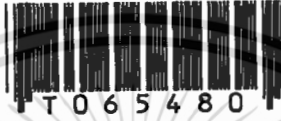


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์
36 วัตต์ 2 หลอด ที่สามารถหรี่แสงได้โดยใช้การออสซิลเลตด้วยตัวเอง

DESIGN AND ANALYSIS OF A SELF OSCILLATING DIMMABLE
ELECTRONIC BALLAST FOR TWO 36 W FLUORESCENT LAMPS



ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว

NARONGKORN PHAKAKAEW

จพ.
๑๔/๑๕/๖
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 65480
วัน,เดือน,ปี 11 ต.ค. 2549

.b..... 116๕๕1๖3
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2549 ISBN 974-15-2722-5

**DESIGN AND ANALYSIS OF A SELF OSCILLATING DIMMABLE
ELECTRONIC BALLAST FOR TWO 36 W FLUORESCENT LAMPS**



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

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-15-2722-5
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

เอกสาร **SCHOOL OF GRADUATE STUDIES** การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอด ที่สามารถหรี่แสงได้โดยใช้การออสซิลเลตด้วยตัวเอง
นักศึกษา	นาย ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว
รหัสนักศึกษา	44061007
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอนุรักษ์พลังงานเนื่องจากมีประสิทธิภาพดีกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก แต่ในงานบางอย่างที่ต้องการให้มีการหรี่แสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ใช้สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอด ที่มีการออสซิลเลตการทำงานด้วยตัวเอง และสามารถหรี่แสงได้ โดยใช้โครงข่าย LR มาช่วยในการหรี่แสง โดยเปลี่ยนความถี่ของกระแสที่สร้างแรงดันจ่ายให้ขาเกตของสวิตช์มอสเฟตในวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์กึ่งบริดจ์ และใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์มาช่วยในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านเข้าให้ใกล้เคียงหนึ่ง อีกทั้งยังสามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า $220V \pm 15\%$ ได้ มีการออกแบบ วิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์กึ่งบริดจ์ที่ใช้การออสซิลเลตด้วยตัวเอง และมีการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรม ORCAD เพื่อช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานและการออกแบบ และสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบภายใต้สภาวะต่างๆ จากผลการทดลอง และ ผลทางทฤษฎีให้ผลสอดคล้องกัน

Thesis Title Design and Analysis of a Self Oscillating Dimmable Electronic Ballast for
Two 36 W Fluorescent Lamps

Student Mr. Narongkorn Phakakaew

Student ID. 44061007

Degree Master of Engineering

Program Electrical of Engineering

Year 2006

Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinnares

ABSTRACT

The electronic Ballast is popular for energy saving because of better efficiency than magnetic ballast. However, some applications require a dimmable fluorescent lamp. Therefore this thesis proposes an electronic ballast prototype for two 36 W fluorescent lamps with self oscillating and dimmable with LR passive network for changing frequency current to generate voltage to supply out MOSFET gate drive in a resonant half bridge inverter. The boost converter for nearly unity power factor correction is also included for 220 V \pm 15 % main supply. The analysis and design of a resonant half bridge inverter with self oscillating are given. Simulation of the electronic ballast using ORCAD for verifying correct operation and designing for the prototype is included. Testing under various operating conditions is given. Experimental and theoretical results are in good agreement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์ของท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัย ECC 405 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมาและโดยเฉพาะอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณสำนักห้องสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้สนับสนุนข้อมูลและหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่อรณี พี่อ้อ ญาติพี่น้องของข้าพเจ้าทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	4
2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	4
2.1.1 โครงสร้างหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	4
2.1.1.1 หลอดแก้วทรงกระบอก.....	5
2.1.1.2 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	5
2.1.1.3 ไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	5
2.1.1.4 ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท.....	5
2.1.1.5 สารเรืองแสง.....	5
2.1.2 หลักการทำงานเบื้องต้น.....	6
2.1.3 การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	6
2.2 การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์แกนเหล็ก.....	6
2.3 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	7
2.4 EMI Filter.....	9
2.4.1 ชนิดของ EMI Filter.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 2.4.1.1 π Filter.....และคือของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข 10

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ 2.4.1.2 T Filter.....และคือของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข 12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1.3 L Filter.....	13
2.4.1.4 Typical Commercial Filter.....	14
2.5 วงจรเรกติไฟเออร์.....	16
2.6 power factor correction.....	17
2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ (DC-AC Converter).....	19
2.8 วงจรขับนำสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์.....	27
2.9 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมด้วยแกน EI.....	29
2.9.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำแกน EI.....	31
2.9.2 การออกแบบ Inductor โดยทั่วไป.....	34
2.10 บทสรุป.....	35
บทที่ 3 การวิเคราะห์และการจำลองการทำงาน.....	36
3.1 บทนำ.....	36
3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ฮาร์โมนิก.....	36
3.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ฮาร์โมนิก.....	40
3.4 การประเมินสมรรถนะของวงจรด้วยค่าดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้า.....	46
3.4.1 แรงดันและกระแสมูลฐานอาร์เอ็มเอส.....	46
3.4.2 แรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอส.....	46
3.4.3 ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า (Input Power Factor : PF).....	47
3.4.4 ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส (Crest Factor : CF).....	47
3.4.5 ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์โมนิกส์ (THD).....	47
3.5 บทสรุป.....	48
บทที่ 4 การออกแบบวงจรที่นำเสนอ.....	49
4.1 โครงสร้างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	49
4.2 วงจรอีเอ็มไอ ฟิวเตอร์.....	50
4.3 วงจรเรียงกระแส.....	53
4.4 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	55
4.4.1 การทำงานของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ในการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	57
4.4.2 การออกแบบวงจรวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้บุคคลอื่นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 อินเวอร์เตอร์.....	65
4.6 วงจรเรโซแนนซ์.....	67
4.7 การออกแบบวงจร LCC.....	69
4.7.1 ส่วนของวงจรLCC.....	69
4.7.2 วงจรส่วนการหรี.....	72
4.8 บทสรุป.....	74
บทที่ 5 ผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	75
5.1 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก.....	75
5.2 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะแรงดันอินพุทเปลี่ยนแปลง.....	79
5.3 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะที่เปลี่ยนแปลงความถี่สวิตซ์.....	82
5.4 บทสรุป.....	86
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	87
6.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย.....	91
ภาคผนวก ข วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบและการทดลอง.....	94
ภาคผนวก ค ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ.....	24
2.2 ลักษณะเฉพาะของแกนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	31
3.1 นิยามของดัชนีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพรูปคลื่นกระแสนิวท.....	47
4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการวิจัย.....	49
4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆระหว่างแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ.....	57
4.3 ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบวงจรLCCของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ.....	73
5.1 การทดลองวัดค่าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	81
5.2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าของหลอดเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง.....	84
5.3 การทดลองวัดค่าความสว่างเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง.....	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....4
2.2	การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์6
2.3	ลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์7
2.4	โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....8
2.5	วงจรจำลองการคำนวณการเกิด Insertion Loss.....9
2.6	กราฟแสดงการเกิด Insertion Loss และ Attenuation10
2.7	วงจร π Filter.....11
2.8	วงจร Multiple π Filters.....11
2.9	วงจร T Filter.....12
2.10	วงจร Multiple T Filter.....12
2.11	วงจร L Filter 13
2.12	วงจร Multiple L Filter.....13
2.13	วงจร Commercial filter with Z and feed through.....15
2.14	วงจร Commercial filter with capacitors to ground.....15
2.15	วงจรเรียงกระแส.....17
2.16	สวิตซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....18
2.17	วงจรที่ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านเข้าให้ใกล้เคียงหนึ่ง.....19
2.18	วงจรพื้นฐานฮาล์ฟบริดจ์.....20
2.19	ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ เมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส.....22
2.20	ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต26
2.21	ลักษณะกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส.....27
2.22	วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำสวิตซ์ชนิดที่กำเนิด สัญญาณขับนำอย่างอิสระ โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (IC).....28
2.23	วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำสวิตซ์ที่อาศัยการป้อนกลับของกระแสไหลคผ่านหม้อแปลงอิ่มตัว(Saturable Transformer).....28
2.24	ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้น โคง์ฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะที่สมมาตรกัน.....29
2.25	E-I Core Configuration.....29
2.26	Magnetic Circuit.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 วงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ.....	36
3.2 รูปคลื่นจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮัลฟบริดจ์ที่ขับสวิตช์ด้วยตัวเอง.....	37
3.3 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 1.....	37
3.4 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 2.....	38
3.5 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 3.....	38
3.6 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 4.....	39
3.7 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 5.....	39
3.8 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 6.....	40
3.9 แรงดันกับกระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด1 ความถี่ 35 kHz.....	40
3.10 แรงดันกับกระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด2 ความถี่ 35 kHz.....	41
3.11 แรงดันกับกระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด1 ความถี่ 40 kHz.....	41
3.12 แรงดันกับกระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด1 ความถี่ 45 kHz.....	41
3.13 แรงดันกับกระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด1 ความถี่ 50 kHz.....	42
3.14 แรงดันกับกระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด2 ความถี่ 50 kHz.....	42
3.15 แรงดันและกระแสที่ C_2 ความถี่ 35 kHz.....	42
3.16 แรงดันและกระแสที่ C_2 ความถี่ 50 kHz.....	43
3.17 แรงดันและกระแสที่ L_{S1} ความถี่ 35 kHz.....	43
3.18 แรงดันและกระแสที่ L_{S2} ความถี่ 35 kHz.....	43
3.19 แรงดันและกระแสที่ L_{S1} ความถี่ 50 kHz.....	44
3.20 แรงดันและกระแสที่ L_{S1} ความถี่ 50 kHz.....	44
3.21 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่1 ความถี่ 35 kHz.....	44
3.22 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่2 ความถี่ 35 kHz.....	45
3.23 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่1 ความถี่ 50 kHz.....	45
3.24 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่2 ความถี่ 50 kHz.....	45
3.25 แรงดันขับเคลื่อนของสวิตช์มอสเฟตตัวที่1และตัวที่2 ความถี่ 35 kHz.....	46
3.26 แรงดันขับเคลื่อนของสวิตช์มอสเฟตตัวที่1และตัวที่2 ความถี่ 50 kHz.....	46
4.1 วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	49
4.2 ลักษณะการต่อ LC ฟิลเตอร์(แบบ π)เพื่อลดสัญญาณรบกวน.....	50
4.3 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่สูง.....	51
4.4 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่ต่ำ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ออกพิมพ์ใหม่เพื่อตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 วงจรอีเอ็มไอ ฟิวเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ	53
4.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	53
4.7 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุทของวงจรเต็มคลื่น	53
4.8 วงจรเรียงกระแสที่ได้จากการออกแบบ	55
4.9 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากแหล่งจ่ายก่อนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	56
4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากแหล่งจ่ายที่ทำการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	56
4.11 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ที่นำไปใช้การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง	57
4.12 รูปคลื่นสัญญาณในการสร้างสัญญาณขับเคลื่อนของมอสเฟต	58
4.13 ตัวถังของไอซี L6561	60
4.14 วงจรภายในของ ไอซี L6561	60
4.15 วงจร Error Amplifier และ Over voltage Detector	61
4.16 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์	65
4.17 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์แบบอนุกรม – ขนานกับโหลด	67
4.18 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน	69
4.19 วงจรเทียบเท่าของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานสำหรับ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	69
4.20 การหน่วงเวลาระหว่างแรงดันที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์กับกระแส ที่ไหลผ่านตัวกรอง LC	69
4.21 รูปคลื่นผลกระทบของรีเลย์ LR กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อสซิลเลตด้วยตัวเอง	72
4.22 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	73
5.1 วงจรการทดลองบัลลาสต์แกนเหล็ก สตาร์ทเตอร์กับหลอดฟลูออเรสเซนต์	75
5.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในบัลลาสต์แกนเหล็ก	76
5.3 รูปคลื่นแรงดันกับกระแสบัลลาสต์แกนเหล็ก	76
5.4 รูปคลื่นแรงดันวัดที่สตาร์ทเตอร์ขณะจุดหลอด(Start up)ของบัลลาสต์แกนเหล็ก	76
5.5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของหลอดขณะจุดหลอด(Start up)ของบัลลาสต์แกนเหล็ก	77
5.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	77
5.7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	77
5.8 รูปคลื่นแรงดันของหลอดขณะจุดหลอด(Start up)ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	78
5.9 รูปคลื่นกระแสของหลอดขณะจุดหลอด(Start up)ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	78
5.10 รูปคลื่นแรงดันที่ขั้ว C_p ขณะจุดหลอด(Start up)ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	78

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11	วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ.....79
5.12	แรงดันกับกระแสทางด้านอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....80
5.13	แรงดันและกระแส DC linkของวงจรมอเตอร์.....80
5.14	สเปกตร้าฮาร์โมนิกส์แรงดันอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....80
5.15	สเปกตร้าฮาร์โมนิกส์กระแสอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....81
5.16	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทกับ%THD.....81
5.17	รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่กําลังไฟฟ้า27วัตต์ ที่ความถี่35kHz82
5.18	รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่กําลังไฟฟ้า24วัตต์ ที่ความถี่42 kHz.....82
5.19	รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่กําลังไฟฟ้า21วัตต์ ที่ความถี่44 kHz.....83
5.20	รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่กําลังไฟฟ้า17วัตต์ ที่ความถี่50kHz.....83
5.21	รูปคลื่นแรงดันที่สวิตช์กับกระแสโหลด ที่ความถี่36kHz.....83
5.22	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต.....84
5.23	ความสัมพันธ์ระหว่างกําลังไฟฟ้าของโหลดกับประสิทธิภาพ.....85
5.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สวิตช์กับความสว่างของโหลด.....85
5.25	ความสัมพันธ์ระหว่างกําลังไฟฟ้าของโหลดกับความสว่าง.....85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกๆปีและมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น นั้น ส่งผลให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค แต่ในการที่จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้าขึ้นนั้นก็ต้องสร้างโรงไฟฟ้าขึ้นใหม่ การสร้างโรงไฟฟ้าต้องมีปัจจัยหลายอย่างถึงจะสามารถสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ขึ้นมาได้ เช่น มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม บริเวณที่จะสร้างใหม่, จะกระทบกับชีวิตและความเป็นอยู่ของผู้คนในบริเวณนั้นหรือไม่, เงินลงทุน, และอื่นๆอีกมาก ดังนั้นทำให้การไฟฟ้ามีการนโยบายให้มีการรณรงค์การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลง ในส่วนของการประหยัดพลังงานไฟฟ้านั้น ส่วนใหญ่ ก็จะรณรงค์ การปิดดวงไฟเมื่อไม่ใช้งานทั้ง ตามบ้านพักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม อาคารต่างๆเนื่องจากบ้านพักอาศัยหรือ อาคารต่างๆเหล่านี้ ก็จะใช้ไฟฟ้า ใน รูปแบบของพลังงานแสงสว่าง โดยที่หลอดไฟ ที่มีใช้กันมากก็คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และ มีการใช้งานควบคู่กับบัลลาสต์แกนเหล็กกับ สตาร์ทเตอร์ บัลลาสต์แกนเหล็กนั้นปกติจะมีการสูญเสียที่บัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด36 วัตต์ ประมาณ 10 วัตต์ และมีค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตต่ำ และมีการเกิดรบกวนของแสงที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ขณะทำงาน

ปัญหาดังกล่าวมีการแก้ไขโดยใช้บัลลาสต์โวลต์สก็ก็จะทำให้การสูญเสียลดลงและค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตมีค่าสูงขึ้น แต่ก็ยังมีการสูญเสียพลังงานอยู่พอสมควรจึงมีการคิดค้นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใช้แทนบัลลาสต์แกนเหล็ก โดยที่มีเทคนิคหลายอย่างในการสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เช่นการใช้ไอซีในการจ่ายสัญญาณขับสวิตซ์ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไปในงานวิจัยนี้ก็จะใช้เทคนิคการออสซิลเลตด้วยตัวเอง [1]- [7] โดยมีการใช้หม้อแปลงอิมิตัวในการทำงาน [7] และมีการหริ้แสงโดยใช้การควบคุมความถี่สวิตซ์ซึ่งในวงจรการทำงานของอินเวอร์เตอร์ [3] - [7] ในส่วนของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตให้ใกล้เคียงหนึ่งก็จะใช้วงจรบูสต์โดยใช้ไอซีL6561 [12], [15] ดังนั้นจึงมีการพัฒนา

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มามีการทำงานที่ดีกว่าคือไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ต่อรวมอีก เพราะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถทำให้หลอดไฟติด ได้ทันทีที่ทำงานแต่ ก็ต้องคำนึงถึง ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุต (Power Factor) และ เปอร์เซนต์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสอินพุต (%THDi) และถ้าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตเกิดการแกว่งของค่า เป็นต้น จากสาเหตุข้างต้นนี้จึงมีการศึกษาการทำงาน โดยละเอียดและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ เพื่อใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ 2 หลอด โดยมีเป้าหมายให้สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตได้ตั้งแต่ 185 – 265 โวลต์ ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง และสามารถหรีแสงได้ 50%

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์ และสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ 2 หลอด ที่สามารถหรีแสงได้ โดยเน้นให้ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตให้ใกล้เคียงหนึ่ง และสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตได้ตั้งแต่ 185 – 265 โวลต์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในการปรับปรุ่ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุต จะสามารถทำงานได้ โดยมีแรงดันด้านอินพุต น้อยกว่าหรือมากกว่าแรงดันปกติได้

2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การออสซิลเลตด้วยตัวเอง ด้วยหม้อแปลงอิมตัว ในวงจรขับขาเกตของมอสเฟต ทำให้สามารถลดหรือเพิ่มความถี่สวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์กึ่งบริดจ์ได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในการปรับปรุ่ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุต สามารถทำงานได้ โดยมีแรงดันด้านอินพุต น้อยกว่าหรือมากกว่าแรงดันปกติ

การทำงานของสวิตซ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์กึ่งบริดจ์ ทำงานในภาคแรงดันศูนย์ขณะปิดวงจร (Zero Voltage Switching: ZVS) ทำให้มีการสูญเสียที่สวิตซ์น้อยลง

ส่วนการหรีแสง ได้ใช้โครงข่าย LR อินพุตมาต่อขนานกับขดลวดด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงอิมตัว ทำให้สามารถลดหรือเพิ่มความถี่ในการสวิตซ์และทำให้กำลังไฟฟ้าที่หลอดเพิ่มขึ้นหรือลดลงแปรผกผันกับความถี่ในการสวิตซ์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้คือการศึกษ ออกแบบ วิเคราะห์ และสร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ 2 หลอด ที่หรีแสงได้ โดยการออสซิลเลตด้วยตัวเอง ให้สามารถใช้งานและมีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพื่อทดสอบ ให้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเป็นไปตามเป้าหมายคือ ค่าตัวประกอบกำลังของด้านอินพุทให้ใกล้เคียงหนึ่ง , สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุท 185-265 และหรีแสงได้ 50 % ของกำลังไฟฟ้าที่หลอด

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์และจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม ORCAD

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบวงจรที่นำเสนอ

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

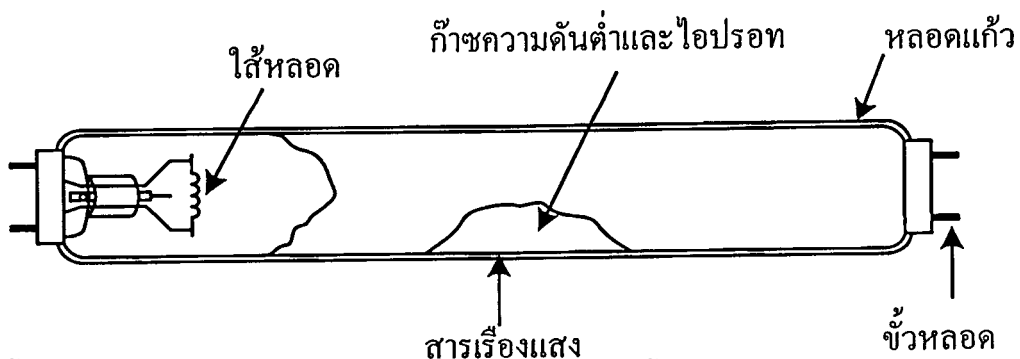
ในปัจจุบันมีการใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กันอย่างแพร่หลาย เพราะช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียให้น้อยลงได้และได้มีการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถหรี่แสงได้และต่อร่วมกับวงจรที่ใช้แก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าให้ใกล้เคียงหนึ่งนั้น จำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และมีการแก้ไขปรับปรุงตัวประกอบกำลังอินพุทโดยมีวงจรแบบต่างๆในการเลือกใช้ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหรี่แสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์คือหลอดคิซชาร์ตไอปรอทความดันต่ำ (low pressure mercury gas discharge) (J.R. Coaton and A.M. Marden,1990) จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นแสงสว่าง โดยใช้คุณสมบัติการนำแสงของก๊าซความดันต่ำ ไอปรอท และสารเรืองแสง ซึ่งจะแตกต่างจากหลอดแบบเผาไส้ ที่ใช้กระแสเผาไส้หลอดให้ร้อนเพื่อให้เกิดแสงสว่าง หลอดฟลูออเรสเซนต์มีโครงสร้างและการทำงานดังต่อไปนี้

2.1.1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีองค์ประกอบหลายอย่างรวมกันเพื่อกำเนิดแสงสว่างที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วยหลอดแก้วทรงกระบอกยาวภายในเคลือบด้วยสารเรืองแสง ขั้วหลอด ไส้หลอด ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่ละส่วนมีลักษณะและการทำงานได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 หลอดแก้วทรงกระบอก (Fluorescent tube)

ตัวหลอดแก้วทรงกระบอกยาวเป็นที่ยึดของอุปกรณ์และท่อหุ้มส่วนประกอบการกำเนิดแสงไว้ภายใน ตัวหลอดกระบอกยาวมีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งาน มีรหัสบอกลักษณะรูปร่างมาตรฐานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น T หมายถึง หลอดฟลูออเรสเซนต์พื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม และตามด้วยตัวเลขซึ่งแสดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดที่มีหน่วยเป็น หุน ($1/8$ ของนิ้ว) เช่นหลอดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว หรือ 8 หุน สามารถเขียนรหัสของหลอดคือ T8 เป็นต้น

2.1.1.2 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Lamp terminal)

ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นส่วนรับพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเข้าภายในหลอด เพื่อให้ฟลูออเรสเซนต์สามารถกำเนิดแสงสว่างได้ ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของหลอด เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดอุ่นไส้ (Preheat) ต้องการขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วในแต่ละข้างของหลอด

2.1.1.3 ไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Filament lamp)

ไส้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นขดลวดทังสเตนที่นำมาขดซ้อนๆ กันและฉาบด้วยสารชนิดที่ปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงนัก เนื่องจากโลหะทังสเตนจะปล่อยอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิก่อนข้างสูงประมาณ 700 องศาเซลเซียส

2.1.1.4 ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท (Mercury vapour and gas discharge)

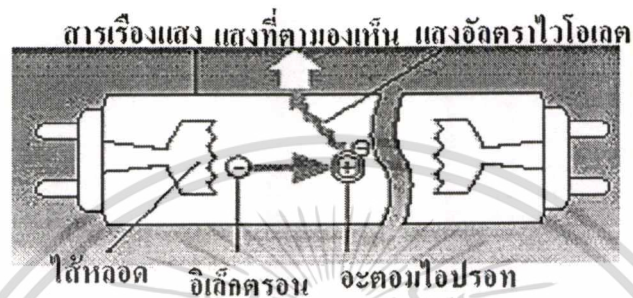
ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท ทำหน้าที่กำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแสงที่ตามองไม่เห็น เมื่อก๊าซความดันต่ำและไอปรอทถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ก่อนจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์จะยังไม่นำกระแสเนื่องจากปกติก๊าซความดันต่ำและไอปรอทจะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงพอจะเกิดการกระตุ้นให้มีการปล่อยประจุและสามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อก๊าซความดันต่ำและไอปรอทนำกระแสจะมีการปล่อยแสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตรออกมา แสงสว่างนี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า แต่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแสงในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ด้วยสารเรืองแสงซึ่งฉาบอยู่ภายในหลอด

2.1.1.5 สารเรืองแสง (Phosphor)

สารเรืองแสงซึ่งฉาบด้านในของตัวหลอดแก้วเป็นสารที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตให้เป็นแสงที่ตามองเห็น ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของสารที่ใช้ฉาบภายในของหลอด การใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไปทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีต่างกันได้ เมื่อยังไม่นำกระแสไฟจะยังคงมีสีขาวอยู่

2.1.2 หลักการทำงานเบื้องต้น (Principle operation)

ก่อนจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ก๊าซความดันต่ำและไอปรอทภายในหลอดแก้วยังไม่นำกระแสจนกว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าสูงที่เพียงพอมากระตุ้นทำให้มีการปล่อยประจุออกมาจึงจะทำให้เริ่มนำกระแสได้และเกิดแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า แสงอัลตราไวโอเล็ตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่ถูกฉาบไว้ภายในผิวหลอดแก้วให้ ก่กำเนิดแสงสว่างที่สามารถมองเห็นออกมา แสดงปรากฏการณ์กำเนิดแสงสว่างดังกล่าวแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

2.1.3 การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบ่งออกเป็น 2 สถานะคือ

1. ช่วงก่อนจุดหลอดให้ติดสว่าง
2. ช่วงทำงานปกติ

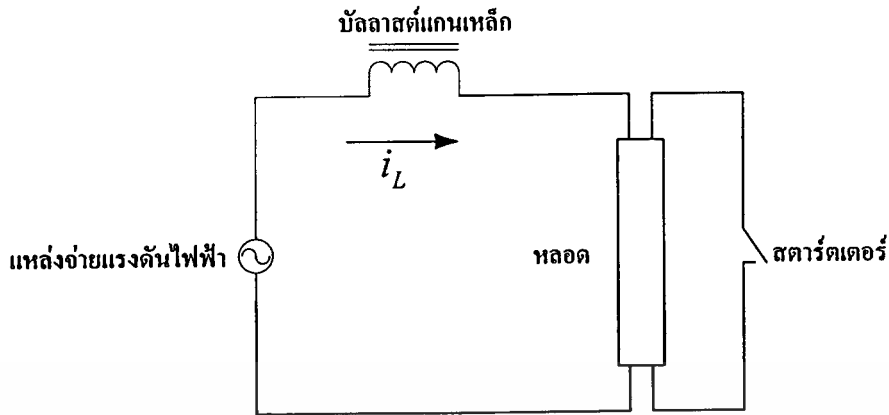
ในช่วงก่อนจุดหลอดให้ติดสว่าง ค่าความต้านทานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะมี ค่าสูงมาก ดังนั้นในการจุดหลอดให้ติดสว่างจะต้องใช้แรงดันที่มีขนาดสูง (Striking voltage) เพื่อจุดหลอดให้ติดสว่างซึ่งค่าแรงดันที่ใช้ในการจุดหลอดจะขึ้นอยู่กับ เส้นผ่านศูนย์กลาง, ความยาวของหลอด, อุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทด เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างแล้วจึงมีกระแสไหลผ่านหลอด ทำให้ความต้านทานของหลอดลดลงเท่ากับค่าที่พิกัด

2.2 การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์กับบัลลาสต์แกนเหล็ก (Fluorescent lamp working with Magnetic ballast)

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีความต้านทานพลวัตในภาวะ การทำงานปกติเป็นลบ จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะใกล้เคียงแหล่งจ่ายกระแส เพื่อให้การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีเสถียรภาพ การทำให้แหล่งจ่ายแรงดันมีลักษณะใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายกระแสจะทำได้โดยใช้อิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูงต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน อันเป็นผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายแรงดันสูงขึ้น จึงมีลักษณะสมบัติค่อนข้างไปทางด้านแหล่งจ่ายกระแส

โดยทั่วไปจะใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นอิมพีแดนซ์ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

กระแสกลับเพื่อไม่ให้เกิดสูญเสียในอิมพีแดนซ์มากเกินไป ดังนั้นลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเป็นดังรูป ที่ 2.3
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 ลักษณะการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์

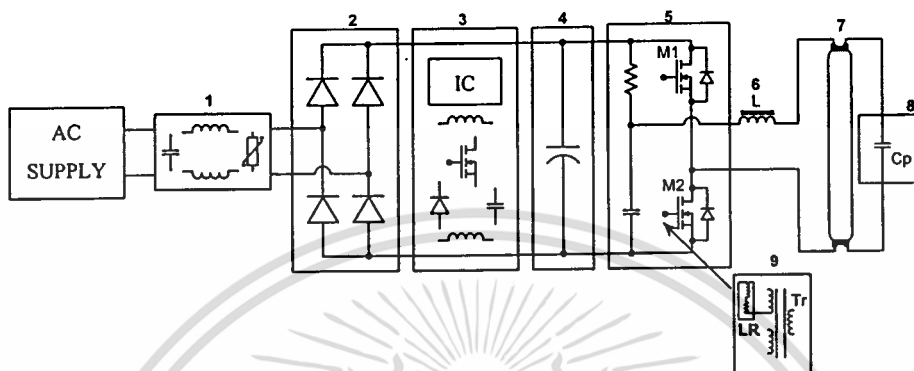
การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อใช้ร่วมกับบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์มีลักษณะดังนี้คือ เมื่อเริ่มแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในวงจร ในรูปที่ 2.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์จะไม่นำกระแสทันที แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายส่วนใหญ่จะตกคร่อมที่สตาร์ทเตอร์ ทำให้เกิด Glow discharge ขึ้นที่หน้าสัมผัสของสตาร์ทเตอร์ ทำหน้าสัมผัสร้อนขึ้นและต่อวงจร เมื่อหน้าสัมผัสของสตาร์ทเตอร์ที่เป็น bimetal ต่อวงจรแรงดันคร่อมสตาร์ทเตอร์จะลดลง glow discharge หยุดและหน้าสัมผัสของสตาร์ทเตอร์จะเย็นลง และตัดวงจรในช่วงที่สตาร์ทเตอร์ตัดวงจร บัลลาสต์แกนเหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันสูงคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ แรงดันนี้เรียกว่า แรงดันจุดหลอด (Striking Voltage: V_{ig}) ถ้า V_{ig} ไม่สูงเพียงพอที่จุดหลอดให้ติดสว่าง ขบวนการจุดหลอดจะเริ่มต้นใหม่ แต่ถ้า สูงพอจะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่าง แรงดันคร่อมหลอดฟลูออเรสเซนต์จะลดต่ำลง ทำให้แรงดันคร่อมสตาร์ทเตอร์ ไม่สูงพอที่จะทำให้เกิด glow discharge ได้อีก สตาร์ทเตอร์ ก็จะเปิดวงจรอย่างนี้ตลอดไป ในช่วงทำงานปกติของหลอดฟลูออเรสเซนต์

2.3 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ คืออุปกรณ์ ทำหน้าที่ เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดสว่างและทำงานได้อย่างเสถียรภาพ การใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงสามารถออกแบบตัวเหนี่ยวนำให้มีขนาดเล็กและมีกำลังสูญเสียต่ำและราคาไม่แพงเกินไปได้ การทำงานที่ความถี่สูงนอกจากสามารถลดกำลังสูญเสียในตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เป็นบัลลาสต์แล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ สูงขึ้นตามความถี่การทำงานได้อีกด้วย

การให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทำงานความถี่สูง ถึงแม้จะช่วยลดกำลังสูญเสียในบัลลาสต์ เอกสาร และลดกำลังต้านเข้าของหลอดลงได้ก็จริง แต่เนื่องจากแหล่งจ่ายพลังงาน โดยทั่วไปจะเป็นไม่ว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz หรือไม่ก็เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงเป็นต้องใช้

วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียขึ้นในคอนเวอร์เตอร์เอง และเพื่อให้สามารถลดกำลังสูญเสียรวมของระบบลงได้ ตัวอินเวอร์เตอร์ต้องมีประสิทธิภาพสูงตามโครงสร้างในรูปที่ 2.4 สามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบย่อยได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1 วงจรกรองด้านเข้า และวงจรป้องกัน (Input filter and Protection Circuit) มีหน้าที่ ลดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า EMI (Electromagnetic interference) จากภายนอกที่จะเข้ามา รบกวนบัลลาสต์และจากบัลลาสต์ที่จะออกไปยังสายส่ง และช่วยป้องกันกระแสกระชาก (Surge current) แรงดันเกินชั่วขณะ ในตอนเปิดไฟอีกด้วย

2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

3 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction ;PFC) มีหน้าที่ปรับรูปคลื่นของกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะใกล้เคียงแรงดันด้านเข้า ซึ่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกส์ และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง

4 วงจรกรองผ่านต่ำ (Low pass filter) มีหน้าที่ ลดแรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟตรง (Vdc) ด้านเข้าของวงจรอินเวอร์เตอร์

5 วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High frequency inverter) มีหน้าที่ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์ เรโซแนนซ์ภาคแรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switching; ZVS) โดยใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์ขับ นำกระแส

6 ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการควบคุมกระแส (Inductor) มีหน้าที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของ วงจรเรโซแนนซ์ อนุกรมที่สร้างแรงดันสูงในตอนเริ่มต้น และควบคุมกระแสผ่านหลอดให้มีค่า ตามที่กำหนดในการทำงานปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

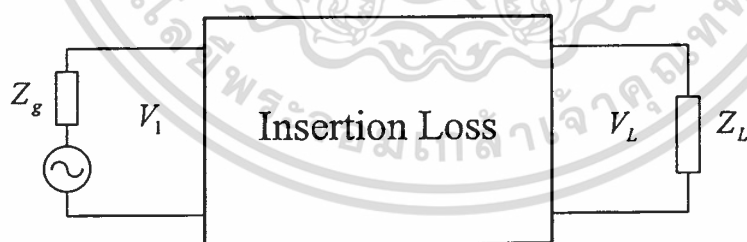
7 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่างซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าคือ ต้องการแรงดันสูงในการจุดหลอด ต้องการแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ลักษณะเป็นแหล่งจ่ายกระแส ในขณะที่ทำงานมีความต้านทานพลวัตเป็นลบ และปริมาณแสงแปรตามปริมาณผ่านหลอด

8 ตัวเก็บประจุที่ให้เส้นทางผ่านของกระแสย้อนไส้หลอด (Capacitor) ทำหน้าที่ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำในตอนเริ่มต้นเป็นวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมเพื่อสร้างแรงดันสูงในการจุดหลอดและยังเป็นเส้นทางผ่านของกระแสที่ใช้ในการอุ่นไส้หลอดในภาวะปกติ

9 วงจรขับสวิตช์ (Drive) มีหน้าที่กำเนิดสัญญาณขับสวิตช์ อาจจำแนกตามลักษณะการกำเนิดสัญญาณได้ 2 ชนิดคือชนิดที่กำเนิดสัญญาณขับนำอย่างอิสระโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์และชนิดที่ต้องอาศัยการป้อนกลับของกระแสหรือแรงดันค้ำโหลดผ่านหม้อแปลง สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ จะควบคุมกระแสผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยการควบคุมความถี่ผ่านวงจรขับนำสวิตช์นี้

2.4 EMI Filter

Electro Magnetic Interference (EMI) Filters [12] , [16] เป็นการวางจากรองความถี่รบกวนที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ทำ Filter จะไม่ต่อ Resistor เพราะจะทำให้เกิดความร้อน (Loss) ได้ในการออกแบบ EMI Filter จะต้องคำนึงถึงการเกิดของ Insertion Loss และ Attenuation ของระบบที่จะเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.5 โดยจะพิจารณาได้จากรูปที่ 2.6 และสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 วงจรจำลองการคำนวณการเกิด Insertion Loss

$$P_{\max} = \frac{|V_g|^2}{4R_g} \quad (2.1)$$

$$P_{\text{out}} = \frac{V_L^2}{R_o} \quad (2.2)$$

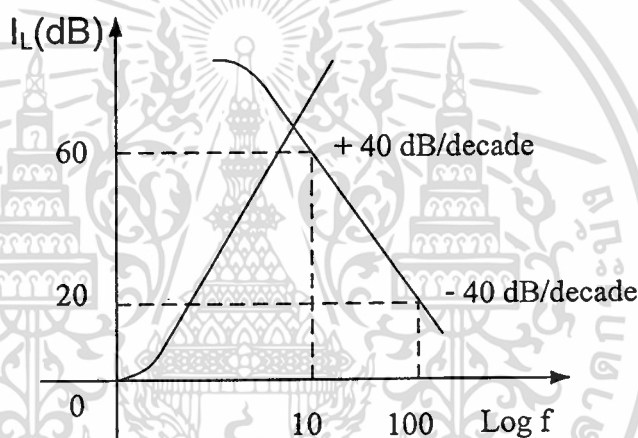
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_o}{R_g}} \frac{V_g}{V_L} \right) \quad (2.3)$$

$$I_L(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_L} \right) \quad (2.4)$$

โดยที่ V_1 = แรงดันเอาต์พุตของสัญญาณจากแหล่งจ่าย โดยไม่ได้ต่อวงจร Filter
 V_L = แรงดันเอาต์พุตของสัญญาณจากแหล่งจ่ายที่ด้านเอาต์พุตของวงจร Filter โดย
 ต่อวงจร Filter เข้าไปกับระบบ

I_L = Insertion Loss (dB)



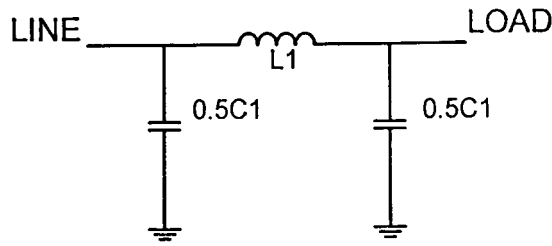
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการเกิด Insertion Loss และ Attenuation

2.4.1 ชนิดของ EMI Filter

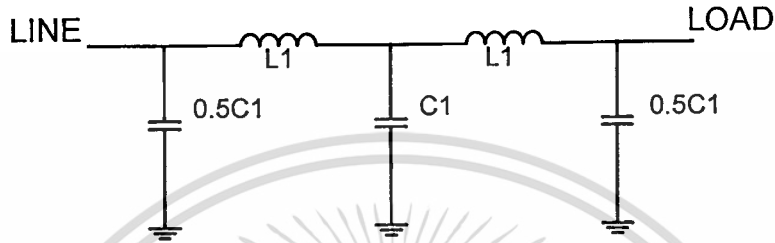
ปัจจุบันได้มีการแบ่งชนิดของ Electro Magnetic Interference (EMI) Filter โดยเบื้องต้นหลายชนิดคือ π Filter , T Filter , L Filter , Dissipative Filter , Causer Filter , The R-C Shunt เป็นต้น EMI Filter แต่ละชนิดอาจประกอบด้วย Filter จำนวน 2 เท่า , 3 เท่า หรือบางครั้งก็ใช้ถึง 4 เท่า โดยแต่ละชนิดของ EMI Filter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

2.4.1.1 π Filter

จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 วงจร π Filter



รูปที่ 2.8 วงจร Multiple π Filters

สมการการออกแบบวงจร π Filter

$$IL(dB) = 10 \log_{10} \left(1 + F^2 \frac{(1-d)^2}{d^{2/3}} - 2F^4 \frac{1-d}{d^{1/3}} + F^6 \right) \quad (2.5)$$

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

$$F = \frac{f}{f_0} \quad (2.6)$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{2LC}} = \frac{R_0}{\pi L} = \frac{1}{2\pi R_0 C} \quad ; \text{เมื่อ } d=1 \quad (2.7)$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi(4R_0 LC^2)^{1/3}} \quad ; \text{เมื่อ } d \neq 1 \quad (2.8)$$

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

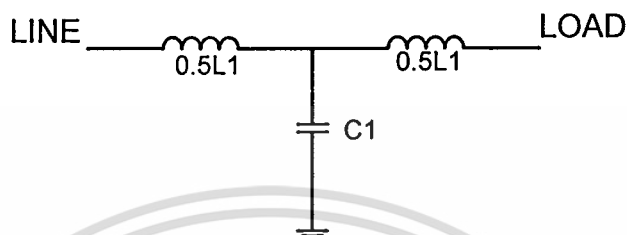
กระแสสูงสุด (Peak Current) ถูกจัดหาให้ Filter เพื่อทะลุผ่าน Buffer หรือ ขยาย Buffer ออก Filter เหล่านี้จะมีค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) ขนาดใหญ่เพื่อรักษาสัญญาณออก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

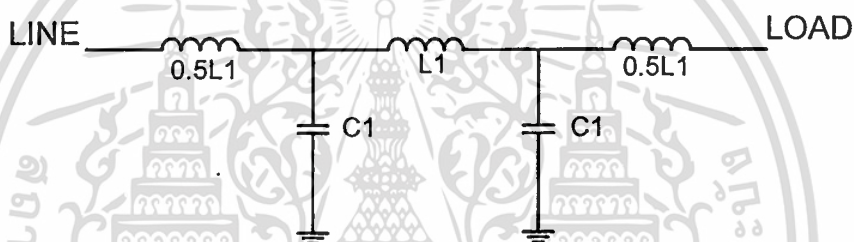
ในการทดสอบ EMI ของแหล่งจ่ายไฟ DC สิ่งเหล่านี้ถูกทำขึ้นให้แน่ใจว่าขดลวดเหนี่ยวนำ Filter จะไม่เหนี่ยวนำอิมพัลส์ที่กระแสสูงสุด

2.4.1.2 T Filter

จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 วงจร T Filter



รูปที่ 2.10 วงจร Multiple T Filters

สมการการออกแบบวงจร T Filter

$$IL(dB) = 10 \log_{10} \left(1 + F^2 \frac{(1-d)^2}{d^{2/3}} - F^4 \frac{1-d}{d^{1/3}} + F^6 \right) \quad (2.9)$$

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

$$F = \frac{f}{f_0} \quad (2.10)$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{2LC}} = \frac{R_0}{2\pi L} = \frac{1}{\pi R_0 C} \quad ; \text{เมื่อ } d=1 \quad (2.11)$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi \left(\frac{R_0}{4LC^2} \right)^{1/3}} \quad ; \text{เมื่อ } d \neq 1 \quad (2.12)$$

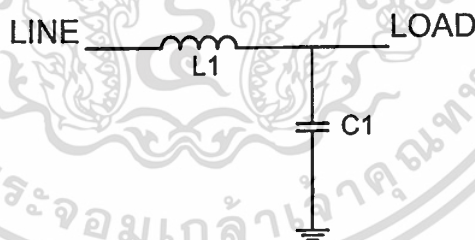
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ $\pi \left(\frac{R_0}{4LC^2} \right)^{1/3}$ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T Filler ทำงานดีที่สุด ในสายที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ (Low Impedance Line) ทำให้มีกระแสสูง อิมพีแดนซ์ของสายจะต่ำมาจนถึง 100 kHz แต่จะสูญเสียความเฉพาเจาะจงมาตรฐาน 461 (461 Specification) เริ่มที่ 10 kHz ไม่ก็ 14 kHz อิมพีแดนซ์เหนี่ยวนำอินพุท (Inductive Input Impedance) ของ T ได้รวม อิมพีแดนซ์สายต่ำด้วย (Low Line Impedance) ทำให้ C และ L ทำงานร่วมกัน สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ดีที่สุดที่กระแสไหลสูงกว่า ถ้าวิธีการออกแบบไม่ต้องการค่าของอินดักเตอร์ T ที่มีค่าสูงมาก ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันพุ่งสูงขึ้นหรือตกลงในการจ่ายให้โหลด เช่น ในกรณีที่แรงดันเพิ่มสูงขึ้นในการจ่ายโหลด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเรโซแนนซ์ ที่ความถี่ต่ำมากๆ เป็นเพราะผลของค่าความนำที่สูงขึ้น T Filter ไม่ควรใช้ในระบบไฟตรง ถ้าโหลดที่ใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เป็นสวิตช์ เพราะว่าค่าอิมพีแดนซ์สูงของตัวนำด้านเอาต์พุทที่อยู่ทางด้านโหลดจะขาดตัวสวิตช์ การออกแบบตัวสวิตช์ควรพิจารณาสิ่งนี้ โดยการทำให้ต่ำกว่าของค่าอิมพีแดนซ์ด้วยตัวเก็บประจุที่อินพุทสวิตช์ ซึ่งจะทำให้ Filter กลายเป็น L สองตัวที่ปรับค่าไม่ได้ เนื่องจากตัวเก็บประจุต่อขนานกับตัวนำที่อยู่ทางด้านโหลด ค่าตัวนำศูนย์กลาง (Central Inductor) จะมีขนาดเป็น 2 เท่าของทั้งสองตัวนำที่อยู่ด้านปลายกล่าวคือตัวนำภายในทั้งหมดมีขนาดเป็นสองเท่าของตัวนำด้านปลาย

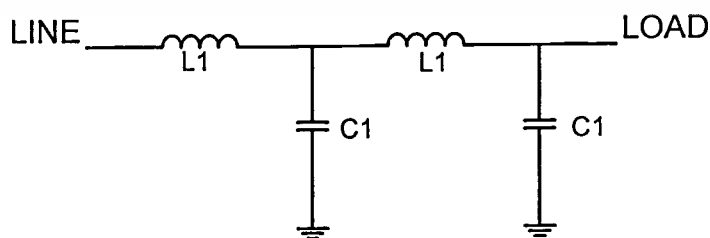
T Filter สามารถทำให้สมดุล โดยการย้ายค่าครึ่งหนึ่งของตัวนำ และวางครึ่งนี้ ในขานิวตรอน จะกลายเป็น โคลง H

2.4.1.3 L Filter

จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 วงจร L Filter



รูปที่ 2.12 วงจร Multiple L Filter

สมการการออกแบบวงจร L Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_L(dB) = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{(1-d^2)}{d} \frac{F^2}{2} + F^4 \right) \quad (2.13)$$

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

$$F = \frac{f}{f_0} \quad (2.14)$$

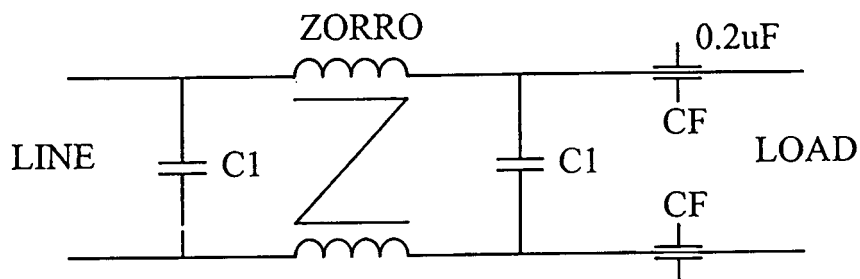
$$f_0 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi R_0 C} = \frac{\sqrt{2R_0}}{2\pi L} \quad ; \text{เมื่อ } d=1 \quad (2.17)$$

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

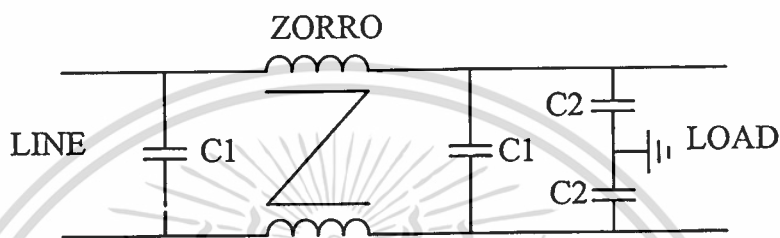
Filter ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้งาน เนื่องจากทั้ง π Filter และ T Filter มีส่วนประกอบ 3 ส่วนแต่ L Filter มีส่วนประกอบเพียงสองลักษณะ การสูญเสียทั้งหมดเกี่ยวข้องกับ การสูญเสียขณะสตาร์ทเหนือความถี่คัทออฟ L Filter เดี่ยว (Single) จะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อทำงานในโหมดไฟตรงถ้าโหลดมีตัวสวิตช์ เพราะว่า L ตัวใหญ่จะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟตรงและ ตัวเก็บประจุตัวใหญ่ (มีปริมาณสูง) จะให้ค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ สำหรับความถี่ของตัวสวิตช์ ส่วน ตัวนำ 2 ตัว ถูกนำมาใช้เมื่อจำนวนความสูญเสียทั้งหมดรวมมีค่าน้อยกว่าตัวนำเดี่ยว ตัวประจุ เอทท์พุกขนาดเล็ก มีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของที่มาจากเดิมจะไม่จัดให้มีการเก็บพลังงานที่จำเป็น จะสร้างค่าแรงดันตกขอดถึงขอด (Peak to Peak Voltage Drop) ขนาดใหญ่ที่จ่ายให้ตัวสวิตช์ แรงดันขอดถึงขอดนี้จะอยู่ที่ความถี่ตัวสวิตช์ หรือ 2 เท่าของความถี่ตัวสวิตช์ ถ้าแรงดันนี้จ่าย ให้กับ Center Tap ของวงจรถยาย (Amplifier) ระดับ บี หรือ Royer (ความถี่ของตัวสวิตช์ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าการตก) L2 ตัวสามารถนำมาใช้ทราบเท่าที่การตก (Drop) ไม่มากเกินควร หรือ ความถี่ตัวสวิตช์มีค่าสูงพอ แม้กระนั้นการกระเพื่อมจะเหมือนเดิมหรือดีกว่าแหล่งจ่ายไฟตรง หรือแรงดันที่จัดส่ง ทั้ง L และ Multiple L ทำงานได้ดีในการประยุกต์ใช้ทางไฟฟ้ากำลังที่สูงขึ้น

2.4.14 Typical Commercial Filter

จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 วงจร Commercial filter with Z and feed through



รูปที่ 2.14 วงจร Commercial filter with capacitors to ground

Filter ชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ทดสอบ, คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการค้า ผู้ผลิตต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน VDE , CSA และ U.S. Federal Communications Commission (FCC) และการทดสอบถูกดำเนินการโดยบริษัททดสอบ EMI ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิตทราบเกี่ยวกับข้อมูลทั้งหมด Filter เหล่านี้เป็นชนิด π Filter แบบสมมูล โดยบ่อยครั้งจะซื้อจากผู้จัดหาภายนอก และบ่อยครั้งจะสร้างในต่างประเทศ Filter เหล่านี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในหมวดปกติ ด้วยการต่อตัวเก็บประจุตรงข้ามกันทางด้านอินพุตและเอาต์พุตจากสายไลน์ถึงสายนิวตรอน และตัวเก็บประจุอีกสองตัวที่ต่อลงกราวด์ ซึ่งจะเจอกับค่าเฉพาะของกระแสรั่วไหล ค่าความนำที่รั่วไหล (Leakage Inductance) บ่อยครั้งถูกทำให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มวงแหวนรองข้อต่อ เพื่อให้ศูนย์กลางของแกนแยกเป็น 2 ขดลวด ซึ่งจะทำได้โดยการพัน 2 ขดลวดห่างกันเพียงพอบนแกน Toroid ตัวเก็บประจุ แบบ Feed through (CF) จะถูกหุ้มกราวด์ (Case Ground) บางเทคนิคจะรวม Filter หมวดอนุพันธ์ (Differential Mode) กับหมวดปกติซึ่งจะทำให้ π Filter แบบสมมูลอยู่ในหมวดอนุพันธ์ และ Filter นี้จะทำงานทั้งหมดเนื่องจากข้อบ่งชี้การสูญเสียของ FCC เริ่มต้นที่ 450 kHz ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสามารถทำให้เล็กเพื่อให้สำเร็จในงานเหล่านี้ ข้อควรจำอื่นๆ ก็กระแสที่ไหลผ่านค่าเหนี่ยวนำรั่วไหลสามารถอิมิตในตัวเหนี่ยวนำได้ บางชนิดของ Filter ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุชนิด Feed through โดยการต่อร่วมลงดินแทน ตัวเก็บประจุเหล่านี้แพงเล็กน้อย แต่ให้ความถี่เรโซแนนซ์ด้วยตัวเอง (Self Resonant Frequency) ที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรเรกติไฟเออร์ (AC-DC Converter)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 50Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับส่วนของ Inverter อีกทีซึ่งในที่นี้เราใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) และใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองกระแสเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสาเหตุที่ใช้วงจรนี้เพราะขนาดเล็กและราคาถูกดูในรูปที่ 2.15

การเลือกใช้ไดโอดในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ไดโอดที่เลือกใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 5 ประการคือ

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

$$\text{กระแสกระชาก} \quad I_{FSM} = \frac{V_{out}(DC)}{R_s + ESR} \quad (2.19)$$

อัตราการทนกระแสกระชาก I_{FSM} ของไดโอดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า I_{FSM} ที่คำนวณได้

2. ต้องสามารถทนกระแสสูงสุดได้ชั่วขณะ (I_{FSM}) เป็นกระแสสูงสุดที่เกิดขณะชาร์จเก็บประจุฟิลเตอร์ก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดจะเกิดในระยะเวลาสั้น ๆ โดยทั่วไปจะกำหนดจากวงจรการทำงานของไฟกระแสสลับ (1/50 วินาที หรือ 20 มิลลิวินาที) กระแสจำนวนนี้มีค่าสูงมากและไม่ใช่กระแสปฏิบัติงาน

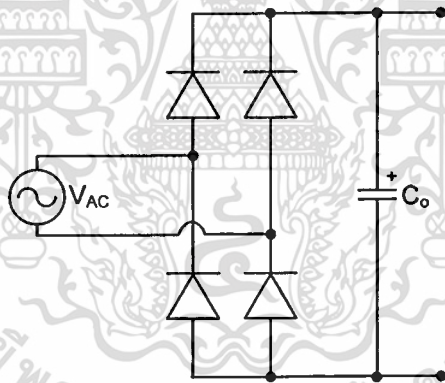
3. อัตราทนกระแสไบแอสตรง (Forward Bias : I_{FM}) เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดทนได้โดยไม่พังเสียก่อน โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 1.5-2 เท่าของกระแสปกติ

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

5. กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับไบแอสกลับ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปแล้วมีค่าน้อยเท่าใดก็จะดีมากเท่านั้น

การเลือกใช้ตัวเก็บประจุในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นวงจรกรองกระแสนั้นเราเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor) ซึ่งหลักในการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับ

1. อัตราทวนกระแสกระเพื่อม (Ripple Current) กระแสกระเพื่อมขึ้นอยู่กับค่าของตัวประจุ โหลดและแรงดันอินพุท
2. แรงดันกระเพื่อม ข้อกำหนดนี้ใช้กำหนดค่าของตัวเก็บประจุอย่างต่ำในวงจร โดยทั่วไปในการออกแบบวงจรเรกติไฟร์และวงจรกรองกระแสจะกำหนดให้แรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน 10% ของแรงดันไฟตรงที่ด้านออก แรงดันกระเพื่อมนี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ โหลดดึงกระแส มาก
3. อัตราทวนแรงดัน ตัวเก็บประจุที่ใช้ควมทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่า ของแรงดันไฟตรงเอาท์พุท เช่นที่แรงดันไฟตรง 300 โวลท์ ตัวเก็บประจุของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์จะต้องทนได้ 450 โวลท์ เป็นอย่างต่ำ
4. ช่วงเวลาโฮลด์อัป (Hold up time) เป็นระยะเวลาอย่างต่ำที่แหล่งจ่ายจะยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันด้านออกให้อยู่ในขีดจำกัดของการรักษาระดับคงที่ด้านออก (Output Regulation) ได้ โดยที่เมื่อแหล่งจ่ายทางด้านเข้า (Input) หยุคจ่ายหรือลดลงต่ำกว่าค่าการรักษาระดับแรงดันด้านเข้า (Input Regulation) ที่กำหนดช่วงเวลาโฮลด์อัปขึ้นอยู่กับค่าของตัวเก็บประจุ, โหลด, แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในขณะที่แรงดันด้านตกหรือหยุดจ่ายไฟ



รูปที่ 2.15 วงจรเรียงกระแส

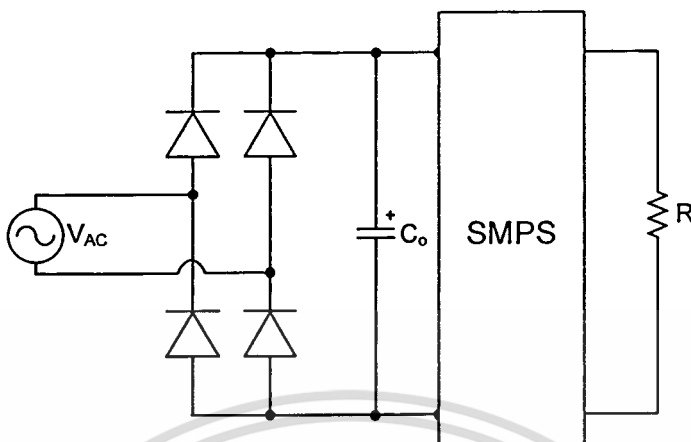
2.6 power factor correction

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแบบไดนามิกสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. การปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ

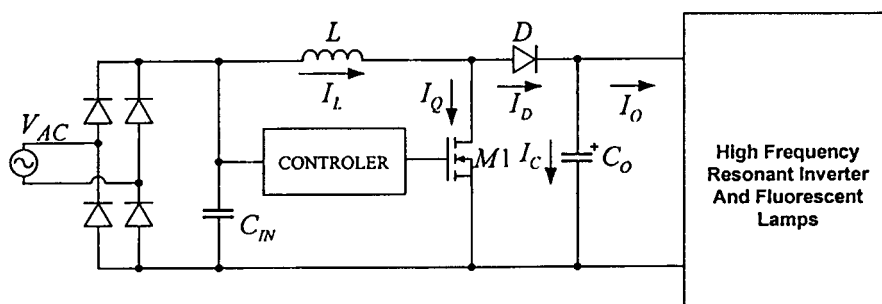
หลักการในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟสามารถกระทำได้โดยการนำอุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำมาใช้ เพราะว่าการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่สูง การนำเอาตัวนำมาต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันด้านเข้าที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่สูงไม่สามารถผ่านเข้าได้ ส่วนตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกับสายด้านเข้าของกระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่สูงจะถูกกลัดลงกราวด์เพราะที่ความถี่สูงค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะต่ำนั่นเอง

2. การปรับปรุงตัวประกอบกำลังแบบแอ็คทีฟ



รูปที่ 2.16 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

โดยการทดลองแก้ไขปรับปรุงตัวประกอบกำลังในขั้นตอนนี้ด้วยวิธีพาสซีฟ ทำให้เราสังเกตเห็นว่าจะต้องใช้อุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาใช้ในการปรับปรุง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากรวมทั้งไม่มีความแน่นอน การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังก็ไม่สามารถออกแบบได้และไม่สามารถควบคุมได้ในทางระบบควบคุมนั่นเอง ดังนั้นเราจึงต้องมาพิจารณาในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านเข้าโดยวิธีของแอ็คทีฟ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปคือพยายามทำให้รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณไซน์และมีเฟสทับกันกับรูปคลื่นของแรงดันในด้านเข้าของภาระที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยหลักการแล้วเราจะใช้ วงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงมาเป็นทางแก้ไข โดยจะใช้สวิตช์ที่มีความถี่สูงมาเป็นตัวทำให้รูปคลื่นของกระแสมีลักษณะเป็นรูปสัญญาณไซน์มากขึ้น การนำเอาวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรง มาใช้ก่อนอื่นต้องทำการเปลี่ยนที่อยู่ของตัวเก็บประจุด้านออก (C_o) ออกไปก่อนแล้วเอาวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงมาใส่แทนเพื่อนำให้ได้แรงดันทางด้านเข้าก่อนเข้าวงจรเป็นสัญญาณรูปไซน์มากขึ้นดังรูปที่ 2.16 โดยปกติวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงจะนิยมใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter), ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Fly back converter) และ วงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ (Buck converter) ซึ่งจากรูปที่ 2.16 จะต่ออยู่ระหว่างวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุทางด้านออก โดยความถี่ของการสวิตชิ่งดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าความถี่จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้าอยู่มาก การทำงานเบื้องต้นของวงจรการจ่ายแรงดันสวิตชิงไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้เป็นวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรที่ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านเข้าให้ใกล้เคียงหนึ่ง

2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ (DC-AC Converter)

แหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป วงจรพื้นฐานที่ใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งจะได้แก่

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้กำลังงานได้ไม่สูงมากนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ก่อนข้างสูง ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและราคาถูก

2. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังได้สูง ตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งมีผลต่อการเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมกระแสทำให้ลดปัญหานี้ลงได้

3. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)

เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่มีข้อดีคือ ปริมาณของเหล็กลดลง กระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต่ำ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองถูกขับกราวด์เดียวกัน ทำให้วงจรขับเบสไม่ยุ่งยากมีข้อเสียคือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ต้องสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 2 เท่าของแรงดันอินพุท รวมทั้งแรงดันสไปล์ซึ่งเกิดจากค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง เป็นปัญหาในการนำไปใช้งานกับโหลดที่ต้องการกำลังสูงๆ เพราะทรานซิสเตอร์ที่ทนกระแสและแรงดันสูงๆ หายากและราคาแพง

4. ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)

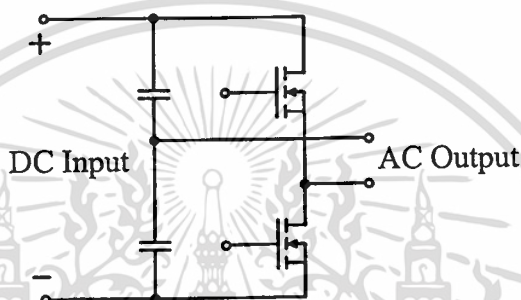
จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสเหนี่ยวนำกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามแบบที่กล่าวมา และลดการเกิดความไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนเหล็กได้กำลังงานสูงสุดที่สามารถทำได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

5. ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

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

ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะเลือกใช้วงจรฮาล์ฟบริดจ์ (Half Bridge circuit) เพราะเนื่องจากจะลดอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งได้ทำให้ต้นทุนถูกโดยที่คุณสมบัติและการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์มีดังนี้

วงจรฮาล์ฟบริดจ์ เป็นการสลับกันทำงานทีละครึ่ง 1 ไซเคิลของอุปกรณ์สวิตซ์โดยที่หม้อแปลงไม่มีการແທປ แรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์เหล่านั้นจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต การที่สวิตซ์ตัวที่ 1 ทำงาน จะทำให้กระแสไหลผ่านหม้อแปลงในทิศทางหนึ่ง เมื่ออุปกรณ์อีกตัวหนึ่งทำงาน กระแสก็จะไหลผ่านหม้อแปลงในทิศทางตรงข้ามกับตอนแรก ทำให้เกิดไฟสลับมาเป็นไซเคิล ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรพื้นฐานฮาล์ฟบริดจ์

ข้อได้เปรียบของวงจรฮาล์ฟบริดจ์

1. ค่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตซ์ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากัน ค่าแรงดันที่ด้านอินพุตซึ่งน้อยกว่าการใช้งานแบบอื่นๆ เช่น Push-Pull, Forward Converter
2. ลดการเกิด ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ไม่สมมาตรในขด Primary ได้ (กรณีที่ใช้หม้อแปลงเป็นตัวเหนี่ยวนำ)
3. กระแสที่ได้ทางด้านเอาต์พุตค่อนข้างเรียบ
4. วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ เป็นวงจรที่ใช้สวิตซ์ทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัว จึงประหยัดกว่าวงจรแบบฟูลบริดจ์ที่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัว และสามารถให้กระแสไหลผ่านโหลดมีรูปคลื่นเป็น Sine ได้

5. กำลังออกของวงจรไม่สูงนัก เมื่อเทียบกับ Full-Bridge Converter (สำหรับการใช้งานเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์) ดังนั้นการใช้สวิตซ์เพียงสองตัว จะทำให้การขับนำสวิตซ์ไม่ยุ่งยาก

ข้อเสียเปรียบของวงจรฮาล์ฟบริดจ์

เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด Primary (กรณีที่ใช้หม้อแปลงเป็นตัวเหนี่ยวนำ) มีค่าเท่ากันครึ่งหนึ่งของแรงดันที่ด้านอินพุต ทำให้มีค่ากระแสไหลผ่านค่อนข้างสูง (มีค่าประมาณ 2 เท่าของ Push-Pull) แต่เราสามารถแก้ไขปัญหานี้โดยการต่อ C-Coupling เข้าไป โดยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุกรมเข้ากับหม้อแปลงค่าน Primary ซึ่งจะขระดับ DC ขึ้นมา หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การลดเวลา Turn-on ของทรานซิสเตอร์ โดยการใช้ Baker Clamp Diode ในวงจรขับเบส

หลักการในการเลือกตัวสวิตซ์ในวงจรอินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์สวิตซ์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ไบโพลาร์เพาเวอร์

ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor) และเพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor) ซึ่งก็มีลักษณะการทำงานแตกต่างกันออกไป

ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Power Transistor) ในการเลือกใช้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สำหรับออกแบบในตัวอินเวอร์เตอร์นั้นต้องคำนึงถึง

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

ความสามารถในการทนกระแสขณะปิดวงจร และความสามารถในการทนแรงดันขณะเปิดวงจรมันเราจะพิจารณาว่าเราใช้ตัวทรานซิสเตอร์ร่วมกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบใด ส่วนความเร็วในการเปลี่ยนสถานะนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน

ส่วนอัตราทนกำลังสูญเสียนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 2 ประการ

1. อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อ (Average Junction Temperature)
2. เซคันดารีเบรกดาวน์ (Secondary Breakdown)

โดยทั่วไปผู้ผลิตมักใช้กราฟแสดงพิกัดปลอดภัย SOA (Safe Operating Area) มาพร้อมกับข้อมูล (Data Sheet) ที่ให้มากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์กราฟ SOA จะแสดงพิกัดค่าต่างๆ ของกระแส และแรงดันขณะทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่จะไม่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่รอยต่อสูงเกินอุณหภูมิที่มันทนได้และไม่ทำให้เกิดเซคันดารีเบรกดาวน์ (Secondary Breakdown) ขึ้น นอกจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่กล่าวมาแล้ว เรายังพบว่าในการทำงานเป็นสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์จะเกิดกำลังสูญเสียในรูปของความร้อนในตัวไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกข้อหนึ่งในการใช้งานทรานซิสเตอร์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

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

จากการเกิดกำลังสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะจะส่งผลต่อกำลังงานโดยรวมของวงจรคอนเวอร์เตอร์ แต่กำลังงานสูญเสียที่สำคัญที่เราต้องนำมาพิจารณา คือ กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยน

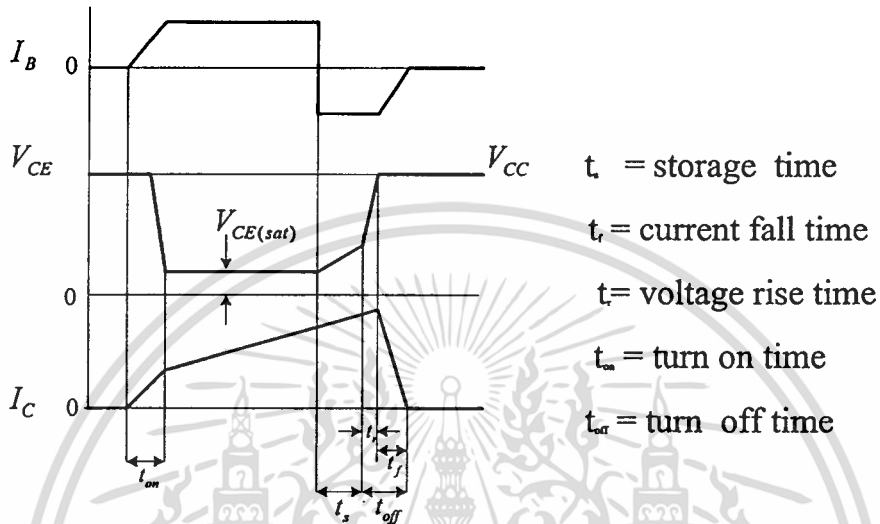
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานการณ์ทำงาน (Switching Loss) โดยกำลังสูญเสียจะเกิดขึ้นได้ทั้งในขณะเริ่มนำกระแสและขณะเริ่มหยุดนำกระแส

กำลังงานที่สูญเสียที่เกิดขึ้นขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน (Switching Loss)

1. กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแส



รูปที่ 2.19 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไบโพลาร์เพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์เมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส

เมื่อเราให้กระแสไบแอสที่ขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเลกเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ (V_{CE}) จะยังคงมีค่าเท่ากับ V_{CC} และจะใช้เวลาช่วงหนึ่งคือ t_{on} เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น $V_{CE(sat)}$ ดังรูปที่ 2.19 กำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลา t_{on} นี้ เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตามในช่วงเวลา t_{on} นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมันมีค่าต่ำ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ

2. กำลังงานสูญเสียขณะกระแสเริ่มหยุดนำกระแส

เมื่อหยุดกระแสไบแอสลบให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดนำกระแส เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปเป็นเวลา t_s ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา t_s นี้เรียกว่า ช่วงสะสม (Storage Time) และขณะช่วงเวลา t_s นี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบแอสอยู่

จากนั้นแรงดันที่คอลเลกเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา t_r (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในตัวเพาเวอร์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเลกเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ t_r (Current Fall Time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา t_r และ t_f จะมีค่าสูง และเป็นช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะทำงาน ช่วงเวลา $t_r + t_f$ จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time)

จากข้างต้นเราจะให้ว่าการทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าน้อยที่สุด จะทำให้การใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความรื้อยที่จะเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงานด้วย

วงจรขับกระแสไบแอส

ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแส ไบแอสที่ขาเบส เพื่อนำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

วงจรขับกระแสไบแอสโดยทั่วไปจะทำได้ใน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive)

สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปที่กำลังไม่สูงมากนักจะนิยมใช้วงจรขับกระแสไบแอส ด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive) ด้วยค่ากระแสที่มากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสที่จุดอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา แต่วิธีนี้จะทำให้ค่าประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ค่อนข้างสูงและใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส

2. วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์

(Proportion Base Drive)

วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์ (Proportion Base Drive) นี้ค่ากระแสไบแอสที่ขาเบสจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านคอลเลกเตอร์ ประจุสะสมจะเกิดเล็กน้อย การหยุดนำกระแสจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า จึงนิยมใช้กับคอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังสูงๆ เท่านั้น

อุปกรณ์ที่สามารถใช้เป็นสวิทช์ในวงจร Half bridge inverter มีหลายชนิดดังนี้

1. FORCE-COMMUTATED THYRISTOR
2. GTO
3. POWER BJT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4. POWER MOSFET เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 5. IGBT มิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ

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

งานวิจัยนี้เลือกใช้มอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตช์เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างดังนี้

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

เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor)

สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 50 kHz ไปจนถึงประมาณ 200 – 400kHz เนื่องจากตัวมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และในการพัฒนาปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานที่ความถี่สูงขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่เคเซคันคาร์เรเบรคดาวน์ (Secondary breakdown) เหมือนกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรน (Drain) และซอร์ส (Source) ขณะนำกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากในกรณีของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ขณะเกิดเซคันคาร์เรเบรคดาวน์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลมากขึ้น ซึ่งจะเกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิสัยความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่า เมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ และเนื่องจากไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์มอสเฟต ไม่เกิดเซคันด์ารีเบรคดาวน์ อัตราทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในรอยต่อที่ตัวมันเท่านั้น เช่นเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ในการทำงานเป็นสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟตจะเกิดกำลังสูญเสียเกิดขึ้นซึ่งเราสามารถพิจารณาได้ดังนี้

กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นให้ได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ คือ

1. กำลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ
2. กำลังสูญเสียขณะนำกระแส

แต่สำหรับมอสเฟตแล้วจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มา เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นจึงไม่มีอย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

พิคคูปลอคภัย FBSOA

ขีดจำกัดกำลังที่พิคคูปลอคภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟตนั้น อาจแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้คือ

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

พิคคูปลอคภัย SSOA

SSOA (Switching Safe Operation Area) เป็นกราฟแสดงพิคคูปกระแสและแรงดันใช้งานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้ SSOA สามารถใช้ได้ทั้งในการพิจารณาพิคคูปลอคภัยทั้งในช่วงเวลาเริ่มจะนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสสั้น เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านแตรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมที่เกิดและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold

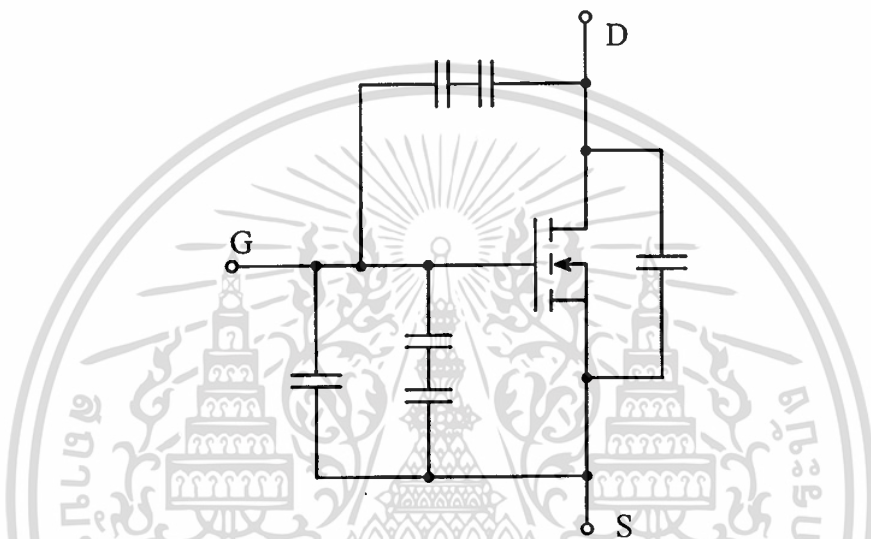
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage) ของมัน แต่ใช้กระแสต่ำ การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องศึกษาเงื่อนไขต่างๆ สำหรับการบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสเป็นอันดับแรกเสียก่อน

ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุท (Input Capacitance)

เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟตเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขาต่างๆ ของมันดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต

ตัวเก็บประจุเหล่านี้ บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อนเพื่อให้แรงดันคร่อมที่ขาเกต V_{GD} มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแสในทางกลับกันการหยุดการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนให้แรงดันคร่อมที่เกต V_{GD} มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกตมีลักษณะดังรูปที่ 2.21

การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะให้กราฟของค่าแรงดัน V_{GD} ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกตเพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาในเอกสารข้อมูล (Datasheet) กราฟนี้มีประโยชน์มาในการคำนวณค่ากระแสไบแอสเกตและเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต

ลักษณะของกราฟจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะคือเอกสารศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

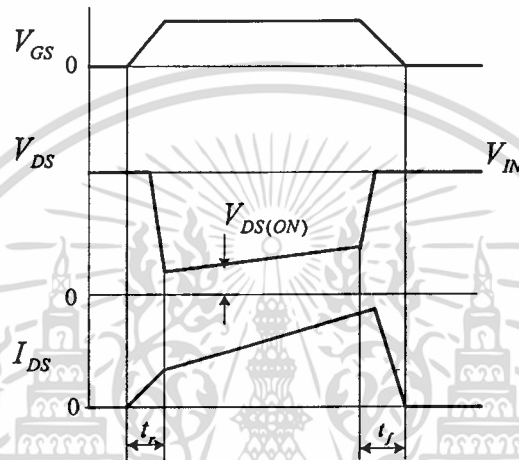
1. ช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแส (Turn On Delay)

2. ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Rise Time)

3. ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (Excess Charge Time)

เพาเวอร์มอสเฟตแต่ละเบอร์ จะนำมาหาค่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_r และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส t_f ได้จาก

$$t = \frac{Q_G}{I_G} \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.21 ลักษณะกระแสและแรงดันคคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส

ปัญหาในลักษณะเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานในขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ตัวสวิตซ์คือ เพาเวอร์มอสเฟต (MOSFET Power Transistor)

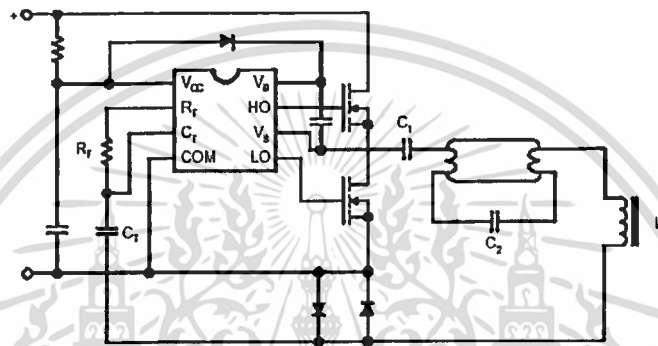
2.8 วงจรขับนำสวิตซ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ (Drive circuit)

การขับนำสวิตซ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงที่ใช้สวิตซ์รีโซแนนซ์ภาคแรงดันศูนย์ จะต้องใช้วงจรขับนำที่มีช่วงเวลาพัก (Dead time) ที่เหมาะสม ซึ่งช่วงเวลาพักของสัญญาณขับนำจะต้องยาวกว่าช่วงเวลาประจุสะสมเพื่อไม่ให้เกิดกระแสทะลุผ่าน (Shoot-through) และช่วงเวลาพักต้องสั้นกว่าผลรวมของช่วงเวลาประจุสะสมกับช่วงเวลาไดโอดคู่ประกอบนำกระแส นอกจากนี้ วงจรขับนำสวิตซ์ทั้งสองชุดในแต่ละกิ่งของวงจรกึ่งบริดจ์จะต้องมีการแยกโคดทางไฟฟ้าระหว่างกันในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำสวิตซ์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่กำเนิดสัญญาณขับนำอิสระโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 2.22 และชนิดที่ต้องอาศัยการป้อนกลับของกระแสหรือแรงดันด้านโหลดผ่านหม้อแปลงดังรูปที่ 2.23

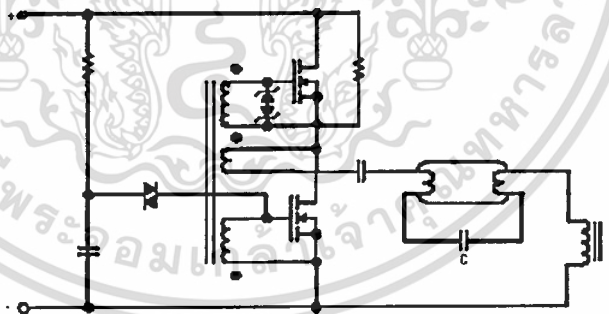
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำสวิทช์ที่ใช้วงจรถอานิกมีข้อดีคือ ความถี่การทำงานจะไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด มีอิสระและความคล่องตัวในการควบคุมการทำงานสูงและ สามารถควบคุมแสงด้วยวิธีการปรับความถี่ในการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ง่ายกว่า การใช้งานวงจรกำเนิดสัญญาณที่อาศัยการป้อนกลับของกระแสหรือแรงดันโหลดผ่านหม้อแปลงอิมตัวมีดีที่ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้มีการแยกโคคกันทางไฟฟ้าได้ง่ายจึงสะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้สัญญาณรบกวนจากภายนอกจะไม่ค่อยมีผลต่อการทำงานของวงจรขับนำวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ขับนำโดยใช้หม้อแปลงอิมตัว



รูปที่ 2.22 วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำสวิทช์ชนิดที่กำเนิด สัญญาณขับนำอย่างอิสระ โดยใช้วงจรถอานิก (IC)

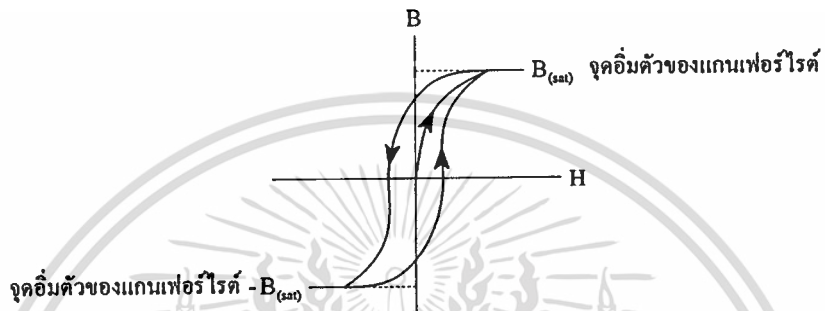


รูปที่ 2.23 วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำสวิทช์ที่อาศัยการป้อนกลับของกระแสโหลดผ่านหม้อแปลงอิมตัว (Saturable Transformer)

การอิมตัวของหม้อแปลง

การอิมตัวของหม้อแปลงเกิดขึ้นได้เมื่อเราเพิ่มแรงดันมากขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่งค่าฟลักแม่เหล็กของหม้อแปลงก็จะมีค่าคงที่เสมอ ถึงแม้ว่าเราจะเพิ่มแรงดันมากขึ้นอีกก็ตามในลักษณะเช่นนี้ก็เรียกว่าหม้อแปลงเกิดการอิมตัว และ ก็ขึ้นอยู่กับฮิสเตอร์รีซิส (hysteresis) โดยที่ค่าของฮิสเตอร์รีซิสนั่นคือ คุณสมบัติการเป็นแม่เหล็กของวัสดุ โดยใช้ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) และความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก (H) สามารถหาคุณสมบัตินี้ได้โดยใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

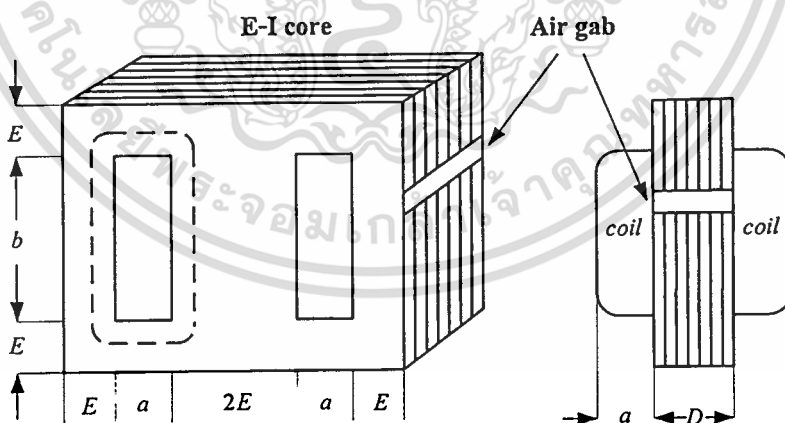
B-H curve สมมุติเริ่มที่จุดศูนย์ เมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กค่าของความหนาแน่นฟลักซ์เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น จนกระทั่งถึงจุด a ที่ความหนาแน่นของฟลักซ์ไม่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ฟลักซ์อิ่มตัว (B_{sat}) หลังจากลดความเข้มสนามแม่เหล็กจนกระทั่งเป็นศูนย์ความหนาแน่นของฟลักซ์จะไม่ตกเป็นศูนย์ตาม ถ้าให้ความเข้มสนามแม่เหล็กกลับทางความหนาแน่นของฟลักซ์จะลดลงเป็นศูนย์และมีคุณสมบัติในทางตรงข้ามเหมือนกัน จึงได้เส้นโค้งในลักษณะตัว S รูปที่ 2.24 แสดงคุณสมบัติของแกนที่ใช้งาน ปกติจะให้ทำงานในช่วงที่เป็นเส้นตรงเพื่อลดการสูญเสีย



รูปที่ 2.24 ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะที่สมมาตรกัน

2.9 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมด้วยแกน EI

รูปร่างของตัวเหนี่ยวนำแกน EI แสดงดังรูปที่ 2.25 ซึ่ง a คือ ความกว้างของช่องว่าง , b คือความยาวของช่องว่าง , 2E คือความกว้างของ torque และ D คือ ความหนาของแกนเหล็ก



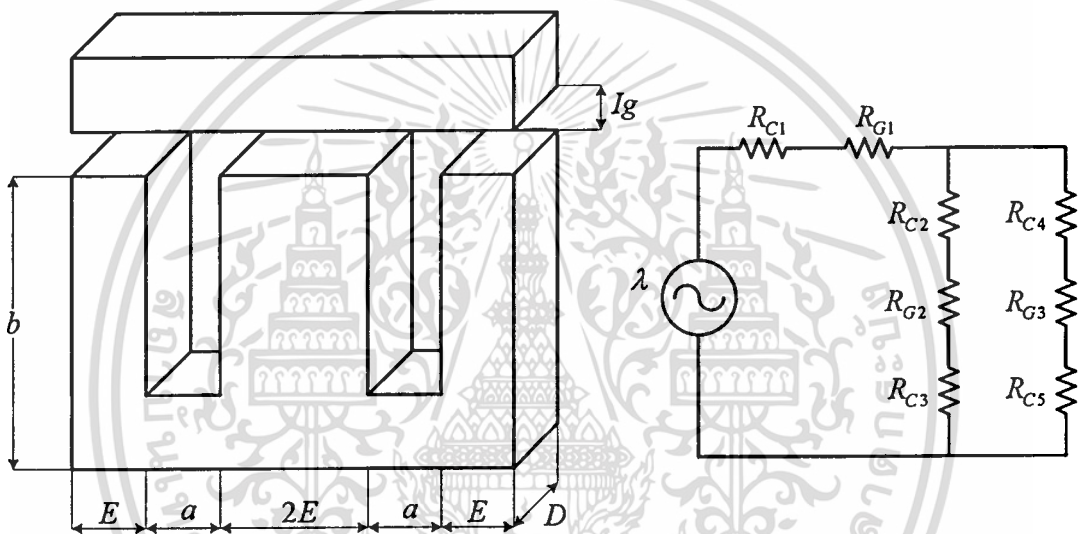
รูปที่ 2.25 E-I Core Configuration

ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) จะเป็นอัตราส่วนระหว่าง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวค้อยทั้งหมดในขดลวด (Flux Linkage) กับกระแสในขดลวด ซึ่งมีหน่วยทางไฟฟ้าเป็น เฮนรี่ (Henry, H) เขียนเป็นสมการได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N\phi}{I} = \frac{NB_{\max}A_cF_s}{I} \quad (2.21)$$

เมื่อ	N	คือ จำนวนรอบของขดลวด
	A_c	คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก
	λ	คือ Flux เกี่ยวคล้อง
	B_{\max}	คือ ความหนาแน่น Flux แม่เหล็ก
	I	คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
	F_s	คือ Stacking factor



รูปที่ 2.26 Magnetic Circuit

$$L = \frac{N^2}{\mathcal{R}} \quad (2.22)$$

$$= \frac{N^2(\mu_1\mu_2ED)}{(2E + a + b)\mu_2 + \mu_1l_g} \quad (2.23)$$

$$= \frac{\mu_0 N^2 ED}{l_g} \quad (2.24)$$

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

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างช่องอากาศ กับค่าความเหนี่ยวนำ (L) จะแปรผกผันกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำแกน EI

นักออกแบบจำเป็นต้องสังเกตในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ ในส่วนของการออกแบบมีสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 อย่าง เพื่อให้ได้รูปร่างของตัวเหนี่ยวนำแกน EI ที่เหมาะสม คือ ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

$$B_{\max} = A_w F_s N = L_d I_p \quad (2.25)$$

ได้เลือก Magnesil (Si 3 % , Fe 97 %) เป็นแกนแม่เหล็กซึ่งถูกใช้ในการออกแบบ ตามตารางที่ 2.2 จะสังเกตได้ว่าลักษณะเฉพาะของ Magnesil คือ มีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูง และความหนาแน่นวัสดุต่ำ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะของแกนแม่เหล็กไฟฟ้า

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

$$\text{พื้นที่ช่องว่าง} \quad \frac{A_w N}{F_w} = ab \quad (2.26)$$

เมื่อ A_w คือ พื้นที่หน้าตัดลวด

ซึ่ง F_w คือ (Window Utilization) คือ พื้นที่ช่องว่างของขดลวดที่เกิดขึ้นบนแกนแม่เหล็กที่นำมาพัน

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

ตัวอย่างของค่านี้นี้ประมาณ 0.4 ซึ่งค่านี้นี้ทำให้แน่ใจได้ว่าค่าของประสิทธิภาพของช่องว่างแกนแม่เหล็กเพียงพอในการพัน

สมการเงื่อนไข (Constrain Function)

จากสมการข้างต้น เราสามารถกำจัดตัวแปร N ได้คือ

$$N = \frac{LI}{B_{\max} A_c F_s} = \frac{ab F_s}{A_w} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{B_{\max} A_c F_s a b F_w}{A_w} - LI = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{B_{\max} (2ED) 3E^2 F_s F_w}{A_w} - LI = 0 \quad (2.29)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ Inequality Constraint คือ

$$\frac{B_{\max} D 6E^3 F_s F_w}{A_w} - LI = 0 \quad (2.30)$$

$$0.002 < E < 0.3$$

$$0.0005 < D < 0.3$$

โดยที่ค่า D และค่า E จะกำหนดให้อยู่ในช่วง feasible เพื่อให้สามารถหาซื้อแกนเหล็กได้ตามท้องตลาด

หลักการออกแบบตัวเหนี่ยวนำโดยทั่วไป

ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductor Design) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบก็คือ การเลือกอุปกรณ์

1. ชนิด ลักษณะ โครงสร้าง และขนาดของแกนเหล็ก
2. ชนิด รูปร่าง ขนาด และจำนวนรอบที่ใช้ในการพันของลวดตัวนำ
3. ชนิดและลักษณะของฉนวน
4. ลักษณะ โครงสร้างของ Case
5. คุณสมบัติทางไฟฟ้า และเชิงกลอื่นๆ

ข้อกำหนด

1. ค่าความเหนี่ยวนำ
2. ขนาดและรูปร่างรวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน
3. กำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพ หรืออุณหภูมิเพิ่ม (T_{risc})
4. คุณสมบัติทางไฟฟ้า และเชิงกลอื่นๆ

ขีดจำกัด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของการออกแบบ

จากขีดจำกัดของแกนแม่เหล็ก (Saturation or Coreloss)

$$B_{\max} = \frac{\phi_{\max}}{S} = \frac{\lambda_{\max}}{S N} = \frac{LI_{\text{peak}}}{S N} \quad (2.31)$$

สนามแม่เหล็กแปรตามกระแส

$$\phi_{\max} = \frac{LI_{\text{peak}}}{N} \quad (2.32)$$

$k.W = N.A_w$ ขีดจำกัดของหน้าตัด ; $k = 0.3 - 0.9$

จากขีดจำกัดของลวดทองแดง โดยคำนึงถึงสูญเสีย (Cu loss: P_{cu})

$$P_{cu} = I_{\text{rms}}^2 \cdot R \quad (2.33)$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A_w} \quad (2.34)$$

$$J = \frac{I_{\text{rms}}}{A_w} \quad (2.35)$$

โดยที่ $J = 100 - 1000 \text{ (A/cm}^2\text{)}$

$$P = 1.724 \times 10^{-8} (\Omega \cdot m)$$

จากคุณสมบัติของวงจรแม่เหล็กและตัวเหนี่ยวนำ

$$L = N^2 P_c = \frac{N^2}{R_c} \quad (2.36)$$

$$R_c = R_m + R_g ; R_c = \frac{l_g}{\mu_0 S} \quad (2.37)$$

$$l_g = \frac{N^2 \mu_0 S}{L} \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การออกแบบ Inductor โดยทั่วไป

ในการออกแบบ Inductor เราจะต้องกำหนดค่าหรือทราบค่าดังต่อไปนี้

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

ขั้นตอนการออกแบบ

1. หาค่าของแรงดัน จากสูตร

$$V = 2\lambda fLI \quad (2.39)$$

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

$$A_i = \frac{\sqrt{VA/2}}{5.58} \quad (2.40)$$

โดยที่ A_i คือพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่มีหน่วยเป็นตารางนิ้ว

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

$$V = 4.44 fN \cdot B \cdot A_i \cdot (2.54)^2 \cdot 10^{-4} \quad (2.41)$$

4. หาขนาดของลวดที่ใช้ในการพัน (A_w) จากสูตร

$$A_w = \frac{I}{J} \quad (2.42)$$

โดย J คือ ค่า Current Density มีหน่วยเป็น (A/mm^2)
 A_w คือ พื้นที่หน้าตัดลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น (mm^2)
 I คือ กระแส มีหน่วยเป็น (A)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{w(total)} = N \times A_w \quad (2.43)$$

6. หาค่าพื้นที่ใช้งานจริง หรือเรียกว่าพื้นที่หน้าต่าง (A_R) จากสูตร

$$A_R = 3a^2 * 25.4^2 \quad (2.44)$$

7. ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดรวมของลวดที่ได้จากข้อ 5 และพื้นที่ใช้งานจริงที่ได้จากข้อ 6 ว่าสามารถพันลวดลงได้หรือไม่ หรือจาเงื่อนไข

$$A_{W (total)} < 0.54A_R \quad (2.45)$$

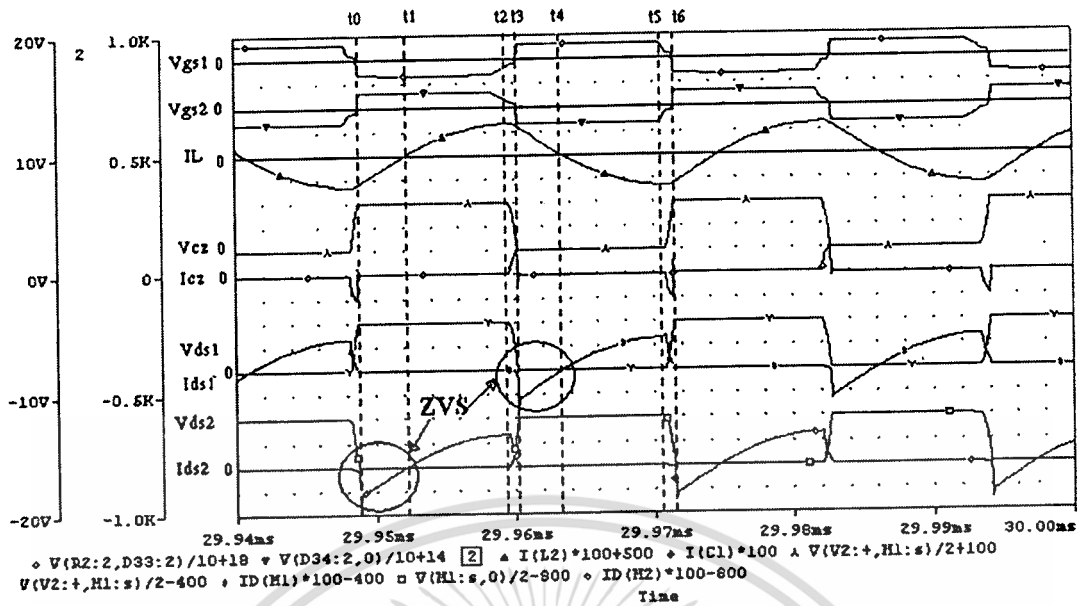
หมายเหตุ ถ้าหากตรวจสอบแล้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจะต้องปรับพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก (A_i) โดยที่เราคงค่าขนาดของแกนเหล็ก (2I) และเปลี่ยนความหนาของแกนเหล็กเพิ่มขึ้น แทนแล้วกลับไปคำนวณหาจำนวนรอบ (N) ตามข้อ 3 ใหม่ โดยที่ค่า A_i ใหม่ในสูตรแล้ว แทนค่า และทำตามขั้นตอนต่อไป

8. หาค่าของช่องว่างอากาศ (gap) จากสูตร

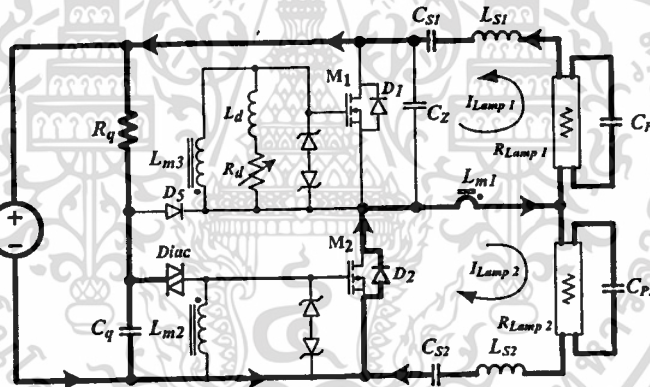
$$g = \frac{N^2 \mu_0 A_i}{2L} \quad (2.46)$$

2.10 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการคุณลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์การใช้งานหลอดร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กและสตาร์ทเตอร์ และได้กล่าวถึงบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีส่วนประกอบและวงจรที่นำมาสร้างอย่างไรและข้อกำหนดของ EMI Filter, วงจรเรคตีไฟเออร์, วงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านอินพุท, วงจรอินเวอร์เตอร์, วงจรขับนำสวิตช์, การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยแกน EI เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์การทำงานและการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้



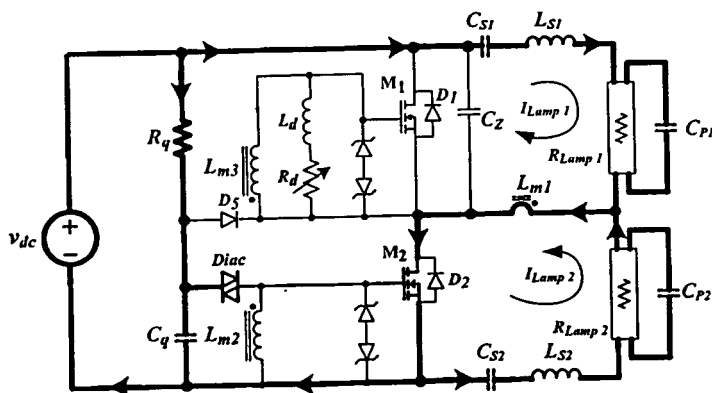
รูปที่3.2 รูปคลื่นจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ที่ขับสวิตช์การทำงานด้วยตัวเอง



รูปที่3.3 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 1

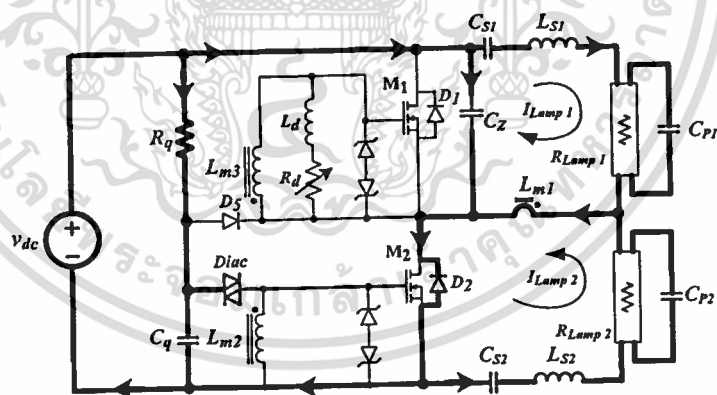
การทำงานสถานะที่ 1 [t_0-t_1] ในรูปที่3.2 เมื่อเริ่มการทำงานที่เวลา t_0 วงจรเริ่มทำงานโดยที่มีแรงดันจ่ายให้ที่ขาเกตของสวิตช์มอสเฟต M_2 เป็นค่าบวกค่อยๆเพิ่มขึ้น ส่วนแรงดันที่จ่ายให้กับ M_1 เป็นค่าลบจึงทำให้สวิตช์มอสเฟต M_1 ไม่สามารถทำงานได้ แต่ทำให้ฟรีวิลลิ่งไดโอด D_2 เริ่มทำงานก่อน หลังจากนั้น กระแสไดโอด D_2 ลดลงเป็นศูนย์ สวิตช์ มอสเฟต M_2 ก็เริ่มทำงาน ดูได้จากกระแส I_{ds2} ในช่วงเวลานั้น ซึ่งเป็นการทำงานของสวิตช์ภาคแรงดันศูนย์ขณะปิดวงจร (Zero Voltage Switching : ZVS) จนกระทั่งที่เวลา t_1 กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัว มีความชันเป็นบวก ทำให้ฟรีวิลลิ่งไดโอด D_2 หยุดการทำงาน ทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านหลอด 1 และหลอด 2 ก็จะไหลตามรูปที่3.3 โดยกระแสจะจากขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟตรงไหลผ่าน D_2 ไปผ่าน L_{m1} ผ่านเข้าหลอดที่ 1 ผ่าน L_{S1}, C_{S1} ครบวงจรที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนในหลอดที่ 2 จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 2

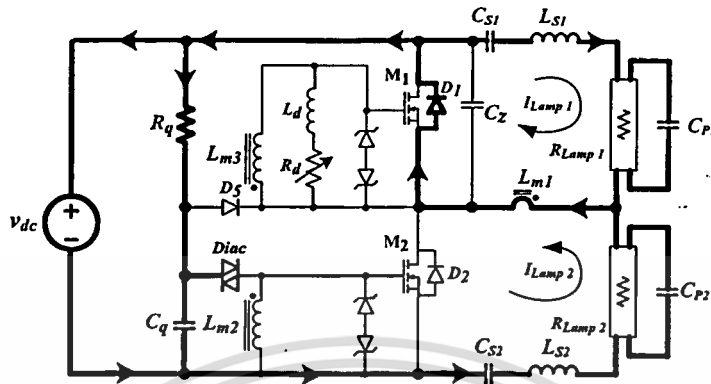
การทำงานสถานะที่ 2 [t_1-t_2] ในรูปที่ 3.2 ที่เวลา t_1 สวิตช์มอสเฟต M_2 ทำงานอยู่และมีการนำกระแสผ่านสวิตช์มอสเฟต M_2 จนกระทั่งใกล้เวลาที่ t_2 แรงดันบวกที่จ่ายให้ขาเกตของสวิตช์มอสเฟต M_2 (V_{gs2}) เริ่มลดลง พร้อมกับกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวเริ่มมีความชันเป็นบวกน้อยลงใกล้ศูนย์ และแรงดันที่ M_2 เริ่มมีการเพิ่มขึ้นแสดงว่าสวิตช์มอสเฟต M_2 ใกล้เข้าสู่สภาวะหยุดการทำงาน ทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านโหลด 1 และโหลด 2 ก็จะไม่ไหลตามรูปที่ 3.4 โดยกระแสจะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟตรงไปผ่าน C_{S1} , L_{S1} ผ่านโหลดที่ 1 ไหลผ่าน L_m และไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต M_2 กลับครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟตรง



รูปที่ 3.5 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 3

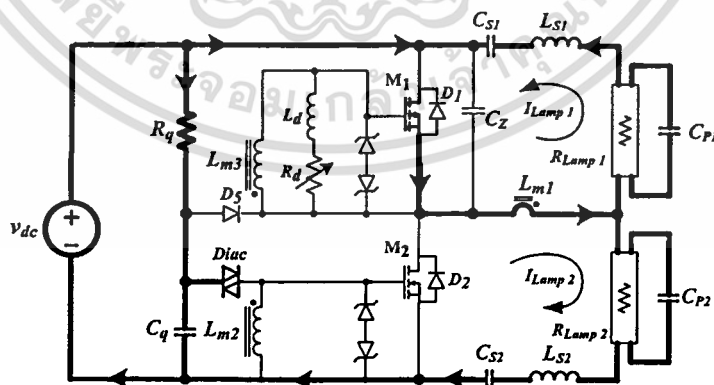
การทำงานสถานะที่ 3 [t_2-t_3] ในรูปที่ 3.2 ที่เวลา t_2 เป็นช่วงที่สวิตช์ M_2 เริ่มหยุดการทำงานเนื่องจากแรงดัน (V_{gs2}) ลดลงใกล้จุดที่ต่ำที่สุดที่ทำให้สวิตช์มอสเฟตทำงานและจะเกิดกระแสรีโชนซ์ไหลผ่าน C_z ทำให้ลดการสูญเสียขณะ M_2 หยุดการทำงานได้และหม้อแปลงอิมตัวทำงานในสภาวะอิมตัวด้วยตาม B-H loop ที่เวลา t_3 แรงดันที่ C_z จะลดลงจนเป็นศูนย์และกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวเริ่มมีค่าความชันเป็นลบในช่วงเวลานั้นเองเป็นช่วงเวลาที่ไม่อาจอธิบายได้ทั้งหมด อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(V_{gs1}) จะเริ่มมีแรงดันเป็นบวกเนื่องจากขั้วของหม้อแปลงอิมตัวนั้นเองและจะทำให้ฟรีวิลลิ่งไดโอด D_1 เริ่มทำงาน ทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านหลอด 1 และหลอด 2 ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 4

การทำงานสถานะที่ 4 [t_3-t_4] ในรูปที่ 3.2 ที่เวลา $t = t_3$ กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวมีความชันเป็นลบทำให้หม้อแปลงด้านทุติยภูมิจะสลับการทำงานกันทำให้ฟรีวิลลิ่งไดโอด D_1 ทำงานก่อน หลังจากนั้นกระแสไดโอด D_1 ลดลงเป็นศูนย์ สวิตช์มอสเฟต M_1 เริ่มทำงาน ซึ่งอยู่ในสถานะสวิตช์ภาคแรงดันศูนย์ขณะเปิดวงจร (ZVS) ที่ $t = t_4$ กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ฟรีวิลลิ่งไดโอด D_1 เริ่มหยุดการทำงานและสวิตช์มอสเฟต M_1 กำลังจะเริ่มนำกระแส ทิศทางของกระแสที่ไหลในวงจรดูในรูปที่ 3.6 กระแสจะไหลจากขั้วลบของแหล่งจ่ายผ่าน C_{s2} , L_{s2} ผ่านหลอดที่ 2 ผ่าน L_m ไหลผ่านฟรีวิลลิ่งไดโอด D_1 ไหลเข้าขั้วบวกครบวงจร กระแสที่ไหลผ่าน หลอดที่ 1 จะอยู่ในรูปดังรูปที่ 3.6

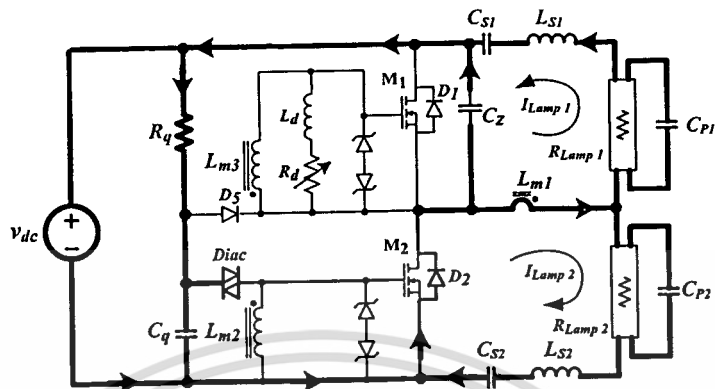


รูปที่ 3.7 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 5

การทำงานสถานะที่ 5 [t_4-t_5] ในรูปที่ 3.2 ที่เวลา $t = t_4$ สวิตช์มอสเฟต M_1 เริ่มนำกระแสผ่านตัวเองและฟรีวิลลิ่งไดโอด D_1 หยุดการทำงานในตอนนี้ความชันของกระแสไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวยังมีค่าเป็นลบอยู่ที่เวลา $t = t_5$ สวิตช์มอสเฟต M_1 นำกระแสอยู่แต่ก็เริ่มนำกระแสลดลง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

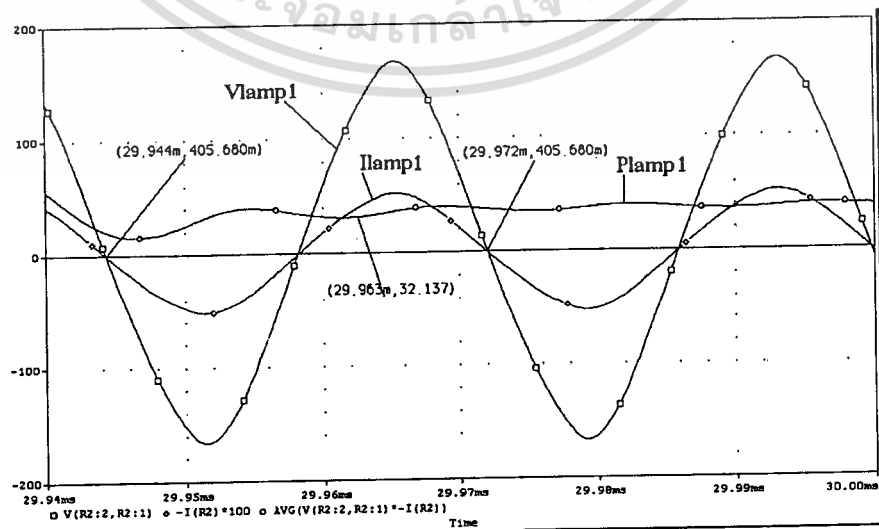
เนื่องจากความชันของกระแสไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวเข้าใกล้ศูนย์สวิตช์มอสเฟต M_1 เริ่มเข้าสู่สภาวะหยุดทำงาน ทิศทางกระแสที่ไหลหลอดที่1 และหลอดที่2 ตามรูปที่ 3.7



รูปที่3.8 การทำงานของวงจรในช่วงการทำงานที่ 6

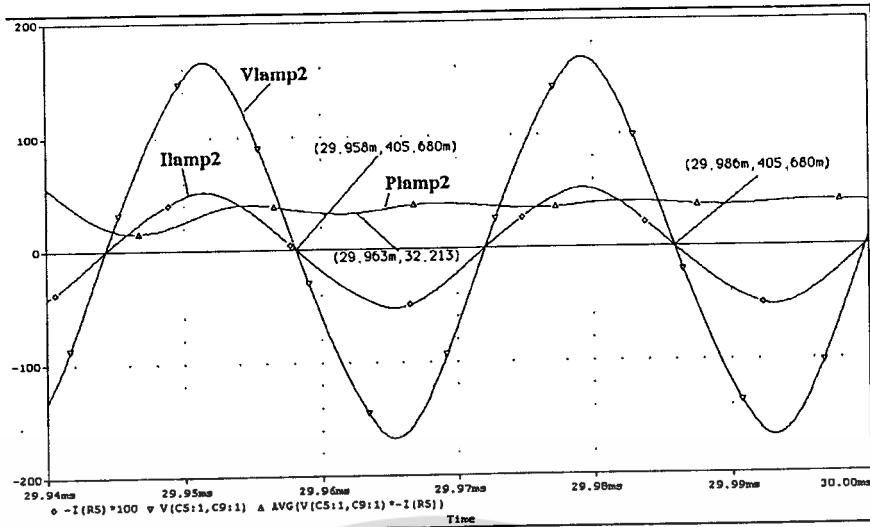
การทำงานสถานะที่ 6 [t_5-t_6] ในรูปที่ 3.2 ที่เวลา t_5 เป็นช่วงเวลาสวิตช์มอสเฟต M_1 หยุดนำกระแสและจะทำให้เกิดกระแสรีโซแนนซ์ไหลผ่าน C_z ขึ้นเป็นการหน่วงเวลาให้ลดการสูญเสียขณะสวิตช์ M_1 หยุดนำกระแสอีกทั้งแรงดันที่ขาเกตของสวิตช์ M_1 ลดต่ำลงจนใกล้หยุดนำกระแสที่เวลา t_6 จะเกิดแรงดันที่ C_z เพิ่มมากขึ้นทำให้กระแสที่ C_z หยุดไหลและกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวมีความชันเป็นบวกทำให้ฟริวิลลิงไดโอด D_2 เริ่มทำงานและแรงดันที่ขาเกตเพิ่มขึ้นจึงทำให้สวิตช์ M_2 ใกล้จะทำงานและก็จะกลับเข้าสู่สถานะที่1-6ในรอบการทำงาน 1 cycle ต่อไป ทิศทางของกระแสดูในรูปที่ 3.8

3.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบฮาล์ฟบริดจ์

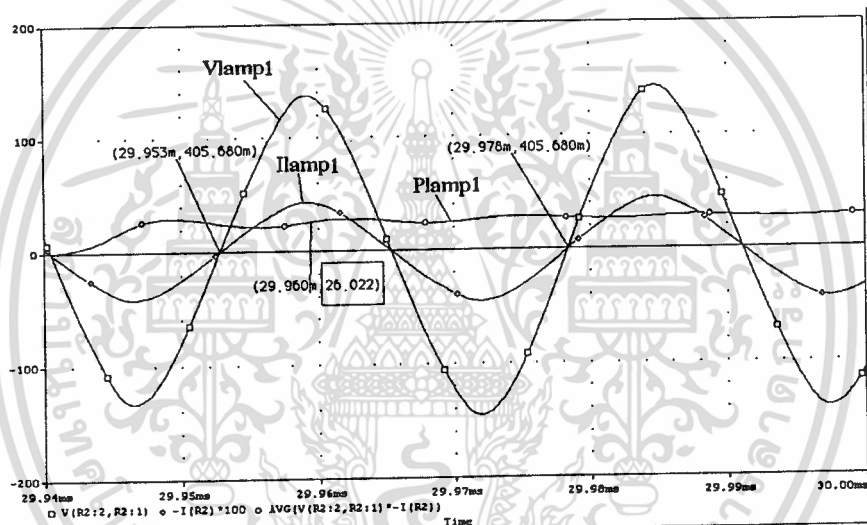


รูปที่3.9 แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่หลอด1 ความถี่ 35 kHz

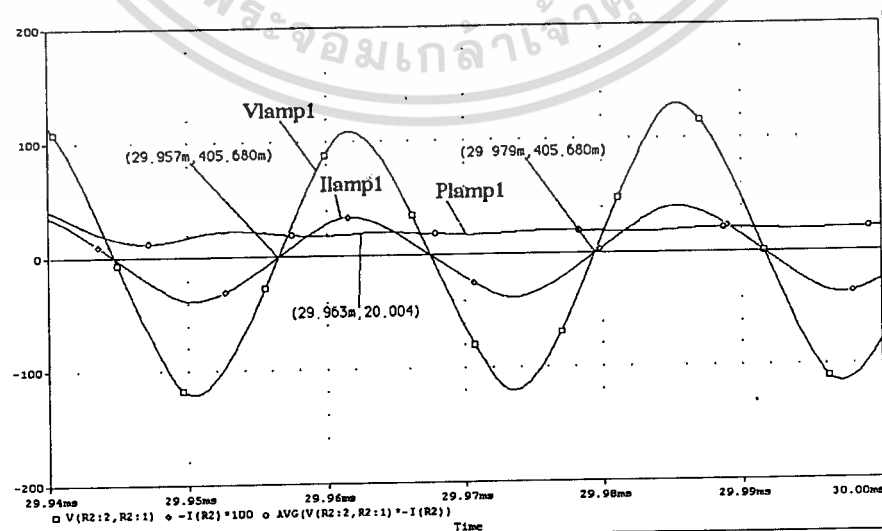
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.10 แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด2 ความถี่ 35 kHz

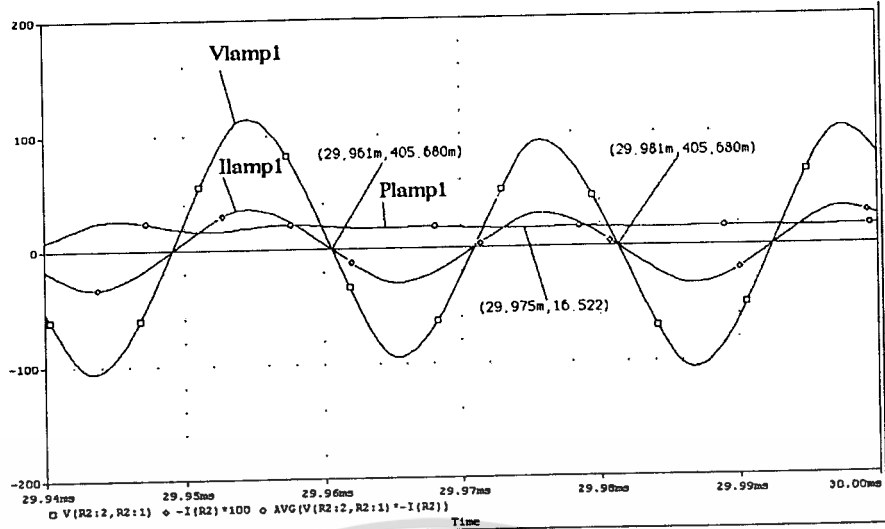


รูปที่3.11 แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด1 ความถี่ 40 kHz

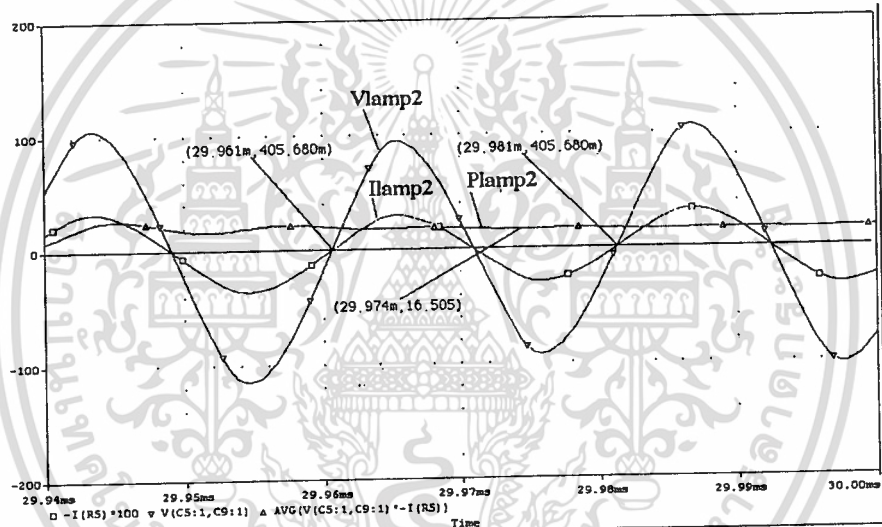


รูปที่3.12 แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่โหลด1 ความถี่ 45 kHz

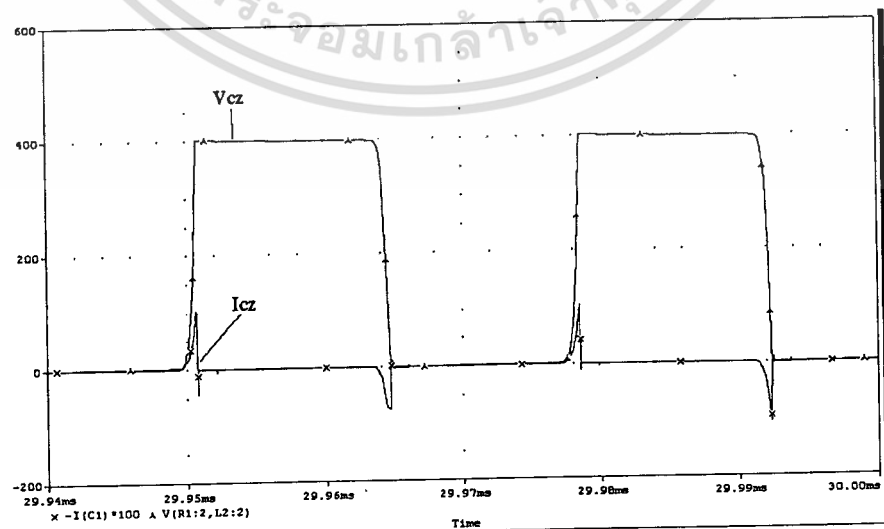
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.13 แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่หลอด1 ความถี่ 50 kHz

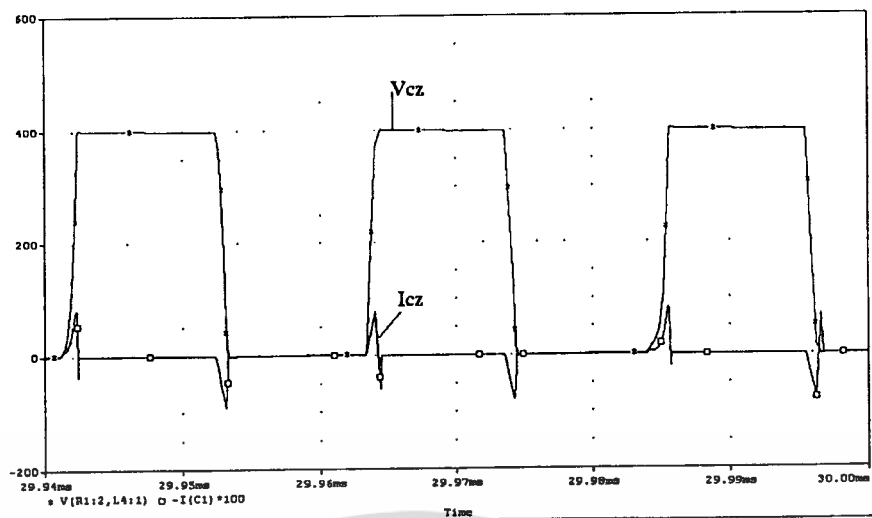


รูปที่3.14 แรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่หลอด2 ความถี่ 50 kHz

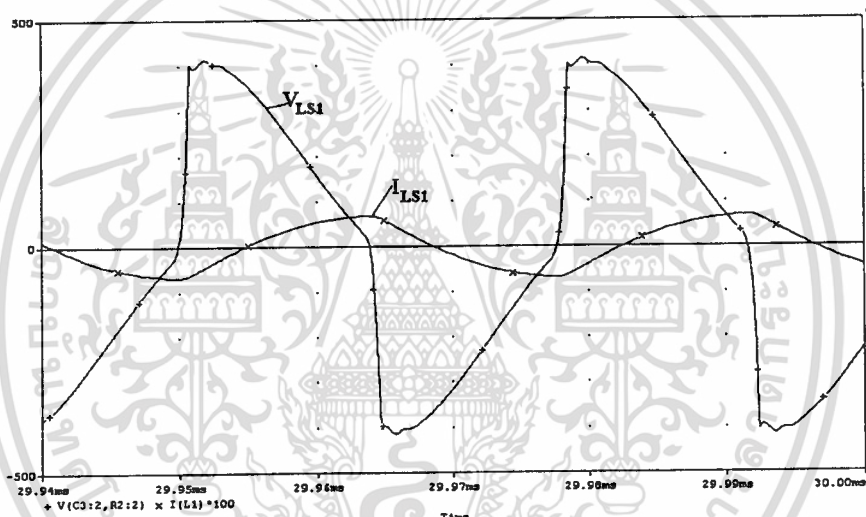


รูปที่3.15 แรงดันและกระแสที่ C_z ความถี่ 35 kHz

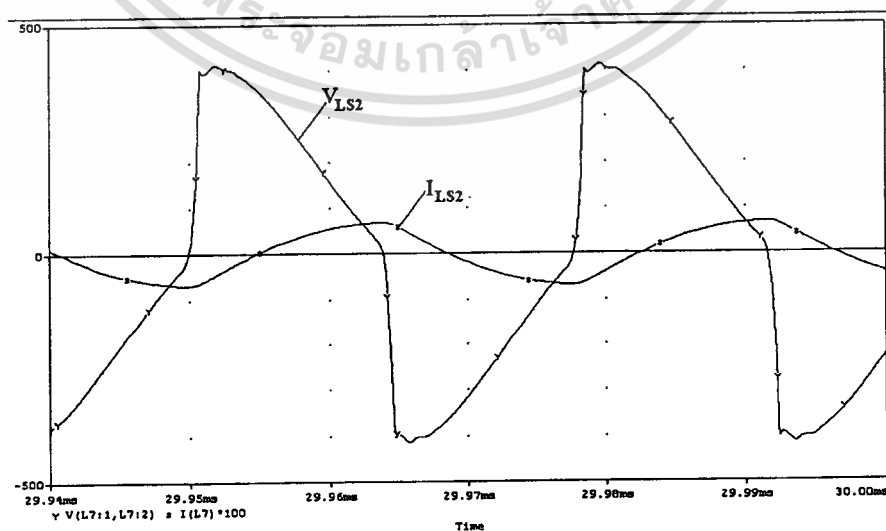
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แรงดันและกระแสที่ C_z ความถี่ 50 kHz

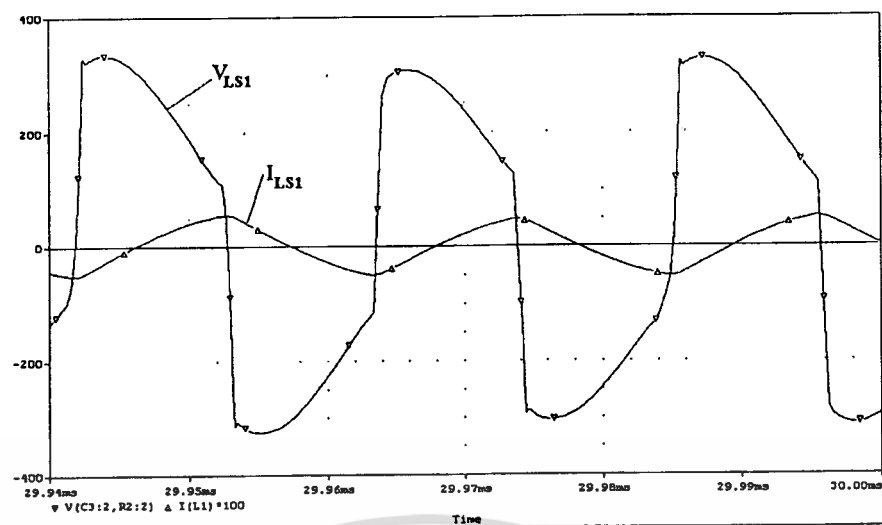


รูปที่ 3.17 แรงดันและกระแสที่ L_{S1} ความถี่ 35 kHz

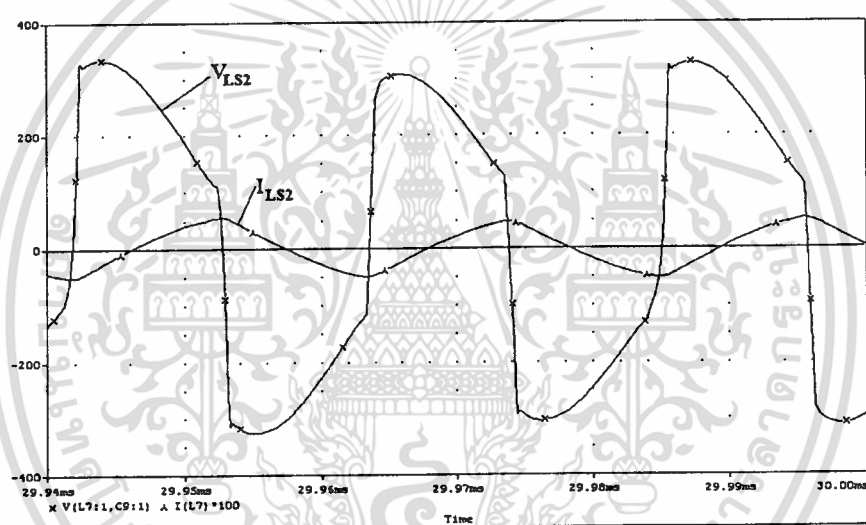


รูปที่ 3.18 แรงดันและกระแสที่ L_{S2} ความถี่ 35 kHz

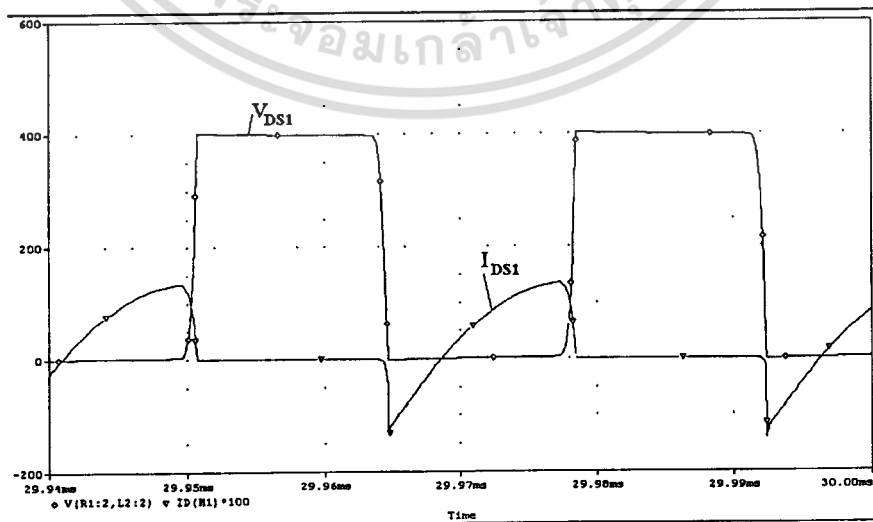
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.19 แรงดันและกระแสที่ L_{S1} ความถี่ 50 kHz

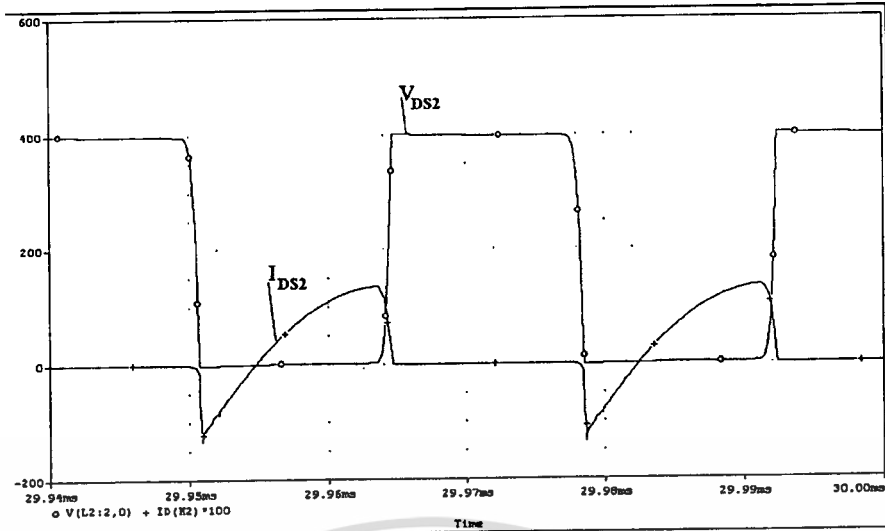


รูปที่3.20 แรงดันและกระแสที่ L_{S2} ความถี่ 50 kHz

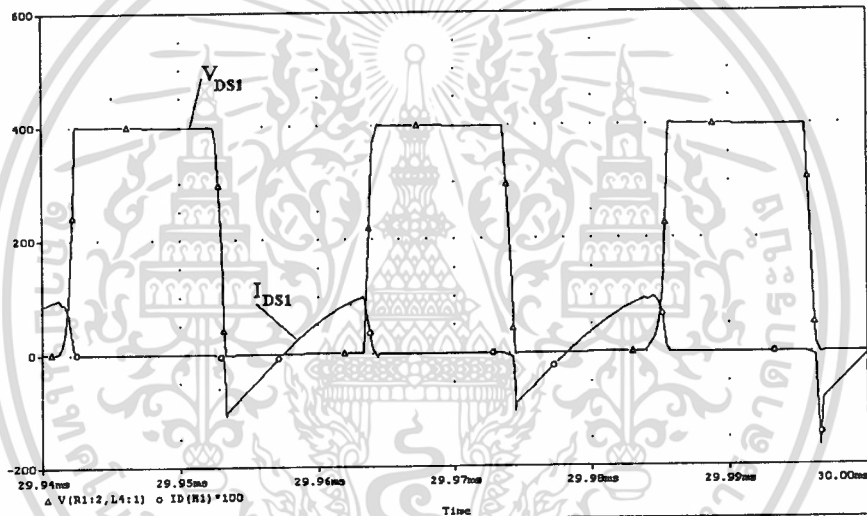


รูปที่3.21 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่1 ความถี่ 35 kHz

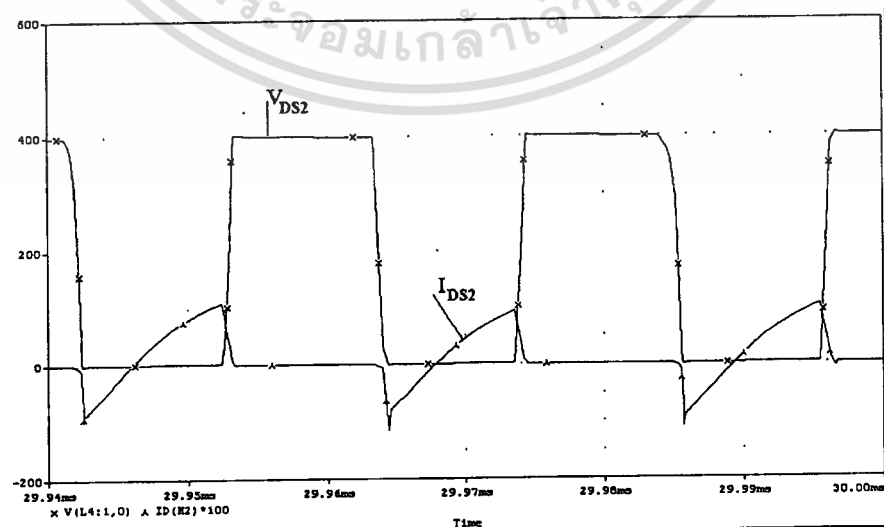
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.22 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่2 ความถี่ 35 kHz

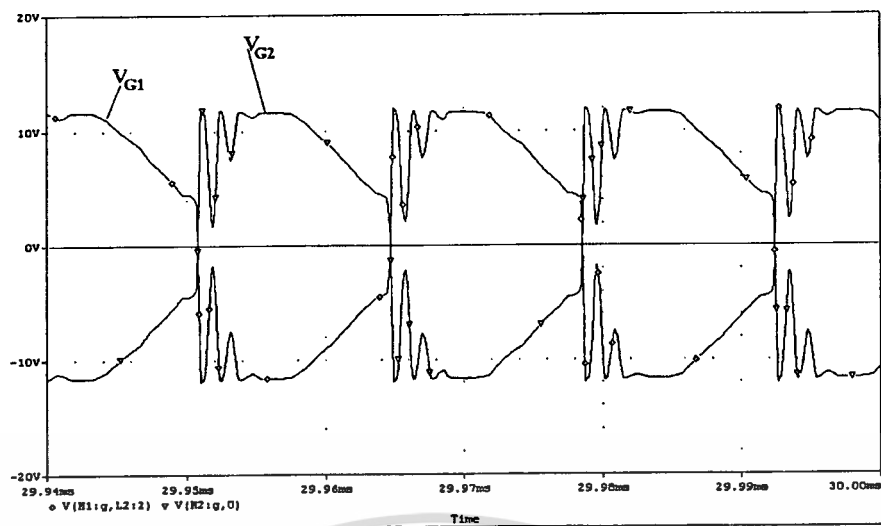


รูปที่3.23 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่1 ความถี่ 50 kHz

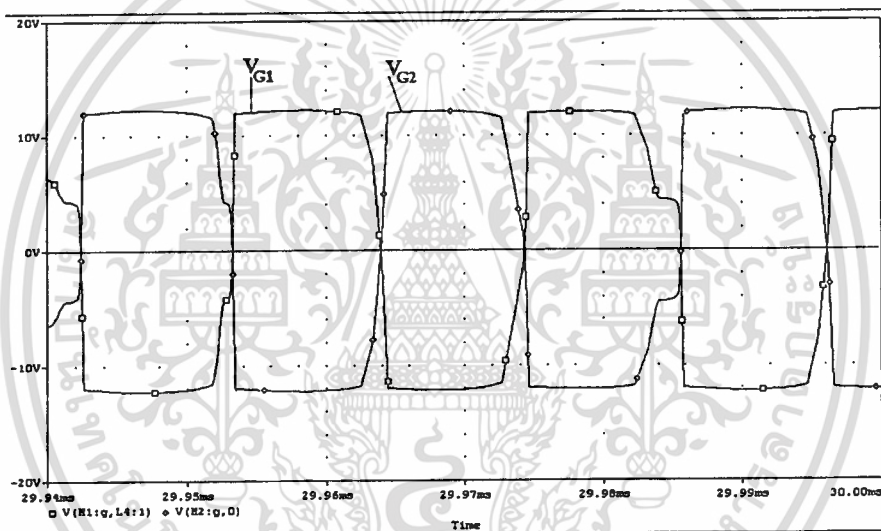


รูปที่3.24 แรงดันและกระแสที่สวิตช์มอสเฟตตัวที่2 ความถี่ 50 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แรงดันขั้วเกตของสวิตช์มอสเฟตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ความถี่ 35 kHz



รูปที่ 3.26 แรงดันขั้วเกตของสวิตช์มอสเฟตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ความถี่ 50 kHz

3.4 การประเมินสมรรถนะของวงจรด้วยค่าดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้า

ดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินคุณภาพของสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท และเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงสมรรถนะการทำงานของวงจรสวิตช์โหมดยาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อทำการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย

3.4.1 แรงดันและกระแสมูลฐานอาร์เอ็มเอส

เป็นค่าอาร์เอ็มเอสขององค์ประกอบความถี่มูลฐานของแรงดัน ($V_{1,rms}$) และกระแส ($I_{1,rms}$) เป็นค่าระดับแรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอสที่ความถี่มูลฐาน ซึ่งเป็นความถี่ของระบบแหล่งจ่าย องค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่สร้างกำลังไฟฟ้าและเป็นองค์ประกอบที่ต้องการใช้

งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รวมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.4.2 แรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอส

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดัน (V_{rms}) และกระแส (I_{rms}) ด้านอินพุทเป็นค่าระดับแรงดัน และกระแสอาร์เอ็มเอสของสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นค่ารวมขององค์ประกอบทุกตัว ทั้งความถี่มูลฐานและฮาร์มอนิกส์

3.4.3 ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า (Input Power Factor: PF)

ลักษณะรูปคลื่นกระแสและมูมต่างเฟสของกระแสและแรงดันทางด้านอินพุท จะเป็นตัวกำหนดค่าตัวประกอบกำลังของวงจร ซึ่งโดยรวมแล้ว ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการให้กำลังงานไฟฟ้าของวงจรนั้นๆ กล่าวคือ วงจรที่มีค่า PF สูงจะให้กำลังงานไฟฟ้าที่ดีกว่าวงจรที่มีค่า PF ต่ำ ดังนั้นวงจรที่มีค่า PF สูงนั้นจึงมีความคุ้มค่าในแง่ของการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ดีกว่าวงจรที่มีค่า PF ต่ำ

3.4.4 ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส (Crest Factor: CF)

สำหรับค่า CF ที่นิยามในวิทยานิพนธ์นี้เป็นค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกระแสอินพุทอาร์เอ็มเอสต่อกระแสพีค ที่รวมผลของฮาร์มอนิกส์โดยอัตราส่วนจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 นั้น หมายถึงสัญญาณนั้นไม่มีความผิดเพี้ยน ส่วนกรณีที่ค่าตัวประกอบความผิดเพี้ยนมีค่าต่ำๆ แสดงว่าเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสมาก

3.4.5 ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์มอนิกส์ (Total Harmonic Distortion: THD)

ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์มอนิกส์ของกระแส (THD) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ถึงความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสด้านอินพุทของแหล่งจ่ายที่แตกต่างกันไปจากองค์ประกอบกระแสความถี่มูลฐาน ในการหาค่า THD นี้จะต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ เพื่อทำการหาองค์ประกอบความถี่มูลฐานและฮาร์มอนิกส์ของรูปคลื่นสัญญาณกระแสอินพุททางด้านแหล่งจ่าย จึงสามารถนำไปเข้าสู่สูตร และหาค่าออกมาได้ โดยค่าดัชนีคุณภาพทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นสมการ ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 นิยามของดัชนีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพรูปคลื่นกระแสอินพุท

ค่า	นิยาม	ค่า	นิยาม
V_{1rms}	$V_{peak} / \sqrt{2}$	I_{1rms}	$I_{peak} / \sqrt{2}$
V_{rms}	$\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}$	I_{rms}	$\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$
PF	$\frac{I_{1rms}}{I_{rms}} \cos \phi$	CF	$\frac{I_{rms}}{I_{pk}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไปว่ากรณี่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้า ได้แก่

1. การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ตั้งแต่185-265 V ได้
 - 1.1 เมื่อแรงดันเปลี่ยนแปลง 1ค่า ก็ทำการวัดค่าต่อไปนี้
 1. แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (V_{IN})
 2. กระแสไฟฟ้าด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (I_{IN})
 3. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (P_{IN})
 4. ตัวประกอบกำลังด้านเข้า (P.F)
 5. ตัวประกอบขอดคลื่น (CF)
 6. ค่าความผิดเพี้ยนจากความเป็นไซน์ (THDi)
 7. แรงดันไฟตรงที่ออกจากวงจรบูสต์ (Vdc)
 8. แรงดันไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือแรงดันที่หลอด1 (V_{lamp1})
 9. กระแสไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือกระแสที่หลอด1 (I_{lamp1})
 10. กำลังไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือกำลังไฟฟ้าที่หลอด1 (P_{O1})
 11. แรงดันไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือแรงดันที่หลอด2 (V_{lamp2})
 12. กระแสไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือกระแสที่หลอด2 (I_{lamp2})
 13. กำลังไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือกำลังไฟฟ้าที่หลอด2 (P_{O2})
 14. ประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (η)

3.5 สรุป

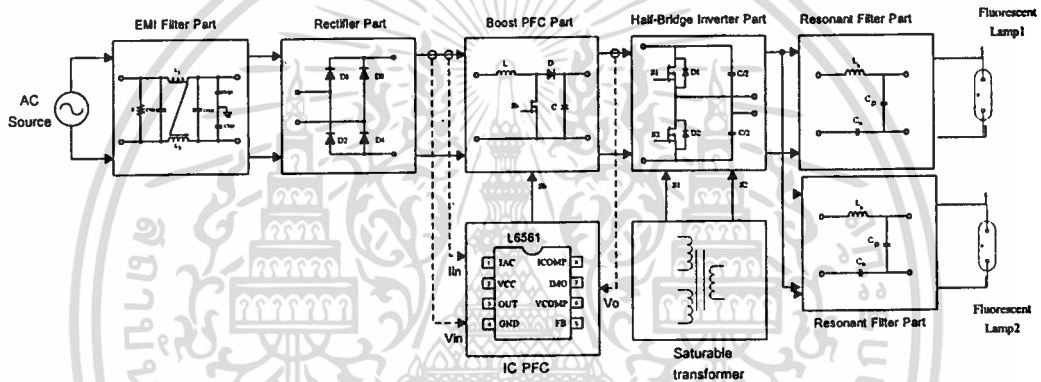
ในบทนี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และหลักการงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2หลอด ที่หรี่แสงได้ โดยใช้ในการออสซิลเลตด้วยตัวเอง กล่าวถึงการจำลองการทำงานและแสดงสถานะการทำงานของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ฮาร์โมนิกส์แต่ละสถานะทั้งครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบในคอนทักซ์ได้แสดงผลการจำลองด้วยโปรแกรม ORCADของสัญญาณแรงดัน, กระแส และสัญญาณขับนำสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์ รวมทั้งการประเมินสมรรถนะของระบบด้วยค่าดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้าของวงจรสวิทช์โหมดฮาร์โมนิกส์คอนเวอร์เตอร์ และมีการออกแบบการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 4

การออกแบบวงจรที่นำเสนอ

4.1 โครงสร้างของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในบทนี้จะเป็นส่วนการออกแบบและการวิเคราะห์หลักการทํางานวงจร เพื่อนำไปสู่การสร้างทั้งวงจรควบคุมและวงจรกำลัง โดยรายละเอียดภายในได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบส่วนต่างๆ ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งได้นำเสนอแนวความคิดรูปลักษณะของเครื่องต้นแบบที่คาดว่าจะสามารถเป็นไว้ด้วย



รูปที่ 4.1 วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการวิจัย ประกอบไปด้วยวงจรดังต่อไปนี้

- 1) วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ (EMI Filter)
- 2) วงจรเรียงกระแส (Rectifier)
- 3) วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)
- 4) วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์ (Half-Bridge Inverter)
- 5) วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Filter)
- 6) วงจรกำเนิดสัญญาณขับนำกระแสของสวิตช์ (Gate Drive Circuit)

ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการวิจัย

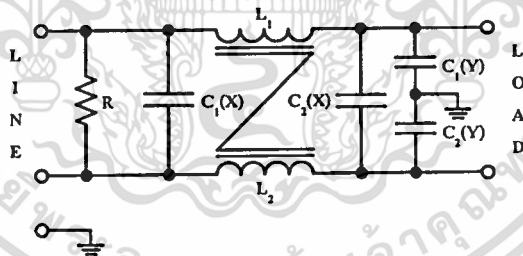
รายละเอียด	ข้อกำหนด
พิกัดแรงดันด้านอินพุท	$185 V_{rms} - 260 V_{rms}, 50 Hz$
พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุท	$65 W$ 2 หลอด
แรงดันไฟฟ้า DC link ของวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์	$400 Vdc$

4.2 วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ (EMI Filter)

ในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยมีการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและความถี่สูงๆ อย่างฉับพลัน ด้วยการทำงานดังกล่าวทำให้มีการสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) ขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของระบบวงจรตัวเองหรือระบบใกล้เคียงเกิดการผิดพลาด ถ้าระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่มากเกินไปอุปกรณ์หรือระบบจะรับได้ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเป็นสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated) และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางตัวนำ (Conducted)

1. ลักษณะวงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์

ดังนั้นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องมีวงจรฟิเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป คือ การต่อ LC ฟิเตอร์คั่นอยู่ที่อินพุตกับระบบแรงดันไฟสลับเพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งโหมคความแตกต่างและโหมคร่วม การต่อวงจร LC ฟิเตอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แบบพาย (π) หรือ แบบที (T) ตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ แบบ π เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า ประหยัด และมีวงจรที่ง่าย

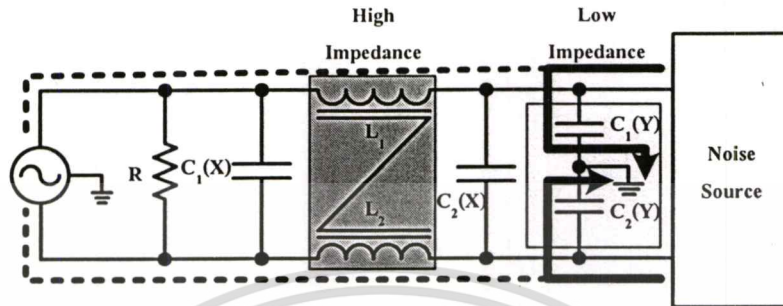


รูปที่ 4.2 ลักษณะการต่อ LC ฟิเตอร์ (แบบ π) เพื่อลดสัญญาณรบกวน

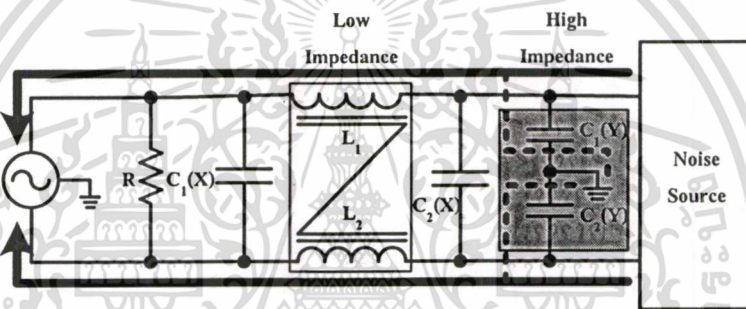
2. หลักการของวงจรอีเอ็มไอ ฟิเตอร์

ตามรูปที่ 4.2 ตัวเก็บประจุ $C(X)$ ที่อยู่ในวงจรจะมีผลในการลดทรานเซียนต์ $C_1(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดในสายไฟสลับไม่ให้ผ่านเข้าหาจวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วน $C_2(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากวงจรอินเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังสายไฟสลับได้ วงจรฟิเตอร์จะเป็นส่วนป้องกันสัญญาณความถี่สูงจากอินเวอร์เตอร์ส่งผ่านเข้าสู่ระบบแหล่งจ่ายไฟภายนอก ดังนั้นจากลักษณะของวงจรเมื่อมีสัญญาณความถี่สูงกว่าในย่านการทำงานของวงจรที่ถูกกำหนดให้ผ่านได้ (Cutoff Frequency) โดยจะกำหนดไว้ให้มีค่ามากกว่า 9 เท่าของความถี่ไลน์แต่ไม่เกินความถี่ตามมาตรฐานกำหนดของแต่ละประเภทอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ส่งผ่านมาจากวงจรอินเวอร์เตอร์จะไม่สามารถผ่านออกสู่ภายนอกได้เนื่องจากค่าอินดักแตนซ์ L_1 หรือ L_2 มีค่าสูงมาก ($X_L = 2\pi fL$)

สัญญาณความถี่สูงดังกล่าวจะไหลผ่านตัวเก็บประจุ $C_1(Y)$ หรือ $C_2(Y)$ เข้าสู่ระบบกราวด์แทน เพราะค่าคาปาซิแตนซ์มีค่าต่ำลง ($X_C = 1/(2\pi fC)$) ซึ่งแสดงให้เห็นเส้นทางการไหลของสัญญาณความถี่สูงและต่ำได้ตามรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่สูง



รูปที่ 4.4 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่ต่ำ

3 การออกแบบวงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์

การกำหนดค่าอุปกรณ์ ตัวต้านทาน R ที่ต่ออยู่ในวงจรมีไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุชนิด “X” คายประจุทิ้งไปได้ ตามมาตรฐานความปลอดภัยทั่วไปกำหนดว่าถ้าค่าตัวเก็บประจุชนิด “X” มีค่าตั้งแต่ 0.1 ไมโครฟารัดขึ้นไป ตัวต้านทาน R จะต้องมีค่าเท่ากับ

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

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

ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจร LC ฟิลเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุทของฟิลเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับและค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุทของฟิลเตอร์กับอินพุทของอินเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามาก อัตราลดทอนสัญญาณรบกวนจะเป็นไปได้มากด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรฟิลเตอร์แบบพาย (รูปที่4.2) ซึ่งมีส่วนประกอบและคุณสมบัติของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) ตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y”

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

2) ตัวเก็บประจุชนิด “X” (X-capacitor)

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

3) ตัวเก็บประจุชนิด “Y” (Y - capacitor)

ยอมให้ใช้ได้ตำแหน่งที่อาจทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูด ถ้าตัวเก็บประจุเกิดทะเลหรือทำงานผิดพลาด ตัวเก็บประจุชนิด “Y” จัดเป็นอุปกรณ์ที่เสี่ยงกับความปลอดภัยจึงต้องมีมาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยสูง และต้องมีโครงสร้างที่ป้องกันการลัดทะเลได้ดี ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิด “Y” ต้องมีค่าต่ำเพื่อจำกัดกระแสรั่วไหลหรือจำกัดกระแสดิซชาร์จจากตัวเก็บประจุชนิด “Y” ลงดิน (ตามมาตรฐานความปลอดภัยเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทั่วไปจะต้องมีกระแสรั่วลงดินน้อยกว่า 0.5 มิลลิแอมป์)

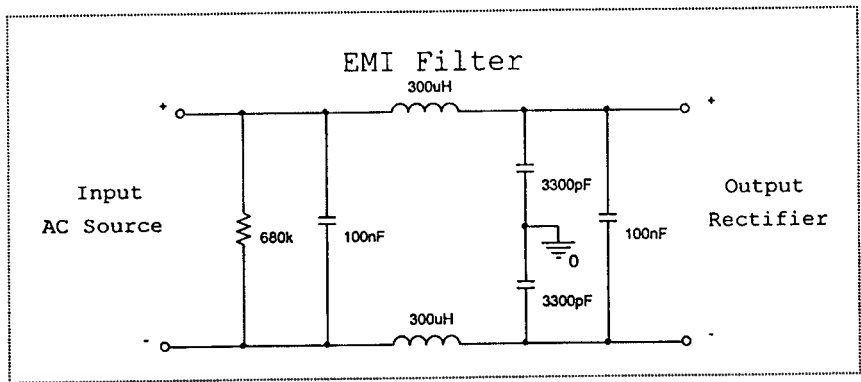
4) ตัวเหนี่ยวนำ

ตามวงจรตัวเหนี่ยวนำจะต่ออนุกรมกับวงจร เพราะฉะนั้นการออกแบบจะต้องใช้เส้นลวดที่ทนกระแสสำหรับจ่ายโหลดได้ ตัวเหนี่ยวนำ L₁ และ L₂ หรือ L₃ และ L₄ จะพันอยู่บนแกนเดียวกัน ซึ่งมีทิศ-ทางการพันขดลวดสวนทางกัน โดยทั้ง 2 จะมีค่าเท่ากันในแต่ละคู่ ส่วนแกนเหล็กที่จะนำมาใช้งานจะต้องเป็นแกนสำหรับใช้งานกับความถี่สูง ได้แก่ แกนที่ทำจากสาร Ferrite ซึ่งอาจเป็นแกนทรงกลม (toroids) หรือ ชนิด EE หรือ EI ก็ได้ ส่วนค่าของตัวเหนี่ยวนำจะได้อาจมาจากการทดลอง

การกำหนดค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ จะได้อาจมาจากการปรับแต่งค่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาทดลองและตรวจสอบตามมาตรฐานในทุกๆขั้นตอนการทำงาน ของวงจร ถ้าผลที่ทดสอบได้เท่าหรือต่ำกว่าระดับมาตรฐานจะถือได้ว่าเป็นค่าที่ใช้งานได้ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ค่ามาตรฐานย่านความถี่แถบ A ในการตรวจสอบการทำงานของวงจรในรูปแบบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ

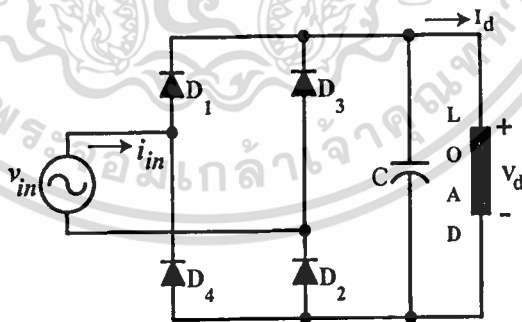


รูปที่ 4.5 วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ

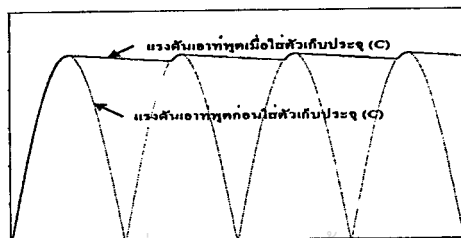
4.3 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

1 หลักการทำงานของวงจรเรียงกระแส

ในส่วนของวงจรนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ไดโอดเป็นตัวเปลี่ยนขนาดและทิศทางของไดโอด ขึ้นอยู่กับทิศทางของโหลดที่ต้องการ ไดโอดประเภทนี้จะเป็นชนิด Rectifier diode ที่ไม่จำเป็นต้องมีความไวในการทำงานสูงนักถ้าทิศทางกำลังของโหลดมีค่าสูงๆ ไดโอดที่จะนำมาใช้จะต้องมีพิคสูงด้วย ซึ่งไดโอดเหล่านั้นจะถูกเรียกว่า ไดโอดกำลัง (Power diode) รูปแบบวงจรจะถูกแบ่งตามชนิดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า คือชนิดสามเฟสและหนึ่งเฟสเนื่องจากในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้รับไฟฟ้าด้านอินพุตขนาด 220 V 1 เฟส วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)



รูปที่4.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



รูปที่4.7 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของวงจรเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 4.6 เป็นวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่น ประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว คือ D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 จากวงจรจะเห็นได้ว่าทางด้านโหลดต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่อนข้างราบเรียบ ในการทำให้แรงดันนั้นเรียบได้จะใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor) ต่อขนานด้านเอาต์พุต ตามรูปที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของวงจร ซึ่งจะเห็นว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเมื่อต่อตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันเอาต์พุตให้เรียบขึ้น จะพบว่าริปเปิล (Ripple : ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตต่ำสุดกับสูงสุด) ของแรงดันจะมีค่าน้อยกว่า นั่นคือแรงดันมีความราบเรียบมากกว่า (ตัวเก็บประจุมีขนาดเท่ากัน) แต่ถ้าต้องการกรองให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรครั้งคลื่นให้มีความราบเรียบเท่ากับแบบเต็มคลื่นจะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่งผลให้วงจรเรียงกระแสมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นให้คุณภาพแรงดันเอาต์พุตดีกว่าแบบครึ่งคลื่น แต่ใช้อุปกรณ์และวงจรมีความซับซ้อนมากกว่า เนื่องจากการทำงานของโหลดโดยส่วนใหญ่ต้องการคุณภาพของแรงดันที่ดี อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบทั้งราคาและขนาดของตัวเก็บประจุกับไดโอดที่เพิ่มเข้ามา พบว่าการเพิ่มไดโอดประหยัดมากกว่า เพราะฉะนั้นวงจรเรียงกระแสที่นิยมใช้งานกันโดยทั่วไปจึงเป็นแบบเต็มคลื่น

$$V_{\text{ripple}} = \sqrt{V_{d,\text{rms}}^2 - V_{d,\text{avg}}^2} \quad (4.2)$$

โดยที่ $V_{d,\text{rms}}$ คือ ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันเอาต์พุต (โวลต์)

$V_{d,\text{avg}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุต (โวลต์)

2 การออกแบบวงจรเรียงกระแส

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นใส่ตัวเก็บประจุกรองแรงดันค่าน้อยๆ ที่ไม่สร้างผลกระทบกับการผิบนูนของรูปคลื่นกระแสอินพุตเอาไว้สะสมพลังงานคืนกลับและป้องกันการแกว่งของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง อันเนื่องมาจากวงจรอินเวอร์เตอร์มีการทำงานที่ความถี่สูงและมีโหลดเป็นแบบเรโซแนนซ์

ข้อพิจารณาในการเลือกไดโอด

ไดโอดที่เลือกใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 5 ประการ

- 1) ต้องสามารถทนกระแสกระชากได้
- 2) ต้องสามารถทนกระแสสูงสุดได้ชั่วขณะ
- 3) อัตราทนกระแสไบแอสตรง
- 4) อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Bias : PRB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่หรืออัตราการทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage: PIV) จะโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม 5) กระแสรั่วไหล (Leakage Current) จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นไดโอดกำลัง โดยพิกัดกำลังหาได้ตามสมการคือ

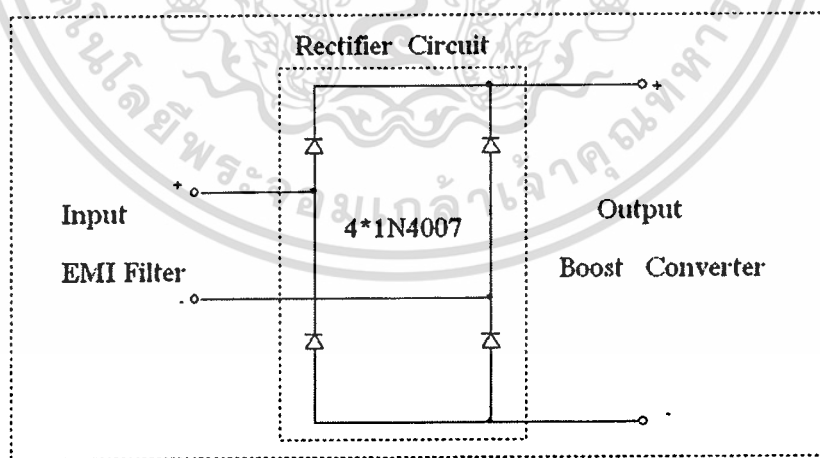
$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in} \cdot \cos \phi \tag{4.3}$$

- โดยที่
- P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าด้านอินพุต (วัตต์: W)
 - v_{in} คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์: V)
 - I_{in} คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์: A)
 - $\cos \phi$ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง

ตามคุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้เป็น

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	65	วัตต์
ด้านอินพุตรับไฟฟ้ากระแสสลับ	220	โวลต์
ตัวประกอบกำลังอย่างต่ำสุดมีค่า	0.95	
จากสมการที่ 4.3 จะได้		
กระแสที่จะไหลผ่านไดโอด	0.311	แอมป์

แต่เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีการทำงานแบบสวิชชิ่งซึ่งดังนั้นจึงกำหนดให้ไดโอดทำงานที่ 70 % ของพิกัดตัวเอง จะได้ว่าไดโอดที่ควรเลือกมาใช้งานจะมีพิกัดกระแสอยู่ที่ 0.528 แอมป์ ดังนั้นจึงเลือกไดโอดเบอร์ 1N4007 พิกัดขนาด 1000 V 1 A 4ตัว ซึ่งหาซื้อตามท้องตลาดได้ง่าย

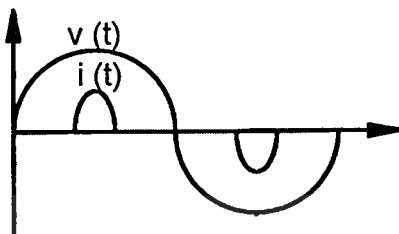


รูปที่ 4.8 วงจรเรียงกระแสที่ได้จากการออกแบบ

4.4 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)

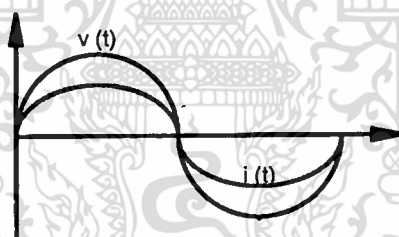
สัญญาณรูปคลื่นที่ออกมาจากวงจรเรียงกระแสจะมีค่าค่าตัวประกอบกำลังต่ำ(ประมาณ 0.5 - 0.7) มีฮาร์โมนิกส์และกระแสกระเพื่อมสูง ถ้าหากต้องการให้สัญญาณมีความราบเรียบยิ่งขึ้น การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณทำได้โดยการต่อ

ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณ (Capacitor Filter) ขนานกับส่วนเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส เมื่อวงจรเรียงกระแสทำงานแรงดันของแหล่งจ่ายมีค่ามากกว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุ ทำให้กระแสถูกดึงจากแหล่งจ่ายเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นรูปคลื่นกระแสจะเป็นสัญญาณไซน์ที่สั้นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากแหล่งจ่ายก่อนการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

แม้ว่าการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับวงจรเรียงกระแส ทำให้สัญญาณมีความเรียบมากขึ้นแต่ก็ทำให้ค่ากระแสพิกและกระแสอาร์เอ็มเอส ของทางด้านอินพุตมีค่าสูงมากขึ้นเกิด Over Current ในสายนิวตรอนและในระบบไฟฟ้าดังนั้นจึงใช้หลักการสวิตซิ่ง (PFC Preregulator) ต่อบริเวณวงจรเรียงกระแสกับตัวเก็บประจุ เพื่อลดทอนกระแสหลักที่เป็น Quasi-sinusoidal ทำให้รูปคลื่นกระแสมีเฟสใกล้เคียงรูปคลื่นแรงดันมากที่สุด ค่าตัวประกอบกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่งดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสจากแหล่งจ่ายที่ทำการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง และการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณ มีวิธีการปรับปรุงแก้ไข 2 วิธี คือ

1. การปรับปรุงแบบพาสซีฟ (Passive Method)

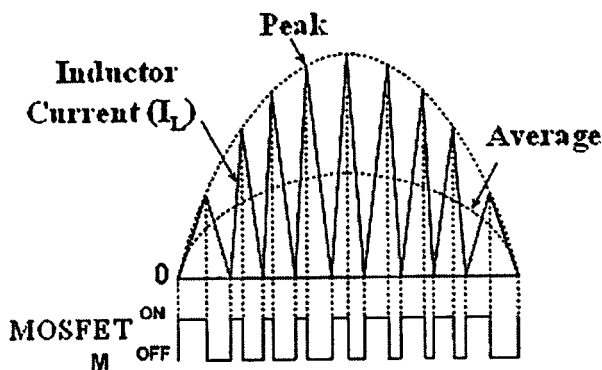
การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง และการลดทอนความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ด้วยวิธีการแบบพาสซีฟ จะใช้อุปกรณ์จำพวกรีแอคทีฟ เช่น ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ เป็นอุปกรณ์หลักของวงจร

2. การปรับปรุงแบบแอคทีฟ (Active Method)

เป็นการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสตรงมารวมใช้งานโดยต่อบริเวณวงจรเรียงกระแสและตัวเก็บประจุ ใช้หลักการสร้างสัญญาณสวิตซิ่ง

จากวงจรควบคุม สัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมจะแปรผันตามค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณในการสร้างสัญญาณขับเคลื่อนของมอสเฟต

1) การควบคุมกระแสไฟฟ้าด้านเข้า

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวจรรยาบรรณคอนเวอร์เตอร์ในรูปที่ 4.11 จะมีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้าตรงคลื่นไซน์ฟูลเวฟซึ่งได้จากวงจรเรียงกระแสไดโอด โดยมีแหล่งจ่ายทางด้านเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้าสลับคลื่นไซน์ ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าด้านเข้าที่ไหลเข้าสู่ตัวจรรยาบรรณคอนเวอร์เตอร์นี้ซึ่งก็คือกระแส i_L ที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ L ให้มีคลื่นเช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้าตรงคลื่นไซน์ฟูลเวฟ v_{in} ที่อยู่ด้านหลังวงจรเรียงกระแสไดโอดนี้และมีเฟสตรงกันก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าสลับด้านเข้าเป็นคลื่นไซน์เช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้าสลับคลื่นไซน์ด้านเข้าด้วยและจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียง 1 ดังนั้นสัญญาณอ้างอิงที่จะใช้ในการควบคุมกระแส i_L ก็คือกระแสอ้างอิง i_{MO} ซึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นเช่นเดียวกับแรงดัน v_{in} และมีเฟสตรงกัน โดยปกติแล้วกระแส i_L ที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรกำลังจะมีค่าสูงกว่ากระแสอ้างอิงซึ่งอยู่ในส่วนของวงจรควบคุม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดกระแสลงและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน ส่วนปริมาณกระแสอ้างอิงจะถูกขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดันเช่นเดียวกันโดยใช้ตัวต้านทาน ดังนั้นกระแสทั้งสองเมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดันแล้วก็จะอยู่ในระดับปริมาณเดียวกัน ซึ่งผลต่างของกระแสทั้งสองที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า จะถูกป้อนให้กับ Current error amplifier ซึ่งเป็นวงจรควบคุมแบบ PI โดยจะพยายามควบคุมให้ผลต่างของกระแสทั้งสองมีค่าน้อยที่สุด โดยการปรับความกว้างของสัญญาณ PWM ซึ่งต่ออยู่กับวงจรขับเคลื่อนเพื่อใช้ในการขับสวิตช์มอสเฟตของตัวจรรยาบรรณคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นความกว้างของสัญญาณ PWM นี้จะได้รับการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรควบคุมแบบ PI กับสัญญาณฟันเลื่อยในแต่ละคาบเวลาของความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ ซึ่งความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์นี้จะมีค่าคงที่ดังรูปที่ 4.12

2) การควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออก

เมื่อต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าคงที่อันเนื่องมาจากการดึงกระแสของโหลด จึงจำเป็นต้องเพิ่มส่วนของการควบคุมแรงดันทางด้านออกดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนกลับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมายังวงจรที่ใช้ควบคุมแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ป้อนกลับเข้ามานี้จะถูกลดระดับลงเพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ผลต่างของแรงดันทั้งสองจะถูกขยายสัญญาณเพื่อไปกำหนดค่าของปริมาณกระแสอ้างอิงที่เป็นคลื่นไซน์ ซึ่งจะเป็นตัวบังคับปริมาณการดึงกระแสไฟฟ้าด้านเข้าให้เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดที่ต่ออยู่ทางด้านออกเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าคงที่

3) การชดเชยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

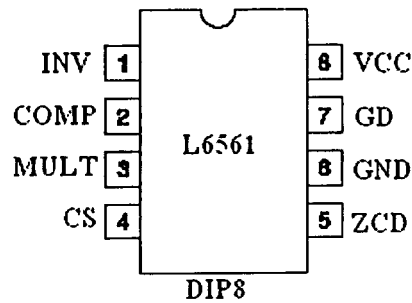
เมื่อกระแสอ้างอิง i_{MO} มีลักษณะรูปคลื่นเช่นเดียวกับแรงดัน v_{in} และมีเฟสตรงกันดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ (1) ดังนั้นเราสามารถใช้รูปคลื่นของแรงดัน v_{in} ซึ่งเป็นคลื่นไซน์แบบฟลูวเฟ แทนแหล่งกำเนิดกระแส i_{MO} ได้ ดังในรูปที่ 4.11 โดยที่สัญญาณทางด้านออกของวงจรจะอยู่ในรูปของกระแส

4.4.2 การออกแบบวงจรวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

ในงานวิจัยนี้เลือกการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟ โดยใช้ไอซีทำหน้าที่สร้างสัญญาณในการขับสวิตช์ให้กับวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้งาน ไอซีเบอร์ L6561 (Power Factor Corrector) ดังรูปที่ 4.13

คุณสมบัติของไอซี L6561

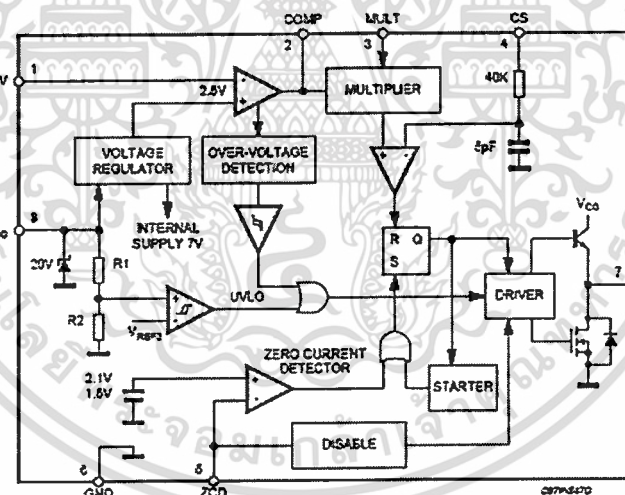
1. ใช้งานได้ที่แรงดันอินพุทในช่วงกว้างตั้งแต่ 185-265 โวลต์ มีค่า THD ต่ำ
2. สำหรับการป้อน แรงดันย้อนกลับ มี Low Pass Filter ภายในตัวจึงไม่ต้องต่อจากภายนอกช่วยลดอุปสรรคในการคำนวณ
3. มี Under Voltage Lockout ด้วย Hysteresis
4. ใช้กระแสขณะเริ่มต้น (Start up Current) และกระแสระหว่างการทำงาน (Stand by Current) ต่ำ (μA) จึงไม่สิ้นเปลืองพลังงานมากนอกจากนี้ยังให้กระแสเอาต์พุทสำหรับการขับสวิตช์ MOSFET มีค่า $\pm 400mA$
5. อุปกรณ์ภายในมีความคลาดเคลื่อนเพียง 1%
6. ส่วนที่มีความเสียหายจะถูกตัดออกและมีการลดกระแสเลี้ยงวงจร
7. มีระบบป้องกันแรงดันเกิน (Over Voltage) 2 ระดับ
8. มี RC Filter สำหรับ Current sense
9. มีขาต่อร่วมใช้งาน 8 ขา



รูปที่ 4.13 ตัวถังของไอซี L6561

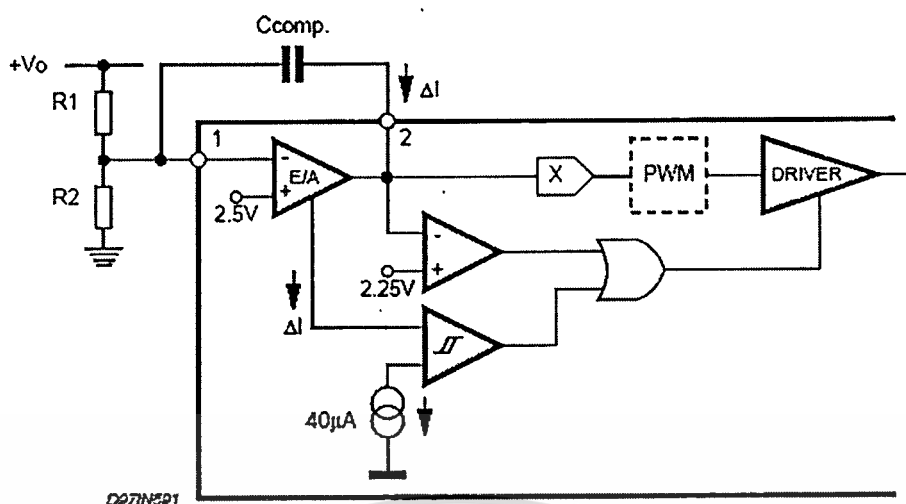
วงจรการทำงานภายในของไอซี L6561

เริ่มจากการทำงานของ Error Amplifier (E/A) โดยเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ได้มาจากการแบ่งแรงดันกันระหว่างตัวต้านทาน 2 ตัวที่ต่อภายนอกที่ขา 1 (INV) กับแรงดันอ้างอิงภายใน (2.5 โวลต์) สร้างเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ต่างกัน (Error Signal) ของ E/A และจะต่อตัวเก็บประจุภายนอกที่ขา 2 (COMP) เพื่อใช้สำหรับแก้ไขความถี่โดยต้องมีช่วงความถี่ (Bandwidth) ที่แคบ เพราะเอาต์พุตของ E/A ต้องคงที่ เพื่อให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่สูง



รูปที่ 4.14 วงจรภายในของ ไอซี L6561

ในส่วนของการป้องกันแรงดันเกินจะทำงาน โดยอาศัยกระแสเอาต์พุตของ E/A โดยมีการป้องกันแรงดัน 2 ระดับ คือ Soft Breaking ทำงานเมื่อแรงดันเกินมีค่าไม่มาก จะค่อยๆ หดยุควงจรลงเรื่อยๆ และ Sharp Breaking จะทำงานเมื่อแรงดันเกินมีค่ามากและ Soft Breaking ทำงานไม่ทันก็ จะหยุดวงจรทันที ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.15 วงจร Error Amplifier และ Over voltage Detector

สัญญาณ Error จะถูกส่งไปยังวงจร Multiplier ดังรูปที่ 4.15 เพื่อทำการ Multiply กับสัญญาณแรงดันที่รับจากแหล่งจ่ายที่ออกจากวงจร Rectifier โดยตรงที่ขา 3 (MULT) ถ้าแรงดันที่ออกจาก E/A มีค่าคงที่ สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของ Multiplier จะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณที่ได้รับมาจากวงจร Rectifier สัญญาณเอาต์พุตของ Multiplier จะถูกส่งต่อไปเป็นสัญญาณอินพุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกระแส (Current Comparator :C/C) โดยอินพุตอีกตัวหนึ่งจะรับสัญญาณ Current Sense จาก R_s ที่ขา 4 (CS) ซึ่งจะถูกแฉวน (Clamp) ไว้ด้วยแรงดันอ้างอิง 1.7 โวลต์ ที่ขาบวกของ Comparator เป็นการจำกัดกระแสที่เกิดขึ้นถ้าแรงดันตกคร่อม R_s ถึงค่า 1.7 โวลต์ ในสภาวะนี้มอสเฟตที่ต่อภายนอกกับขา 7 (GD) จะ Turn off ผลที่ตามมา คือกระแสสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำจะเป็นสัญญาณ sine ซึ่งจะเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าการทำงานนี้จะสร้างช่วงเวลาการ ON ที่คงที่ และส่วนของ PWM Latch จะป้องกันไม่ให้มอสเฟตทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากสัญญาณรบกวน (Noise) หลังจากมอสเฟต Turn off แล้วตัวเหนี่ยวนำในวงจร Boost จะจ่ายพลังงานไปให้โหลดจนกระทั่งกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเร็วกว่าแรงดันค่านแหล่งจ่าย วงจรป้องกัน Zero Current (Zero Current Detention :ZCD) ที่รับสัญญาณจากขา 5 (ZCD) จะขับสัญญาณให้มอสเฟตเริ่มทำงานใหม่และกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง

การกำหนดค่าอุปกรณ์ของวงจรภาคกำลังต้องกำหนดคุณสมบัติของวงจรถ้าก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

กำลังงานสูงสุด : 65 วัตต์

แรงดันเอาต์พุต : 400 โวลต์

แรงดันอินพุต : 185 – 265 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกความดีสวิตชิง : 35 กิโลเฮิรตซ์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ : 0.95

ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมสูงสุด : 25%

ค่าประสิทธิภาพวงจร $\eta \geq 90\%$

การคำนวณในส่วนวงจรกำลัง

ในการคำนวณ

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (4.4)$$

$$I_{rms} = \frac{P_{in}}{V_{rms(min)}} \quad (4.5)$$

จะได้ค่า $I_{rms} = 0.389$ A

ตัวเก็บประจุค้ำเข้า (C_{in})

ทำหน้าที่กรองค้ำเข้าความถี่สูง ซึ่งสามารถที่จะลดสัญญาณรบกวนลดลงได้ในระดับที่เหมาะสม แรงดันกระเพื่อมสูงสุดที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 1% - 10% ของค่าแรงค้ำต่ำสุดทางค้ำเข้า โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.6 เมื่อ ($r = 0.01-0.1$)

$$C_{in} = \frac{I_{rms}}{2\pi \cdot f_{sw(min)} \cdot r \cdot V_{rms(min)}} \quad (4.6)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $C_{in} = 1.47 \mu F$ ทนแรงค้ำ 450V

ตัวเก็บประจุค้ำออก (C_o)

ในการคำนวณขึ้นอยู่กับแรงค้ำค้ำออกสามารถหาได้จากสมการที่ 3.7 โดยที่ค่า ΔV_o สามารถเลือกได้จาก 1 - 5 % ของแรงค้ำเอาต์พุทหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงค้ำกระเพื่อมทางค้ำออก

$$C_o \geq \frac{I_o}{4\pi \cdot f \cdot \Delta V_o} = \frac{P_o}{4\pi \cdot f \cdot V_o \cdot \Delta V_o} \quad (4.7)$$

$$I_{Crms} = \sqrt{\frac{32\sqrt{2}}{9\pi} \cdot I_{rms}^2 \cdot \frac{V_{inrms}}{V_o} - I_o^2} \quad (4.8)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $C_o = 47 \mu F$ ที่พิกัดแรงค้ำ 450V

ตัวเหนี่ยวนำบัสต์ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{Lpk} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{P_{in}}{V_{in(rms)}} \quad (4.9)$$

$$L = \frac{V_{in(rms)}^2 \cdot (V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in(rms)})}{2 \cdot f_{sw(min)} \cdot P_{in} \cdot V_o} \quad (4.10)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $L = 2.75 \text{mH}$

หามอสเฟตกำลังที่ใช้เป็นสวิทช์ในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

ค่ากระแสต้านออก ของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 4.11

$$I_{Qrms} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{rms} \cdot \sqrt{\frac{1}{6} \cdot \frac{4\sqrt{2}}{9\pi} \cdot \frac{V_{rms}}{V_o}} \quad (4.11)$$

จะได้ค่ากระแสต้านออกที่มอสเฟตต้องทนได้คือ 0.4 A และที่พิกัดแรงดัน ไฟฟ้า 500V

เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRF830

หาค่าไดโอดความถี่สูง

หลักสำคัญที่ใช้ไดโอดนั้นจะต้องเป็นไดโอดชนิดที่ความถี่การเปิด-ปิด เร็วสูงและพิจารณาที่กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านและแรงดันย้อนกลับ โดยเราสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์คือ

$$I_{DO} = I_o \quad (4.12)$$

$$I_{Drms} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{rms} \cdot \sqrt{\frac{4\sqrt{2} \cdot V_{in(rms)}}{9\pi V_o}} \quad (4.13)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $I_{Drms} = 0.29 \text{ A}$ และเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR 460 (ULTRAFAST RECTIFIERS)

วงจรการทำงานภายนอกของ ไอซี L6561

โดยจะพิจารณาในอุปกรณ์แต่ละขาได้ดังนี้

ขา1 (INV)

เป็นหนึ่งในสองขาของวงจรขยายกระแสภายใน ไอซีไปยังภาคป้องกันแรงดันเกิน โดยอีกขาหนึ่งเป็นขา non-inverse ซึ่งเป็นอินพุทของวงจรขยายกระแสซึ่งจะมีสัญญาณอ้างอิงที่ 2.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ R7 และ R8 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{R7}{R8} = \frac{V_o}{2.5} - 1 \quad (4.14)$$

$$R7 = \frac{\Delta V_{ovp}}{40 \mu A} \quad (4.15)$$

จะได้ค่า R7 = 998 k Ω และค่า R8 = 6.34k Ω

ขา2 (COMP)

เป็นขาเอาต์พุตของวงจรขยายกระแสและเป็นหนึ่งในสองของวงจรตัวคูณสัญญาณ โดยทำหน้าที่เป็นวงจรถ่ายไอซี กับขา1 โดยจะต่อตัวเก็บประจุรอมขาทั้งสองไว้ โดยสามารถที่จะกรองความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี โดยสามารถคำนวณหาค่า C3 ได้จากค่าแบนวิดระหว่าง 100-120Hz

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \cdot (R7 // R8) \cdot BW} \quad (4.16)$$

ดังนั้นจะได้ค่าตัวเก็บประจุ C₃ = 1 μ F 25V

ขา3 (MULT)

คือภาคตัวคูณซึ่งจะถูกต่อร่วมกับจูนริบสัญญาณเรกติไฟเออร์แรงดันทางด้านเข้าตามแรงดันสัญญาณ ไซน์ โดยสามารถที่จะอธิบายได้ตามความสัมพันธ์

$$V_{CS} = K(V_{COMP} - 2.5)V_{MULT} \quad (4.17)$$

ซึ่ง V_{CS} ก็คือแรงดันอ้างอิงกระแสเป็นสัญญาณทางด้านออกของวงจรตัวคูณและ V_{comp} ก็คือแรงดันที่ขา2 เป็นเอาต์พุตของวงจรขยายกระแสและ V_{MULT} คือสัญญาณที่ขา 3 ภาคตัวคูณช่วงการใช้งานในที่ที่เหมาะสมของภาคตัวคูณได้ดังนี้

$$\frac{R10}{R9 + R10} = \frac{V_{MULTpk}}{\sqrt{2} \cdot V_{inrms(max)}} \quad (4.18)$$

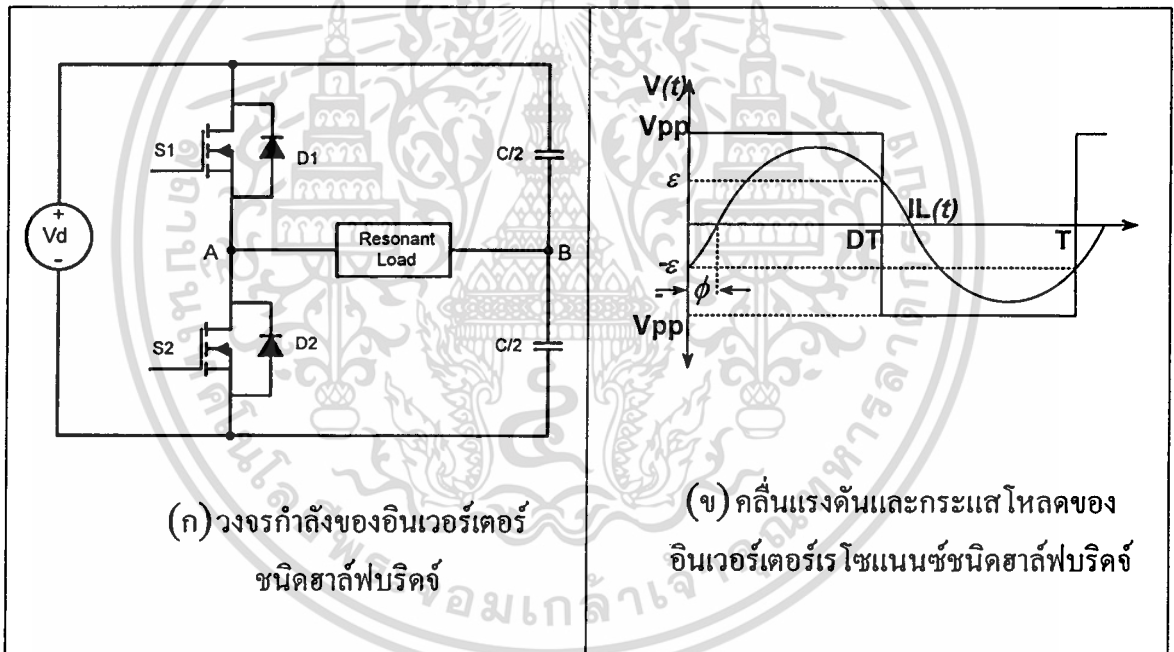
กำหนดค่า R10 ได้ก่อนซึ่งควรจะมีหน่วยเป็นหลักร้อยขึ้นไปเพื่อกระแสจะไหลได้น้อยลงและลดกำลังสูญเสียดังนั้นจะได้ค่าที่เหมาะสม

จะได้ R10 = 10k Ω ; ทำให้ได้ R9 = 1.24 M Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับ ความถี่สูง จากที่กล่าวมาแล้วว่า โหลดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้เป็นวงจร โหลดเรโซแนนซ์ โดยที่วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร โหลดเรโซแนนซ์ ในที่นี้จะกล่าว เฉพาะวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์ ซึ่งมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.14 (ก) จะมีสวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงานสลับกันเพื่อแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูง และสวิตช์ S_1 และ S_2 จะทำงานในภาคสวิตช์ เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ (V_{S2}) จะได้ค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ $+V_d$ และค่าแรงดันต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสไหลผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 4.14 (ข) จะ เห็นได้ว่าฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ให้กำลังไฟฟ้าเหมาะสมกับโหลดที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่ สูงมากนักซึ่งจะต้องจ่ายแรงดันและกระแสในปริมาณที่เพียงพอได้ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.16 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์

1. หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้เลือกนำมาใช้งานสำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกที่เป็นฮาล์ฟบริดจ์ (Half Bridge Inverter) ชนิดจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter) ตามรูปที่ 4.14 (ก) เพราะ เนื่องจากมีโครงสร้างของวงจรที่ง่ายแต่มีพิกัดการทำงานในช่วงปานกลาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ กำหนดพิกัดกำลังไว้ที่ 72 วัตต์ เป็นที่เพียงพอสำหรับจะเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้แต่ข้อเสีย ของอินเวอร์เตอร์แบบนี้ คือ จะมีการลัดวงจรในกิ่งเดียวกัน (Short Branch) ซึ่งในการควบคุมการ ทำงานของ S_1 และ S_2 จึงต้องมีการหน่วงเวลาในการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัวไม่ให้ทำงาน ไม่พร้อมกัน ซึ่งเรียกว่า วงจรเดดไทม์ (Dead Time Circuit) หรือวงจรประวิงเวลา นอกจากรณีในการใช้

ส่งสัญญาณควบคุม ไปควบคุมสวิตช์ S_1 และ S_2 และวงจรขับสวิตช์ (Gate Drives Circuit) ด้วย เพื่อแยกสัญญาณระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง เป็นการป้องกันการรบกวนและความเสียหาย ที่อาจเกิดขึ้นกับวงจรควบคุมได้และยังเพิ่มอัตรากระแสในการควบคุมให้ S_1 และ S_2 ทำงานไม่ให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นที่อาจนำไปสู่ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์ S_1 และ S_2 ได้ ต่อไป

2 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์จะพิจารณาแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน

1. การออกแบบวงจรกำลัง

ในส่วนวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์ เมื่อนำมาใช้ในงานบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สวิตช์ที่นิยมใช้ มีอยู่ 2 ชนิดคือ

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

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกอุปกรณ์ที่ทำหน้าเป็นสวิตช์ คือ มอสเฟตกำลัง จุดเด่นของ มอสเฟตกำลังคือทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น พักัดการทำงาน ของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ และมีข้อจำกัดกระแสไม่เกิน 100 แอมแปร์ และการพัฒนา ในปัจจุบันมีแนวโน้มมีแนวโน้มจะทำให้มอสเฟตกำลังทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้น ไปอีกซึ่งจะเป็น ผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์

1) การเลือกมอสเฟตกำลัง

มอสเฟตกำลังจะไม่เกิดเซคันดารีเบรกดาวน์ เพราะค่าความต้านทานระหว่างขาเดรน (Drain) กับขาซอร์ส (Source) ขณะนำกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้กระแสที่ไหล ผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากกรณีของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเกิดเซคันดารีเบรกดาวน์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลมากขึ้นซึ่งจะเกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว มอสเฟตกำลังจึงมี พักัดความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของมอสเฟตกำลัง

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะที่มอสเฟตกำลังทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ

- 1) การสูญเสียขณะนำกระแส
- 2) การสูญเสียขณะสวิตช์

ในการหาพักัดของมอสเฟตกำลังเราสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านสูงสุดได้จากสมการที่ 4.19

$$I_P = \frac{2 \cdot \pi \cdot P_O}{V} \quad (4.19)$$

ในการใช้งานมอสเฟตจำเป็นต้องเผื่อพักัดในการใช้งานไว้ที่ 70 % เพื่อป้องกันการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า กระชากและการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ดังนั้นจึงเลือกใช้ใช้งาน ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอสเฟตกำลังเบอร์ IRF830 มีพิกัดเท่ากับ 4.5 A 500 V ซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไป ในการใช้งานจริงจะต้องติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อนด้วย เพื่อระบายความร้อนให้กับมอสเฟต ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขณะทำงานที่มอสเฟตเกิน

2) การเลือกตัวเก็บประจุ

ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น จะเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอีเล็กโทรไลต์ (Electrolytic Capacitor) ซึ่งหลักการในการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับ

1. อัตราทนกระแสกระเพื่อม
2. แรงดันกระเพื่อม
3. อัตราทนแรงดัน
4. ช่วงเวลาโฮลด์อัป (Hold up time)

4.6 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Circuit)

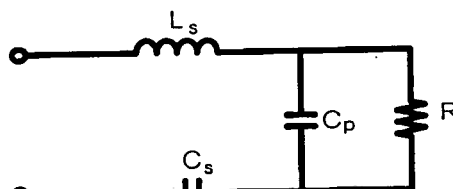
ในสถานะที่วงจรอนุกรม R, L, C ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร คือ $Z = R + X_L + X_C$ โดยค่าจะแปรเปลี่ยนตามความถี่ของวงจร

ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ คือ ปรากฏการณ์ที่ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร (ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเรโซแนนซ์แบบอนุกรม) มีค่าต่ำสุดที่ $Z=R$ เมื่อเราป้อนความถี่ค่าหนึ่งที่ทำให้ค่า $X_L = X_C$ ณจุดนี้จะให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรมากที่สุด และให้กำลังงานกับวงจรมากที่สุด

วงจรบัลลาสต์อีเล็กทรอนิกส์ ได้มีการนำวงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจุดหลอดในสถานะเริ่มต้น โดยวงจรเรโซแนนซ์แบ่งออกได้เป็น 3 วงจรหลัก คือ

- 1) วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกับโหลด (Series-loaded Resonant)
- 2) วงจรเรโซแนนซ์ขนานกับโหลด (Parallel-loaded Resonant)
- 3) วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม - ขนานกับโหลด (Series-Parallel-loaded Resonant)

การพิจารณาเลือกชนิดของวงจรเรโซแนนซ์ประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อีเล็กทรอนิกส์นั้น จะพิจารณาที่อัตราขยาย (Gain) โดยการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันขาเข้ากับขาออก ซึ่งในการวิเคราะห์นี้เราจะทำการสมมติอุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้ให้มีคุณสมบัติในอุดมคติ และพิจารณาว่าหลอดไฟเป็นโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว สมมติฐานเป็นจริงเมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงมากพอ สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกวงจรแบบเรโซแนนซ์อนุกรม - ขนานกับโหลด (Series-Parallel-loaded Resonant) ดังรูปที่ 4.17



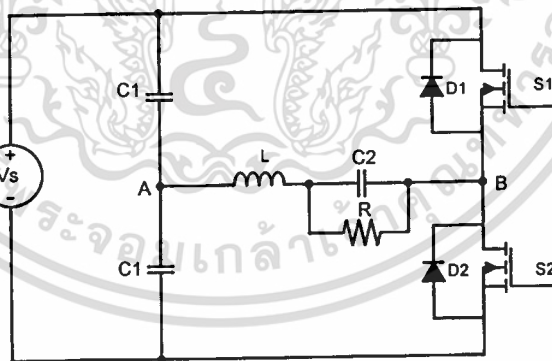
รูปที่ 4.17 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์แบบอนุกรม - ขนานกับโหลด

1. อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน

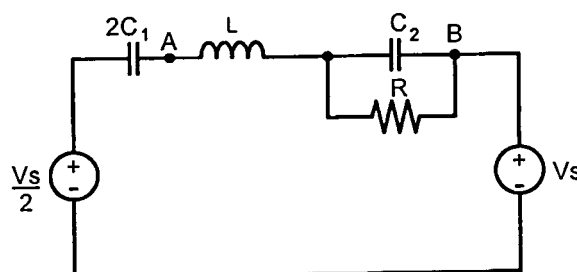
อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน หรือเรียกว่า “อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบแยก ตัวเก็บประจุ” เป็นการดัดแปลงวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม โดยแบ่งตัวเก็บประจุออกเป็น 2 ตัว และต่อโหลด R ขนานกับ C ตัวหนึ่ง ดังรูปที่ 4.18 (ก)

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์จะใช้ตัวเก็บประจุค่ามากเพื่อเป็นตัวแบ่งแรงดันกรณีย์ ของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน ค่าตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะมีขนาดใกล้เคียงกันทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรเรโซแนนซ์ เมื่อใช้ทฤษฎีบทเทวินินกับแหล่งจ่าย V_s และตัวแบ่งแรงดันที่ประกอบด้วย C_1 สองตัว จะได้วงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ข) ซึ่งสามารถขยับแหล่งจ่ายแรงดันได้เป็นวงจรสมมูลในรูปที่ 4.18 (ค)

เมื่อเปรียบเทียบวงจรในรูปที่ 4.18 (ก) กับวงจรสมมูลเรโซแนนซ์อนุกรมในรูปที่ 4.18 (ข) จะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกัน เพียงแต่ความต้านทานโหลดมาต่อขนานกับ C_2 แทนที่จะต่ออนุกรมในกรณี Q มีค่าสูง C_2 ขนานกับ R ก็สมมูลโดยใกล้เคียงกับ C_2 อนุกรมกับ $1/[R_2^2\omega^2]$ การต่อความต้านทานโหลด เช่นนี้จะรักษาข้อดีของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมคือสามารถลัดวงจรโหลดได้ โดยมีการจำกัดกระแสแต่ก็ยังสามารถควบคุมแรงดันด้านออกได้เมื่อโหลดเป็นวงจรเปิด จากวงจรในรูปที่ 4.18 (ค) ภายใต้อสมมุติฐานที่ว่า Q มีค่าสูง จะสามารถใช้การวิเคราะห์เชิงความถี่ได้โดยที่

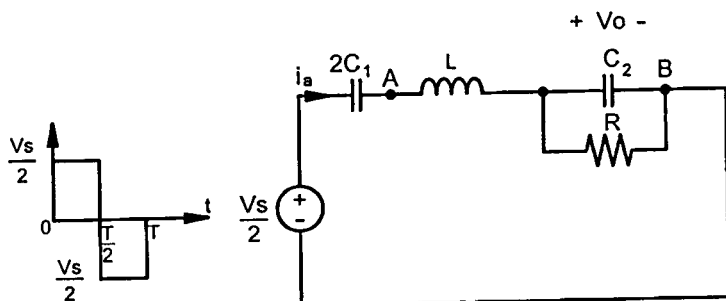


(ก) อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน



(ข) วงจรสมมูลเมื่อใช้ทฤษฎีบทเทวินิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในหน้าที่ราชการเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

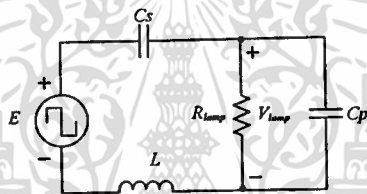


(ค) การรวมแหล่งจ่ายของวงจรทั้ง 2 ในรูป (ข)

รูปที่ 4.18 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน

4.7 การออกแบบวงจร LCC

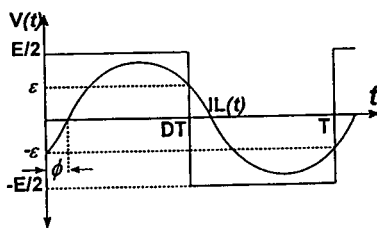
ในรูปที่ 4.19 แสดงวงจรเทียบเท่าของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนาน ที่ใช้ในการหาค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของหลอดโดยแทนหลอดด้วยความต้านทาน



รูปที่ 4.19 วงจรเทียบเท่าของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรม-ขนานสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

4.7.1 ส่วนของวงจร LCC

การออกแบบอุปกรณ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรม-ขนาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรในรูปที่ 4.19 โดยที่ C_S คือตัวเก็บประจุอนุกรม, C_P คือตัวเก็บประจุขนาน, L คือตัวเหนี่ยวนำ และ R คือตัวต้านทานที่ใช้แทนหลอด โดยแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจรเป็นสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะเป็นลักษณะเป็นแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและมีการแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC จะมีมูฟเฟสกับแรงดันเป็นมุม ϕ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การหน่วงเวลาระหว่างแรงดันที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์กับกระแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดพิกัดกำลังเอาต์พุตของหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นขนาด 36 วัตต์ ทำงานที่ความถี่สูงเกิน 20 kHz ดังนั้น กำลังเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 32 วัตต์ จากนั้นต้องหาค่าแรงดันมูลฐาน RMS ของแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (4.20)

$$V_{rms} = \frac{E \cdot \sqrt{2}}{\pi} \quad (4.20)$$

เมื่อ E คือแรงดันยอดคลื่นถึงยอดคลื่นของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

จากนั้นเมื่อได้ค่าแรงดันมูลฐานแล้วก็สามารถหาค่า Z อิมพีแดนซ์ของวงจรกรองเรโซแนนซ์โดยหาอยู่ในรูปแบบเฟสเซอร์ ได้ดังสมการที่ (4.21)

$$Z = \frac{R}{1 + C_p^2 R^2 \omega^2} + j \left[\left(L\omega - \frac{1}{C_s \omega} \right) - \frac{R^2 C_p \omega}{1 + C_p^2 R^2 \omega^2} \right] \quad (4.21)$$

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม

จากนั้นก็สามารถหาค่ากำลังเอาต์พุตที่จ่ายให้กับหลอดจากสมการที่ (4.20) และ (4.21) ได้จากสมการที่ (4.22)

$$P = \text{Re} \left(\frac{V_{rms}^2}{Z} \right) \quad (4.22)$$

และมุมเฟสของวงจรกรองเรโซแนนซ์ L, C_s, C_p (ϕ) หาได้จากสมการที่ (4.23)

$$\phi = \tan^{-1} \left[\omega R^{-1} \left(\left(L - C_s^{-1} \omega^{-2} \right) \left(1 + C_p^2 R^2 \omega^2 \right) - R^2 C_p \right) \right] \quad (4.23)$$

โดยอาศัยค่า L, C_s และ C_p ที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดมุมเฟสขึ้นในวงจรกรองเรโซแนนซ์เพื่อให้อยู่ในช่วงการทำงานของสวิตช์ภาคแรงดันศูนย์ขณะที่ปิดวงจร (Zero voltage switching: ZVS) และมีการสูญเสียที่สวิตช์น้อยกว่าที่มุมเฟสเป็น 0 องศา การออกแบบวงจรกรองเรโซแนนซ์นั้นเมื่อได้ค่าแรงดัน V_{RMS} , กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (P), ค่ามุมเฟส (ϕ) และความถี่ในการสวิตช์เริ่มต้น (f) ก็สามารถหาค่า C_s, C_p, L ส่วนประกอบวงจรกรองเรโซแนนซ์ได้

การคำนวณหาค่าของตัวเก็บประจุขนาน C_p จากสมการที่ (4.22) และ (4.23) จะ

กำหนดให้ X เทอมมีค่าตามสมการที่ (4.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X = \tan(\phi) \quad (4.24)$$

โดยแทนที่ในสมการที่ (4.24) สำหรับ (4.22) และ (4.23) จะสามารถหาค่าตัวเก็บประจุ
ขานาน C_p ได้จากสมการที่ (4.25)

$$C_p(\phi) = \frac{1}{\omega R V_{\text{rms}}^2} \sqrt{\frac{P}{R} (R^2 + (R \tan(\phi))^2) - 1} \quad (4.25)$$

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำโดยแทนที่สมการที่ (4.24) สำหรับ (4.22), (4.23), (4.25)
และตัวเหนี่ยวนำ L จะแยกเป็นฟังก์ชันหนึ่งฟังก์ชันของมุมเฟส สามารถหาค่าได้ตามสมการที่
(4.26)

$$L(\phi) = \frac{R \tan(\phi) \omega^{-1} + C_p(\phi) R^2}{1 + \omega^2 C_p^2(\phi) R^2} + \frac{1}{C_s \omega^2} \quad (4.26)$$

การหาค่าคงที่ที่ทำให้การควบคุมกระแสที่หม้อแปลงอิมตัว I_L กับแรงดันที่จ่ายของสวิตช์
มอสเฟต ในรูปที่ 4.18

$$i_L(0) = -\varepsilon \quad \text{เมื่อ} \quad \left. \frac{di_L(t)}{dt} \right|_{t=0} > 0 \quad (4.27)$$

$$i_L\left(\frac{T_s}{2}\right) = \varepsilon \quad \text{เมื่อ} \quad \left. \frac{di_L(t)}{dt} \right|_{t=\frac{T_s}{2}} < 0 \quad (4.28)$$

ก็จะหาค่า ε ได้จากสมการ

$$\varepsilon = \frac{N\pi V_Z}{2\omega L_m} \quad (4.29)$$

โดยที่ N คืออัตราส่วนของหม้อแปลงอิมตัว $n = n_p/n_s$

V_Z คือแรงดันของซีเนอร์ไดโอด

L_m คือค่าความเหนี่ยวนำที่หม้อแปลงอิมตัว

โดยที่ค่า L_m หาได้จากสมการที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_m = \frac{L((c - a\omega^2) + (b\omega - \omega^3)^2)}{Kn[a\omega^2(a\omega^2 - c) + \omega^3(b\omega - \omega^3)]} \quad (4.30)$$

เมื่อกำหนดให้

$$s = j\omega, a = \frac{1}{RC_p}, b = \frac{1}{L(C_s + C_p)},$$

$$c = \frac{1}{RC_p C_s L}, K = \frac{E}{2V_z}, R = R_{Lamp}$$

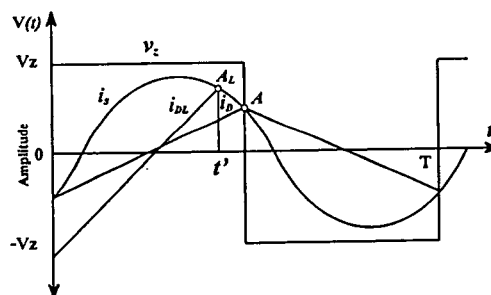
โดยที่ $n = ns/np$

ns = จำนวนรอบด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงอิมตัว

np = จำนวนรอบด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงอิมตัว

4.7.2 วงจรส่วนการหนี

วงจรในส่วนนี้จะใช้เครือข่าย LR มาช่วยในการหนีโดยที่จะใช้ร่วมกับวงจรขับสัญญาณขาออกของอินเวอร์เตอร์ แบบออสซิลเลตด้วยตัวเอง (Self-Oscillating) การใช้เครือข่าย LR จะทำให้ความชันของกระแส i_D เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R_d ถ้าปรับค่า R_d ให้ใกล้เคียงศูนย์จะทำให้ความชันของกระแส i_{DL} ก็จะมีค่าชันน้อยลงทำให้จุดตัดกับกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงอิมตัวน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้เกิดกระแสที่ซีเนอร์ไดโอดมีความถี่ต่ำลงและกระแสที่ซีเนอร์ไดโอดนี้เอง เป็นตัวกำหนดแรงดันซีเนอร์ไดโอดที่มีความถี่เท่ากับกระแสป้อนให้กับสวิตช์มอสเฟต ดังนั้นจึงทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูงสุดนั่นเอง แต่ถ้าปรับค่า R_d ให้มีค่าใกล้เคียง $1 \text{ k}\Omega$ จะทำให้ความชันของกระแส i_{DL} ก็จะมีค่าชันมากขึ้นทำให้จุดตัดกับกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงอิมตัวมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดกระแสที่ซีเนอร์ไดโอดมีความถี่สูงขึ้นและกระแสที่ซีเนอร์ไดโอดนี้เอง เป็นตัวกำหนดแรงดันซีเนอร์ไดโอดที่มีความถี่เท่ากับกระแสป้อนให้กับสวิตช์มอสเฟต ดังนั้นจึงทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำสุดนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 4.21



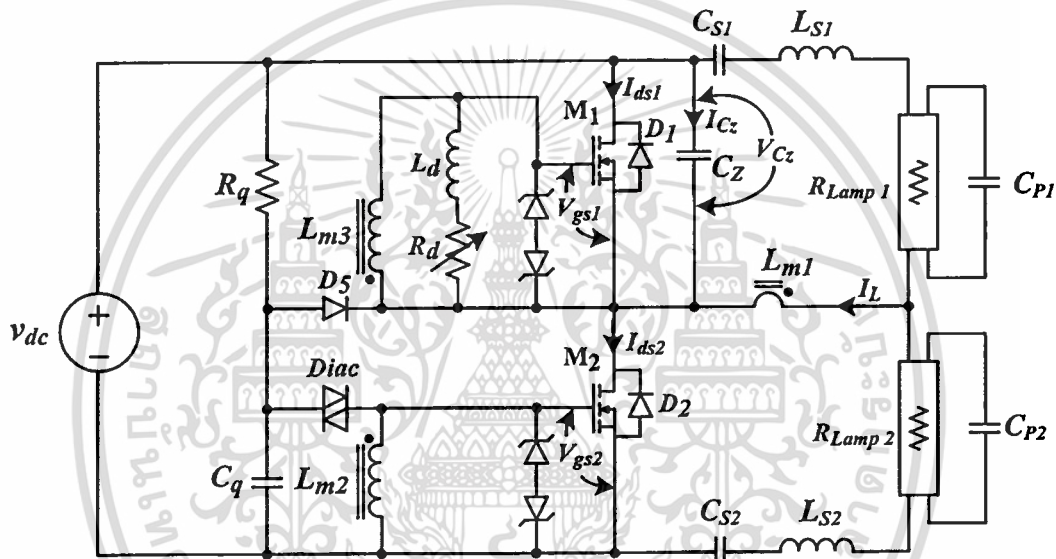
รูปที่ 4.21 รูปคลื่นผลกระทบของเครือข่าย LR กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ออสซิลเลตด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบค่าความเหนี่ยวนำการหนี (L_d)

การออกแบบก็จะคล้ายๆกับตัวเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (L_m) เป็นค่าความเหนี่ยวนำของเครื่องข่าย LR (L_d) นั้นจะมีผลกระทบมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากวงจรทำงาน เมื่อค่า R_d มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นการใช้งานวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ความถี่สูงสุด ω_{max} ทำให้สามารถหาค่า (L_d) ได้โดย

$$L_d = \left[\frac{\omega Kn [\omega^2 (b\omega - \omega^3) + a\omega (c - a\omega^2)]}{L [(b\omega - \omega)^2 + (c - a\omega^2)^2]} + \frac{1}{L_m} \right]^{-1} \tag{4.31}$$



รูปที่4.22 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่4.3 ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบวงจร LCCของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

ค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบในรูปที่4.22	ค่าที่ได้
แรงดันไฟฟ้า DC link (V_{dc})	400 V_{dc}
C_{S1} และ C_{S2}	47 μ F 250V
C_{P1} และ C_{P2}	10 μ F 2kV
L_{S1} และ L_{S2}	2.5mH
$L_{M1} : L_{M2} : L_{M3}$	3/12/12 รอบ 55 μ H
L_d	20 μ H
R_d	1 k Ω
M1 และ M2	IRF830
f_s	35 – 50 kHz
P_o	65W 2หลอด หลอดละ 32W

4.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง โครงสร้างโดยรวมทั้งการออกแบบและสร้างวงจรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยทั้งในส่วนของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุท วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์ LCCที่ใช้ในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ โดยได้นำหลักการทางทฤษฎีที่ได้นำเสนอ ไปแล้วมาสร้างวงจรที่ใช้งานจริง เพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรที่เป็นส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ออกมาอย่างละเอียด เพื่อให้มีความปลอดภัยในการทดลองและความน่าเชื่อถือในการออกแบบ โดยมุ่งเน้นในความถูกต้องและแม่นยำของสัญญาณที่ได้ออกมานั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

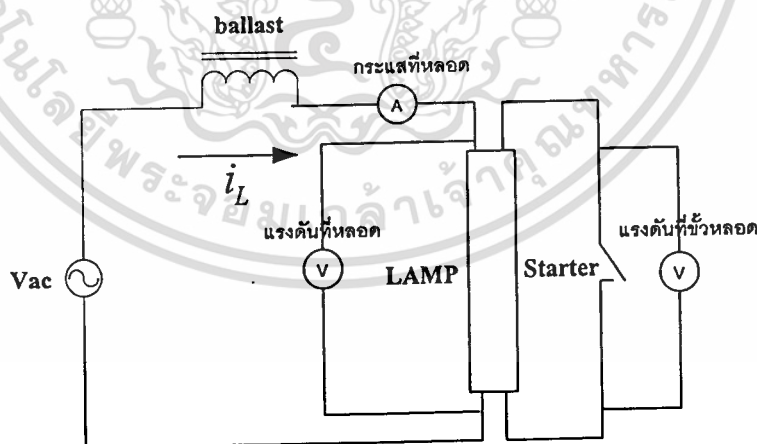
บทที่ 5

ผลการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในบทนี้เป็นการนำเอาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบมาทำการทดสอบภายใต้สภาวะต่างๆซึ่งจะมีเงื่อนไขในการทดสอบแตกต่างกัน เช่น การทดสอบบัลลาสต์แกนเหล็กนำมาเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทำการวัดค่าต่างๆของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การทดสอบขณะเริ่มทำงาน (start up) การทดสอบเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุทมีการเปลี่ยนแปลง $\pm 15\%$ จาก 220V การทดสอบวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง และการทดสอบการหรี่แสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ วัดสัญญาณแรงดัน, กระแส, กำลังไฟฟ้า, ความสว่างของหลอด, ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าและวัดสัญญาณที่สวิทช์มอสเฟต

5.1 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เปรียบเทียบกับบัลลาสต์แกนเหล็ก

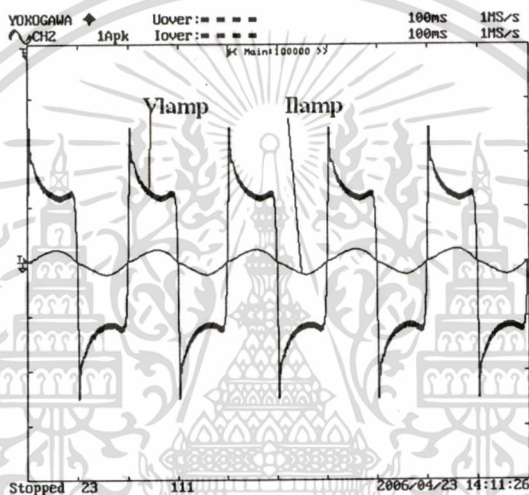
ในการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของบัลลาสต์แกนเหล็กใช้คู่กับสตาร์ทเตอร์กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์แกนเหล็กในการเปรียบเทียบค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้า, การทดสอบขณะเริ่มทำงาน (start up) วงจรในการทดลองของบัลลาสต์แกนเหล็กดังในรูปที่ 5.1



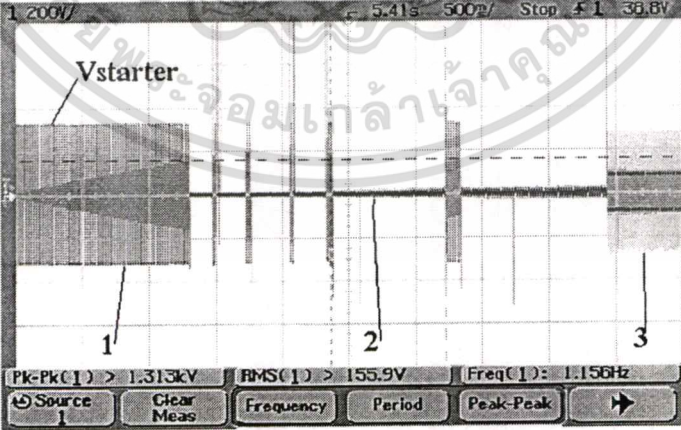
รูปที่ 5.1 วงจรการทดลองบัลลาสต์แกนเหล็ก สตาร์ทเตอร์ กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

YOKOGAWA		Uover:=====		100ms		1MS/s	
CH2	0.10pk	Uover:=====	100ms	100ms	1MS/s	1MS/s	
	Element1	Element2	Element3	Element4	X	Y	Z
Urms[V]	100.972	0.000	0.000	0.000	33.657	0.000	
Urn[V]	100.203	0.000	0.000	0.000	36.068	0.000	
Udc[V]	0.149	-0.079	-0.050	0.114	0.006	0.114	
Uac[V]	100.972	0.000	0.000	0.000	33.657	0.000	
Irms[A]	363.759m	1.709m	0.0000	0.000	0.1218	0.000	
Iran[A]	359.744m	1.892m	0.0000	0.000	0.1205	0.000	
Idc[A]	-13.349m	1.704m	-0.0031	-0.032	-0.0049	-0.032	
Iac[A]	363.514m	0.129m	0.0000	0.000	0.1212	0.000	
P[W]	30.325	-0.0001	0.00000k	-0.0000k	0.03032k	-0.0000k	
S[VAr]	36.730	0.0000	0.00000k	0.0000k	0.02121k	0.0000k	
Q[VAr]	20.723	0.0000	0.00000k	0.0000k	0.02072k	0.0000k	
λ	0.82563	Error	Error	Error	1.00000	Error	
φ [°]	34.35	Error	Error	Error	0.00	Error	
fU [Hz]	50.026	Error	Error	Error	-----	-----	
fI [Hz]	50.028	Error	Error	Error	-----	-----	
U-pk[V]	185.66	0.56	0.94	1.14	-----	-----	
U-pk[V]	-189.27	-0.70	-1.21	-0.66	-----	-----	
I-pk[A]	483.88m	2.22m	0.022	0.10	-----	-----	
I-pk[A]	-504.04m	1.20m	-0.033	-0.20	-----	-----	
CfI [°]	1.874	Error	Error	Error	-----	-----	
CfI [°]	1.388	1.297	Error	Error	-----	-----	
PfU [°]	1.936	Error	Error	Error	-----	-----	
PfI [°]	1.123	1.003	Error	Error	-----	-----	
Z [Ω]	277.580	0.000	Error	Error	1.42889k	Error	
Rs [Ω]	229.177	-47.7048	Error	Error	2.04335k	Error	

รูปที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของบัลลาสต์แกนเหล็ก



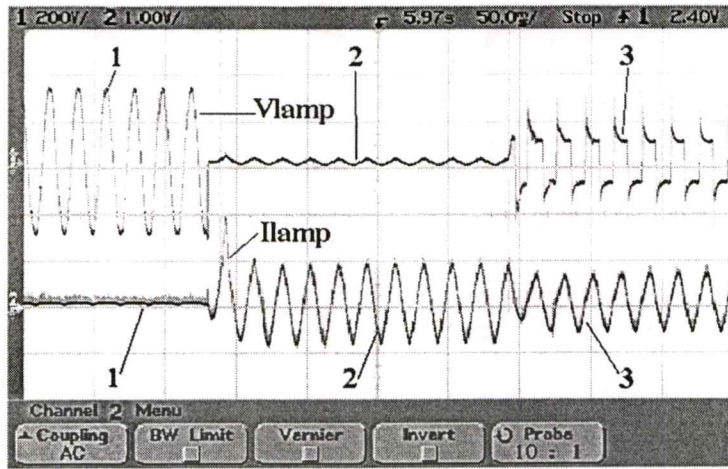
รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแรงดันกับกระแสของบัลลาสต์แกนเหล็ก



รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแรงดันวัดที่สตาร์ทเตอร์ขณะจุดหลอด (Start-up) ของบัลลาสต์แกนเหล็ก

1. ช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเข้ามาที่ขั้วสตาร์ทเตอร์
2. ช่วงเวลาที่สตาร์ทเตอร์เริ่มจ่ายแรงดันสูงไปที่ขั้วหลอดเป็นระยะๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในช่วงเวลาที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ติด (Steady state) แรงดันที่สตาร์ทเตอร์ลดลง การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

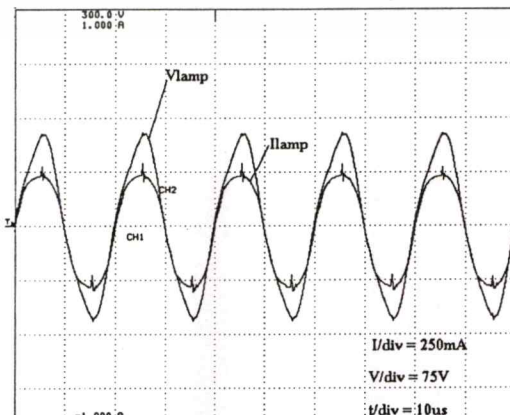


รูปที่ 5.5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของหลอดขณะจุดหลอด (Start-up) ของบัลลาสต์แกนเหล็ก

1. ช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นคร่อมหลอดและกระแสเป็นศูนย์
2. ช่วงเวลาที่สตาร์ทเตอร์เริ่มจ่ายแรงดันสูงไปที่ขั้วหลอดทำให้มีกระแสไหลผ่านหลอด
3. ช่วงเวลาที่หลอดปล่อยเรสเซนส์ติดแรงดันและกระแสที่สภาวะคงตัว (Steady state)

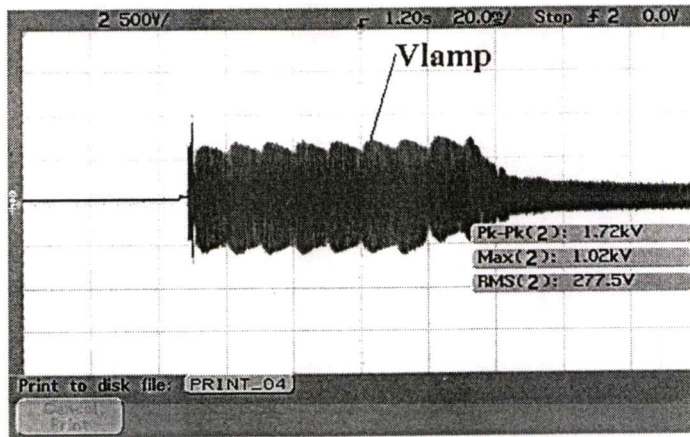
YOKOGAWA	Uover:=====	100us	SMS/s
CH2	1pk lower:=====	100us	SMS/s
Element1	Element2	Element3	Element4
Urms[V] 1.180.795	6.451	0.000	0.000
Umin[V] 1.106.559	5.904	0.000	0.000
Udc[V] 0.068	0.287	-0.934	0.155
Uac[V] 1.180.795	6.447	0.000	0.000
Irms[A] 0.14564	1.715m	0.0000	0.000
Imin[A] 0.14529	1.868m	0.0000	0.000
Iac[A] -0.83448	1.682m	-0.0037	-0.030
Ipk[A] 0.14152	0.335m	0.0000	0.000
F [Hz] 15.226	0.0002	-0.00000k	-0.0000k
S [VA] 15.845	0.0111	0.00000k	0.0000k
Q [var] 4.306	0.0111	0.00000k	0.00440k
λ [m] 0.96893	0.02158	Error	Error
φ [°] 16.07	88.76	Error	Error
fU [Hz] 56.657k	Error	Error	Error
fI [Hz] 56.561k	Error	Error	Error
U-pk[V] 166.41	11.88	1.77	1.37
U-pk[V] -167.28	-12.32	-1.81	-0.79
I-pk[A] 0.1876	4.53m	0.016	0.11
I-pk[A] -0.2451	0.09m	-0.021	-0.13
CRU [] 1.538	1.918	Error	Error
CFI [] 1.683	2.648	Error	Error
FFU [] 1.136	1.214	Error	Error
FFI [] 1.113	1.020	Error	Error
Z [Ω] 747.005	3.76885k	Error	Error
Zs [Ω] 717.821	81.1653	Error	Error

รูปที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

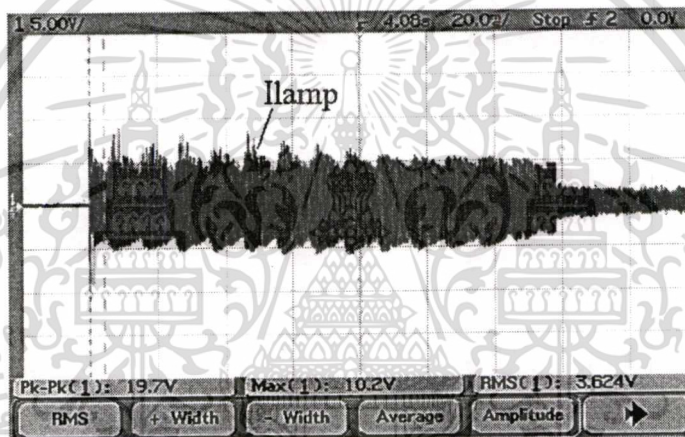


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

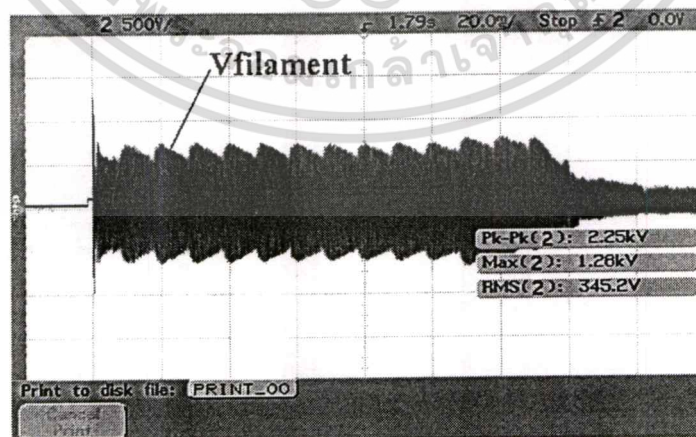
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 5.7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 รูปคลื่นแรงดันของหลอดขณะจุดหลอด (Start-up) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 5.9 รูปคลื่นกระแสของหลอดขณะจุดหลอด (Start-up) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 5.10 รูปคลื่นแรงดันที่ขั้ว Cp ขณะจุดหลอด (Start-up) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

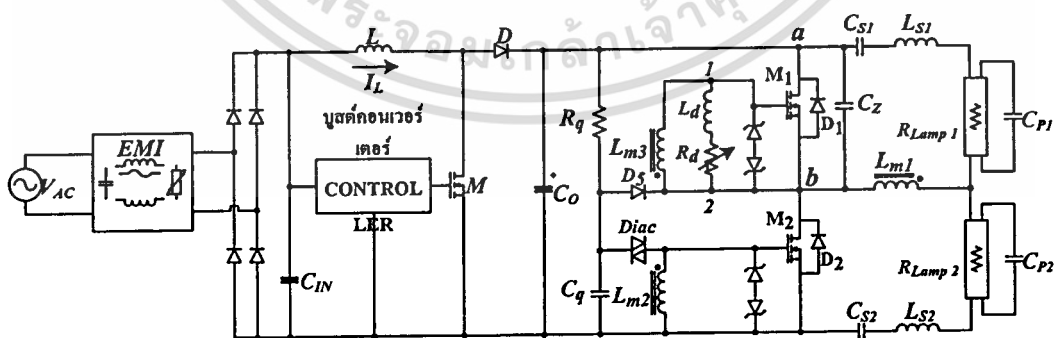
รูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.7 แสดงสัญญาณแรงดันที่โหลด V_{lamp} และกระแสที่โหลด i_{lamp} ของ บัลลาสต์แกนเหล็กและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ตามลำดับจากการทดลองจะเห็นว่าสัญญาณแรงดันของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะเป็นรูปคลื่นไซน์มากกว่าของบัลลาสต์แกนเหล็ก และสัญญาณกระแสของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์แกนเหล็กใกล้เคียง ไซน์เหมือนกัน

รูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณแรงดันที่ขั้วสตาร์ทเตอร์และขั้วของ C_p จะเห็นได้ว่า ลักษณะสัญญาณ ในรูปที่ 5.4 จะมีการเกิดแรงดัน ไฟฟ้าสูงเป็นช่วงๆ ทำให้เกิดมีการเสื่อมของขั้ว โหลดได้ง่ายกว่า ในรูปที่ 5.10 ที่มีการเกิดแรงดันสูงชั่วระยะเวลาหนึ่งจากนั้นแรงดันก็จะลดลง

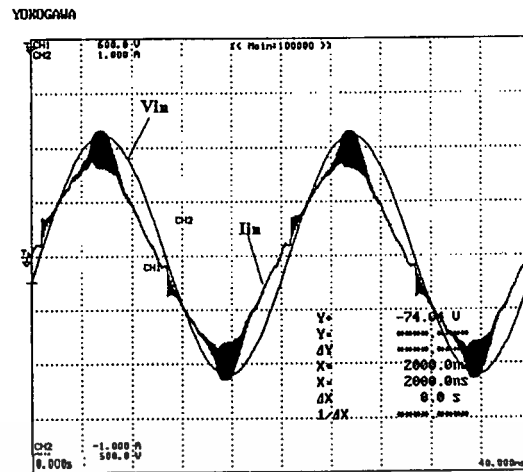
รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.8 , รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเห็นได้ว่าลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสในรูปที่ 5.5 จะแบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยที่ เมื่อมีสัญญาณแรงดันในช่วงที่ 1 ทำให้กระแสวิงไม่เริ่มไหลผ่านหลอดแต่เมื่อสตาร์ทเตอร์เกิดการ แรงดันสูงเป็นช่วงๆ จะทำให้แรงดันที่โหลดเกือบเป็นศูนย์ และ เกิดมีกระแสไหลผ่านหลอด ในช่วงที่ 2 และจากนั้นช่วงที่ 3 แรงดันและกระแสมีสภาวะคงตัว (Steady state)

5.2 การทดลองบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะแรงดันอินพุทเปลี่ยนแปลง

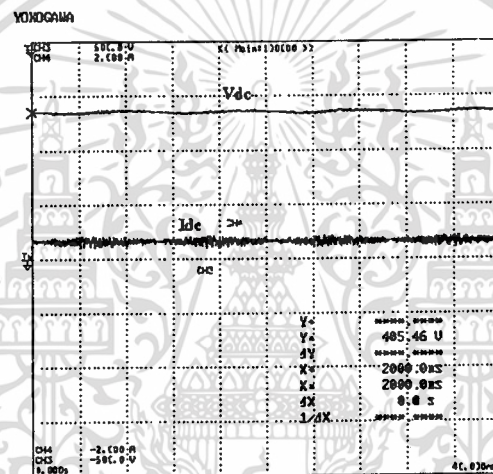
ในการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการ ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ใกล้เคียงหนึ่ง โดยใช้ ไอซี L6561 ในการขับสวิทช์มอสเฟตใน วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถใช้กับค่าแรงดัน ไฟฟ้าด้านอินพุทที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าได้ ประมาณ $\pm 15\%$ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ในสภาวะที่แรงดันอินพุทมีการแกว่ง ว่าบัลลาสต์จะทำงานได้ตามปกติหรือไม่ วงจรการทดลองดังรูปที่ 5.11 การทดลองที่ได้นั้นตามตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.12 ถึงรูปที่ 5.15



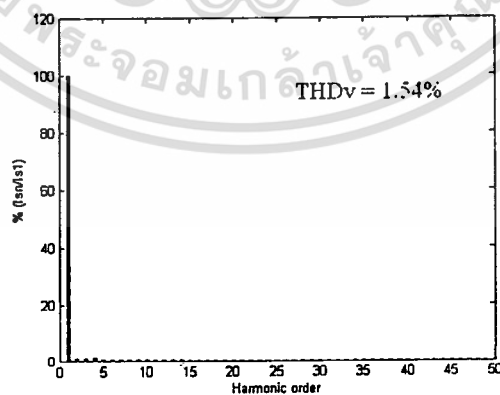
รูปที่ 5.11 วงจรรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ



รูปที่ 5.12 แรงดันกับกระแสทางด้านอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

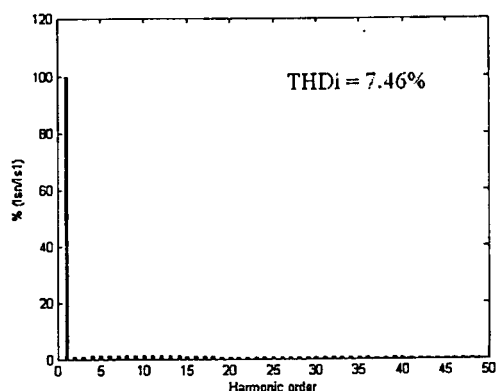


รูปที่ 5.13 แรงดันและกระแส DC link ของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.14 สเปกตร้าฮาร์โมนิกส์แรงดันอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

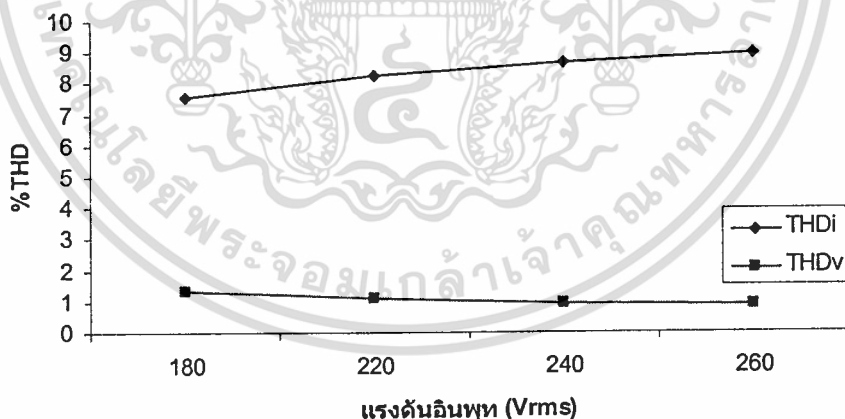
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 สเปกตรารวมฮาร์มอนิกกระแสอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 5.1 การทดลองวัดค่าของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

V_{rms} (V)	I_{rms} (mA)	P_{in} (W)	P_o (W)	V_{dc} (V)	p.f	%THD _v	%THD _i	%EFF.
180	347	62.3	54	400	0.995	1.31	7.56	86.6
220	280	61.1	54	401	0.989	1.12	8.25	88.3
240	257	60.4	54	403	0.977	0.93	8.64	89.4
260	236	59.5	54	405	0.968	0.87	8.96	90.7



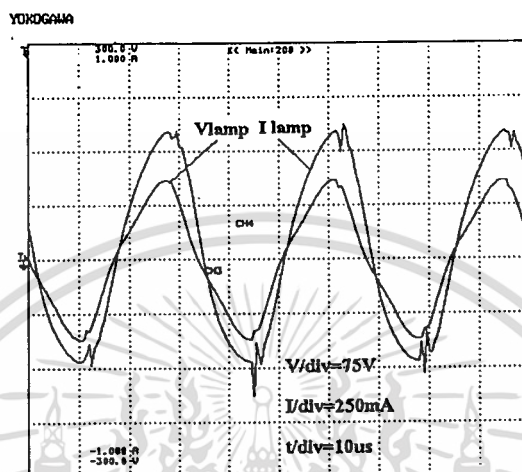
รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุทกับ%THD

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบจากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุทเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนค่า%THD จะเปลี่ยนแปลงเมื่อแรงดันอินพุทเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น %THD จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ประสิทธิภาพของบัลลาสต์ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันอินพุทที่เพิ่มขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังจะลดลงเมื่อแรงดันอินพุทเพิ่มขึ้น แรงดัน DC link จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันอินพุทที่เพิ่มขึ้น

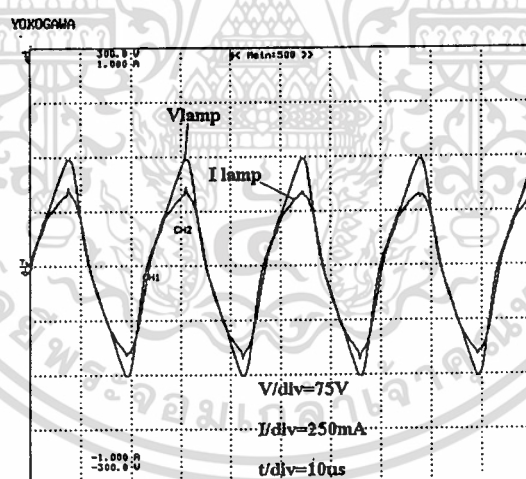
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในขณะที่เปลี่ยนแปลงความถี่สวิตซ์

ในการทดลองนี้จะเปลี่ยนแปลงความถี่สวิตซ์ โดยการปรับค่าความต้านทาน R_u ให้มีค่าจากศูนย์ไปจนถึง $1\text{k}\Omega$ และทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต, ค่าความสว่าง ผลการทดลองดังรูปที่ 5.17 ถึงรูปที่ 5.20

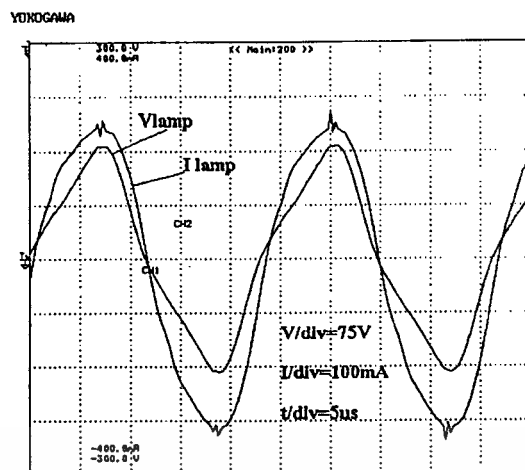


รูปที่ 5.17 รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่กัลังไฟฟ้า 27 วัตต์ ที่ความถี่ 35kHz

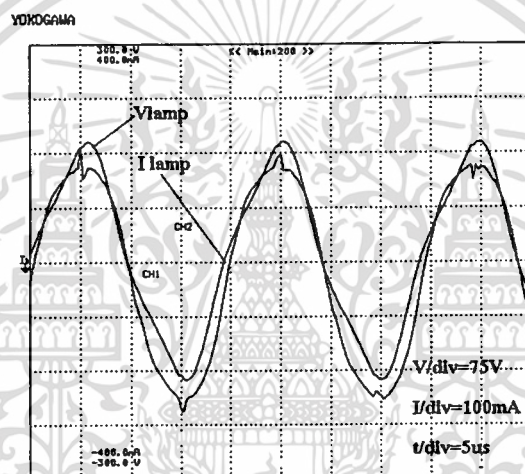


รูปที่ 5.18 รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่กัลังไฟฟ้า 24 วัตต์ ที่ความถี่ 42 kHz

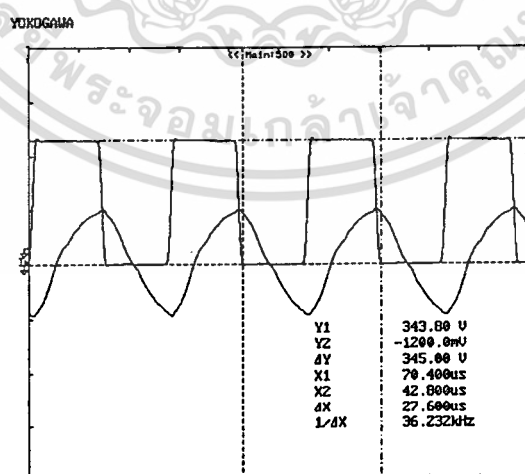
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.19 รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่ก้าลงไฟฟ้า121วัตต์ ที่ความถี่44 kHz

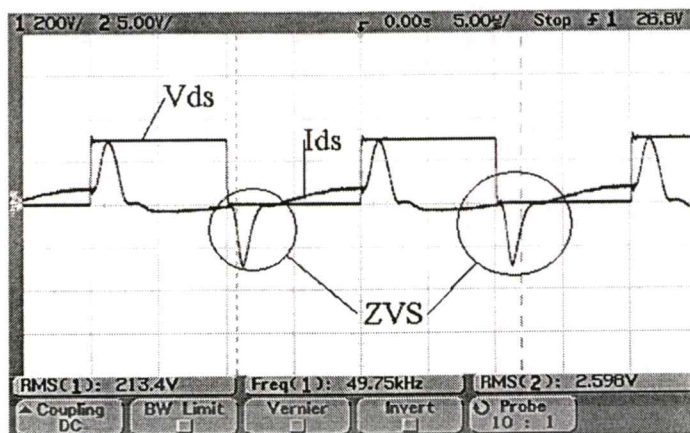


รูปที่5.20 รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่ก้าลงไฟฟ้า17วัตต์ ที่ความถี่50kHz



รูปที่5.21 รูปคลื่นแรงดันที่สวิชต์กับกระแสโหลด ที่ความถี่36kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์มอสเฟต

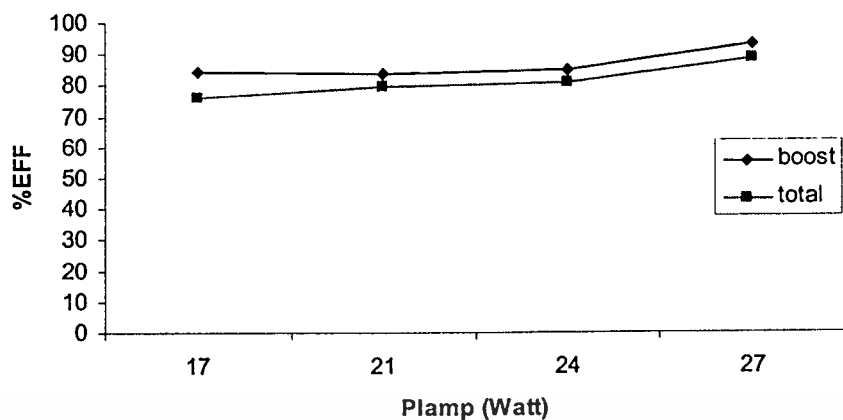
ตารางที่ 5.2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าของหลอดเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง

ความถี่ (kHz)	P_{lamp1} (W)	P_{lamp2} (W)	P_{total} (W)
37	26.85	27.12	53.97
40	24.8	25.6	50.4
45	21.6	22.3	43.9
50	17.6	18.1	35.7

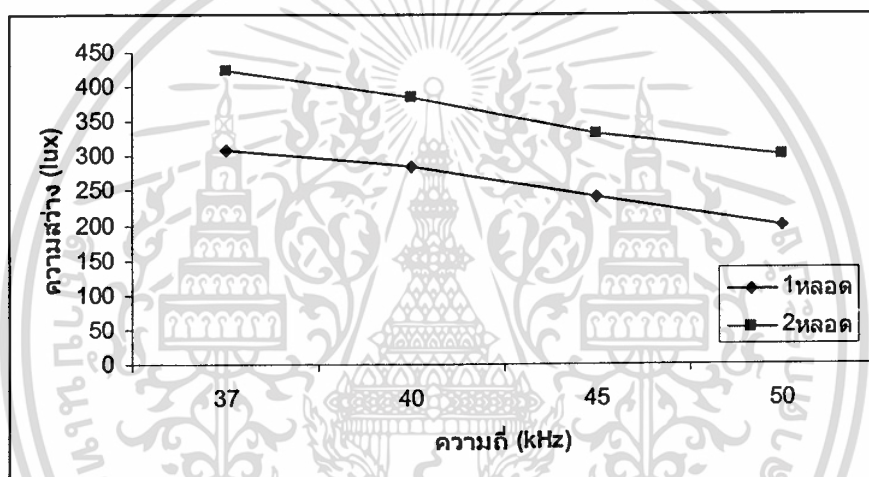
ตารางที่ 5.3 การทดลองวัดค่าความสว่างเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง

ความถี่ (kHz)	ความสว่าง (lux)		P_{lamp} (W)
	หลอด1หลอด	หลอด2หลอด	
37	310	425	27
40	285	384	24
45	240	333	21
50	200	301	17

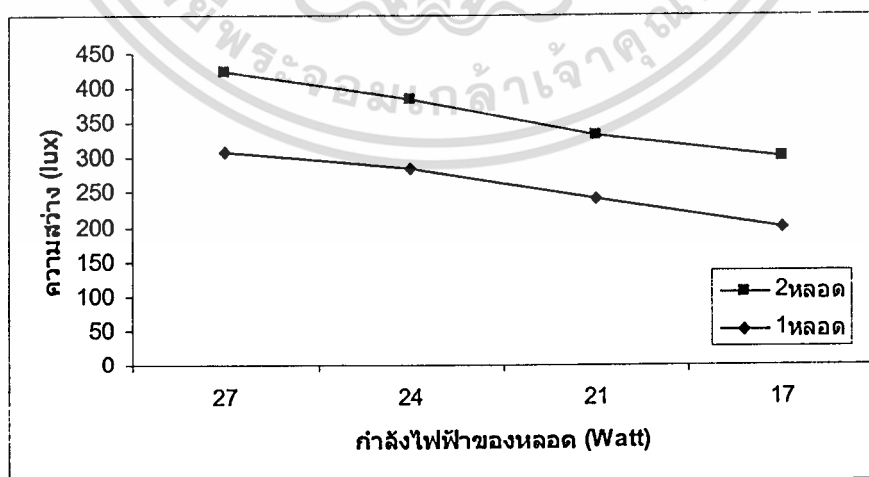
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของหลอดกับประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สวิตซ์กับความสว่างของหลอด



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของหลอดกับความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่5.22แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านสวิตซ์ซึ่งจะมีลักษณะของ Zero Voltage Switching: ZVS เกิดขึ้นในขณะที่สวิตช์มอสเฟตทำงานแต่มีการสูญเสียพลังงานในช่วงที่มอสเฟตหยุดทำงานด้วย

จากตารางที่5.2 และ5.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่สวิตซ์เพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าลดลง เช่นเดียวกับความสว่างก็มีค่าลดลงด้วย

รูปที่5.17ถึงรูปที่5.20 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่โหลดฟลูออเรสเซนต์จะเห็นว่าความถี่เพิ่มขึ้นทำให้กระแสที่โหลดมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนแรงดันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.4 บทสรุป

การทดลองเมื่อทดลองวัดค่าวงจรที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์การเริ่มต้นการทำงาน (start up) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะดีกว่ามีแรงดันสูงชั่วขณะพอที่จะทำให้หลอดติดได้ทันทีแต่บัลลาสต์แกนเหล็กจะใช้กับสตาร์ทเตอร์จะปล่อยแรงดันสูงเป็นระยะๆจนทำให้หลอดติดทำให้เกิดความเสียหายที่ขั้วหลอดได้เร็วกว่าแรงดันด้านอินพุตเปลี่ยนแปลง180-260 V วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ก็ยังคงทำงานและให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงเหมือนเดิมและยังคงให้สัญญาณด้านออกที่400Vเกือบคงที่ประสิทธิภาพโดยรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพของบูสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าของหลอด ในส่วนของค่าสเปกตรารฮาร์โมนิกส์แรงดันอินพุตจะมีค่าน้อยมากแต่สเปกตรารฮาร์โมนิกส์กระแสอินพุตจะมีค่ามากขึ้นตามแรงดันอินพุตและความสว่างของหลอดเพิ่มมากขึ้นเมื่อความถี่สวิตซ์ลดลงแต่ถ้ากำลังไฟฟ้าของหลอดมากขึ้นความสว่างของหลอดก็มากขึ้นตามมาด้วยและมีการเกิด Zero Voltage Switching: ZVS ในขณะที่สวิตช์มอสเฟตทำงาน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าใกล้เคียงหนึ่งและสามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่มีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้ ไม่เกิน $\pm 15\%$ และวิเคราะห์การหรี่แสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ $220\text{ V} \pm 15\%$ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามานี้จะผ่านวงจรกรอง EMI เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้วงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อใช้วงจรกรองแล้วก็จะช่วยลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ ในส่วนของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตให้มีค่าใกล้เคียง 1 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์มาช่วยในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยใช้ ไอซี L6561 มาเป็นตัวป้อนป้อนสัญญาณสวิทช์ให้กับมอสเฟต และยังสามารถออกแบบให้ใช้กับแรงดันไฟฟ้าอินพุตได้กว้างขึ้นจึงสามารถใช้ได้ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $220\text{ V} \pm 15\%$ และค่า power factor มีค่าไม่ต่ำกว่า 0.95 และรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าอยู่ที่ 400 V ได้ เพื่อจ่ายให้กับวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟตรง 400 V ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าสลับความถี่สูง โดยมีการออกแบบให้ใช้งานกับวงจร LCC ที่จ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด และใช้หม้อแปลงอิมิตัวมาใช้ในส่วนของการหรี่แสงโดยการเปลี่ยน แปลงกระแสที่ใช้สร้างแรงดันที่จ่ายให้หลอดของมอสเฟต ให้มีความถี่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความถี่ในการสวิทช์เปลี่ยนแปลงไป โดยการปรับค่าความต้านทาน $1\text{ k}\Omega$ ให้มีค่าลดลงโดยจะมีผลเมื่อค่าความต้านทานลดลงเกิน 400Ω ก็จะทำให้ความถี่ในการสวิทช์เริ่มลดลงและทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่หลอดเพิ่มขึ้น พิกัดที่สามารถหรี่ได้อยู่ที่ 50% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในงานวิจัยนี้คือกำลังสูงสุดที่ 27 W สามารถหรี่แสงได้ถึงที่ค่ากำลังไฟฟ้า 17 W ความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็ขึ้นอยู่กับค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด ถ้ามืด ก็จะมี ความสว่างมาก และการติด 2 หลอดกับ 1 หลอดความสว่างก็แตกต่างกันความสว่างที่ได้จะอยู่ที่ประมาณ $301\text{ - }425\text{ lux}$ สำหรับ 2 หลอด และ $200\text{ - }310\text{ lux}$ สำหรับ 1 หลอด ประสิทธิภาพของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ก็จะอยู่ที่ประมาณ $86.6\text{ - }91\%$ ในส่วนประสิทธิภาพโดยรวมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ นั้นจะอยู่ที่ $77.27\text{ - }88.5\%$ ที่ใช้กับ 1 หลอด

6.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

1. ในการวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะใช้ที่ความถี่มูลฐานที่แรงดันที่ออก จากอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ออกมาใกล้เคียงกับค่าที่ใช้จริงมากแต่ถ้าหาวิธี
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาค่าฮาร์โมนิกส์ที่มีผลกับแรงดันที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ด้วยแล้วก็จะสามารถคำนวณหา ค่าได้แม่นยำยิ่งขึ้น

2. ในการวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่หรีแสงได้โดยใช้โครงข่าย LR นั้นในการหรีแสงก็สามารถหรีแสงได้ในระดับหนึ่งแต่ถ้าลองเปลี่ยนวงจรที่ใช้หรีแสงจาก LR เป็น CR การหรีแสงก็จะสามารถหรีได้และจะมีการทำงานโดยเมื่อปรับค่าความต้านทาน R_u ให้เพิ่มขึ้นใกล้เคียง $1k\Omega$ จะทำให้กระแสที่ CR ไปตัดกับกระแสทุติยภูมิมีความชันน้อยลงทำให้การเกิดกระแสเหนอร์ไดโอดมีคาบเวลามากขึ้นก็แสดงว่าความถี่ต้องลดลงดังนั้นกระแสเหนอร์ไดโอดนี้เองที่ไปสร้างแรงดันขั้วเกิดของมอสเฟตซึ่งก็จะมีค่าที่เท่ากับกระแสเหนอร์นั่นเอง ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่ลดลงสูงสุด ในทางกลับกันถ้าลดค่า R_u ให้ใกล้เคียงศูนย์ก็จะทำให้ความชันมากขึ้นและความถี่ก็จะเพิ่มขึ้นทำให้กำลังไฟฟ้าก็จะลดลง

3. ในการวิเคราะห์ห้วงจรบวสต์คอนเวอร์เตอร์เราจะสามารถให้ห้วงจรับแรงดันที่ด้านเข้าจ่ายให้กับบวสต์มีค่าต่ำกว่าในงานวิจัยนี้ได้อีก ถ้าให้ห้วงจรสามารถรับแรงดันได้ต่ำก็จะสามารถใช้งานในที่ที่มีแรงดันตกเป็นประจำได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] Prado R.N.do , Seidel A.R. , Bisogno F.E.,Costa M.A.D., “A design approach of the self-oscillating electronic ballast ”, **Power Electronics and Motion Control Conference**, 2000. Proceedings. PIEMC 2000. The Third International Volume 3, 15-18 Aug. 2000 Page(s):1127 - 1131 vol.3
- [2] Wu T.-F. , Liu Y.-C. , Wu Y.-J. , and Heur P.-E.,” High Efficiency, Low Stress Electronic Ballasts for Multiple Fluorescent Lamps” **IEEE Industry Applications Society**, 1997. Annual Meeting, 5-9 Oct 1997 Page(s):2380 – 2387.
- [3] Fengfeng Tao, Qun Zhao, Lee F.C., Onishi. N,” Self-oscillating electronic ballast with dimming control” **Power Electronics Specialists Conference**, 2001. Volume 4, 17-21 June 2001 Page(s):1818 – 1823.
- [4] Prado R.N.do, Seidel A.R., Bisogno F.E.,Costa M.A.D, “Self-Oscillating Dimmable Electronic Ballast to Supply Two Independent Lamps”, **Power Electronics Specialists Conference**, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual Volume 1, 23-27 June 2002 Page(s):198 - 202 vol.1S. V. Vaseghi, Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction. New York: John Wiley & Sons, Ltd., 1996.
- [5] Prado R.N.do , Seidel A.R. , Bisogno F.E, Pavao R.K. , “Self-oscillating electronic ballast design based on the point of view of control system”, **Industry Applications Conference**, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE Volume 1, 30 Sept.-4 Oct. 2001 Page(s):211 – 217.
- [6] Seidel, A.R.; Bisogno, F.E.; Pinheiro, H.; do Prado, R.N, “ Self-Oscillating Dimmable Electronic Ballast ”, **Industrial Electronics, IEEE Transactions**,2003. Volume 50, Issue 6, Dec 2003 Page(s):1267 – 1274.
- [7] Prado R.N.do , Seidel A.R. , Bisogno F.E.,Costa M.A.D. ,” An Improved Arrangement of the Lamps in the Half-Bridge Topology,” **IAS 2001 ,recond.**
- [8] Lee S.T.S., Chung H.S.-H., Hui S.Y,” Use of saturable inductor to improve the dimming characteristics of frequency-controlled dimmable electronic ballasts” **Power Electronics, IEEE Transaction**, 2004. Volume 19, Issue 6, Nov. 2004 Page(s):1653 -1660.
- [9] Pinheiro H,Jain P.K.,Joos G,” Simple Mathematical Model for Fluorescent Lamps”,**IV Industry Applications Conference,INDUSCON 2000** , pp 607-610.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Mohan N., Undelang T.M., Robins W.P. **Power Electronics converters, Applications, and Design.** 2nd. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- [11] Rashid, M.H. **Power Electronics Handbook.** California : Academic press. 2001.
- [12] Ozenbaugh, R.L. **EMI Filter Design.** California : Marcel Dekker, Inc. 1996.
- [13] SGS-Thomson Microelectronics.//“L6561, Power Factor Corrector”[Online]. Available: http://www.alldatasheet.co.kr/datasheetpdf/pdf_kor/STMICROELECTRONICS/L6561.html . 2001.
- [14] วีรเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ : หุ่นส่วน จำกัด วิ.เจ.พรีนติ้ง. 2547.
- [15] คณิต ชัยวัฒนา, “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปรับแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้” , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [16] ชนนวรรณ ห้าวหาญ. “การวิเคราะห์และออกแบบ วงจรเรียงกระแสพร้อมบูสเตอร์ ความถี่สูงที่มีการแก้ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุท” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

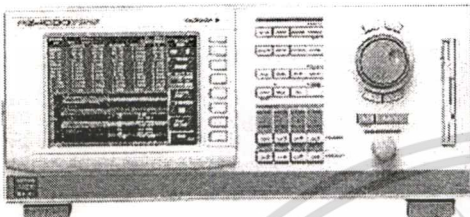
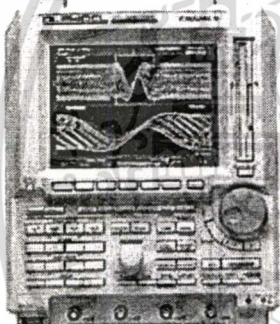
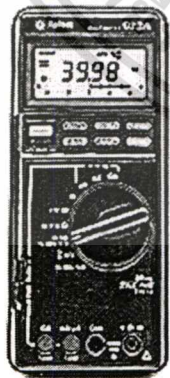
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

	<p>ผลิตภัณฑ์ Power Analyzer (YAKOGAWA) รุ่น PZ4000 รายละเอียด</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wide Measurement Bandwidth (DC to 2 MHz) - Accurately Sampling 5 MS/s - Harmonic Analysis (up to 500th Order)
	<p>ผลิตภัณฑ์ Digital Oscilloscope (YOKOGAWA) รุ่น DL1520/L (4 Channel) รายละเอียด</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandwidth 150 MHz - 200 MS/s sampling rate on one channel - or 100 MS/s on two channels - 8 bit vertical resolution - DC to 30 MHz, 850V (DC + AC peak) - 2% DC accuracy, Internal low pass filter
	<p>ผลิตภัณฑ์ Multi Meter (Hewlett Packard) รุ่น 973A รายละเอียด</p> <ul style="list-style-type: none"> - True RMS 20 kHz Accuracy = 0.1% - Vac or Vdc : 0 to 1000 Volts - Iac or Idc : 0 to 10 Amperes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ผลิตภัณฑ์ Illuminance Meter (MINOLTA) รุ่น T-1M รายละเอียด - วัดความสว่างได้ตั้งแต่ 0-999 lux</p>
	<p>ผลิตภัณฑ์ Agilent Technologies รุ่น 54622D 100MHz MIXED SIGNAL OSCILLOSCOPE รายละเอียด - วัดได้ 2 ช่องสัญญาณ - บันทึกข้อมูลลงแผ่นดิสก์ได้ - สามารถจับสัญญาณที่มีความละเอียดได้</p>

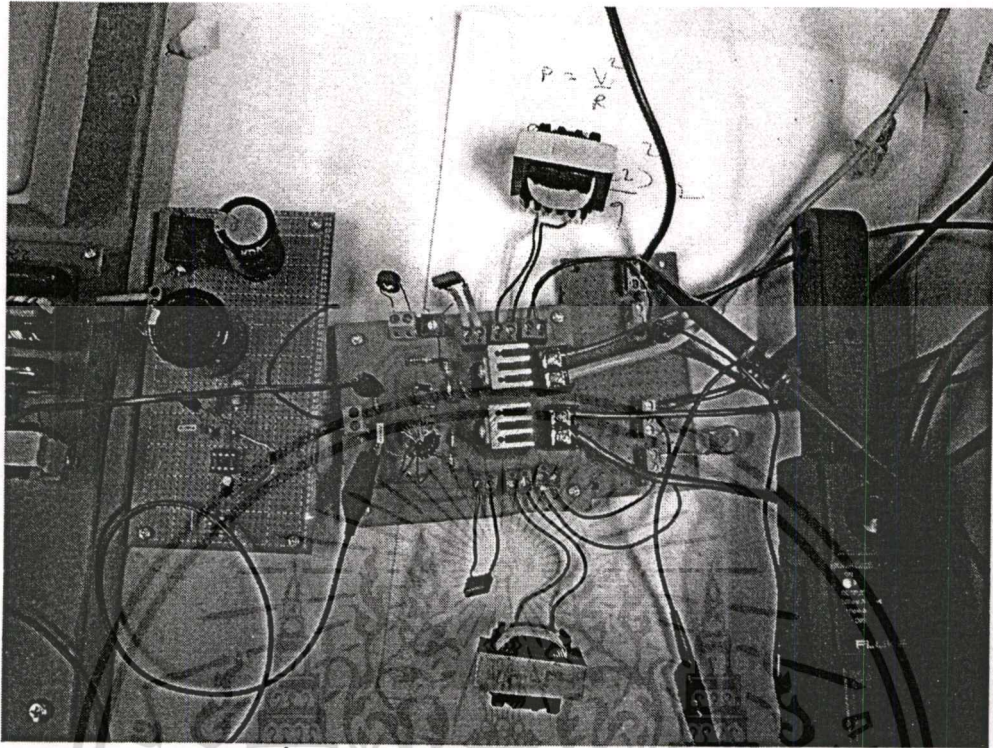
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



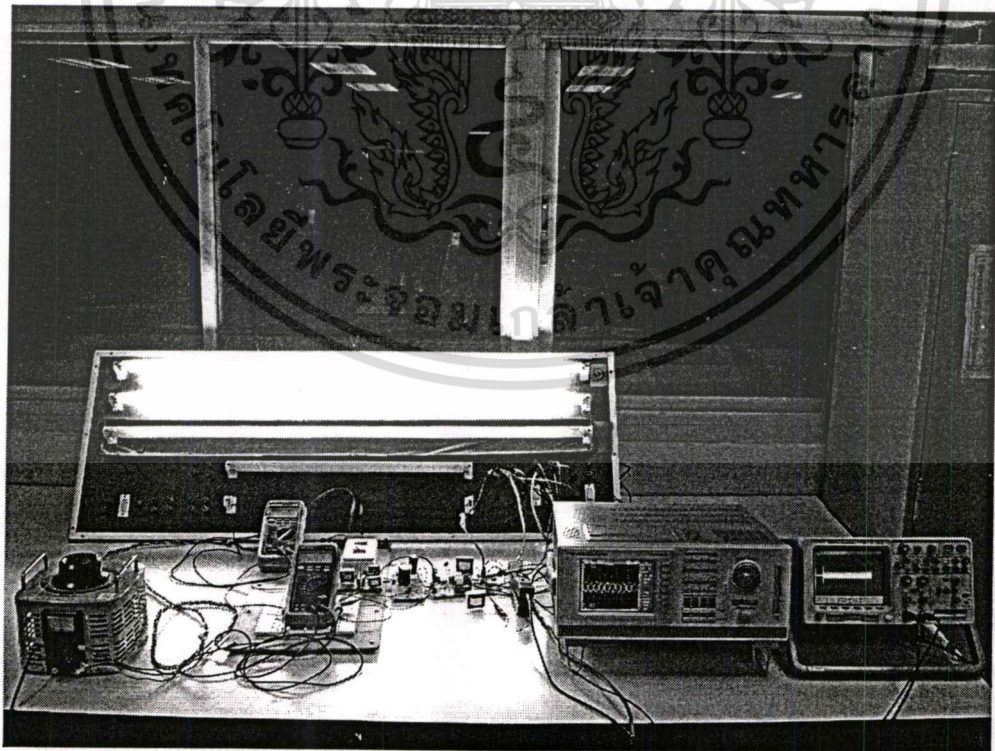
ภาคผนวก ข.

วงจรมัลลศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข1 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ



รูปที่ ข2 การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2หลอด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

ถนนวิถกรรมศาสตร์ สมทบเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 23 ฉบับที่ 2

มิถุนายน 2549

1.	The Automatic Flight Control System of Flying Robot by FUZZY PI	6
	ชาติ กุทธวิทย์ - ปิไลเชต สุภักษา	
2.	การควบคุมการสั่นสะเทือนบนขบวนรถไฟด้วยวิธีแบ่งกลุ่ม	17
	ศตวรรษ อดองบุญรอด	
3.	การออกแบบระบบควบคุมของเครื่องบินที่ขยับที่มีประสิทธิภาพทางด้านวงจรมุ่งตรงตามน้ำหนักไม่สมมาตร	18
	อดิษฐ์ เทียมศรีไชย - ศุภ บวรจรรย์ - นพรัตน์ กฤษณรินทร์	
4.	การหาตัวกระแเดแอคทีฟของเครื่องสั่นสะเทือนและองค์ประกอบของวงจรกำลังแอคทีฟหนึ่งเฟสโดยใช้โปรแกรม	19
	ประสาธต์ เข็มเพชรเชิบทองหลายวัน	
	เอกวิทย์ นานกวาง - วิจิตร กิตติเรศ - สมชาติ จิวภาภรณ์	
6.	การออกแบบและวิเคราะห์โพลศาสตร์เชิงทอแมสสำหรับผลต่อพลังงาน 36 วัตต์ 2 หลอดหลอดความถี่สูง	25
	ได้โดยพิจารณาผลต่อความถี่	
	ณรงคภรณ์ นานกวาง - วิจิตร กิตติเรศ	
6.	ผลกระทบท่อความร้อนในท่อของระบบพลังงาน วัตต์แอมป์ แยกกัน เมื่อมีการใช้งานบริเวณที่อุณหภูมิ	31
	สูง	
	ศุภสิน ก่อตุงจาตุ - สมยศ งามนระบณะ - พชร หงษ์มณี	
7.	การประยุกต์ใช้วงจรแปลงแรงดันที่มีประสิทธิภาพสูง	37
	เสียงตระ - ภาณุไทย	
	นวิศานุกิตติเฉลิม - ภาณุไทย - สว่างวัฒนา	
8.	การสังเคราะห์วัสดุประกอบจากวัสดุอินทรีย์ในสภาวะสุญญากาศ เพื่อใช้ทดแทนไม้ในเครื่องบิน	42
	รับน้ำหนัก (ทศเจษฎ์) - ไพศาล นวรัตน์พัฒน์	
9.	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวแบบคอปเปอร์จากอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและ Ferrocene	48
	ปัทมพร ศรีชมพล - สุทธิชัย วิชัยสิทธิ์ศักดิ์	
10.	การสังเคราะห์นาโนสตรักเจอร์โดยวิธีการพ่นฝอยแห้ง	54
	สุวิภากร มนตรัง - พิชญนภากร จิวสิทธิ์ประไพ - ณัฐพร โสมาศ - อรุณรัตน์ วิชัยภัทรจรรณ	
	อดิษฐ์ เตือนตรวนนท์ - สุทธิชัย วิชัยสิทธิ์ศักดิ์	
11.	การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวจากแอลกอฮอล์ด้วยวิธี CVD	60
	พิชญนภากร จิวสิทธิ์ประไพ - จิตรี นพแก้ว - อดิษฐ์ เตือนตรวนนท์ - สุทธิชัย วิชัยสิทธิ์ศักดิ์	
12.	ผลของความร้อนที่มีต่อเพชรและอินทรีนที่ผลิตโดยใช้ไดอะมอนด์เฟส p-Diamond / Si / n-Si	66
	จักรพงศ์ สุวเดช - วิสุทธิ สุทธิรุ่งเรือง - อัมพร โพธิ์ไชย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับ
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอดที่สามารถหรี่แสงได้
โดยใช้การออสซิลเลตด้วยตัวเอง

Design and Analysis of a Self Oscillating Dimmable
Electronic Ballast for Two 36-W- Fluorescent Lamps

ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว วิจิตร กิณเรศ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ 2 หลอดที่สามารถหรี่แสงได้ จุดประสงค์หลักของบทความนี้เน้นการออกแบบและการวิเคราะห์การหรี่แสงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ที่ออสซิลเลตการทำงานด้วยตัวเอง นอกจากนี้ในงานวิจัยได้จำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม ORCAD ในตอนท้ายของบทความวิจัยได้นำเสนอการทดลองบางส่วน ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ เพื่อตรวจสอบการทำงานซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

Abstract

This paper presents a dimmable electronic ballast for two 36-W-fluorescent lamps. The objective is analysis and design electronic ballast dimming. The electronic ballast includes a half-bridge inverter with self-oscillating operation. Additionally, simulation of operation using ORCAD software is given. Finally this research proposes some experimental results for verifying operation. The results appear satisfactory.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อให้แสงสว่างเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัย โรงงาน อุตสาหกรรม เป็นต้น โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์มีการใช้งานร่วมกับบัลลาสต์ขดลวดและสตาร์ทเตอร์ซึ่งจะมีการสูญเสียพลังงานในตัวบัลลาสต์ขดลวดประมาณ 10 วัตต์ อีกทั้งค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้ามีค่าจึงมีการคิดค้น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใช้งานแทนบัลลาสต์ขดลวด และยังไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์อีกด้วย โดยทั่วไปบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีโครงสร้างการทำงานที่คล้ายคลึงกัน คือใช้หลักการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็น

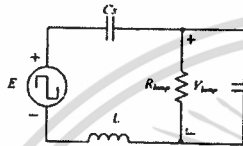
แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ปัจจุบันมีการพัฒนาวงจรอินเวอร์เตอร์ให้ใช้งานกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้การเกิดเรโซแนนซ์ในวงจร RLC มาช่วยในการทำงาน เรียกว่า วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรมที่ต่อโหลดแบบขนาน [1] มีการออกแบบตัวกรองในวงจรเรโซแนนซ์ เช่น L , C_p , C_s เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ห้วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการจับนำสัญญาณด้วยตัวเองและมีการหรี่แสงของ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้วงจร LR ต่อขนานกับหม้อแปลงอิมพัลส์ [2], [3]

บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์โซแนนซ์อนุกรมที่ต่อโหลดแบบขนานและวงจร LR ที่ใช้ในการปรับแต่งของโหลดฟลูออเรสเซนต์ในย่านความถี่ที่กำหนด

2. ทฤษฎีและหลักการ

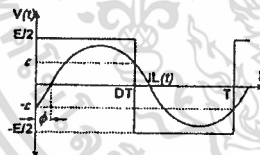
2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์โซแนนซ์อนุกรม-ขนาน

รูปที่ 1 แสดงวงจรเทียบเท่าของวงจรโซแนนซ์อนุกรม-ขนาน ที่ใช้ในการหาค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโหลดโดยแทนโหลดด้วยความต้านทาน



รูปที่ 1 วงจรเทียบเท่าของอินเวอร์เตอร์โซแนนซ์อนุกรม-ขนาน

การออกแบบอุปกรณ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์โซแนนซ์ อนุกรม-ขนาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรในรูปที่ 1 โดยที่ C_s คือตัวเก็บประจุอนุกรม, C_p คือตัวเก็บประจุขนาน, L คือตัวเหนี่ยวนำ และ R คือตัวต้านทานที่แทนโหลด โดยแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจรเป็นสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะเป็นลักษณะเป็นแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและมีกระแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC จะมีมุมเฟสกับแรงดันเป็นมุม ϕ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การหน่วงเวลาระหว่างแรงดันที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์กับกระแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC

เมื่อกำหนดที่กักกำลังเอาต์พุตของโหลดฟลูออเรสเซนต์เป็นขนาด 36 วัตต์ ทำงานที่ความถี่สูงเกิน 20 kHz ดังนั้นกำลังเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 32 วัตต์ จากนั้นต้องหาค่าแรงดันมูลฐาน RMS ของแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (1)

$$V_{rms} = \frac{E \cdot \sqrt{2}}{\pi} \tag{1}$$

เมื่อ E คือแรงดันขดคลื่นถึงขดคลื่นของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

จากนั้นเมื่อได้ค่าแรงดันมูลฐานแล้วก็สามารถหาค่า Z อิมพีแดนซ์ของวงจรของเรโซแนนซ์โดยหาอยู่ในรูปแบบเฟสเซอร์ ได้ดังสมการที่ (2)

$$Z = \frac{R}{1 + C_p^2 R^2 \omega^2} + j \left[L\omega - \frac{1}{C_s \omega} - \frac{R^2 C_p \omega}{1 + C_p^2 R^2 \omega^2} \right] \tag{2}$$

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม

จากนั้นก็สามารหาค่ากำลังเอาต์พุตที่จ่ายให้กับโหลดจากสมการที่ (1) และ (2) ได้จากสมการที่ (3)

$$P = Re \left(\frac{V_{rms}^2}{Z} \right) \tag{3}$$

และมุมเฟสของวงจรของเรโซแนนซ์ L, C_s, C_p (ϕ) หาได้จากสมการที่ (4)

$$\phi = \tan^{-1} \left[\omega R^2 \left((L - C_s^{-1} \omega^{-2}) (1 + C_p^2 R^2 \omega^2) - R^2 C_p \right) \right] \tag{4}$$

โดยอาศัยค่า L, C_s และ C_p ที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดมุมเฟสขึ้นในวงจรของเรโซแนนซ์ เพื่อให้อยู่ในช่วงการทำงานของเทคนิคการแรงดันศูนย์ขณะที่ปิดวงจร (Zero voltage switching: ZVS) และมีการสูญเสียที่สวิทช์น้อยกว่าที่มุมเฟสเป็น 0 องศา การออกแบบวงจรของเรโซแนนซ์นั้นเมื่อได้ค่าแรงดัน V_{RMS} , กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (P), ค่ามุมเฟส (ϕ) และความถี่ในการสวิทช์ซึ่งเริ่มต้น (1) ก็สามารถหาค่า C_s, C_p, L ส่วนประกอบวงจรของเรโซแนนซ์ได้ การคำนวณหาค่าของตัวเก็บประจุขนาน C_p จากสมการที่ (3) และ (4) จะกำหนดให้ X เทอมมีค่าตามสมการที่ (5)

$$X = \tan(\phi) \tag{5}$$

โดยแทนที่ในสมการที่ (5) สำหรับ (3) และ (4) จะสามารถหาค่าตัวเก็บประจุขนาน C_p ได้จากสมการที่ 6

$$C_p(\phi) = \frac{I}{\omega R V_{ms}^2} \sqrt{\frac{P}{R} (R^2 + (R \cdot \tan(\phi))^2) - 1} \quad (6)$$

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำโดยแทนที่สมการที่ (5) สำหรับ (3), (4), (6) และตัวเหนี่ยวนำ L จะแยกเป็นฟังก์ชันหนึ่งฟังก์ชันของมุมเฟส สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (7)

$$L(\phi) = \frac{R \tan(\phi) \omega^{-1} + C_p(\phi) R^2}{1 + \omega^2 C_p^2(\phi) R^2} + \frac{I}{C_s \omega^2} \quad (7)$$

การหาค่าคงที่ที่ทำให้การควบคุมกระแสที่หม้อแปลงอิมตัว L กับแรงดันที่จ่ายของสวิตช์มอสเฟต ในรูปที่ 2

$$i_L(0) = \varepsilon \quad \text{เมื่อ} \quad \left. \frac{di_L(t)}{dt} \right|_{t=0} > 0 \quad (8)$$

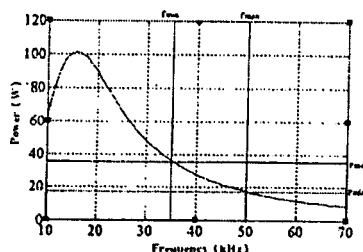
$$i_L\left(\frac{T_s}{2}\right) = \varepsilon \quad \text{เมื่อ} \quad \left. \frac{di_L(t)}{dt} \right|_{t=\frac{T_s}{2}} < 0 \quad (9)$$

ก็จะหาค่า ε ได้จากสมการ

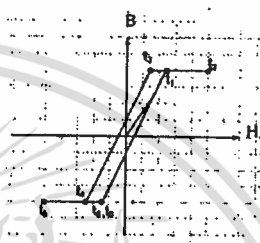
$$\varepsilon = \frac{N\pi V_z}{2\omega L_m} \quad (10)$$

- โดยที่ N คืออัตราส่วนของหม้อแปลงอิมตัว $n = np/ns$
- V_z คือแรงดันของเซ็นเซอร์โอด
- L_m คือค่าความเหนี่ยวนำที่หม้อแปลงอิมตัว

การเลือกขานความถี่สวิทซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับความสามารถในการหริ่งแสง มีการจำกัดขานความถี่สวิทซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นี้เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานอยู่ในย่านอินคัตทิฟโพลด เพราะจะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีมุมเฟสนำหน้ากระแสไฟฟ้าซึ่งจะทำให้การทำงานของสวิทซ์ซึ่งอยู่ในสภาวะการทำงานของสวิทซ์ภาคแรงดันศูนย์ขณะที่ปิดวงจร ค่าที่เป็นไปได้ที่จะเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งในรูปที่ 3 แสดงถึงความถี่สูงสุด f_{max} กับความถี่ต่ำสุด f_{min} ซึ่งเลือกความถี่สวิทซ์ต่ำสุดที่ทำให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้งานอยู่ในช่วงการทำงานของสวิทซ์ภาคแรงดันศูนย์ขณะที่ปิดวงจร



รูปที่ 3 แสดงการเลือกขานความถี่กับค่ากำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4 B-H loop ฮิสเทอริซีของหม้อแปลงอิมตัว

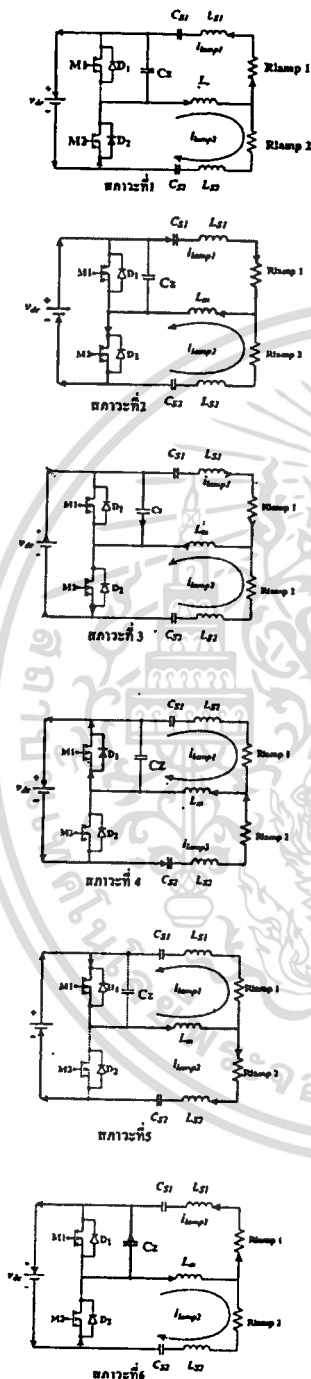
การวิเคราะห์การทำงานของวงจรในสภาวะคงตัวจะมีการทำงานใน 1 รอบ แบ่งออกเป็น 6 สภาวะตาม B-H loop ฮิสเทอริซีของรูปที่ 4

3. การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

สภาวะที่ 1 [t_0-t_1] เมื่อเริ่มการทำงานที่เวลา t_0 วงจรเริ่มทำงานโดยที่มีแรงดันจ่ายให้ที่ขาเกตของ M_2 และทำให้พรีวิลลิ่งโอด D_1 เริ่มทำงานพร้อมสวิตช์ M_2 ก็เริ่มทำงานด้วยแต่ยังไม่นำกระแสจนกระทั่งที่เวลา t_1 กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวและมีความชันเป็นบวกทำให้พรีวิลลิ่งโอด D_2 หยุดการทำงาน

สภาวะที่ 2 [t_1-t_2] ที่เวลา t_1 สวิตช์ M_2 ทำงานอยู่และเริ่มมีการนำกระแสผ่านสวิตช์ M_2 จนกระทั่งที่เวลา t_2 กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมตัวเริ่มมีความชันเป็นศูนย์และแรงดันที่ M_2 เริ่มมีการเพิ่มขึ้นทำให้สวิตช์ M_2 เข้าสู่สภาวะหยุดการทำงาน

สภาวะที่ 3 [t_2-t_3] ที่เวลา t_2 เป็นช่วงที่สวิตช์ M_2 เริ่มหยุดการทำงานและจะเกิดกระแสไหลย้อนกลับผ่าน C_z ทำให้ลดการสูญเสียขณะ M_2 หยุดการทำงานได้และหม้อแปลงอิมตัวทำงานในสภาวะอิมตัวด้วยตาม B-H loop ที่เวลา t_3 แรงดันที่ C_z จะลดลงจนเป็นศูนย์และกระแสที่ไหล



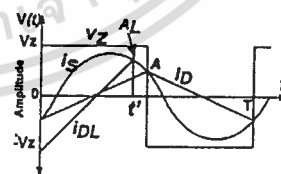
รูปที่ 5 สถานะการทำงานของวงจรใน 1 ไซเคิล

ผ่านหม้อแปลงอิมิตัวเริ่มมีค่าความชันเป็นลบในช่วงเวลานั้นเองจะทำให้ฟริวลิ้งโคโอด D_1 เริ่มทำงานและแรงดันที่ขาออกของสวิตช์ M_1 เริ่มสูงขึ้น

สถานะที่ 4 [t_3-t_4] ที่เวลา t_3 กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมิตัวมีความชันเป็นลบทำให้หม้อแปลงค่านทุกขงอุมิจะสลับการทำงานกันทำให้ฟริวลิ้งโคโอด D_1 ทำงานพร้อมกับสวิตช์ M_1 เริ่มทำงานแต่ยังไม่นำกระแสซึ่งอยู่ในสถานะสวิตช์ภาคแรงดันศูนย์ขณะปิดวงจรที่ t_3 กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมิตัวมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ฟริวลิ้งโคโอด D_1 เริ่มหยุดการทำงานและสวิตช์ M_1 กำลังจะนำกระแส

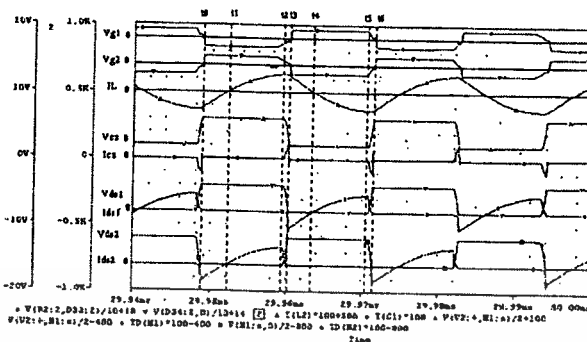
สถานะที่ 5 [t_4-t_5] ที่เวลา t_4 สวิตช์ M_1 เริ่มนำกระแสผ่านตัวเองและทำให้ฟริวลิ้งโคโอด D_1 หยุดการทำงานที่เวลา t_5 สวิตช์ M_1 นำกระแสแต่ก็เริ่มนำกระแสตกลงเนื่องจากความชันของกระแสไหลผ่านหม้อแปลงอิมิตัวเข้าใกล้ศูนย์สวิตช์ M_1 เริ่มเข้าสู่สถานะหยุดทำงาน

สถานะที่ 6 [t_5-t_6] ที่เวลา t_5 เป็นช่วงเวลาสวิตช์ M_1 หยุดนำกระแสและจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน C_z ขึ้นเป็นการหน่วงเวลาให้ลดการสูญเสียขณะสวิตช์ M_1 หยุดนำกระแสถือทั้งแรงดันที่ขาออกของสวิตช์ M_1 ลดค่าลงจนใกล้หยุดนำกระแสที่เวลา t_6 จะเกิดแรงดันที่ C_z เพิ่มมากขึ้นทำให้กระแสที่ C_z หยุดไหลและกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงอิมิตัวมีความชันเป็นบวกทำให้ฟริวลิ้งโคโอด D_2 เริ่มทำงานและแรงดันที่ขาออกเพิ่มขึ้นจึงทำให้สวิตช์ M_2 ใกล้เคียงทำงานและก็จะกลับเข้าสู่สถานะที่ 6 ในรอบการทำงานต่อไป



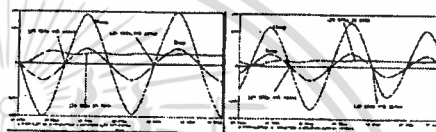
รูปที่ 6 การเปลี่ยนความถี่สวิตช์ของสวิตช์มอสเฟต

การเปลี่ยนความถี่ในการสวิตช์นั้นจะใช้วงจร LR ต่อขนานกับขดลวดทุกขงอุมิของหม้อแปลงอิมิตัว ดังรูปที่ 8 แสดงสถานะการทำงานในรูปที่ 6 โดยการทำงานระหว่าง



รูปที่ 7 รูปคลื่นจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ที่ขับสวิทช์การทำงานด้วยตัวเอง

กระแสที่คลวคทุกขุมักกับกระแสที่วงจร LR ที่ต่อขนานกัน ซึ่งกระแสที่ออกจาก LR จะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมเมื่อบวกกันจะทำให้ค่ากระแสเลื่อนคาบเวลาและทำให้แรงดัน V_z ที่จ่ายให้กับขาเกดเปลี่ยนคาบเวลาไปด้วย



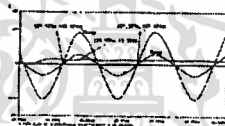
ก) ที่ความถี่ 37 kHz ข) ที่ความถี่ 41 kHz

4. การออกแบบและการทดลอง

4.1 การออกแบบ

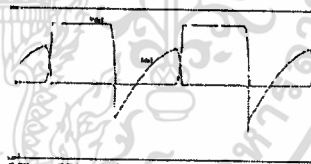
จากวงจรกรองโซ่เนกซ์ที่เป็นส่วนหนึ่งของปลั๊กสาคืออิเล็กทรอนิกส์ในรูปที่ 8 การวิเคราะห์และออกแบบคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ออกมาได้ดังนี้

$V_{dc} = 400 \text{ V}$, L_{s1} และ $L_{s2} = 2 \text{ mH}$, C_{s1} และ $C_{s2} = 100 \text{ nF}$, C_{p1} และ $C_{p2} = 15 \text{ nF}$, R_{Lamp1} และ $R_{Lamp2} = 320 \Omega$
 P_{Lamp1} และ $P_{Lamp2} = 32 \text{ W}$, $L_m = 614 \mu\text{H}$ โดยที่ $n_1:n_2 = 2:10:10$, $R_q = 220 \Omega$, $C_q = 100 \text{ nF}$, $C_z = 1 \text{ nF}$, $R_d = 1 \text{ k}\Omega$
 $L_d = 105 \mu\text{H}$, Power mosfet IRF830, Zener diode 1N4742
 $D5 = 1N4937 \text{ Fast Recovery Rectifier}$, Diac DB3

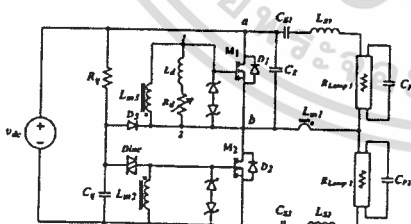


ค) ที่ความถี่ 47 kHz

รูปที่ 9 แรงดันและกระแสที่ R_{Lamp}

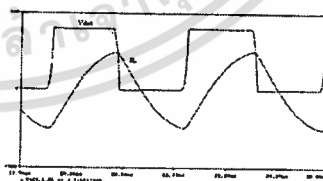


รูปที่ 10 แรงดันและกระแสที่ มอสเฟต



รูปที่ 8 วงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ

4.2 ผลการจำลองการทำงาน



รูปที่ 11 แรงดันที่สวิทช์และกระแสที่โหลดผ่าน L_{m1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย ณรงค์กรณ์ ผกาแก้ว
 วัน เดือน ปีเกิด 8 สิงหาคม 2520
 ที่อยู่ 48/3 ม.5 ซ.นวมินทร์26 ถ.นวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม
 จ. กรุงเทพมหานคร 10240
 โทร 0-2375-1974

ประวัติการศึกษา 2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาไฟฟ้ากำลัง(ติดตั้ง)
 วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้