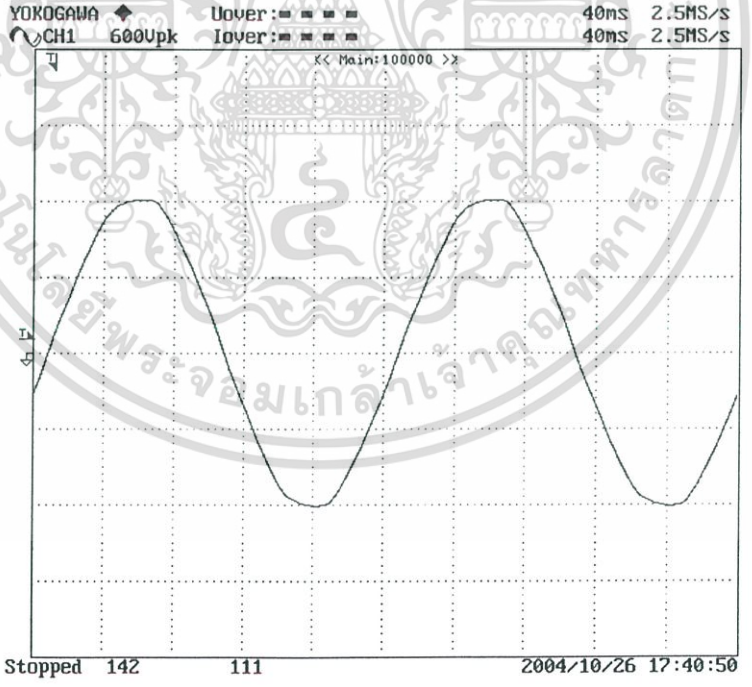
รูปที่ 4.15 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.16
ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.17
ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.18
ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.19
ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.20
การแปลง FFT ของกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.21
ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



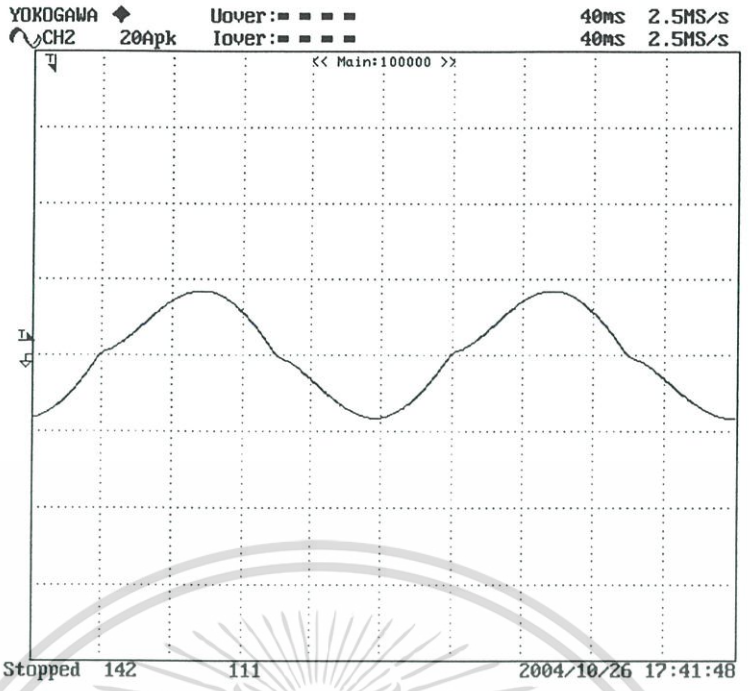
รูปที่ 4.16 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก



รูปที่ 4.17 แรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

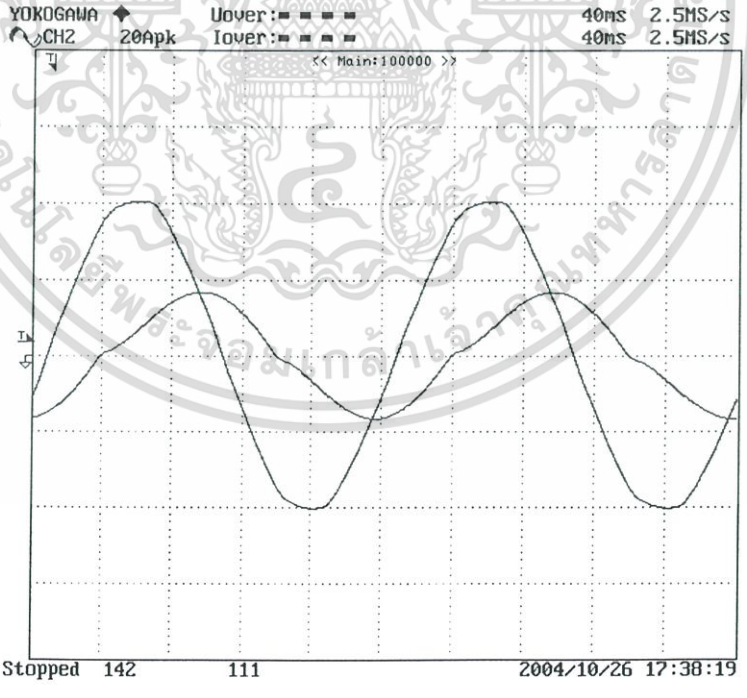
(150 V/div , 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

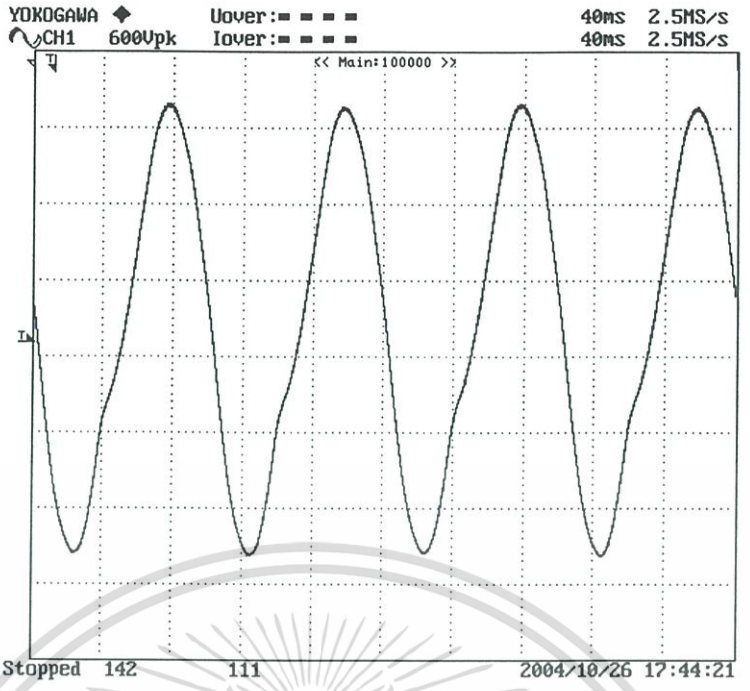
(5 A/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.19 ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

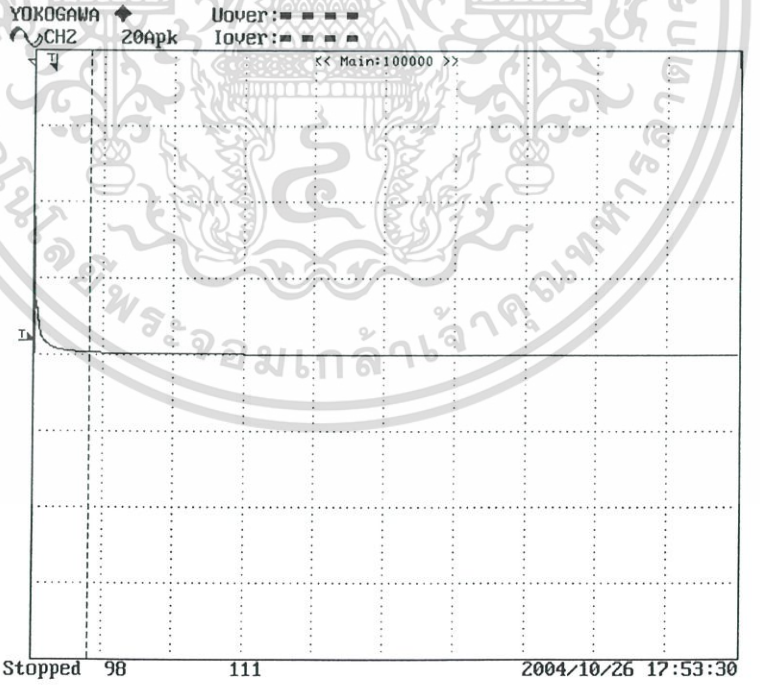
(150 V/div , 5 A/div , 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(40 ms/div)



รูปที่ 4.21 การแปลง FFT ของกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YOKOGAWA ◆ Uover:▬ ▬ ▬ ▬
CH2 20Apk Iover:▬ ▬ ▬ ▬

			***** U 1 List *****		***** I 1 List *****	
		Or.	U[V]	Hdf[%]	I[A]	Hdf[%]
PLL	CH1(U1)		216.80	---------	2.793	---------
Freq	50.020 Hz	dc	----------		dc ----------	
		1	216.78	99.99	2.781	99.59
U1	216.80 V	2	0.10	0.05	0.004	0.16
I1	2.793 A	3	0.31	0.14	0.233	8.35
P1	0.271kW	4	0.07	0.03	0.002	0.07
S1	0.603kVA	5	1.36	0.63	0.081	2.88
Q1	0.539kvar	6	0.05	0.02	0.002	0.07
λ1	0.4494	7	2.66	1.23	0.044	1.58
φ1	63.30 °	8	0.03	0.01	0.001	0.05
Uthd1	1.48 %	9	0.25	0.11	0.026	0.94
Ithd1	9.06 %	10	0.04	0.02	0.001	0.04
Pthd1	0.04 %	11	0.52	0.24	0.016	0.58
Uthf1	0.36 %	12	0.03	0.01	0.001	0.03
Ithf1	0.44 %	13	0.92	0.42	0.010	0.37
Utif1	10.30	14	0.02	0.01	0.001	0.02
Itif1	10.14	15	0.13	0.06	0.007	0.25
hvf1	0.57 %	16	0.03	0.01	0.000	0.02
hcf1	5.04 %	17	0.18	0.08	0.005	0.17
F1	---------	18	0.03	0.01	0.000	0.01
F2	---------	19	0.21	0.10	0.004	0.13
F3	---------	20	0.02	0.01	0.000	0.01
F4	---------	21	0.05	0.02	0.002	0.09
φU1-U2	---------	22	0.02	0.01	0.000	0.01

Stopped 98 111 2004/10/26 17:52:15

รูปที่ 4.22 ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

4.2 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (No PFC)

แบบที่ 2 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (PFC)

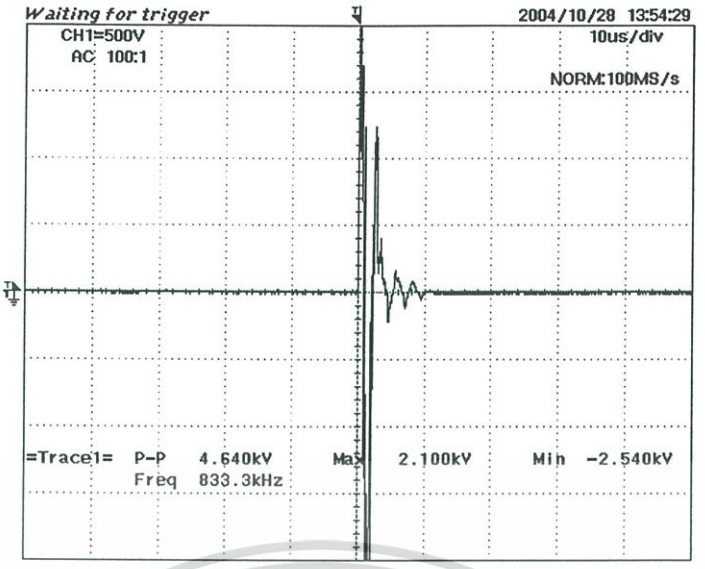
4.2.1 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (No PFC)

ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นจะแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.2.1.1 การวัดค่าแรงดันจุดหลอด

ค่าแรงดันจุดหลอดของวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีลักษณะสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบ Single Trig แสดงดังรูปที่ 4.23

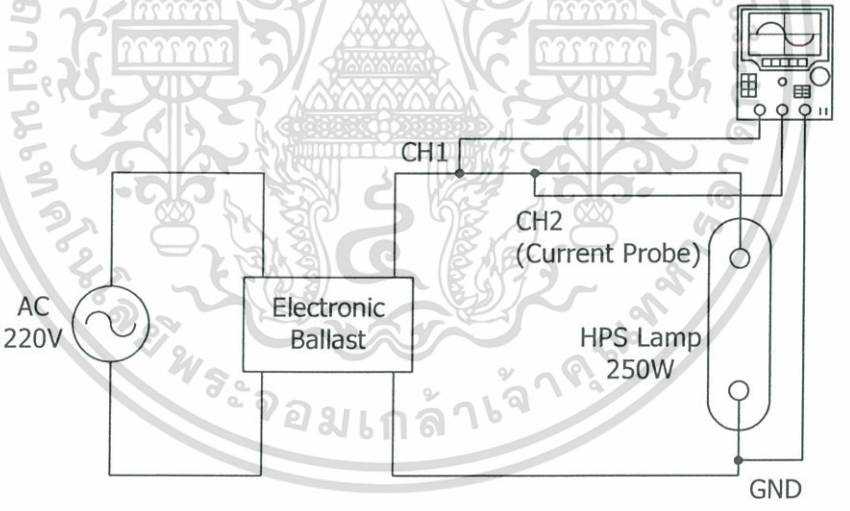
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แรงดันจุดหลอดของวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (500 V/div , 10 µs/div)

4.2.1.2 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด

การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.25

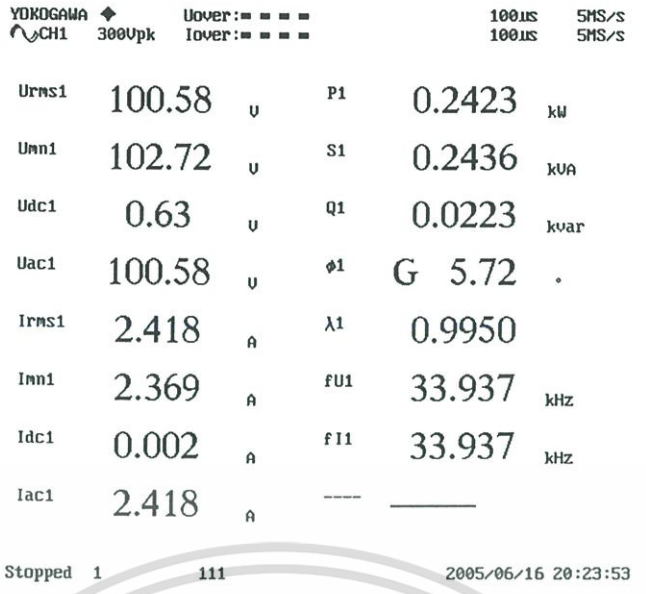
ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.26

ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.27

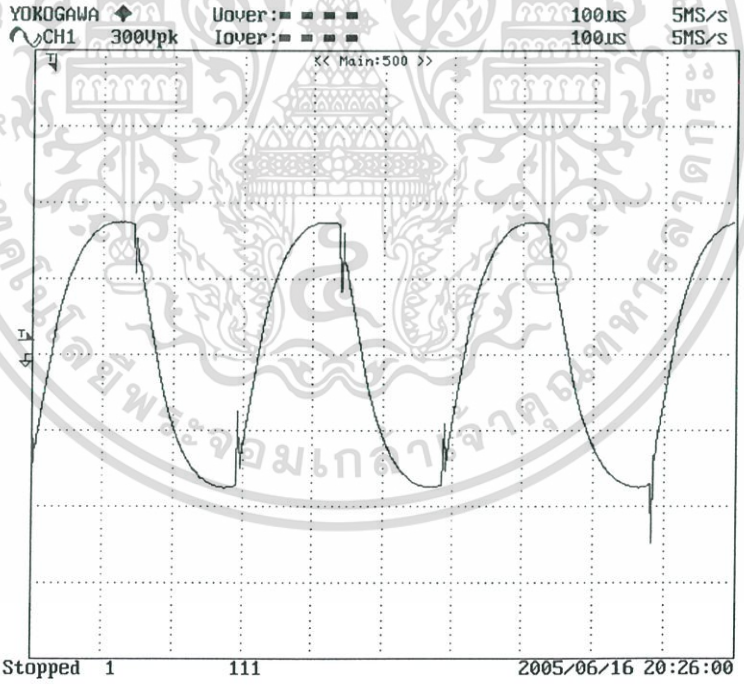
ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่1 แสดงดังรูปที่ 4.28

ค่ากำลังไฟฟ้าที่หลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



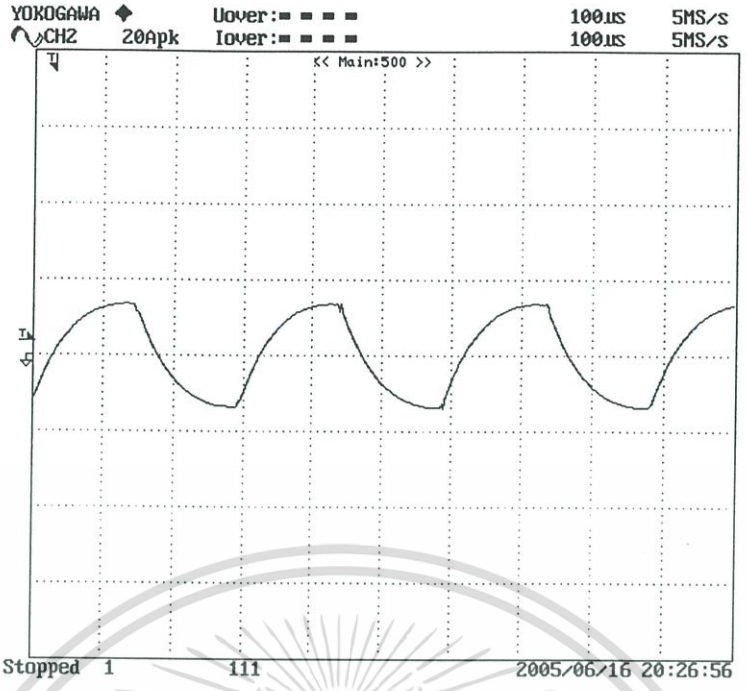
รูปที่ 4.25 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1



รูปที่ 4.26 ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

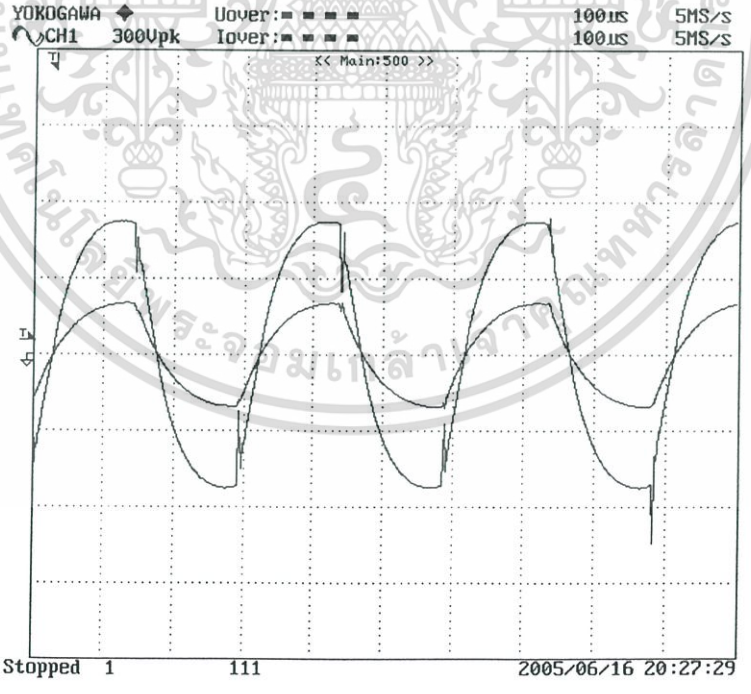
(75 V/div , 100 µs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

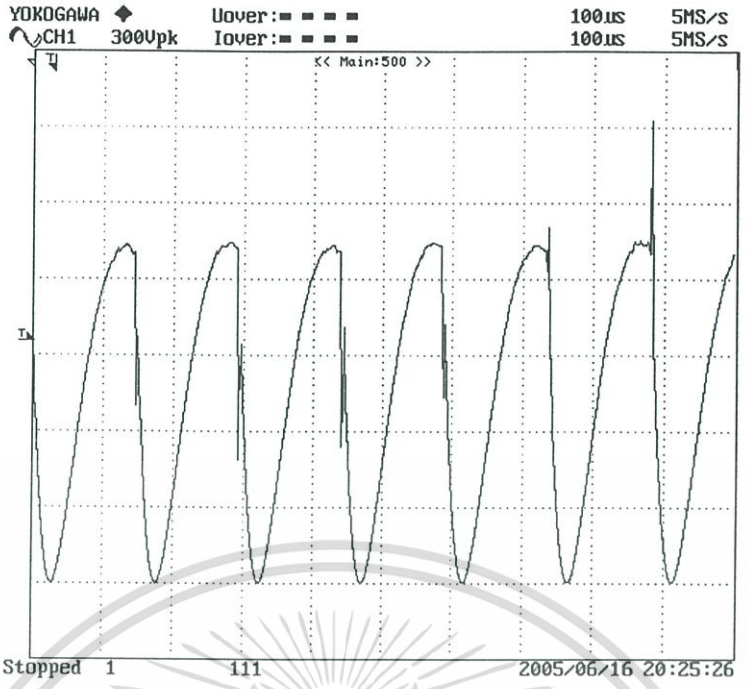
(5 A/div , 100 µs/div)



รูปที่ 4.28 ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

(75 V/div , 5A/div , 100 µs/div)

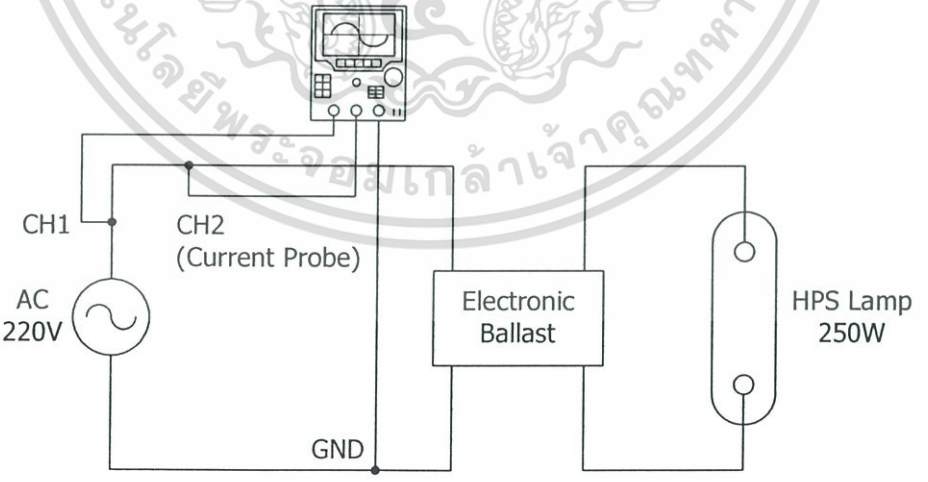
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 (100 µs/div)

4.2.1.3 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ

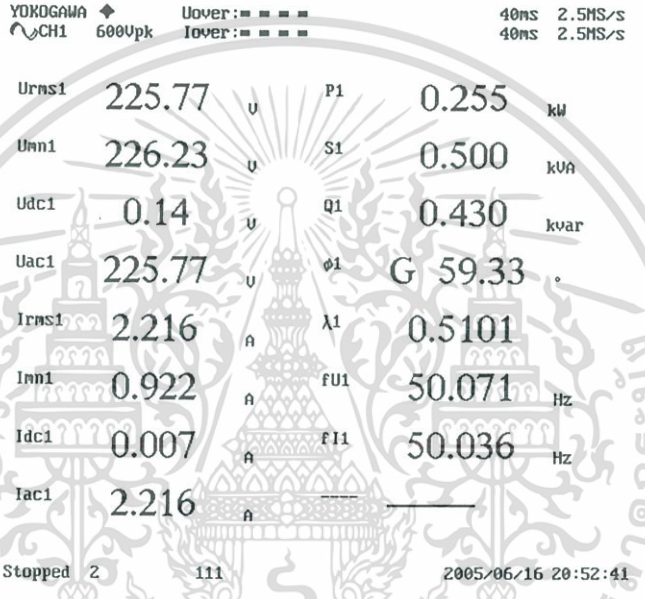
การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

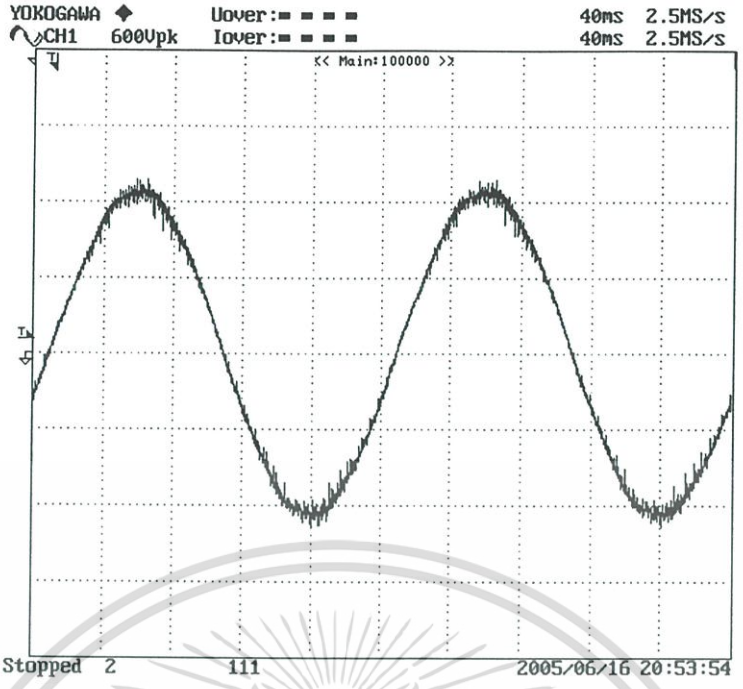
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.31
ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.32
ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.33
ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.34
ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.35
ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.36



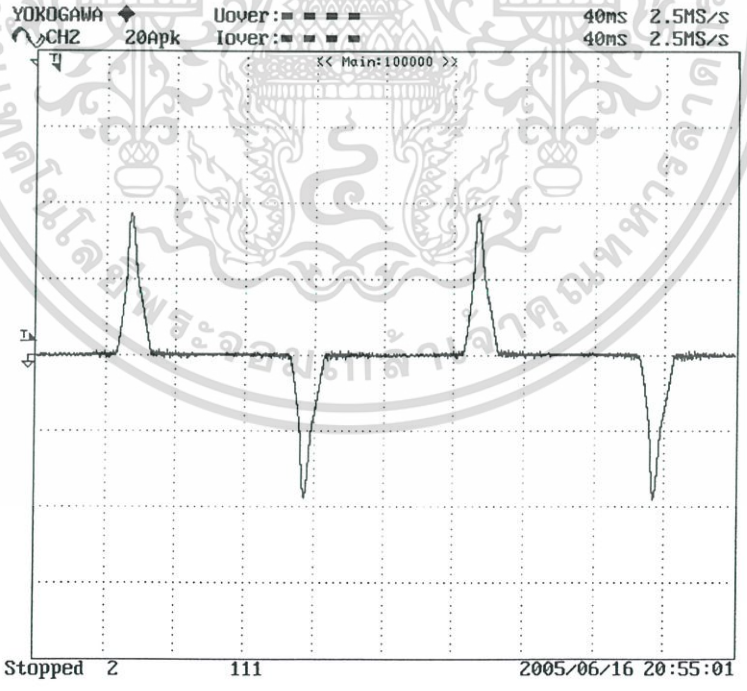
รูปที่ 4.31 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

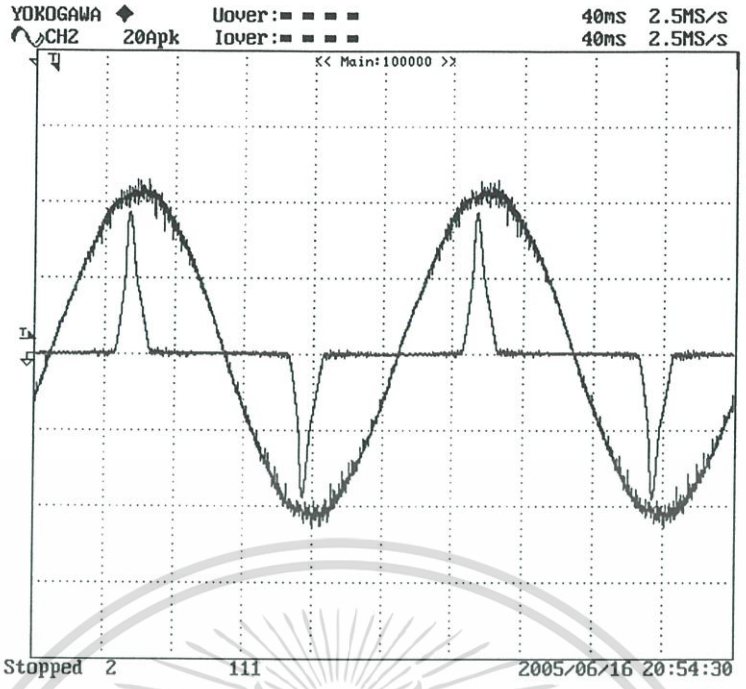
(75 V/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.33 ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

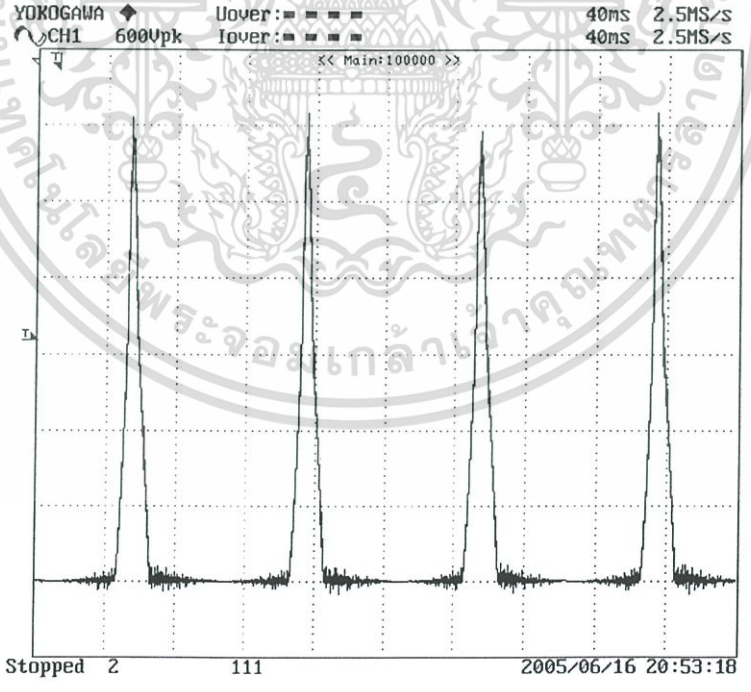
(5A/div , 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

(75 V/div , 5A/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.35 ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

(40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YOKOGAWA ◆ Uover:■ ■ ■ ■
∿CH1 600Vpk Iover:■ ■ ■ ■

			***** U 1 List *****		***** I 1 List *****	
		Or.	U[V]	Hdf[%]	Or.	I[A]	Hdf[%]
PLL	CH1(U1)		226.45	---------		2.182	---------
Freq	50.053 Hz	dc	----------		dc	----------	
		1	226.44	99.99	1	1.125	51.54
U1	226.45 V	2	0.03	0.01	2	0.001	0.03
I1	2.182 A	3	0.62	0.28	3	1.055	48.38
P1	0.251kW	4	0.04	0.02	4	0.001	0.04
S1	0.252kVA	5	0.88	0.39	5	0.937	42.94
Q1	-0.026kvar	6	0.04	0.02	6	0.001	0.04
λ1	0.9947	7	2.17	0.96	7	0.788	36.10
φ1	354.09 °	8	0.02	0.01	8	0.001	0.06
Uthd1	1.21 %	9	0.81	0.36	9	0.624	28.58
Ithd1	85.69 %	10	0.04	0.02	10	0.002	0.09
Pthd1	0.96 %	11	0.73	0.32	11	0.465	21.30
Uthf1	0.26 %	12	0.02	0.01	12	0.003	0.12
Ithf1	30.77 %	13	0.43	0.19	13	0.328	15.01
Utif1	6.41	14	0.04	0.02	14	0.004	0.16
Itif1	---0 F---	15	0.13	0.06	15	0.226	10.37
hvf1	0.46 %	16	0.03	0.01	16	0.004	0.19
hcf1	38.77 %	17	0.02	0.01	17	0.166	7.60
F1	----------	18	0.01	0.01	18	0.004	0.20
F2	----------	19	0.26	0.11	19	0.136	6.26
F3	----------	20	0.01	0.00	20	0.004	0.21
F4	----------	21	0.13	0.06	21	0.123	5.65
φU1-U2	----------	22	0.04	0.02	22	0.004	0.19

Stopped 2 111 2005/06/16 20:57:34

รูปที่ 4.36 ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 1

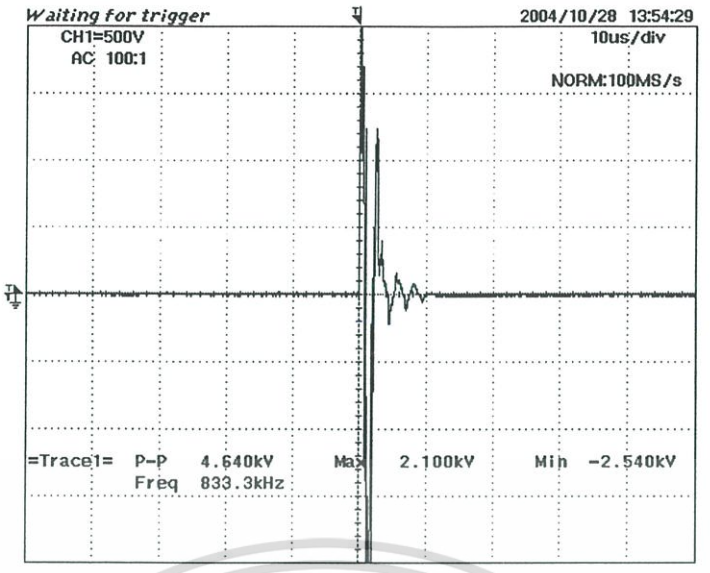
4.2.2 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (PFC)

ในการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นจะแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.2.2.1 การวัดค่าแรงดันจุดหลอด

ค่าแรงดันจุดหลอดของวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีลักษณะสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบ Single Trig แสดงดังรูปที่ 4.37

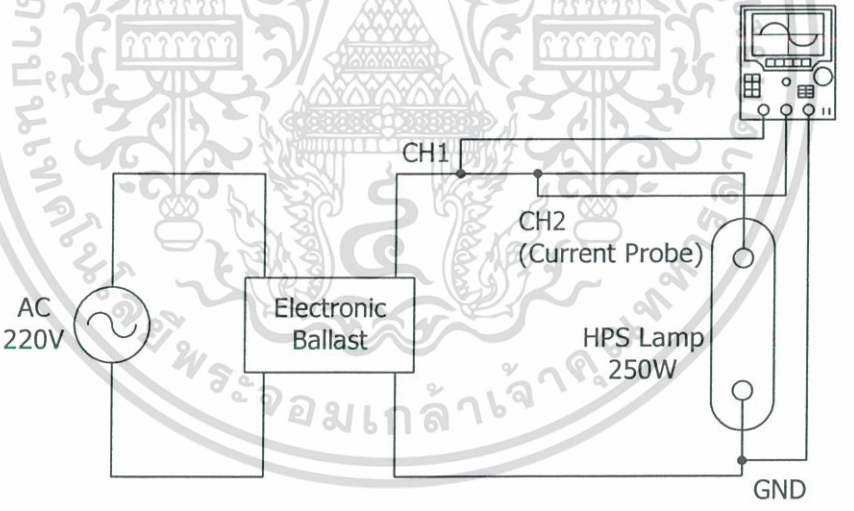
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 แรงดันจุดหลอดของวงจรจุดหลอดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (500 V/div , 10 µs/div)

4.2.2.2 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด

การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.39

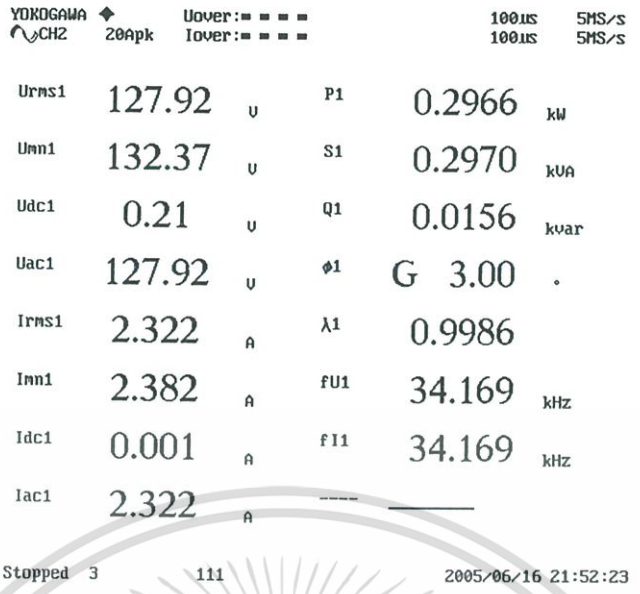
ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.40

ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.41

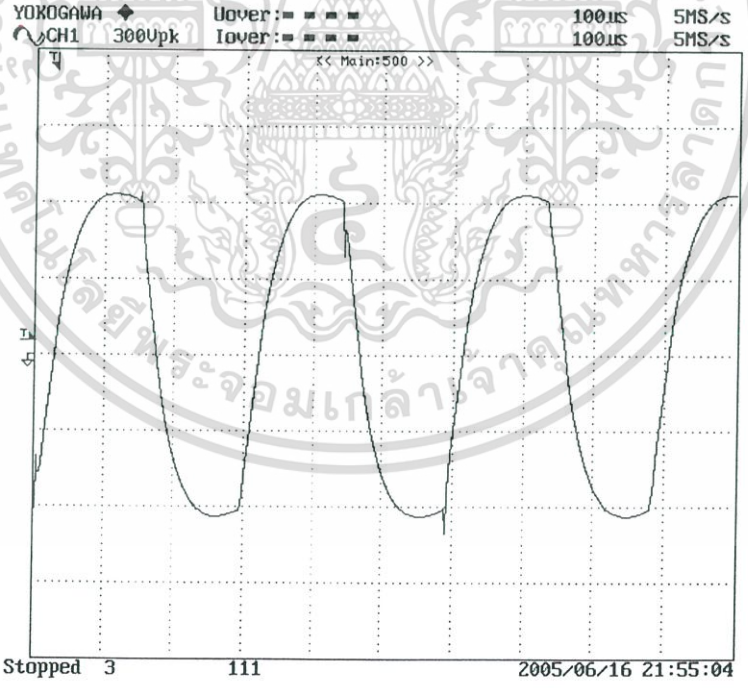
ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.42

ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



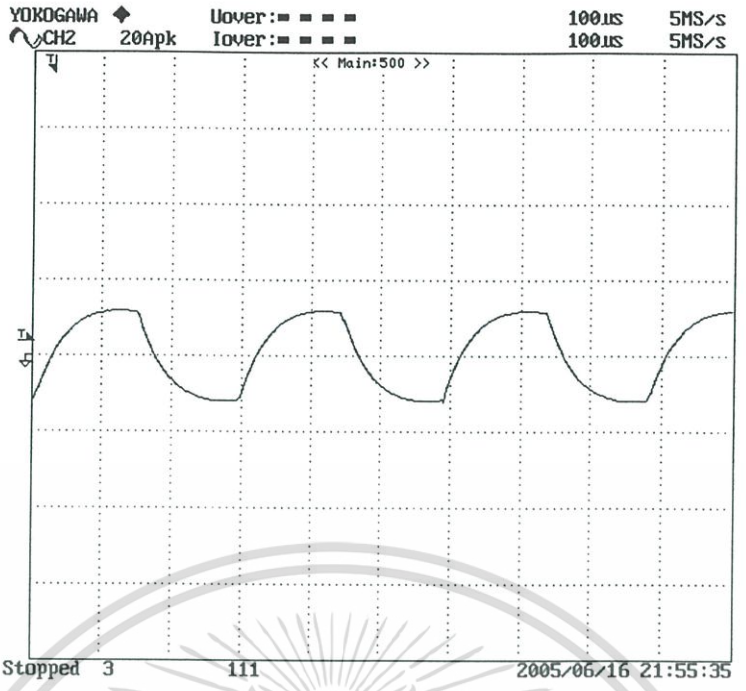
รูปที่ 4.39 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2



รูปที่ 4.40 ค่าแรงดันตกคร่อมหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

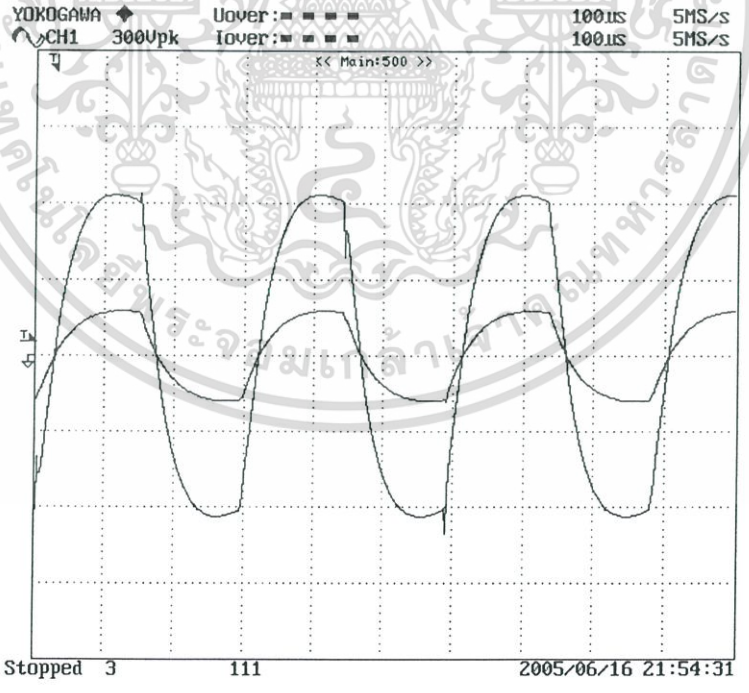
(75 V/div , 100 µs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 ค่ากระแสไหลผ่านหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

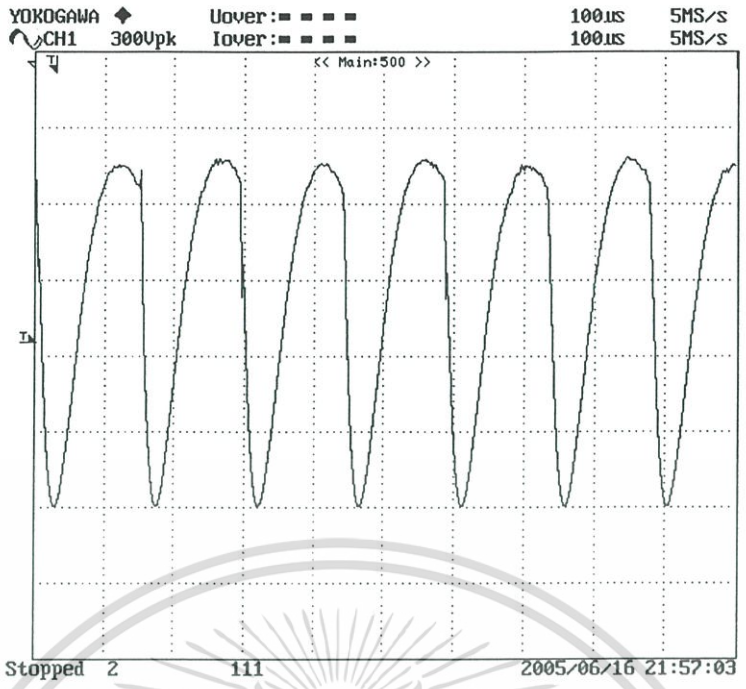
(5 A/div , 100 µs/div)



รูปที่ 4.42 ค่าแรงดันและกระแสของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

(75 V/div ,5 A/div , 100 µs/div)

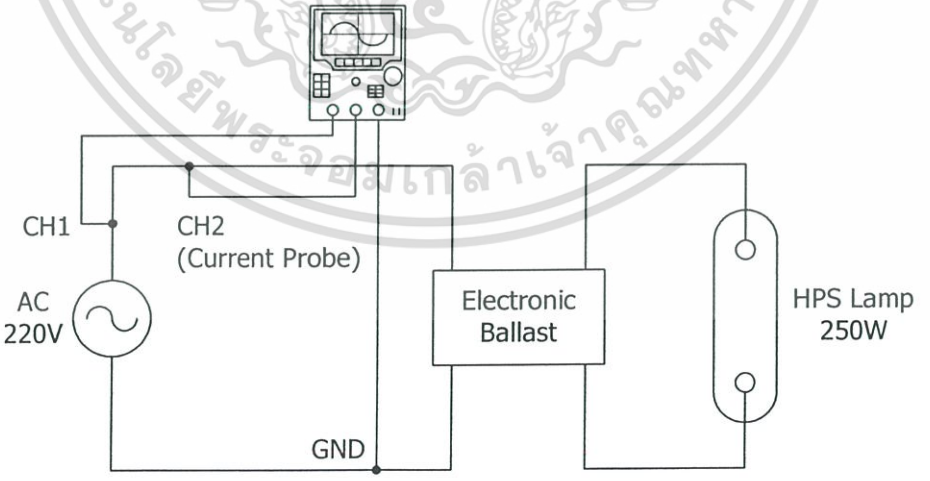
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 (100 µs/div)

4.2.2.3 การบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ

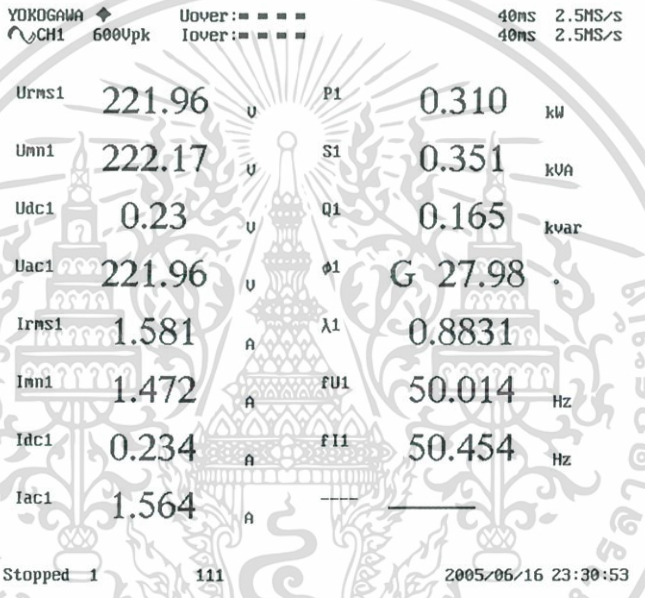
การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ สามารถทำการวัดได้ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 การวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

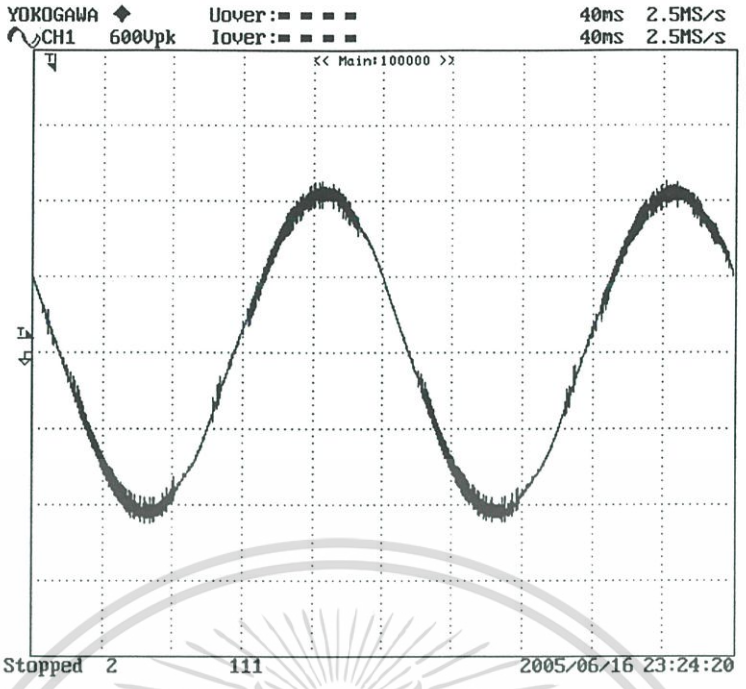
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.45
ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.46
ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.47
ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.48
ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.49
ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.50



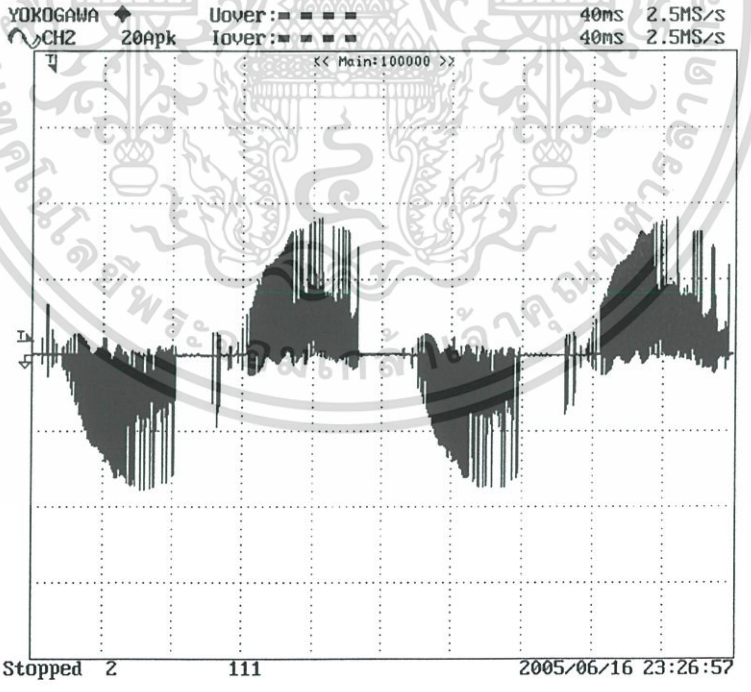
รูปที่ 4.45 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 ค่าแรงดันตกคร่อมระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

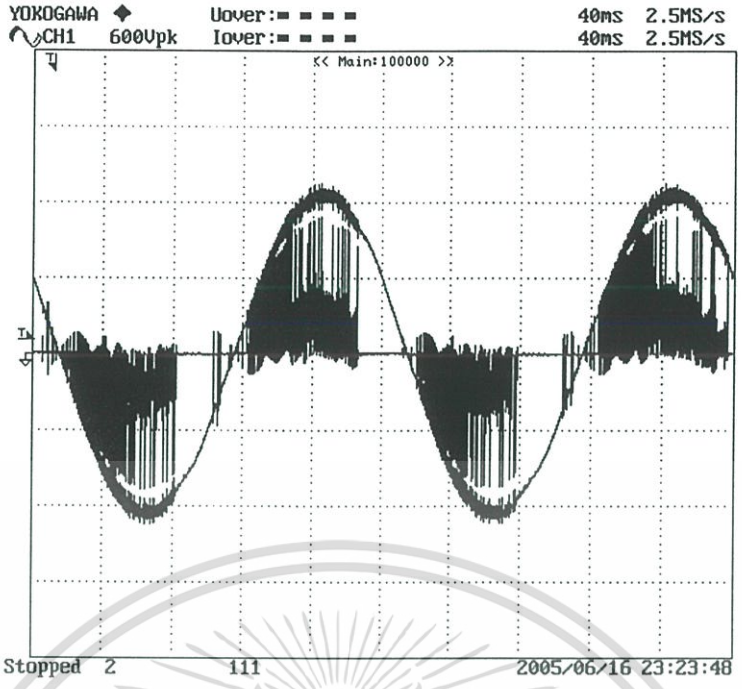
(150 V/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.47 ค่ากระแสไหลผ่านระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

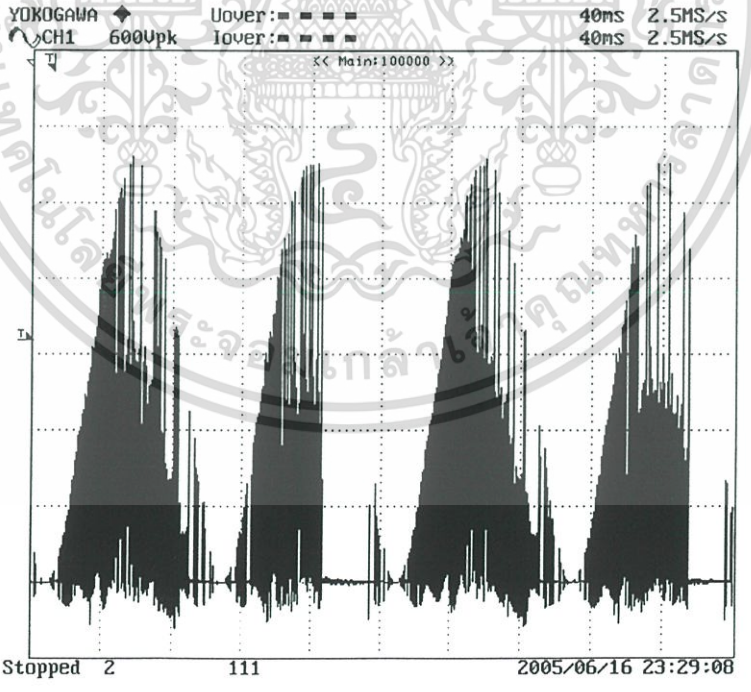
(5 A/div , 40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 ค่าแรงดันและกระแสของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

(150 V/div , 40 ms/div)



รูปที่ 4.49 ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

(40 ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YOKOGAWA ◆ Uover:■ ■ ■ ■
∿CH1 600Vpk Iover:■ ■ ■ ■

			***** U 1 List *****		***** I 1 List *****		
			Or.	U[V]	Hdf[%]	Or.	I[A]	Hdf[%]
PLL	CH1(U1)			225.34	---------		1.656	---------
Freq	49.995 Hz		dc	----------		dc	----------	
			1	225.32	99.99	1	1.580	95.40
U1	225.34 V		2	0.10	0.04	2	0.043	2.57
I1	1.656 A		3	0.41	0.18	3	0.344	20.78
P1	0.338kW		4	0.04	0.02	4	0.026	1.57
S1	0.356kVA		5	1.08	0.48	5	0.208	12.57
Q1	-0.112kvar		6	0.05	0.02	6	0.017	1.05
λ1	0.9492		7	1.77	0.79	7	0.004	0.23
φ1	341.65 °		8	0.01	0.00	8	0.032	1.94
Uthd1	1.04 %		9	0.49	0.22	9	0.081	4.89
Ithd1	29.99 %		10	0.02	0.01	10	0.022	1.31
Pthd1	0.11 %		11	0.60	0.26	11	0.063	3.81
Uthf1	0.13 %		12	0.02	0.01	12	0.019	1.17
Ithf1	23.13 %		13	0.53	0.24	13	0.012	0.71
Utif1	2.95		14	0.04	0.02	14	0.012	0.74
Itif1	---0 F---		15	0.11	0.05	15	0.031	1.85
hvf1	0.40 %		16	0.02	0.01	16	0.029	1.74
hcf1	13.82 %		17	0.11	0.05	17	0.030	1.83
F1	---------		18	0.01	0.00	18	0.034	2.07
F2	---------		19	0.13	0.06	19	0.039	2.33
F3	---------		20	0.01	0.01	20	0.019	1.14
F4	---------		21	0.05	0.02	21	0.038	2.29
φU1-U2	---------		22	0.01	0.00	22	0.012	0.70

Stopped 1 111 2005/06/16 23:27:21

รูปที่ 4.50 ค่าฮาร์โมนิกส์ต่างๆของแรงดันและกระแส เมื่อใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่ 2

4.3 การทดสอบและบันทึกข้อมูลทางแสง

การทดสอบข้อมูลทางแสงได้ทำการทดสอบและบันทึกผลจาก Gonio Photometer ณ ศูนย์ทดสอบและวิจัยวิศวกรรมการส่องสว่าง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMIT'L Illumination Research Center : IRC) โดยแบ่งการทดสอบและบันทึกข้อมูลทางแสงเป็น 3 ส่วนดังนี้

(1) การทดสอบและบันทึกข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (No PFC)

(3) การทดสอบและบันทึกข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (PFC)

โดยการทดสอบนี้ทำการวัดค่าฟลักซ์ส่องสว่าง (Lominous Flux : lm) เพื่อนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous Efficacy : lm/W) โดยได้ผลการทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux : lm)

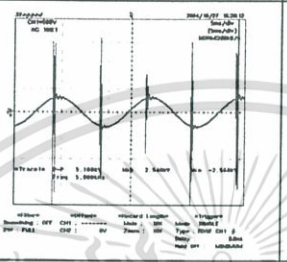
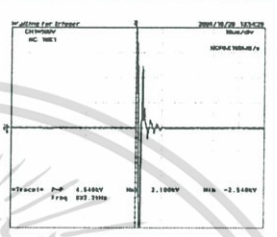
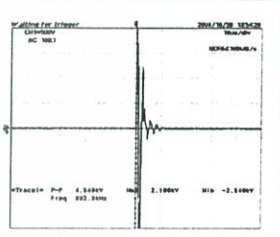
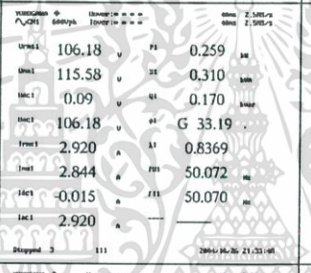
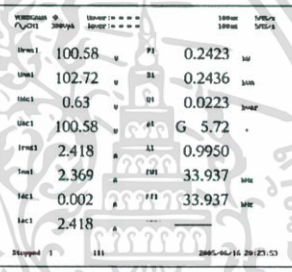
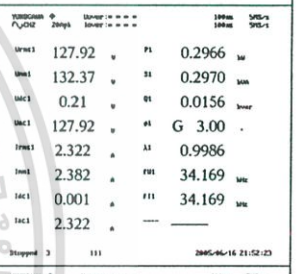
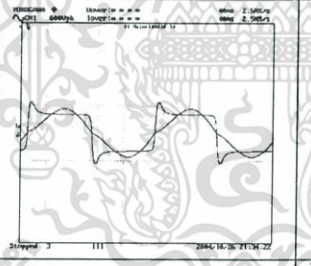
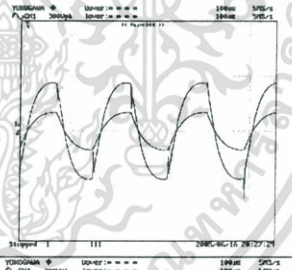
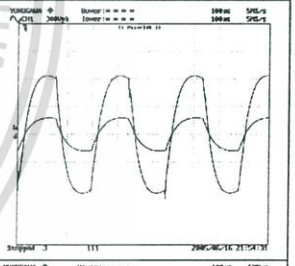
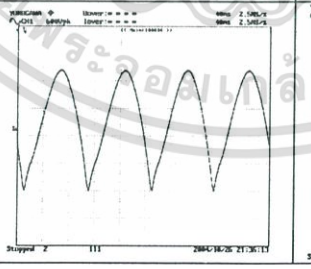
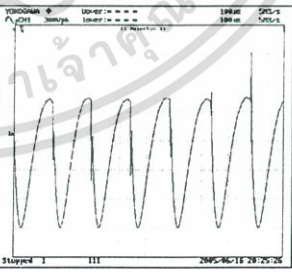
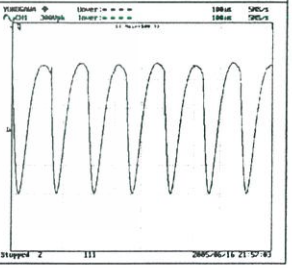
Zone number	Magnetic Ballast	Electronic Ballast (No PFC)	Electronic Ballast (PFC)
1	19.2	17.7	21.7
2	156.1	143.8	176.5
3	450.2	414.8	509.0
4	870.1	801.7	983.8
5	1381.0	1272.5	1561.5
6	1911.7	1761.4	2161.4
7	2374.5	2187.8	2684.7
8	2702.3	2489.9	3055.4
9	2868.1	2642.6	3242.8
10	2847.3	2623.5	3219.3
11	2659.7	2449.7	3006.1
12	2307.8	2126.4	2609.3
13	1835.0	1690.7	2074.7
14	1290.2	1188.8	1458.8
15	693.6	639.0	784.2
16	315.1	290.3	356.2
17	42.2	38.8	47.7
18	2.4	2.2	2.7
Total lumen	**24725.5**	**22781.7**	**27955.8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

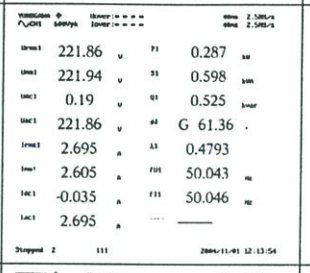
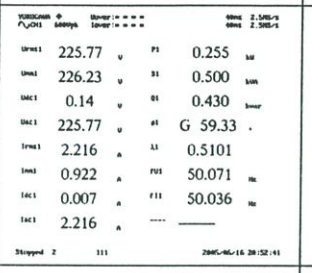
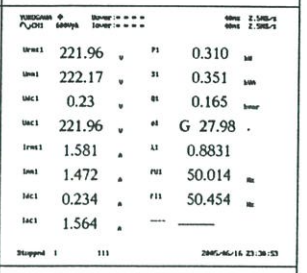
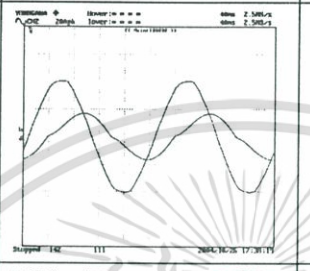
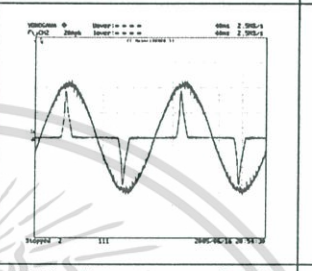
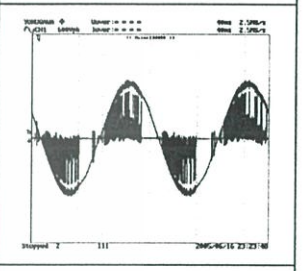
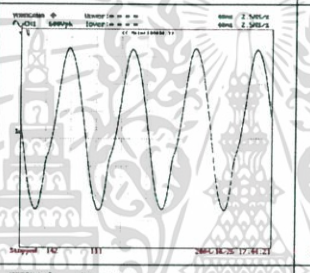
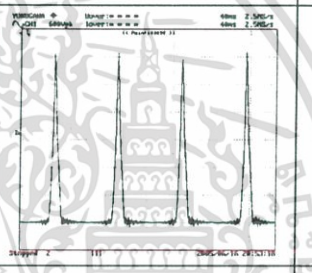
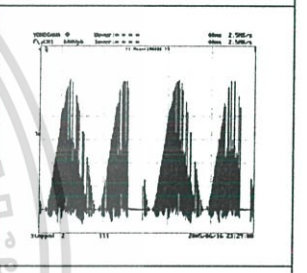
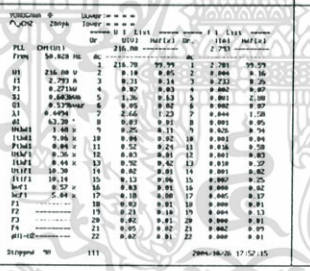
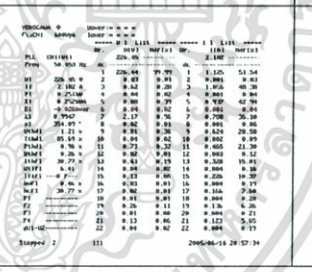
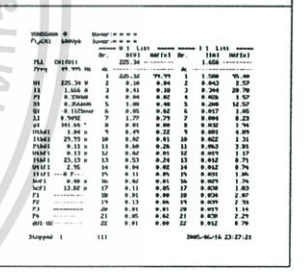
ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5.1 ผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

	Magnetic Ballast	Electronic Ballast	
		No PFC	PFC
แรงดันจุดหลอด			
ค่าทางไฟฟ้าของหลอด			
แรงดันและกระแสของหลอด			
กำลังไฟฟ้าของหลอด			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

	Magnetic Ballast	Electronic Ballast	
		No PFC	PFC
ค่าทางไฟฟ้าของระบบ			
แรงดันและกระแสของระบบ			
กำลังไฟฟ้าของระบบ			
ค่าฮาร์โมนิคของกระแสและแรงดัน			

จากการออกแบบการทดสอบ การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าในบทที่ 4 สามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ข้างต้นมาจัดทำเป็นตารางผลการทดสอบ โดยแบ่งผลการทดสอบออกเป็นหัวข้อ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ผลการทดสอบของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

ตารางที่ 5.2 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

องค์ประกอบทางไฟฟ้า	Magnetic Ballast
แรงดันจุดหลอด (kV)	5.1
แรงดันตกคร่อมหลอด (V)	106.18
กระแสไหลผ่านหลอด (A)	2.92
กำลังไฟฟ้าของหลอด (W)	259
แรงดันตกคร่อมระบบ (V)	221.86
กระแสระบบ (A)	2.69
กำลังไฟฟ้าของระบบ (W)	287
Watt Loss (W)	28
ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss)	9.79
ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	0.47
THDi (%)	9.06
ประสิทธิภาพ (% Efficiency)	90.21
Luminous Flux (lm)	24,747.6
Luminous Efficacy (lm/w)	86.22

$$\%\,Loss = \left(\frac{System\ Power - Lamp\ Power}{System\ Power}\right) \times 100 \tag{5.1}$$

$$\%\,Efficiency = \left(\frac{Lamp\ Power}{System\ Power}\right) \times 100 \tag{5.2}$$

ค่าที่แสดงในตารางที่ 5.2 เป็นค่าที่ได้จากการวัดและบันทึกในการทดลองจริง ยกเว้นค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss) ได้จากการคำนวณตามสมการ (5.1) และค่าประสิทธิภาพ (% Efficiency) ได้จากการคำนวณตามสมการ (5.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.3 ค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

องค์ประกอบทางไฟฟ้า	Electronic ballast	
	No PFC	PFC
แรงดันจุดหลอด (kV)	4.64	4.64
แรงดันตกคร่อมหลอด (V)	100.58	127.92
กระแสไหลผ่านหลอด (A)	2.418	2.322
กำลังไฟฟ้าของหลอด (W)	242.3	296.6
แรงดันตกคร่อมระบบ (V)	225.77	221.96
กระแสระบบ (A)	2.216	1.581
กำลังไฟฟ้าของระบบ (W)	255	310
Watt loss (W)	12.7	13.4
ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss)	4.98	4.32
ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	0.51	0.88
THDi (%)	85.69	29.99
ประสิทธิภาพ (% Efficiency)	95.02	95.68
Luminous Flux (lm)	22,781.7	27,955.8
Luminous Efficacy (lm/w)	89.34	90.18

ค่าที่แสดงในตารางที่ 5.3 เป็นค่าที่ได้จากการวัดและบันทึกในการทดลองจริง ยกเว้นค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss) ได้จากการคำนวณตามสมการ (5.1) และค่าประสิทธิภาพ (% Efficiency) ได้จากการคำนวณตามสมการ (5.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

องค์ประกอบทางไฟฟ้า	Magnetic Ballast	Electronic Ballast	
		No PFC	PFC
แรงดันจุดหลอด (kV)	5.1	4.64	4.64
แรงดันตกคร่อมหลอด (V)	106.18	100.58	127.92
กระแสไหลผ่านหลอด (A)	2.92	2.418	2.322
กำลังไฟฟ้าของหลอด (W)	259	242.3	296.6
แรงดันตกคร่อมระบบ (V)	221.86	225.77	221.96
กระแสระบบ (A)	2.69	2.216	1.581
กำลังไฟฟ้าของระบบ (W)	287	255	310
Watt loss (W)	28	12.7	13.4
ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss)	9.79	4.98	4.32
ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	0.47	0.51	0.88
THDi (%)	9.06	85.69	29.99
ประสิทธิภาพ (% Efficiency)	90.21	95.02	95.68
Luminous Flux (lm)	24,747.6	22,781.7	27,955.8
Luminous Efficacy (lm/w)	86.22	89.34	90.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ทดลองและออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบสำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ ตลอดเวลาที่ผ่านมานั้น ได้มีการลองถูกลองผิดมากมาย โดยเริ่มจากการออกแบบวงจร Inverter เป็นแบบ Full Bridge Inverter [16] ซึ่งผลที่ได้ก็เป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่งแต่เนื่องจากต้องการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ที่ต่ำ , ความยุ่งยากของการออกแบบวงจรขับเกท , ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สูงเกินความจำเป็น และต้องการลดค่าใช้จ่ายรวมทั้งขนาดของวงจรลงด้วย จึงได้ปรับเปลี่ยนออกแบบวงจรใหม่โดยใช้วงจร Half Bridge Inverter แทน ซึ่งผลที่ได้ออกมาก็เป็นที่น่าพอใจ อีกทั้งยังได้มีการออกแบบวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรจุดหลอดที่สามารถใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ ที่ได้ออกแบบขึ้นมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งได้ประกอบวงจรทั้งหมดให้อยู่ในโครงสร้างเดียวกัน โดยเน้นถึงขนาดที่เล็กและมีน้ำหนักเบา

6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ต้องการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ โดยมีเป้าหมายให้ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณไม่เกิน 30%

จากการออกแบบการทดสอบ การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในบทที่ 4 และผลการทดสอบในบทที่ 5 สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์นั้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็นประเด็นหลักดังนี้

6.1.1 ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss)

ความสูญเสียที่บัลลาสต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าต่ำกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ดังตารางที่ 6.1

6.1.2 ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่ามากกว่า 0.85 และมีค่ามากกว่าค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ดังตารางที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 ประสิทธิภาพ (% Efficiency)

ประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ดังตารางที่ 6.1

6.1.4 ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุท (THDi)

ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีค่าไม่เกิน 30% ตามที่ตั้งไว้ตามวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 6.1

6.1.5 ข้อมูลทางแสง

ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Lumen/W) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มากกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าและข้อมูลทางแสงของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

องค์ประกอบทางไฟฟ้า	Magnetic Ballast	Electronic Ballast	
		No PFC	PFC
แรงดันจุดหลอด (kV)	5.1	4.64	4.64
แรงดันตกคร่อมหลอด (V)	106.18	100.58	127.92
กระแสไหลผ่านหลอด (A)	2.92	2.418	2.322
กำลังไฟฟ้าของหลอด (W)	259	242.3	296.6
แรงดันตกคร่อมระบบ (V)	221.86	225.77	221.96
กระแสระบบ (A)	2.69	2.216	1.581
กำลังไฟฟ้าของระบบ (W)	287	255	310
Watt loss (W)	28	12.7	13.4
ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์ (% Loss)	9.79	4.98	4.32
ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	0.47	0.51	0.88
THDi (%)	9.06	85.69	29.99
ประสิทธิภาพ (% Efficiency)	90.21	95.02	95.68
Luminous Flux (lm)	24,747.6	22,781.7	27,955.8
Luminous Efficacy (lm/w)	86.22	89.34	90.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

6.2.1 เพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้นไป น่าที่จะทำการพัฒนา ปรับปรุงในส่วนต่างๆ ของวงจรให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นไปในทางที่ดีขึ้น เช่น ค่าแรงดัน , ค่ากระแส , กำลังไฟฟ้า , ค่าตัวประกอบกำลัง และค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุท รวมไปถึงคุณสมบัติทางแสงสว่างด้วย

6.2.2 เพื่อให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ทำการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ได้จริงอย่างกว้างขวาง น่าที่จะต้องนำไปทดสอบค่าตามมาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับในนานาประเทศทั่วโลก

6.2.3 เพื่อให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน น่าที่จะทำการพัฒนาให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้งานร่วมกับหลอดก๊าซดิสชาร์จความดันสูงชนิดอื่นๆ นอกจากหลอดโซเดียมความดันสูง ไม่ว่าจะเป็นหลอดเมทัลฮาไลด์ และหลอดไอปรอท ซึ่งบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] I.W. Jeong, G.H. Rim, H.J. Lee, H.J. Ryoo, J.S. Kim, and H.S. Lee, " **DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC BALLAST FOR 250W HPS LAMPS** ", *Proc. IEEE ISIE conf.*, 2001.

[2] มรกต สุตะวงค์ และคณะ, " **บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอกโซเดียมความดันสูง** ", ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.

[3] Christian Branas, Francisco J. Azcondo and Salvador Bracho, " **Evaluation of an electronic ballast circuit for HID lamps with passive power factor correction** ", *IEEE Trans.*, 2002.

[4] European Standard EN 61000-2-3, " **Limits for Harmonic Current Emissions** ", April 1995.

[5] SYLVANIA, " **Ballast Technology & Specification Guide** ", 2004.

[6] Thomas J. Ribarich and John J. Ribarich (conslt.), " **A New Model for High-Frequency Electronic Ballast Design** ", *IEEE Trans.*, 1997.

[7] F.J. Ferrero, Cecilio Blanco, Miguel A. Perez, Manuela G. Vega and Manuel R. Secades, " **A PSpice Model for HPS Lamps Operated at High Frequency** ", *IEEE Trans.*, 2000.

[8] วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล, เชาว์ ชมภูอินไหว, ศุลี บรรจงจิตร และประภาษ ไพรสุวรรณา, " **บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง** ", การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 25 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545.

[9] Ned Mohan, Tore M. Underland and William P. Robbins, " **Power Electronics Converters Applications and Design** ", Second Edition, John Willey & Sons, Inc.

[10] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, " **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง** ", 2547.

[11] Marcio Almeida Co, Marcio Brumatti, Domingos S. L. Simonetti and Jose Luiz F. Vieira, " **SINGLE STAGE ELECTRONIC BALLAST FOR HID LAMPS** ", *IEEE Trans.*, 2003.

[12] Wang Wei, Zhang Weiqiang, Gao Guoan and Xu Dianguo, " **A STUDY OF AN ELECTRONIC BALLAST FOR HIGH PRESSURE SODIUM LAMP** ", *IEEE Trans.*, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] Tsorng-Juu Liang, Chun-An Cheng and Wen-Shang Lai, " **A Novel Two-Stage High-Power-Factor Low-Frequency HID Electronic Ballast** ", *IEEE Trans.*, 2003.

[14] Mark W. Fellows, " **A Study of the High Intensity Discharge Lamp - Electronic Ballast Interface** ", *IEEE Trans.*, 2003.

[15] Francisco Javier Ferrero Martin, Cecilio Blanco Viejo, Juan Carlos Alvarez Anton, Miguel Angel Perez Garcia, Manuel Rico-Secades and J. Marcos Alonso, " **Analysis and Design of a High Power Factor, Single-Stage Electronic Ballast for High-Intensity Discharge Lamps** ", *IEEE Trans.*, 2003.

[16] Christian Branas, Francisco J. Azcondo and Salvador Bracho, " **Electronic Ballast for 250W HPS Lamps Based on the LCC Resonant Inverter with Soft Start-up and Quasi-optimum Control** ", *IEEE Trans.*, 1999.

[17] Richard Lee Ozenbaugh, " **EMI Filter Design** ", New York, Marcel Dekker, 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง

Electronics Ballast for High Pressure Sodium (HPS) lamps

วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล เชาว์ ชมภูอินไหว ศุลี บรรจงจิตร ประภาษ ไพรสุวรรณา
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ / โทรสาร 0-2326-4550 E-mail : honghaha@hotmail.com , kcchow@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับความสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา , ขนาดเล็ก , ประสิทธิภาพสูง และทำให้อายุการใช้งานของหลอดยาวนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก (Magnetic Ballast) [3] บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง ขนาด 250 วัตต์ โดยมีวัตถุประสงค์ให้มีค่าความสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ (Watt Loss) ต่ำกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ไม่น้อยกว่า 0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (%THD) ไม่เกิน 30%

คำสำคัญ : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ , หลอดโซเดียมความดันสูง

Abstract

Electronics ballast received great attention in recent years because of their merits of light weight , small size, high efficiency, and long lamp life compared to conventional magnetic ballast. This article presents the design of high frequency electronic ballast for 250 watt HPS lamp. Expect to decrease watt loss less than and increase efficiency more than magnetic ballasts . With power factor more than 0.85 and %THD (Total Harmonic Distortion) less than 30%.

Keywords : Electronic Ballast , High Pressure Sodium lamps

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทย ได้มีการรณรงค์ให้ประหยัดพลังงานกันมากขึ้น เพื่อให้ใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดและใกล้จะหมดไปให้คุ้มค่ามากที่สุดและมีพลังงานใช้ยาวนานต่อไปในอนาคต ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆมากขึ้นเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีทางพลังงานไฟฟ้าและแสงสว่าง ซึ่งมีความจำเป็นต่อมนุษย์ในปัจจุบันมาก จากการศึกษาการใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก พบว่าก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานสูงในตัวบัลลาสต์ เนื่องจากบัลลาสต์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลังต่ำ เป็นผลให้ค่ากระแสที่ใช้สูงเกินความต้องการของหลอด จากการทำงานที่ความถี่ต่ำทำให้เกิดผลสโตรโบสโคปิกส์ (Stroboscopic) ซึ่งทำให้เห็นภาพวัตถุเบลอ ส่งผลให้สายตาล้าได้ และช่วงสตาร์ทของหลอดเกิดการกระพริบ ทำให้สารที่เคลือบขั้วหลอดที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนหลุดหายไปมาก (ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการกระพริบ) ส่งผลให้อายุการใช้งานของหลอดลดลง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยลดความสูญเสียดังกล่าว เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง จึงทำให้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กลงได้ (ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$) ซึ่งก็จะช่วยลดความสูญเสียลงด้วย

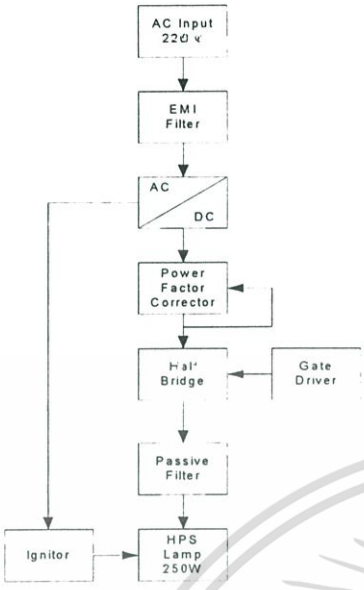
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายอยู่แล้วกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป แต่ยังไม่รวมถึงการประยุกต์ใช้งานกับการใช้หลอดที่มีกำลังวัตต์สูง ๆ เช่น หลอดไฟถนน หลอดไฟสนามกีฬา หรือ หลอดที่มีการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น ตามแนวความคิดนี้จึงได้มีการศึกษา , ออกแบบและพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในบทความนี้ขึ้น โดยในขั้นแรกจะทำการออกแบบตัวต้นแบบที่ใช้สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ ก่อนเพราะเป็นหลอดที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างมากในประเทศของเรา

บทความนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ โดยมีเป้าหมายให้ค่าความสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์น้อยกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , ประสิทธิภาพสูงกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก , มีค่าตัวประกอบกำลังไม่น้อยกว่า 0.85 รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณไม่เกิน 30% ใช้จุดหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ , กระแสไหลผ่านหลอดประมาณ 3 แอมป์ และแรงดันตกคร่อมหลอดประมาณ 100 โวลท์ [1]

2. การออกแบบวงจรที่นำเสนอ

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอมีส่วนประกอบการทำงานหลัก ๆ ทั้งหมด 7 ส่วนด้วยกันดังรูปที่ 1

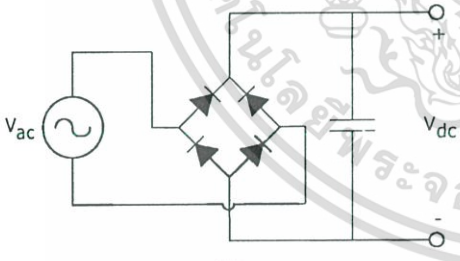
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



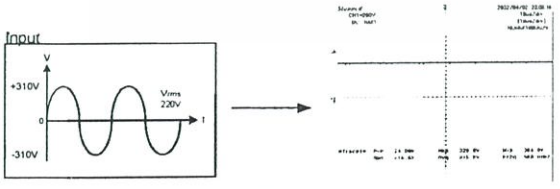
รูปที่ 1 ส่วนประกอบทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบ

2.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter) [2]

วงจรคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์ โดยใช้วงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier) ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดัน และนำตัวเก็บประจุ (Capacitor) มาต่อทางด้านขาออกของวงจร เพื่อลดผลของการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า (Ripple Voltage) ทำให้แรงดันกระแสตรงที่ได้นั้นมีลักษณะที่เรียบขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้งานดังรูปที่ 2



(ก)



(ข)

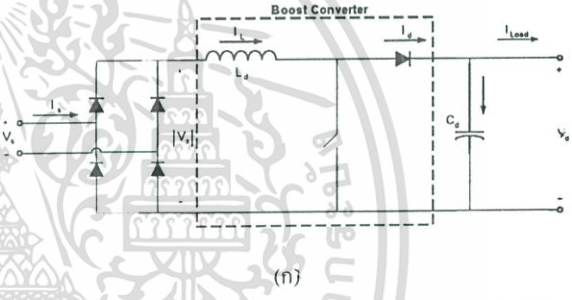
รูปที่ 2 (ก) วงจรคอนเวอร์เตอร์

(ข) สัญญาณจากการจำลองและผลสัญญาณจริง

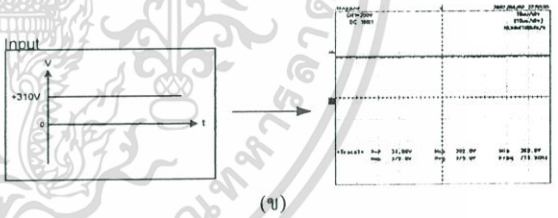
2.2 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Corrector : PFC) [3]

ในการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ตามข้อ 2.1 นั้น พบว่าค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าเพียง 0.5-0.7 เท่านั้น รวมทั้งค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสอินพุทก็จะมีค่าสูง เนื่องจากกระแสจะมีการไหลก็ต่อเมื่อแรงดันที่แหล่งจ่ายมีค่ามากกว่าแรงดันที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุเท่านั้นทำให้รูปคลื่นกระแสของระบบไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

ดังนั้นจึงได้นำวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ (Boost converter) ดังรูปที่ 3 มาช่วยในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (PFC) โดยวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังจะทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันให้สูงกว่าระดับแรงดันที่เก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุโดยใช้อุปกรณ์สวิตชิ่งความถี่สูง ทำให้เกิดการไหลของกระแสที่ต่อเนื่องในจังหวะที่เกิดการปิดของอุปกรณ์สวิตชิ่ง ซึ่งจะส่งผลให้กระแสมีการไหลอย่างต่อเนื่องจากแหล่งจ่ายและมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากขึ้นดังรูปที่ 4 (ข)



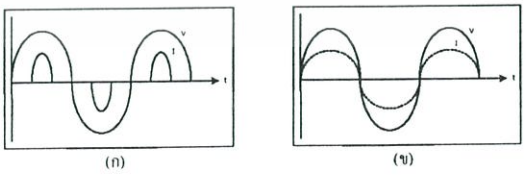
(ก)



(ข)

รูปที่ 3 (ก) วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

(ข) สัญญาณจากการจำลองและผลสัญญาณจริง



(ก) (ข)

รูปที่ 4 (ก) คลื่นแรงดัน-กระแสเมื่อไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

(ข) คลื่นแรงดัน-กระแสเมื่อใช้วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

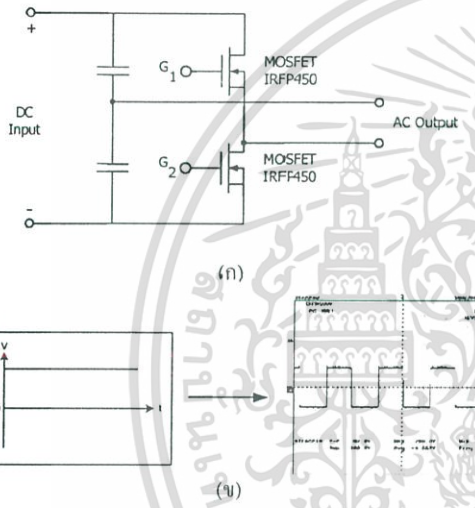
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทความนี้ได้มีการใช้ IC L6561 มาช่วยในการควบคุมแรงดันทางด้านขาออกของวงจรบูสท์คอนเวอร์เตอร์ให้คงที่ที่ค่า 400 โวลต์ โดยการรับสัญญาณป้อนกลับเข้ามาที่ IC ดังกล่าว

2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Half Bridge Inverter)

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในบทความเป็นชนิดฮาล์ฟบริดจ์ โดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่ง 2 ตัว โดยจะสลับช่วงการนำกระแสไฟฟ้า ทำงานตัวละครึ่งคาบเวลา ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีขนาดครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้าสู่วงจร

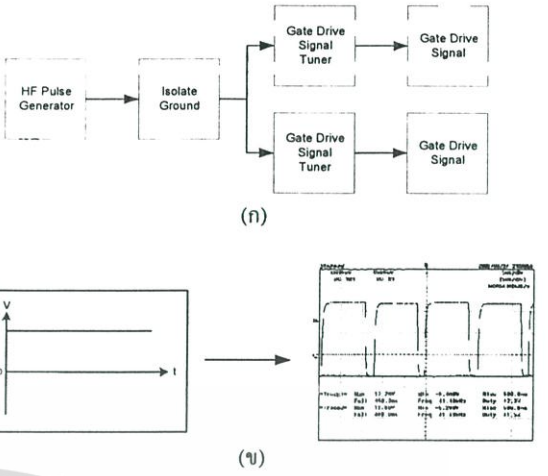
ในบทความนี้ใช้ MOSFET เป็นตัวสวิตชิ่ง เนื่องจากคอนสองการทำงานในความถี่สูงได้ดี มีความสูญเสียขณะสวิตชิ่งต่ำ



รูปที่ 5 (ก) วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งาน
(ข) สัญญาณจากการจำลองและผลสัญญาณจริง

2.4 วงจรสร้างสัญญาณขับเกท (Gate Driver Circuit)

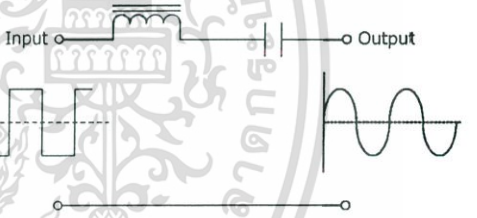
วงจรนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเพื่อทริกขาเกทของ MOSFET ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ บทความนี้ใช้ความถี่สวิตชิ่งที่ 40kHz ที่สร้างมาจาก IC เบอร์ TL494 จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้นำมาผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Opto couple เพื่อทำการแยกกราวด์ของสัญญาณที่ออกจาก TL494 ออกเป็น 2 ชุดเพื่อจะนำไปทริกขาเกทของอุปกรณ์สวิตชิ่ง 2 ตัว ซึ่งต้องการอิสระทางไฟฟ้าต่อกัน ค่าสัญญาณที่พร้อมจะนำไปขับขาเกทของอุปกรณ์สวิตชิ่งในวงจรอินเวอร์เตอร์มีค่าเป็น +13Volt ในซีกบวกและ -5Volt ในซีกลบของสัญญาณดังรูปที่ 6 (ข) เพื่อให้ต้องการให้อุปกรณ์สวิตชิ่งมีช่วงเวลาคายประจุที่สะสมไว้ ในขณะเปิดวงจรให้หมดก่อนที่จะทำการเปิดวงจรครั้งต่อไป



รูปที่ 6 (ก) วงจรสร้างสัญญาณขับเกท
(ข) สัญญาณจากการจำลองและผลสัญญาณจริง

2.5 วงจรกรอง (Passive Filter for High Frequency)

ทำหน้าที่กรองสัญญาณรูปพัลส์ที่ออกจากอินเวอร์เตอร์เพื่อให้สัญญาณที่จะจ่ายให้กับหลอดมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากขึ้น

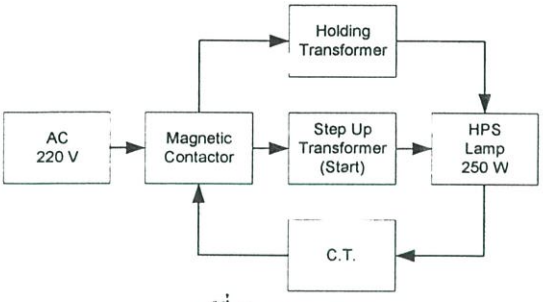


รูปที่ 7 วงจรกรอง (Passive Filter for High Frequency)

2.6 วงจรจุดหลอด (Ignitor Circuit)

การทำงานเป็นแบบ Single trig โดยให้กำเนิดแรงดันมากกว่า 3,000 โวลท์ จาก Step Up Transformer เพื่อใช้ในการจุดหลอดและเมื่อหลอดติดกระแสไฟฟ้าจะไหลครบวงจร ขดลวดของ C.T. จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนกับเซนเซอร์ เหนี่ยวนำและส่งสัญญาณไปยังหน้าสัมผัส (Magnetic Contactor) ให้ทำการสวิตช์เปลี่ยนการใช้หม้อแปลงเป็น Holding Transformer เพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงพอที่ทำให้หลอดไม่ดับ ซึ่งการทำงานของตัวจุดหลอดของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก จะมีการสร้างสัญญาณจุดหลอดขึ้นมาตลอดเวลาการทำงาน ทำให้เกิดการสูญเสียมากในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

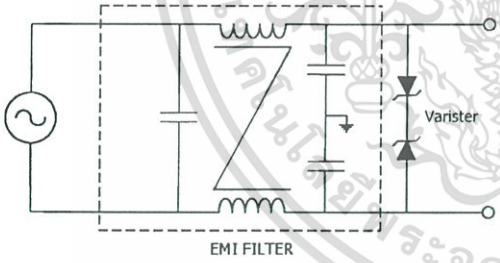


รูปที่ 8 วงจรจุดหลอด

2.7 EMI Filter (Electromagnetic Interference Filter) [4]

วงจร EMI Filter เป็นวงจรที่มีความสำคัญมากในงานทางด้านไฟฟ้า มีบทบาทสำคัญในการกรองและลดทอนสัญญาณความถี่ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสวิตชิ่งในระบบต่าง ๆ ทำให้ ค่า %THD ของระบบลดลง อีกทั้งยังสามารถช่วยลดผลการรบกวนคลื่นวิทยุ (RFI) ที่สามารถแพร่กระจายออกสู่อากาศหรือสายส่งไปยังระบบไฟฟ้ากำลังได้

วงจร EMI Filter ในบทความนี้จะใช้ EMI Filter ที่มีโครงสร้างภายในประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ ขนาด 2x2.5 mH. ซึ่งใช้วัสดุเป็นแกนทอรอยดอลล์เฟอร์ไรท์ (Toroidal Ferrite) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง วงนอก 1.27 cm. วงใน 0.7 cm. , ตัวเก็บประจุชนิดไมร่า (Mira Capacitor) ขนาด 0.1 μF 1 ตัวและขนาด 2200 pF 2 ตัว , ตัวต้านทาน ขนาด 1.0 MΩ 1 ตัว ดังรูปที่ 9 และอุปกรณ์กันแรงดันไฟเกิน (Varistor) โดยเลือกใช้แบบที่นำวาริสเตอร์ต่อไว้หน้าวงจรบริดจ์



รูปที่ 9 EMI Filter

3. การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบหาค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า ได้ทำการทดสอบและบันทึกผลจาก Digital Oscilloscope ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL1520 และ Power Analyzer ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น PZ4000 ค่าองค์ประกอบต่างๆที่ทำการบันทึกประกอบด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า , ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า โดยวัดแยกทั้งที่หลอดทดสอบและระบบรวมไปถึงค่าแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอด , ค่าตัวประกอบกำลัง และ ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุท (THDi) ส่วนคุณสมบัติทางแสงสว่างนั้น ได้ทำการทดสอบและบันทึกผลจาก Gonio Photometer ณ KMITL Illumination Laboratory

ในบทความนี้ ได้ทำการแบ่งการทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้า , คุณสมบัติทางแสงสว่างออกเป็น 2 หัวข้อ โดยค่าในตารางผลการทดสอบที่ได้นั้นเกิดจากการเฉลี่ยของการวัดผล 3 ครั้ง

3.1 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าของบัลลาสต์แมกเนติก

แบ่งการวัดผลออกเป็น

แบบที่ 1 หมายถึง บัลลาสต์แมกเนติก แบบที่ต่อตัวเก็บประจุเพื่อชดเชยค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

แบบที่ 2 หมายถึง บัลลาสต์แมกเนติก แบบที่ไม่ได้ต่อตัวเก็บประจุเพื่อชดเชยค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์แมกเนติก

	Magnetic Ballast	
	แบบที่1	แบบที่2
แรงดันจุดหลอด (kV)	4.82	4.79
แรงดันตกคร่อมหลอด (V)	96.53	94.17
กระแสไหลผ่านหลอด (A)	2.987	2.749
กำลังไฟฟ้าที่หลอด (Watt)	250.7	230.2
แรงดันตกคร่อมระบบ (V)	221.1	221.3
กระแสระบบ (A)	1.39	2.737
กำลังไฟฟ้าระบบ (Watt)	278.4	281.4
Power Factor	0.9058	0.464
THDi (%)	24.574	11.028
Efficiency (lumen/watt)	108.3	109.7

3.2 การทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

แบ่งการวัดผลออกเป็น

แบบที่ 1 หมายถึง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบบมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังชนิดที่มีชุด EMI Filter

แบบที่ 2 หมายถึง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบบมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังชนิดที่ไม่มีชุด EMI Filter

แบบที่ 3 หมายถึง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบบไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังชนิดที่มีชุด EMI Filter

แบบที่ 4 หมายถึง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบบไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังชนิดที่ไม่มีชุด EMI Filter

PW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

	Electronic Ballast			
	PFC EMI	PFC No EMI	No PFC EMI	No PFC No EMI
แรงดันจุดหลอด (kV)	4.723	4.815	4.622	4.794
แรงดันตกคร่อมหลอด (V)	100.937	99.934	69.263	68.004
กระแสไหลผ่านหลอด (A)	2.3916	2.4646	2.1839	2.1429
กำลังไฟฟ้าที่หลอด (Watt)	241.09	245.9	150.94	145.41
แรงดันตกคร่อมระบบ (V)	223.764	226.651	222.687	226.73
กระแสระบบ (A)	1.9308	1.6998	1.3265	1.3741
กำลังไฟฟ้าระบบ (Watt)	262.87	264.18	161.24	166.88
Power Factor	0.90734	0.98845	0.999	0.999
THDi (%)	43.19	49.555	82.312	64.755
Efficiency (lumen/watt)	121.9	119.4	116.1	115.3

4. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์นั้น สามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

(1) ค่าความสูญเสีย (Watt Loss) ที่ตัวบัลลาสต์โดยเฉลี่ยของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าต่ำกว่าบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(2) ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) โดยเฉลี่ยของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่ามากกว่า 0.85 และมีค่ามากกว่าค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก

(3) ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่ามากกว่า ประสิทธิภาพของบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก โดยสามารถพิจารณาได้จากค่า lumen / watt

(4) ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุท (%THDi) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีค่าเกินกว่า 30% ที่ตั้งไว้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นต้องพัฒนาต่อไป เพื่อให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและสำฤทธิ์ผลตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ทุกๆท่าน ที่มีส่วนเป็นอย่างมากในทุกๆเรื่องซึ่งช่วยให้บทความนี้สำเร็จได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] มรกต สุตะวงค์ และ คณะ , " บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง " ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2544.

[2] Ned Mohan , Tore M. Underland and William P.Robbins , " Power Electronics Converters, Applications and Design " Second Edition, John Willey & Sons, Inc.

[3] Wang Wei , Zhang Weiqiang , Gao Guoan and Xu Dianguo , "A study of an electronic ballast for high pressure sodium lamp ", *IEEE Transaction and Industrial Electronics.* , vol.53 , No.4 , August 2000.

[4] Richard Lee Ozenbaugh, " EMI Filter Design " , New York , Marcel Dekker, 1996.

วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับมหาบัณฑิตที่สถาบันเดียวกัน สาขาที่สนใจ Power Quality and Energy conversion.

เชาว์ ชมภูอินไหว สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เกียรตินิยม)และปริญญาโท ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเดียวกัน สาขาวิชาที่สนใจ Illumination Engineering , Power System Stability and Control , AI for Power System and Energy Conversion Technology.

ศุลี บรรจงจิตร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า พระจอมเกล้าธนบุรี และปริญญาโท ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า พระจอมเกล้า ฯ ลาดกระบัง สาขาวิชาที่สนใจ Power System Design Low & High Voltage , *Power Quality* , *Illumination* Engineering , Grounding *System* , *Transformer* and Renewable Energy.

ประภาษ ไพรสุวรรณา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์และหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเดียวกัน สาขาวิชาที่สนใจ Energy Conversion Technology , Electric Drive , Machine , Battery Charger and Power Electronics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายวรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล เกิดเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2542 โครงงานในระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คือ การรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

ผลงานทางวิชาการ

วรวัฒน์ ถาวรไพศาลกุล , เชาว์ ชมภูอินไหว , ศุลี บรรจงจิตร และ ประภาษ ไพรสุวรรณา "บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง " การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 25 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2545.

ประสบการณ์การทำงาน

ปี พ.ศ. 2543 - 2545 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกร บริษัท ซัมมิท ออโตซีท จำกัด

ปี พ.ศ. 2545 - ปัจจุบัน ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายขาย บริษัท คอมโพแม็ก จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้