

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวที่มีการแก้ตัวประกอบกำลัง
สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

A SINGLE STAGE POWER CONVERSION ELECTRONIC BALLAST
WITH POWER FACTOR CORRECTION FOR FLUORESCENT LAMP



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-020-193

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ส่งถ่ายกำลังขั้นเดียวที่มีการแก้ตัวประกอบกำลัง
สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

A SINGLE STAGE POWER CONVERSION ELECTRONIC BALLAST
WITH POWER FACTOR CORRECTION FOR FLUORESCENT LAMP



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-020-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SINGLE STAGE POWER CONVERSION ELECTRONIC BALLAST
WITH POWER FACTOR CORRECTION FOR FLUORESCENT LAMP



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELEECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-EN-M-020-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ส่งจ่ายกำลังขึ้นเดียวที่มีการแก้ตัวประกอบกำลังสำหรับหลอด
ฟลูออเรสเซนต์

Thesis Title A Single Stage Power Conversion Electronic Ballast with Power Factor
Correction for Fluorescent Lamp

นักศึกษา นายอุเทน ศิริสุทธิ

รหัสประจำตัว 54610648

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-020-193

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุพัฒน์	กิตติรัตน์สัจจา	
ดร.สมภาพ	ผลไม้	
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	
ดร.ภาพ	จันทร์เจริญสุข	
รศ.ดร.วิจิตร	กิณเรศ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2558 เวลา 12.00-14.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวที่มีการแก้ไข ตัวประกอบกำลังสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์
นักศึกษา	นายอุเทน ศิริสุทธิ
รหัสนักศึกษา	54610648
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและจำลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีแก๊วประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนี้ ประกอบไปด้วยวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แก๊วประกอบกำลัง ภายใต้การส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียว ด้วยการออกแบบขดลวดคู่ภายในตัวเดียวกัน ทำให้ลดจำนวนอุปกรณ์สวิตซิ่ง วงจรกำลังเป็นแบบเรโซแนนซ์ อนุกรมและวงจรอินเวอร์เตอร์แบบคลาสสิก ภายใต้การทำงานสวิตช์แรงดันศูนย์ ความถี่สวิตช์ 30 กิโลเฮิร์ต เพื่อขับหลอดฟลูออเรสเซนต์, หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 28 วัตต์และ 35 วัตต์ มีการทดลองภายใต้แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง ซึ่งให้ผลการทดลอง สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์ ประสิทธิภาพ 87 เปอร์เซ็นต์, ความเพี้ยนเชิงรวมฮาร์มอนิกของกระแสอินพุต, และค่าตัวประกอบกำลัง, 87 เปอร์เซ็นต์, 8.5 เปอร์เซ็นต์, 0.99, สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 35 วัตต์ ประสิทธิภาพ 89 เปอร์เซ็นต์, ความเพี้ยนเชิงรวมฮาร์มอนิกของกระแสอินพุต, และค่าตัวประกอบกำลัง, 89 เปอร์เซ็นต์, 11.5 เปอร์เซ็นต์, 0.99, ให้ค่าตัวประกอบกำลังเข้าใกล้หนึ่งและกระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์ ที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง สำหรับทั้งสองหลอด, ในการทดลองได้ใช้การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรมแมทแลบ เวอร์ชัน 2013 ในการนำเสนอ, การจำลองสอดคล้องกับการทดลองให้ผลดี

Thesis Title	A Single Stage Power Conversion Electronic Ballast with Power Factor Correction for Fluorescent Lamp
Student	Mr.Utain Sirisut
Student ID.	54610648
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Vijit Kinneres

ABSTRACT

This thesis presents design and simulation of a single stage power conversion electronic ballast with power factor correction for fluorescent lamps. The electronic ballast consists of a boost converter with coupled inductor acting as power factor correction with single stage power conversion, resulting in a decrease in switching number, series resonant power circuit and a class D inverter under zero voltage switch operation with 30 kHz switching frequency. 28 W and 35 W T5 fluorescent lamps are driven with the proposed circuit at rated input voltage. In addition, For the 28 W lamp efficiency, total harmonic distortion of input current, and power factor are 87%, 8.5% and 0.99, respectively. For the 35W lamp at rated input voltage, efficiency, input current, and power factor are 89%, 11.5% and 0.99, respectively. For both lamps, power factor is close to unity and input current is nearly sinusoidal. Also, the test has been conducted under input voltage variation. In addition computer simulation using MATLAB version 2013 of the proposed electronic ballast circuit is given. The simulation and experimental results are in a good agreement.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ซึ่งให้คำแนะนำ คำปรึกษาและแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่าน ตั้งแต่ชั้นประถมศึกษาจนถึงมหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

ขอกราบขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนคำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ อ.วิณโน ยีดำ, อ.วีระ ชันยาภิรักษ์, อ.พูนศรี วรรณการ และ อ.ชวพร บำรุงพฤกษ์ รุ่นพี่ปริญาเอกทุกคนที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือและช่วยตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ว่าที่ ร.ท. โกวิท ภูฉลาด และ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ห้องปฏิบัติการวิจัย PMC (Power Electronics and Machine Control Research Laboratory) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณจิราภรณ์ ศิริสุทธิ ภรรยาของข้าพเจ้าที่เข้าใจและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ คุณพ่อถนอม คุณแม่เมณี ศิริสุทธิ ซึ่งเป็นที่เคารพรักของข้าพเจ้า คุณประโยชน์อันใดพึงเกิดจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อุเทน ศิริสุทธิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	4
2.2.1 หลอดแก้วทรงกระบอก.....	5
2.2.2 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	5
2.2.3 ไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	6
2.2.4 ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท.....	6
2.2.5 สารเรืองแสง.....	6
2.3 หลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	6
2.4 การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	7
2.5 การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์แกนเหล็ก.....	7
2.6 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	8
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	10
3.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	10
3.1.1 การแทรกซ้อนสนามแม่เหล็กผ่านสายตัวนำ.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 ลักษณะวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	13
3.2 วงจรเรียงกระแส.....	14
3.2.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น.....	14
3.3 การประเมินสมรรถนะของวงจรด้วยค่าดัชนีคุณภาพไฟฟ้า.....	15
3.3.1 แรงดันและกระแสมูลฐานอาร์เอ็มเอส.....	15
3.3.2 แรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอส.....	16
3.3.3 ค่าตัวประกอบกำลัง.....	16
3.3.4 ค่าองค์ประกอบความถี่รวมของฮาร์มอนิก.....	18
3.4 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง.....	19
3.4.1 การปรับปรุงแบบพาสซีฟ.....	21
3.5 อินเวอร์เตอร์.....	21
3.5.1 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	22
3.5.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์.....	22
3.5.3 อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี.....	23
3.6 สภาวะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	24
บทที่ 4 การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	29
4.1 โครงสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ.....	29
4.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	30
4.3 วงจรเรียงกระแส.....	31
4.4 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง.....	33
4.5 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์.....	35
4.6 วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์.....	37
4.6.1 การออกแบบไอซีเบอร์ IR2153.....	38
4.7 วงจรเรโซแนนซ์.....	40
บทที่ 5 ผลการจำลองและการทดลอง.....	45
5.1 บทนำ.....	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า.....	46
5.3 ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมแมทแลบเวอร์ชัน 2013.....	46
5.4 ผลการทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอขนาด 28วัตต์.....	49
5.4.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะเริ่มขับโหลด.....	49
5.4.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต.....	50
5.4.3 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง.....	52
5.4.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะอยู่ตัว.....	63
5.4.5 บันทึกผลการทดลองค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 28วัตต์.....	64
5.5 ผลการทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอขนาด 35วัตต์.....	66
5.5.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะเริ่มขับโหลด.....	66
5.5.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต.....	67
5.5.3 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง.....	70
5.5.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะอยู่ตัว.....	80
5.5.5 บันทึกผลการทดลองค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 35วัตต์.....	81
5.6 เปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโหลดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28วัตต์และ35วัตต์.....	83
5.7 สรุปผลการทดลอง.....	84
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	88
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	88
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	89
เอกสารอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก ก ข้อมูลประกอบการทำงานของไอซีเบอร์ IR2153	
ภาคผนวก ข ข้อมูลประกอบการทำงานของไอซีเบอร์ IRF840	
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารวิชาการ ประวัติผู้เขียน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อVI างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 นิยามของดัชนีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพรูปคลื่นกระแสอินพุต.....	19
4.1 กำหนดคุณสมบัติการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ.....	30
5.1 ข้อกำหนดในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	45
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
5.3 บันทึกผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200-240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดT5 ขนาด 28 วัตต์.....	64
5.4 บันทึกผลแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200-240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดT5 ขนาด 35 วัตต์.....	81
5.5 เปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์.....	84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	4
2.2 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	5
2.3 ลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์.....	7
2.4 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	9
3.1 เส้นทางเดินสัญญาณรบกวนโหมมรวม.....	11
3.2 เส้นทางเดินสัญญาณรบกวนโหมมผลต่าง.....	13
3.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	13
3.4 (ก) วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น.....	14
(ข) รูปคลื่นแรงดันด้านเข้า.....	14
(ค) รูปคลื่นแรงดันด้านออกและกระแสด้านออก.....	14
3.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นแบบไม่เชิงเส้น.....	18
3.6 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	20
3.7 แรงดันและกระแสหลังจากต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ.....	20
3.8 วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ.....	21
3.9 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณโหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์.....	22
3.10 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณของโหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์.....	23
3.11 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณของโหลดอินเวอร์เตอร์ชนิดคลาสดี.....	23
3.12 สัญญาณการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่1.....	24
3.13 สัญญาณการทำงานช่วงระหว่างครึ่งไซเคิลบวกของแรงดันอินพุต.....	25
3.14 สัญญาณการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่2.....	25
3.15 สัญญาณการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่3.....	26
3.16 สัญญาณการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่4.....	27
3.17 สัญญาณการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่5.....	28
4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ.....	29
4.2 วงจรป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	31
4.3 กระแสอินพุตและกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำบูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	33
4.4 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง.....	35
4.5 วงจรอินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่นำเสนอ.....	37
4.6 การต่อวงจรขับนำกระแสเข้ากับสวิตช์มอสเฟต.....	37
4.7 ไตอะแกรมการทำงานของไอซี IR2153.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัด VIII จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ไดอะแกรมสร้างความถี่และสัญญาณขับเคลื่อนของ IR2153.....	39
4.9 ไดอะแกรมเวลาของสัญญาณสร้างความถี่และสัญญาณขับเคลื่อนของ IR2153.....	39
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง R_T และ C_T ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่.....	40
4.11 วงจรควบคุมการขับเคลื่อนของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	41
5.1 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมแมทแลบ.....	47
5.2 แรงดันสวิทช์มอสเฟตและกระแสไฟฟ้าของสวิทช์มอสเฟตจำลอง ด้วยโปรแกรมแมทแลบ.....	47
5.3 แรงดันสวิทช์มอสเฟตและกระแสไฟฟ้าของการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ.....	48
5.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนช่วงสภาวะอยู่ตัวด้วยการจำลอง ด้วยโปรแกรมแมทแลบ.....	48
5.5 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตด้วยการจำลองโปรแกรมแมทแลบ.....	49
5.6 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มขับเคลื่อนของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 28วัตต์.....	50
5.7 สัญญาณแรงดันสวิทช์มอสเฟต v_{DS1} และ v_{DS2} ของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์.....	51
5.8 แรงดันสวิทช์ v_{DS1} และกระแสไหลผ่านสวิทช์ i_{DS1} บัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์.....	51
5.9 แรงดันสวิทช์ V_{DS2} และกระแสไหลผ่านสวิทช์ i_{DS2} บัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์.....	52
5.10 แรงดันสวิทช์ v_{DS2} และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_{LS}	52
5.11 วัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	53
5.12 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	53
5.13 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	54
5.14 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	54
5.15 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	55
5.16 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.17 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	56
5.18 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	56
5.19 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	57
5.20 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	57
5.21 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	58
5.22 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	58
5.23 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	59
5.24 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	59
5.25 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	60
5.26 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	60
5.27 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	61
5.28 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์.....	61
5.29 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์.....	62
5.30 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	62
5.31 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	63
5.32 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับโหลดสภาวะอยู่ตัว ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.33 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับหลอดสภาวะอยู่ตัว ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์.....	64
5.34 กำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาพุตเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิด T5 ขนาด 28วัตต์.....	65
5.35 ประสิทธิภาพเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 28วัตต์.....	65
5.36 กราฟแรงดันไฟฟ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงและฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 28วัตต์.....	66
5.37 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มขับหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 35วัตต์.....	67
5.38 สัญญาณแรงดันสวิตช์มอสเฟต v_{DS1} และ v_{DS2} ของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์.....	68
5.39 แรงดันสวิตช์ v_{DS1} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS1} บัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์.....	68
5.40 แรงดันสวิตช์ V_{DS2} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS2} บัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์.....	69
5.41 แรงดันสวิตช์ v_{DS2} และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_{LS}	69
5.42 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	70
5.43 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	71
5.44 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	71
5.45 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมเมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์.....	72
5.46 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	72
5.47 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	73
5.48 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	73

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.49 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์.....	74
5.50 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	74
5.51 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	75
5.52 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	75
5.53 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์.....	76
5.54 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	76
5.55 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	77
5.56 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	77
5.57 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์.....	78
5.58 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์.....	78
5.59 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์.....	79
5.60 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์.....	79
5.61 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์.....	80
5.62 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับหลอดสถานะอยู่ตัว ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์.....	80
5.63 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่หลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์.....	81
5.64 กำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาพุตเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิด T5 ขนาด 35วัตต์.....	82
5.65 ประสิทธิภาพเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 35วัตต์.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลง XII อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.66 กราฟแรงดันไฟฟ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงและฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนชนิด T5 ขนาด 35วัตต์.....	83
5.67 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงและฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนชนิด T5 ขนาด 28วัตต์และ35วัตต์.....	85
5.68 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนชนิด T5ขนาด28วัตต์และ 35วัตต์.....	87



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานส่องสว่างเป็นพลังงานที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตมนุษย์ ในยุคการแข่งขันกันทางธุรกิจที่สูง สถานประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน มีความจำเป็นต้องลดต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆลงเพื่อรักษาผลกำไรในการลงทุน การลดต้นทุนของพลังงานส่องสว่าง ซึ่งถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักของต้นทุนค่าใช้จ่ายของธุรกิจ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมด ด้วยมาตรการต่างๆเหล่านี้ก่อให้เกิดการใช้พลังงานส่องสว่างให้รู้คุณค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยประหยัดการใช้พลังงานลง รูปแบบของพลังงานส่องสว่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือหลอดฟลูออเรสเซนต์เนื่องจากประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง ให้แสงสว่างราบเรียบอายุการใช้งานยาวนาน โดยมีการใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอด, ใช้ในการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้สว่างและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้กันตามท้องตลาด ให้ค่าตัวประกอบกำลังสูง การทำงานวงจรส่งถ่ายกำลังแบบสองขั้นทำให้วงจรใช้อุปกรณ์จำนวนมากในวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์ในส่วนปรับปรุงค่าประกอบกำลัง ดังนั้นในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและจำลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังขึ้นเดียว สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์และขนาด 35 วัตต์ขนาดพิกัดแรงดันอินพุตไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ภายใต้การส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวเพื่อแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุต(Power Factor) ให้ใกล้เคียงหนึ่ง ด้วยการออกแบบวงจรปรับปรุงค่าประกอบกำลังขดลวดคู่ภายในตัวเดียวกัน ทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ควบคุมการสวิตช์และตัวสวิตช์ ในวงจร ให้ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรสูง เปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสอินพุต (% THDi) ต่ำ ทำให้รูปคลื่นสัญญาณกระแสอินพุตเข้าใกล้ไซน์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงาน และโครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวสำหรับใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 ออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวสำหรับใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์และ 35 วัตต์

1.2.4 เพื่อพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์และ 35 วัตต์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ในขณะที่ไม่ทำงานหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าความต้านทานสูงมากใกล้ค่าอนันต์ ทำให้ในขณะที่ทำงานหลอดฟลูออเรสเซนต์ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงมากพอที่จะใช้ในการขับหลอดที่ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองข้างของขั้วหลอดไฟจนเกิดการนำกระแส มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอด ค่าความต้านทานภายในหลอดลดลง

1.3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ทำงานในสภาวะสวิตช์แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switching; ZVS) ทำให้ลดการสูญเสียในตัวสวิตช์น้อยลง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์และ 35 วัตต์

1.4.2 แรงดันไฟฟ้าอินพุตกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต

1.4.3 ความถี่การทำงานของสวิตช์กำลัง 30 กิโลเฮิร์ตซ์

1.4.4 ค่าตัวประกอบกำลังมากกว่า 0.95

1.4.5 ประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรมากกว่า 80%

1.4.6 ค่าความผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าทางดำนอินพุตไม่เกิน 25%

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาค้นคว้ารวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาค้นคว้าหลักการทํางาน และโครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.5.3 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและการออกแบบ ที่เกี่ยวข้องกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

1.5.4 ศึกษาและวิเคราะห์การขับหลอดสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.5.5 ออกแบบและจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยโปรแกรมแมทแลบ เวอร์ชัน

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.6 สร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้

1.5.7 ทดลองและปรับปรุงประสิทธิภาพ มาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบให้ได้ตามข้อกำหนด

1.5.8 รวบรวมผลจากการทดลองเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.5.9 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

ส่วนประกอบวิทยานิพนธ์สำหรับการนำเสนองานวิจัยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแบ่งเป็น 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย, สมมติฐานของการศึกษา, ขอบเขตการวิจัย, ขั้นตอนการศึกษา และโครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ กล่าวถึงหลักการทำงาน, โครงสร้างของหลอด, บัลลาสต์ที่ใช้สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐาน กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

บทที่ 4 การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ กล่าวถึงการออกแบบวงจรของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ของโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

บทที่ 5 ผลการจำลองและทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5 ขนาด 28วัตต์และ ขนาด 35วัตต์

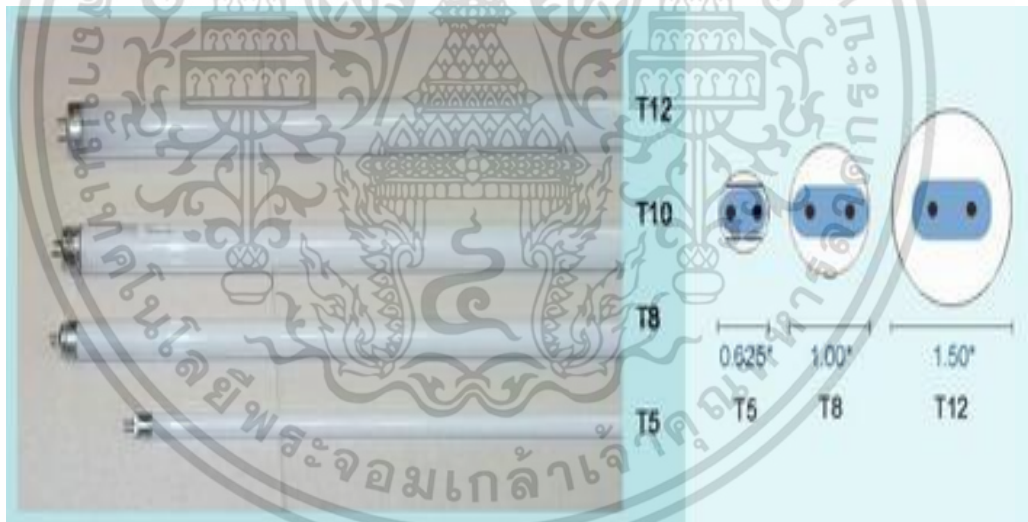
บทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง กล่าวถึงสรุปภาพรวมของผลการวิจัย ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะในการพัฒนาวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ต้นแบบต่อไป

บทที่ 2

หลอดฟลูออเรสเซนต์

2.1 บทนำ

หลอดฟลูออเรสเซนต์ ได้รับความนิยมน้อยกว่าแพร่หลาย โดยถูกนำไปใช้งานทดแทนหลอด
เผาไส้ (Incandescent lamp) ในการให้แสงสว่างโดยทั่วไป เมื่อจำแนกชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์
อยู่ในกลุ่มหลอดไฟชนิดก๊าซดิสชาร์จไอปรอทความดันต่ำ (Low Pressure Mercury Gas
Discharge) โดยจะมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอด ให้กลายเป็นพลังงานแสงสว่าง
จากคุณสมบัติการนำแสงของก๊าซความดันต่ำ ไอปรอท และสารเรืองแสง ซึ่งแตกต่างจากหลอดแบบ
เผาไส้ ตรงที่พลังงานที่ใช้จะสูญเสียในรูปของความร้อน เมื่อกระแสเผาไส้หลอดให้ร้อนเพื่อเกิดแสง
สว่าง



รูปที่ 2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์

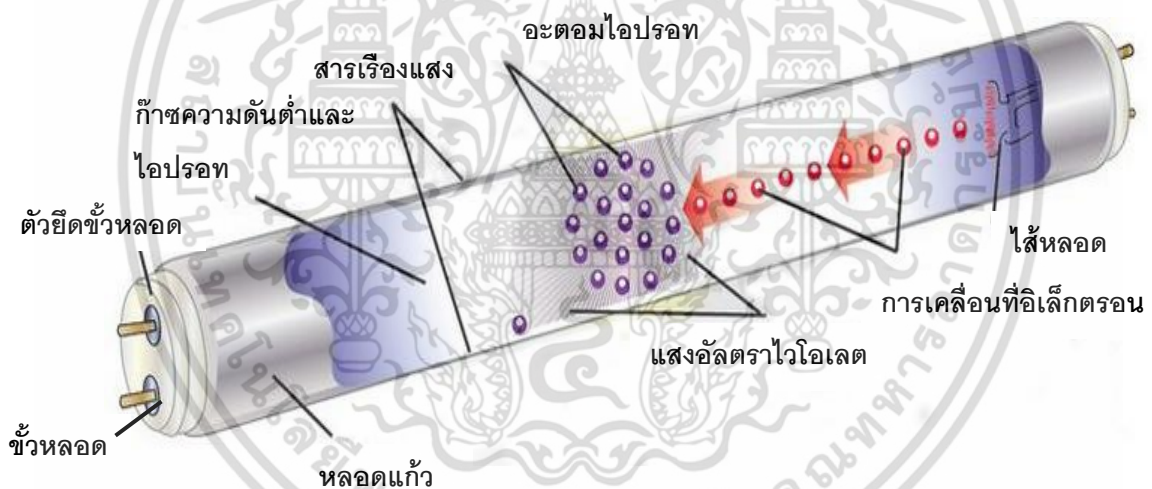
2.2 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีส่วนประกอบที่สำคัญหลายอย่างนำมารวมกันทำให้เกิดแสงสว่าง ที่
มนุษย์สามารถมองเห็นได้ โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกยาวภายใน
ประกอบด้วยสารเรืองแสง ก๊าซความดันต่ำ ไอปรอท ขั้วหลอด อิเล็กโทรดที่มีลักษณะเป็นไส้หลอด

ขนาดเล็กอยู่ที่บริเวณขั้วหลอดไฟทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ในแต่ละส่วนสามารถอธิบายลักษณะการทำงานได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 หลอดแก้วทรงกระบอก

ตัวหลอดแก้วทรงกระบอกยาวใช้สำหรับหุ้มอุปกรณ์ที่อยู่ภายในของการกำเนิดแสงไว้ ตัวหลอดทรงกระบอกยาวมีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ใช้งาน โดยการกำหนดขนาดของกระเปาะจะใช้ตัว T แล้วตามด้วยตัวเลขกำกับเพื่อที่จะระบุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นหุน เช่นหลอด T5 หมายถึงหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 หุน หรือ 5/8 นิ้ว เป็นต้น บริเวณขั้วหลอดด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงรายละเอียดของหลอดเช่น จำนวนวัตต์ ปริมาณแสงและชนิดของหลอด เป็นต้น สำหรับที่อยู่อาศัยทั่วไปจะใช้แบบ daylight ที่มีสีโทนขาว-ฟ้า ส่วนแบบ warm white จะให้แสงสีโทนขาว-ส้มคล้ายหลอดเผาไส้ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

2.2.2 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์

ในส่วนของขั้วหลอดเป็นส่วนที่รับพลังงานไฟฟ้าจากวงจรขั้วหลอดเข้าภายในหลอด เพื่อให้หลอดฟลูออเรสเซนต์กำเนิดแสงสว่างได้ ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของหลอด เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบอุ่นไส้ (Preheat) ต้องการขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วในแต่ละข้างของหลอด

2.2.3 ไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Filament lamp)

ไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นขดลวดทั้งสแตนท์ที่นำมาขดซ้อนๆกันและฉาบด้วยสารชนิดที่ปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนในอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เนื่องจากโลหะทั้งสแตนท์จะปล่อยอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 700 องศาเซลเซียส

2.2.4 ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท (Mercury vapour and gas discharge)

ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท ทำหน้าที่กำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแสงที่ตามองไม่เห็น เมื่อก๊าซความดันต่ำและไอปรอทถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ก่อนจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะยังไม่นำกระแสเนื่องจากปกติก๊าซความดันต่ำและไอปรอทจะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงพอจะเกิดการกระตุ้นให้มีการปล่อยประจุและสามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อก๊าซความดันต่ำและไอปรอทนำกระแสจะมีการปล่อยแสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตรออกมา แสงสว่างนี้จะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแสงในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ด้วยสารเรืองแสงซึ่งฉาบอยู่ภายในหลอด

2.2.5 สารเรืองแสง (Phosphor)

สารเรืองแสงซึ่งฉาบด้านในของตัวหลอดแก้วเป็นสารที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตให้กลายเป็นแสงที่ตามองเห็นได้ ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของสารที่ใช้อยู่ภายในของหลอด การใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไปทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีส้มต่างๆกันได้ เมื่อยังไม่นำกระแสไฟฟ้า หลอดจะยังคงมีสีขาวอยู่

2.3 หลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ในสภาวะปกติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขณะไม่ทำงานหรือหลอดดับ ก่อนขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ก๊าซความดันต่ำและไอปรอทภายในหลอดแก้วยังไม่นำกระแสเนื่องจากไม่มีกระแสไหลผ่านหลอดค่าความต้านทานภายในหลอดมีค่าสูงมาก จนกว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดของหลอดทั้งสองข้างที่สูงมากพอทำให้จุดหลอดได้ ทำให้กระตุ้นเกิดการปล่อยประจุอิเล็กตรอนจากขั้วหลอดให้เคลื่อนที่ผ่านตัวนำที่เป็นไอปรอทและก๊าซความดันต่ำที่อยู่ภายในหลอดให้เคลื่อนที่ข้ามไปยังขั้วหลอดอีกข้างหนึ่งจึงจะเกิดรังสีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านก๊าซความดันต่ำ ทำให้หลอดเริ่มนำกระแสและแตกตัวเป็นไอออน เกิดเป็น แสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ แสงอัลตราไวโอเล็ต

จะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่ถูกฉาบไว้ภายในผิวของหลอดแก้วให้กำเนิดแสงสว่างที่สามารถมองเห็นออกมา แสดงปรากฏการณ์กำเนิดแสงสว่างดังกล่าว

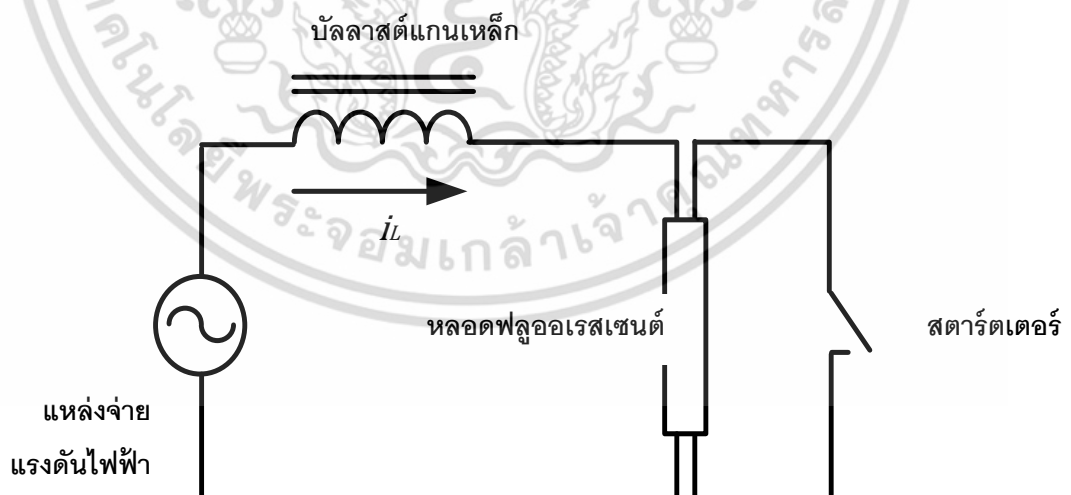
2.4 การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบ่งออกเป็น 2 สถานะคือ

1. ช่วงก่อนจุดหลอดให้ติดสว่าง
2. ช่วงทำงานปกติ

ในสถานะก่อนจุดหลอดให้ติดสว่าง ค่าความต้านทานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะมีค่าสูงมาก ดังนั้นไม่มีขนาดการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ติดสว่างจะต้องใช้แรงดันที่มีขนาดสูงมาก ซึ่งแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดจะขึ้นอยู่กับ เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอด, ความยาวของหลอด, อุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรด เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างแล้วจะมีกระแสไฟไหลผ่านหลอดทำให้ความต้านทานของหลอดลดลงเท่ากับค่าพิกัด

2.5 การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์แกนเหล็ก

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ความต้านทานพลวัตในภาวะการทำงานปกติเป็นลบ จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะใกล้เคียงแหล่งจ่ายกระแส เพื่อให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์



รูปที่ 2.3 ลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์

มีเสถียรภาพ การทำให้แหล่งแหล่งจ่ายแรงดันมีลักษณะใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายกระแสจะทำได้โดยใช้ อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายแรงดันสูงขึ้น โดยทั่วไปบัลลาสต์แกนเหล็กจะใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

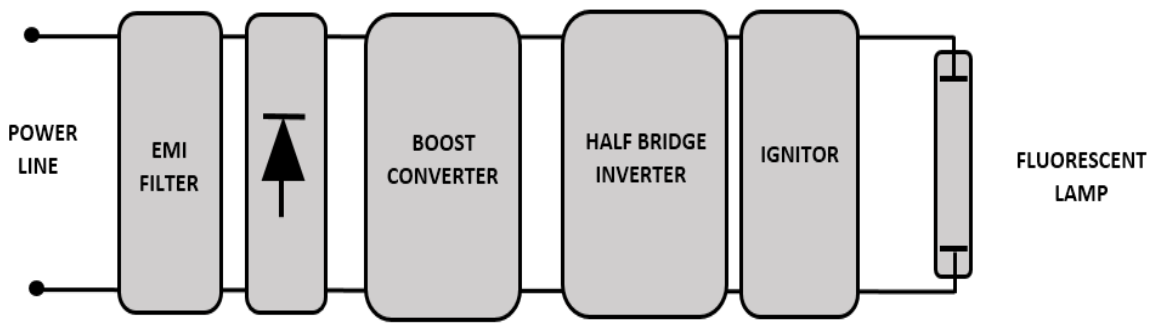
ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียในอิมพีแดนซ์มากเกินไป ดังนั้นลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์แกนเหล็กจะเป็นดังรูปที่ 2.4

การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์ มีลักษณะดังนี้คือ เมื่อเริ่มแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจร ในรูปที่ หลอดฟลูออเรสเซนต์จะไม่นำกระแสทันที แรงดันไฟฟ้าส่วนใหญ่จะตกคร่อมที่ตัวสตาร์ทเตอร์ ทำให้เกิด Glow discharge ขึ้นที่หน้าสัมผัสของสตาร์ทเตอร์ ส่งผลให้หน้าสัมผัสเกิดความร้อนขึ้นและต่อวงจร เมื่อหน้าสัมผัสของสตาร์ทเตอร์ที่เป็น bimetal ต่อวงจรแรงดันคร่อมสตาร์ทเตอร์ลดลง Glow discharge ทำให้หน้าสัมผัสของสตาร์ทเตอร์เย็นตัวลงและตัดวงจร ในช่วงที่สตาร์ทเตอร์ตัดวงจรบัลลาสต์แกนเหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันสูงตกคร่อมที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ แรงดันนี้เรียกว่าแรงดันจุดหลอด และถ้าแรงดันไม่สูงมากพอที่จะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่าง แรงดันคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์จะลดต่ำลง ทำให้แรงดันตกคร่อมที่ตัวสตาร์ทเตอร์ มีค่าไม่สูงมากพอที่จะทำให้เกิด Glow discharge ได้อีก สตาร์ทเตอร์ เกิดการเปิดวงจรสิ้นสุดการทำงาน

2.6 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คืออุปกรณ์ ทำหน้าที่เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทำให้หลอดสว่างและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงสามารถออกแบบตัวเหนี่ยวนำให้มีขนาดเล็กลงได้และมีความสูญเสียต่ำตลอดจนราคาไม่แพงเกินไป การทำงานที่ความถี่สูงนอกจากจะสามารถลดกำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เป็นบัลลาสต์แล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ สูงขึ้นตามความถี่การทำงานได้อีกด้วย

การให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทำงานที่ความถี่สูง ถึงแม้จะช่วยลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์และลดกำลังต้านเข้าของหลอดลงได้ แต่เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงานให้กับบัลลาสต์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz หรือไม่กี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงดังนั้นไม่จำเป็นต้องใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเนื่องจากจะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในคอนเวอร์เตอร์เอง และเพื่อให้สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัวอินเวอร์เตอร์ต้องมีประสิทธิภาพสูงตามโครงสร้างในรูปที่ 2.4 สามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบย่อยได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1) วงจรป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter) มีหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI (Electromagnetic Interference) จากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนการทำงานของวงจรภายในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์และยังป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ออกไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ภายนอก และนอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องการป้องกันกระแสกระชาก (Surge current) แรงดันเกินชั่วขณะในตอนเปิดไฟได้อีกด้วย

2) วงจรเรียงกระแส (Rectifier) มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

3) วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) มีหน้าที่ปรับปรุงรูปคลื่นของกระแสอินพุตให้มีสัญญาณใกล้เคียงแรงดันด้านอินพุต ซึ่งจะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เพื่อลดกระแสฮาร์โมนิกส์ และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น

4) อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverter) มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์ทำงานภายใต้การทำงานสวิตช์แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switching: ZVS) โดยใช้มอสเฟตเป็นตัวขับเคลื่อนกระแส

5) วงจรกำเนิดสัญญาณขับเคลื่อนกระแสของสวิตช์ (Gate Drive Circuit) มีหน้าที่กำเนิดสัญญาณขับเคลื่อนสวิตช์ โดยการกำเนิดสัญญาณความถี่มาควบคุมสัญญาณการทำงานของสวิตช์มอสเฟตสลับกันทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

6) วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Circuit) ทำหน้าที่ในการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพียงพอให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อให้เกิดการแตกตัวของก๊าซความดันต่ำที่อยู่ภายในหลอด ทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย วงจรกรองอีเอ็มไอ, วงจรเรียงกระแส, วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง, วงจรอินเวอร์เตอร์ และ วงจรขับโหลดโดยทฤษฎีในแต่ละส่วนผู้จัดทำจะนำเสนอเฉพาะที่ใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

3.1 วงจรกรองสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

(Electro Magnetic Interference Filter : EMI filter)

การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยหลายภาคส่วนรวมอยู่ในวงจรต่างๆ ซึ่งมีการทำงานโดยอาศัยหลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้าและมีอุปกรณ์ทำงานในช่วงความถี่สูงหรือแม้กระทั่งสายตัวนำที่เชื่อมต่อระหว่างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การต่ออุปกรณ์เพื่อให้งานทำงาน อาจเป็นสาเหตุในการสร้างสัญญาณรบกวน(Noise) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์หรือระบบใกล้เคียงเกิดการรบกวนที่ผิดพลาดเมื่อเกิดการรบกวน โดยสาเหตุการรบกวนเกิดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามารบกวนวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ยังอาจเกิดจากภายในตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไปรบกวนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่อยู่ข้างเคียงได้อีกด้วย สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การแพร่กระจายทางอากาศ (Radiated EMI) และสัญญาณรบกวนในสายตัวนำ (Conducted EMI)

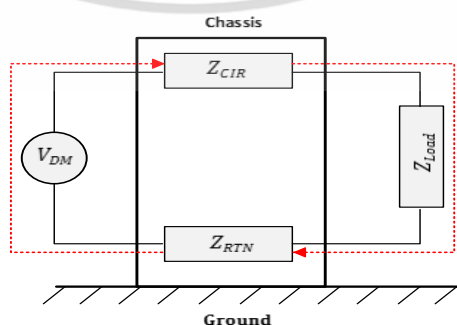
3.1.1 การแทรกซ้อนสนามแม่เหล็กผ่านสายตัวนำ (Conducted Emission)

เป็นการแทรกซ้อนผ่านไปยังแหล่งจ่ายหลัก และย้อนกลับเข้าไปในโครงข่ายของระบบ ระบบส่งกำลังสัญญาณไซน์ คลื่นความถี่สูงนี้จะผสมเข้าไปในสัญญาณไซน์และไปรบกวนอุปกรณ์อื่นๆเช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันนั้นไม่สามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมายส่วนในการแทรกซ้อนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากคอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลของการแทรกซ้อนของแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีขนาดแปรผันตามขนาดกำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าหลักของระบบด้วย

ซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกซ้อนของแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณีนี้จะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลง อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่ทำงานตามจังหวะของสัญญาณ PWM ที่นำไปกระตุ้น กระแสรบกวนที่มีบทบาทสำคัญของการกำเนิดสัญญาณแทรกซ้อนของแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม (Common Mode Noise) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสวิตซ์ซึ่ง จะเกิดการเชื่อมโยงกับเฟรมกราวด์ ตัวเก็บประจุแฝงผ่านตัวระบายความร้อนไหลลงสู่เฟรมกราวด์ นอกจากนี้กระบวนการรบกวนในโหมดร่วมจะแปรสภาพไปเป็นกระแสรบกวนโหมดต่างอีกด้วย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน

3.1.1.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดร่วม (Common Mode)

สัญญาณรบกวนในตัวนำในโหมดร่วมเกิดจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างสายตัวนำเทียบกับสายกราวด์ ซึ่งเกิดจากจังหวะการสวิตซ์ของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการสวิตซ์ซึ่งขณะทำงานที่ความถี่สูงเช่นมอสเฟต ทำให้กระแสคอมมอนโหมดสามารถไหลผ่านตัวเก็บประจุแฝง(Parasitic Capacitor) ระหว่างขาเดรนกับ Heat sing ไหลลงเฟรมกราวด์ ตัวเก็บประจุแฝงนี้จะเป็นเส้นทางเดินของสัญญาณไปยังกราวด์ ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงในโหมดร่วมของทั้งสายสัญญาณ(line) และสายป้อนกลับ(Neutral) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นถ้าปราศจากตัวเก็บประจุแฝงนี้แล้ว จะไม่เกิดสัญญาณรบกวนในกรณีโหมดร่วม จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายสัญญาณ($V_{noiseCIR}$) จะไม่เท่ากับสัญญาณแรงดันของสัญญาณรบกวนของสายป้อนกลับ($V_{noiseRTN}$) ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของสัญญาณรบกวนในแต่ละสายมีค่าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน เพราะว่าการไหลของสัญญาณจะผ่าน อิมพีแดนซ์ของวงจรไปยังโหลด ในขณะที่การไหลของสัญญาณในสายป้อนกลับจะผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับเพียงอันเดียว ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในโหมดผลรวม



รูปที่ 3.1 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

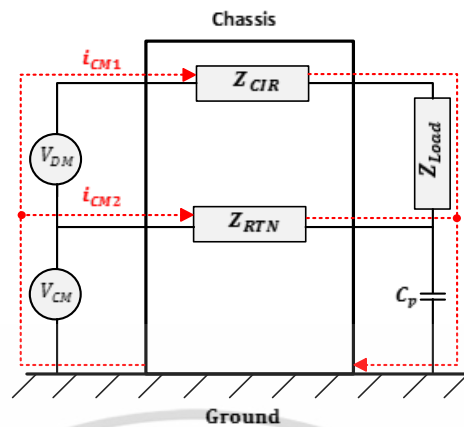
ไม่เท่ากันโดยจะแสดงดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 และเมื่อกระแสไหลตรงรวมไม่เท่ากันก็จะทำให้ระบบเกิดความไม่สมดุลขึ้นและกระแสไหลตรงรวมในกรณีนี้จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณรบกวนในโหมดแตกต่างได้

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

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

3.1.1.2 การเกิดสัญญาณรบกวนในตัวนำโหมดผลต่าง (Differential Mode)

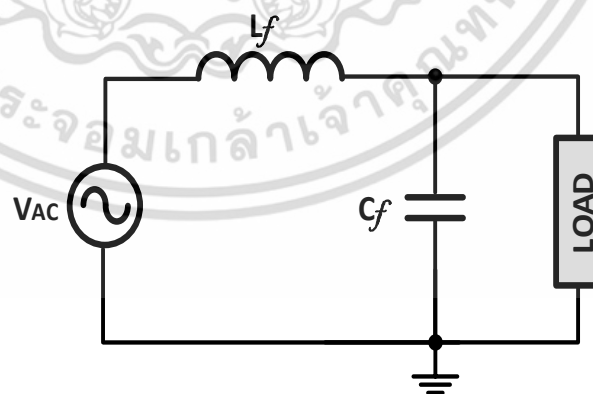
สัญญาณรบกวนโหมดแตกต่างเกิดขึ้นระหว่างสายกำลังทั้งสอง สัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นที่ตัวนำของสายส่งระหว่าง ตัวนำสัญญาณไปยังโหลด(Signal Line) และตัวนำสัญญาณกลับ(Return Line) ทางเดินของสัญญาณรบกวน จะมีลักษณะเป็นวงจรถัด หรือลูป เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กคล้องและเชื่อมโยงไปสู่วงจรใกล้เคียง สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างยัง เกิดขึ้นระหว่างสายการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เช่น สัญญาณนาฬิกาหรือรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันในวงจรใดๆ โดยสัญญาณทางเดินของกระแสหรือแรงดันจะไหลจากแหล่งจ่ายผ่านอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจรเพื่อไปยังโหลดและจะไหลผ่านกลับมายังแหล่งจ่ายโดยผ่านอิมพีแดนซ์ของสายป้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งก็คือทางเดินหลักของสัญญาณในวงจรมานั้น ดังนั้นทางเดินของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานของวงจรจะเป็นทางเดินเดียวกัน ดังนั้นเราสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า การเกิดสัญญาณรบกวนในสายตัวนำในโหมดแตกต่าง การทำงานของวงจรมีความถี่สูงคุณสมบัติของอุปกรณ์หรือตัวนำในวงจรอาจเปลี่ยนไป เช่น ทางเดินสัญญาณจะเกิดค่าการเหนี่ยวนำแฝงขึ้น (Parasitic Inductor) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้เองสามารถที่จะเหนี่ยวนำกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบเดียวกันหรือระบบอื่นทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นได้ ซึ่งการป้องกันจะทำได้โดยการลดลูปของวงจร



รูปที่ 3.2 เส้นทางเดินของสัญญาณรบกวนในโหมดผลต่าง

3.1.2 ลักษณะวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter)

เพื่อป้องกันการรบกวนที่เกิดจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ออกไปสู่วงจรหรืออุปกรณ์ข้างเคียง จำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดระดับสัญญาณรบกวนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือ การต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นอยู่ที่ด้านเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งโหมดความแตกต่างและโหมดร่วม การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แบบพายฟิลเตอร์ (π Filter) แบบที (T Filter) และแบบแอล (L Filter) สำหรับงานวิจัยนี้ได้แนะนำเสนอแบบแอล (L filter) เนื่องจากมีขนาดเล็ก ประหยัด และเป็นวงจรที่ไม่ซับซ้อน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

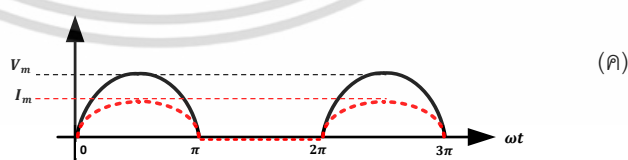
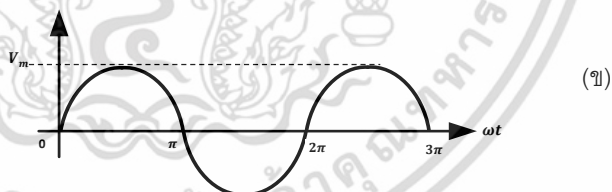
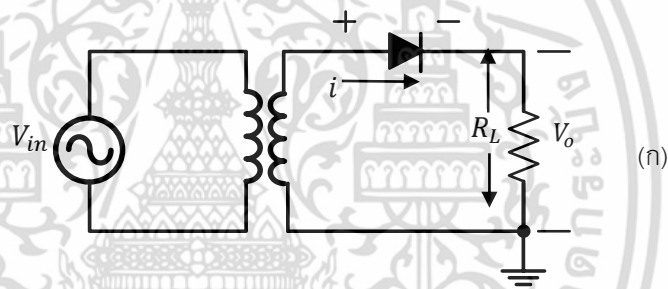
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่มีคุณสมบัติในการทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนแรงดันไฟตรงให้กับวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง วงจรเรียงกระแสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น(Half Wave Rectifier)และแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) ในวงจรจะประกอบไปด้วยไดโอด ซึ่งขนาดลักษณะของไดโอดขึ้นอยู่กับพิกัดของโหลดที่ต้องการสำหรับงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ใช้แรงดันด้านเข้า 220 โวลต์ 1 เฟส

3.2.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier)

ในรูปที่ 3.4 แสดงวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นซึ่งใช้ร่วมกับหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในวงจรประกอบด้วยไดโอด ทำหน้าที่เป็นตัวเรียงกระแส R_L เป็นตัวต้านทานโหลด (Load Resistance)



รูปที่ 3.4 (ก) วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (ข) รูปคลื่นแรงดันเข้า (ค) รูปคลื่นแรงดันออกและกระแสออก

โดยที่ $v_{in} = v_m \sin \omega t$ เป็นแรงดันอินพุต (Input Voltage) ซึ่งมีรูปคลื่นเป็นสัญญาณไซน์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.4(ข) กระแสที่ไหลผ่านวงจร และเป็นแรงดันออก (Output Voltage) ซึ่งอยู่คร่อมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_L รูปคลื่นสัญญาณแสดงไว้ในรูปที่ 3.4(ค) เนื่องจากที่ไดโอดรับแรงดันเดินหน้า และมีกระแสเดินหน้าไหลผ่าน คือช่วง $0 \leq \omega t \leq \pi$ ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.4 (ข) และ 3.4 (ค) ส่วนที่ไดโอดได้รับแรงดันกลับทางและไม่มีกระแสไหลผ่านเลยช่วง $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ ดังแสดงไว้ในรูปทั้งสอง ดังนั้นเราจึงได้กระแส i แรงดันออก V_o และแรงดันคร่อมไดโอด V_D ดังสมการต่อไปนี้

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

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

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

โดยที่

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

3.3 การประเมินสมรรถนะของวงจรด้วยค่าดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้า

ดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินคุณภาพของสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต และเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงสมรรถนะการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังขึ้นเดียวที่ทำการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย

3.3.1 แรงดันและกระแสมูลฐานอาร์เอ็มเอส

เป็นค่าอาร์เอ็มเอสขององค์ประกอบความถี่มูลฐานของแรงดันอินพุตและกระแสอินพุต เป็นค่าระดับแรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอสที่ความถี่มูลฐาน ซึ่งเป็นความถี่ของระบบแหล่งจ่ายองค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่สร้างกำลังไฟฟ้าและเป็นองค์ประกอบที่ต้องการใช้งาน

3.3.2 แรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอส

เป็นค่าอาร์เอ็มเอส ของแรงดันและกระแสด้านอินพุตเป็นค่าระดับของแรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอสของสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นค่ารวมขององค์ประกอบทุกตัว ทั้งความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกส์

3.3.3 ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor : PF) มีนิยามคือ “ค่าตัวประกอบกำลังจะเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหารด้วยค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ” ซึ่งมีลักษณะรูปคลื่นกระแสและมุมต่างเฟสของกระแสและแรงดันทางด้านอินพุต จะเป็นตัวกำหนดค่าตัวประกอบกำลังของวงจร โดยที่ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรจะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการให้กำลังไฟฟ้าของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะกล่าวได้ว่าวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูงจะให้กำลังงานไฟฟ้าที่ดีกว่าวงจรที่มีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ ดังนั้นวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูงจะให้ความคุ้มค่าในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ดีกว่าวงจรที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ เขียนในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 3.7

$$PF = \frac{P_{avg}}{S} = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}} \quad (3.7)$$

เมื่อ P_{avg} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average power)

S คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power)

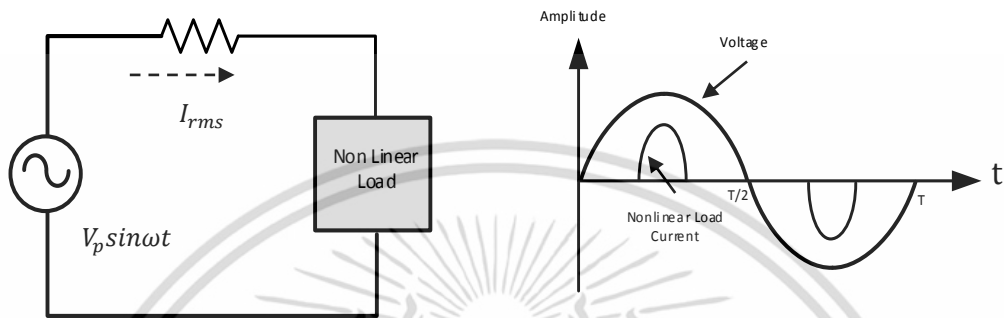
ในทางปฏิบัติแล้วภาระทางไฟฟ้าหรือโหลดทางไฟฟ้า จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ แบบเชิงเส้น (Linear load) และแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear load) ซึ่งโหลดทั้งสองแบบนี้จะให้ค่าตัวประกอบกำลังที่แตกต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะผลกระทบของโหลดแบบไม่เชิงเส้นเท่านั้น

3.3.3.1 ผลกระทบต่อค่าตัวประกอบกำลังของโหลดแบบไม่เชิงเส้น

โหลดแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear load) จะเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกโดยตรงและสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มด้วยกันคือ เกิดจากการอิ่มตัวของอุปกรณ์ (saturate devices) และเกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (power electronic devices) การเกิดฮาร์โมนิกจากการอิ่มตัวของอุปกรณ์โดยมากจะเกิดจากการอิ่มตัวของแกนเหล็ก (iron saturation) ในหม้อแปลงไฟฟ้า

เครื่องจักรกลไฟฟ้า และหลอดไฟที่ใช้บัลลาสต์แบบแกนเหล็ก สาเหตุโดยส่วนใหญ่มักเกิดจากการที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการลดต้นทุนในการผลิต จึงนิยมที่จะออกแบบให้จุดทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้เลยจุดอิมิตัวของแกนเหล็กมาเล็กน้อย (knee of the iron core saturation curve) เป็นผลทำให้กระแสทำแม่เหล็ก (magnetizing current) จะมีค่าสูงและมีฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ปนอยู่ด้วยมาก



รูปที่ 3.5 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นแบบไม่เชิงเส้น

ดังนั้นเมื่อพิจารณากรณีโหลดไม่เป็นเชิงเส้น จะได้รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เป็นไซน์โดยสมบูรณ์แต่จะมีฮาร์มอนิกปนอยู่ด้วย และฮาร์มอนิกที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างมาก จะได้แก่ฮาร์มอนิกอันดับที่ 3, 5, 7 และเป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล (50Hz) ไปจนกระทั่งถึงความถี่ในย่านที่หูคนได้ยิน (low-audible range) อนุกรมฟูเรียร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบฮาร์มอนิกในสถานะอยู่ตัวได้แสดงไว้ในสมการที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \sin(h\omega_0 t + \delta_h) \tag{3.8}$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} I_h \sin(h\omega_0 t + \theta_h) \tag{3.9}$$

เมื่อ δ คือ ค่ามุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปของแรงดันไฟฟ้าตกรวมโหลด

θ คือ ค่ามุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด

ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะได้

$$P_{avg} = \sum_{h=1}^{\infty} V_{h,rms} I_{h,rms} \cos(\phi_h) = P_{1,avg} \pm P_{2,avg} \pm P_{3,avg} \pm \dots \tag{3.10}$$

เมื่อ ϕ คือ $\delta - \theta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่มีฮาร์มอนิกจะได้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมเท่ากับศูนย์ซึ่งจะหมายถึงรูปคลื่นดังกล่าวคือสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ที่ความถี่หลักมูลนั่นเอง และโดยทั่วไปในทางปฏิบัติกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากฮาร์มอนิกอันดับสูงกว่าหลักมูลจะมีค่าน้อยมากดังนั้นค่า

$$P_{avg} = P_{1,avg} = V_{1,rms} I_{1,rms} \cos(\phi_1) \quad (3.11)$$

ทำการแทนค่าสมการที่ 3.11 ลงในสมการที่ 3.7 จะได้

$$PF = \frac{V_{1,rms} I_{1,rms} \cos(\phi_1)}{S} = \frac{V_{1,rms} I_{1,rms} \cos(\phi_1)}{V_{rms} I_{rms}} \quad (3.12)$$

เนื่องจากค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (THD_V) โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่า 10% ดังนั้น $V_{rms} \cong V_{1,rms}$ จากสมการที่ 3.12 จะได้

$$PF = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}} \cos(\phi_1) = \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}} DPF \quad (3.13)$$

เมื่อ DPF คือ ค่าตัวประกอบกำลังมูลฐาน (Displacement Power Factor : DPF)

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสำหรับกรณีโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะไม่สามารถชดเชยได้ด้วยการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไปในระบบ เพราะในความเป็นจริงแล้วโหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยทั่วไปจะมีค่าตัวประกอบกำลัง Displacement สูง แต่ค่าตัวประกอบกำลัง Distortion ต่ำ ดังนั้นในการที่ทำการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังอีกนั้น กลับจะเป็นการเพิ่ม

ปัญหาเรโซแนนซ์และเพิ่มค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้น ดังนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง คือควรทำการชดเชยโดยวงจรกรองแบบพาสซีฟ (passive filter) หรือวงจรกรองแบบแอ็กทีฟ (active filter) เพื่อเป็นตัวกำจัดค่าฮาร์มอนิกที่เกิดจากโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น

3.3.4 ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์มอนิก (Total Harmonic

Distortion: THD)

ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์มอนิกส์ของกระแส (THD_i) เป็นดัชนีชี้ถึง

ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสด้านอินพุตของแหล่งจ่ายที่แตกต่างไปจากองค์ประกอบกระแสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเว็บไซต์นี้โดยไม่ได้รับอนุญาตไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่มูลฐาน ในการหาค่าฮาร์มอนิกกระแส (THD_i) นี้จะต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ เพื่อทำการหาค่าประกอบความถี่มูลฐานและฮาร์มอนิกของรูปคลื่นสัญญาณกระแสอินพุตทางด้านแหล่งจ่าย จึงสามารถนำไปเข้าสู่สูตร และหาค่าออกมาได้ โดยค่าดัชนีคุณภาพทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นสมการได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 นิยามของดัชนีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพรูปคลื่นกระแสอินพุต

ค่า	นิยาม	ค่า	นิยาม
V_{rms}	$V_{peak} / \sqrt{2}$	I_{rms}	$I_{peak} / \sqrt{2}$
V_{rms}	$\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2}$	I_{rms}	$\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$
PF	$\frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \cos \Phi$		
THD_i	$\frac{100}{I_1} \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$		

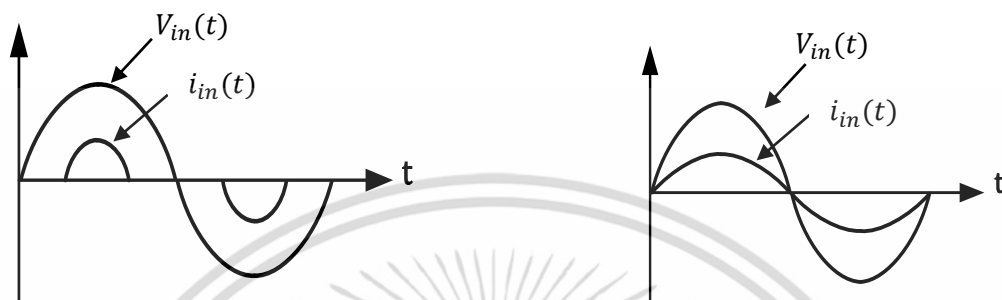
3.4 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)

รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากวงจรเรียงกระแสจะมีค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำ (ประมาณ 0.4 - 0.6) มีฮาร์มอนิกส์และกระแสกระเพื่อมสูง ดังนั้นเมื่อต้องการให้สัญญาณมีความราบเรียบยิ่งขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณลงโดยการต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ (Capacitor Filter) ขนานกับสวิตช์ของวงจรเรียงกระแสเมื่อวงจรเรียงกระแสทำงาน แรงดันของแหล่งจ่ายมีค่ามากกว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุทำให้กระแสถูกดึงจาก

แหล่งจ่ายเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นรูปคลื่นกระแสจะเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่สั้น แม้ว่าการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับวงจรเรียงกระแสทำให้สัญญาณมีความเรียบมากขึ้นแต่ก็ทำให้คากระแสปีกและกระแสอาร์เอ็มเอสของทางด้านเข้ามีค่าสูงมากขึ้นเกิดสภาวะกระแสเกิน (Over Current) ในสายนิวตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

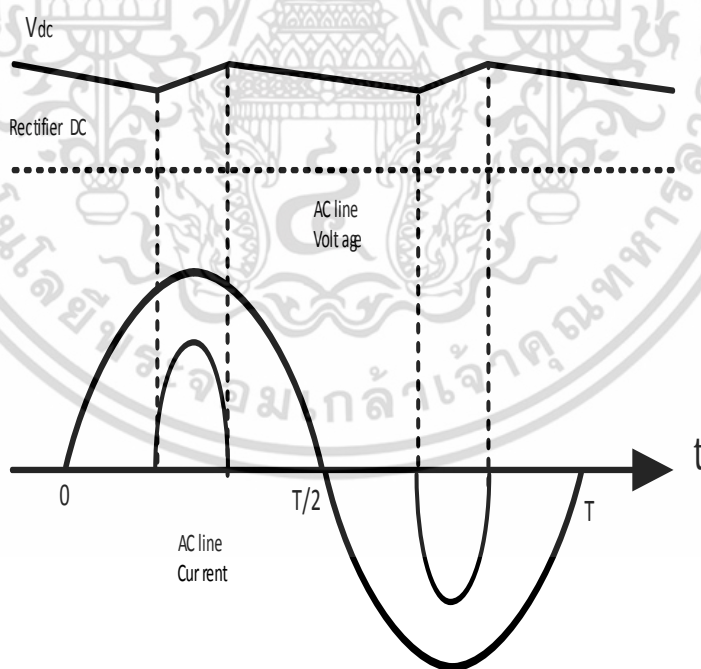
และในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงใช้หลักการสวิตชิง (PFC Preregulator) ตอระหวางวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุเพื่อลดทอนกระแสหลักที่เป็น Guasi-sinusoidal ทำให้รูปคลื่นกระแสมีเพสใกล้เคียงรูปคลื่นแรงดันมากที่สุดและค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง



(ก) ก่อนการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

(ข) หลังการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

รูปที่ 3.6 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



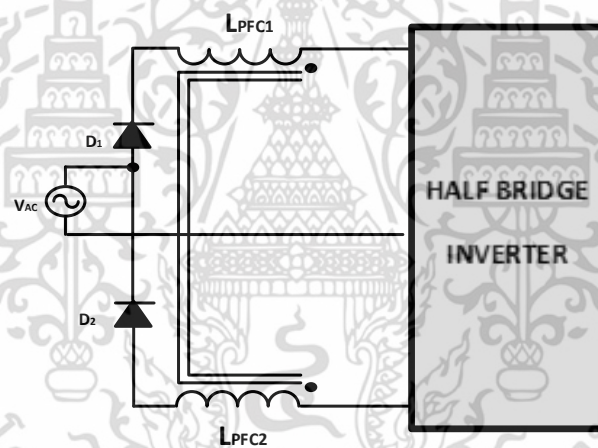
รูปที่ 3.7 แรงดันและกระแสหลังจากต่อตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณมีวิธีการปรับปรุงแก้ไข 2 วิธีคือ การปรับปรุงแบบพาสซีฟ (Passive method) และการปรับปรุงแบบแอคทีฟ (Active method) ในงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบวงจรการปรับปรุงแบบพาสซีฟ

3.4.1 การปรับปรุงแบบพาสซีฟ (Passive Method)

หลักการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณด้วยวิธีการแบบพาสซีฟสามารถกระทำได้นำอุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน, ตัวเหนี่ยวนำ, ตัวเก็บประจุใช้เป็นอุปกรณ์หลักของวงจร เนื่องจากการจะกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สูงจะนำเอาตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันของสายเป็นการทำให้กระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สูงไม่สามารถผ่านเข้าได้ ส่วนตัวเก็บประจุถ้าต่อขนานกับสายด้านเข้ากระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สูงจะถูกตัดลงกราวด์เพราะว่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุนั้นเอง



รูปที่ 3.8 วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

ด้วยการออกแบบขดลวดคู่ภายในตัวเดียวกันดังรูปที่ 3.8 ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสูง (PFC) ผลรวมของฮาร์มอนิกส์กระแสให้มีค่าต่ำ

3.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

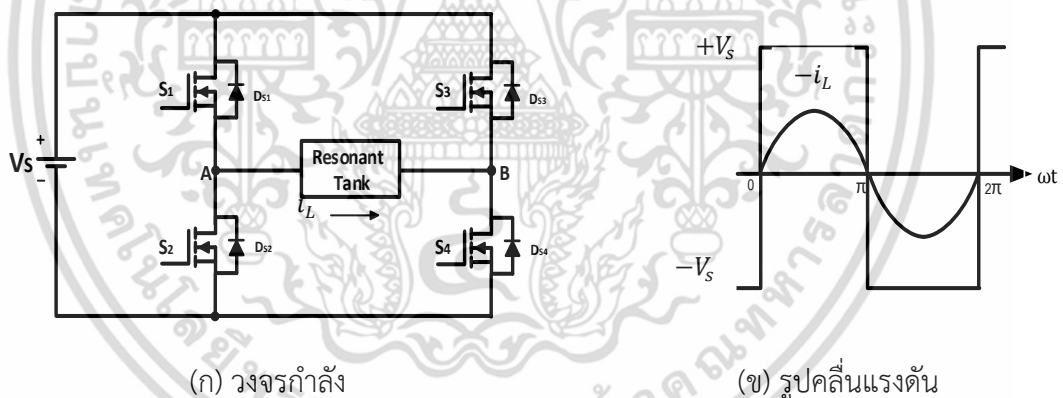
วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้าสลับความถี่ต่างๆ แหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยวงจรอินเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบใด

สำหรับแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่งนี้มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของวงจรรินเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้

- ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตชิ่งในอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตชิ่งในอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

3.5.1 อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)

สำหรับวงจรรินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 (ก) จะมีคู่สวิตช์ ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ (V_{AB}) จะได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันสูงเท่ากับ $+V_S$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ $-V_S$ และกระแสไหลผ่านโหลด เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 3.9(ข) จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ให้กำลังไฟฟ้าได้มากกว่าเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์



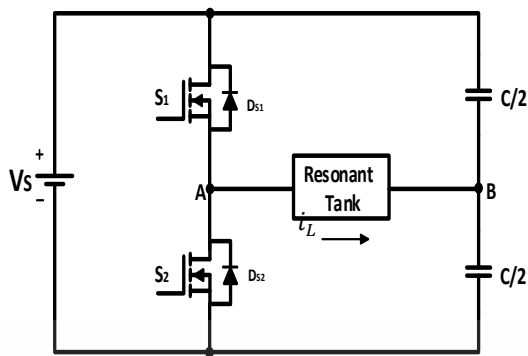
รูปที่ 3.9 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณโวลต์อินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

3.5.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter)

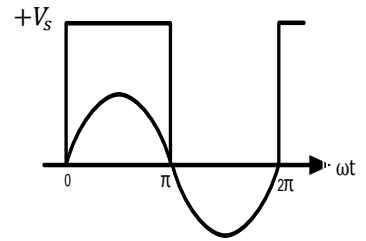
วงจรรินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ซึ่งมีวงจรถ่ายงานดังรูปที่ 3.10 จะประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ V_{S2} จะได้ค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ $+V_S$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับศูนย์ และกระแสที่ไหลผ่านโหลด (I_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์จะเหมาะสมกับโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สูงมากนัก สามารถจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพียงพอสำหรับนำมาใช้ในวงจรบัล

ลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรกำลัง

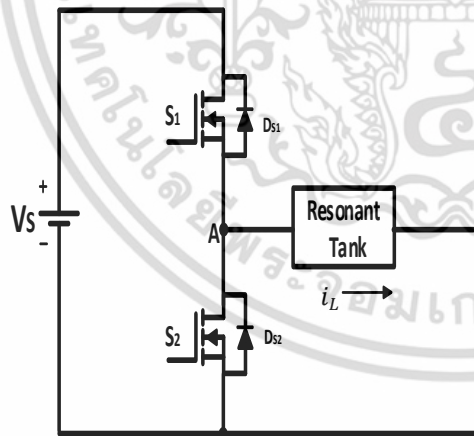


(ข) รูปคลื่นแรงดัน

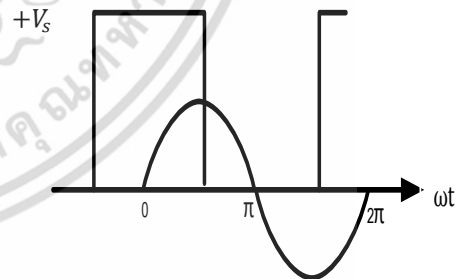
รูปที่ 3.10 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณของโหนดอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

3.5.3 อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดี (Class-D Inverter)

อินเวอร์เตอร์แบบคลาสดีเป็นอินเวอร์เตอร์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.11 จะมีอุปกรณ์สวิตช์ ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ จะได้ค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ $+V_s$ และค่าแรงดันต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสที่ไหลผ่านโหนดจะเป็นรูปคลื่นไซน์



(ก) วงจรกำลัง



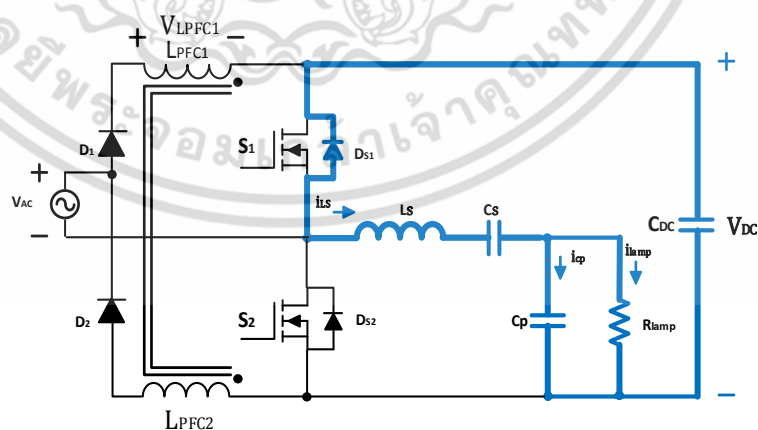
(ข) รูปคลื่นแรงดัน

รูปที่ 3.11 วงจรกำลังและรูปคลื่นสัญญาณของโหนดอินเวอร์เตอร์ชนิดคลาสดี

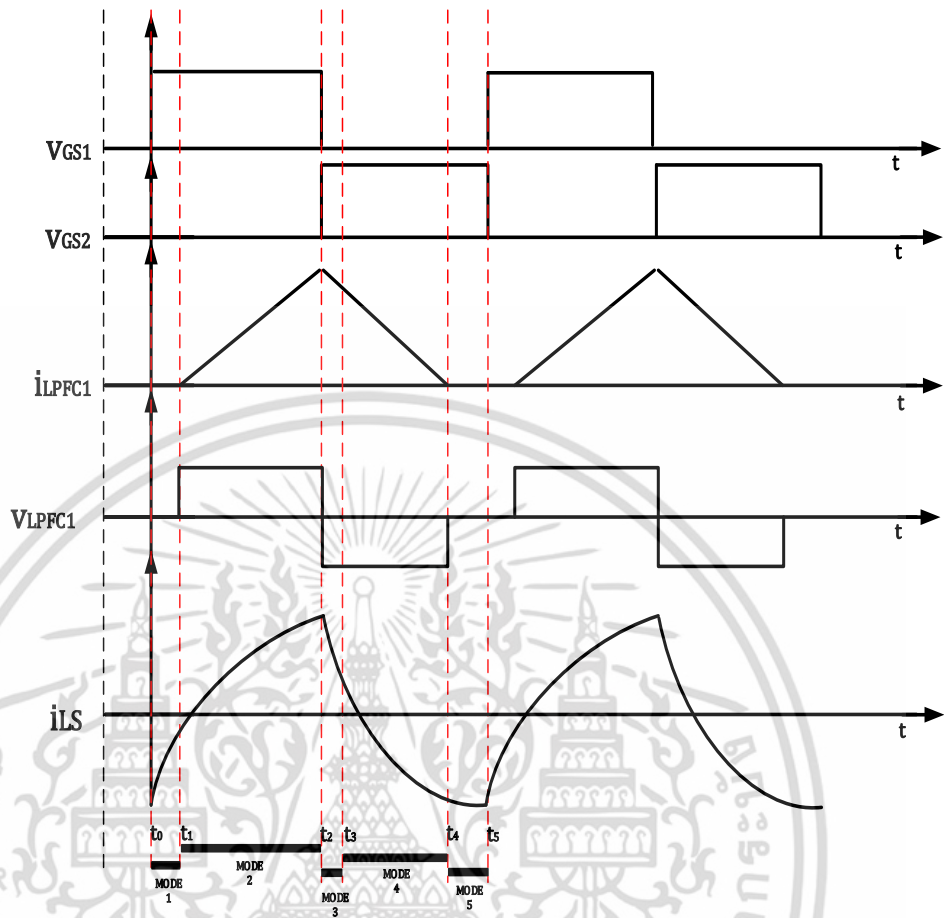
3.6 สภาวะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในการวิเคราะห์การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ ได้มีการออกแบบวงจรขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งเป็นวงจรเรโซแนนซ์ใช้ในการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูง ดังนั้นจึงได้เลือกวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์มาใช้งานเนื่องจากโครงสร้างที่ง่ายมีพิกัดในการทำงานช่วงปานกลางเพียงพอสำหรับขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้อุปกรณ์ในการควบคุมและสวิตช์น้อย ทำให้ลดจำนวนอุปกรณ์ลง หลักการทำงานของภาคกำลังคือการกำหนดย่านความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์โดยวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ใช้ เป็นวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์เพื่อให้สวิตช์มอสเฟตกำลัง S_1 และ S_2 ทำงานภายใต้สภาวะสวิตช์แรงดันศูนย์ (ZVS) สลับกันทำงานเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายให้วงจรเรโซแนนซ์ใช้ขับหลอดดังรูปที่ 3.13 สัญญาณรูปคลื่นการทำงานใน 1 คาบเวลาของสัญญาณซีกบวก โดยพิจารณาช่วงสภาวะการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลาดังนี้

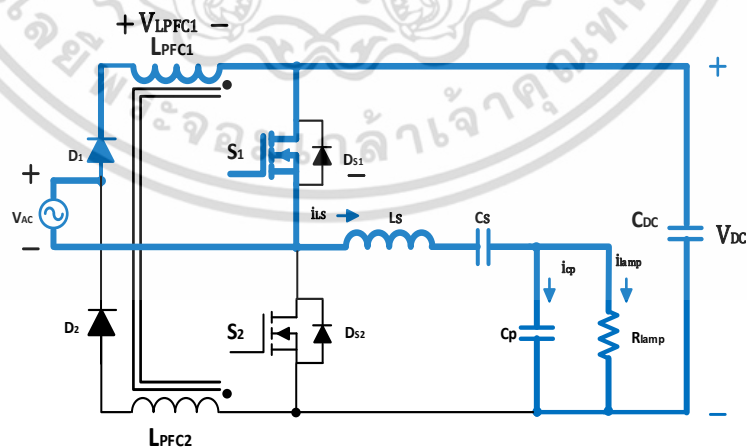
การทำงานสภาวะที่ 1 : $[t_0 \leq t < t_1]$ ในรูปที่ 3.12 เมื่อเริ่มการทำงานที่เวลา t_0 ไดโอด D_{S1} ภายในสวิตช์มอสเฟต S_1 ทำงาน ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_{LS} จ่ายพลังงานให้ C_{DC}, C_s, C_p และความต้านทานของหลอด R_{lamp} จนมาถึงที่เวลา t_1 กระแส i_{LS} เริ่มต่ำลงจนถึงค่าศูนย์แรงดันตกคร่อมที่สวิตช์มอสเฟต ขาเดรน-ซอสต์ v_{DS1} ของสวิตช์ S_1 แรงดันเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นการทำงานของสวิตช์แรงดันศูนย์



รูปที่ 3.12 สัญญาณการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่ 1



รูปที่ 3.13 สัญญาณการทำงานช่วงระหว่างครึ่งไซเคิลชีกบวกรวมของแรงดันอินพุต



รูปที่ 3.14 สัญญาณการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

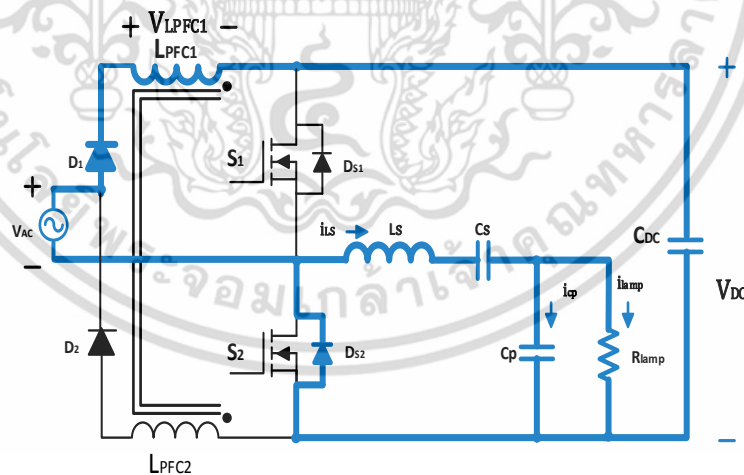
การทำงานสถานะที่ 2 : $[t_1 \leq t < t_2]$ ในรูปที่ 3.14 การทำงานในโหมดการทำงานนี้เริ่มเมื่อสถานะ สวิตช์มอสเฟต S_1 ทำงานในสถานะสวิตช์แรงดันศูนย์ (ZVS) ทำงานที่เวลา t_1 กระแสไฟฟ้าจาก แหล่งจ่าย แรงดันอินพุต v_{ac} ไหลผ่านไดโอด D_1 ตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1} และสวิตช์มอสเฟต S_1 ทำให้ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1} เพิ่มขึ้นจากระดับศูนย์

$$V_{ac}(t) = \sqrt{2}V_{ac-RMS} \sin(2\pi f_{ac} t) \quad (3.14)$$

$$I_{LPFC1}(t) = \frac{V_{ac}(t)}{L_{PFC1}} (t - t_1) \quad (3.15)$$

ให้พลังงานกับตัวเก็บประจุ C_{DC} จ่ายให้ตัวเหนี่ยวนำ L_S , ตัวเก็บประจุ C_S , C_p และความต้านทาน R_{lamp} ผ่านสวิตช์ S_1 ที่เวลา t_2 ค่ากระแสตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1} ให้ค่าสูงสุด สวิตช์มอสเฟตหยุดทำงานที่ สถานะ t_2 และ สิ้นสุดการทำงานในสถานะนี้

$$i_{PFC1-pk} = \frac{V_{ac}(t)}{L_{PFC1}} DT_S \quad (3.16)$$



รูปที่ 3.15 สัญญาณการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สถานะที่ 3

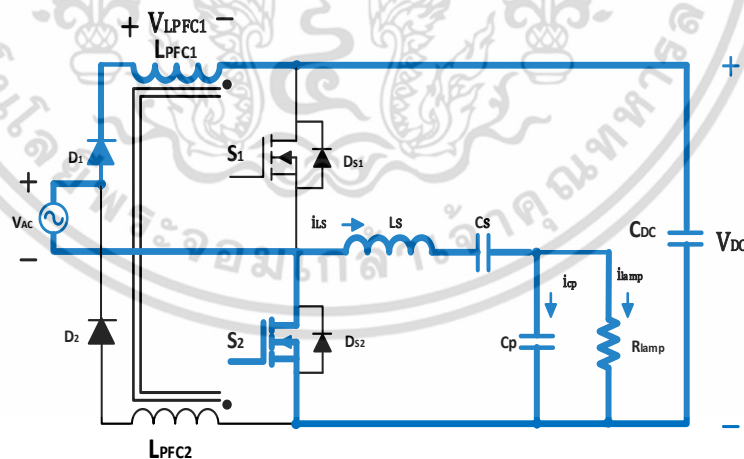
การทำงานสถานะที่ 3 : $[t_2 \leq t < t_3]$ ในรูปที่ 3.15 การทำงานในโหมดนี้เริ่มจาก เมื่อสถานะสวิตช์ S_1 หยุดทำงานที่เวลา t_2 แรงดันแหล่งจ่ายอินพุต v_{ac} จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไดโอด D_1 และตัวเหนี่ยวนำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L_{PFC1} เพื่อจ่ายพลังงานให้ C_{DC} และไดโอด D_{S2} ของสวิตช์มอสเฟต S_2 กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1} ลดลงจากระดับสูงสุด

$$i_{PFC1}(t) = \frac{V_{ac}(t) - V_{DC}}{L_{PFC1}}(t - t_2) \quad (3.17)$$

กระแสตัวเหนี่ยวนำ i_{LS} ให้พลังงานกับตัวเก็บประจุ C_S และ C_p และความต้านทานโหลด R_{lamp} เมื่อกระแสตัวเหนี่ยวนำ i_{LS} ลดลงถึงศูนย์ที่เวลา t_3 เริ่มต่ำลงจนเป็นศูนย์ แรงดันตกคร่อมที่สวิตช์มอสเฟต ขาเดรน-ซอร์ส v_{DS2} ของสวิตช์มอสเฟต S_2 แรงดันเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นการทำงานของสวิตช์แรงดันศูนย์ ส่งผลให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมที่ตัวสวิตช์มอสเฟต (Zero Voltage Switch: ZVS).

การทำงานสถานะที่ 4 : $[t_3 \leq t < t_4]$ ในรูปที่ 3.16 การทำงานในโหมดการทำงานนี้เริ่มเมื่อสภาวะสวิตช์มอสเฟต S_2 ทำงานในสภาวะสวิตช์แรงดันศูนย์ (ZVS) ทำงานที่เวลา t_3 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แรงดันอินพุต v_{ac} ไหลผ่านไดโอด D_1 ตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1} และสวิตช์มอสเฟต S_2 ให้พลังงานกับตัวเก็บประจุ C_{DC} จ่ายให้ตัวเหนี่ยวนำ L_S , ตัวเก็บประจุ C_S , C_p และความต้านทาน R_{lamp} ผ่านสวิตช์มอสเฟต S_2 ที่เวลา t_4 ค่ากระแสตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1} ให้ค่าเป็นศูนย์ และสิ้นสุดการทำงานในโหมดนี้

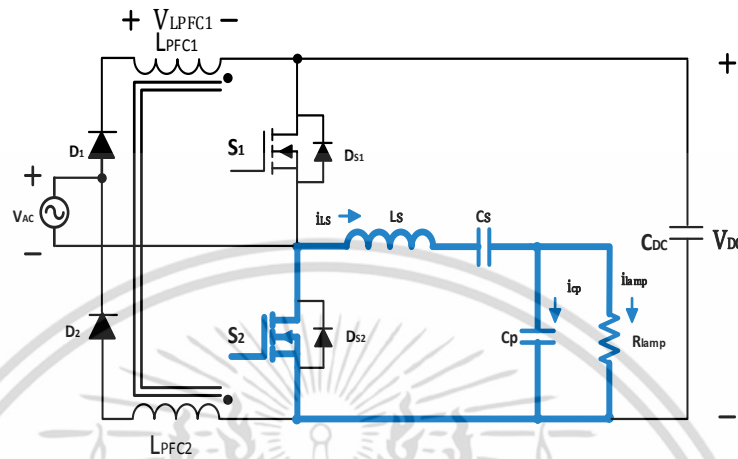


รูปที่ 3.16 สัญญาณการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สถานะที่4

การทำงานสถานะที่ 5 : $[t_4 \leq t < t_5]$ ในรูปที่ 3.17 ในโหมดการทำงานนี้กระแสตัวเหนี่ยวนำ i_{LS} จ่ายพลังงานให้ตัวเก็บประจุ C_S , C_p และความต้านทานโหลด R_{lamp} ผ่านสวิตช์มอสเฟต S_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งสวิตช์มอสเฟตหยุดทำงานที่เวลา t_5 ทำให้สิ้นสุดการทำงานที่โหมดนี้ และจะเริ่มทำงานในสภาวะที่ 1 ที่ความถี่สูงในช่วงคาบเวลาต่อไป



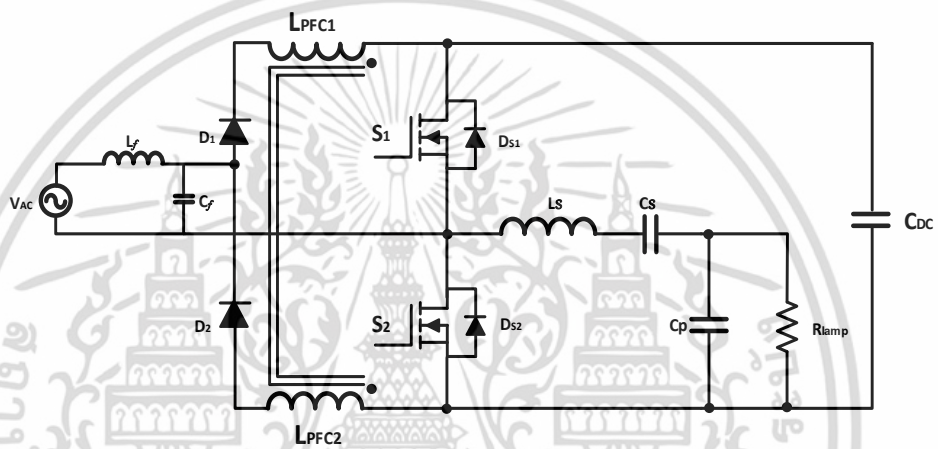
รูปที่ 3.17 สัญญาณการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สภาวะที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ ซึ่งในแต่ละส่วนจะแบ่งออกเป็น การออกแบบภาควงจรควบคุมและวงจรกำลัง โดยรายละเอียดในแต่ละส่วนจะได้อธิบายในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ

4.1 โครงสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ

โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขั้นเดียวที่นำเสนอ สามารถแบ่งการทำงานของวงจรหลักได้แก่ วงจรป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter) ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L_f และตัวเก็บประจุ C_f , วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ประกอบไปด้วยตัวไดโอด D_1 และ D_2 , วงจรปรับรูปค่าตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวโดยใช้เทคนิคบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Power Factor Correction) ประกอบไปด้วย ตัวเหนี่ยวนำขดลวดคู่ L_{PFC1} และ L_{PFC2} ภายในตัวเดียวกัน, วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverter) ประกอบด้วยสวิตช์มอสเฟต S_1 และ S_2 , วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์ (Gate Drive Circuit), วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Filter) ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L_s ตัวเก็บประจุ C_s และ C_p และความต้านทานโหลด R_{lamp} โดยมีตัวเก็บประจุสะสมพลังงาน C_{DC} ให้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

ส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการออกแบบและทำการวิจัย ประกอบไปด้วยวงจรถัดต่อไปนี้

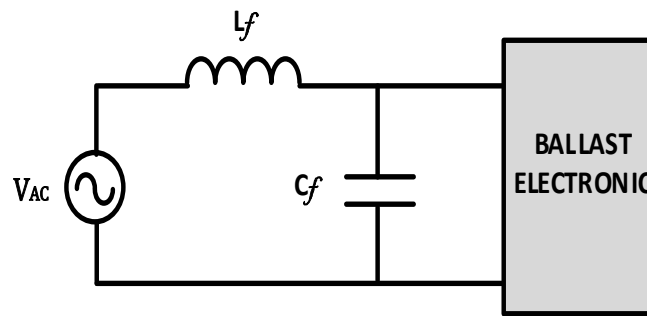
- 1) วงจรป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter)
- 2) วงจรเรียงกระแส (Rectifier)
- 3) วงจรปรับรูปค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)
- 4) อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverter)
- 5) วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์ (Gate Drive Circuit)
- 6) วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Filter)

ตารางที่ 4.1 กำหนดคุณสมบัติการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

รายละเอียด	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
ระบบไฟป้อนเข้า (รอกกำลังสองเฉลี่ย)	โวลต์/เฮิร์ต	195 – 245/50
ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ	เปอร์เซ็นต์	≥80%
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิด T5	วัตต์	28 และ 35
ความถี่สวิตช์	กิโลเฮิร์ต	30
ค่าตัวประกอบกำลัง	-	≥0.95
ค่าดีวีดีไอเกิ้ล	-	0.5

4.2 วงจรกรองสัญญาณรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการออกแบบวงจรกรองความถี่ในงานวิจัยนี้ใช้วงจรกรองความถี่แบบ LC (LC filter) ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุต และตัวเก็บประจุต่อขนานกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ดังในรูปที่ 4.2 โดยที่วงจรกรองความถี่แบบ LC เหมาะกับการใช้งานในการกรองสัญญาณรบกวนเพื่อเพิ่มอัตราการลดทอนของสัญญาณรบกวนให้มีความมากขึ้น



รูปที่ 4.2 วงจรป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter)

4.3 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้วงจรเรียงกระแสชนิดครึ่งคลื่น ประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว ซึ่งการพิจารณาไดโอดจะมีหลักในการพิจารณาดังต่อไปนี้

- สามารถทนกระแสสูงสุดได้ชั่วขณะเป็นกระแสสูงสุดเกิดขณะชาร์จตัวเก็บประจุ จะทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดในระยะเวลาสั้นๆ
- อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Bias: PRB) ซึ่งการต่อไดโอดแบบเรกติไฟร์พบว่าแรงดันไบแอสกลับจะเป็น 2 เท่าของแรงดันสูงสุด โดยปกติจะกำหนดเป็น 2.83 เท่าของรากลำลังสองเฉลี่ยของแรงดัน
- กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับไบแอสกลับซึ่งควรจะมีค่าน้อยๆ

สามารถหาพิกัดกำลังของไดโอดได้จากสมการที่ 4.1

$$P_{in} = V_{in} I_{in} \cos \theta \quad (4.1)$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าด้านเข้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

I_{in} คือ กระแสไฟฟ้าด้านเข้า มีหน่วยเป็น แอมป์ (A)

$\cos \Phi$ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง

ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	28	วัตต์
แรงดันด้านอินพุต	220	โวลต์
ค่าตัวประกอบกำลังต่ำสุด	0.95	

สามารถนำมาแทนค่าในสมการที่ 4.1 สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 28 วัตต์ได้ดังนี้

$$I_{in} = \frac{28}{220 \times 0.95}$$

$$= 0.14 \text{ แอมป์}$$

ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	35	วัตต์
แรงดันด้านอินพุต	220	โวลต์
ค่าตัวประกอบกำลังต่ำสุด	0.95	

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำมาแทนค่าในสมการที่ 4.1 สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 35 วัตต์ได้ดังนี้

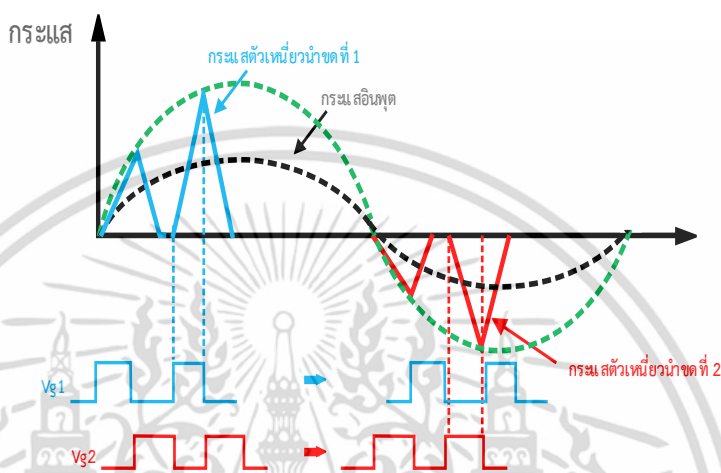
$$I_{in} = \frac{35}{220 \times 0.95}$$

$$= 0.17 \text{ แอมป์}$$

จากคุณสมบัติการทำงานของบัลลาสต์ขนาด 28 วัตต์และ 35 วัตต์ที่ได้จากการคำนวณ โดยอ้างอิงจากค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดสูงสุดของหลอดสองขนาดนี้เท่ากับ 0.17 แอมป์ แต่เนื่องจากการทำงานเป็นแบบสวิตซ์ซึ่งดังนั้นจึงกำหนดให้ไดโอดทำงานที่ 70% ของพิกัดตัวเอง ดังนั้นจะได้กระแสพิกัดเท่ากับ 0.29 แอมป์ เลือกใช้ไดโอดรุ่น MUR460 ขนาดทนกระแสสูงสุด 4 แอมป์ ที่แรงดันสูงสุด 600 โวลต์

4.4 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแบบเส้นแบ่งเขต(Borderline control) โดยจะใช้วงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ที่อยู่ระหว่างวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุด้านออกเพื่อให้กระแสด้านเข้ามีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 4.3 กระแสอินพุต และกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำชุดคอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบของบัลลาสต์ขั้นเดียวที่น่าเสนอนี้ ปัจจัยที่ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังสูง (PFC) นั้นต้องออกแบบวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์จากรูปที่ 4.3 แสดงช่วงเวลาการทำงานของกระแส i_{ac} และกระแสตัวเหนี่ยวนำ L_{PFC1}, L_{PFC2} ซึ่งค่ากระแสตัวเหนี่ยวนำสูงสุด $i_{L_{PFC1}}, i_{L_{PFC2}}$ สามารถอธิบายจากสมการดังนี้

$$i_{L_{PFC1-pk}}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ac-RMS} \sin(2\pi f_{ac}t)}{L_{PFC1}} DT_S$$

$$i_{L_{PFC2-pk}}(t)$$

$$i_{L_{PFC2-pk}}(t) = \frac{\sqrt{2}V_{ac-RMS} \sin(2\pi f_{ac}t)}{L_{PFC2}} DT_S \tag{4.2}$$

ในแต่ละคาบเวลาในการสวิตช์, กระแสอินพุต $i_{ac}(t)$ มีค่าเท่ากับกับค่าเฉลี่ยของกระแสตัวเหนี่ยวนำ $L_{PFC1-pk}(t)$ และ $L_{PFC2-pk}(t)$

$$i_{ac}(t) = \frac{1}{T_S} \left[\int_0^{\frac{T_S}{2}} i_{LPFC1-pk}(t) dt + \int_{\frac{T_S}{2}}^{T_S} i_{LPFC2-pk}(t) dt \right]$$

$$= \frac{\sqrt{2}V_{ac-RMS} \sin(2\pi f_{ac} t)}{2L_{PFC1}} D^2 T_S \quad (4.3)$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต P_{ac}

$$P_{ac} = \frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} V_{ac}(t) i_{ac}(t) dt = \frac{V_{ac-RMS}^2 D^2 T_S}{2L_{PFC1}} \quad (4.4)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่โหลด P_{lamp} และกำลังไฟฟ้าอินพุต P_{ac} ดังสมการต่อไปนี้

$$P_{lamp} = \frac{\eta V_{ac-RMS}^2 D^2 T_S}{2L_{PFC1}} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.6 นำสมการหาค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังขดลวดคู่ L_{PFC1} , L_{PFC2} โดยแทนค่าจากตารางที่ 4.1 ค่าตัวเหนี่ยวนำวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 28 วัตต์ ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	28	วัตต์
แรงดันด้านอินพุต	220	โวลต์
ความถี่สวิตช์	30	กิโลเฮิร์ต

$$L_{PFC1} = \frac{\eta V_{ac-RMS}^2 D^2}{2P_{lamp} f_S} = L_{PFC2} \quad (4.6)$$

$$L_{PFC1} = \frac{0.85 \times 220 \times 0.5^2}{2 \times 28 \times 30 \text{ kHz}} = L_{PFC2}$$

$$= 6.12 \text{ mH}$$

เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำ ขนาด 11.46 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

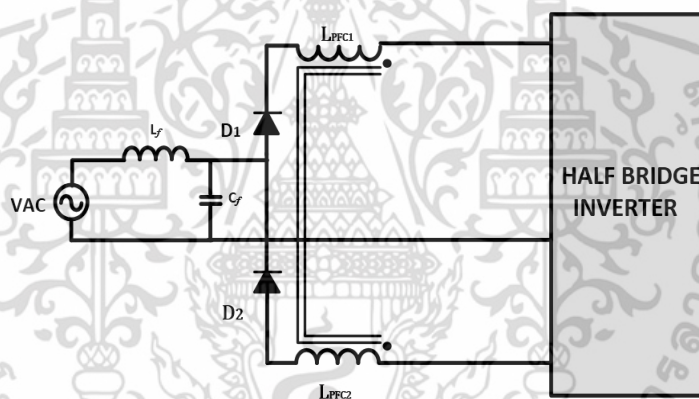
จากสมการที่ 4.6 นำสมการหาค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังขดลวดคู่ L_{PFC1} , L_{PFC2} โดยแทนค่าจากตารางที่ 4.1 ค่าตัวเหนี่ยวนำวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 35 วัตต์ ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	35	วัตต์
แรงดันด้านอินพุต	220	โวลต์
ความถี่สวิตช์	30	กิโลเฮิร์ต

$$L_{PFC1} = \frac{0.85 \times 220 \times 0.5^2}{2 \times 35 \times 30 \text{ kHz}} = L_{PFC2}$$

$$= 4.89 \text{ mH}$$

เลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำ ขนาด 9.26 mH



รูปที่ 4.4 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

4.5 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverter)

วิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบวงจรกำลังโดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์เพื่อทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันด้านออกที่ได้จะถูกส่งไปเป็นแรงดันด้านเข้าให้กับวงจรจุดหลอด เมื่อพิจารณาในการออกแบบวงจรกำลังเมื่อนำมาใช้ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สวิตช์ที่นิยมใช้กัน 3 ชนิดด้วยกันคือ

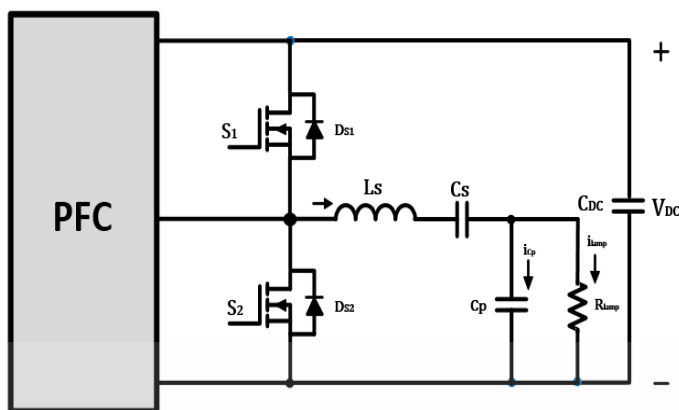
1. BJT คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์คือต้องการป้อนกระแสไฟฟ้าที่ขาเบสให้เพียงพอที่จะทำให้กระแสที่ไหลจากคอลเลคเตอร์ไปที่ขาอิมิตเตอร์เกิดอิมิตตัว ซึ่งโดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้าคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ขณะที่ทรานซิสเตอร์ทำงานที่สภาวะอิมิตตัว มีค่าอยู่ที่ประมาณ 1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ ทรานซิสเตอร์จึงจัดเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานโดยกระแส ทรานซิสเตอร์กำลังจะมี อัตราขยาย (h_{FE}) ต่ำ ในบางครั้งอัตราขยายมีค่าต่ำกว่า 20 เท่า ซึ่งในกรณีที่ต้องการกระแส มากๆ การใช้กระแสเบสที่ขาเบสก็จะมากตามไปด้วย

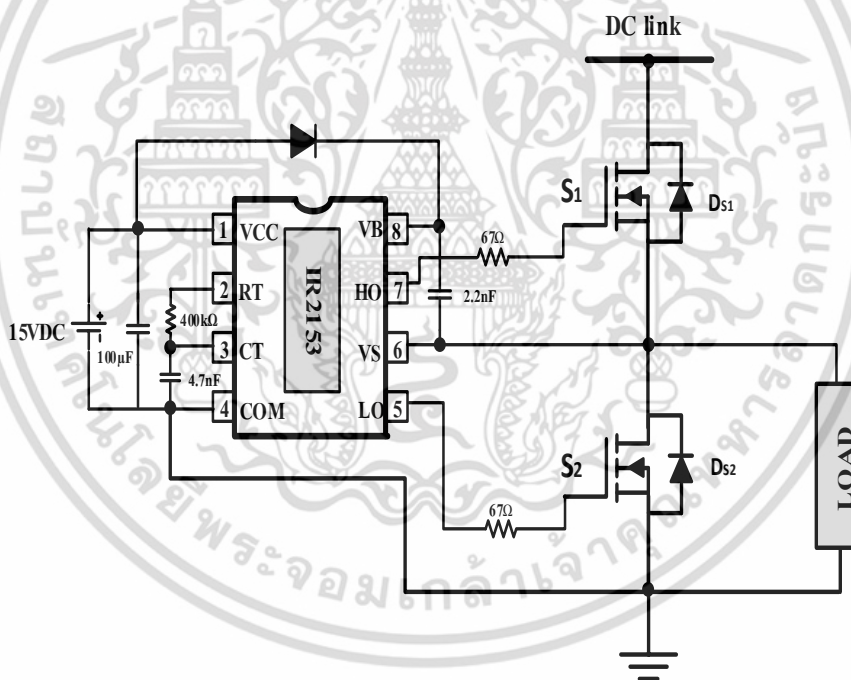
2. IGBT เป็นการนำคุณสมบัติของมอสเฟตและทรานซิสเตอร์มารวมกัน เพื่อนำไปใช้ขับวงจร โดยไอจีบีทีจะมีลักษณะการควบคุมโดยใช้แรงดันไฟฟ้าเช่นเดียวกับมอสเฟตและมีลักษณะ การนำกระแสเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์ ซึ่งบ่อยครั้งที่มีการใช้ไอจีบีทีแทนการใช้ ทรานซิสเตอร์ โดยความถี่ในการสวิตช์ของไอจีบีทีอยู่ประมาณ 20kHz
3. MOSFET เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้าด้วยวงจรถับสัญญาณ การ ออกแบบวงจรถับสัญญาณให้กับอุปกรณ์สวิตช์จะใช้ไอซีเบอร์ IR2153 โดยมอสเฟตจะทำงาน ต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าที่เพียงพอให้กับขาเกต ทำให้มอสเฟตนำกระแสจากขาเดรนไปซอส โดยกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขาเกต มอสเฟตจะมีลักษณะการทำงาน ขณะนำกระแสโดยเปรียบเสมือนความต้านทานค่าหนึ่ง มอสเฟตมีจุดเด่นคือทำงานที่ความถี่ สูงได้ดี ตั้งแต่ 20kHz ถึงประมาณ 400 kHzและความเร็วในการสวิตช์ของมอสเฟตสูง ทำให้ใช้เวลา ในการเปลี่ยนสถานะสั้น พิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มี ข้อจำกัดกระแสไม่เกิน 100 แอมป์ และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้มอสเฟต ทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้นไปอีกเพื่อลดขนาดของอินเวอร์เตอร์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มอสเฟตใช้เปลี่ยนสถานะการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ การ ออกแบบได้เพื่อพิกัดการใช้งานไว้ 70 % เพื่อป้องกันการกระชากและการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด สำหรับมอสเฟตที่ผู้ออกแบบได้เลือกใช้งานจะต้องทนกระแสได้มากกว่า 0.5 แอมป์ พิกัดแรงดัน 500 โวลต์ ดังนั้นมอสเฟตกำลังเลือกใช้เบอร์ IRF840 ทนกระแสได้สูงสุด 8 แอมป์ พิกัดแรงดัน 500 โวลต์



รูปที่ 4.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่นำเสนอ

4.6 วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์ (Gate Drive Circuit)



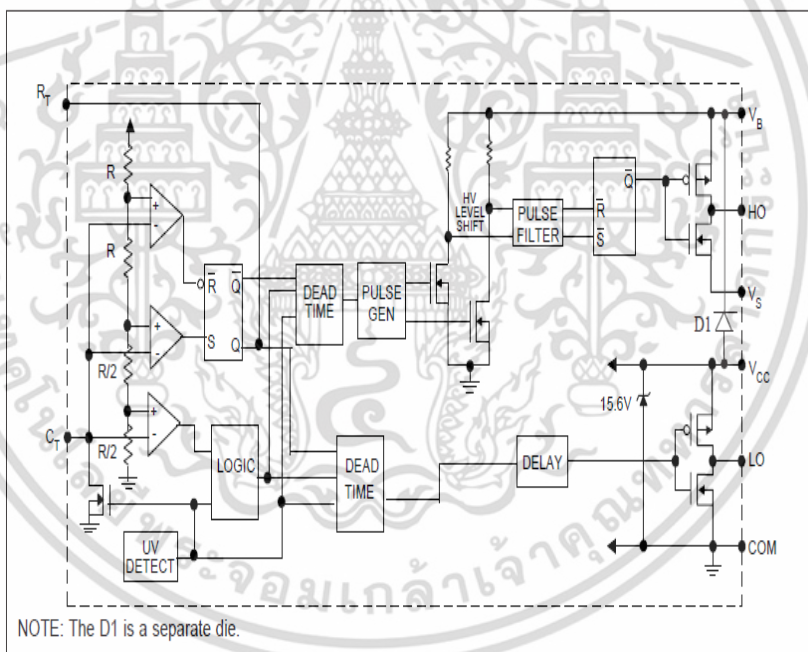
รูปที่ 4.6 การต่อวงจรขับนำกระแสสวิตช์เข้ากับสวิตช์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 การออกแบบไอซีเบอร์ IR 2153

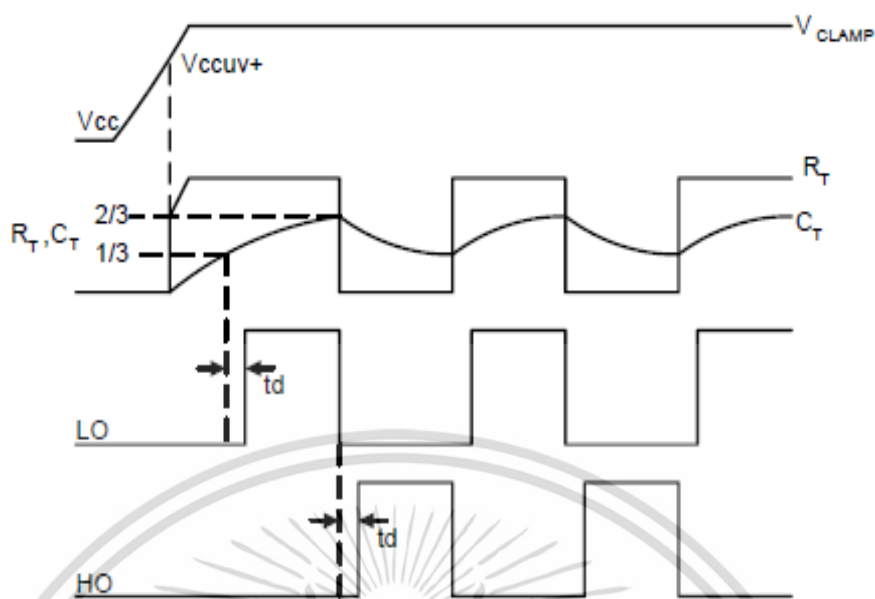
วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์ ทำหน้าที่ สร้างสัญญาณความถี่ในการเปลี่ยนสถานะการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ โดยได้นำไอซีเบอร์ IR2153 ในการออกแบบซึ่งเป็นไอซีที่สามารถสร้างสัญญาณความถี่และขับเกตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง สามารถขับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ได้ดี ทำงานที่ช่วงดิวิตไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์ ไดอะแกรมการทำงานของไอซีแสดงดังรูปที่ 4.7

จากไดอะแกรมการทำงานของไอซี IR2153 ประกอบด้วยวงจรขับเกตซึ่งมีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 600โวลต์ อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์และวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ของวงจรขับเกต ซึ่งสามารถตั้งค่าความถี่ที่ใช้งานโดยการปรับค่าตัวต้านทาน (R_T) และตัวเก็บประจุ (C_T) ไดอะแกรมเวลาของสัญญาณสร้างความถี่แสดงดังรูปที่ 4.10

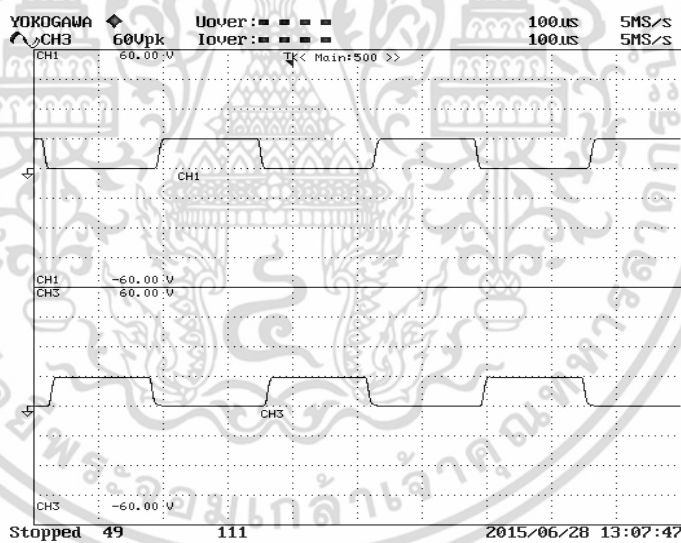


รูปที่ 4.7 ไดอะแกรมการทำงานของไอซี IR2153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ไตอะแกรมสร้างควมถี่และสัญญาณขับเคลื่อนของ IR2153



รูปที่ 4.9 ไตอะแกรมเวลาของสัญญาณสร้างควมถี่และสัญญาณขับเคลื่อนของ IR2153

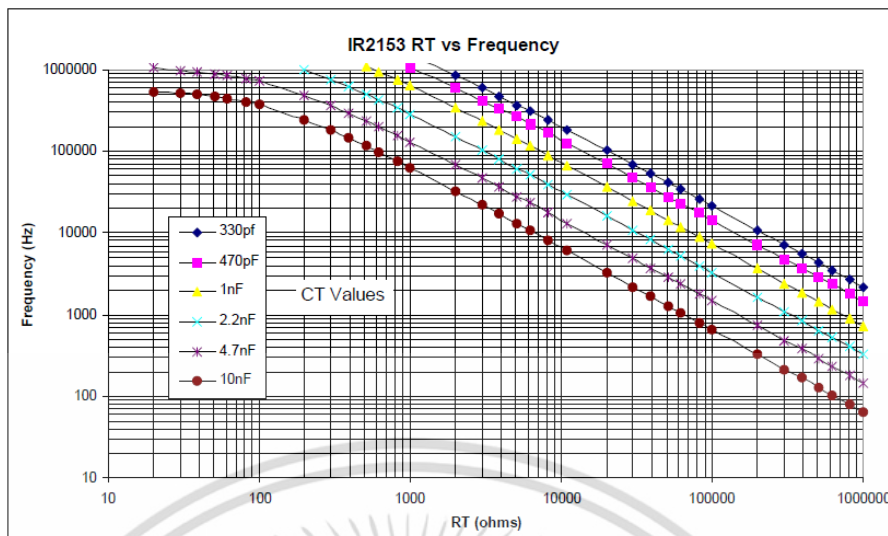
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอในส่วนการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ได้กำหนดความถี่สวิตช์มอสเฟตใช้งานที่ 30 กิโลเฮิร์ต จากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง R_T และ C_T ที่มีผลต่อการกำหนดควมถี่ จากการออกแบบจะได้ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุได้ดังต่อไปนี้

$$R_T = 500 \text{ กิโลโห์ม}$$

$$C_T = 4.7 \text{ นาโนฟารัด}$$

$$\text{เดทไทม์ (Deadtime)} = 1.2 \text{ ไมโครวินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

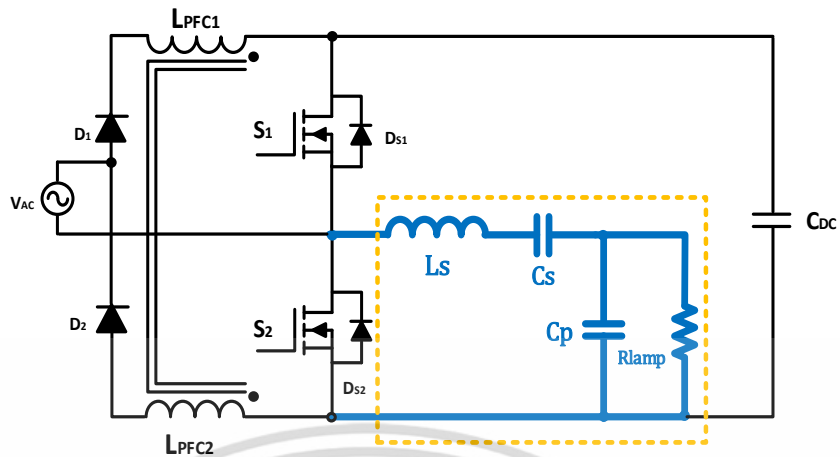


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_T และ C_T ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่

4.7 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Filter)

วงจรเรโซแนนซ์ทำหน้าที่สร้างแรงดันสูงเพียงพอต่อการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ติดสว่าง จากการทำงานร่วมกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ซึ่งมีสวิตช์มอสเฟต S_1 และ S_2 เปลี่ยนสภาวะสลับช่วงการทำงานโดยช่วงเวลาที่นำกระแส สวิตช์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านสวิตช์ทั้งบวกและลบสามารถไหลผ่านได้ แต่ถ้าสวิตช์มอสเฟตอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส ตัวสวิตช์มอสเฟตจะให้กระแสไหลกลับผ่านได้เท่านั้น โดยผ่านทางไดโอดภายในของสวิตช์มอสเฟต สวิตช์มอสเฟตถูกควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสจากการป้อนสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์ (Gate Drive Circuit) ด้วยการทำงานดิวิต์ไซเคิลทำงานที่ช่วงดิวิต์ไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์

ส่วนประกอบของวงจรเรโซแนนซ์ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_s ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ C_s และตัวเก็บประจุ C_p ต่อขนานกับตัวต้านทานภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์ R_{lamp} ดังวงจรรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วงจรควบคุมการขับโหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การออกแบบหาค่าวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม L_s, C_s, C_p ในการออกแบบหาค่าวงจรดังกล่าวสามารถพิจารณาสถานะการทำงานออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันกล่าวคือ สถานะเริ่มทำงาน และสถานะอยู่ตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) พิจารณาสถานะเริ่มทำงานของโหลดฟลูออเรสเซนต์ขณะเปิดวงจร
- 2) พิจารณาสถานะอยู่ตัวของโหลดฟลูออเรสเซนต์ขณะ
- 3) ความถี่ในการสวิตซ์ใกล้เคียงกับความเรโซแนนซ์ ขณะเริ่มทำงานดังสมการที่ (10)

$$f_s \cong f_{0,Start} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L_s C_s C_p}{C_s + C_p}}} \quad (4.7)$$

- 4) ความถี่เรโซแนนซ์ขณะอยู่ตัวหาได้จากสมการ

$$f_{0,Steady} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_s}} \quad (4.8)$$

- 5) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเก็บประจุ C_s และ C_p ดังสมการ

$$C_s \geq 10C_p \quad (4.9)$$

- 6) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สวิตซ์ f_s และความถี่เรโซแนนซ์ $f_{0,Steady}$ ดังสมการ

$$f_s = 4f_{0,Steady} \quad (4.10)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการสามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_s ได้โดยรวมสมการที่ (4.7), (4.8), (4.10)

$$L_S = \frac{4}{\pi^2 f_S^2 C_S} \quad (4.11)$$

จากรูปที่ 4.11 วงจรสมมูลย์ของ L_S, C_S, C_P สามารถหาค่าแรงดันที่ตกคร่อมหลอดโดยใช้วิธีวงจรแบ่งแรงดันได้ดังสมการ

$$\left| \frac{V_{lamp}(j\omega_S)}{V_{AB}(j\omega_S)} \right| = \left| \frac{R_{lamp} // \frac{1}{j\omega_S C_P}}{j\omega_S L_S + \frac{1}{j\omega_S C_S} + (R_{lamp} // \frac{1}{j\omega_S C_P})} \right| \quad (4.12)$$

จากสมการที่ (4.11) และ (4.12) สามารถหาค่าตัวเก็บประจุรีโซแนนซ์ C_S ได้ดังนี้
ค่าตัวเก็บประจุรีโซแนนซ์ C_S สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 28 วัตต์
ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	28	วัตต์
กระแสไหลผ่านหลอด	0.14	แอมป์
ความถี่สวิตช์	30	กิโลเฮิร์ต
แรงดันไฟตรง	600	โวลต์

$$C_S = \frac{15V_{lamp}}{\sqrt{2}V_{dc} R_{lamp} f_S} = \frac{15i_{lamp}}{\sqrt{2}V_{dc} f_S} \quad (4.13)$$

$$C_S = \frac{15 \times 0.14}{\sqrt{2} \times 600 \times 30 \text{ kHz}}$$

$$= 82 \text{ nF} \text{ เลือกใช้ค่า } 88 \text{ nF}$$

ค่าตัวเก็บประจุรีโซแนนซ์ C_S สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 35 วัตต์

ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	35	วัตต์
กระแสไหลผ่านหลอด	0.17	แอมป์
ความถี่สวิตช์	30	กิโลเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟตรง

600

โวลต์

$$C_s = \frac{15 \times 0.17}{\sqrt{2 \times 600 \times 30 \text{ kHz}}}$$

$$= 104 \text{ nF} \text{ เลือกใช้ค่า } 110 \text{ nF}$$

ค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_p สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 28 วัตต์ เมื่อ $C_s = 82 \text{ nF}$

สมการที่ (12) สามารถหาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_p ดังสมการ

$$C_p = 0.1 C_s$$

(4.14)

$$C_p = 0.1 \times 82 \text{ nF}$$

$$C_p = 8.2 \text{ nF} \text{ เลือกใช้ค่า } 4 \text{ nF}$$

ค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_p สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 35 วัตต์ เมื่อ $C_s = 104 \text{ nF}$

สมการที่ (12) สามารถหาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_p ดังสมการ

$$C_p = 0.1 \times 104 \text{ nF}$$

$$= 10.4 \text{ nF} \text{ เลือกใช้ค่า } 6.8 \text{ nF}$$

จากสมการที่ (4.11) สามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_s ได้ดังนี้

ค่าตัวค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_s สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 28 วัตต์

ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	28	วัตต์
ความถี่สวิตช์	30	กิโลเฮิร์ต
ค่าตัวค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_s	82	นาโนฟารัด

$$L_s = \frac{4}{\pi^2 \times 30000^2 \times 82 \text{ nF}}$$

$$= 5.49 \text{ mH} \text{ เลือกใช้ค่า } 11.4 \text{ mH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (4.11) สามารถหาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_s ได้ดังนี้
 ค่าตัวค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_s สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 35 วัตต์
 ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้ดังนี้

ค่าตัวค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ $C_s = 100$ นาโนฟารัด

$$L_s = \frac{4}{\pi^2 30000^2 \times 100nF}$$

$$= 4.5 \text{ mH} \text{ เลือกใช้ค่า } 9.2 \text{ mH}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการจำลองและการทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมแมทแลบเวอร์ชัน 2013 และทดสอบการทำงาน บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28วัตต์และ 35 วัตต์ เพื่อ ศึกษาค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าด้วยสภาวะการทำงานสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อกำหนดของการ ออกแบบในตารางที่ 5.1 ซึ่งรายละเอียดที่ทดลองมีดังต่อไปนี้

1. การจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมแมทแลบเวอร์ชัน 2013
2. การทดลองและบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. การทดลองการทำงานช่วงสภาวะขับหลอดจนถึงสภาวะคงตัวของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์
ต้นแบบ ขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์
4. การทดลองการทำงานแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ ตั้งแต่198 ถึง 242 โวลต์ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ ขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์
5. การเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าที่ได้จากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ต้นแบบขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์

ตารางที่ 5.1 ข้อกำหนดในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

รายละเอียด	ข้อกำหนด
พิกัดกำลังไฟฟ้า	28วัตต์และ35วัตต์
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	198-242 โวลต์
ค่าตัวประกอบกำลัง	>0.95
ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต	$<25\%$
ประสิทธิภาพของระบบ	$>80\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

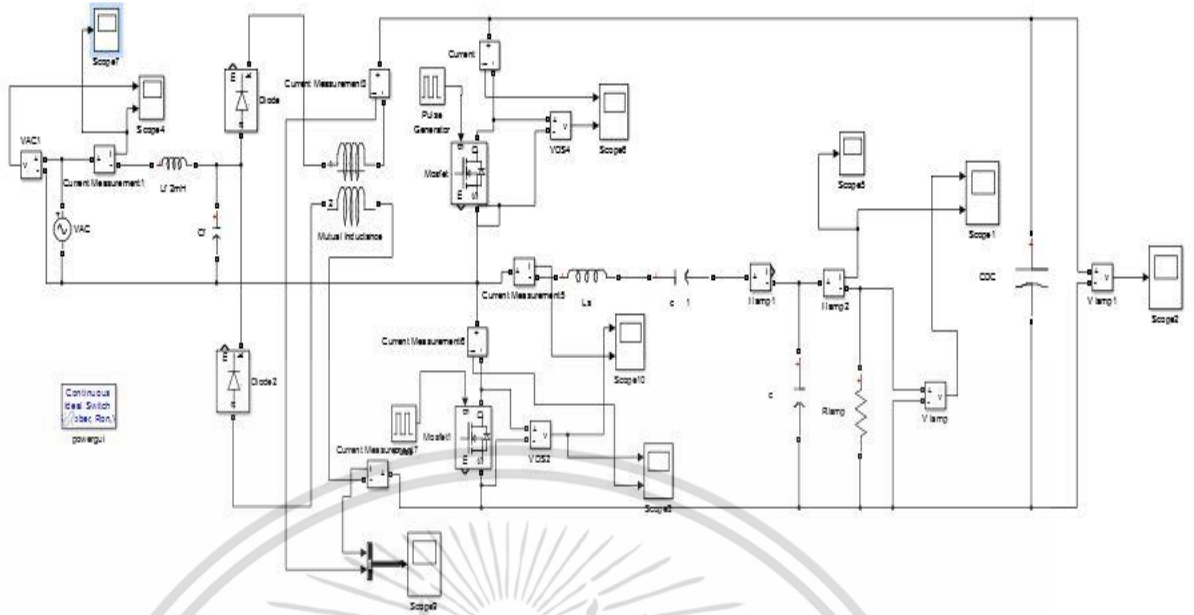
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า

ตารางที่ 5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

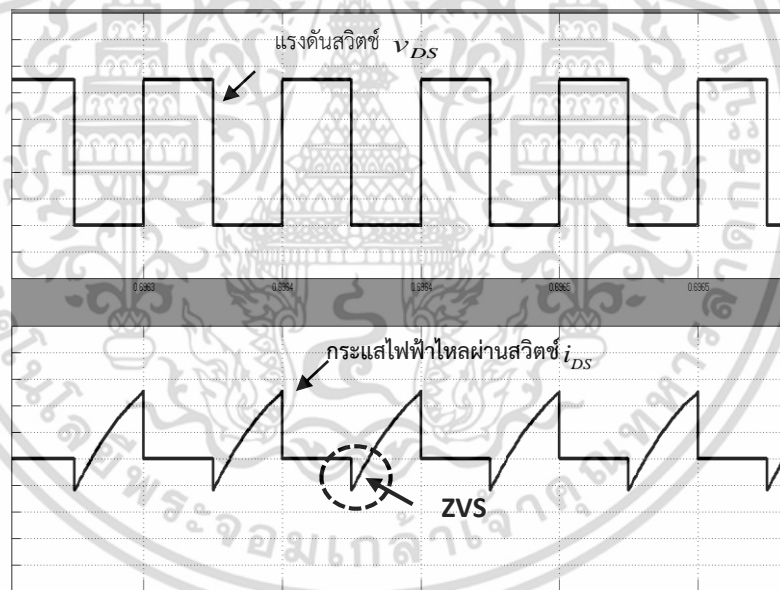
ลำดับ	เครื่องมือและอุปกรณ์	คุณลักษณะ	
		ยี่ห้อ	รุ่น
1	Fluorescent Lamp	OSRAM	28W/865 Cool Daylight
2	Fluorescent Lamp	OSRAM	35W/865 Cool Daylight
3	Digital Oscilloscope	YOKOGAWA	DL1540L
4	Digital Oscilloscope	RIGOL	DS1102E
5	Power Analyzer	YOKOGAWA	PZ 4000
6	Power Analyzer	FLUKE	43B
7	Current Probe	Chauvin Arnoux	E3N
8	Different Probe	YOKOGAWA	700925
9	Digital Multi meter	FLUKE	115

5.3 ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมแมทแลบเวอร์ชัน2013

ในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้โปรแกรมแมทแลบเวอร์ชัน 2013 เข้ามาช่วยในการจำลองสถานะการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นแนวทางในการทดลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ



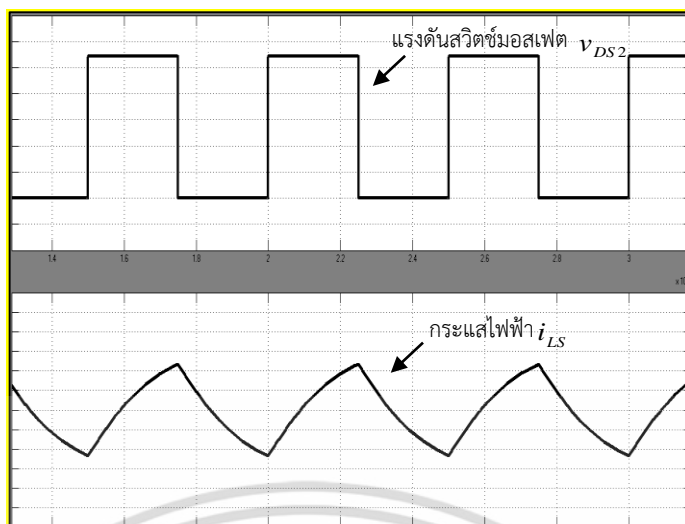
รูปที่ 5.1 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมเมทแลบ



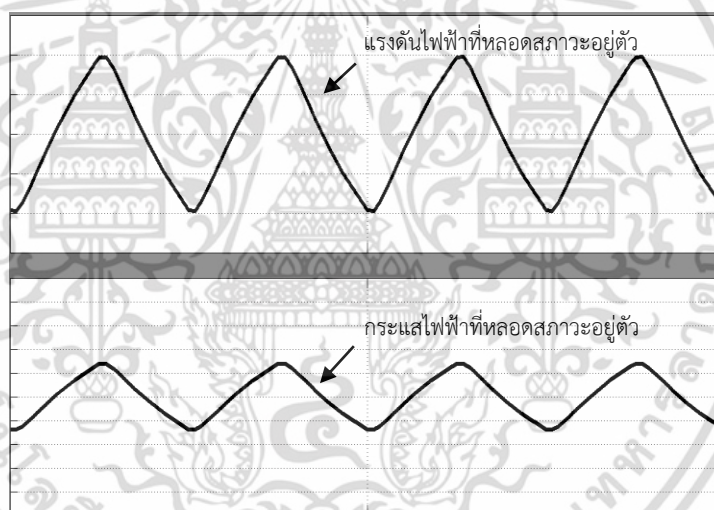
รูปที่ 5.2 แรงดันสวิตช์มอสเฟตและกระแสไฟฟ้าของสวิตช์มอสเฟตจำลองด้วยโปรแกรมเมทแลบ

(100V/div, 0.2A/div, 50µs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

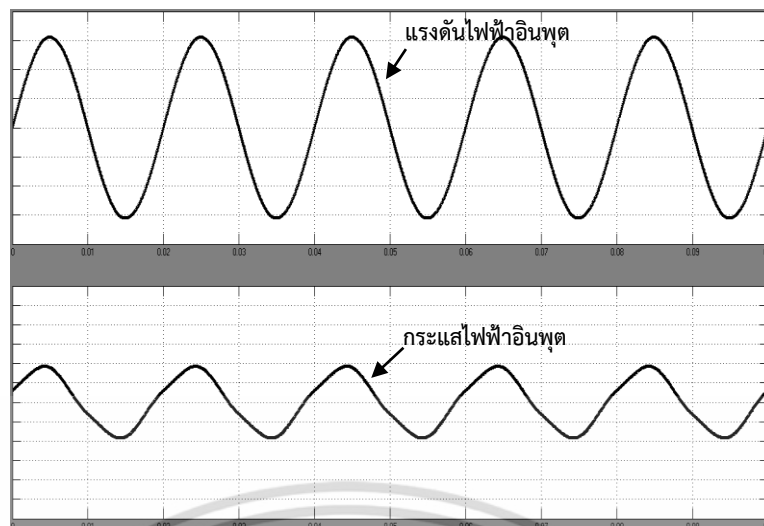


รูปที่ 5.3 แรงดันสวิตช์มอสเฟตและกระแสไฟฟ้าของการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ
(100V/div, 0.1A/div, 20 μ s/div)



รูปที่ 5.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขั้วหลอดช่วงสภาวะอยู่ตัวจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ
(100V/div, 0.2A/div, 100 μ s/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตด้วยการจำลองโปรแกรมแมทแลบ
(100V/div, 0.1A/div, 10ms/div)

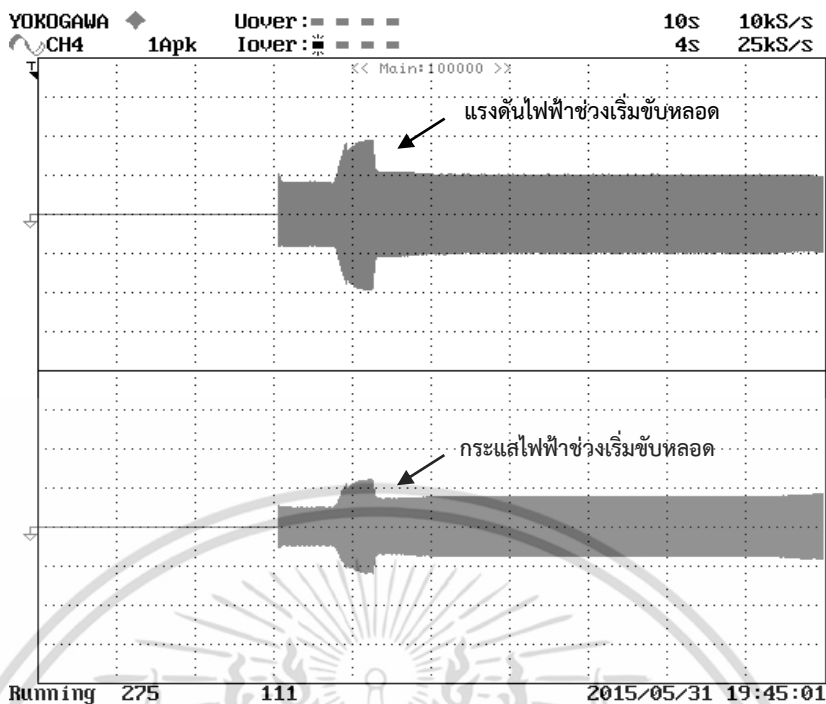
5.4 ผลการทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนขนาด 28 วัตต์

ในการทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์ ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟฟ้าทดลอง 200- 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรต จากผลการทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแยกได้ดังนี้

5.4.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะเริ่มขับหลอด

การทดลองวัดรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดจะเห็นได้ว่าวงจรขับหลอดจะสร้างแรงดันไฟฟ้าจากยอตถึงยอตประมาณ 600 โวลต์

จากรูปที่ 5.6 คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าช่วงสภาวะขับหลอด เมื่อวิเคราะห์การทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเห็นว่าในสภาวะเริ่มต้นจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ก๊าซความดันต่ำและไอปรอทภายในหลอดแก้วยังไม่นำกระแสเนื่องจากไม่มีกระแสไหลผ่านหลอดค่าความต้านทานภายในหลอดมีค่าสูงมาก จนกว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ของหลอดทั้งสองข้างที่สูงมากพอทำให้ขับหลอดได้

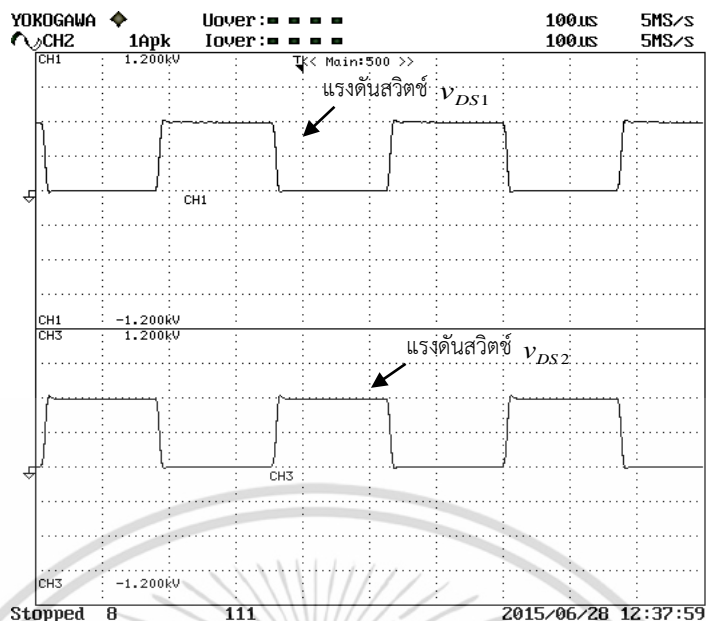


รูปที่ 5.6 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มขับหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์ (150V/div,0.25A/div,1s/div)

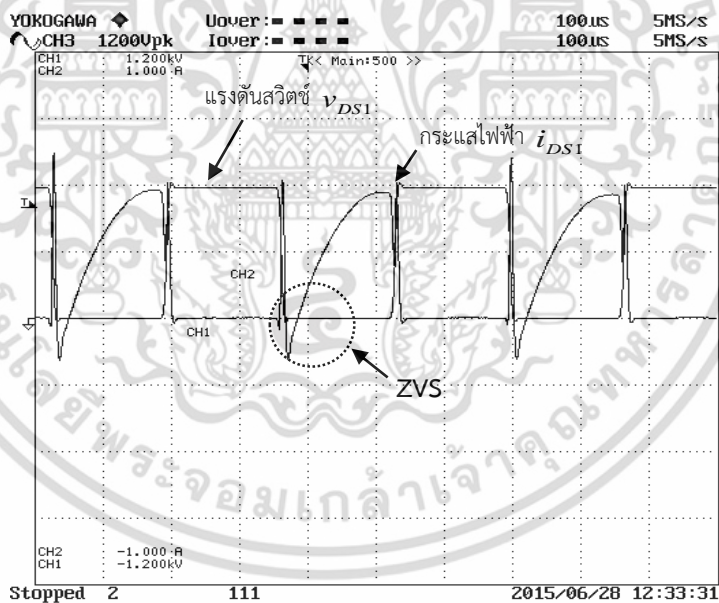
5.4.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต

การทดลองวัดค่าแรงดันสวิตช์มอสเฟต S_1 และ S_2 โดยวัดที่ตำแหน่งขาเดรนและขาซอส การทำงานสวิตช์มอสเฟตจะมีคาบเวลาของสัญญาณแรงดันสวิตช์มอสเฟต v_{DS1} และ v_{DS2} ขอบขาขึ้นและขอบขาลงไม่ตรงกันของแรงดันสวิตช์แต่ละตัวเนื่องจากสลับกันทำงานตามคาบเวลาที่ได้จากวงจรขับสัญญาณมอสเฟตจากไอซี IR2153 ดังรูปที่ 5.7

จากรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 เป็นการทดลองวัดค่าแรงดันสวิตช์ v_{DS1}, v_{DS2} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS1}, i_{DS2} เพื่อทดสอบการทำงานของสวิตช์มอสเฟตแต่ละตัว โดยที่ขอบขาลงของแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตในสถานะสวิตช์แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switch) และขณะเดียวกันกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์แต่ละตัวจะเริ่มทำงานโดยสัญญาณทั้งสองเกิดขึ้นในเวลาไม่พร้อมกันทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวสวิตช์

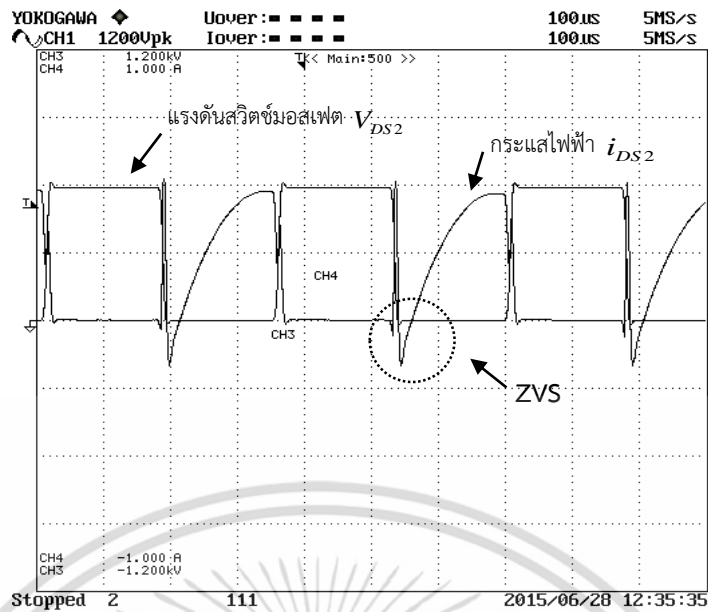


รูปที่ 5.7 สัญญาณแรงดันสวิตช์มอสเฟต v_{DS1} และ v_{DS2} ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์ (300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

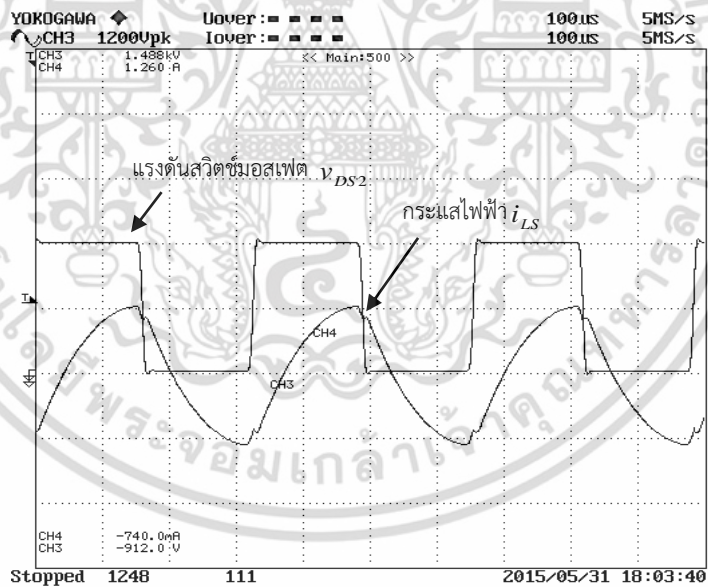


รูปที่ 5.8 แรงดันสวิตช์ v_{DS1} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS1} บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์ (300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แรงดันสวิตช์ V_{DS2} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS2} บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์ (300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)



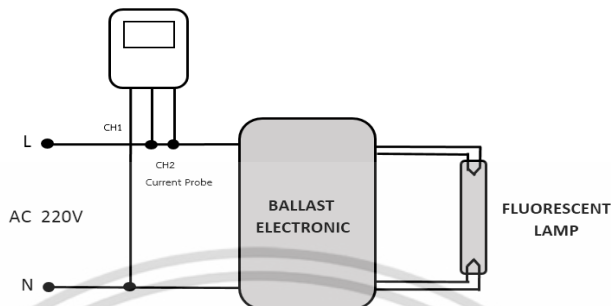
รูปที่ 5.10 แรงดันสวิตช์ v_{DS2} และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_{LS} ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28วัตต์ (300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

5.4.3 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด

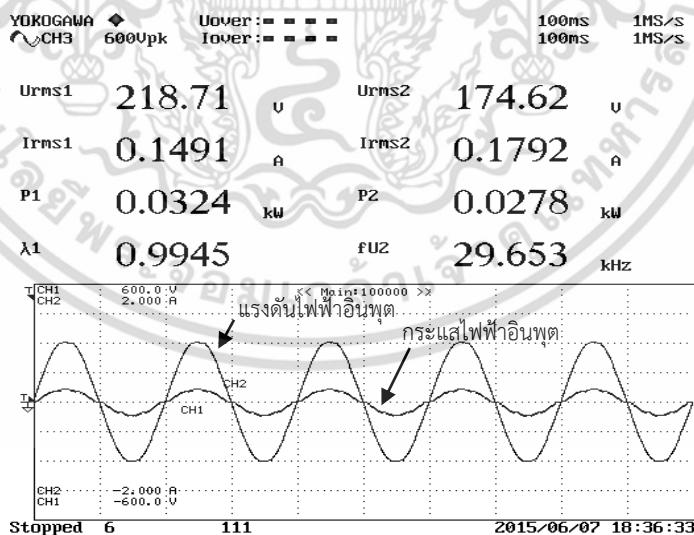
T5 ขนาด 28วัตต์ เมื่อมีการกรองสัญญาณ (EMI Filter) และการออกแบบวงจรปรับปรุงค่าตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบกำลัง ทำให้การทำงานของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในสภาวะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง



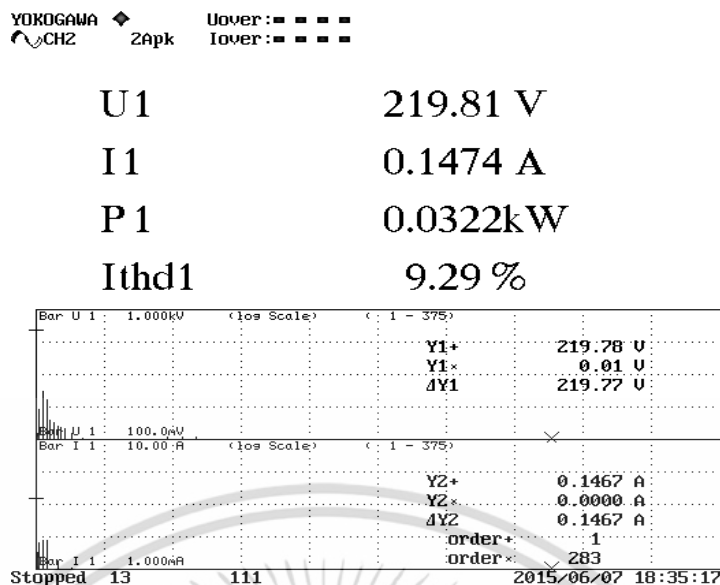
รูปที่ 5.11 วัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุตของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตตั้งแต่ 200-240 โวลต์ ด้วยเครื่องวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Analysis) ยี่ห้อ YOKOKAWA รุ่น PZ4000 และ เครื่อง FLUKE 43B ใช้ในการขยายดูค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกกระแส เทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บ

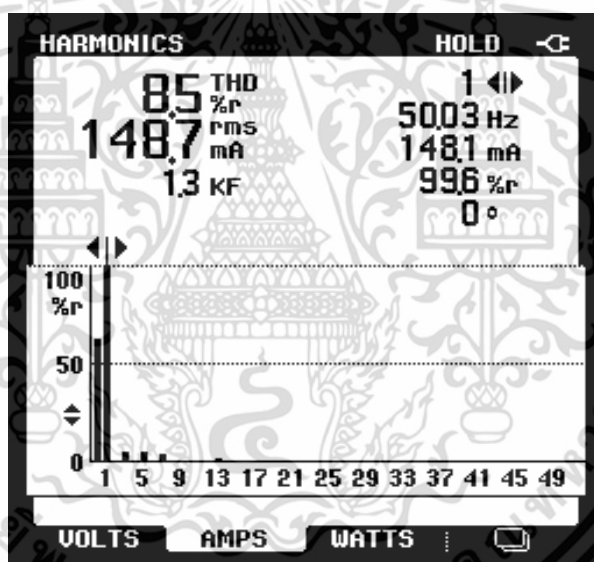


รูปที่ 5.12 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ (150V/div,0.5A/div,10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

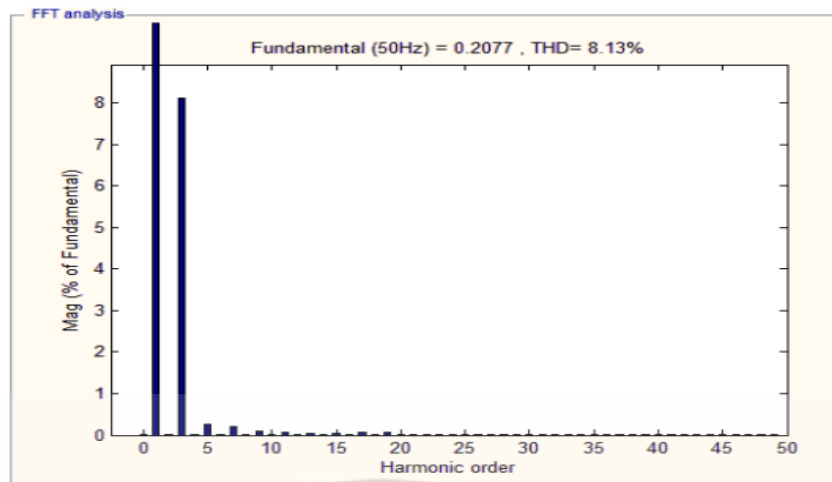


รูปที่ 5.13 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

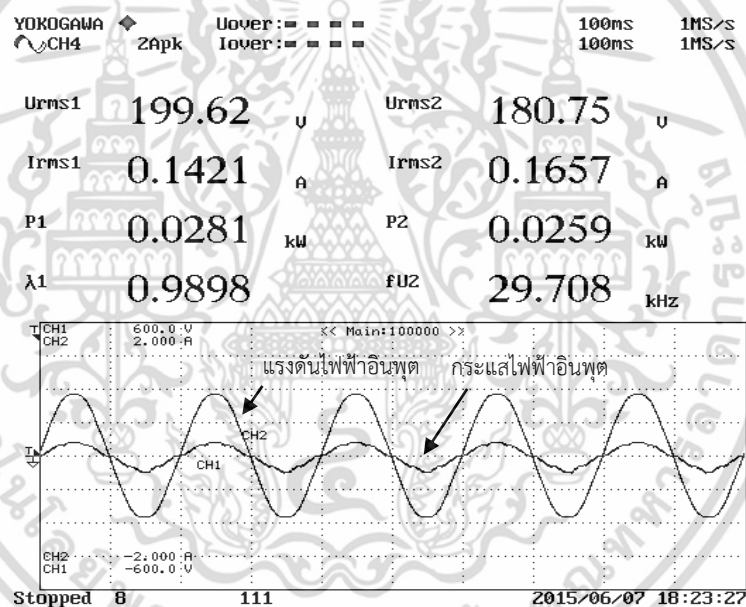


รูปที่ 5.14 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

บันทึกฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากเครื่อง FLUKE 43B เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าผลการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ

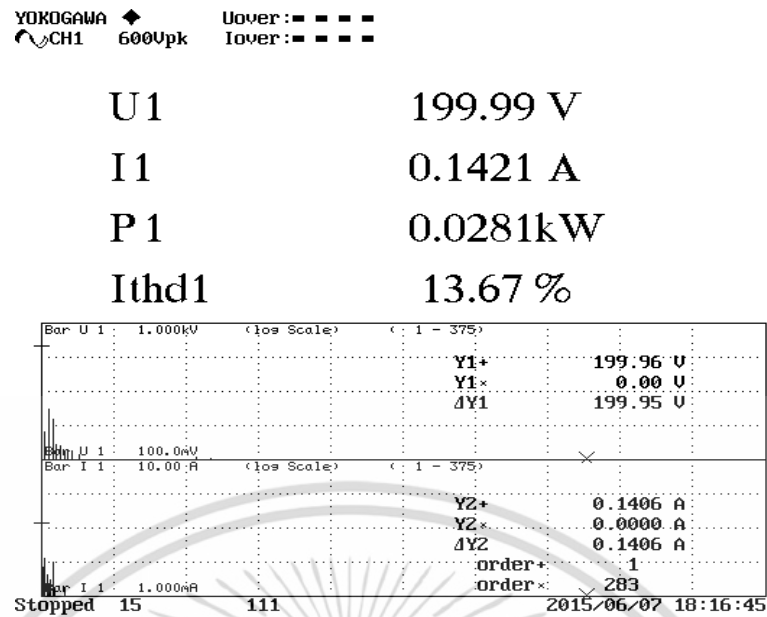


รูปที่ 5.15 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

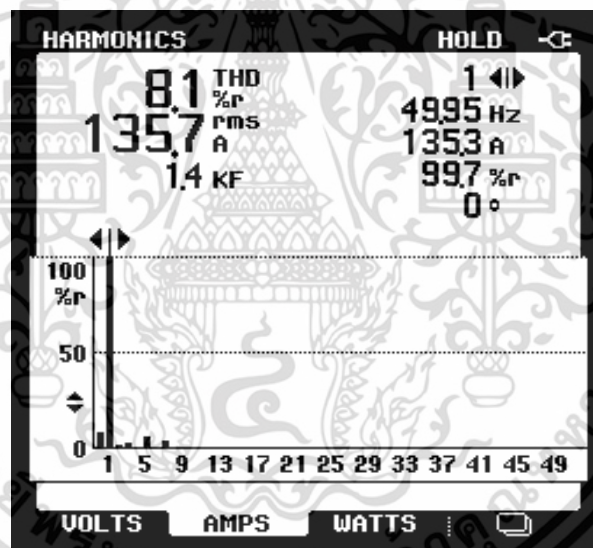


รูปที่ 5.16 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ (150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

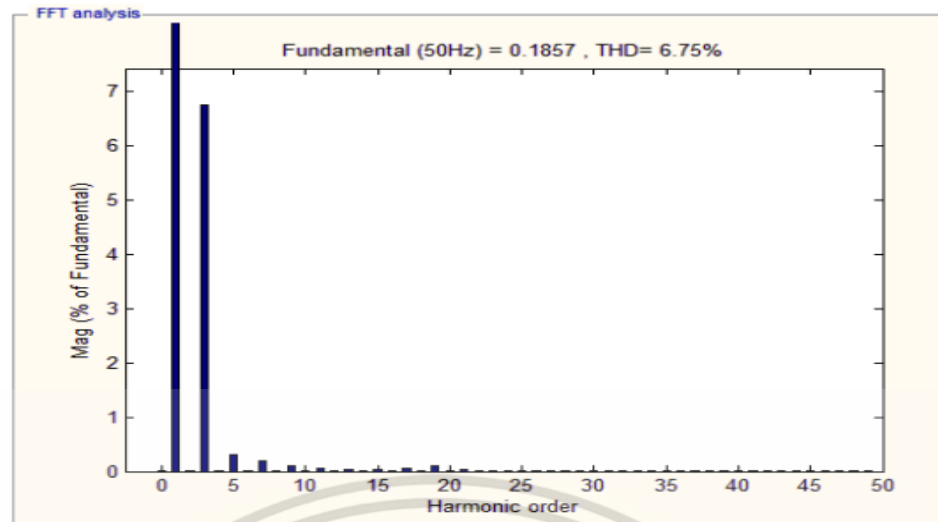


รูปที่ 5.17 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

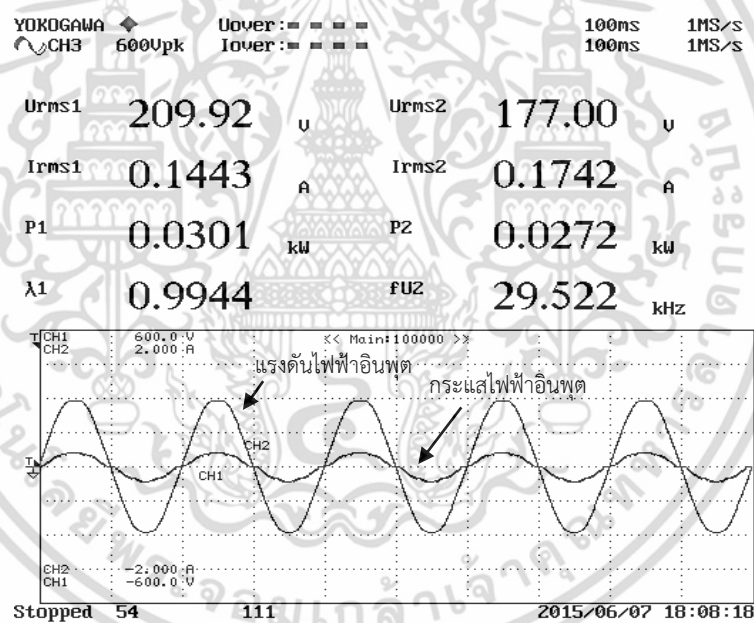


รูปที่ 5.18 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

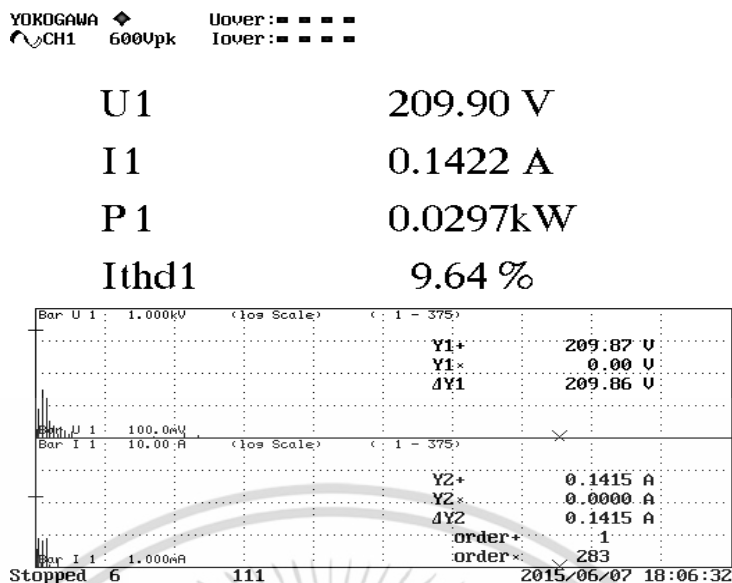


รูปที่ 5.19 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมเมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

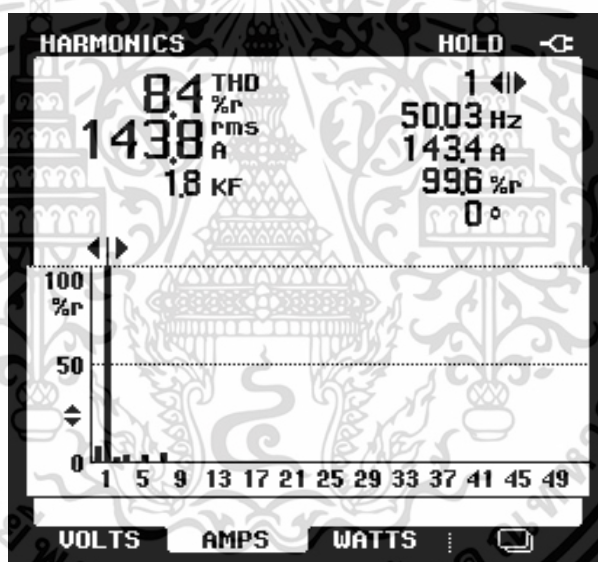


รูปที่ 5.20 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์
(150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

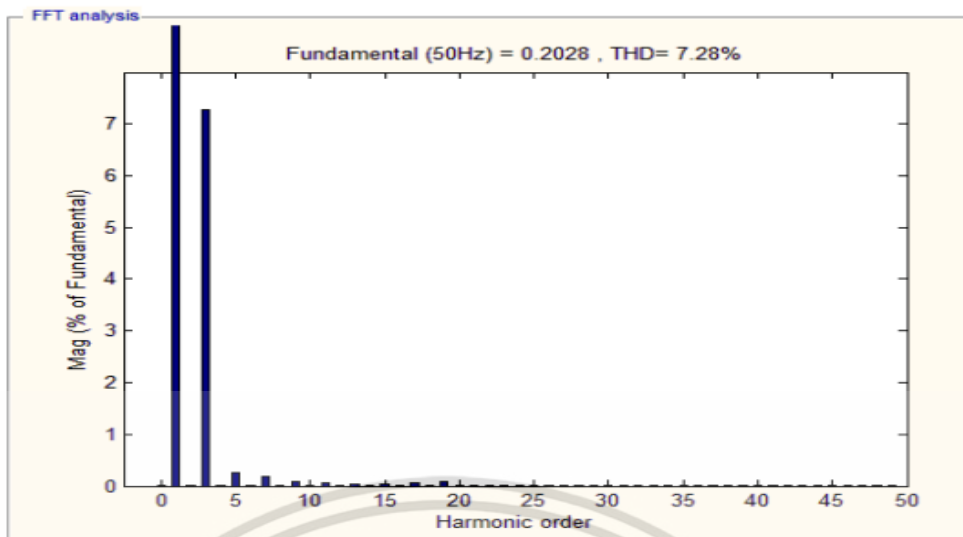


รูปที่ 5.21 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์

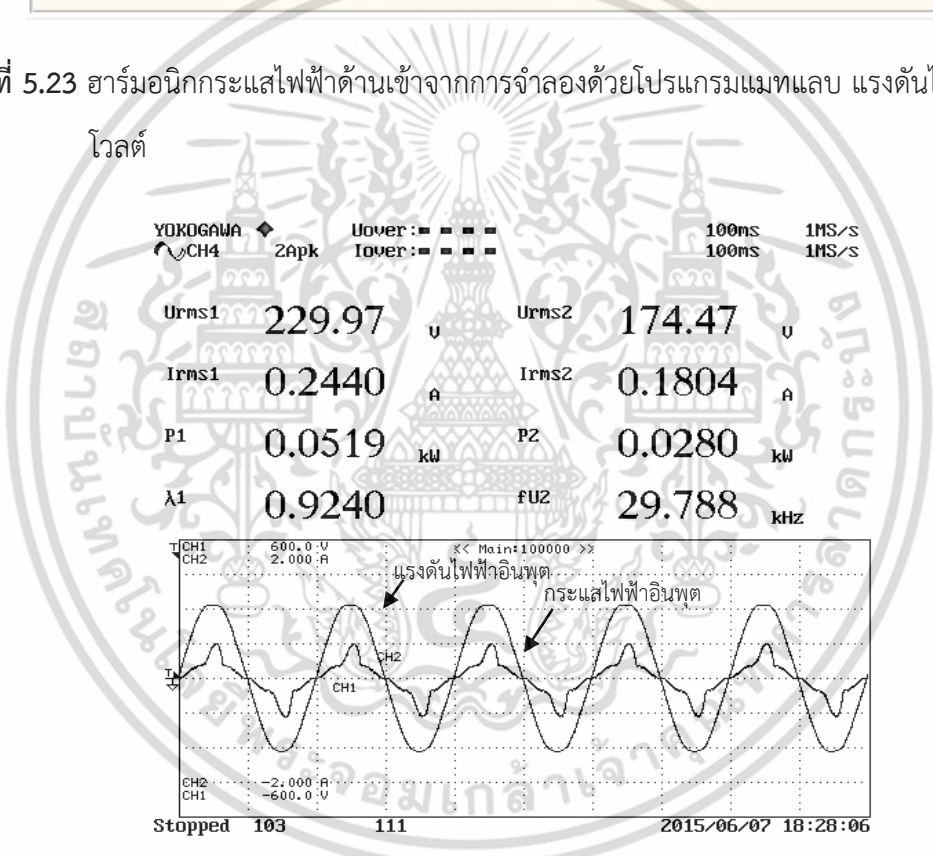


รูปที่ 5.22 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

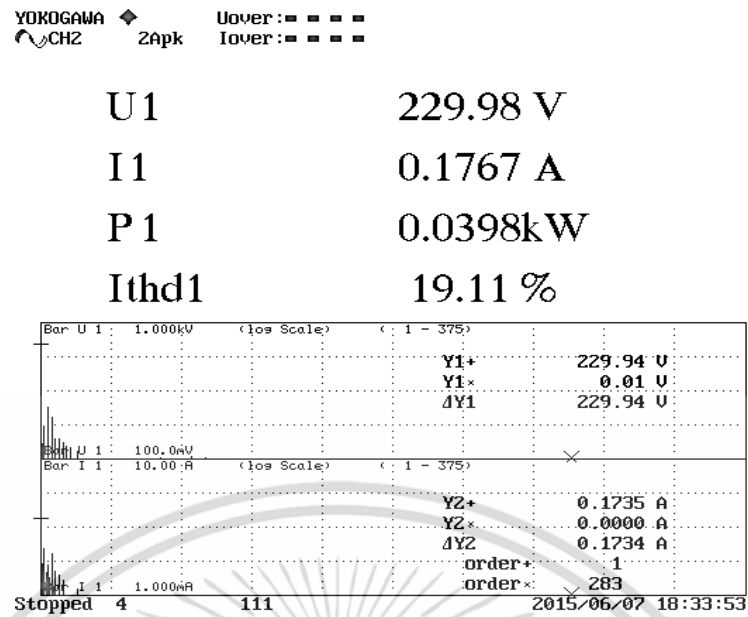


รูปที่ 5.23 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์

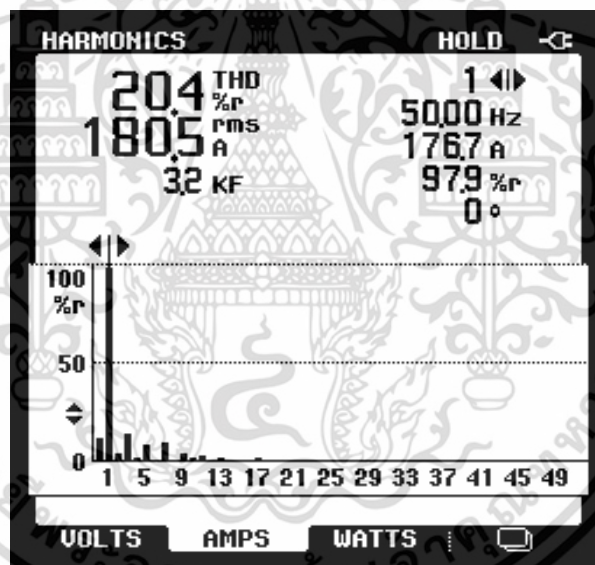


รูปที่ 5.24 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ (150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

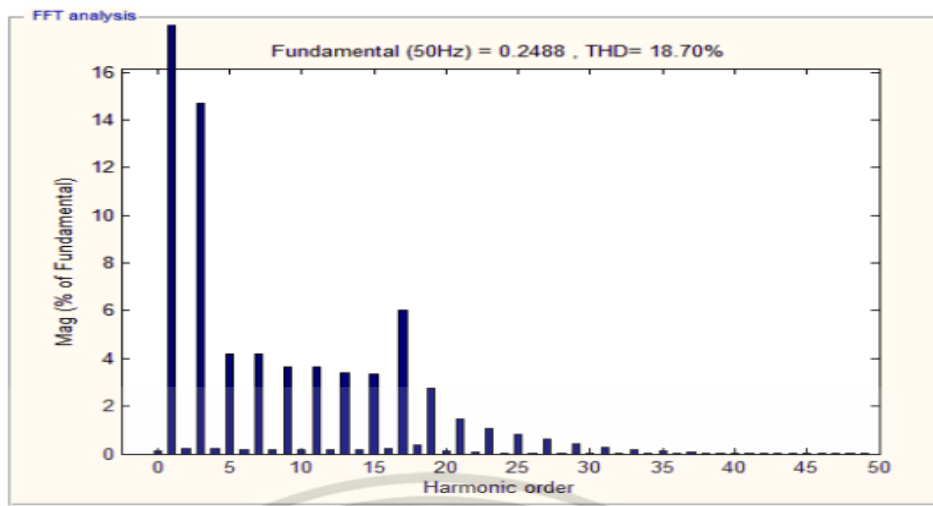


รูปที่ 5.25 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์

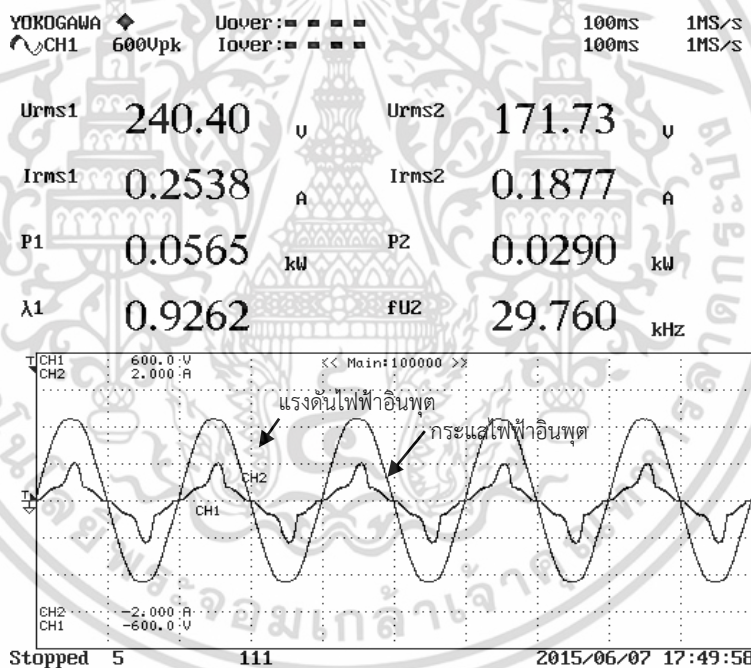


รูปที่ 5.26 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

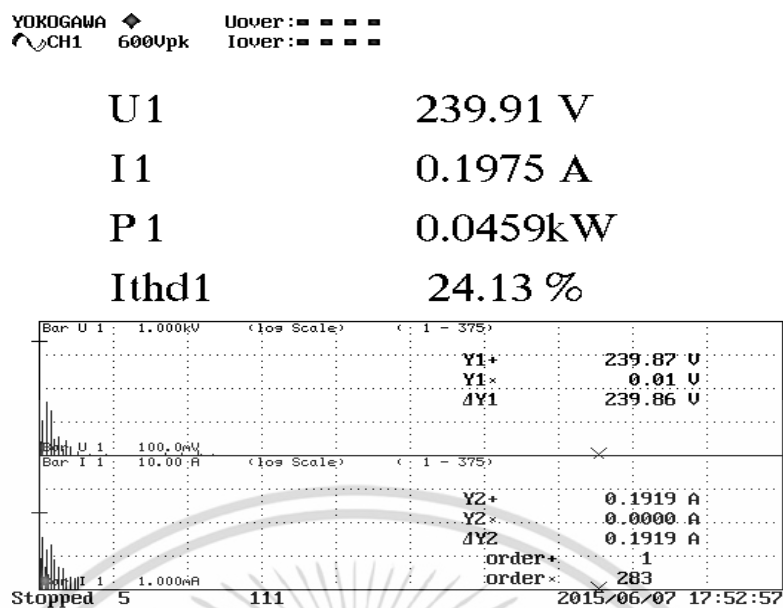


รูปที่ 5.27 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บ แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์

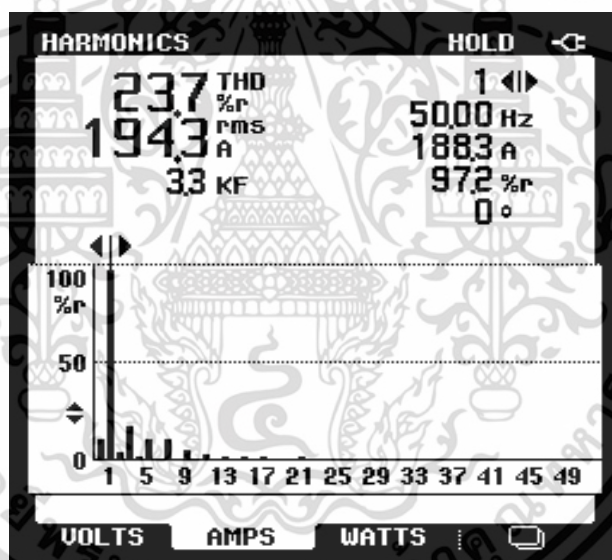


รูปที่ 5.28 แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ (150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

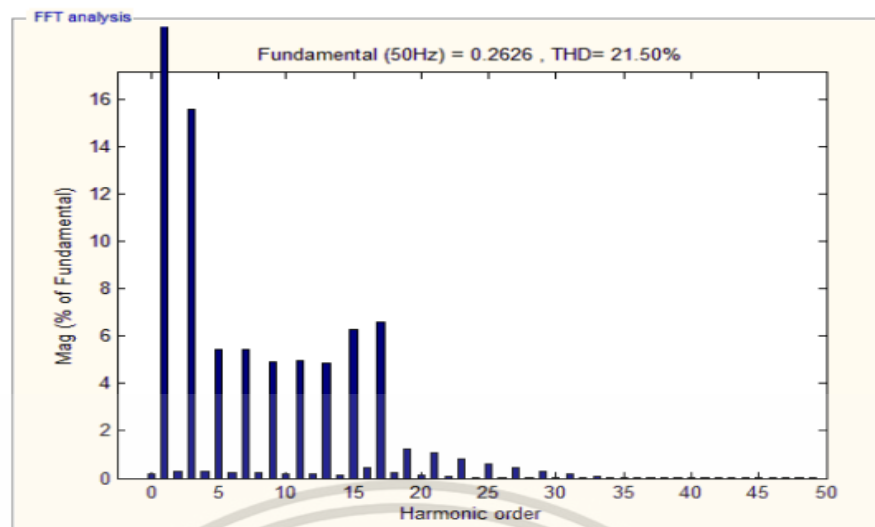


รูปที่ 5.29 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์



รูปที่ 5.30 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์

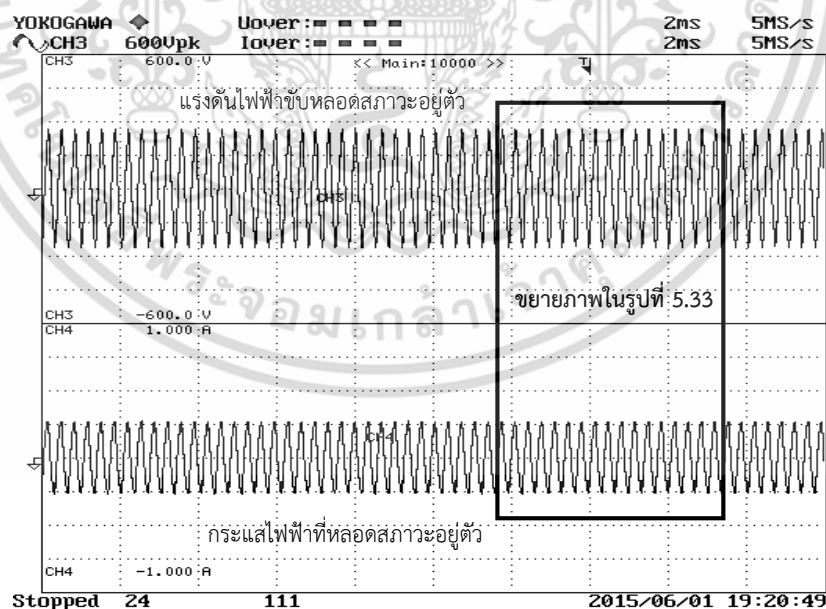
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บ แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์

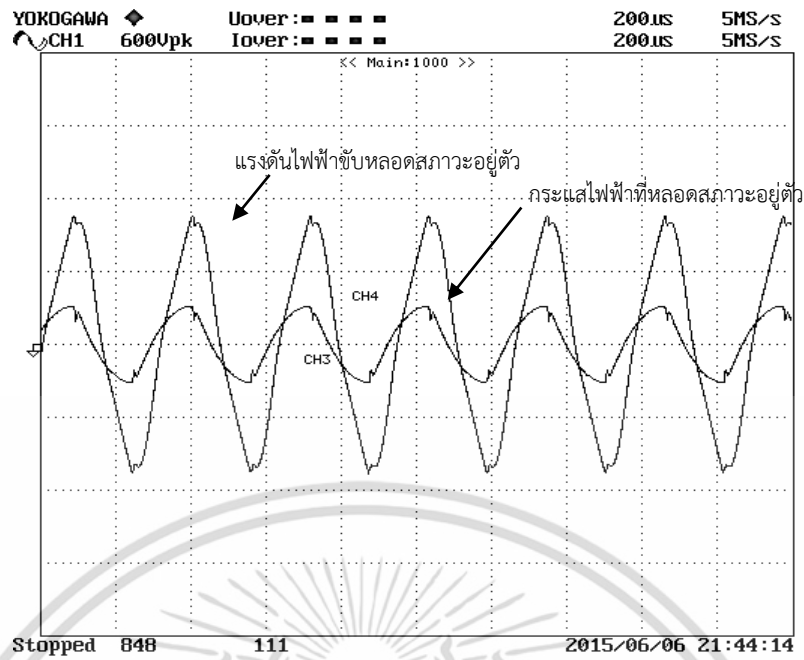
5.4.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะอยู่ตัว

เมื่อผ่านช่วงเริ่มขับโหลดไปแล้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างและจะเข้าสู่สภาวะคงตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดประมาณ 175 โวลต์และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดประมาณ 0.179 แอมป์



รูปที่ 5.32 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับหลอดสภาวะอยู่ตัวของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์ (150V/div, 0.25A/div, 0.2ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

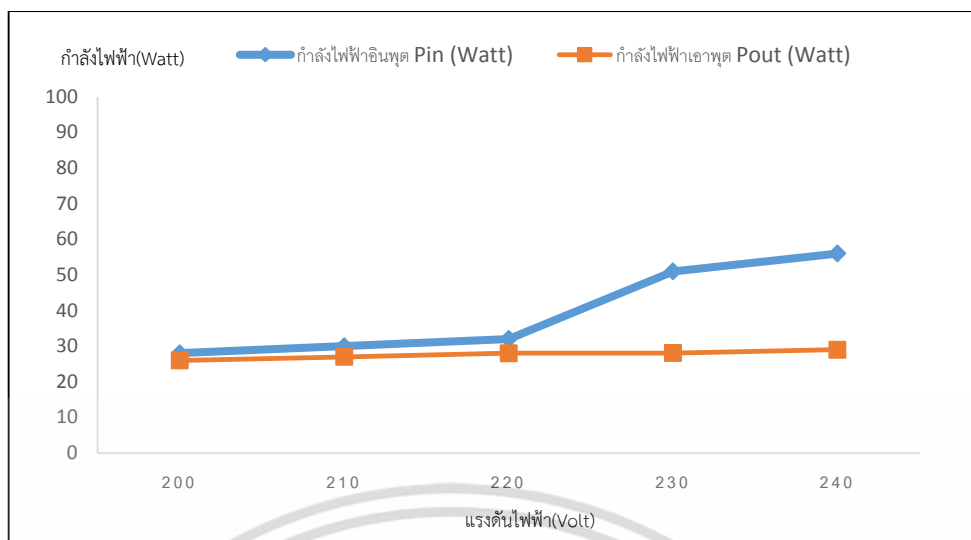


รูปที่ 5.33 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับโหลดช่วงสภาวะอยู่ตัว ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 28 วัตต์ (150V/div, 0.5A/div, 20µs/div)

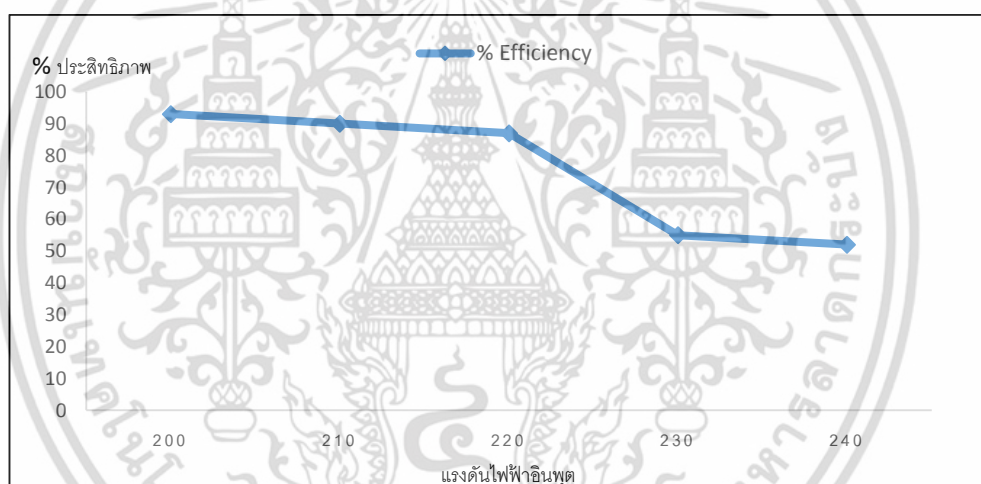
5.4.5 บันทึกผลการทดลองค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ขนาด 28วัตต์

ตารางที่ 5.3 บันทึกผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200-240 โวลต์

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	P_{in} (วัตต์)	P_{out} (วัตต์)	ประสิทธิภาพ (η)
200	180	0.142	0.165	28	26	93
210	177	0.144	0.174	30	27	90
220	175	0.149	0.179	32	28	87
230	174	0.244	0.180	51	28	55
240	172	0.253	0.187	56	29	52

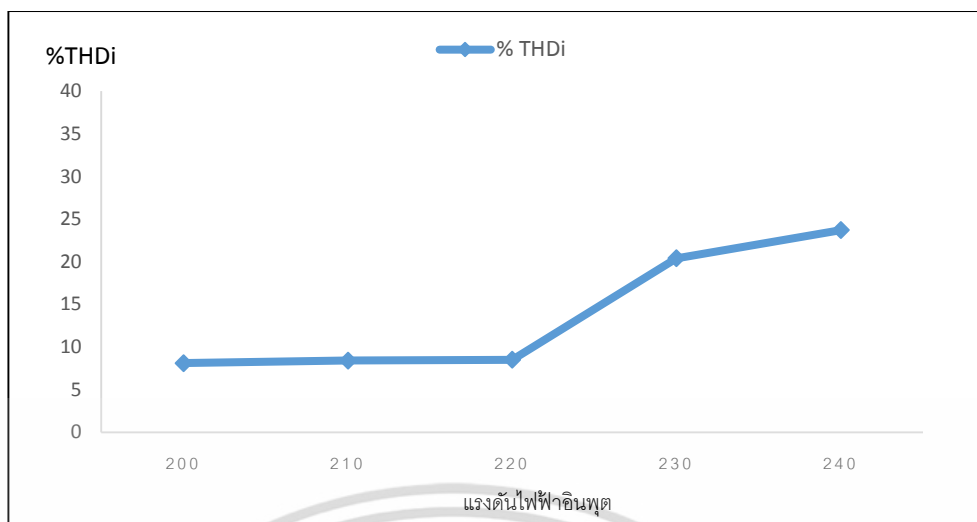


รูปที่ 5.34 กำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาพุตเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิด T5 ขนาด 28วัตต์



รูปที่ 5.35 ประสิทธิภาพเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนชนิด T5 ขนาด 28วัตต์

จากตารางที่ 5.3 ได้ทำการบันทึกผลค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200 – 240 โวลต์ เพื่อทดสอบสภาวะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตกหรือเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบไฟฟ้า พบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้านด้านอินพุตและกำลังไฟฟ้านด้านเอาพุตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าอินพุต ประสิทธิภาพที่แรงดันไฟฟ้าพิกัด 220 โวลต์จะอยู่ที่ 87% จากตารางที่ 5.3 สามารถนำเสนอในรูปกราฟได้ดังรูปที่ 5.35 และ 5.36



รูปที่ 5.36 กราฟแรงดันไฟฟ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงและฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต

ของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 28วัตต์

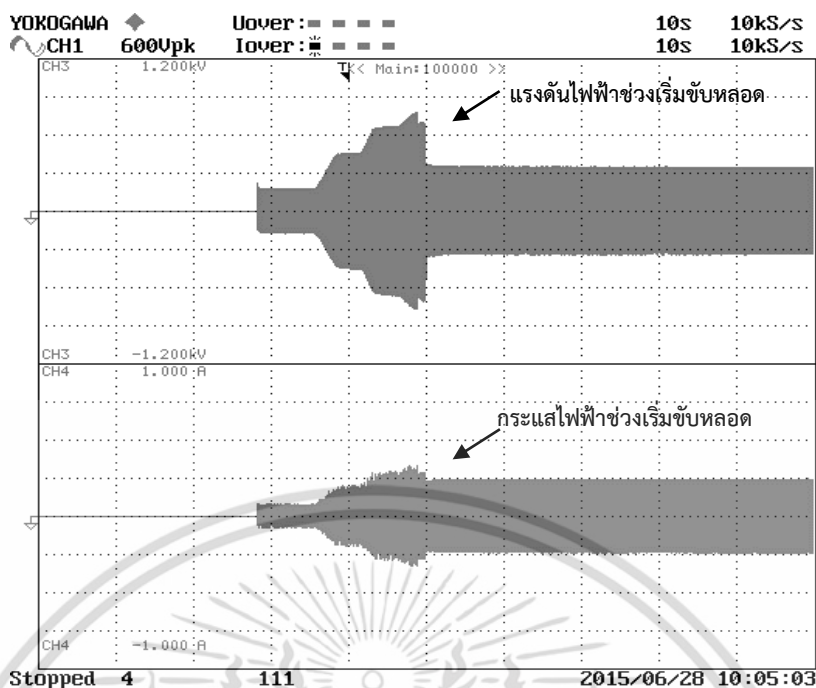
จากผลการทดลองวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิด T5 ขนาด 28วัตต์ที่นำเสนอที่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยการต่อวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังสามารถให้สัญญาณใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มาก ค่าตัวประกอบกำลังค่าสูงและความเพี้ยนฮาร์มอนิกกรวมของกระแสไฟฟ้าอินพุตต่ำดังรูปที่ 5.29

5.5 ผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอขนาด 35 วัตต์

ในการทดสอบการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 35 วัตต์ ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟฟ้าทดสอบ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต จากผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแยกได้ดังนี้

5.5.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะเริ่มขับหลอด

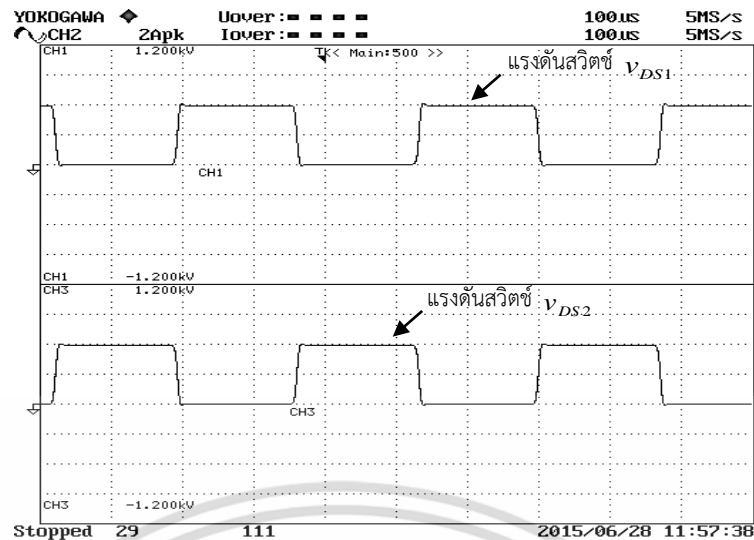
การทดลองวัดรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดจะเห็นได้ว่าวงจรขับหลอดจะสร้างแรงดันไฟฟ้าจากยอดถึงยอดประมาณ 700 โวลต์



รูปที่ 5.37 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงเริ่มขับหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์ (150V/div, 0.25A/div, 1s/div)

5.5.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต

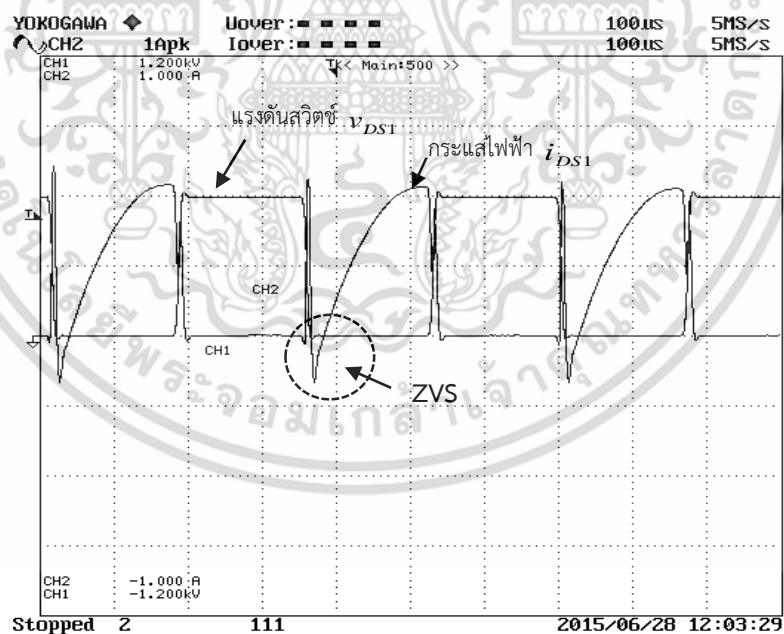
การทดลองวัดค่าแรงดันสวิตช์มอสเฟต S_1 และ S_2 โดยวัดที่ตำแหน่งขาเดรนและขาซอส การทำงานสวิตช์มอสเฟตจะมีคาบเวลาของสัญญาณแรงดันสวิตช์มอสเฟต V_{DS1} และ V_{DS2} ขอบขาขึ้นและขอบขาลงไม่ตรงกันของแรงดันสวิตช์แต่ละตัวเนื่องจากสลับกันทำงานตามคาบเวลาที่ได้จากวงจรขับสัญญาณมอสเฟตจากไอซี IR2153 ดังรูปที่ 5.31 เป็นการทดลองวัดแรงดันสวิตช์ V_{DS1} , V_{DS2} เพื่อทดสอบการทำงานของสวิตช์แต่ละตัว โดยที่ขอบขาลงของแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตสถานะสวิตช์แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switch)



รูปที่ 5.38 สัญญาณแรงดันสวิตช์มอสเฟต v_{DS1} และ v_{DS2} ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ขนาด 35kHz (300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

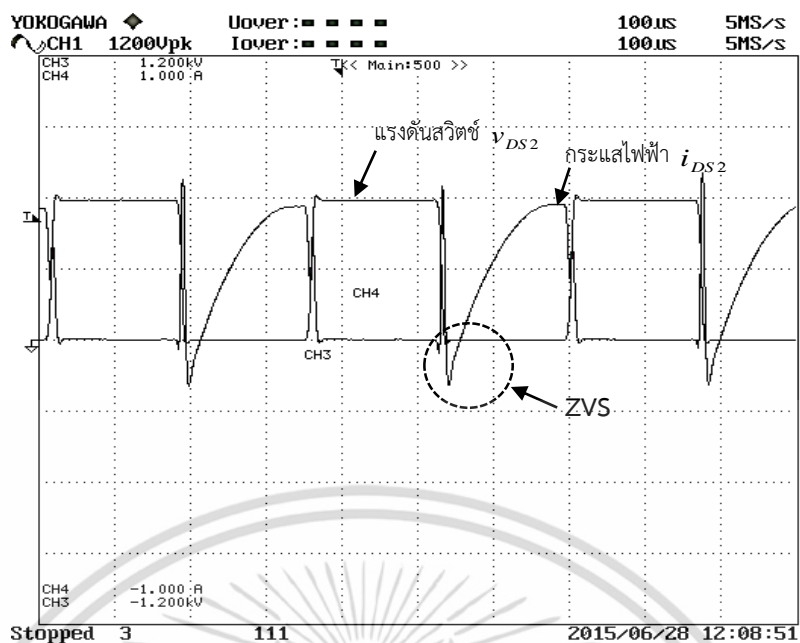
จากรูปที่ 5.39 และ 5.40 ในแต่ละคาบเวลากระแสที่ไหลผ่านสวิตช์แต่ละตัวจะเริ่มทำงาน โดยสัญญาณทั้งสองเกิดขึ้นในเวลาไม่พร้อมกันทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวสวิตช์



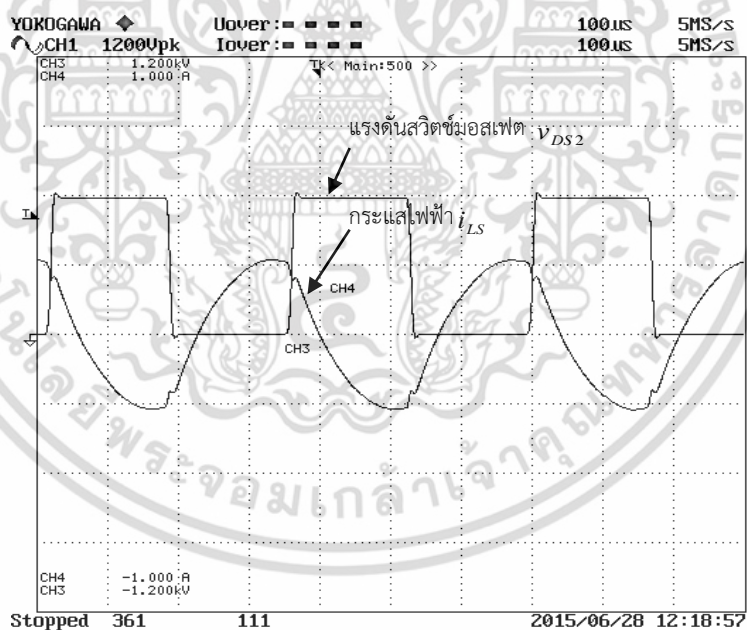
รูปที่ 5.39 แรงดันสวิตช์ v_{DS1} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS1} บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35kHz

(300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.40 แรงดันสวิตช์ v_{DS2} และกระแสไหลผ่านสวิตช์ i_{DS2} บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์
(300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

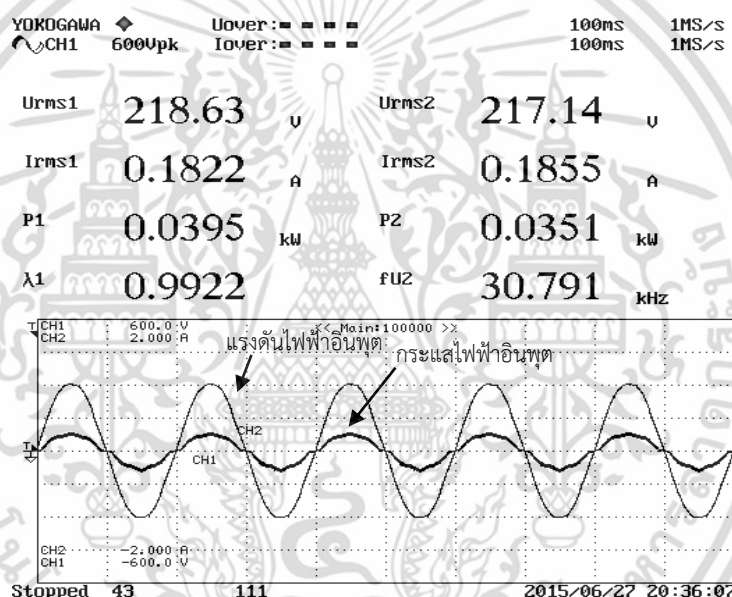


รูปที่ 5.41 แรงดันสวิตช์ v_{DS2} และกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_{LS} ของบัลลาสต์
อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์ (300V/div, 0.25A/div, 10µs/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

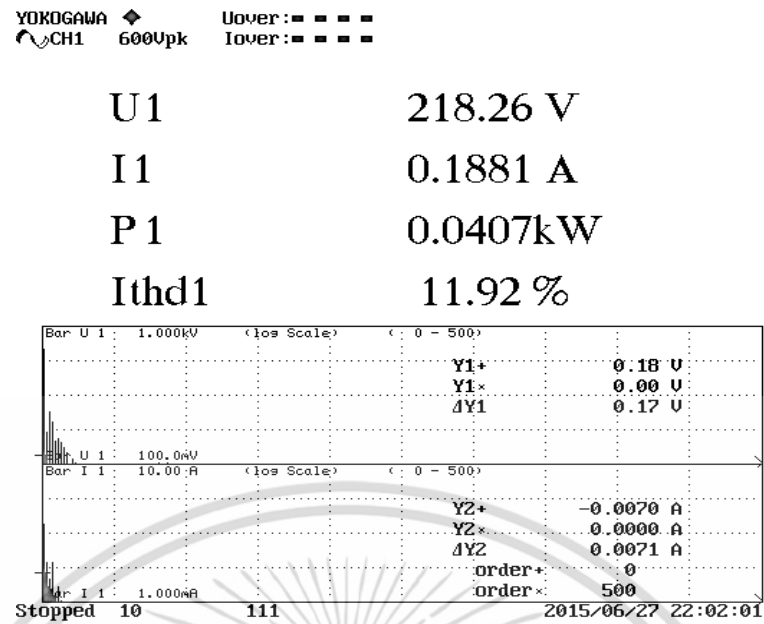
5.5.3 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 35วัตต์ เมื่อมีการกรองสัญญาณ (EMI Filter) และการออกแบบวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ทำให้การทำงานของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง ซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในสภาวะที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุตของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตตั้งแต่ 200-240 โวลต์ ด้วยเครื่องวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Analysis) ยี่ห้อ YOKOKAWA รุ่น PZ4000

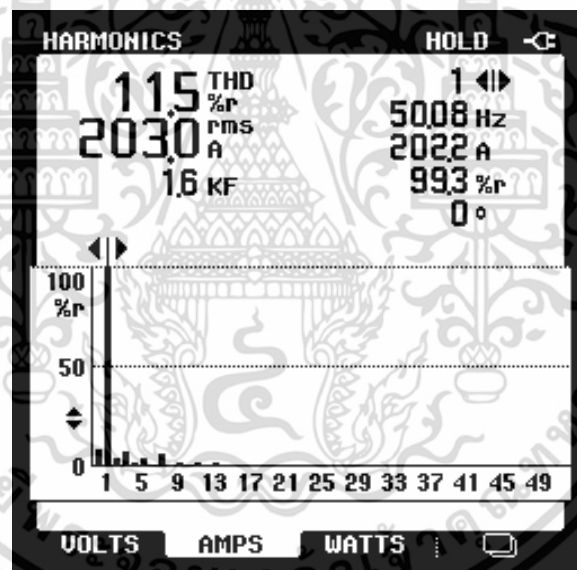


รูปที่ 5.42 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ (150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

บันทึกฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 35วัตต์ โดยใช้ PZ4000 Power Analyzer

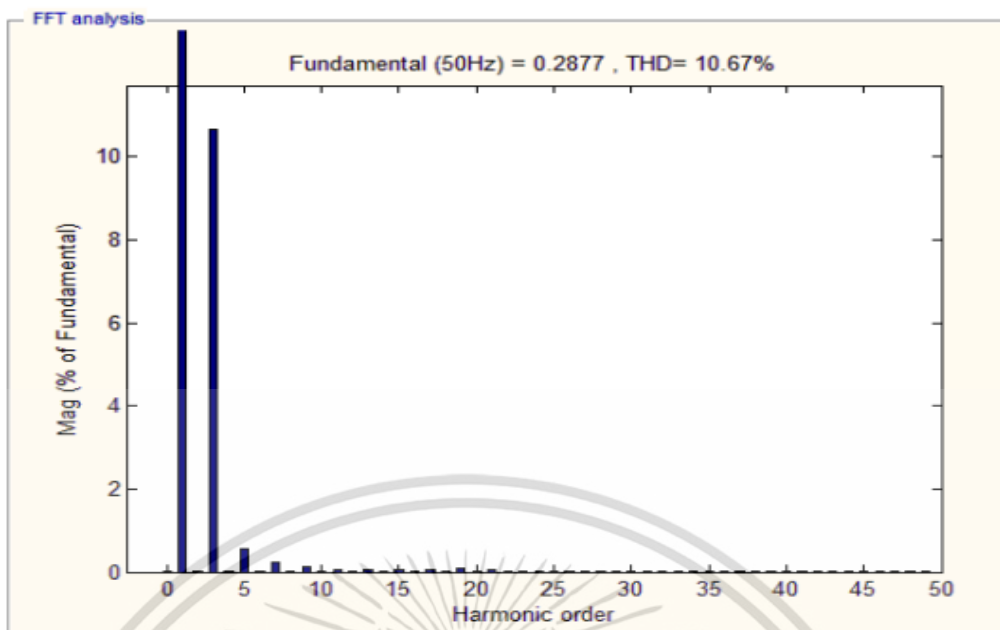


รูปที่ 5.43 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์



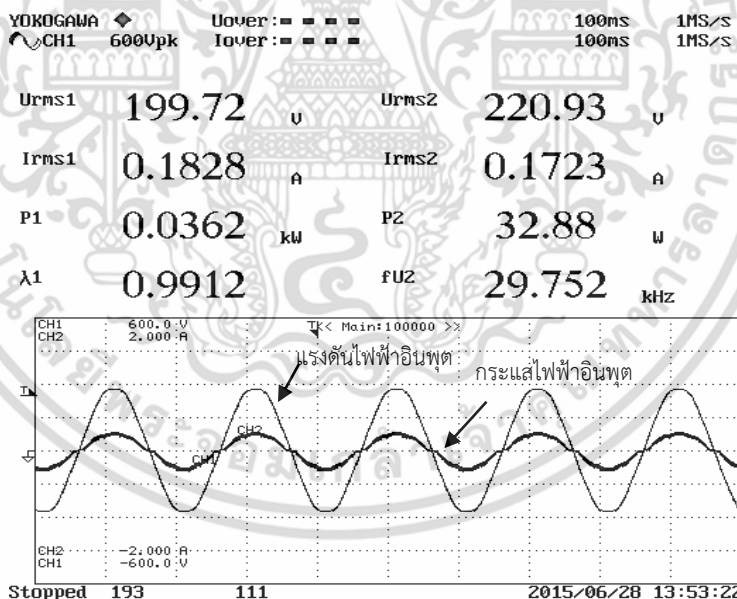
รูปที่ 5.44 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

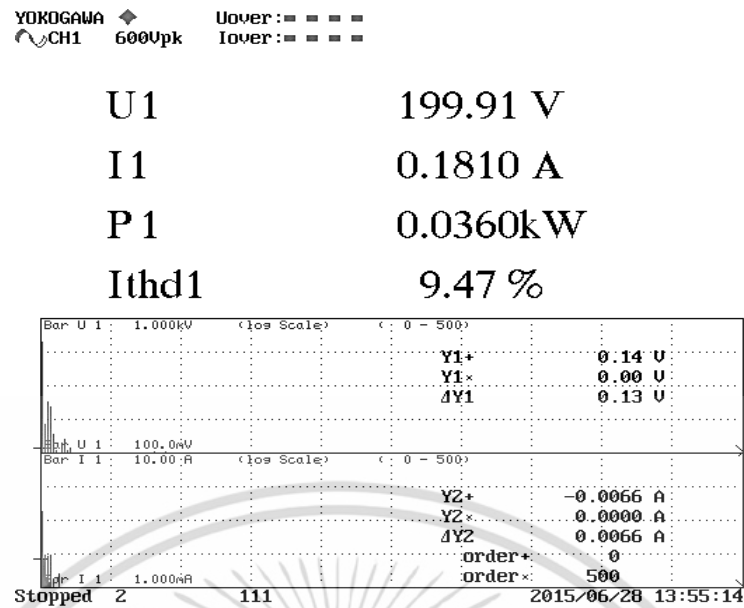
โวลต์



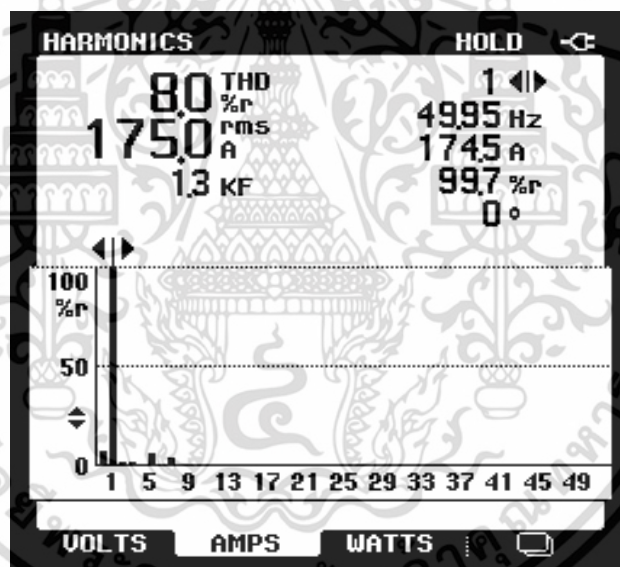
รูปที่ 5.46 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

(150V/div,0.5A/div,10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

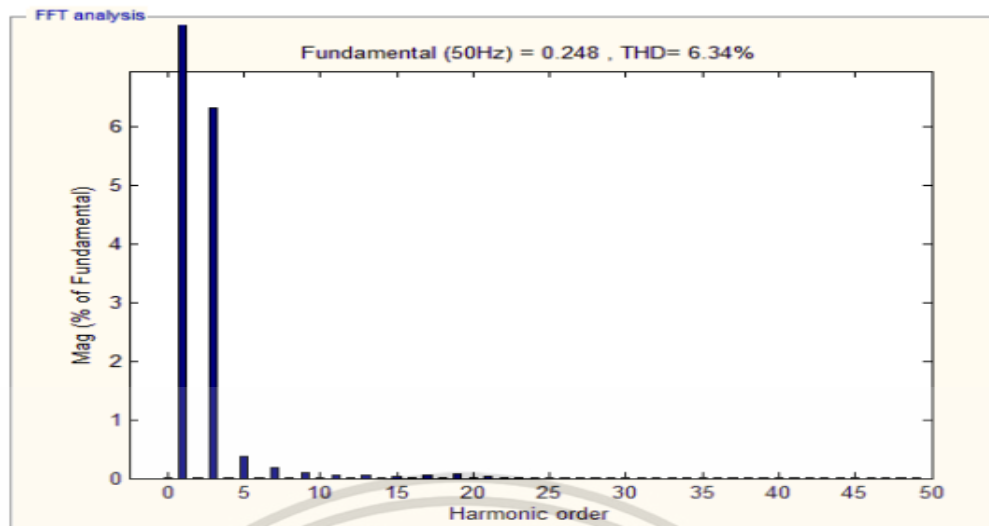


รูปที่ 5.47 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

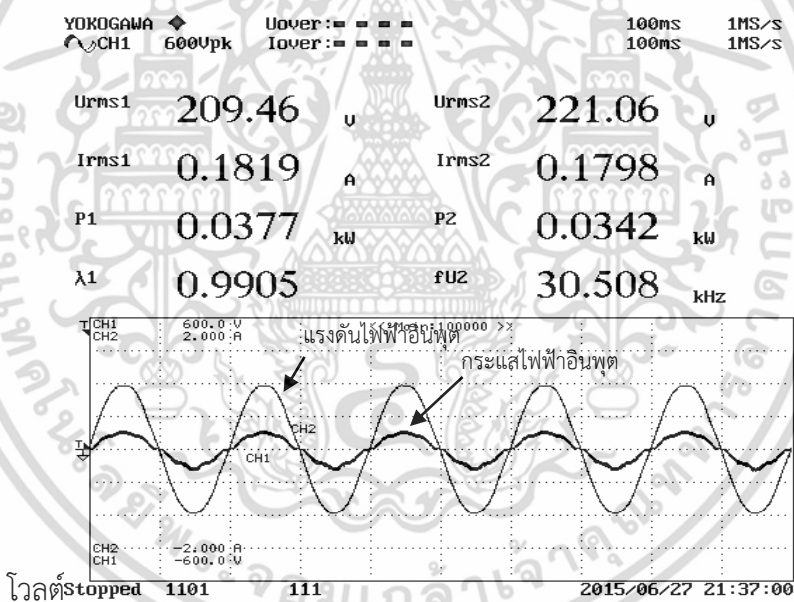


รูปที่ 5.48 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

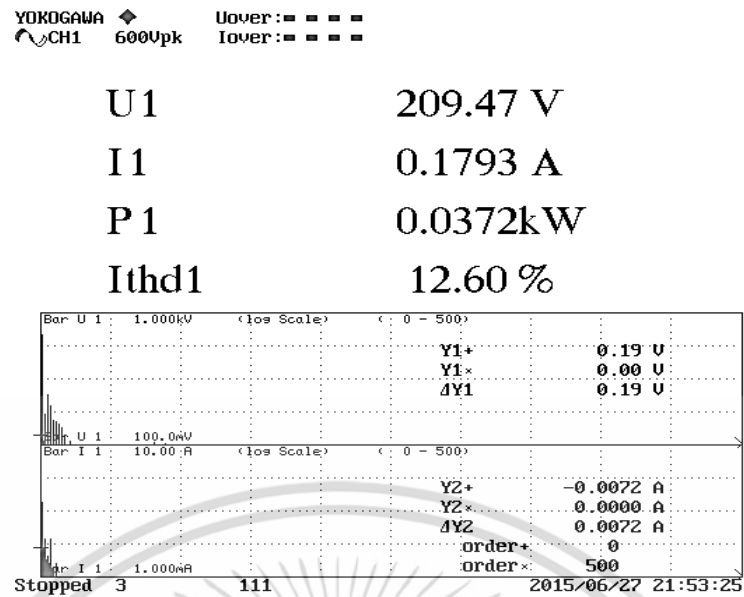


รูปที่ 5.49 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์

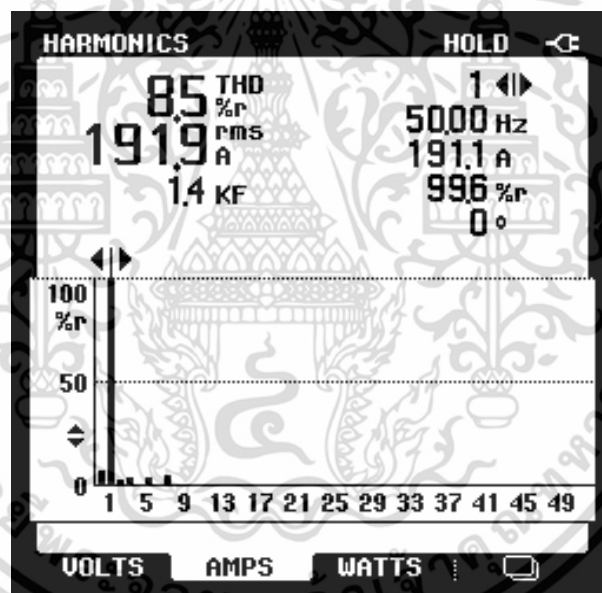


รูปที่ 5.50 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์ (150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

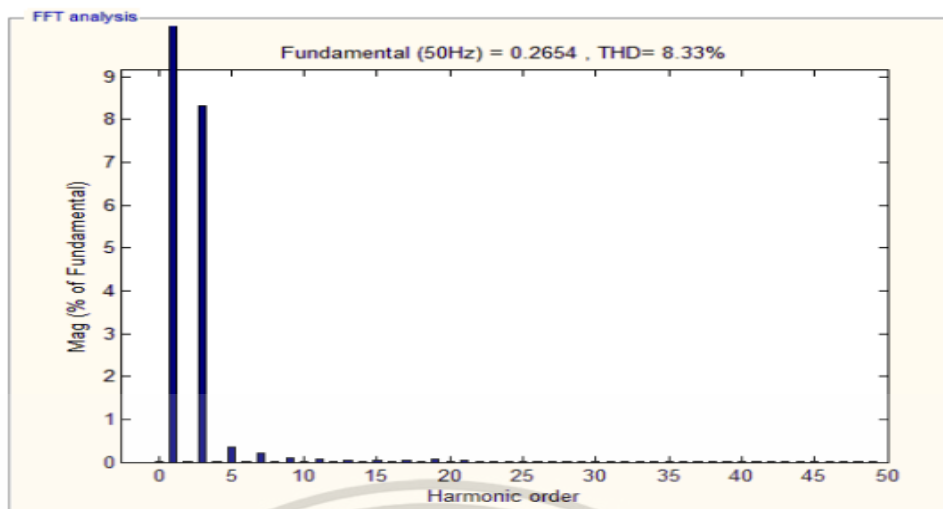


รูปที่ 5.51 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์

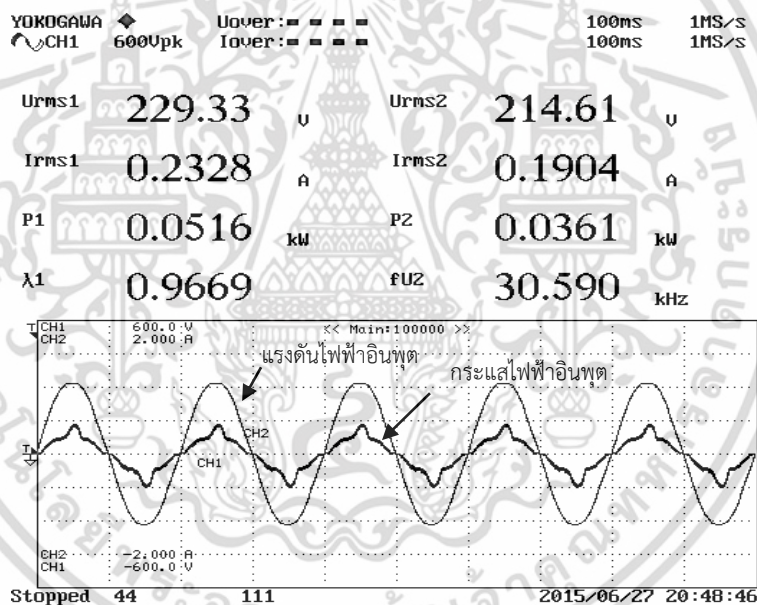


รูปที่ 5.52 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

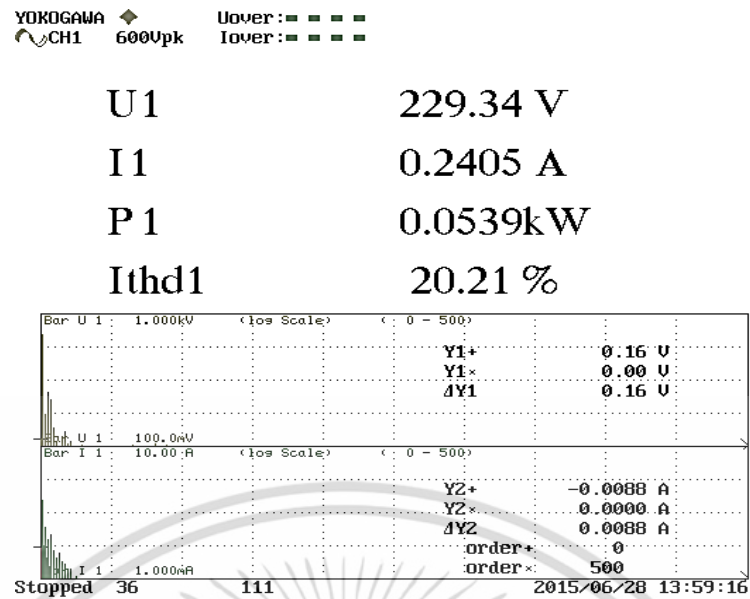


รูปที่ 5.53 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์

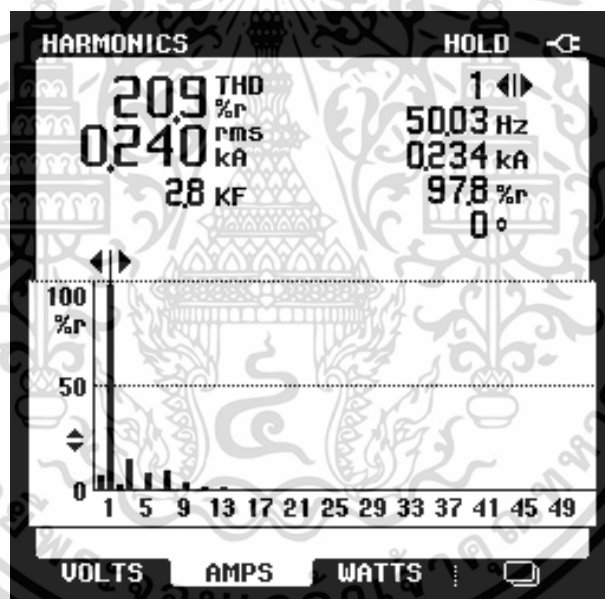


รูปที่ 5.54 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ (150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

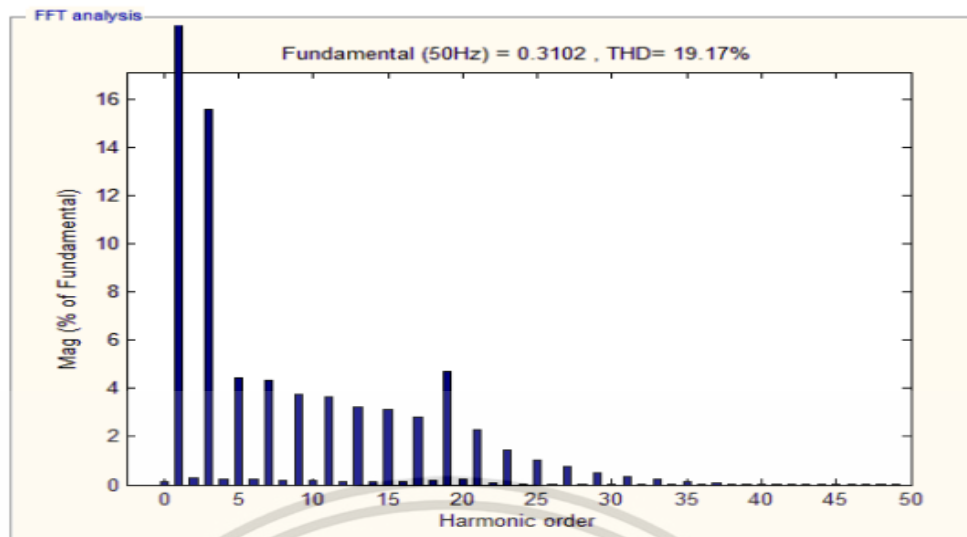


รูปที่ 5.55 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์



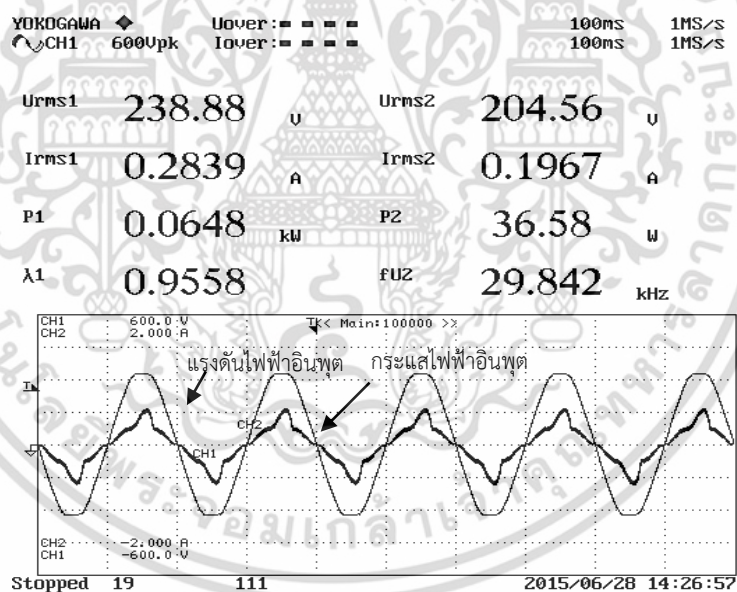
รูปที่ 5.56 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.57 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมเมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์

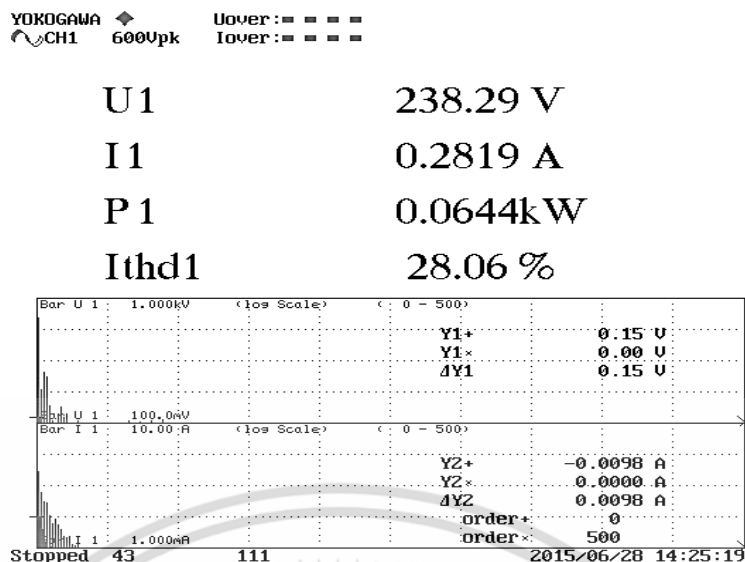
โวลต์



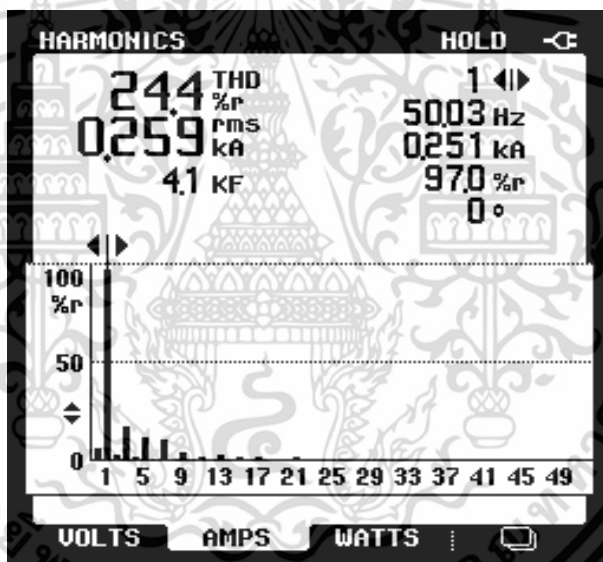
รูปที่ 5.58 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทดสอบที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์

(150V/div, 0.5A/div, 10ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

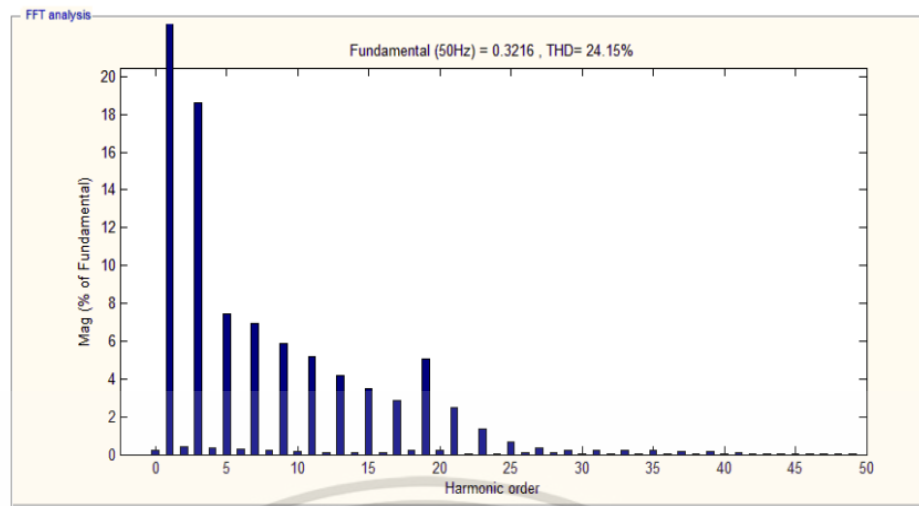


รูปที่ 5.59 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง PZ4000 แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์



รูปที่ 5.60 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการวัดด้วยเครื่อง FLUKE 43B แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์

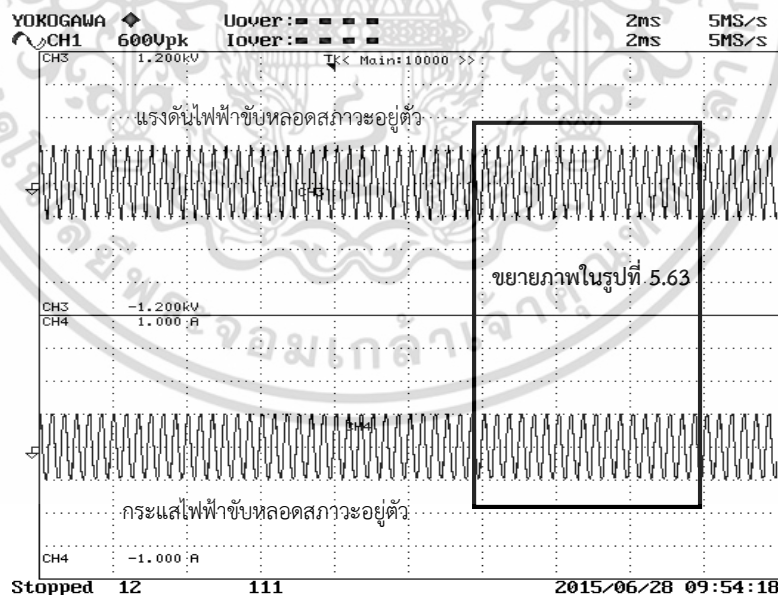
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.61 ฮาร์มอนิกกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์

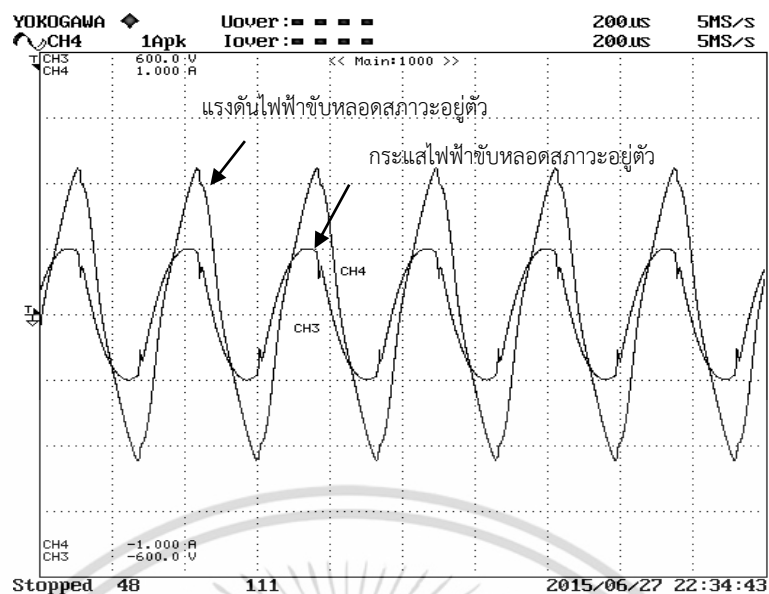
5.5.4 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะอยู่ตัว

เมื่อผ่านช่วงเริ่มขับโหลดไปแล้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างและจะเข้าสู่สภาวะคงตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดประมาณ 217 โวลต์และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดประมาณ 0.186 แอมป์



รูปที่ 5.62 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขับหลอดสภาวะอยู่ตัวของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35วัตต์ (150V/div, 0.25A/div, 2ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



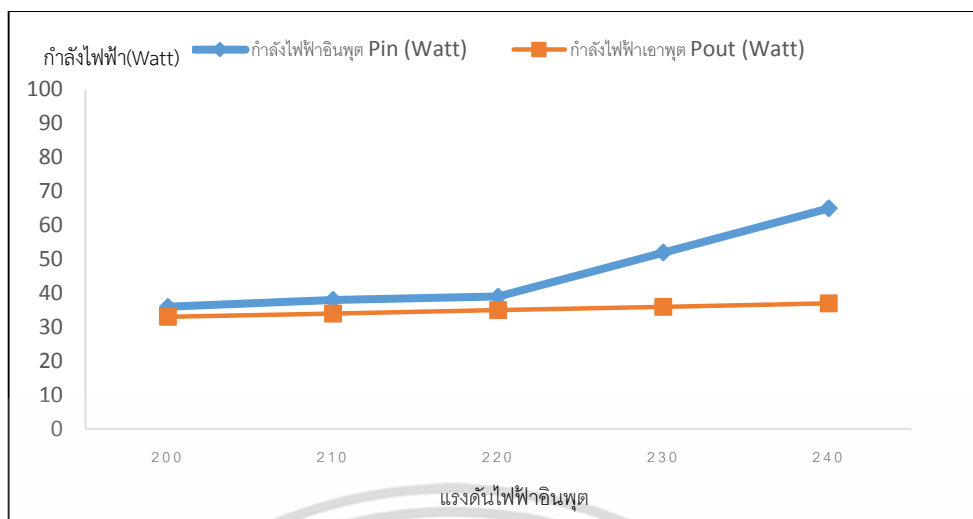
รูปที่ 5.63 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35 วัตต์
(150V/div, 0.25A/div, 20μs/div)

5.5.5 บันทึกผลการทดลองค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของบัลลาสต์ขนาด 35 วัตต์

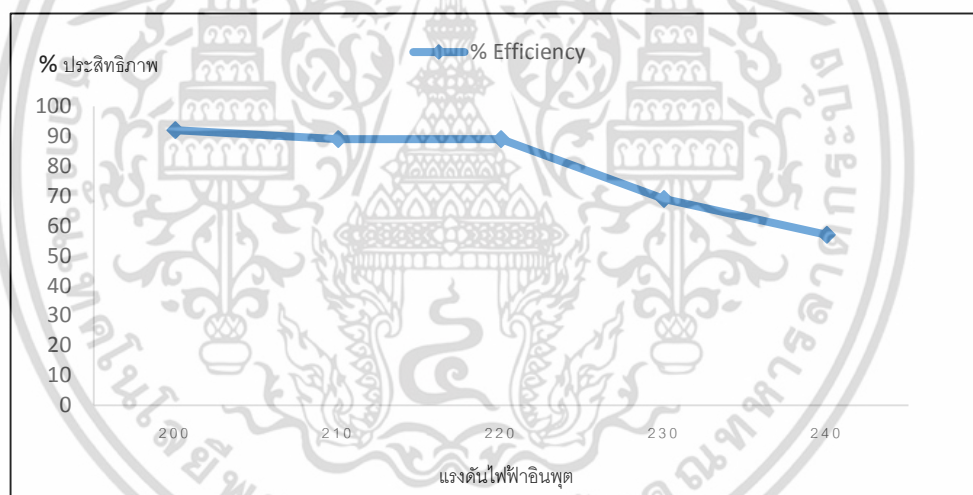
ตารางที่ 5.4 บันทึกผลแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200-240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโหลดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 35 วัตต์

V_{in} (โวลต์)	V_{out} (โวลต์)	I_{in} (แอมป์)	I_{out} (แอมป์)	P_{in} (วัตต์)	P_{out} (วัตต์)	(PF)	ประสิทธิภาพ (η)
200	220	0.183	0.172	36	33	0.991	92
210	221	0.182	0.179	38	34	0.990	89
220	217	0.182	0.186	39	35	0.992	89
230	214	0.233	0.190	52	36	0.967	69
240	205	0.284	0.197	65	37	0.956	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.64 กำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 35วัตต์

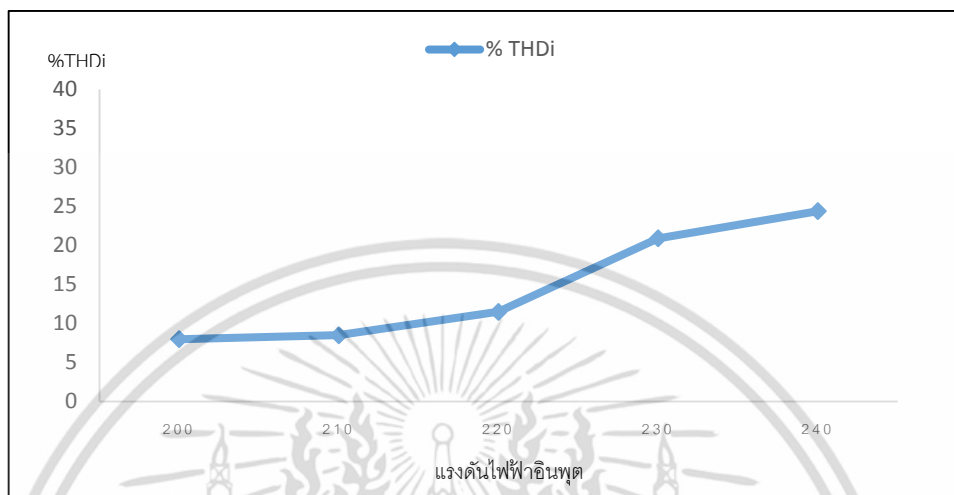


รูปที่ 5.65 ประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 35วัตต์

จากตารางที่ 5.4 ได้ทำการบันทึกผลค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 200 – 240 โวลต์ เพื่อทดสอบสภาวะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตกหรือเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบไฟฟ้า พบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าด้านอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้านำเข้าด้านเอาพุตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าอินพุต ประสิทธิภาพที่แรงดันไฟฟ้าพิกัด 220 โวลต์จะอยู่ที่ 89% จากตารางที่ 5.4 สามารถนำเสนอในรูปกราฟได้ดังรูปที่ 5.65 และ 5.66



รูปที่ 5.66 กราฟแรงดันไฟฟ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงและฮาร์มอนิกส์กระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 35วัตต์

จากผลการทดลองวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าจะเห็นว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยการต่อวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังสามารถให้สัญญาณใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มาก ค่าตัวประกอบกำลังค่าสูงและความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสไฟฟ้าอินพุตต่ำดังรูปที่ 5.66

5.6 เปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์

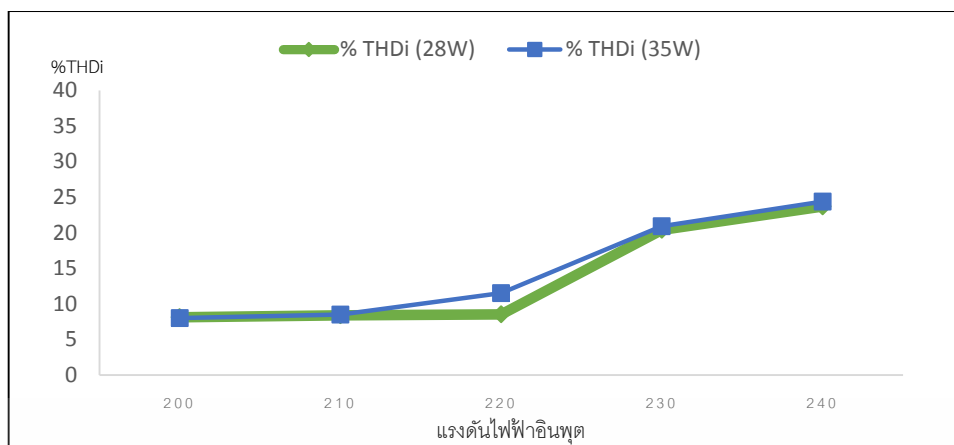
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการเปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการบันทึกค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์และ35วัตต์

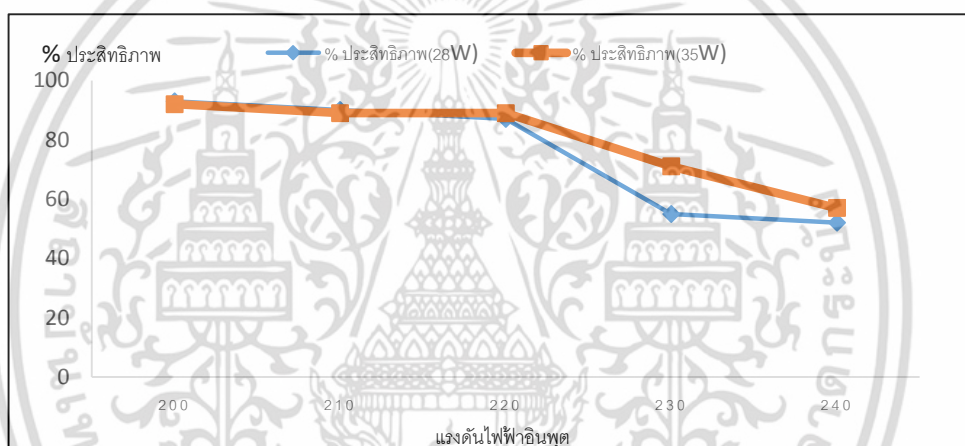
การวัดค่าองค์ประกอบต่างๆ	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 28 วัตต์	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 35วัตต์
แรงดันขับหลอด(โวลต์)	600	700
แรงดันอินพุต(โวลต์)	220	220
กระแสอินพุต(แอมป์)	0.149	0.182
กำลังไฟฟ้าอินพุต(วัตต์)	32	39
แรงดันคร่อมหลอด(โวลต์)	175	217
กระแสที่หลอด(แอมป์)	0.179	0.186
กำลังไฟฟ้าที่หลอด(วัตต์)	28	35
ค่า THDi (%)	8.5%	11.5%
ค่า Power Factor	0.995	0.992
ค่า Power Efficiency (%)	87%	89%

5.7 สรุปผล

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการทดสอบและผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์และ 35วัตต์ ในส่วนของวงจรขับหลอดใช้แรงดันสูงประมาณ 600 โวลต์ในการขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ติดสว่างได้จริง จากผลการทดสอบวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงถึง 0.995 สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์ และ0.992 สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35 วัตต์ บัลลาสต์ทั้งสองขนาดให้ค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง ค่าความผิดเพี้ยนของกระแสด้านอินพุตค่าที่ 8.5 เปอร์เซ็นต์และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์และ 35 วัตต์ดังรูปที่5.67



รูปที่ 5.67 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าอินพุตเปลี่ยนแปลงและฮาร์มอนิกส์กระแสไฟฟ้าด้านอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 28วัตต์และ35วัตต์



รูปที่ 5.68 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 200- 240 โวลต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอชนิด T5 ขนาด 28วัตต์และ 35วัตต์

ประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สูงมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ของบัลลาสต์ทั้งสองขนาด โดยที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์ให้ค่าประสิทธิภาพที่แรงดันพิกัด 220 โวลต์ที่ 87 เปอร์เซ็นต์และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 35 วัตต์มีประสิทธิภาพสูงถึง 89 เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 5.68 ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองขนาดที่ได้จากผลการทดสอบ จากการนำเสนอสมรรถนะโดยรวมของวงจรสามารถนำมาประยุกต์กับการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อุปกรณ์ที่น้อยลงได้ต่อไป.

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียว โดยเริ่มจากการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมารวมถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นได้ทำการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบโดยใช้โปรแกรม แมทแลบ เวอร์ชัน 2013 ใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ นำไปสู่การสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบและทำการทดลองการทำงาน ซึ่งผลจากการวิจัยทำให้ทราบถึงสภาพปัญหา ข้อดีและข้อเสียของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบซึ่งจะกล่าวโดยสรุปในลำดับถัดไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ไขตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยได้นำเสนอการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์ และ 35 วัตต์ พิกัดแรงดันอินพุตไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ มีเป้าหมายให้สามารถให้สามารถใช้งานและมีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพื่อผลการทดสอบเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้คือ พิกัดกำลังไฟฟ้า 28 วัตต์ และ 35 วัตต์, ค่าตัวประกอบกำลังมากกว่า 0.95, ค่าความเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์, ประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบและผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอได้กล่าวถึงในบทที่ 5 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. แรงดันไฟฟ้าอินพุตและกระแสไฟฟ้าอินพุตให้รูปสัญญาณใกล้เคียงไซน์
2. ค่าตัวประกอบกำลังสูงใกล้เคียงหนึ่ง 0.995 และ 0.992 ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์ และ 35 วัตต์
3. ค่าความเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตต่ำที่แรงดันพิกัด 220 โวลต์ 8.5 เปอร์เซ็นต์ และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์ และ 35 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประสิทธิภาพวงจรสูงถึง 87 เปอร์เซ็นต์และ 89 เปอร์เซ็นต์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 28 วัตต์และ35 วัตต์

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

6.2.1 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้นไป ควรปรับปรุงส่วนประกอบในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีขึ้น เช่น ค่าแรงดัน, ค่ากระแส, ค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าความสูญเสียที่บัลลาสต์, ค่าประสิทธิภาพของบัลลาสต์

6.2.2 เพื่อให้วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังมีขนาดตัวเหนี่ยวนำมีขนาดเล็ก ควรออกแบบให้บัลลาสต์สามารถใช้งานที่ความถี่สูงยิ่งขึ้นได้อีก

6.2.3 สามารถเพิ่มวงจรหรี่แสงในช่วงที่ต้องการแสงน้อยหรือบางพื้นที่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงสว่างมากทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน

6.2.4 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในส่วนของวงจรควบคุมอาจนำระบบดิจิทัลเข้ามาประยุกต์ใช้ การออกแบบสามารถยืดหยุ่นได้มากขึ้น อีกทั้งบัลลาสต์จะมีขนาดเล็กลง สามารถลดต้นทุนในการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] OSRAM Product family datasheet—LUMILUX T5 HE, pp.1–12, April.2015.
[Online].Available: http://www.osram.com/osram_com/products/lamps/fluorescent-lamps/fluorescent-lamps-t5/lumilux-t5-he/index.jsp
- [2] OSRAM Product family datasheet—LUMILUX T8, pp.1–12, April.2015.
[Online].Available:http://www.osram.com/osram_com/products/lamps/fluorescent-lamps/fluorescent-lamps-t8/lumilux-t8/index.jsp
- [3] Ching-Shien Tseng, Chun-An Cheng, “A Novel Single-Stage HPF Electronic Ballast With Coupled Inductors for Fluorescent Lamps,” IEEE Trans . Ind. Electron. Vol. 50, No. 6, Dec. 2014.
- [4] Tsai-Fu Lin, Hsien-Wen Chen, “A Novel Single-Stage High-Power-Factor Electronic Ballast With Boost Topology for Multiple Fluorescent Lamps,” IEEE Trans . Ind. Electron. Vol. 45, No. 1, Feb. 2009.
- [5] ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว, “การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอดที่สามารถหรี่แสงได้โดยการออสซิลเลตด้วยตัวเอง” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2549.
- [6] ภูธร พงษ์ไทย, “การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250 วัตต์ โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดให้คงที่” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2551.
- [7] ฐาปนีย์ นาจันทร์, “การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำรูปคลื่นสี่เหลี่ยมสำหรับหลอดเมทัลฮาไลด์ขนาด 150 วัตต์” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2555.
- [8] ศราวุธ สุขอุดม, “การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการจำกัดกระแสในขณะจุดหลอดสำหรับหลอดปล่อยประจุความเข้มสูงที่ขับหลอดด้วยไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำรูปคลื่นสี่เหลี่ยม” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2553.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลประกอบการทำงานของไอซีเบอร์ IR2153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SELF-OSCILLATING HALF-BRIDGE DRIVER

Features

- Integrated 600V half-bridge gate driver
- 15.6V zener clamp on VCC
- True micropower start up
- Tighter initial deadtime control
- Low temperature coefficient deadtime
- Shutdown feature (1/6th VCC) on CT pin
- Increased undervoltage lockout Hysteresis (1V)
- Lower power level-shifting circuit
- Constant LO, HO pulse widths at startup
- Lower di/dt gate driver for better noise immunity
- Low side output in phase with RT
- Internal 50nsec (typ.) bootstrap diode (IR2153D)
- Excellent latch immunity on all inputs and outputs
- ESD protection on all leads
- Also available LEAD-FREE

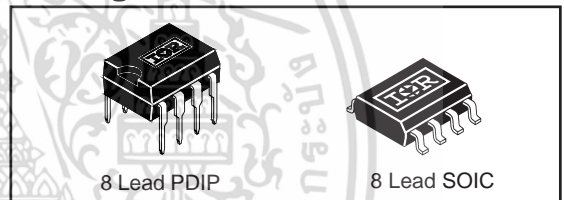
Description

The IR2153D(S) are an improved version of the popular IR2155 and IR2151 gate driver ICs, and incorporate a high voltage half-bridge gate driver with a front end oscillator similar to the industry standard CMOS 555 timer. The IR2153 provides more functionality and is easier to use than previous ICs. A shutdown feature has been designed into the CT pin, so that both gate driver outputs can be disabled using a low voltage control signal. In addition, the gate driver output pulse widths are the same once the rising undervoltage lockout threshold on VCC has been reached, resulting in a more stable profile of frequency vs time at startup. Noise immunity has been improved significantly, both by lowering the peak di/dt of the gate drivers, and by increasing the undervoltage lockout hysteresis to 1V. Finally, special attention has been paid to maximizing the latch immunity of the device, and providing comprehensive ESD protection on all pins.

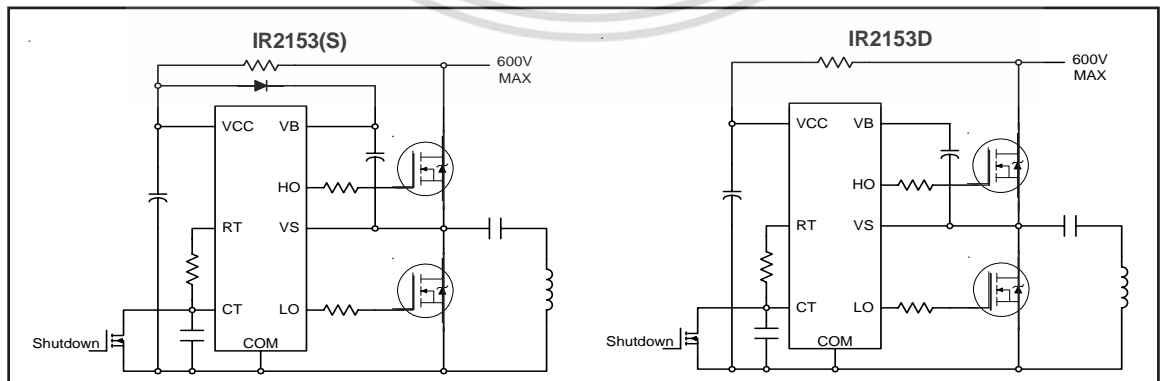
Product Summary

V _{OFFSET}	600V max.
Duty Cycle	50%
T _r /T _p	80/40ns
V _{clamp}	15.6V
Deadtime (typ.)	1.2 μs

Packages



Typical Connections



IR2153(D)(S) & (PbF)

NOTE: For new designs, we recommend IR's new product IRS2153D

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM, all currents are defined positive into any lead. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage	-0.3	625	V	
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{RT}	R _T pin voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{CT}	C _T pin voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
I _{CC}	Supply current (note 1)	—	25	mA	
I _{RT}	R _T pin current	-5	5		
dV _S /dt	Allowable offset voltage slew rate	-50	50	V/ns	
P _D	Maximum power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(8 Lead DIP)	—	1.0	W
		(8 Lead SOIC)	—	0.625	
R _{thJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(8 Lead DIP)	—	125	°C/W
		(8 Lead SOIC)	—	200	
T _J	Junction temperature	-55	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

For proper operation the device should be used within the recommended conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _{BS}	High side floating supply voltage	V _{CC} - 0.7	V _{CLAMP}	V
V _S	Steady state high side floating supply offset voltage	-3.0 (note 2)	600	
V _{CC}	Supply voltage	10	V _{CLAMP}	
I _{CC}	Supply current	(note 3)	5	mA
T _J	Junction temperature	-40	125	

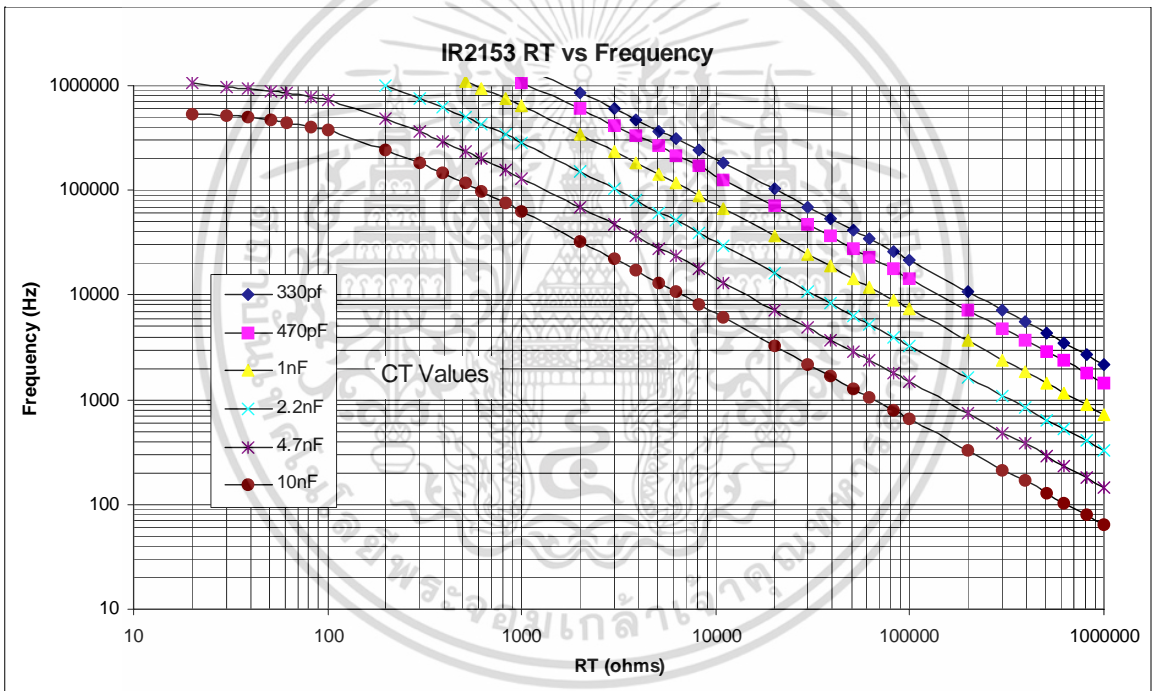
Note 1: This IC contains a zener clamp structure between the chip V_{CC} and COM which has a nominal breakdown voltage of 15.6V. Please note that this supply pin should not be driven by a DC, low impedance power source greater than the V_{CLAMP} specified in the Electrical Characteristics section.

Note 2: Care should be taken to avoid output switching conditions where the V_S node flies inductively below ground by more than 5V.

Note 3: Enough current should be supplied to the V_{CC} pin of the IC to keep the internal 15.6V zener diode clamping the voltage at this pin.

Recommended Component Values

Symbol	Component	Min.	Max.	Units
R_T	Timing resistor value	10	—	$k\Omega$
C_T	C_T pin capacitor value	330	—	pF



IR2153(D)(S) & (PbF)

NOTE: For new designs, we recommend IR's new product IRS2153D

Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS}) = 12V, C_L = 1000 pF, C_T = 1 nF and T_A = 25°C unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to COM. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Low Voltage Supply Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{CCUV+}	Rising V_{CC} undervoltage lockout threshold	8.1	9.0	9.9	V	
V_{CCUV-}	Falling V_{CC} undervoltage lockout threshold	7.2	8.0	8.8		
V_{CCUVH}	V_{CC} undervoltage lockout Hysteresis	0.5	1.0	1.5		
I_{QCCUV}	Micropower startup V_{CC} supply current	—	75	150	μA	$V_{CC} \leq V_{CCUV-}$
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	—	500	950		
V_{CLAMP}	V_{CC} zener clamp voltage	14.4	15.6	16.8	V	$I_{CC} = 5mA$
Floating Supply Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_{QBSUV}	Micropower startup V_{BS} supply current	—	0	10	μA	$V_{CC} \leq V_{CCUV-}$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	—	30	50		
V_{BSMIN}	Minimum required V_{BS} voltage for proper functionality from R_T to HO	—	4.0	5.0	V	$V_{CC} = V_{CCUV+} + 0.1V$
I_{LK}	Offset supply leakage current	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 600V$
V_F	Bootstrap diode forward voltage (IR2153D)	0.5	—	1.0	V	$I_F = 250mA$
Oscillator I/O Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
f_{osc}	Oscillator frequency	19.4	20	20.6	kHz	$R_T = 36.9k\Omega$
		94	100	106		$R_T = 7.43k\Omega$
d	R_T pin duty cycle	48	50	52	%	$f_o < 100kHz$
I_{CT}	C_T pin current	—	0.001	1.0	μA	
I_{CTUV}	UV-mode C_T pin pulldown current	0.30	0.70	1.2	mA	$V_{CC} = 7V$
V_{CT+}	Upper C_T ramp voltage threshold	—	8.0	—	V	
V_{CT-}	Lower C_T ramp voltage threshold	—	4.0	—		
V_{CTSD}	C_T voltage shutdown threshold	1.8	2.1	2.4		
V_{RT+}	High-level R_T output voltage, $V_{CC} - V_{RT}$	—	10	50	mV	$I_{RT} = 100\mu A$
		—	100	300		$I_{RT} = 1mA$
V_{RT-}	Low-level R_T output voltage	—	10	50		$I_{RT} = 100\mu A$
		—	100	300		$I_{RT} = 1mA$
V_{RTUV}	UV-mode R_T output voltage	—	0	100		$V_{CC} \leq V_{CCUV-}$
V_{RTSD}	SD-Mode R_T output voltage, $V_{CC} - V_{RT}$	—	10	50		$I_{RT} = 100\mu A$, $V_{CT} = 0V$
		—	10	300		$I_{RT} = 1mA$, $V_{CT} = 0V$

Electrical Characteristics (cont.)

Gate Driver Output Characteristics						
Symbol	Definition	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V _{OH}	High level output voltage, V _{BIAS} -V _O	—	0	100	mV	I _O = 0A
V _{OL}	Low-level output voltage, V _O	—	0	100		I _O = 0A
V _{OL_UV}	UV-mode output voltage, V _O	—	0	100		I _O = 0A V _{CC} ≤ V _{CCUV} -
t _r	Output rise time	—	80	150	nsec	
t _f	Output fall time	—	45	100		
t _{sd}	Shutdown propagation delay	—	660	—		
t _d	Output deadtime (HO or LO)	0.75	1.20	1.65		μsec

Lead Definitions

Symbol	Description
V _{CC}	Logic and internal gate drive supply voltage
R _T	Oscillator timing resistor input
C _T	Oscillator timing capacitor input
COM	IC power and signal ground
LO	Low side gate driver output
V _S	High voltage floating supply return
HO	High side gate driver output
V _B	High side gate driver floating supply

Lead Assignments

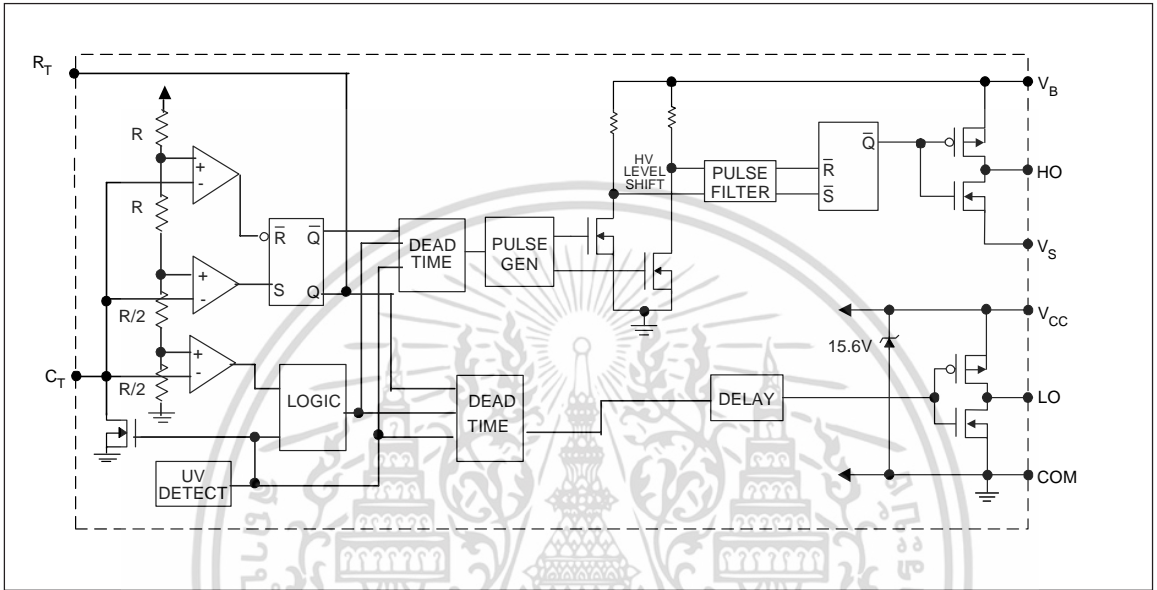
<p>8 Lead PDIP</p> <p>IR2153D</p>	<p>8 Lead SOIC</p> <p>IR2153(S)</p>
--	--

NOTE: The IR2153D is offered in 8 lead PDIP only.

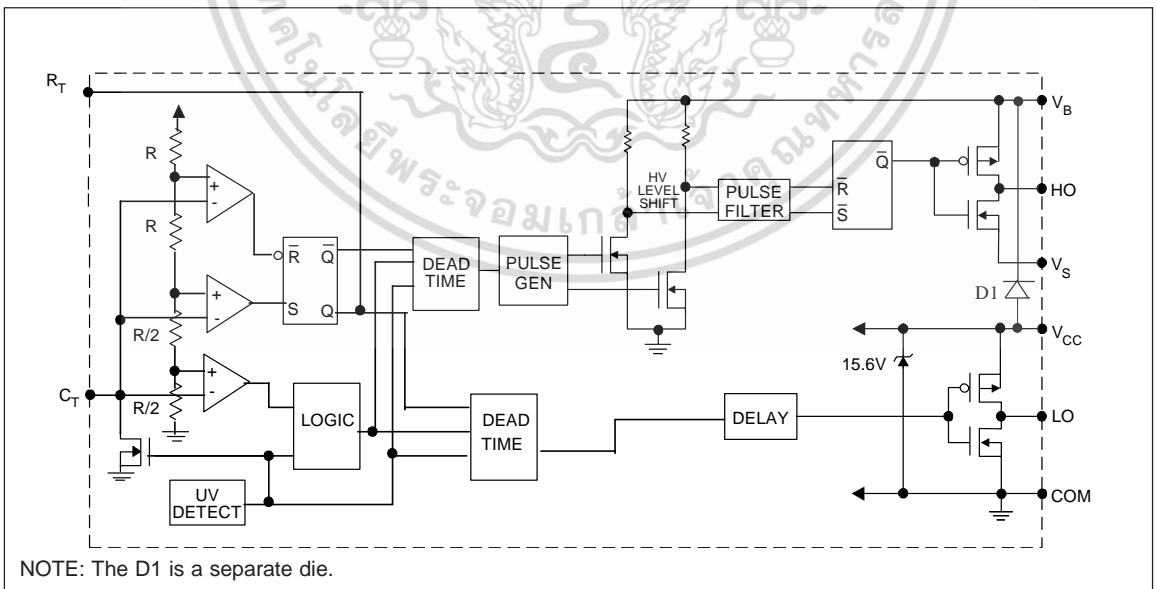
IR2153(D)(S) & (PbF)

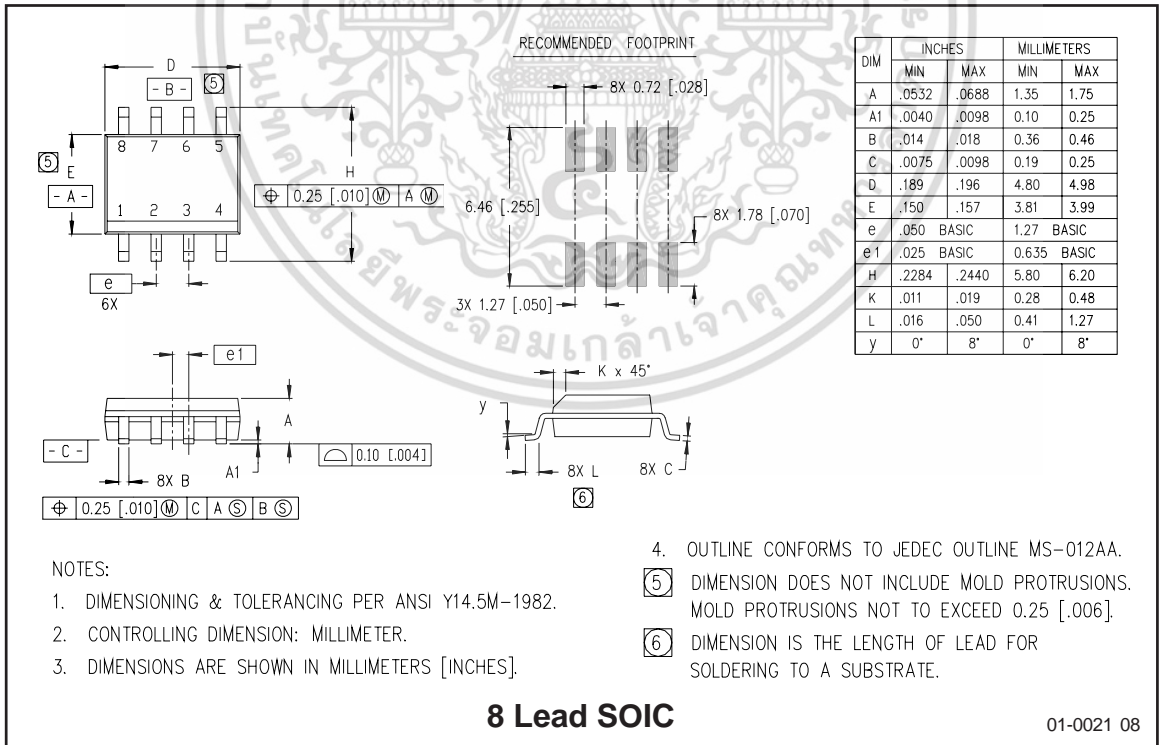
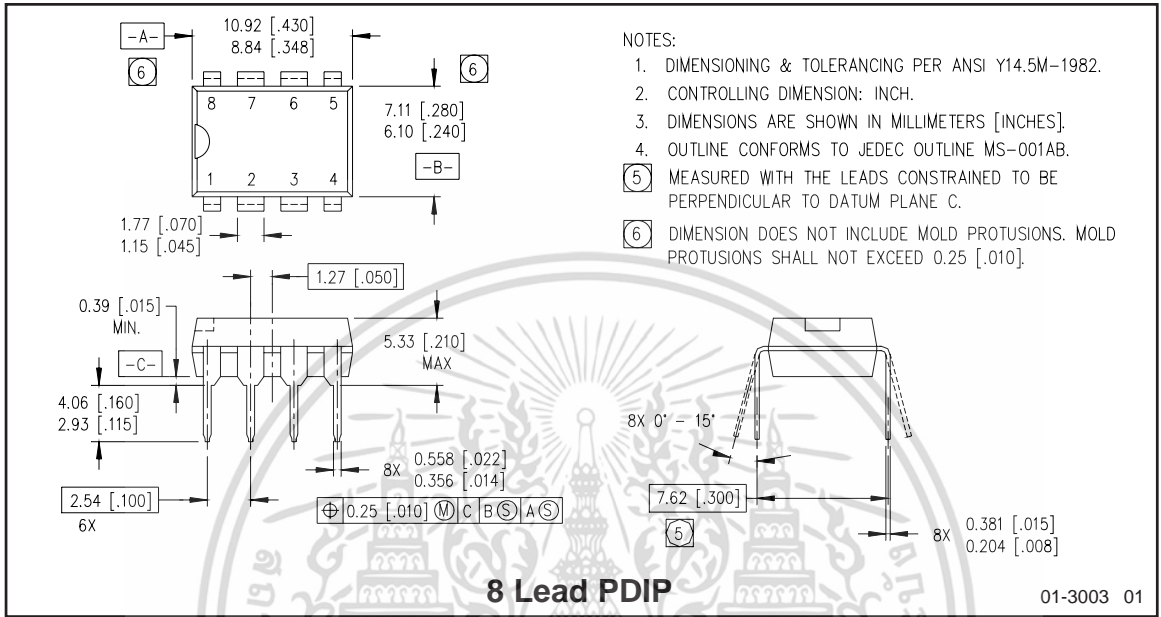
NOTE: For new designs, we recommend IR's new product IRS2153D

Functional Block Diagram for IR2153(S)

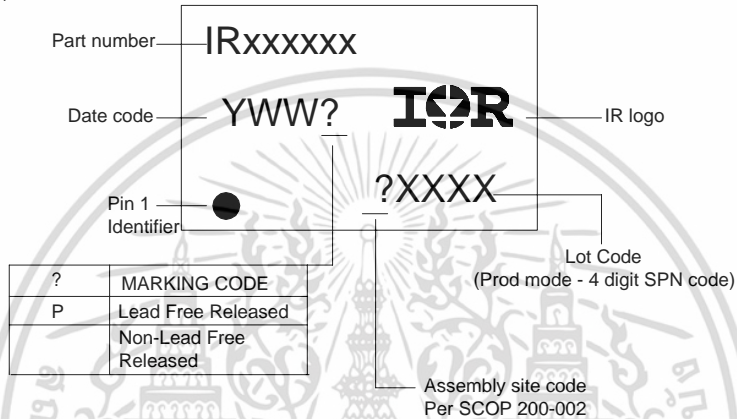


Functional Block Diagram for IR2153D





LEADFREE PART MARKING INFORMATION



ORDER INFORMATION

Basic Part (Non-Lead Free)

8-Lead PDIP IR2153 order IR2153
 8-Lead SOIC IR2153S order IR2153S
 8-Lead PDIP IR2153D order IR2153D

Leadfree Part

8-Lead PDIP IR2153 order IR2153PbF
 8-Lead SOIC IR2153S order IR2153SPbF
 8-Lead PDIP IR2153D order IR2153DPbF



ภาคผนวก ข

ข้อมูลประกอบการทำงานของสวิตช์มอสเฟต IRF840

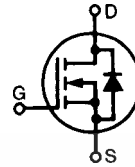
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MegaMOS™ Power MOSFET

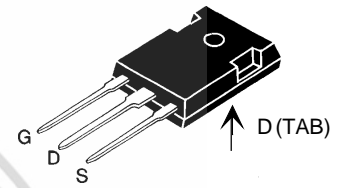
IRFP 460

$V_{DSS} = 500\text{ V}$
 $I_{D(cont)} = 20\text{ A}$
 $R_{DS(on)} = 0.27\Omega$

N-Channel Enhancement Mode, HDMOS™ Family



Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	TO-247 AD
V_{DSS}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	500 V	
V_{DGR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{GS} = 1\text{ M}\Omega$	500 V	
V_{GS}	Continuous	± 20 V	
V_{GSM}	Transient	± 30 V	
I_{D25}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	20 A	
I_{DM}	$T_C = 25^\circ\text{C}$, pulse width limited by T_{JM}	80 A	
I_{AR}		20 A	
E_{AR}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	28 mJ	
dv/dt	$I_S \leq I_{DM}$, $di/dt \leq 100\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DSS}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$, $R_G = 2\ \Omega$	3.5 V/ns	
P_D	$T_C = 25^\circ\text{C}$	260 W	
T_J		$-55 \dots +150$ °C	
T_{JM}		150 °C	
T_{stg}		$-55 \dots +150$ °C	
M_d	Mounting torque	1.15/10 Nm/lb.in.	
Weight		6 g	
	Maximum lead temperature for soldering 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s	300 °C	



G = Gate,
S = Source,
D = Drain,
TAB = Drain

Features

- Repetitive avalanche energy rated
- Fast switching times
- Low $R_{DS(on)}$ HDMOS™ process
- Rugged polysilicon gate cell structure
- High Commutating dv/dt Rating

Applications

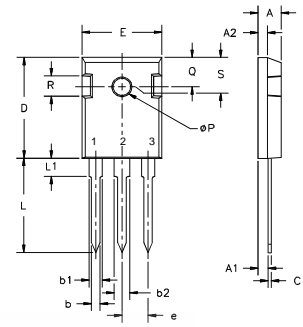
- Switching Power Supplies
- Motor controls

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
V_{DSS}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $I_D = 250\ \mu\text{A}$	500		V
$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\ \mu\text{A}$	2		V
I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}_{DC}$, $V_{DS} = 0$			± 100 nA
I_{DSS}	$V_{DS} = 0.8 \cdot V_{DSS}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_{GS} = 0\text{ V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$			25 μA 250 μA
$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$, $I_D = 12\text{ A}$ Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$	0.25	0.27	Ω

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)			
		min.	typ.	max.	
g_{fs}	$V_{DS} = 10\text{ V}; I_D = 12\text{ A}$, pulse test	13	21	S	
C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		4200	pF	
C_{oss}			450	pF	
C_{rss}			135	pF	
$t_{d(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 250\text{ V}, I_D = 20\text{ A}$ $R_G = 4.3\ \Omega$, (External)		23	35	ns
t_r			81	120	ns
$t_{d(off)}$			85	130	ns
t_f			65	98	ns
$Q_{g(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 200\text{ V}, I_D = 20\text{ A}$		135	210	nC
Q_{gs}			28	40	nC
Q_{gd}			62	110	nC
R_{thJC}			0.45	K/W	
R_{thCK}			0.25	K/W	

Source-Drain Diode		Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
Symbol	Test Conditions	min.	typ.	max.
I_S	$V_{GS} = 0\text{ V}$			20 A
I_{SM}	Repetitive; pulse width limited by T_{JM}			80 A
V_{SD}	$I_F = 20\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}$, Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$			1.8 V
t_{rr}	$I_F = 20\text{ A}, -di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 100\text{ V}$		570	860 ns
Q_{rr}			5.7	μC

TO-247 AD Outline



Terminals: 1 - Gate 2 - Drain
3 - Source Tab - Drain

Dim.	Millimeter		Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.7	5.3	.185	.209
A ₁	2.2	2.54	.087	.102
A ₂	2.2	2.6	.059	.098
b	1.0	1.4	.040	.055
b ₁	1.65	2.13	.065	.084
b ₂	2.87	3.12	.113	.123
C	.4	.8	.016	.031
D	20.80	21.46	.819	.845
E	15.75	16.26	.610	.640
e	5.20	5.72	0.205	0.225
L	19.81	20.32	.780	.800
L1		4.50		.177
∅P	3.55	3.65	.140	.144
Q	5.89	6.40	0.232	0.252
R	4.32	5.49	.170	.216
S	6.15	BSC	242	BSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

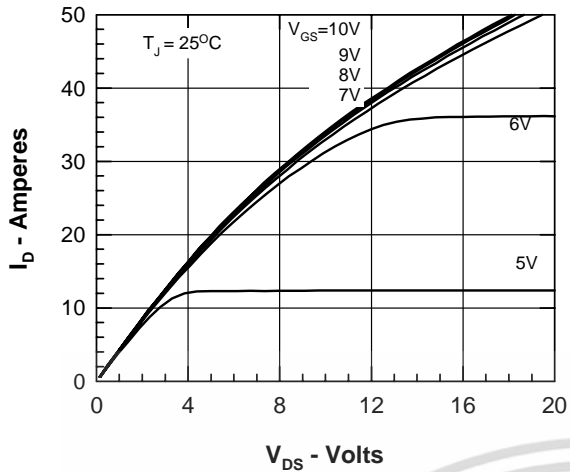


Figure 1. Output Characteristics at 25°C

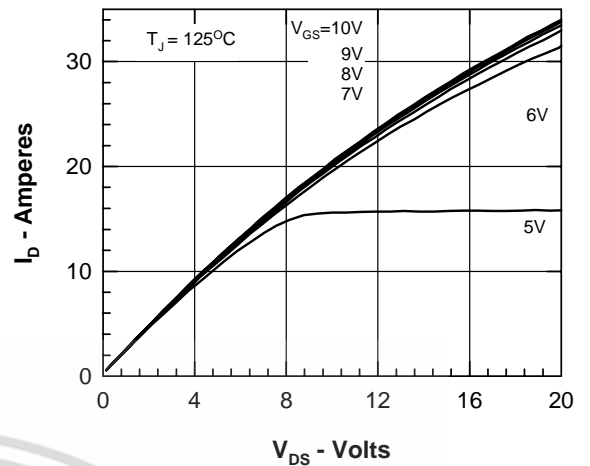


Figure 2. Output Characteristics at 125°C

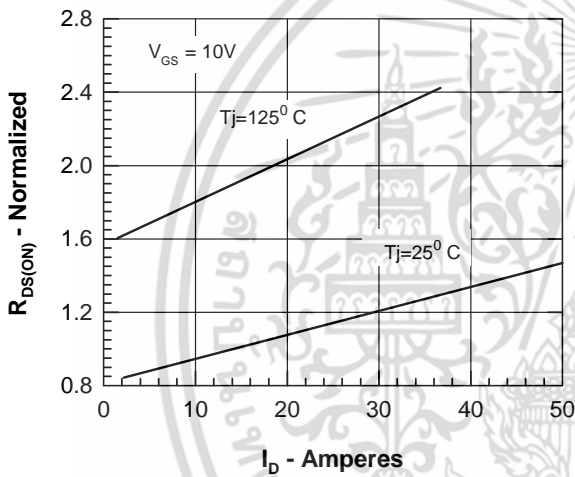


Figure 3. $R_{DS(on)}$ normalized to value at $I_D = 12A$

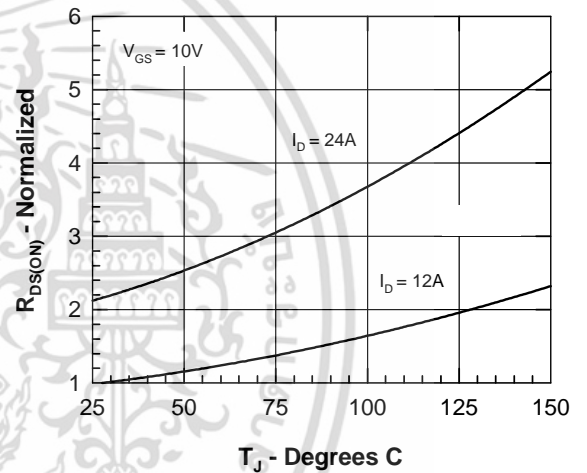


Figure 4. $R_{DS(on)}$ normalized to value at $I_D = 12A$

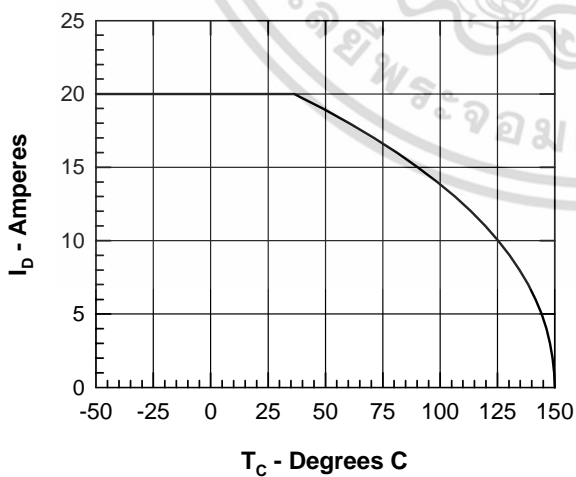


Figure 5. Drain Current vs. Case Temperature

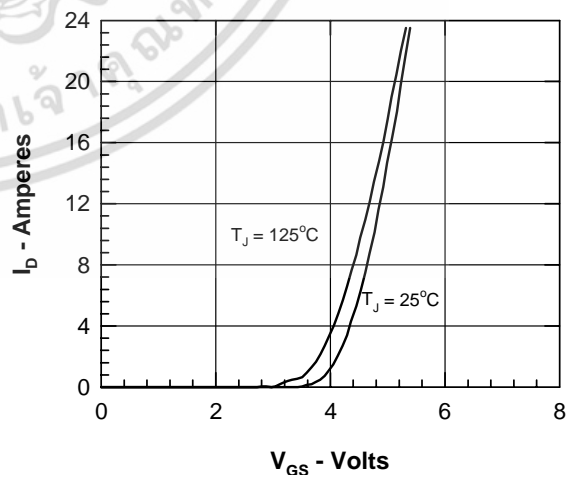


Figure 6. Admittance Curves

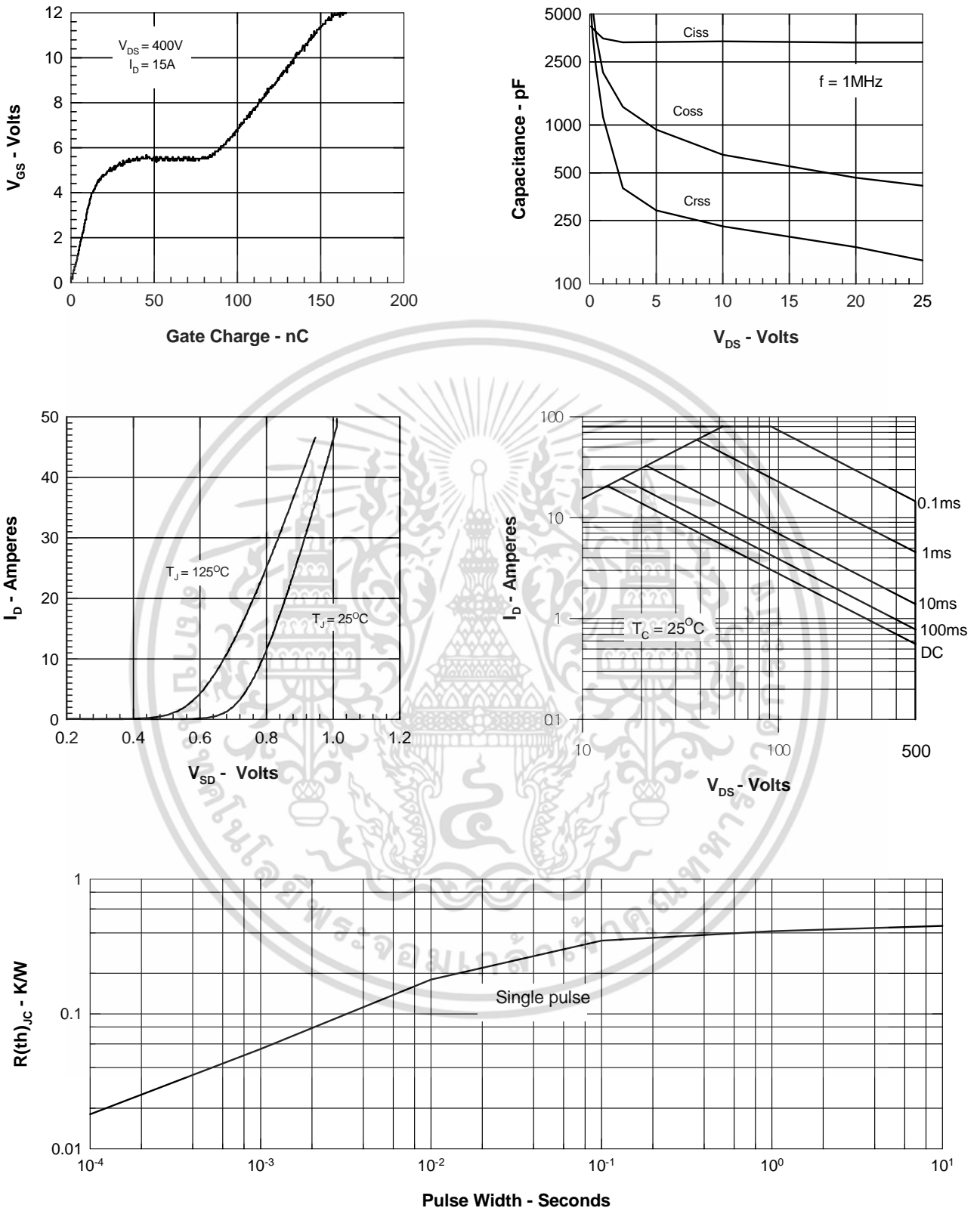


Figure 11. Transient Thermal Resistance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



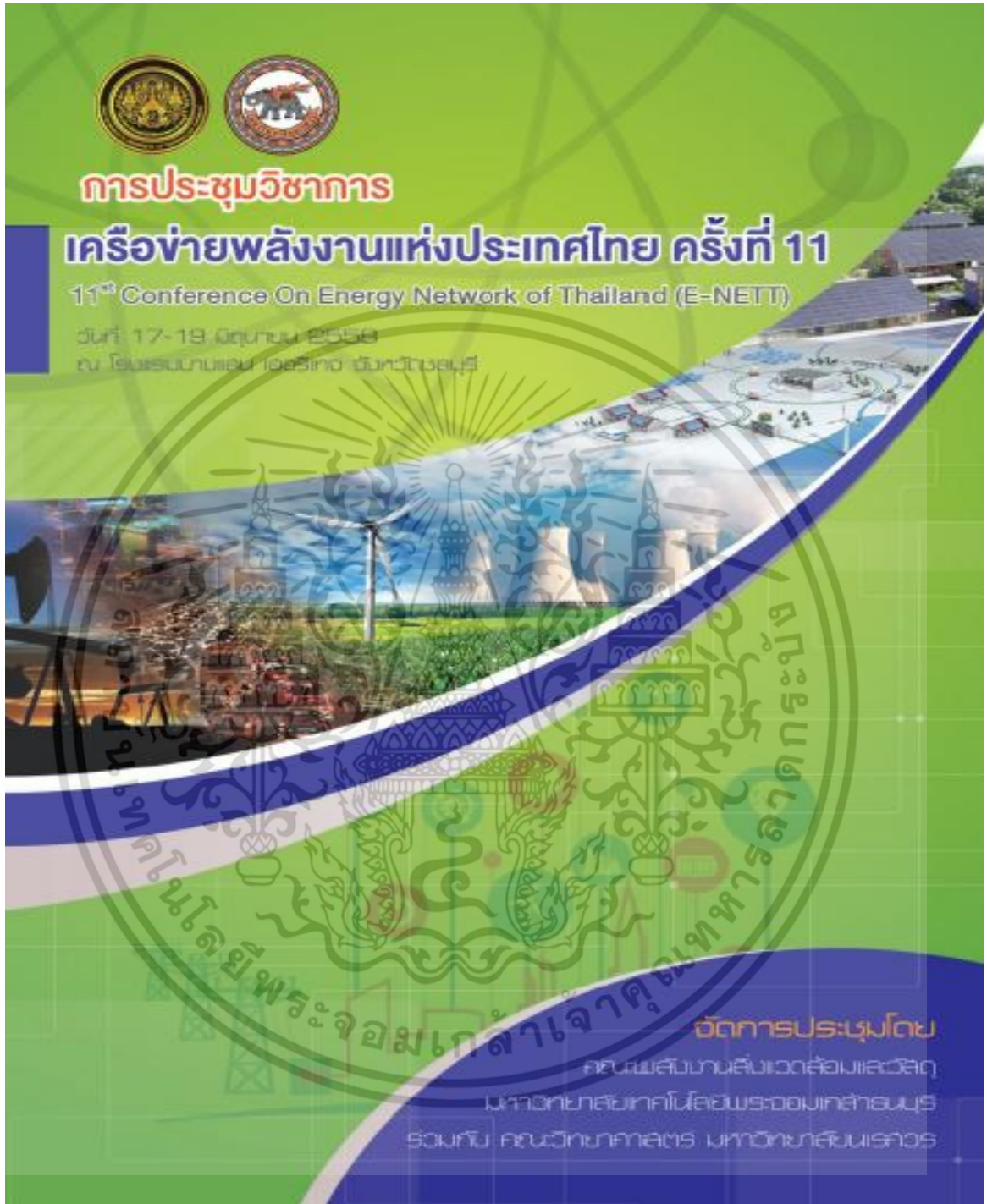
การประชุมวิชาการ

เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11

11th Conference On Energy Network of Thailand (E-NETT)

วันที่ 17-19 มิถุนายน 2558

ณ โรงแรมบางกอก เอเซียริเวอร์ ชั้นแกรนด์บอลรูม



จัดการประชุมโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ร่วมกับ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE-4-07

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการแก้ตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียว สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

Single Stage Power Conversion Electronic Ballast with Power Factor Correction for Fluorescent Lamp

อุเทน ศิริสุทธิ¹ และ วิจิตร กิณเรศ²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์: 02326-4550 Email: Utain.PMC@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและจำลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีแก้ตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอนี้ประกอบไปด้วยวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แก้ตัวประกอบกำลัง ภายใต้การส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียว ด้วยการออกแบบขดลวดคู่ภายในตัวเดียวกัน ทำให้ลดจำนวนอุปกรณ์สวิตซ์ลง วงจรกำลังเป็นแบบเรโซแนนซ์แบบอนุกรม วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ภายใต้การทำงานสวิตซ์แรงดันศูนย์ (ZVS) เพื่อขับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์ วงจรบัลลาสต์ถูกจำลองโดยใช้โปรแกรมแมทแลบ เวอร์ชัน 2013 ซึ่งให้กระแสต้านอินพุตเข้าใกล้ไซน์ ความเพี้ยนเชิงรวมฮาร์มอนิกส์ของกระแสด้านเข้าต่ำลง.

คำหลัก: บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์, หลอดฟลูออเรสเซนต์, ความเพี้ยนเชิงรวมฮาร์มอนิกส์ของกระแส

Abstract

This paper presents design and simulation of single stage power conversion electronic ballast with power factor correction for fluorescent lamp. The electronic ballast consists of boost converter with coupled inductor acting as power factor correction under single stage power conversion, resulting in a decreasing of switching number power circuit series resonant and half bridge inverter in order to drive a T5 28 Watt fluorescent lamp under zero voltage switching (ZVS) operate. A computer simulation using MATLAB version 2013 of the proposed electronic ballast circuit is given. The proposed electronic ballast offers nearly sinusoidal waveform of input current, low total harmonic distortion of input current.

Keywords: Electronic Ballast, Fluorescent Lamp, Total Current Harmonic Distortion (THDi)



1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานส่องสว่างเป็นพลังงานที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตมนุษย์ ในยุคการแข่งขันทางธุรกิจที่สูง สถานประกอบการ โรงงาน อุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน มีความจำเป็นต้องลดต้นทุนต่างๆเพื่อรักษาผลกำไรในการลงทุน การลดต้นทุนของพลังงานส่องสว่างซึ่งถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักของต้นทุนค่าใช้จ่ายของธุรกิจ ก่อให้เกิดการใช้พลังงานส่องสว่างให้รู้คุณค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยประหยัดการใช้พลังงานลง รูปแบบของพลังงานส่องสว่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือหลอดฟลูออเรสเซนต์เนื่องจากประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง อายุการใช้งานยาวนาน โดยมีการใช้งานร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการขับหลอดและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้กันตามท้องตลาด ให้ค่าตัวประกอบกำลังสูง การทำงานวงจรภายในส่งถ่ายกำลังแบบสองขั้นทำให้มีอุปกรณ์สวิตช์และวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์ในส่วนปรับปรุงค่าประกอบกำลัง

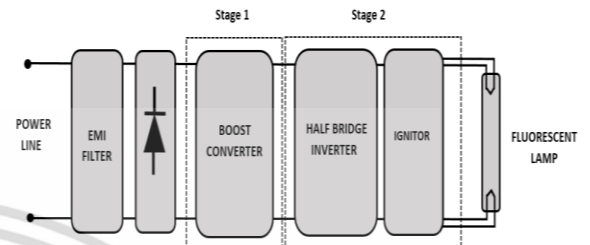
ดังนั้นในบทความนี้ได้บทความนี้แนะนำการออกแบบและจำลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้การส่งถ่ายกำลังขั้นเดียว ด้วยการออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขดลวดคู่ภายในตัวเดียวกัน ทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ควบคุมการสวิตช์และตัวสวิตช์ ในวงจรบัลลาสต์

2. หลอดฟลูออเรสเซนต์

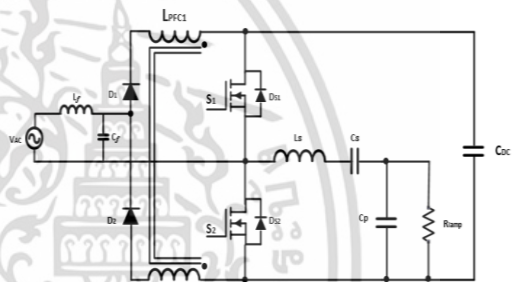
หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกชนิดก๊าซดิสชาร์จภายในบรรจุไอปรอทและก๊าซเฉื่อยความดันต่ำ ในสภาวะปกติขณะไม่ทำงานหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าความต้านทานสูงมากใกล้ค่าอนันต์แต่เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าสูง เพื่อใช้ในการขับหลอดที่ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองข้างของขั้วหลอดไฟจนเกิดการ

นำกระแสทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอด ค่าความต้านทานภายในหลอดลดลง

3. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 1 แผนภาพรวมวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

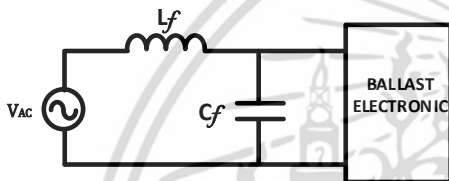
วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอในบทความนี้ประกอบไปด้วยชุดกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter) ทำหน้าที่ป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าสูง ปรับปรุงผลรวมของฮาร์มอนิกกระแสให้มีค่าต่ำและจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันคงที่ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับวงจรขับหลอด วงจรขับหลอดทำหน้าที่สร้างแรงดันสูงขับหลอดและจ่ายกระแสไฟให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



3.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ฟิลเตอร์

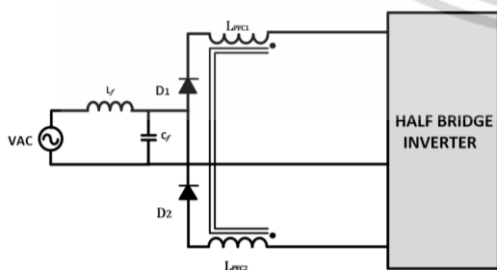
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทำงาน เพื่อป้องกันผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ ทำให้มีการทำงานที่ผิดปกติเมื่อเกิดการรบกวนจากระบบไฟฟ้าแหล่งอื่นจากภายนอกแล้ว ยังเป็นการป้องกันการรบกวนจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในบัลลาสต์ไปรบกวนเครื่องมือและอุปกรณ์ข้างเคียง ผู้ทำการวิจัยจึงได้ใช้เทคนิคการต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นอยู่ระหว่างแรงดันไฟสลับกับอินพุตของวงจร



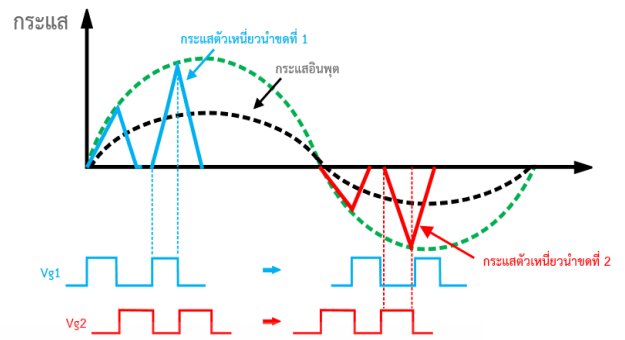
รูปที่ 3 วงจรป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI Filter)

3.2. วงจรปรับปรุ่ค่าตัวประกอบกำลังส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียวโดยใช้เทคนิคบูสต์คอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบของบัลลาสต์ขึ้นเดียวที่นำเสนอนี้ ด้วยการออกแบบขดลวดคู่ภายในตัวเดียวกันดังรูปที่ 4 ปรับปรุ่ค่าตัวประกอบกำลังสูง (PFC) ผลรวมของฮาร์มอนิกกระแสให้มีค่าต่ำ



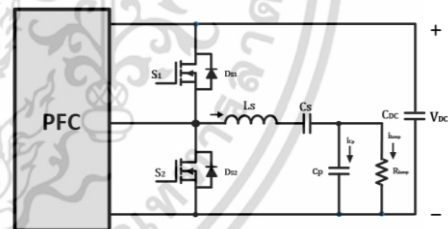
รูปที่ 4 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 5 กระแสอินพุต และกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำบูสต์คอนเวอร์เตอร์

ช่วงเวลาการทำงานตัวเหนี่ยวนำบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขดลวดเหนี่ยวนำคู่ดังรูปที่ 5 กระแสตัวเหนี่ยวนำชุดที่ 1 และกระแสตัวเหนี่ยวนำชุดที่ 2 สลับกันทำงานไฟฟ้าเมื่ออินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ จ่ายกระแสให้กับขดลวดแต่ละขด

3.3 วงจรขับโหลดฟลูออเรสเซนต์



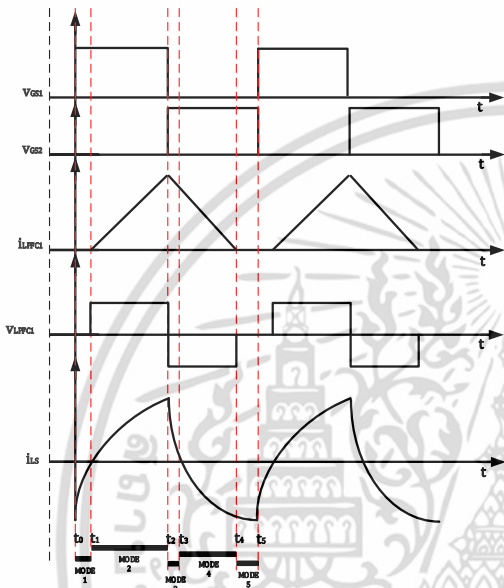
รูปที่ 6 วงจรขับโหลดฟลูออเรสเซนต์

วงจรขับโหลดฟลูออเรสเซนต์เป็นวงจรเรโซแนนซ์ใช้ในการขับโหลด ดังนั้นจึงได้เลือกวงจรวงจรมินิเวอเตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์มาใช้งานเนื่องจากโครงสร้างที่ง่ายมีพิกัดในการทำงานช่วงปานกลางเพียงพอสำหรับขับโหลดฟลูออเรสเซนต์ใช้อุปกรณ์ในการควบคุมและสวิตช์น้อย ทำให้ลดจำนวนอุปกรณ์ลง หลักการทำงานภาคกำลังคือกำหนดย่านความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์โดยวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ใช้เป็นวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์เพื่อให้สวิตช์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย



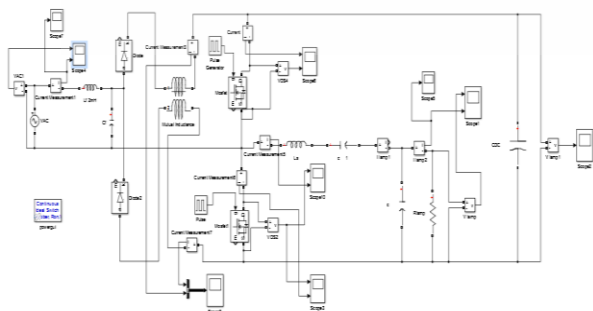
มอสเฟตกำลัง (S1) และ (S2) ทำงานแบบสวิตช์แรงดันศูนย์ (ZVS) สลับกันทำงานเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายให้วงจรเรโซแนนซ์ใช้ขับหลอดดังรูปที่ 7 สัญญาณรูปคลื่นการทำงานใน 1 คาบเวลาของสัญญาณซีกบวก



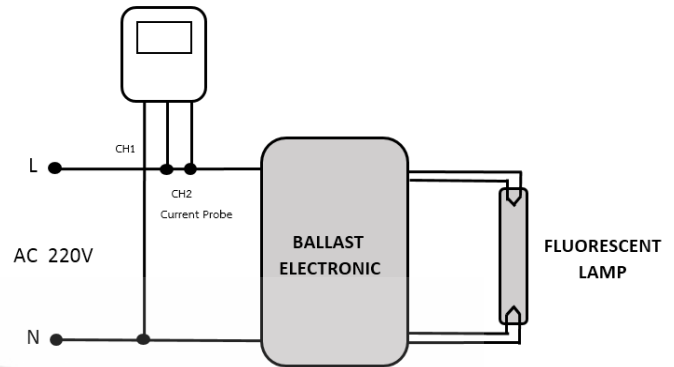
รูปที่ 7 สัญญาณการทำงานช่วงระหว่างครึ่งไซเคิลซีกบวกของแรงดันอินพุต

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบผลการจำลองการทำงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

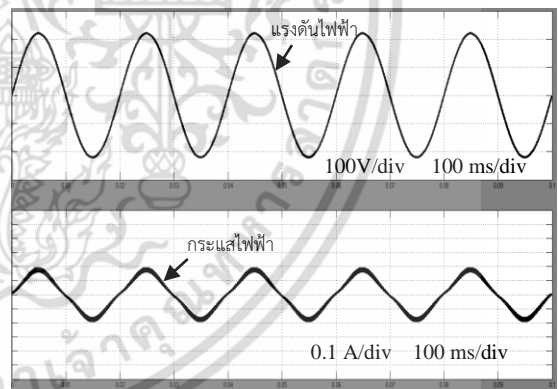


รูปที่ 8 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม MATLAB



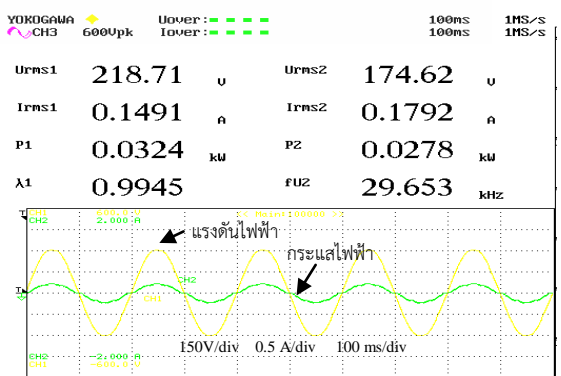
รูปที่ 9 วัดค่าแรงดันและกระแสอินพุต

ทำการวัดและบันทึกแรงดันและกระแสอินพุตของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 10 และรูปที่ 11 จะเห็นว่าค่ากระแสที่ได้จากการจำลองและการทดลองมีมุมเฟสใกล้เคียงกันกับแรงดันไฟฟ้าอินพุต และสัญญาณใกล้เคียงไซน์



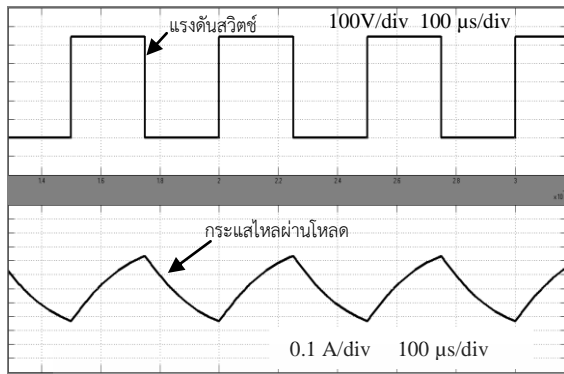
รูปที่ 10 แรงดันและกระแสอินพุตโปรแกรม

MATLAB

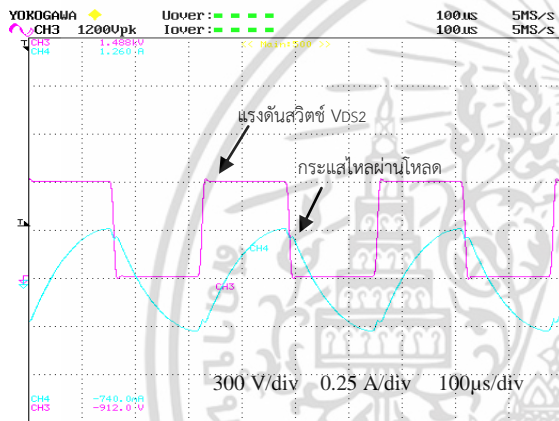


รูปที่ 11 แรงดันและกระแสอินพุตจากการทดลอง

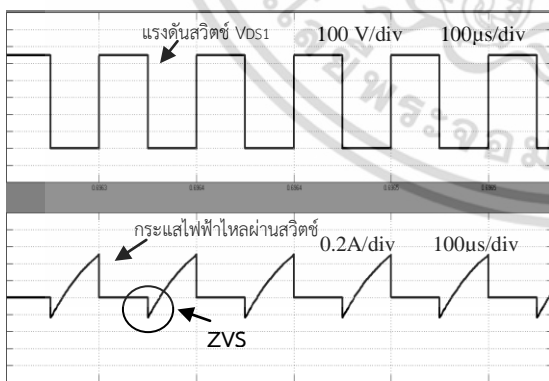




รูปที่ 12 การจำลองแรงดันสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านโหลดจากโปรแกรม MATLAB

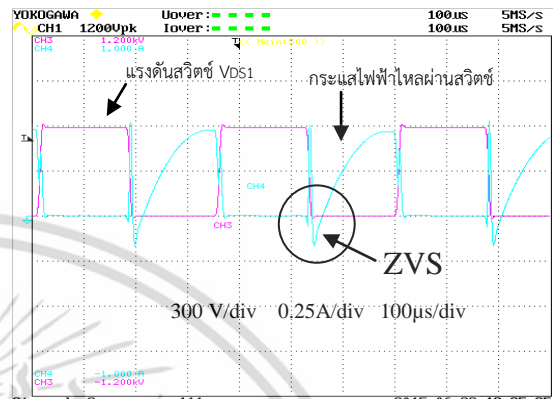


รูปที่ 13 แรงดันสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านโหลดจากการทดลอง

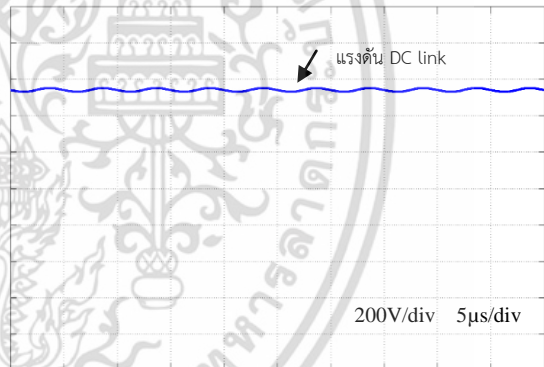


รูปที่ 14 การจำลองแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต จากโปรแกรม MATLAB

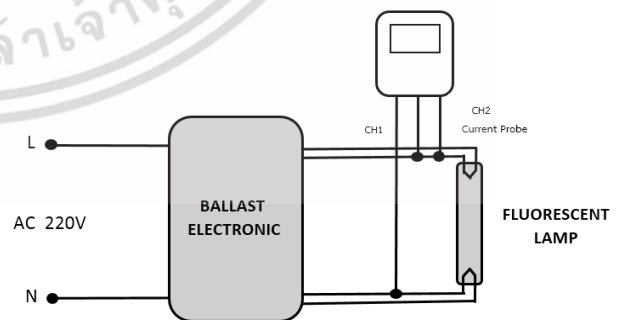
เปรียบเทียบรูปสัญญาณการทำงานในช่วงสวิตช์แรงดันศูนย์และช่วงการนำกระแสในการจำลองสัญญาณ รูปที่ 14และการทดลองรูปที่ 15 จะเห็นว่าสัญญาณเหมือนกัน



รูปที่ 15 วัดแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์และช่วงสภาวะแรงดันศูนย์ (ZVS) จากการทดลอง



รูปที่ 16 แรงดัน DC link จากการจำลอง

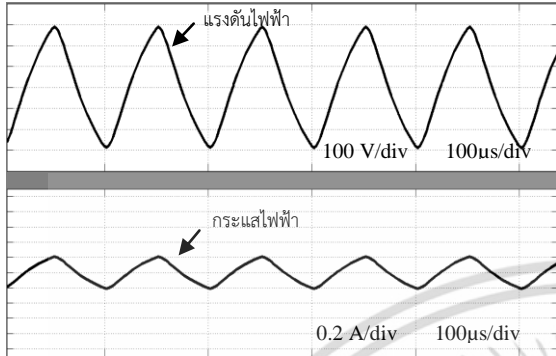


รูปที่ 17 วัดค่าแรงดันและกระแสหลอดทำการวัดและบันทึกแรงดันและกระแสที่ไหลของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 18

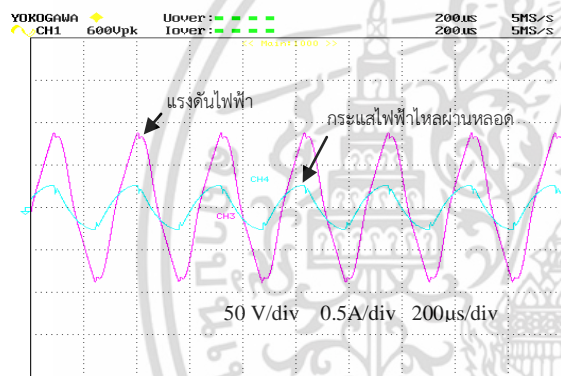
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



และรูปที่ 19 จะเห็นว่าค่ากระแสที่ได้จากการจำลอง และการทดลองมีมุมเฟสใกล้เคียงกันกับแรงดันไฟฟ้า



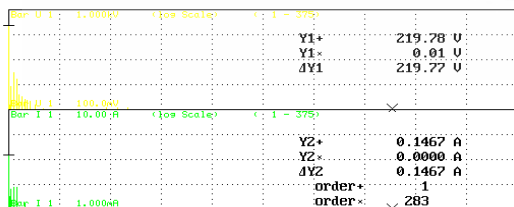
รูปที่ 18 การจำลองแรงดันสวิทช์และกระแสที่ไหลผ่านโหลดจากโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 19 แรงดันและกระแสที่ไหลผ่านโหลดจากการทดลอง

YOKOGAWA CH2 2Apk Uover: Iover:

U1	219.81 V
I1	0.1474 A
P1	0.0322kW
Ithd1	9.29 %



รูปที่ 20 ความเพี้ยนเชิงรวมฮาร์มอนิกของกระแสจากการทดลองด้วยเครื่อง PZ 4000

5. สรุปผลการทดลอง

ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม MATLAB นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการส่งถ่ายกำลังขึ้นเดียว สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์พิกัดของแรงดัน 220 V ทำงานที่ความถี่สวิทช์ 30kHz จะเห็นว่า ค่าตัวประกอบกำลังสูง 0.994ประสิทธิภาพของวงจร 85.8% ความเพี้ยนเชิงรวมฮาร์มอนิกของกระแสต่ำ 9.29% ทำให้ค่ากระแสอินพุตมีค่าใกล้เคียงรูปสัญญาณไซน์ด้วยการออกแบบให้วงจรปรับรูปค่าตัวประกอบกำลัง(PFC) โดยการใช้เทคนิคบูสต์คอนเวอร์เตอร์แบบขดลวดคู่ภายในตัวเหนี่ยวนำเดียว ทำให้วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถลดจำนวนอุปกรณ์สวิทซ์ลง แรงดันที่สวิทช์ทำงานภายใต้เงื่อนไขสวิทช์แรงดันศูนย์(ZVS) ผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และการทดลองให้ค่าสอดคล้องกัน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว (2549), การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอดที่สามารถหรี่แสงได้โดยการออสซิลเลตด้วยตัวเอง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] Ching-Shien Tseng, Chun-An Cheng, A Novel Single-Stage HPF Electronic Ballast With Coupled Inductors for Fluorescent Lamps,” IEEE Trans . Ind. Electron. Vol. 50, No. 6, Dec. 2014.

[3] ภูธร พงษ์ไทย (2555), การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดโซเดียมความดันสูง 250วัตต์โดยใช้ LCC อินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าหลอดคงที่, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายอุเทน ศิริสุทธิ
วัน เดือน ปี เกิด วันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526
ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดมหาสารคาม
ที่อยู่ปัจจุบัน 41 หมู่ 10 ต. แกดำ อ. แกดำ
จ. มหาสารคาม 44190
ประวัติการศึกษา 2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศบ.) สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2546 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
2544 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวช.) สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง
วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้