

การศึกษาและลดฮาร์มอนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

STUDY AND REDUCE HARMONICS IN BALLAST ELECTRONICS



นางสาวพรพรรณ อ่างาราม รหัส 48361639

นางสาวเดือนแรม แผงเกี่ยว รหัส 48364579

15078647 C.2

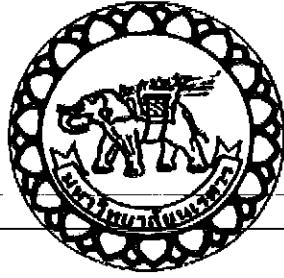
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 15 00 2553
เลขทะเบียน..... 5200029
เลขใบยืมหนังสือ..... ๗๕
..... ๗๒๔๗๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551



การศึกษาและลดฮาร์มอนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

STUDY AND REDUCE HARMONICS IN BALLAST ELECTRONICS



นางสาวพรพรรณ อําการาม รหัส 48361639

นางสาวเดือนแรม แผงเกี้ยว รหัส 48364579

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551



ใบรับรองโครงการงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ การศึกษาและลดคาร์บอนิกส์ในพลาสติกอเล็กทรอนิกส์
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวพรพรรณ อัครารม รหัส 48361639
นางสาวเดือนแรม แพ่งเกี้ยว รหัส 48364579
อาจารย์ที่ปรึกษา คร.สมพร เรืองสินชัยวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คร.ไพศาล มุณีสว่าง
อาจารย์แสงชัย มังกรทอง
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้ โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

.....กรรมการ
(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาและลดฮาร์มอนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวพรพรรณ อ้าการาม รหัส 48361639 นางสาวเดือนแรม แผงเกี่ยว รหัส 48364579
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการปริญญาโทฉบับนี้คือศึกษา และนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ และออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การสร้างและพัฒนาชุดลดฮาร์มอนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับโหลด ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 1 x 36 วัตต์ ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง โดยให้โหลดฟลูออเรสเซนต์ทำงานที่ความถี่สูง ในย่าน 50-100 กิโลเฮิรตซ์ โดยใช้วงจรสวิตชิ่ง และมีการปรับปรุงกระแสอินพุตด้วยวงจรแก้ตัวประกอบกำลังแบบแอกทีฟ (Active Power Factor Correction) เพื่อควบคุมกระแสอินพุตให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ และมีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต อีกทั้งยังมีการจำลองการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรม PSIM เพื่อช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานและการออกแบบ

สุดท้ายนี้ค่าจากการทดลองของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.1506-2541 ซึ่งผลการทดลองของชิ้นงานมีค่าอยู่ในเกณฑ์เดียวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1506-2541

Project Title	Study and Reduce harmonics in Ballast Electronics		
Name	Miss Pornpan	Amparam	ID. 48361639
	Miss Daenram	Pangkaio	ID. 48364579
Project Advisor	Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.		
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic Year	2008		

ABSTRACT

This project presents the development and the implementation of the harmonics mitigation in ballast electronic in fluorescent lamp for 1 x 36 Watts. Increasing the efficiency and improving the power factor are the aims of this project. The fluorescent lamps are operated at high frequency range 50-100 kHz which is produced by a high frequency switching circuit. The input line-current improving is achieved by the active power factor correction circuit which controls the waveform of the input line-current to be sinusoidal and in phase with the input line-voltage. Simulation of the electronic ballast using PSIM programs for verifying correct operation and designing for the prototype is included.

Finally, comparing with TIS 1506-2541 Standard. The result from examination of is confirm to the standard.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของดร.สมพร เรืองสินชัชวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดียิ่ง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ดร.ไพศาล มณีสว่าง และอาจารย์แสงชัย มังกรทอง ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

นายกฤษฎา สมจิตชอบ (ครูช่าง) และนายฉัตรภัทร มัทย์พงษ์ถาวร (ครูช่าง) ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด และทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้

คุณค่า และประโยชน์อันมีจาก โครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

พรพรรณ อ่ำภาราม

เดือนแรม แป้งเกี้ยว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน.....	2
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนิน โครงการงาน.....	3
1.5 การดำเนิน โครงการงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก โครงการงาน	3
1.7 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ.....	4
2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์	4
2.3 วงจรบัลลาสต์แบบขดลวดทำงานร่วมกับสตาร์ทเตอร์.....	9
2.4 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	10
2.5 มาตรฐานและข้อกำหนดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	14
2.6 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง.....	17
2.7 วงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบแอกทีฟ.....	18
2.8 ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า.....	20
2.9 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor).....	25
2.10 สรุปท้ายบท.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษาและออกแบบทดลอง	
3.1 วิธีการศึกษาที่นำมาใช้.....	32
3.2 วงจรอีเอ็มไอ ฟิวเจอร์ (EMI Filter).....	32
3.3 วงจรเรียงกระแส (Rectifier).....	36
3.4 การออกแบบวงจรแก้ไขและควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง.....	39
3.5 การออกแบบวงจรส่วนหน้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	42
3.6 อินเวอร์เตอร์.....	44
3.7 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Circuit).....	46
3.8 การออกแบบวงจร LCC.....	48
3.9 การออกแบบการทดลอง.....	52
3.10 วิธีที่ใช้ในการทำการทดลอง.....	52
3.11 สรุปขั้นตอนการศึกษาและออกแบบการทดลอง.....	54
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
4.1 การนำเสนอผลการทดลอง.....	55
4.2 การทดสอบโดยการจำลอง (Simulation).....	56
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพและคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญ.....	63
4.4 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	84
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง.....	87
5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา.....	87
5.3 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไข.....	88

เอกสารอ้างอิง

ประวัติผู้เขียนโครงการ

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ข้อกำหนดฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้า (มอก.1506-2541).....	15
2-2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ระหว่างแบบ Passive PFCและ Active PFC.....	18
3-1 ข้อกำหนดในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในปริมาณนี้.....	32
3-2 รายการอุปกรณ์ใช้งานจริงสำหรับสร้างวงจรภาคกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	43
3-3 ขั้นตอนคำนวณค่าขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับวงจรควบคุมกำลัง.....	44
3-4 นิยามของดัชนีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณสมบัติรูปคลื่นกระแสอินพุต.....	54
4-1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงสำหรับสร้างวงจรภาคกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	56
4-2 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่องวิเคราะห์ ฮาร์มอนิกส์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	68
4-3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้สร้างขึ้น และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	68
4-4 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	72
4-5 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้สร้างขึ้น และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	72
4-6 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในห้องตลาด ผลิตภัณฑ์ ก.....	76
4-7 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงจากบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์ ก.....	76
4-8 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในห้องตลาด ผลิตภัณฑ์ ข.....	80
4-9 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์ ข.....	80
4-10 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงจากบัลลาสต์แกนเหล็ก.....	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4-11	ค่าฮาร์มอนิกซ์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง วิเคราะห์ฮาร์มอนิกซ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว.....	85
4-12	เปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงของบัลลาสต์ อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว.....	86



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	4
2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	6
2-3 พลังงานไฟฟ้าระหว่างกระแสและแรงดันหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	7
2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างต่อกำลังของหลอดที่ความถี่ต่างๆ.....	8
2-5 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบขดลวดร่วมกับสตาร์ทเตอร์.....	9
2-6 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	10
2-7 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ 2 ส่วน.....	11
2-8 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	12
2-9 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบ ไวงาน (Active Power Factor Correction Circuit).....	17
2-10 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบ ไว โดยใช้อุปกรณ์ระดับ.....	17
2-11 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบ แอคทีฟ.....	19
2-12 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำเทียบกับการทำงานของสวิทช์.....	19
2-13 ฮาร์มอนิกส์ที่ลำดับต่างๆ.....	21
2-14 แสดงถึงฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน.....	21
2-15 จากภาพแสดงถึงความเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นเกิดจากการรวม สัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมัลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3.....	22
2-16 การรวมของสัญญาณความถี่มูลหลักและสัญญาณฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3.....	24
2-17 ตัวอย่างกราฟแสดงอันดับและขนาดของฮาร์มอนิกส์ของ หลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	25
2-18 สัญญาณของวงจรหนึ่งที่มีลักษณะของกระแสเป็นคลื่นสี่เหลี่ยมส่วนแรงดัน เป็นรูปไซน์.....	26
3-1 แผนภาพบล็อกแสดงส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	31
3-2 ลักษณะการต่อ LC ฟิเตอร์ (แบบ π) เพื่อลดสัญญาณรบกวน.....	33
3-3 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่สูง.....	34
3-4 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่ต่ำ.....	34
3-5 วงจรอีเอ็มไอ ฟิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ.....	36
3-6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-7 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของวงจรเต็มคลื่น.....	37
3-8 วงจรเรียงกระแสที่ได้จากการออกแบบ.....	39
3-9 ไอซี L6561.....	40
3-10 วงจรภายในของไอซี L6561.....	40
3-11 วงจร Error Amplifier และ Over voltage Detector.....	41
3-12 วงจรเรกติไฟเออร์ที่มีวงจรควบคุมค่าประกอบกำลังแบบบูสต์.....	42
3-13 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ชนิดซิงเกิ้ลเฟส.....	45
3-14 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์แบบอนุกรม – ขนานกับโหลด.....	47
3-15 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม – ขนาน.....	48
3-16 วงจรเทียบเท่าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ อนุกรม – ขนาน สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	49
3-17 การหน่วงเวลาระหว่างแรงดันที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ กับกระแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC.....	49
3-18 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	52
4-1 วงจรภาคกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบจำลอง โดยโปรแกรม PSIM.....	56
4-2 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยโปรแกรมPSIM.....	57
4-3 ผลจากการจำลองการทำงาน (Run Simulation) ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มี วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยใช้โปรแกรม PSIM.....	60
4-4 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ยังไม่ได้แก้ไขค่าประกอบกำลัง) โดยโปรแกรมPSIM.....	60
4-5 ผลจากการจำลองการทำงาน (Run Simulation) ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ไม่มี วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยใช้โปรแกรม PSIM.....	63
4-6 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยมีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง.....	64
4-7 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	67
4-8 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง.....	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-9 ผลจากการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องตลาดผลิตภัณฑ์ ก.....	75
4-10 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องตลาดผลิตภัณฑ์ ข.....	79
4-11 ผลการทดสอบของบัลลาสต์แกนเหล็ก.....	83
4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของ วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	85



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การพัฒนาทางเทคโนโลยีทำให้มนุษย์มีเครื่องอำนวยความสะดวกใช้มากมาย แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ทรัพยากรของโลกลดลงเป็นอันมาก และก่อให้เกิดปัญหาทางมลภาวะขึ้น การพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้ปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้เป็นที่คาดการณ์กันว่าจะทำให้พลังงานขาดแคลนในอนาคตเพื่อแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาจึงได้นำความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้เพื่อแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ พร้อมกับการประหยัดและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วย พลังงานส่วนใหญ่จะถูกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง ตลอดจนเครื่องอำนวยความสะดวกภายในบ้าน การพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรกล เครื่องมือและเครื่องใช้ต่างๆ นับเป็นสิ่งที่ได้กระทำอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ อุปกรณ์ให้แสงสว่างที่มีใช้กันทั่วไปเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นลำดับ การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดแบบเผาไส้จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 3-5 เท่า เมื่อได้รับแสงสว่างที่เท่ากันบัลลาสต์แกนเหล็กซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้คู่กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ยังมีกำลังสูญเสียอยู่มาก การลดกำลังสูญเสียของบัลลาสต์แกนเหล็กอาจทำได้โดยการออกแบบให้บัลลาสต์มีกำลังสูญเสียที่น้อยลง แต่ปัญหาคือบัลลาสต์จะมีน้ำหนักและราคาเพิ่มมากขึ้น การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นับเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งสำหรับการประหยัดพลังงาน เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีคุณสมบัติหลายประการที่บัลลาสต์แกนเหล็กไม่มี ทั้งในด้านการควบคุมคุณสมบัติในการทำงาน และใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟได้หลายแบบ แต่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ก็ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องปรับปรุงอีกมาก และสิ่งหนึ่งที่ยังต้องปรับปรุงคือเรื่องของฮาร์มอนิกส์ซึ่งเป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไปว่าฮาร์มอนิกส์คือสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพของกำลังไฟฟ้าต่ำลงอย่างมาก โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าผู้ใช้ไฟฟ้าภาคอื่นๆ และสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ขึ้นในระบบไฟฟ้าอย่างมากในปัจจุบันคือวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์วงจรภายในของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับเรื่องฮาร์มอนิกส์ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ภายในตัวใด และจะสามารถลดหรือขจัดฮาร์มอนิกส์ลำดับต่างๆ ได้อย่างไร โดยได้ศึกษาและวิเคราะห์จากลักษณะของคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากอุปกรณ์ภายในแต่ละตัว

โครงการนี้จะมุ่งเน้นเรื่องของการลดฮาร์มอนิกส์ในลำดับต่างๆ ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยการวิเคราะห์และปรับค่าของอุปกรณ์ภายในวงจร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หลักการทำงานของวงจรในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การลดหรือจัดฮาร์มอนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. สามารถลดฮาร์มอนิกส์ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดฮาร์มอนิกส์ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
2. ศึกษาและวิเคราะห์การเกิดฮาร์มอนิกส์ในลำดับต่างๆ
3. พัฒนางจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาส่วนประกอบต่างๆและหน้าที่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
2. ศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุการเกิดฮาร์มอนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. ศึกษาวิธีแก้ไขฮาร์มอนิกส์และเพิ่มตัวประกอบกำลังให้ใกล้เคียง 1
4. จำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM
5. ทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ σύμφωναผลิตภัณฑ์ที่มีตามท้องตลาดทั่วไป
6. สร้างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้มาจากการจำลอง
7. ทดสอบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้มาจากการจำลอง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ

มาตรฐาน มอก. 1506-2541

1.5 การดำเนินโครงการ

รายละเอียด	ปี 2551							ปี 2552		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. รวบรวมข้อมูล	←→									
2. ศึกษาการทำงานและ ปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น ในบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์			←→							
3. ทำการทดสอบและ แก้ไขปัญหาฮาร์โมนิกส์ที่ เกิดขึ้น ใน บัส ลาส ต์ อิเล็กทรอนิกส์						←→				
4. จัดทำรายงานและ สรุปผลการทดลอง										←→

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. สามารถหาสาเหตุของการเกิดฮาร์โมนิกส์ภายในวงจรของบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้
2. สามารถแก้ไขปัญหาฮาร์โมนิกส์ในวงจรบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นมลภาวะทางไฟฟ้าได้
3. สามารถพัฒนาให้วงจรบัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น

1.7 งบประมาณ

1. ค่าเอกสารและค่าเช่าเล่มโครงการฉบับสมบูรณ์	600	บาท
2. ค่าอุปกรณ์ในการทำโครงการ	1,000	บาท
3. ค่าหนังสือและเอกสารการค้นคว้า	400	บาท
รวมเป็นเงิน (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000</u>	บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

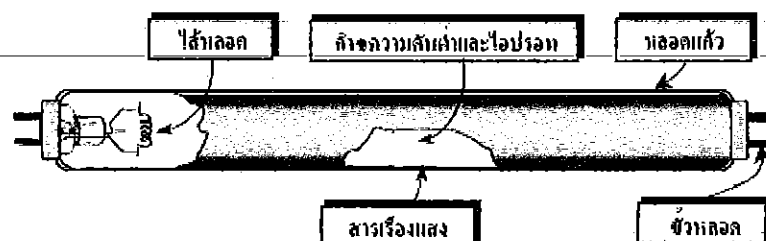
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในปริญญาโท เพื่อความเข้าใจพื้นฐานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางการออกแบบและพัฒนาวงจรต้นแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีค่าฮาร์มอนิกส์ที่ต่ำลง โดยเริ่มตั้งแต่คุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์ วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งวิธีการแก้ไขตัวประกอบกำลังและค่าฮาร์มอนิกส์ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงปัญหา แนวทางในการแก้ปัญหาและวิธีการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) [1]

หลอดฟลูออเรสเซนต์คือหลอดคิสซาร์จไอปรอทความดันต่ำ (Low Pressure Mercury Gas Discharge) (J.R. Coaton and A.M.Marden, 1990) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสง โดยใช้คุณสมบัติการนำกระแสของก๊าซความดันต่ำ ไอปรอท และสารเรืองแสง ซึ่งจะแตกต่างจากหลอดแบบเผาไส้ (Incandescent Lamp) ที่ใช้กระแสเผาไส้หลอดให้ร้อนเพื่อให้เกิดแสงสว่าง หลอดฟลูออเรสเซนต์มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานดังนี้

2.2.1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีองค์ประกอบหลายอย่างรวมกัน เพื่อกำเนิดแสงสว่างที่ทำให้ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วย หลอดแก้ว ทรงกระบอกยาวภายในเคลือบด้วยสารเรืองแสง ขั้วหลอด ไส้หลอด ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท ดังในรูปที่ 2-1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละส่วนมีลักษณะและการทำงานดังนี้



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ [8]

ก. ทั่วหลอด (Fluorescent Tube)

ภายในสุบอากาศออกจนหมดแล้วบรรจุไอปรอทและก๊าซอาร์กอนเล็กน้อยผิวด้านในของหลอดเรืองแสงฉาบด้วยสารเรืองแสงชนิดต่างๆ แล้วแต่ความต้องการให้เรืองแสงเป็นสีใด เช่น ถ้าต้องการให้เรืองแสงสีเขียว ต้องฉาบด้วยสารซิงค์ซิลิเกต แสงสีขาวแกมฟ้าฉาบด้วยหมักเนเซียม ทั้งสแตนแสงสีชมพูฉาบด้วยแคดเนียมบอเรต เป็นต้น

ข. ไส้หลอด (Filament Lamp)

ทำด้วยทั้งสแตนหรือวูลแฟรมอยู่ที่ปลายทั้งสองข้าง เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดจะทำให้ไส้หลอดร้อนขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้ไอปรอทที่บรรจุไว้ในหลอดกลายเป็นไอมากขึ้น แต่ขณะนั้นกระแสไฟฟ้ายังผ่านไอปรอทไม่สะดวก เพราะปรอทยังเป็นไอน้อยทำให้ความต้านทานของหลอดสูง

ค. ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Lamp Terminal)

ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นส่วนที่รับพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก เข้าสู่ภายในหลอด เพื่อให้หลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถกำเนิดแสงสว่างได้

ง. ก๊าซความดันต่ำและไอปรอท (Mercury vapour and Gas discharge)

เมื่อไอปรอทที่ผสมอยู่ในก๊าซความดันต่ำถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจะให้กำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นแสงที่สามารถมองไม่เห็น แต่ก่อนจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ติดสว่าง ก๊าซความดันต่ำ และไอปรอทจะเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่ถ้าใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงพอที่จะสามารถกระตุ้นให้มีการปล่อยประจุและสามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อก๊าซความดันต่ำและไอปรอทนำกระแส ไอปรอทจะปล่อยแสงอัลตราไวโอเล็ตออกมา แสงนี้ไม่สามารถที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นจะมีการเปลี่ยนให้เป็นแสงช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ด้วยสารเรืองแสงซึ่งฉาบอยู่ภายในหลอด

จ. สารเรืองแสง (Phosphor)

สารเรืองแสงซึ่งฉาบอยู่ด้านในของตัวหลอดแก้ว เป็นสารที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ตาเปล่าสามารถมองเห็นได้-ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของสารที่ฉาบภายในหลอดแก้ว การใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไป จะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีต่างกันไป เมื่อยังไม่นำกระแสหลอดไฟจะเป็นสีขาวอยู่

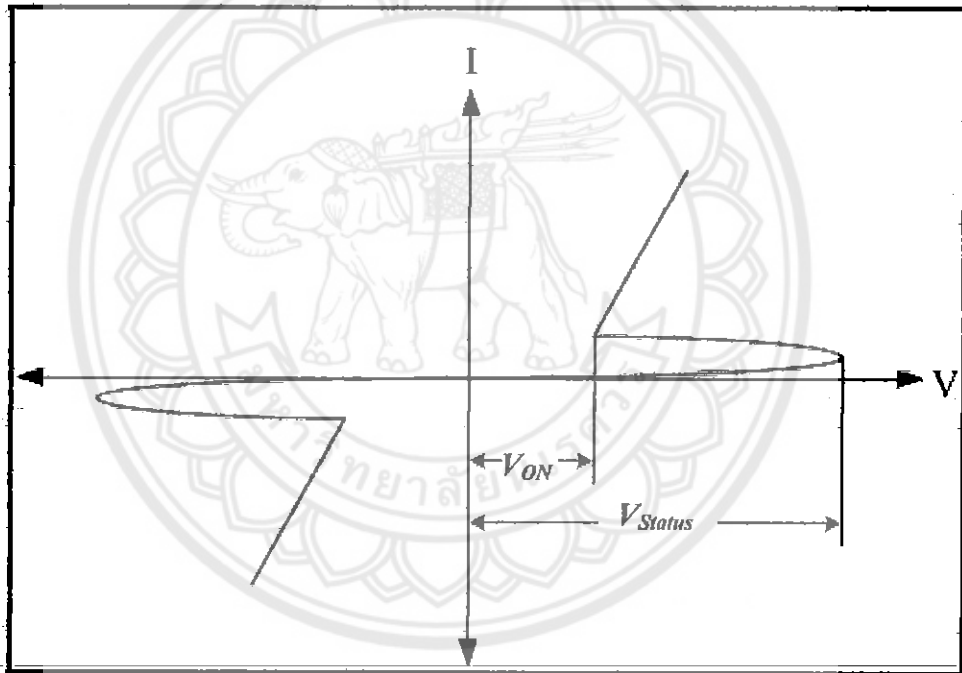
2.2.2 หลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Typical Operating of FL)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นเป็นภาวะที่มีค่าความต้านทานสูงมาก เข้าใกล้ค่าอนันต์ (Nearly Infinite) ในขณะที่หลอดอยู่ในสภาวะยังไม่นำกระแสหรือหลอดดับแต่เมื่อหลอดเริ่มนำกระแสค่าความต้านทานของหลอดจะลดลง โดยแปรผันแบบผกผันกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอด กล่าวคือเมื่อกระแสไหลผ่านหลอดยิ่งมีค่ามากขึ้น ค่าความต้านทานของหลอดก็จะลดลงตาม การที่กระแสจะเริ่มไหลผ่านหลอดได้นั้นจะต้องทำการจ่ายแรงดันตกคร่อมขั้วอิเล็กโทรดให้มีค่าสูงถึงค่าหนึ่งเรียกว่าแรงดันจุดหลอด (Strike Voltage) ทำให้อิเล็กตรอนสามารถ

กระโศกจากขั้วหลอดไปยังขั้วหลอดที่อยู่ฝั่งตรงข้าม และในระหว่างที่อิเล็กตรอนที่เลื่อนหลุดจากไส้หลอดจะชนกับอะตอมของปรอทและก๊าซเฉื่อยความดันต่ำภายในหลอดทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นไอออนซึ่งทำให้น้ำกระแสได้ค้ำขึ้นความต้านทานของหลอดจึงลดลง เมื่อหลอดนำกระแสแล้วจึงสามารถลดระดับแรงดันที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรกลง โดยที่หลอดยังคงทำงานต่อไปได้

ในขณะที่อะตอมของปรอทถูกชนโดยอิเล็กตรอนนั้นจะมีพลังงานสูงขึ้นและจะพยายามปรับตัวเข้าเข้าสู่เสถียรภาพโดยการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เกิดขึ้นนี้จะไปกระทบกับสารเรืองแสงฟอสเฟอร์ ซึ่งเคลือบอยู่บนผิวด้านในหลอดจนเกิดเป็นแสงสว่างขึ้นจากพฤติกรรมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่กล่าวถึงข้างต้นสามารถแสดงคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันตลอดช่วงการทำงาน ได้ดังรูปที่

2-2



รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ระดับแรงดันที่ใช้สำหรับจุดหลอดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรคทั้งสองข้าง โดยยิ่งห่างมากยิ่งต้องใช้แรงดันสูงขึ้น
2. เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอด
3. รูปร่างการขดของหลอด
4. ชนิดและปริมาณของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอดรวมทั้งอุณหภูมิของก๊าซขณะจุด

หลอด

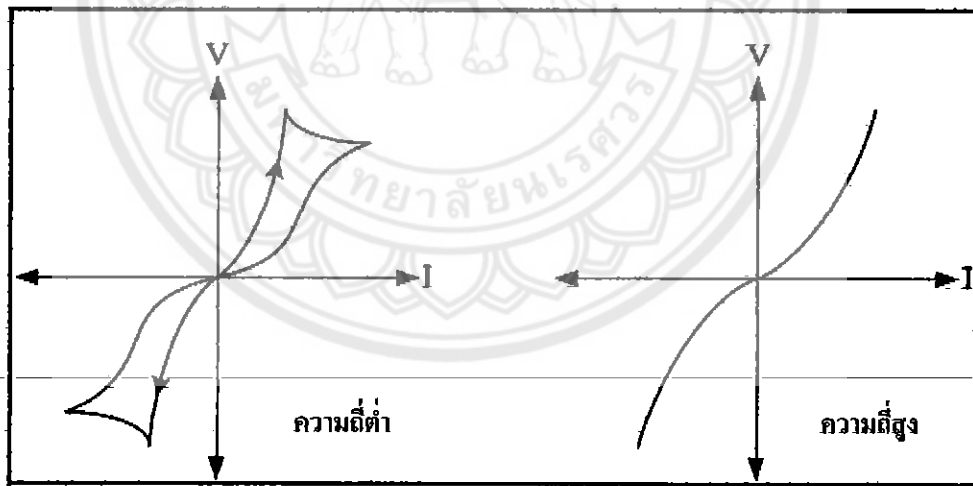
5. ค่าความดันของก๊าซภายในหลอด

6. ชนิดของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองข้าง รวมทั้งอุณหภูมิของไส้หลอดขณะจุดหลอด

ปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นถูกกำหนดโดยผู้ผลิตหลอดแก้วแต่ละรายแตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแรงดันจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 500 V ถึง 1000 V และเมื่อหลอดติดสว่างแล้วระดับแรงดันตกคร่อมขณะทำงานจะอยู่ระหว่าง 40 V ถึง 120 V

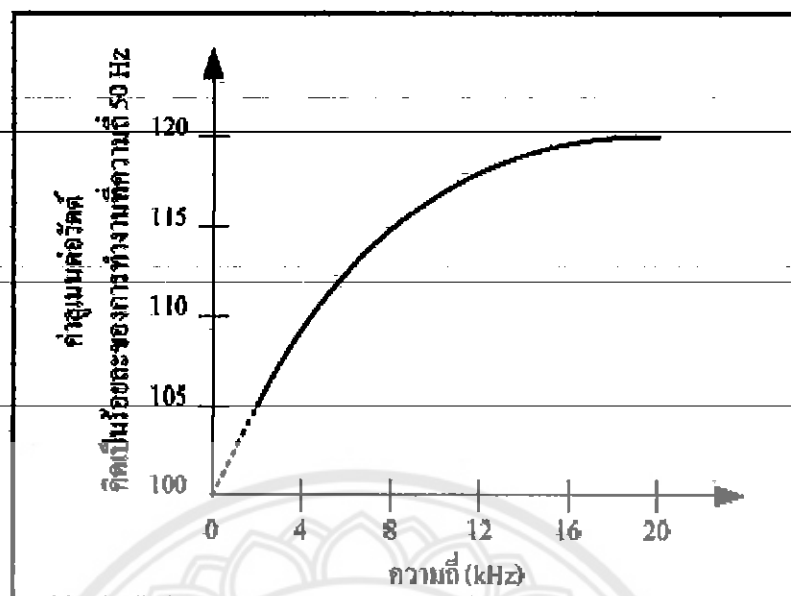
2.2.3 พลวัตทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ในการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์เกิดจากกระบวนการคายพลังงานของก๊าซซึ่งถูกกระตุ้นที่บรรจุอยู่ภายในหลอดเป็นวัฏจักร กล่าวคือถูกกระตุ้นโดยการชนของอิเล็กตรอนจนมีระดับพลังงานสูงขึ้น แล้วจึงคายพลังงานออกมาเพื่อความเสถียรจากนั้นก็ถูกกระตุ้นซ้ำใหม่เป็นวงรอบ ดังนั้นพลวัตของหลอดจึงขึ้นอยู่กับความถี่และขนาดของกระแสที่ไหลผ่านหลอด ซึ่งเมื่อเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นกระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) ของก๊าซภายในหลอดจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นของกระแสได้ทัน ดังนั้นการกำหนดความถี่การทำงานของหลอดให้ทำงานที่ความถี่สูง ทำให้สามารถประมาณความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านหลอดและแรงดันที่ตกคร่อมหลอดเป็นเชิงเส้นได้ ดังรูปที่ 2-3 รวมทั้งค่าอิมพีแดนซ์ประสิทธิผล (Effective Impedance) สามารถประมาณเป็นค่าคงที่ได้ [2, 3]



รูปที่ 2-3 พลวัตทางไฟฟ้าระหว่างกระแสและแรงดันหลอดฟลูออเรสเซนต์

การกำหนดความถี่ทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ทำงานที่ความถี่สูงนอกจากข้อดีในการประมาณการทางไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูงขึ้นด้วย [4] เนื่องจากกระบวนการไอออไนเซชันเกิดการเปลี่ยนแปลงสั้นมากความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างต่อกำลัง (Lumen/Watt) ของหลอดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานที่ความถี่ 50 Hz เห็นไปตามรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสว่างต่อกำลังของหลอดที่ความถี่ต่างๆ

2.2.4 ข้อดีและข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์ [1]

2.2.4.1 ข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. เมื่อให้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน จะให้แสงสว่างมากกว่าหลอดไฟฟ้าแบบธรรมดาประมาณ 4 เท่า และมีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไฟฟ้าธรรมดาประมาณ 8 เท่า
2. อุณหภูมิของหลอดไม่สูงเท่ากับหลอดไฟฟ้าแบบธรรมดา
3. ถ้าต้องการแสงสว่างเท่ากับหลอดไฟฟ้าธรรมดา จะใช้วัตต์ที่ต่ำกว่าจึงเสียดายไฟฟ้าน้อยกว่า

2.2.4.2 ข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. เมื่อติดตั้งจะเสียดายค่าใช้จ่ายสูงกว่าหลอดไฟฟ้าแบบธรรมดาเพราะต้องใช้บัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์เสมอ
2. หลอดเรืองแสงมีกระพริบเล็กน้อยไม่เหมาะในการใช้อ่านหนังสือ

2.2.5 สรุป

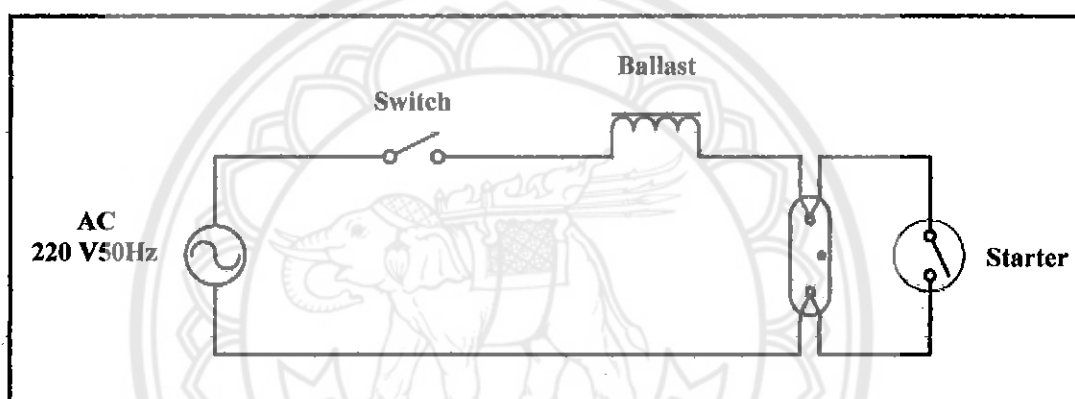
จากหลักการการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์และพลวัตทางไฟฟ้าของหลอดตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถนำมาสรุปเงื่อนไขในการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ ดังต่อไปนี้

การทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 วงจรจะต้องสามารถสร้างแรงดันสูงเพื่อทำการจุดหลอดและควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านไส้หลอดให้เหมาะสม และต่อมาในช่วงที่ 2 เมื่อ

หลอดนำกระแสแล้ววงจรจะต้องสามารถรักษาระดับแรงดัน และควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดให้เหมาะสมกับสภาวะในขณะนั้นๆ

การกำหนดให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้สามารถออกแบบวงจรได้ง่ายขึ้น เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ประสิทธิผลของหลอดจะสามารถประมาณเป็นค่าคงที่ได้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบวงจรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่าการทำงานที่ความถี่ต่ำ รวมทั้งการทำงานที่ความถี่สูงยังให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงกว่า [4] นอกจากนี้การออกแบบที่ความถี่สูงยังนำไปสู่ข้อดีในการควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง และการชดเชยคุณภาพไฟฟ้าได้

2.3 วงจรบัลลาสต์แบบขดลวดทำงานร่วมกับสตาร์ทเตอร์



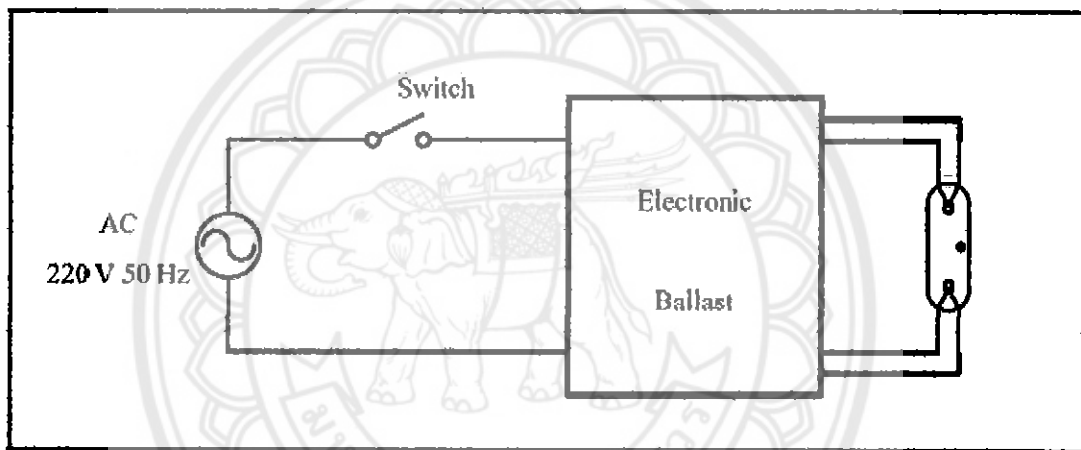
รูปที่ 2-5 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แบบขดลวดร่วมกับสตาร์ทเตอร์

จากหลักการการทำงานของหลอดวงจรสำหรับควบคุมการทำงานจึงมีลักษณะเปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายกระแสเพื่อให้การทำงานมีเสถียรภาพ [5] สามารถทำได้โดยนำอุปกรณ์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงมาต่อแบบอนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันโดยอุปกรณ์พื้นฐานอย่างง่ายที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง ได้แก่ ขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductor) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำนี้ถูกเรียกในชื่อใหม่ว่า “ บัลลาสต์ ” และเพื่อให้การทำงานสามารถตอบสนองเงื่อนไขการทำงานที่ถูกแบ่งออกเป็นสองช่วง จึงจำเป็นที่จะต้องมีส่วนตัด โนมติเพื่อแบ่งช่วงการทำงานนี้ ซึ่งสวิตช์ตัด โนมตินี้ถูกเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า “ สตาร์ทเตอร์ ” โดยวิธีการต่อเป็นดังรูปที่ 2-5

ขั้นตอนการทำงานของวงจรบัลลาสต์พื้นฐานนี้คือเมื่อเปิดสวิตช์แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V จะไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ ไปยังไส้หลอดทำให้เกิดแรงดันสูงตกคร่อมสตาร์ทเตอร์ก่อให้เกิดความร้อนที่วัสดุไบเมทัลภายในตัวสตาร์ทเตอร์ ทำให้งอเข้าหากันกระแสจึงไหลผ่านไปได้ซึ่งปริมาณกระแสที่ไหลผ่านไปนี้จะถูกจำกัดด้วยบัลลาสต์ เมื่อมีกระแสไหลผ่านแรงดันที่ตกคร่อมสตาร์ทเตอร์จะลดลงอุณหภูมิจึงลดลงตาม หน้าสัมผัสของแผ่นวัสดุไบเมทัลจึงคืนตัวแยกจาก

คร่อมสตาร์ทเตอร์จะตกลงอุณหภูมิจึงตกลงตาม หน้าสัมผัสของแผ่นวัสดุไบเมทัลจึงคิดตัวแยกจากกันอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในวงจรอย่างฉับพลัน ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดเหนี่ยวนำขยับตัวตัดแกนเหล็กเกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำค่าสูง เสริมกับแรงดันจากแหล่งจ่ายเกิดเป็นแรงดันสูงที่มีค่ามากกว่าแรงดันขดลวดทำให้หลอดถูกจุดขึ้น จากนั้นกระแสจะสามารถไหลผ่านหลอดได้อย่างต่อเนื่องโดยบัลลาสต์ทำหน้าที่ในการช่วยควบคุมปริมาณกระแสและรักษาระดับแรงดันที่ไหลผ่านหลอด สำหรับสตาร์ทเตอร์นั้นจะมีบทบาทในช่วงก่อนหลอดนำกระแส หลังจากหลอดนำกระแสได้เป็นปกติแล้วสตาร์ทเตอร์ก็จะหมดความสำคัญในวงจร

2.4 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2-6 วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

แนวคิดในการออกแบบวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์แทนที่บัลลาสต์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ เกิดจากความต้องการลดขนาดของส่วนบัลลาสต์ลงเพื่อให้สามารถนำมาประกอบรวมเป็นชิ้นเดียวกับตัวหลอดแก้ว เพื่อความสะดวกสำหรับการเปลี่ยนแทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ได้ทันที ซึ่งส่งผลให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น

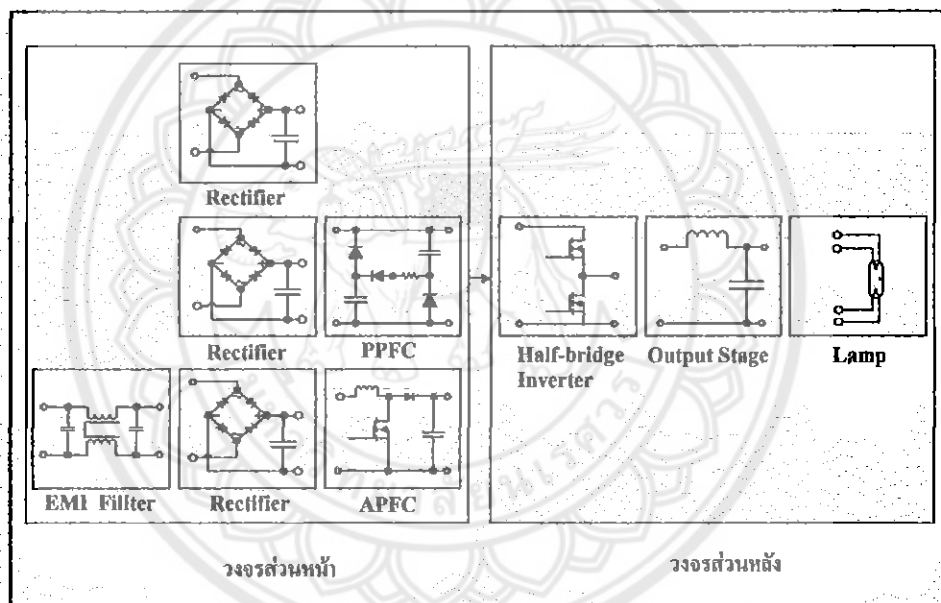
ในทางวิศวกรรมเมื่อกำหนดให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทำงานที่ความถี่สูง จะทำให้เกิดข้อดีกว่าหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานที่ความถี่ต่ำ [3] วงจรที่ออกแบบจะต้องยังคงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและตอบสนองพฤติกรรมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์วงจรที่เข้ามาทำหน้าที่แทนบัลลาสต์แบบเดิมได้แก่ วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งสามารถแปลงความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับปกติ 50 Hz เป็นความถี่สูงได้มากกว่า 20 kHz วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-bridge Inverter) เนื่องจากวงจรไม่ยุ่งยากมีอุปกรณ์สวิตช์เพียงสองตัวซึ่งอาจเป็นทรานซิสเตอร์หรือ

มอสเฟต (MOSFET) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์นี้มีข้อดีกว่าวงจรที่ใช้อุปกรณ์สวิตช์เพียงตัวเดียว เนื่องจากวงจรที่ใช้อุปกรณ์สวิตช์เพียงตัวเดียวอุปกรณ์สวิตช์จะต้องทนระดับแรงดันได้สูงมาก ทำให้มีราคาแพง

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบมาเพื่อควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออโรเรสเซนต์นี้สามารถทำงานแทนที่บัลลาสต์แบบขดลวดได้ และไม่จำเป็นต้องต่อร่วมกับสตาร์ทเตอร์ในการเปลี่ยนแปลงช่วงการทำงานอีกด้วย ดังรูปที่ 2-6 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้แทนนี้จึงถูกเรียกในชื่อใหม่ว่า “บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์”

2.4.1 รูปแบบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast Configuration)

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นวงจร 2 ส่วน คือ วงจรส่วนหน้า (Front-ended) และวงจรส่วนหลัง (Back-ended) ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ 2 ส่วน

2.4.1.1 วงจรส่วนหน้า (Front-ended)

วงจรส่วนหน้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรส่วนนี้สามารถใช้ได้หลายรูปแบบได้แก่ วงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นที่มีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ (Bulk Capacitor) ต่อท้าย หรือวงจรเรกติไฟเออร์แบบที่มีวงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังต่อท้ายซึ่งอาจเป็นได้ทั้งแบบพาสซีฟ (Passive Power Factor Correction : PPFC) หรือแบบแอคทีฟ (Active Power Factor Correction : APFC) ซึ่งในแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน คือ แบบพาสซีฟใช้อุปกรณ์น้อยแต่ให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่า ในขณะที่วงจรควบคุมค่าตัว

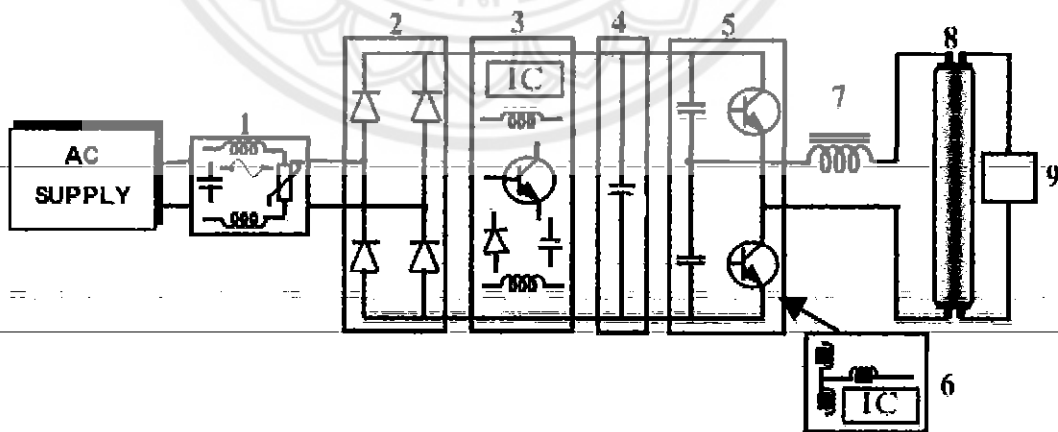
ประกอบกำลังแบบแอกตีฟให้ค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 แต่จำเป็นต้องมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูง (EMI Filter) ต่อร่วมด้วย เพื่อป้องกันการรบกวนระบบไฟฟ้าภายนอก

2.4.1.2 วงจรส่วนหลัง (Back-ended)

วงจรส่วนหลังสามารถแบ่งออกเป็นวงจรร้อยได้อีกคือ วงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากวงจรส่วนหน้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายให้กับวงจรเรโซแนนซ์และวงจรเรโซแนนซ์ซึ่งมีหน้าที่กำหนดพฤติกรรมการทำงานของวงจรให้สอดคล้องกับภาระที่เป็นโหลดฟลูออเรสเซนต์ [6,7] ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ของวงจรเรโซแนนซ์ยังสามารถมีได้หลายรูปแบบ เช่น วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonant) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและขนาน (Series-parallel Resonant) และวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมที่ต่อภาระแบบขนาน (Parallel-load Series Resonant) เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในส่วนของวงจรเรโซแนนซ์นี้มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบวงจร เพื่อควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามต้องการ

2.4.2 โครงสร้างและการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Structure of Electronic ballast)

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าสลับความถี่สูง เพื่อจ่ายให้แก่หลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบ 9 ส่วน ประกอบด้วยส่วนประกอบแต่ละส่วนของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป ทำงานร่วมกันเป็นวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่จุดทำงานหนึ่ง และให้กำลังออกที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่จุดพิกัด โครงสร้าง โดยทั่วไปของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2-8 ส่วนประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 2-8 โครงสร้างของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ [8]

2.4.2.1 วงจรด้านเข้าและวงจรป้องกัน (Input filter and Protection circuit) มีหน้าที่ลด EMI จากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนบัลลาสต์ และจากบัลลาสต์ที่จะออกไปยังสายส่ง และช่วยป้องกันกระแสกระชาก (Surge Current) แรงดันเกินชั่วขณะเมื่อเปิดไฟ

2.4.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) มีหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์

2.4.2.3 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction : PFC) มีหน้าที่ปรับปรุงรูปคลื่นของกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะใกล้เคียงไซน์ (Sine) เพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกส์และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า

2.4.2.4 วงจรกรองผ่านต่ำ (Lowpass Filter) มีหน้าที่กรองแรงดันค้ำระลอกออกไปเพื่อลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟตรง (V_{dc}) ด้านเข้าที่จ่ายให้วงจรอินเวอร์เตอร์

2.4.2.5 วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (High Frequency Inverter) มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์ที่ใช้ในการสวิตช์แบบสวิตช์แรงดันศูนย์

2.4.2.6 วงจรขับนำสวิตช์ (Drive) มีหน้าที่กำเนิดสัญญาณขับนำสวิตช์ อาจจำแนกตามลักษณะการกำเนิดสัญญาณได้ 2 ชนิด คือชนิดที่กำเนิดสัญญาณขับนำอย่างอิสระ โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และชนิดที่อาศัยการป้อนกลับของกระแสหรือแรงดันด้านโหลดผ่านหม้อแปลงอิมิตัว

2.4.2.7 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมที่สร้างแรงดันสูงในตอนเริ่มต้น และควบคุมกระแสผ่านหลอดให้มีค่าตามที่กำหนดในการทำงานปกติ

2.4.2.8 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) เป็นอุปกรณ์ที่เป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงสว่างที่มีคุณสมบัติดังนี้ คือต้องใช้แรงดันสูงในการจุดหลอดให้สว่าง ต้องการแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแหล่งจ่ายกระแส มีความต้านทานพลวัตเป็นลบและปริมาณแสงแปรตามกระแสผ่านหลอด

2.4.2.9 ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทำหน้าที่ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำในตอนเริ่มต้นเป็นวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมเพื่อสร้างแรงดันสูงในการจุดหลอด และยังเป็นทางผ่านของกระแสที่ใช้ในการอุ่นไส้หลอดในสภาวะปกติ

2.4.3 สรุป

การนำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีข้อดีหลายประการ ได้แก่

1. วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้สามารถประกอบรวมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้สะดวกกว่าแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

2. วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีกว่า สามารถลดกำลังงานสูญเสียภายในวงจรบัลลาสต์ และที่สำคัญสามารถออกแบบให้มีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 ในขณะที่วงจรบัลลาสต์แบบขดลวดมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

3. วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ให้ประสิทธิภาพในการส่องสว่างสูงกว่า เนื่องจากสามารถออกแบบให้ทำงานที่ความถี่สูงกว่า 20 kHz ได้ และการทำงานที่ความถี่สูงกว่า 20 kHz นี้จะมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น ลดการกระพริบของแสง ไม่มีเสียงรบกวนขณะทำงาน เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถรับความถี่สูงกว่า 20 kHz ได้ เป็นต้น

2.5 มาตรฐานและข้อกำหนดสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบันวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้งานร่วมกับหลอดประเภทฟลูออเรสเซนต์นั้นจะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานและข้อกำหนดทางไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้า และควบคุมมลภาวะในระบบไฟฟ้าจากผลของกระแสรีมอนิก โดยในประเทศไทยมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องคือข้อกำหนดมาตรฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (มอก.1506-2541) [9] ดังนั้นในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จึงต้องคำนึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าให้ตรงตามมาตรฐาน และข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องด้วย

คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่นำมาพิจารณาตามมาตรฐานที่สำคัญมี 2 ประการหลัก ได้แก่ รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าด้านเข้า (Input Current Waveform) เพื่อเป็นการควบคุมมลภาวะทางไฟฟ้าจากกระแสรีมอนิกที่ออกสู่ระบบไฟฟ้าหลัก และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทำงานของหลอด (Lamp Operating Current Waveform) เพราะมีผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานของหลอดโดยตรง [10] สำหรับค่าตัวประกอบกำลังตามมาตรฐานอุตสาหกรรมในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดค่าตัวประกอบกำลังต่ำสุดไว้เพียงแต่กำหนดว่าผู้ผลิตจะต้องระบุค่าตัวประกอบกำลังไว้อย่างชัดเจน

2.5.1 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าด้านเข้า

เพื่อเป็นการป้องกันมลภาวะทางไฟฟ้าจากผลของกระแสรีมอนิก จึงได้มีข้อกำหนดเพื่อควบคุมฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาจากปริมาณของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของอุปกรณ์เป็นสำคัญ ซึ่งกำหนดให้ฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าจะต้องไม่เกินค่าตามข้อกำหนดและมาตรฐาน มอก.1506-2541 ดังระบุไว้ในตาราง 2-1

ตารางที่ 2-1 ข้อกำหนดฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้า (มอก.1506-2541)

ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ n	ขอบเขตค่าอัตราส่วนสูงสุด (%) ของกระแสด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่พื้นฐาน
	Maximum value expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency
2	2
3	30. λ
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

(λ คือ ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร)

2.5.2 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทำงานของโหลด

ข้อกำหนดและมาตรฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่เกี่ยวกับคุณลักษณะและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทำงานของโหลดแบ่งเป็น 2 ข้อหลัก ได้แก่

1. ในทุกๆครั้งรอบคลื่นของแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายคลื่นขอบ (Enveloping Wave) ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดจะต้องไม่ต่างจากเดิมเกินร้อยละ 4 ที่เวลาเดียวกัน หลังจากที่แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายประธานผ่านเฟสศูนย์ เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของสัญญาณคลื่นขอบที่เปลี่ยนจากครึ่งรอบคลื่นหนึ่ง ไปยังอีกครึ่งรอบคลื่นหนึ่ง

2. ค่าอัตราส่วนสูงสุดของค่ายอดต่อค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.7 เท่าของค่าตัวประกอบยอดคลื่น แต่ในกรณีที่คลื่นความถี่สูงถูกมอดูเลตที่ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าประธานค่าตัวประกอบยอดคลื่นของคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดจะต้องไม่เกิน 1.7 โดยค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสไฟฟ้าความถี่สูงจะเท่ากับค่ายอดคลื่นของคลื่นขอบของกระแสไฟฟ้าที่ถูกมอดูเลต หรือ ไม่ถูกมอดูเลตหารด้วยกระแสไฟฟ้าค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผล

ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส (Crest Factor: CF) คืออัตราส่วนของค่ายอดของกระแสกับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของกระแสสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2-1

$$CF = \frac{I_{Peak}}{I_{rms}} \quad (2-1)$$

เหตุผลของการกำหนดมาตรฐานนี้ เนื่องมาจากค่าตัวประกอบยอดคลื่นมีผลต่ออายุการใช้งานของขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ในหลอด ซึ่งส่งผลโดยตรงกับอายุการใช้งานของหลอด จากงานวิจัยพบว่าอายุการใช้งานของหลอดจะลดลงเหลือไม่ถึงครึ่งหนึ่งของเงื่อนไขปกติ เมื่อค่าตัวประกอบยอดคลื่นมีค่าเท่ากับ 2 [10] โดยปกติรูปคลื่นกระแสที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ค่าตัวประกอบยอดคลื่นจะมีค่าเท่ากับ 1.414 และรูปคลื่นกระแสที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยมค่าตัวประกอบยอดคลื่นจะมีค่าเท่ากับ 1.732 ดังนั้นในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องให้กระแสที่ไหลผ่านหลอดมีลักษณะรูปคลื่นใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากที่สุด

2.5.3 ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร

ปัจจุบันตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องไม่มีการกำหนดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรไว้ เพียงแต่กำหนดไว้ว่าจะต้องระบุค่าตัวประกอบกำลังของวงจรไว้บนตัวบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และเมื่อทดสอบจะต้องไม่แตกต่างจากที่ระบุไว้เกิน 0.05

ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) กับกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของผลคูณระหว่างค่าตัวประกอบผิดเพี้ยน (Distortion Factor: DF) กับค่าตัวประกอบกำลังมูลฐาน (Displacement Power Factor: DPF) ดังสมการที่ 2-2

$$PF = \frac{P_{average}}{S} = \left(\frac{I_{rms,1}}{I_{rms}} \right) \cos \phi = DF = DPF \quad (2-2)$$

ค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (Total Harmonic Distortion: THD) คืออัตราส่วนระหว่างผลรวมค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของกระแสฮาร์โมนิกส์ทุกลำดับ กับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยประสิทธิผลของกระแสที่มีความถี่หลักมูล โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2-3

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \quad (2-3)$$

2.5.4 สรุป

การออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องคำนึงถึงข้อกำหนดและมาตรฐานตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อควบคุมมลภาวะทางไฟฟ้า ยืดอายุการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ และเพื่อประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2.6 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง

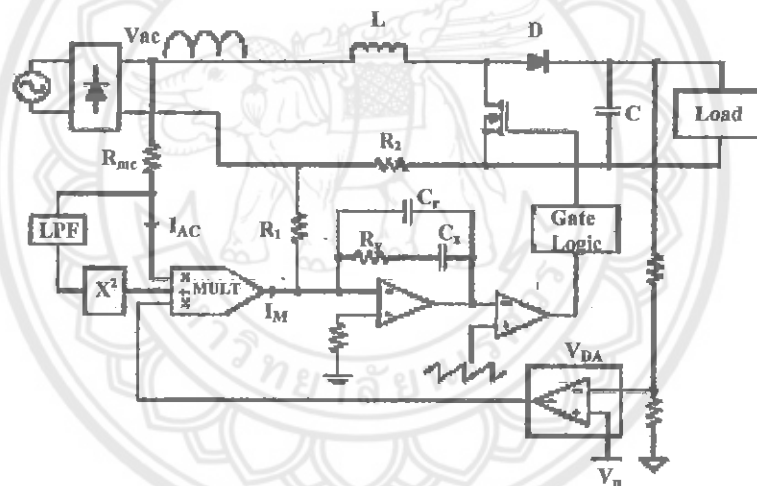
จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ [2]

2.6.1 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบเฉื่อยงาน (Passive Power Factor Correction Circuit)

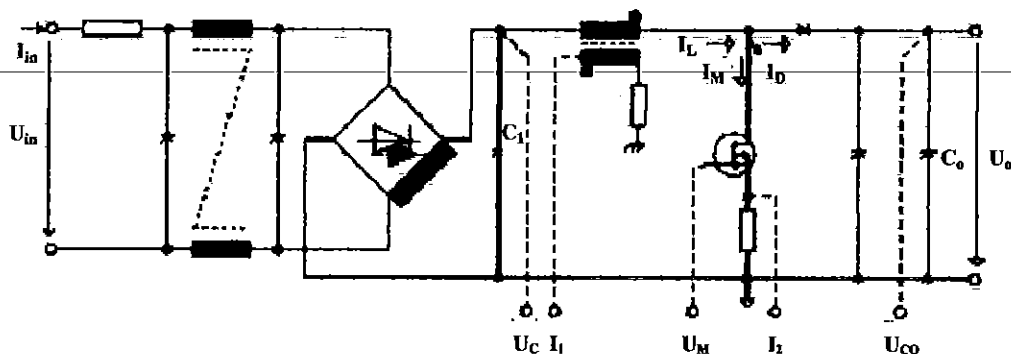
ลักษณะของวงจรจะใช้วัสดุแบบเฉื่อยงานได้แก่ ไคโอด ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวต้านทานมาประกอบเป็นวงจรเพื่อให้กระแสด้านเข้าใกล้เคียงไซน์ ซึ่งคุณสมบัติโดยเฉลี่ย ดังนี้ ตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 0.95 ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกส์รวมมากกว่า 20%

2.6.2 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบไวงาน (Active Power Factor Correction Circuit)

วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบไวงานส่วนใหญ่จะใช้หลักการการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังแบบทบระดับ (Boost Converter) หรือวงจรแปลงผันกำลังที่ตัดแปลงจากวงจรทบระดับ โดยต่อระหว่างวงจรเรียงกระแสและตัวเก็บประจุ ใช้หลักการสร้างสัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมสัญญาณที่ได้จากวงจรควบคุมจะแปรผันตามค่าดิวตีไซเคิล (Duty Cycle)



รูปที่ 2-9 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบไวงาน (Active Power Factor Correction Circuit) [5]



รูปที่ 2-10 วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบไว โดยใช้วงจรทบระดับ [2]

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ระหว่างแบบ Passive PFC และ Active PFC

คุณลักษณะ	Passive PFC	Active PFC
ราคา	ถูก	แพงกว่า
เรกกูเลเตอร์	ปรับแรงดันไม่ละเอียด ไม่ไว มากนัก	ปรับแรงดันได้ละเอียด ไวกว่า
ขนาด	เมื่อใช้กับกำลังไฟฟ้าสูงจะมี ขนาดใหญ่	ขนาดเล็กกว่าน้ำหนักเบา

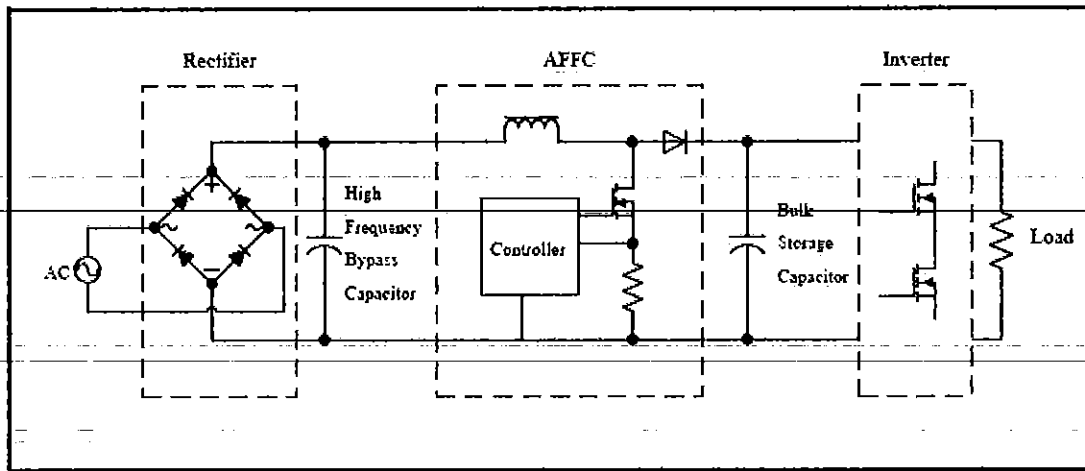
เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ แล้ว เมื่อนำวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังมาใช้ร่วมงานกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรจะต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีเสถียรภาพ ดังนั้นในปริยภูณินพจน์นี้จึงเลือก Active Power Factor Correction Circuit

2.7 วงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟ (Active Power Factor Correction)

แนวทางในการออกแบบวงจรส่วนหน้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยวงจรส่วนหน้าจะต้องมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. วงจรส่วนหน้าต้องสามารถรักษาระดับแรงดันบัส (Bus Voltage) ให้คงที่เพื่อช่วยให้วงจรอินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไประดับแรงดันนี้จะมีขนาด 400 V
2. วงจรส่วนหน้าต้องมีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันด้านเข้า รวมทั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสของแรงดันด้านเข้า วงจรต้องยังคงรักษาระดับแรงดันบัสไว้ได้
3. วงจรส่วนหน้าต้องสามารถควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของวงจรรวมให้มีค่าใกล้เคียง 1 ในขณะที่บัลลาสต์ทำงานที่กำลังเต็มพิกัด
4. วงจรส่วนหน้าต้องสามารถทำให้กระแสไหลเข้าวงจรมีเฟสตรงกับแรงดัน และมีรูปร่างใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่สูง (EMI Filter) แล้ว เพื่อจำกัดปริมาณกระแสร่มอนิกส์ของวงจรให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

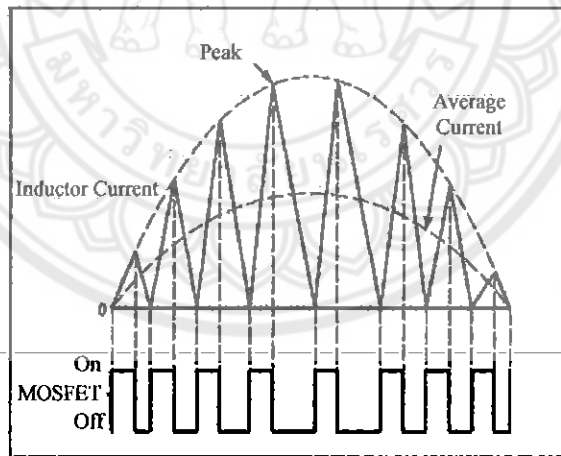
จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นวงจรส่วนหน้าที่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้แก่ วงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ ซึ่งมีวิธีการต่อร่วมในวงจรดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบแอกทีฟ

2.7.1 หลักการทำงาน

วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบแอกทีฟโดยใช้วงจรแปลงผันแบบบูสต์ (Boost Converter) จะมีกระแสค่าน้ำเข้าของวงจรกับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำเป็นกระแสเดียวกัน ลักษณะรูปคลื่นของกระแสจะแปรเปลี่ยนตามความถี่การทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำงานที่ความถี่สูงและสวิตซ์ด้วยความถี่ที่ไม่คงที่ดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-12 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำเทียบกับการทำงานของสวิตซ์

รูปแบบการทำงานของวงจรบูสต์ที่แสดงไว้ดังรูปที่ 2-12 เป็นการทำงานในสถานะขอบของรูปแบบกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่อง (Boundary Mode) ซึ่งเป็นวิธีการสวิตซ์แบบความถี่ไม่คงที่เพื่อให้รูปคลื่นกระแสและแรงดันมีเฟสตรงกัน แต่การทำงานในลักษณะนี้รูปคลื่นกระแสจะมีสัญญาณความถี่สูงประกอบอยู่ด้วย ซึ่งสัญญาณความถี่สูงเหล่านี้อาจรบกวนอุปกรณ์

อื่นๆ ที่ต่อรวมอยู่ในระบบ ดังนั้นการใช้งานวงจรที่มีลักษณะการทำงานประเภทนี้ จึงต้องมีวงจรกรองสัญญาณรบกวนคลื่นความถี่สูงประกอบด้วย

2.7.2 สรุป

วงจรเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟโดยใช้วงจรแปลงผันแบบบูสต์ สามารถนำมาใช้เป็นวงจรส่วนหน้าของแบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโหลดคฟลูออเรสเซนต์ได้ เพื่อช่วยควบคุมค่าตัวประกอบกำลังและรักษาแรงดันบัลไฟตรงของวงจรให้คงที่ จึงสามารถลดขนาดของตัวเก็บประจุค่านหลังวงจรเรกติไฟเออร์ลงได้ เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ให้มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดและมาตรฐาน โดยวิธีการออกแบบวงจรส่วนนี้โดยละเอียดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

2.8 ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า (Harmonic in Power System) [11]

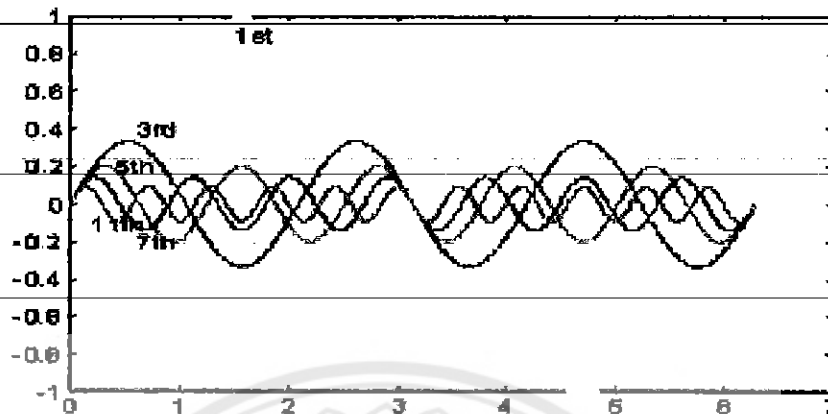
ในปัจจุบันการไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้ให้ความสำคัญกับคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากระบบไฟฟ้าและโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม ได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงกว่าเดิมในอดีต ซึ่งคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสและแรงดัน คือถ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยน ไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ อาจจะทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายขึ้นได้ ซึ่งเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่ต้องมีการป้องกันและแก้ไข โดยสาเหตุหลักที่ทำให้กระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ มีสาเหตุเกิดจากฮาร์มอนิกที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้า ซึ่งเนื่องจากปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์มีการใช้อุปกรณ์สมัยใหม่ เทคโนโลยีสูงที่ทำจากอุปกรณ์ทางด้านโซลิตสเตรท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพและได้ปริมาณตามที่ต้องการและในอนาคตจะมีแนวโน้มการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ โดยส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non liner load) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกส์ เช่น ตัวเรียงกระแสกำลัง (Power Rectifier) เป็นต้น

ด้วยผลของการใช้อุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ดังกล่าวจะจ่ายกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าภายในของผู้ใช้ไฟเองหรือถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีพิกัดขนาดใหญ่ กระแสฮาร์มอนิกส์นั้นอาจไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าอื่นในบริเวณข้างเคียง จากผลกระทบของฮาร์มอนิกส์ทำให้กระแสและแรงดันในระบบมีขนาดและรูปร่างเพี้ยน (Distortion) ไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายได้

2.8.1 คำนิยามฮาร์มอนิกส์

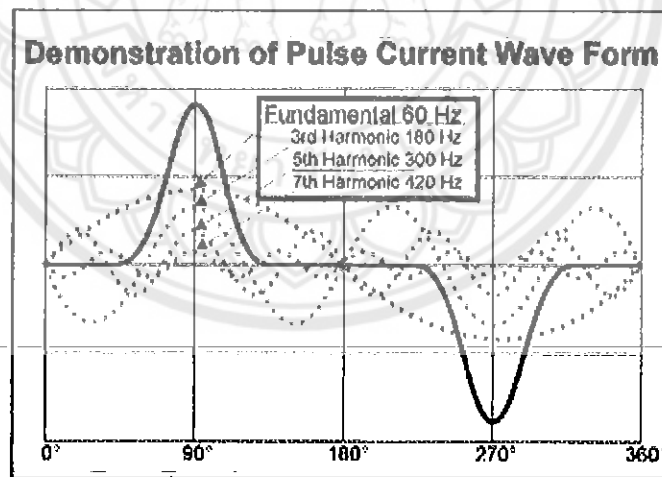
ฮาร์มอนิกส์ (Harmonic) คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental

() Frequency ในระบบไฟฟ้าเรามีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150Hz และฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250Hz ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 ฮาร์มอนิกส์ที่ลำดับต่างๆ [11]

และผลของฮาร์มอนิกส์เมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเปลี่ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 แสดงถึงฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3, 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ

ทำให้สัญญาณไซน์มีรูปร่างผิดเพี้ยน [11]

ในทางคณิตศาสตร์สามารถใช้อนุกรมฟูเรียร์อธิบายคุณลักษณะของฮาร์มอนิกส์ได้ โดยสัญญาณหรือฟังก์ชัน ที่เป็นคาบใดๆสามารถกระจายให้อยู่ในรูปผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีความถี่ต่างๆเป็นฟังก์ชันคาบที่เขียนแทนด้วย $f(t)$ ดังสมการที่ 2-4

(1)

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int f(t) \cos n\omega_0 t dt$$

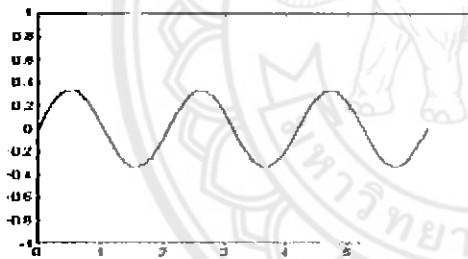
$$b_n = \frac{2}{T} \int f(t) \sin n\omega_0 t dt$$

(2-4)

เมื่อ T คือ 1 คาบของสัญญาณและ n คือเลขจำนวนเต็มบวก

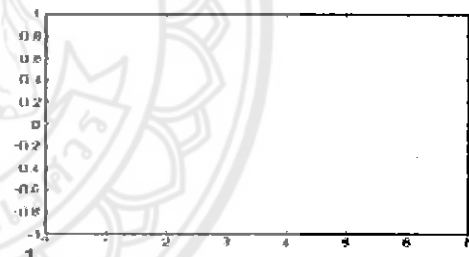
N คือ จำนวนเต็มบวก

ในกรณีที่ $n = 0$ จะเป็นความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หรือกรณีที่ n มีค่ามากกว่าศูนย์เราเรียกความถี่นี้ว่าฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ n ซึ่งเป็นได้ทั้งลำดับคู่และคี่และจากรูปที่ 2-15 ข. และรูปที่ 2-15 ค. แสดงถึงความเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นเกิดจากการรวมสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 ดังรูปที่ 2-15 ก. และรูปที่ 2-15 ค. ตามลำดับ

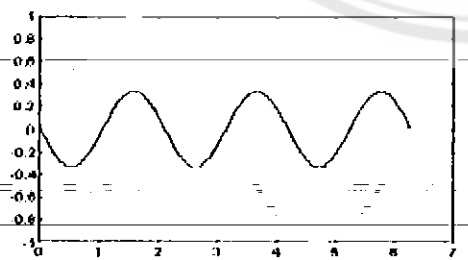


รูปที่ 2-15.1 ก

$$f(t) = \sin(x) + \frac{1}{3} \sin(3x)$$

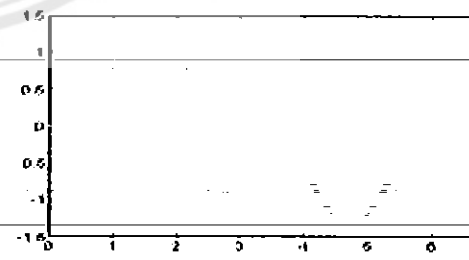


รูปที่ 2-15.1 ข



รูปที่ 2-15.2 ก

$$f(t) = \sin(x) + \frac{1}{3} \sin(3x)$$



รูปที่ 2-15.2

รูปที่ 2-15 จากภาพแสดงถึงความเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นเกิดจากการรวมสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 [2]

2.8.1.1 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วม

มาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วม %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วมโดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกสร่วมกับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกออกเป็นค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสร่วม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกสร่วม

ก. ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสร่วม (Total Harmonic Current Distortion : THD_i)

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I^2 h(rms)}}{I_{1(rms)}} \quad (2-5)$$

ข. ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกสร่วม (Total Harmonic Voltage Distortion : THD_v)

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V^2 h(rms)}}{V_{1(rms)}} \quad (2-6)$$

V_h (rms) : ค่า rms ของแรงดันฮาร์มอนิกสร่วมลำดับที่ h

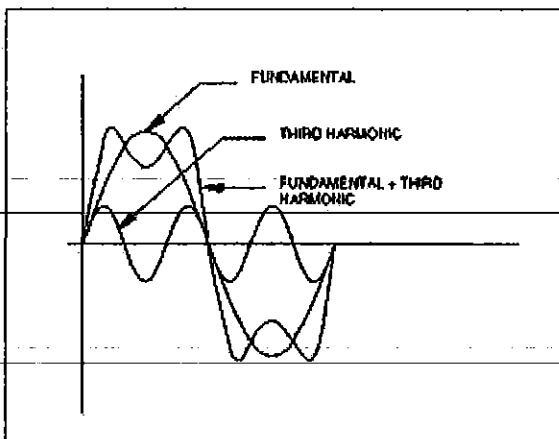
I_h (rms) : ค่า rms ของกระแสฮาร์มอนิกสร่วมลำดับที่ h

V₁ (rms) : ค่า rms ของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

I₁ (rms) : ค่า rms ของกระแสที่ความถี่หลักมูล

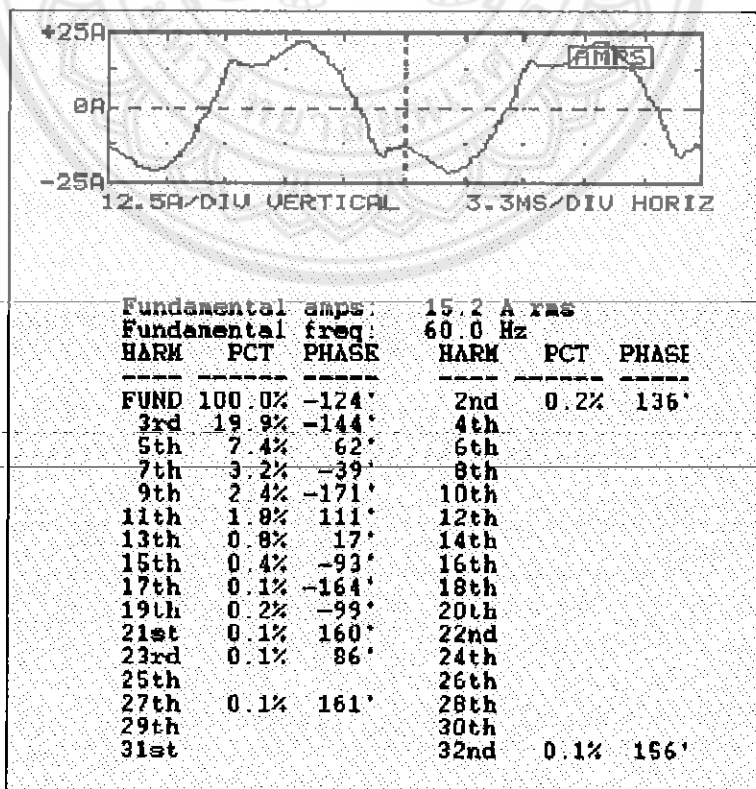
2.8.1.2 ผลกระทบของฮาร์มอนิกสร่วมต่อบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

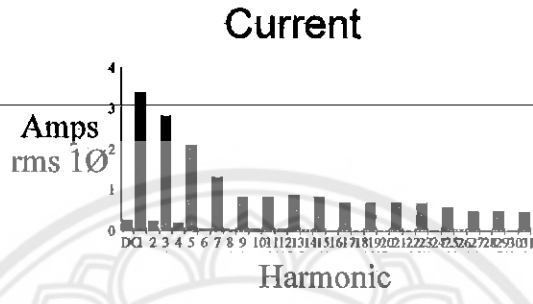
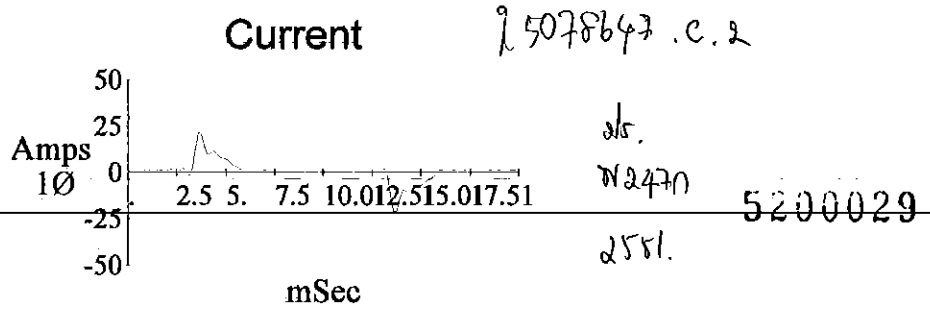
โหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะมีคุณสมบัติเป็น โหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) ทำให้รูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านโหลดดังกล่าวเกิดความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sinusoidal Waveform) อีกนัยหนึ่งคือมีความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากความถี่ที่ใช้งานหรือความถี่มูลหลัก (Fundamental Frequency) ประปนเข้าไปอยู่ในรูปคลื่นกระแสดังกล่าวจึงแสดงการรวมรูปคลื่นในรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 การรวมของสัญญาณความถี่มูลหุกและสัญญาณฮาร์โมนิกส์ลำดับที่3 [11]

กระแสที่เกิดจากความถี่ที่ปะปนนี้เราให้คำจำกัดความว่ากระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonics Current) โดยปกติเมื่อเกิดกระแสฮาร์โมนิกส์ขึ้นสิ่งที่ตามมาคือ จะทำให้กระแสโดยรวมที่ไหลในขณะนั้นมีค่าสูงกว่าปกติ ในกรณีที่มึกระแสฮาร์โมนิกส์สูงจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำลง นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุให้เกิดการผิคเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันตามไปด้วย เมื่อปริมาณของการใช้งานโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นเพิ่มสูงขึ้นปริมาณความผิคเพี้ยนของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้โหลดจะส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวมมากขึ้นและจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากมายต่อระบบและโหลดในระบบตามมาได้





รูปที่ 2-17 ตัวอย่างกราฟแสดงอันดับและขนาดของฮาร์มอนิกส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ [11]

2.9 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ตัวประกอบกำลัง (P.F.) หมายถึง อัตราส่วนของกำลังงานจริงต่อกำลังงานรวมของระบบ

$$P = VI \cos \theta \quad (2-7)$$

$$Q = VI \sin \theta \quad (2-8)$$

$$S = P + jQ \quad (2-9)$$

เมื่อ P = กำลังงานจริง (Active Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

Q = กำลังงานปฏิกิริยา (Reactive Power) มีหน่วยเป็นวาร์ (Var)

S = กำลังงานรวมของระบบมีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA)

θ = ค่ามุมระหว่างแรงดันกับกระแสที่ความถี่หลักมูล

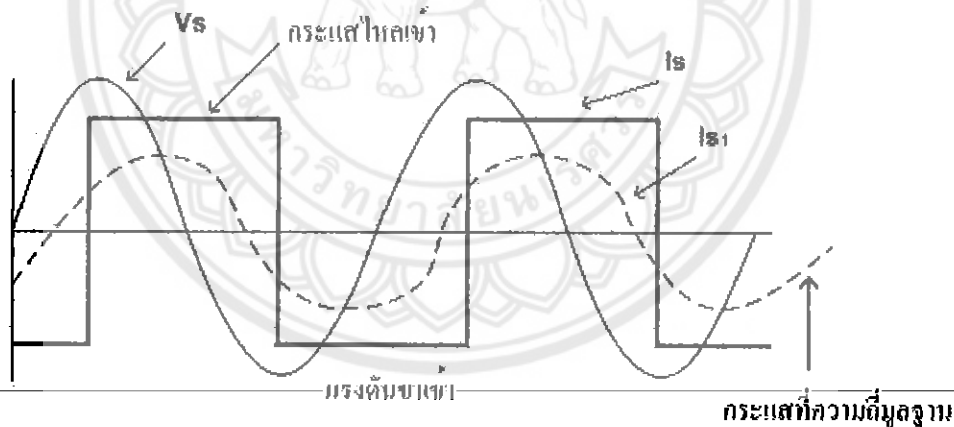
คอสเฟกเมนต์เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Displacement Power Factor : DPF) คืออัตราส่วนระหว่างกำลังงานจริงต่อกำลังงานรวมของระบบที่ความถี่หลักหรือบางครั้งเรียกว่า คอสเฟกเมนต์แฟกเตอร์ (Displacement Factor : DF) คือ โคไซน์ของมุมระหว่างกระแสกับแรงดันที่ความถี่หลักมูล

$$DPF = \cos \theta \quad (2-10)$$

$$P.F. = P/S \quad (2-11)$$

จากแนวคิดเรื่องสัญญาณที่ไม่เป็นรูปไซน์ เราสามารถแสดงได้ว่าสัญญาณเหล่านี้ จะทำให้เกิดสัญญาณไซน์หลายความถี่เกิดขึ้นในระบบ โดยประกอบด้วยสัญญาณความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกส์ต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ในระบบของเรานี้อาจเกิดจากการ ปิด-เปิดวงจรกำลัง การสวิตช์วงจรกำลังด้วยความถี่สูง ความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กในเครื่องกลและหม้อแปลง การแปลงไฟฟ้าหรือควบคุมแรงดันทั้งในลักษณะของอินเวอร์เตอร์ (Inverters) คอนเวอร์เตอร์ (Converters) และวงจรเรียงกระแสที่ควบคุมได้ (Rectifiers Controlled Rectifiers)

พอจะเห็นได้ว่าฮาร์โมนิกส์จะมีผลต่อระบบ คือ ทำให้กำลังไฟฟ้ามีค่า เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรผันกับตัวประกอบกำลัง (จากสมการ 2-13) เมื่อมีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้น ทำให้ค่ามุมระหว่างแรงดันกับกระแสที่ความถี่หลักมูลฐานมีค่ามากขึ้น เป็นผลให้ค่าโคไซน์ของมุมระหว่างกระแสและแรงดันที่ความถี่มูลฐานลดลง (จากสมการ 2-12) อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่ถือเป็นประเด็นใหม่และกำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน คือ ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่อตัวประกอบกำลัง ดังนั้นจึงต้องการนำเสนอให้ ได้ลองทำความเข้าใจกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 นี้



รูปที่ 2-18 สัญญาณของวงจรหนึ่งที่มีลักษณะของกระแสเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม ส่วนแรงดันเป็นรูปไซน์

พิจารณารูปคลื่นของวงจรหนึ่งที่มีลักษณะของกระแสและแรงดันตามภาพที่ 18 เมื่อ V_s เป็นแรงดันอินพุตรูปคลื่นไซน์ I_s เป็นกระแสอินพุตขณะใดขณะหนึ่ง ได้จากการกระจาย I_s เป็นอนุกรมฟูเรียร์) เมื่อ I_{s1} เป็นกระแสที่ความถี่มูลฐานของกระแสทางด้านขาเข้า I_s และ I_{s1} ถูกพิจารณาเป็นค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) แล้วค่าตัวประกอบกำลังทางด้านขาเข้า (Input Power Factor) จะ

ถูกนิยามค่า ดังนี้คิสเพลขเมนต์เพาเวอร์แฟกเตอร์(Displacement Power Factor : DPF) หรือบางครั้งเรียกว่า คิสเพลขเมนต์แฟกเตอร์(Displacement Factor : DF)

$$DPF = DF = \cos \theta \quad (2-12)$$

ตัวประกอบฮาร์โมนิกส์กระแสขาเข้า (Harmonics Factor) คือ

$$HF = \left[\frac{I^2 S - I^2 S_1}{I^2 S_1} \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{I_S}{I_{S1}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \quad (2-13)$$

เนื่องจากกระแสขาเข้า (I_S) มีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากไซน์เวฟ (Sine wave) และเนื่องจากความรู้เรื่องอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) สามารถกระจายรูปคลื่นของกระแส

โดยสามารถเขียนเป็นค่า (rms) ของกระแสขาเข้า (I_S) ได้ดังนี้

$$I_2 = \sqrt{I^2 S_1 + I^2 S_2 + I^2 S_3 + \dots + I^2 S_n} \quad (2-14)$$

เมื่อ

I_{S1} = กระแสขาเข้าที่ความถี่หลักมูล

I_{S2} = กระแสขาเข้าที่ความถี่ 2 เท่าของความถี่หลักมูล (ฮาร์โมนิกส์ที่ 2) (rms)

I_{S3} = กระแสขาเข้าที่ความถี่ 3 เท่าของความถี่หลักมูล (ฮาร์โมนิกส์ที่ 3) (rms)

I_{Sn} = กระแสขาเข้าที่ความถี่ n เท่าของความถี่หลักมูล (ฮาร์โมนิกส์ที่ n) (rms)

I_S = กระแสขาเข้า (rms)

$$I_{S1}^2 = I_S^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \quad (2-15)$$

เมื่อคูณกับแรงดันยกกำลังสอง

$$(V_S I_S)^2 = (V_S I_{S1})^2 + \sum_{n=2}^{\infty} (V_S I_n)^2 \quad (2-16)$$

ด้านซ้ายของสมการเป็นค่ากำลังสองของกำลังที่ปรากฏขึ้นทั้งหมด (Total Apparent Power) ส่วนทางด้านขวามือของสมการมีองค์ประกอบ คือค่ากำลังงานปรากฏของความถี่พื้นฐาน กับค่า กำลังของความถี่อื่น ซึ่งองค์ประกอบหลังจะเกิดจากฮาร์โมนิกส์ ซึ่งเกิดจากความถี่อื่นของรูปร่างของกระแสขาเข้า ดังนั้น นิยามของตัวประกอบกำลัง (P.F.) คือ

$$P.F. = \text{กำลังจริง} / \text{กำลังงานที่ปรากฏ}$$

$$P.F. = \frac{V_S I_{S1}}{V_S I_S} \cos \theta = \frac{I_{S1}}{I_S} \cos \theta \quad (2-17)$$

และค่านิยามค่าความถี่อื่นของตัวประกอบกำลัง (Distortion Power Factor) ได้

ดังนี้

$$\text{Distortion Power Factor} (\cos \theta) = \frac{I_{S1}}{I_S} \quad (2-18)$$

คือ มุมแห่งความถี่อื่น

$$\text{Power Factor} (P.F.) = \cos \delta \cos \delta_c \quad (2-19)$$

ถ้ากระแสขาเข้า I_S เป็นรูปคลื่นไซน์จริงๆ แล้วจะได้ว่า $I_S = I_{S1}$ ดังนั้นค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าเท่ากับค่าดีสเพลซเมนต์เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Displacement Power Factor : DPF) โดยที่มุมดีสเพลซเมนต์ (Displacement Angle) จะมีค่าเท่ากับมุมโหลด (Load Angle) ในกรณีที่มีฮาร์โมนิกส์ปรากฏอยู่ในวงจรหรือระบบ ถึงแม้มุมดีสเพลซเมนต์ (Displacement Angle) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ (แรงดันเฟสตรงกับกระแส) ก็ไม่ได้หมายความว่า ค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าเท่ากับหนึ่งจริงๆ หากพิจารณาจากสูตรของค่าตัวประกอบกำลังงานทางด้านอินพุตแล้วจะเห็นว่าอัตราส่วนของ $I_{S1} = I_S$ นั้นจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นั่นหมายความว่า ถ้าระบบมีฮาร์โมนิกส์มากอัตราส่วนของ $I_{S1} = I_S$ ก็จะมีค่าน้อยเพราะกระแสขาเข้า (I_S) มีค่ามาก ทำให้ค่าตัวประกอบของระบบมีค่าต่ำกว่าระบบที่ไม่มีฮาร์โมนิกส์ ตัวอย่าง วงจรที่เกิดเหตุการณ์นี้ ได้แก่ วงจรเรียงกระแส 1 เฟส และ 3 เฟส ในเชิงอุดมคติ วงจรเรียงกระแสมีค่า $HF = HD = 0$ และ $PF = DPF = 1$

2.10 สรุปท้ายบท

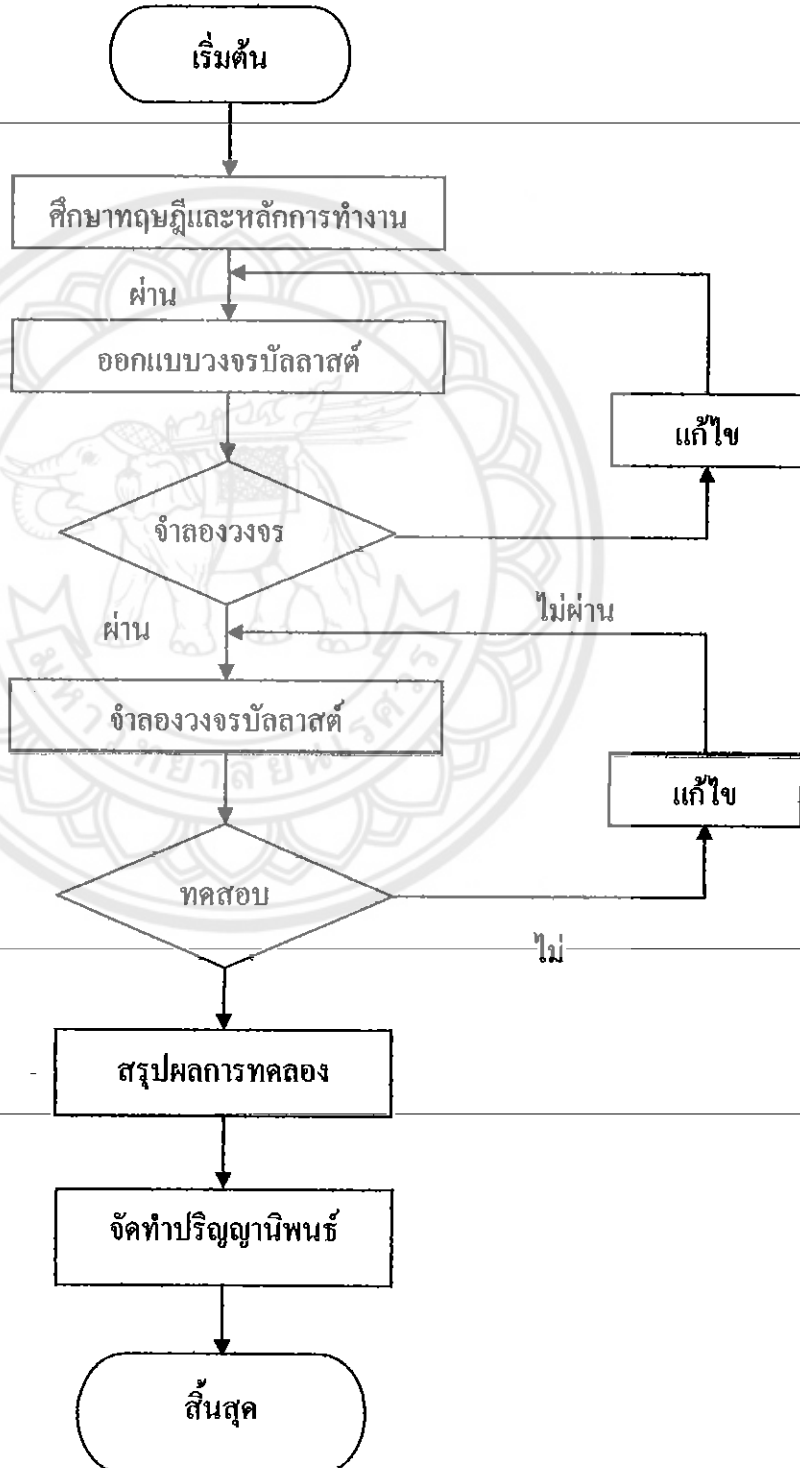
ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เริ่มตั้งแต่พฤติกรรมการทำงานและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โครงสร้างและการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้เป็นแนวคิดในการสร้างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถลดกระแสฮาร์มอนิกส์ได้สำหรับใช้งานกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้อย่างเป็นขั้นตอนต่อไป



บทที่ 3

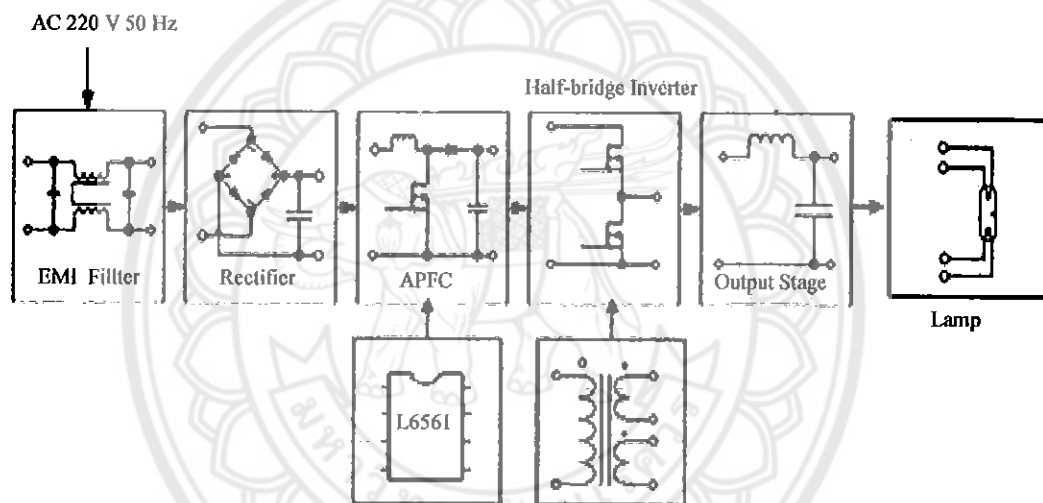
ขั้นตอนการศึกษาและออกแบบทดลอง

ในการสร้างและออกแบบการทำงานทั้งหมดได้มีการวางแผนการดำเนินงานเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน สามารถแสดงได้ดังแผนผังการทำงานดังนี้



ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ชนิดของวงจรบัลลาสต์ และการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ในลำดับต่างๆที่เกิดขึ้น รวมทั้งสมการของวงจรสำหรับวิเคราะห์ ออกแบบและจำลองสำหรับสำหรับศึกษากระแสฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เข้าใจถึงทฤษฎีการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างดี

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงแนวทางในการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษา และวิเคราะห์กระแสฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และการออกแบบการลดฮาร์มอนิกส์ให้มีความต่ำในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า ความถี่ และกำลังออกที่หลอด โดยส่วนประกอบหลักของวงจรที่จะสร้างขึ้นสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพบล็อก (Block Diagram) ได้ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนภาพบล็อกแสดงส่วนประกอบของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ส่วนประกอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในโครงการนี้ 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 3-1 ข้อกำหนดในการออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในปริญญาโท

รายละเอียด	ข้อกำหนด
พิกัดแรงดันด้านอินพุท	220 \pm 15% Vrms
พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุท	36 W 1 หลอด
ความถี่	50 Hz

3.1 วิธีการศึกษาที่นำมาใช้

การทำโครงการเรื่องการศึกษาและลดฮาร์โมนิกส์ในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Study and Reduce Harmonics in Ballast Electronics) ได้นำทฤษฎีหลายอย่างมาประกอบในการทำการศึกษาและทดลองดังนี้

3.1.1 วิธีการศึกษาวงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง

ศึกษาวิธีการแก้ไขและปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แล้วนำกระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ มอก.1506-2541 และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ยังไม่ได้มีการแก้ไขค่าประกอบกำลัง

3.1.2 วิธีการศึกษาจากโปรแกรมการจำลอง PSIM และ PSPICE

เป็นการศึกษาการจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทำให้ทราบถึงการทำงานของวงจรต่างๆในบัลลาสต์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับวงจรจริงทำให้เกิดความมั่นใจในการทดลองมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีความสะดวกในการทดลองอีกด้วย

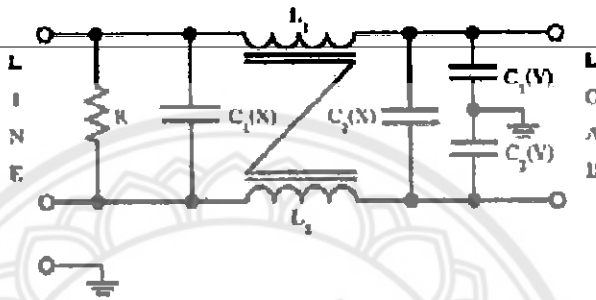
โดยได้จัดทำแผนการดำเนินงานตามลำดับขั้นตอน Flow Chart ดังที่แสดงต่อไปนี้ซึ่งเป็นแผนการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนกระทั่งสิ้นสุดโครงการนี้

3.2 วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ (EMI Filter)

ในการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยมีการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและความถี่สูงๆอย่างฉับพลันด้วยการทำงานดังกล่าวทำให้มีการสร้างสัญญาณรบกวน(Noise) ขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของระบบวงจรตัวเองหรือระบบใกล้เคียงเกิดการผิดพลาด ถ้าระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่มากเกินไปอุปกรณ์หรือระบบจะรับได้ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเป็นสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated) และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางตัวนำ (Conducted)

3.2.1 ลักษณะวงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์

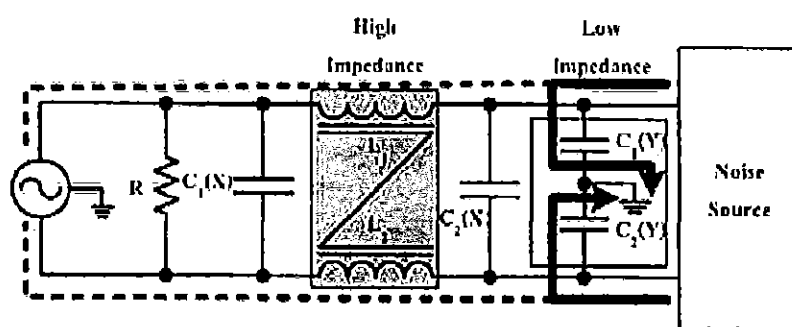
ดังนั้นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป คือการต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นอยู่ที่อินพุตกับแรงดันไฟสลับเพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้ง โหมดความแตกต่างและ โหมดคร่อม การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แบบ พาย (π) หรือแบบที (T) ตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือแบบ π เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า ประหยัดและมีวงจรที่ง่าย



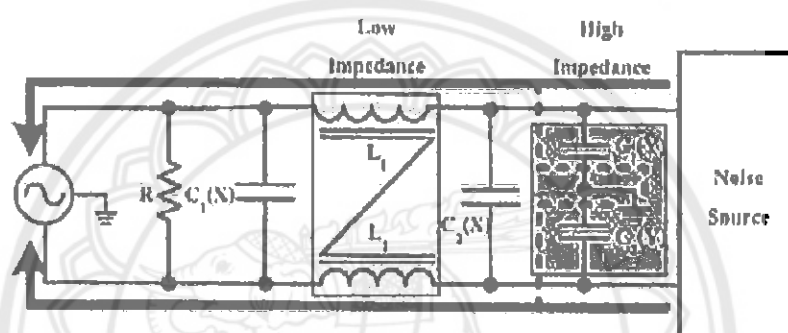
รูปที่ 3-2 ลักษณะการต่อ LC ฟิลเตอร์ (แบบ π) เพื่อลดสัญญาณรบกวน

3.2.2 ลักษณะของวงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์

ตามรูปที่ 3-2 ตัวเก็บประจุ $C(X)$ ที่อยู่ใ้ในวงจรมีผลต่อการลดทรานเซียนต์ $C_1(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดขึ้นในสายไฟสลับไม่ให้ผ่านเข้าหาวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ ส่วน $C_2(X)$ จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากวงจรรีเลย์อินเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังไฟสลับได้ วงจรฟิลเตอร์จะเป็นส่วนป้องกันสัญญาณความถี่สูงจากอินเวอร์เตอร์ส่งผ่านระบบเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟภายนอก ดังนั้นจากลักษณะของวงจรเมื่อมีสัญญาณความถี่สูงกว่าในช่วงการทำงานของวงจรที่ถูกกำหนดให้ผ่านได้ (Cutoff Frequency) โดยจะกำหนดไว้ให้มีค่ามากกว่า 9 เท่าของความถี่จลน์แต่ไม่เกินความถี่ตามมาตรฐานกำหนดของแต่ละประเภทอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ส่งผ่านมาจากอินเวอร์เตอร์จะไม่สามารถผ่านออกสู่ภายนอกได้ เนื่องจากค่าอินดักแตนซ์ L_1 หรือ L_2 มีค่าสูงมาก ($X_L = 2\pi fL$) สัญญาณความถี่สูงดังกล่าวจะไหลผ่านตัวเก็บประจุ $C_1(Y)$ หรือ $C_2(Y)$ เข้าสู่ระบบกราวด์แทนเพราะค่าปารีแตนซ์มีค่าต่ำลง ($X_C = 1/(2\pi fC)$) ซึ่งแสดงให้เห็นเส้นทางที่ไหลของสัญญาณความถี่สูงและต่ำได้ตามรูปที่ 3-3 และ รูปที่ 3-4 ตามลำดับ



รูปที่ 3-3 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่สูง



รูปที่ 3-4 การทำงานของวงจรเมื่อเกิดความถี่ต่ำ

3.2.3 การออกแบบวงจรอีเอ็มไอ ฟิวเจอร์

การกำหนดค่าอุปกรณ์ ตัวต้านทาน R ที่ต่ออยู่ในวงจรมีไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุชนิด X คายประจุทิ้งไป ตามมาตรฐานความปลอดภัยทั่วไปกำหนดว่าถ้าค่าตัวเก็บประจุชนิด X มีค่าตั้งแต่ 0.1 ไมโครฟารัดขึ้นไป ตัวต้านทาน R ต้องมีค่าเท่ากับ

$$R = \frac{t}{2.21C} \quad (3-1)$$

โดยกำหนดให้ t มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ C คือผลรวมของตัวเก็บประจุชนิด X ในวงจร ฟิวเจอร์เป็นฟารัด

ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจร LC ฟิวเจอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตของฟิวเจอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับและความแตกต่างอิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุตของฟิวเจอร์กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามาก อัตราลดทอนสัญญาณรบกวนจะเป็นไปได้มากด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรฟิลเตอร์แบบพาย รูปที่ 3-2 ซึ่งมีส่วนประกอบและคุณสมบัติของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) ตัวเก็บประจุชนิด X และตัวเก็บประจุชนิด Y

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

2) ตัวเก็บประจุชนิด X (X-capacitor)

ให้ใช้ต่อได้เฉพาะตำแหน่งที่ไม่ทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าช็อตหากตัวเก็บประจุเกิดลัดทะเลหรือทำงานผิดพลาด การใช้ตัวเก็บประจุชนิด X จะไม่มีการจำกัดค่าความจุสูงสุดของตัวเก็บประจุไว้ ตัวเก็บประจุชนิด X ยังแบ่งออกได้เป็นชนิด X_1 มีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานได้ต่ำกว่า 1,200 โวลต์ ส่วนตัวเก็บประจุชนิด X_2 มีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานได้ต่ำกว่า 1,200 โวลต์ลงมา

3) ตัวเก็บประจุชนิด Y (Y-capacitor)

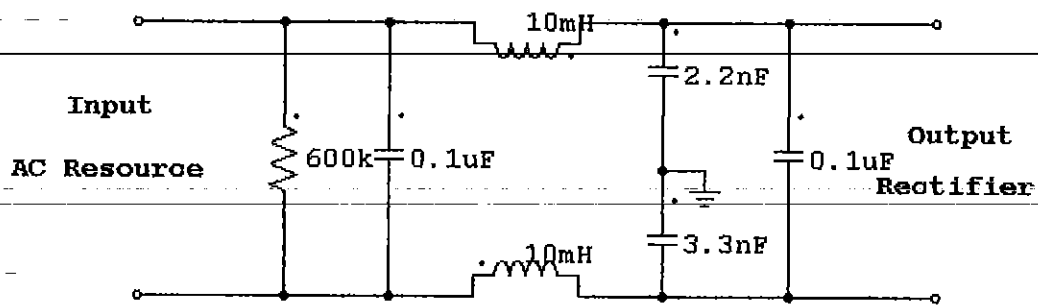
ยอมให้ใช้ได้เฉพาะตำแหน่งที่อาจทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับอันตรายจากไฟช็อต ถ้าตัวเก็บประจุเกิดลัดทะเลหรือทำงานผิดพลาด ตัวเก็บประจุชนิด Y จัดเป็นอุปกรณ์ที่เสี่ยงกับความปลอดภัยจึงต้องมีมาตรฐานที่เกี่ยวกับความปลอดภัยสูง และต้องมีโครงสร้างที่ป้องกันการลัดทะเลได้ดี ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิด Y ต้องมีค่าต่ำเพื่อจำกัดกระแสรั่วไหลหรือจำกัดกระแสลัดชอร์ตจากตัวเก็บประจุชนิด Y ลงดิน (ตามมาตรฐานความปลอดภัยเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทั่วไปจะต้องมีกระแสรั่วลงดินน้อยกว่า 0.5 มิลลิแอมป์)

4) ตัวเหนี่ยวนำ

อนุกรมกับวงจร เพราะฉะนั้นการออกแบบจะต้องใช้เส้นลวดที่ทนกระแสสำหรับจ่ายโหลดได้ ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 หรือ L_3 และ L_4 จะพันอยู่บนแกนเดียวกัน ซึ่งมีทิศทางการพันขดลวดสวนทางกัน โดยทั้ง 2 จะมีค่าเท่ากันในแต่ละคู่ ส่วนแกนเหล็กที่จะนำมาใช้งานจะต้องเป็นแกนสำหรับใช้งานกับความถี่สูง ได้แก่ แกนที่ทำจากสาร Ferrite ซึ่งอาจเป็นแกนทรงกลม (toroids) หรือ ชนิด EE หรือ EI ก็ได้ ส่วนค่าของตัวเหนี่ยวนำจะได้อาจมาจากการทดลอง

การกำหนดค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ จะได้อาจมาจากการปรับแต่งค่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาทดลองและตรวจสอบมาตรฐานในทุกๆ ขั้นตอนการทำงานของวงจร ถ้าผลที่ทดสอบได้เท่าหรือต่ำกว่าระดับมาตรฐานจะถือว่าค่านั้นเป็นค่าที่ใช้งานได้ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ค่ามาตรฐานย่านความถี่แถบ A ในการตรวจสอบการทำงานของวงจรในรูปที่ 3-5

วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ

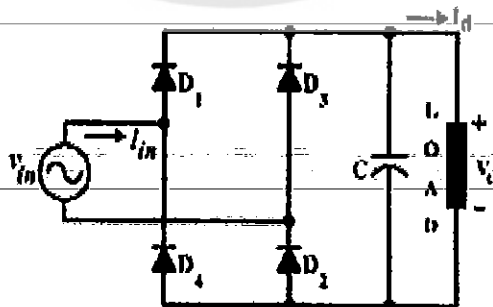


รูปที่ 3-5 วงจรอีเอ็มไอ ฟิลเตอร์ที่ได้จากการออกแบบ

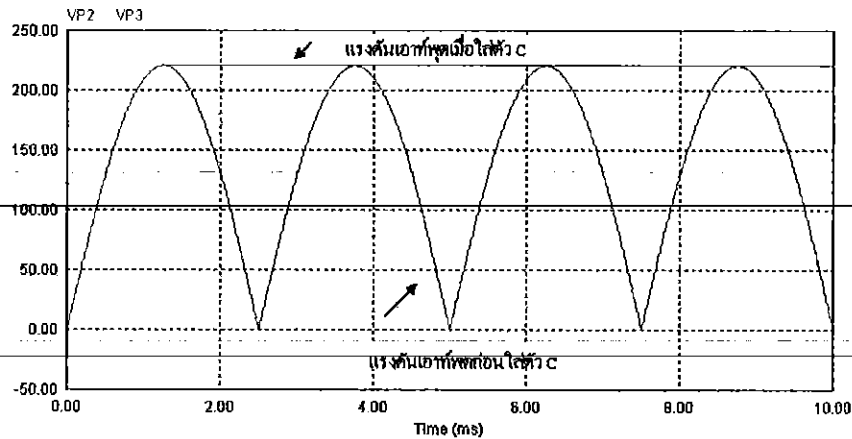
3.3 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

3.3.1 หลักการทำงานของวงจรเรียงกระแส

ในส่วนของวงจรนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ไดโอดเป็นตัวเปลี่ยนโดยขนาดและพิกัดของไดโอดขึ้นอยู่กับพิกัดของโหลดที่ต้องการไดโอดประเภทนี้จะเป็นชนิด Rectifier diode ที่ไม่จำเป็นต้องมีความไวในการทำงานสูงนักถ้าพิกัดของโหลดมีค่าสูงๆ ไดโอดที่จะนำมาใช้จะต้องมีพิกัดสูงด้วย ไดโอดเหล่านั้นจะถูกเรียกว่า ไดโอดกำลัง (Power diode) รูปแบบของวงจรจะถูกแบ่งตามชนิดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคือชนิดสามเฟสและหนึ่งเฟส เนื่องจากงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้รับไฟฟ้าด้านอินพุตขนาด 220 โวลต์ 1 เฟส วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)



รูปที่ 3-6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 3-7 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของวงจรเต็มคลื่น

ตามรูปที่ 3-6 เป็นวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่น ประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว คือ D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 จากวงจรจะเห็นได้ว่าทางด้านโหลดต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่อนข้างราบเรียบ ใต้จะต้องใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Capacitor) ต่อขนานด้านเอาต์พุต ตามรูปที่ 3-8 แสดงรูปแรงดันเอาต์พุตของวงจร ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเมื่อต่อตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันเอาต์พุตให้เรียบขึ้น จะพบว่าริปล (Ripple : ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตกับสูงสุด) ของแรงดันจะมีค่าน้อยกว่า นั่นคือแรงดันความราบเรียบมากกว่า (ตัวเก็บประจุมีขนาดเท่ากัน) แต่ถ้าต้องการกรองแรงดันเอาต์พุตของวงจรครึ่งคลื่นให้มีความราบเรียบเท่ากับแบบเต็มคลื่นจะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่งผลให้วงจรเรียงกระแสมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นให้คุณภาพแรงดันเอาต์พุตดีกว่าแบบครึ่งคลื่น แต่ใช้อุปกรณ์และวงจรมีความซับซ้อนมากกว่า เนื่องจากการทำงานของโหลดโดยส่วนใหญ่ต้องการคุณภาพของแรงดันที่ดี อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบทั้งราคาและขนาดของตัวเก็บประจุกับไดโอดประหยัดมากกว่า เพราะฉะนั้นวงจรเรียงกระแสที่นิยมใช้งานโดยทั่วไปจึงเป็นแบบเต็มคลื่น

$$V_{ripple} = \sqrt{V_{d,rms}^2 - V_{d,avg}^2} \quad (3-2)$$

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

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

3.3.2 การออกแบบวงจรเรียงกระแส

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นในโครงการปริญญาโทจึงเลือกวงจรเรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นใส่ตัวเก็บประจุกรองแรงดันค่าน้อยๆ ที่ไม่สร้างผลกระทบกับการฝึกเขียนของรูปคลื่นกระแสอินพุตเอาไว้สะสมพลังงานคืนกลับและป้องกันการแกว่งของแรงดันไฟฟ้า

กระแสตรง อันเนื่องมาจากวงจรอินเวอร์เตอร์มีการทำงานที่ความถี่สูงและมีโหลดเป็นแบบเรโซแนนซ์

3.3.3 ข้อพิจารณาในการเลือกไดโอด

ไดโอดที่เลือกใช้ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 5 ประการ

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

แรงดันย้อนกลับสูงสุด(Perk Inverse Voltage : PIV)

- 5) กระแสรั่วไหล(Leakage Current)

สำหรับไดโอดที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นไดโอดกำลัง โดยพิกัดกำลังหาได้ตามสมการคือ

$$P_{in} = V_{in} I_{in} \cos \phi \quad (3-3)$$

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

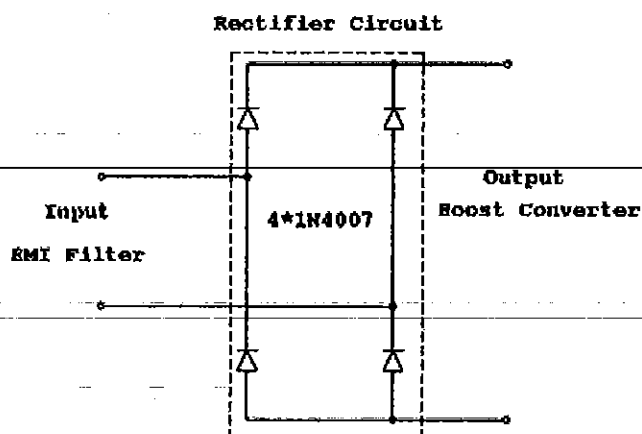
คุณสมบัติของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่กำหนดไว้เป็น

พิกัดการทำงานของบัลลาสต์	36	วัตต์
ด้านอินพุตรับไฟฟ้ากระแสสลับ	220	โวลต์
ตัวประกอบกำลังอย่างต่ำสุดมีค่า	0.95	

จากสมการ (3-3) จะได้

กระแสไหลผ่านไดโอด	0.1722	แอมป์
-------------------	--------	-------

แต่เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีการทำงานแบบสวิตชิ่ง ดังนั้นจึงกำหนดให้ไดโอดทำงานที่ 70 % ของพิกัดตัวเอง จะได้ว่าไดโอดที่ควรเลือกมาใช้งานจะมีพิกัดกระแสอยู่ที่ 0.29 แอมป์ ดังนั้นจึงเลือกไดโอดเบอร์ 1N4007 พิกัดขนาด 1,000 โวลต์ 1 แอมป์ จำนวน 4 ตัว ซึ่งหาซื้อตามท้องตลาดได้ง่าย



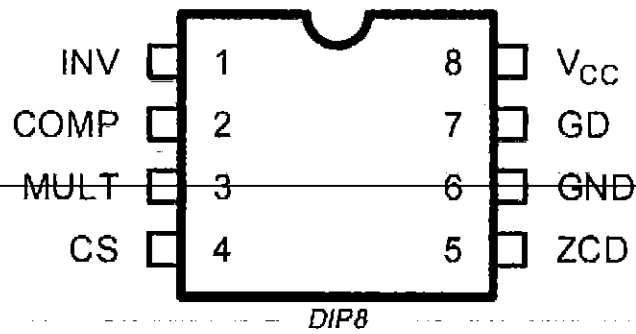
รูปที่ 3-8 วงจรเรียงกระแสที่ได้จากการออกแบบ

3.4 การออกแบบวงจรแก้ไขและควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง

ในปฏิญญาพันธันี้เลือกการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบแอกทีฟ โดยใช้ไอซีทำหน้าที่สร้างสัญญาณในการขับสวิตช์ให้กับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้งาน ไอซีเบอร์ L6561 (Power Factor Corrector) ดังรูปที่ 3-9

3.4.1 คุณสมบัติของไอซี L6561

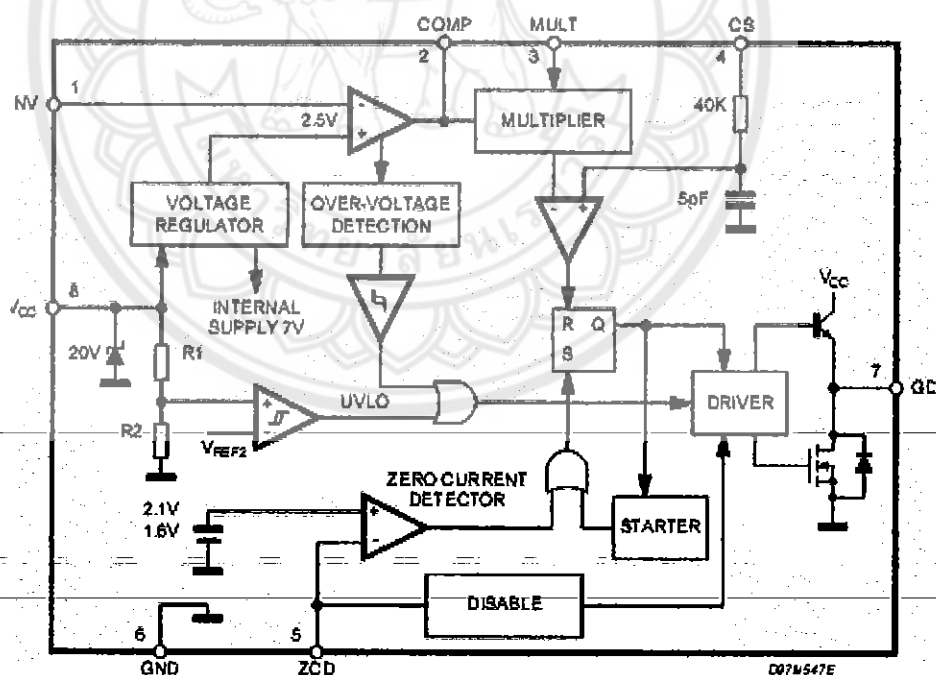
1. ใช้งานได้ที่แรงดันอินพุทในช่วงกว้างตั้งแต่ 185-265 โวลต์ มีค่า THD ต่ำ
2. สำหรับการป้องกันแรงดันย้อนกลับ มี Low Pass Filter ภายในตัวจึงไม่ต้องต่อจากภายนอกช่วยลดอุปสรรคในการคำนวณ
3. มี Under Voltage Lockout ด้วย Hysteresis
4. ใช้กระแสขณะเริ่มต้น (Start up Current) และกระแสระหว่างการทำงาน (Stand up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



รูปที่ 3-9 ไอซี L6561

3.4.2 วงจรการทำงานภายในของไอซี L6561

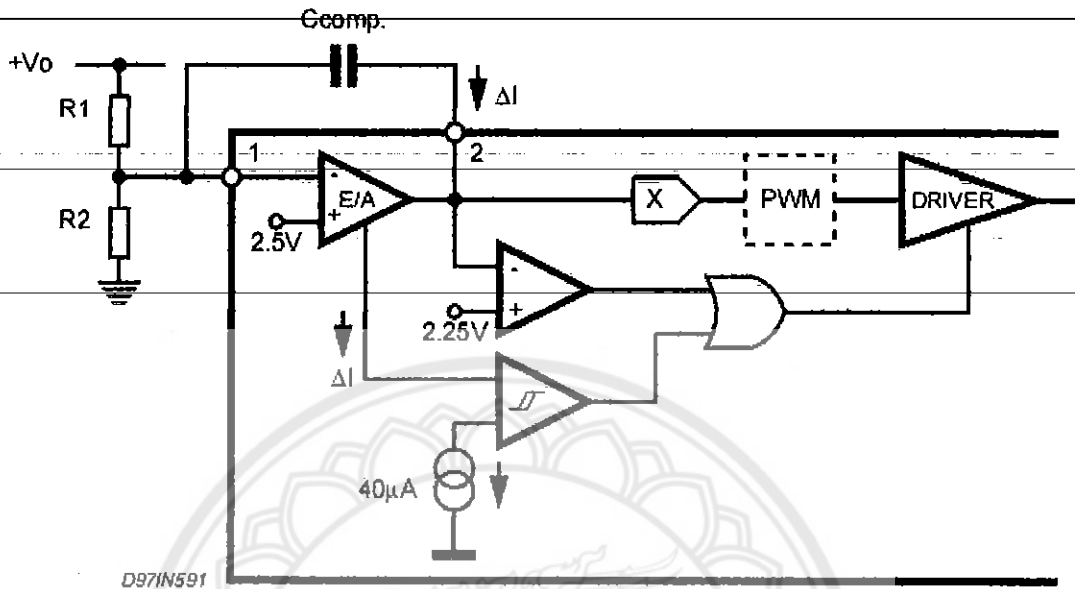
เริ่มจากการทำงานของ Error Amplifier (E/A) โดยเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ได้มาจากการแบ่งแรงดันกันระหว่างตัวต้านทาน 2 ตัวที่ต่อภายนอกที่ขา 1 (INV) กับแรงดันอ้างอิงภายใน (2.5 โวลต์) สร้างเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ต่างกัน (Error signal) ของ E/A และจะต่อตัวเก็บประจุภายนอกที่ขา 2 (COMP) เพื่อใช้สำหรับแก้ไขความถี่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



รูปที่ 3-10 วงจรภายในของไอซี L6561

ในส่วนของการป้องกันแรงดันเกินจะทำงานโดยอาศัยกระแสเอาต์พุตของ E/A โดยมีการป้องกันแรงดัน 2 ระดับ คือ Soft Breaking ทำงานเมื่อแรงดันเกินมีค่าไม่มาก จะค่อยๆ หยุดวงจรลง

เรื่อยๆ และ Sharp Breaking จะทำงานเมื่อแรงดันเกินมีค่ามากและ Soft Breaking ทำงานไม่ทันก็จะหยุดวงจรทันที ดังแสดงในรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-11 วงจร Error Amplifier และ Over voltage Detector

สัญญาณ Error จะถูกส่งไปยังวงจร Multiplier ดังรูปที่ 3-11 เพื่อทำการ Multiply กับสัญญาณแรงดันที่รับจากแหล่งจ่ายที่ออกจากวงจร Rectifier โดยตรงที่ขา 3 (MULT) ถ้าแรงดันที่ออกจาก E/A มีค่าคงที่ สัญญาณแรงดันเอาท์พุทของ Multiplier จะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณที่ได้รับจากวงจร Rectifier สัญญาณเอาท์พุทของ Multiplier จะถูกส่งต่อไปเป็นสัญญาณอินพุทของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกระแส (Current Comparator : C/C) โดยอินพุทอีกตัวหนึ่งจะรับสัญญาณ Current Sense จาก Rs ที่ขา 4 (CS) ซึ่งจะถูกแวน (Clamp) ไว้ด้วยแรงดันอ้างอิง 1.7 โวลต์ ที่ขาบวกของ Comparator เป็นการจำกัดกระแสที่เกิดขึ้นถ้าแรงดันตกคร่อม Rs ถึงค่า 1.7 โวลต์ ในสภาวะนี้มีมอสเฟตที่ต่อภายนอกขา 7 (GD) จะ Turn off ผลที่ตามมา คือกระแสสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำจะเป็นสัญญาณ sine ซึ่งจะเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าการทำงานนี้จะสร้างช่วงเวลาการ ON ที่คงที่ และส่วนของ PWM Latch จะป้องกันไม่ให้มอสเฟตทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากสัญญาณรบกวน (Noise) หลังจากมอสเฟต Turn off แล้วตัวเหนี่ยวนำในวงจร Boost จะจ่ายพลังงานไปให้โหลดจนกระทั่งกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเร็วกว่าแรงดันด้านแหล่งจ่าย วงจรป้องกัน Zero Current (Zero Current Detention : ZCD) ที่รับสัญญาณจากขา 5 (ZCD) จะจับสัญญาณให้มอสเฟตเริ่มทำงานใหม่และกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง

หามอสเฟตกำลังที่ใช้เป็นสวิตช์ในวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 3-4

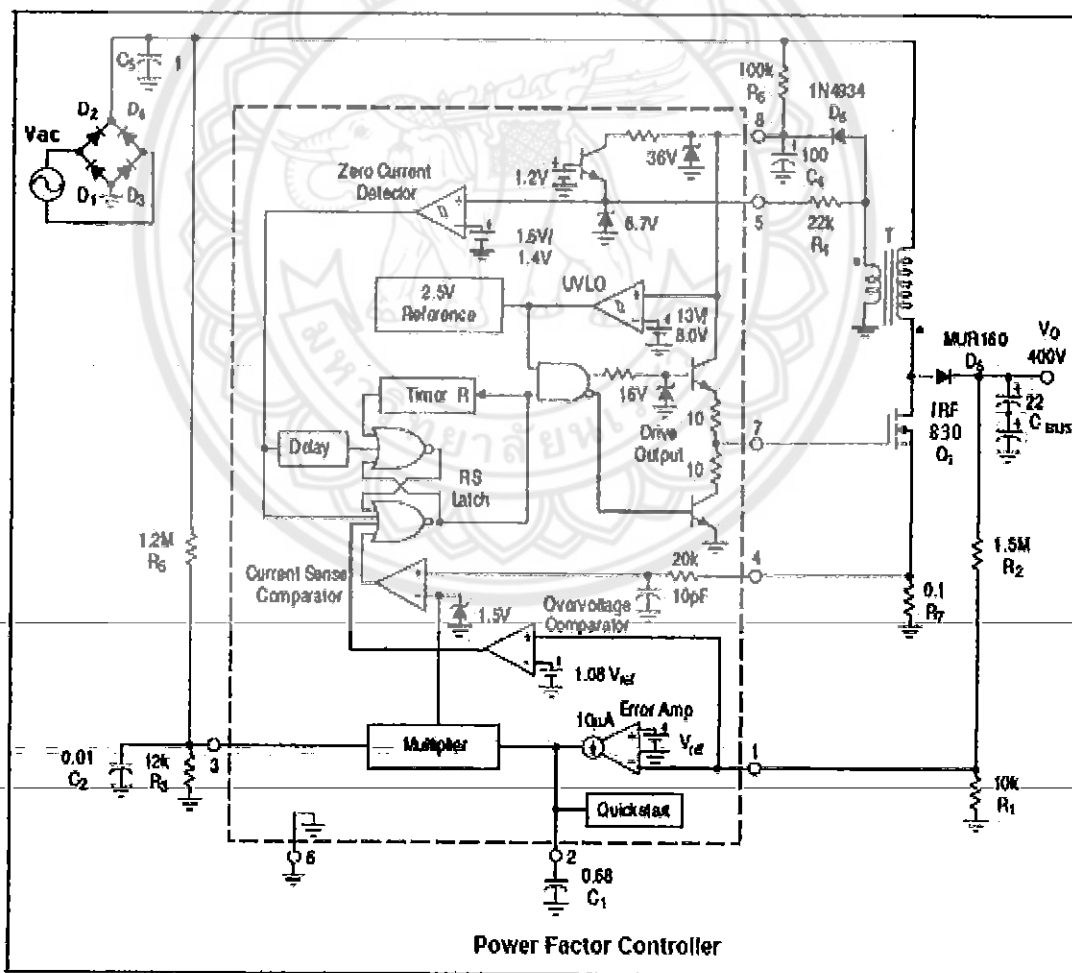
$$I_{Orms} = 2\sqrt{2} I_{rms} \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{4\sqrt{2}}{9\pi} \frac{V_{rms}}{V_1}} \quad (3-4)$$

จะได้กระแสด้านขาออกที่มอสเฟตต้องทนได้คือ 0.4 A และที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 500V

เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRF830

3.5 การออกแบบวงจรส่วนหน้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การออกแบบวงจรส่วนหน้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะออกแบบอยู่บนพื้นฐานการทำงานของไอซีเบอร์ L6561 ซึ่งเป็นไอซีควบคุมค่าประกอบกำลัง อุปกรณ์ชิ้นสำคัญในวงจรนี้ที่ต้องนำมาพิจารณา คือ ขดลวดเหนี่ยวนำบวมสต์ (L_p) ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการออกแบบค่าขดลวดเหนี่ยวนำไว้ดังตารางที่ 3-2



รูปที่ 3-12 วงจรเรกติไฟเออร์ที่มีวงจรควบคุมค่าประกอบกำลังแบบบวมสต์

ตารางที่ 3-2 รายการอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงสำหรับสร้างวงจรส่วนหน้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้	รายละเอียด
C_1	0.68 μ F/100V	ตัวเก็บประจุขดเชยสำหรับไอซี
C_2	0.01 μ F/100V	ตัวเก็บประจुरองขาที่ 3
$C_{BUS1} - C_{BUS2}$	22 μ F/450V	ตัวเก็บประจुरองแรงดันเอาต์พุตไฟตรง
C_4	100 μ F/50V	ตัวเก็บรักษาระดับแรงดันไฟเลี้ยงไอซี
C_5	0.1 μ F/400V	ตัวเก็บกรองความถี่สูงที่แรงดันอินพุต
$D_1 - D_4$	1N4007	ไดโอดเรกติไฟเออร์
D_5	MUR160	ไดโอดบูสต์
D_6	IN4934	ไดโอดสำหรับสร้างแรงดันย้อนกลับ
IC	L6561	ไอซีควบคุมการทำงาน
Q_1	IRF830	อุปกรณ์สวิตช์ชนิดมอสเฟต
R_1	10k/0.25W	ตัวต้านทานตรวจวัดแรงดันป้อนกลับ
R_2	1.5M/0.25W	ตัวต้านทานตรวจวัดแรงดันป้อนกลับ
R_3	12k/0.25W	ตัวต้านทานตรวจวัดแรงดันอินพุต
R_4	22k/0.25W	ตัวต้านทานตรวจวัดกระแสในขดลวดทุติยภูมิ
R_5	1.2M/0.25W	ตัวต้านทานตรวจวัดแรงดันอินพุต
R_6	100k/0.25W	ตัวต้านทานจำกัดกระแสไฟเลี้ยงไอซี
R_7	0.91/1W	ตัวต้านทานตรวจวัดกระแสเอาต์พุต
T	1.8mH	ขดลวดเหนี่ยวนำบูสต์ ใช้แกนขนาด EE16

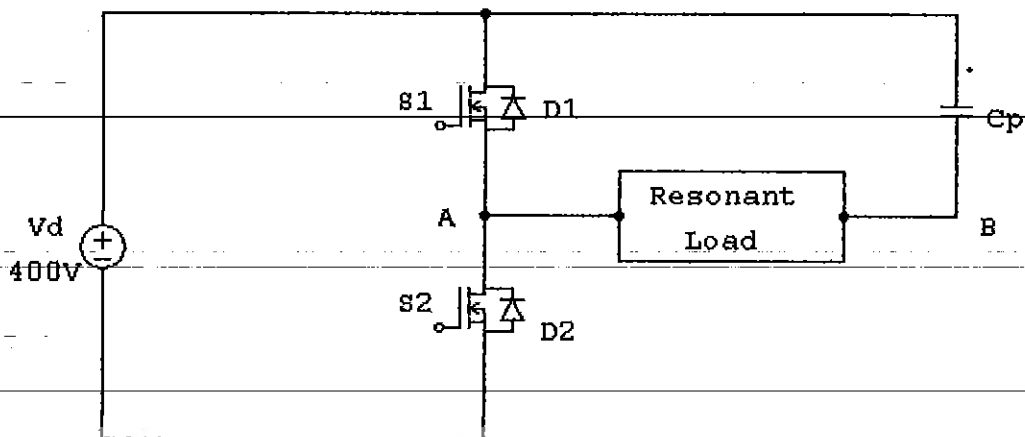
ตารางที่ 3-3 ขั้นตอนคำนวณค่าขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับวงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลัง [12]

ขั้นตอนการออกแบบ	สมการที่ใช้ในการคำนวณ
กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ	$V_B, P_O, \eta, V_{ac(LL)}, V_{ac(HL)}$
คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตของวงจร	$P_{in} = \frac{P_O}{\eta}$
คำนวณหากระแสอินพุตสูงสุดของวงจร	$I_{in(peak)} = \frac{\sqrt{2}P_O}{\eta V_{ac(LL)}}$
คำนวณหากระแสสูงสุดของขดลวดเหนี่ยวนำ	$I_{L(peak)} = 2I_{in(peak)}$
คำนวณหาค่าของขดลวดเหนี่ยวนำ	$L_p = \frac{2 \times 40 \times 10^{-6} \times \left(\frac{V_o}{\sqrt{2}} - V_{ac(LL)} \right) \times V_{ac(LL)}}{V_B \times I_{L(peak)}}$
คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ	$N_p = \frac{L_p \times I_{L(peak)} \times 10^6}{B_{max} \times A_g}$
คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ	$N_s = \frac{V_{avg} \times N_p}{V_B - V_{ac(LL)}}$
คำนวณหาระยะห่างระหว่างแกน (Air gap)	$l_{gap} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times N^2 \times A_g}{L_p}$

อุปกรณ์ที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งในวงจรควบคุมค่าตัวประกอบกำลังแบบบูสต์คือ ไดโอดบูสต์ (DPFC) ซึ่งต้องสามารถนำกระแสและหยุดนำกระแสได้อย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องใช้ไดโอดประเภทฟาสต์ไดโอด (Fast Recovery Diode) หรืออัลตราฟาสต์ไดโอด (Ultra Fast Recovery Diode) เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้อายุการใช้งานสั้นลงในการหยุดนำกระแสของไดโอดมีผลต่อการทำงานของวงจร ดังนั้นในการสร้างวงจรนี้จึงเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR160 ส่วนตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดันเอาต์พุตไฟตรง CBUS1 และ CBUS2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดท้ายเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์

3.6 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟกระแสสลับความถี่สูงในที่นี้ที่จะกล่าวเฉพาะวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์ ซึ่งจะให้กำลังไฟฟ้าเหมาะสมกับโหลดที่ต้องการไฟฟ้าไม่สูงมากนักซึ่งจะต้องจ่ายแรงดันและกระแสในปริมาณที่เพียงพอได้ ด้วยเหตุผลนี้จึงเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-13 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์

3.6.1 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้เลือกนำมาใช้งานสำหรับปริมาณนี้ ได้เลือกที่เป็นฮาล์ฟบริดจ์ (Half Bridge Inverter) ชนิดจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter) เนื่องจากมีโครงสร้างของวงจรที่ง่ายแต่มีพิกัดการทำงานในช่วงปานกลาง ซึ่งในปริมาณนี้กำหนดพิกัดกำลังไว้ที่ 36 W เป็นที่เพียงพอสำหรับจะเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ แต่ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ คือ มีการลัดวงจรในกิ่งเดียวกัน (Short Branch) ซึ่งในการควบคุมการทำงานของ S_1 และ S_2 จึงต้องมีการหน่วงเวลาในการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัวไม่ให้ทำงานพร้อมกัน ซึ่งเรียกว่าวงจร เดดไทม์ (Dead Time) หรือวงจรประวิงเวลา นอกจากนี้ในการส่งสัญญาณควบคุม ไปควบคุมสวิตช์ S_1 และ S_2 และวงจรขับสวิตช์ (Gate Drive Circuit) ด้วยเพื่อแยกสัญญาณระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง เป็นการป้องกันการรบกวนและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจรควบคุมได้และยังเพิ่มอัตรากระแสในการควบคุมให้ S_1 และ S_2 ทำงานไม่ให้เกิดความผิดพลาดซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์ S_1 และ S_2 ได้ต่อไป

3.6.2 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

ในส่วนวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์เมื่อนำมาใช้ในงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สวิตช์ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิดคือ

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

สำหรับโครงงานนี้เลือกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์คือมอสเฟตกำลังจุดเด่นของมอสเฟตกำลังคือทำงานได้ในที่ความถี่สูงใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น พิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีข้อจำกัดกระแสไม่เกิน 10แอมแปร์ และการพัฒนา

ในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้มอสเฟตกำลังทำงานที่ความถี่สูงมากขึ้น ไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของอินเวอร์เตอร์

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะที่มอสเฟตกำลังทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ

- 1) การสูญเสียขณะนำกระแส
- 2) การสูญเสียขณะสวิตช์

ในการหาพิกัดของมอสเฟตกำลังเราสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านสูงสุดได้จากสมการ

ที่ 3-5

$$I_p = \frac{2\pi P_o}{V} \quad (3-5)$$

และการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด คำนึงถึงเลือกใช้งานมอสเฟตกำลังเบอร์ IRF830 มีพิกัดเท่ากับ 4.5A 500 V ซึ่งมีขยตามท้องตลาดทั่วไป ในการใช้งานจริงจะต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อนด้วย เพื่อระบายความร้อนให้กับมอสเฟต ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขณะทำงานที่มอสเฟตเกิน

3.7 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonant Circuit) [8]

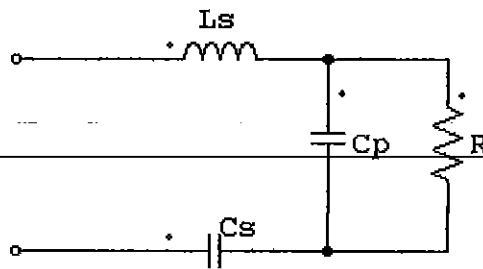
ในสถานะที่วงจรรอนุกรม R, L, C ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร คือ $Z = R + X_L + X_C$ โดยค่าจะแปรเปลี่ยนตามความถี่ของวงจร

ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ คือ ปรากฏการณ์ที่ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร มีค่าต่ำสุดที่ $Z = R$ เมื่อเราป้อนความถี่ค่าหนึ่งที่ทำให้ค่า $X_L = X_C$ ณ จุดนี้จะให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรมากที่สุด และให้กำลังงานกับวงจรมากที่สุด

วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ได้มีการนำวงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจุดหลอดในสถานะเริ่มต้น โดยวงจรเรโซแนนซ์แบ่งออกได้เป็น 3 วงจรหลัก คือ

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

การพิจารณาเลือกชนิดของวงจรเรโซแนนซ์ประยุกต์ใช้กับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์นั้น จะพิจารณาที่อัตราขยาย (Gain) โดยการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออก ซึ่งในการวิเคราะห์นี้เราจะทำการสมมุติอุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้ให้มีคุณสมบัติในอุดมคติ และพิจารณาว่าหลอดไฟเป็นโหลดที่มีความต้านทานเพียงอย่างเดียว สมมุติเป็นจริงเมื่อหลอดทำงานที่ความถี่สูงมากพอ สำหรับในโครงการนี้เลือกวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม – ขนานกับโหลด



รูปที่ 3-14 วงจรพื้นฐานเรโซแนนซ์แบบอนุกรม - ขนานกับโหลด

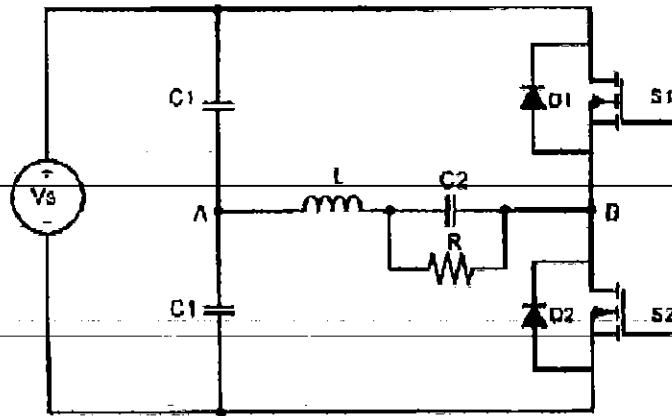
3.7.1 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม – ขนาน

อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม – ขนาน หรือเรียกว่า “ อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบแยก ตัวเก็บประจุ ” เป็นการคิดแปลงวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม โดยแบ่งตัวเก็บประจุออกเป็น 2 ตัว และต่อโหลด R ขนานกับ C ตัวหนึ่ง ดังรูปที่ 3-15 (ก)

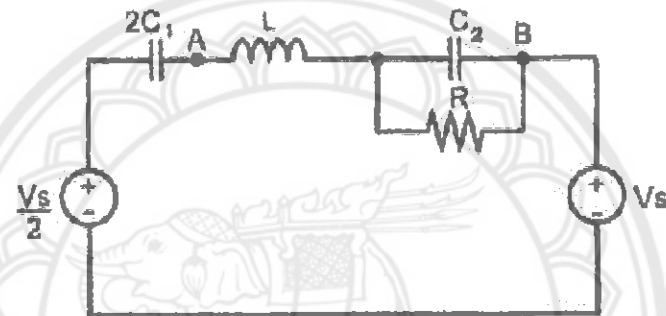
ในวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์จะใช้ตัวเก็บประจุค่ามากเพื่อเป็นตัวแบ่งแรงดันกรณีย์ ของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม – ขนาน ค่าตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะมีขนาดใกล้เคียงกัน ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรเรโซแนนซ์ เมื่อใช้ทฤษฎีบทเทวินินกับแหล่งจ่าย V_s และตัวแบ่งแรงดันที่ประกอบด้วย C_1 สองตัว จะได้วงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ข) ซึ่งสามารถยุบแหล่งจ่ายแรงดันได้เป็นวงจรสมมูลในรูปที่ 3.15 (ค)

เมื่อเปรียบเทียบวงจรในรูปที่ 3.15 (ค) กับวงจรสมมูลเรโซแนนซ์อนุกรมในรูปที่ 3.15 (ข) จะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกัน เพียงแต่ความต้านทาน โหลดมาต่อขนานกับ C_2 แทนที่จะต่ออนุกรมในกรณี Q มีค่าสูง C_2 ขนานกับ R สมมูลโดยใกล้เคียงกับ C_2 อนุกรมกับ $1/[R_2^2 \omega^2]$ การต่อขนานความต้านทาน โหลด เช่นนี้จะรักษาข้อดีของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมคือสามารถลัดวงจรโหลดได้ โดยมีการจำกัดกระแสแต่ยังสามารถควบคุมแรงดันค่านออกได้เมื่อโหลดเป็นวงจรเปิด

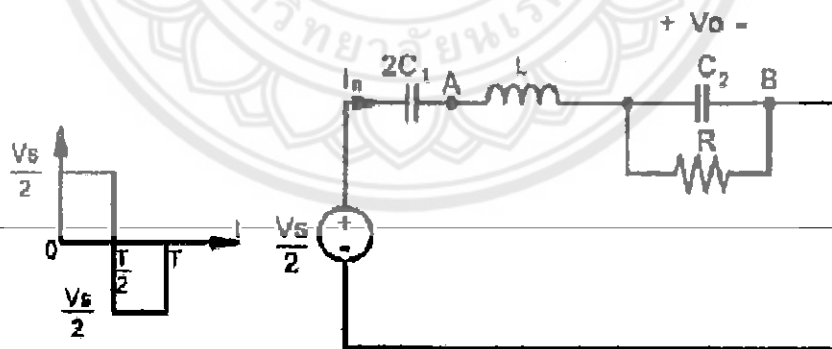
จากวงจรในรูปที่ 3.15 (ค) ภายใต้สมมติฐานที่ว่า Q มีค่าสูง จะสามารถใช้การวิเคราะห์เชิงความถี่ได้โดยที่



รูปที่ 3-15 (ก) อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน



รูปที่ 3-15 (ข) วงจรสมมูลเมื่อใช้ทฤษฎีบทเทวินิน

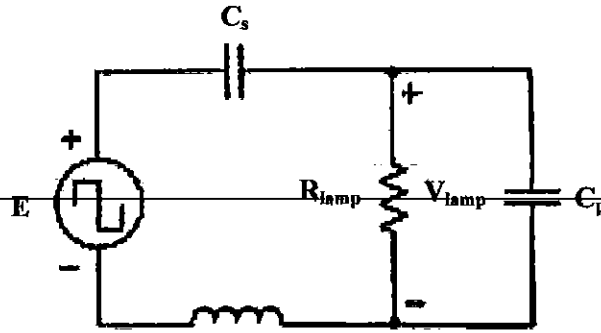


รูปที่ 3-15 (ค) การรวมแหล่งจ่ายของวงจรทั้ง 2 ในรูป (ข)

รูปที่ 3-15 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน

3.8 การออกแบบวงจร LCC [8]

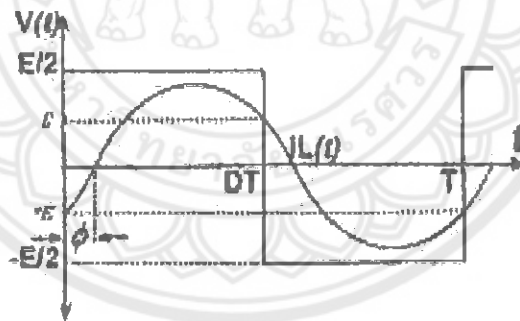
ในรูปที่ 3-16 แสดงการเทียบเท่าของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม-ขนาน ที่ใช้ในการหาค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโหลด โดยแทนโหลดด้วยความต้านทาน



รูปที่ 3-16 วงจรเทียบเท่าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรม - ขนาน สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.8.1 ส่วนของวงจร LCC

การออกแบบอุปกรณ์ของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์อนุกรม - ขนาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรในรูปที่ 3-17 โดยที่ C_s คือตัวเก็บประจุอนุกรม C_p คือตัวเก็บประจุขนาน L คือตัวเหนี่ยวนำและ R คือ ตัวต้านทานที่ใช้แทนโหลด โดยแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจรเป็นสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะเป็นลักษณะเป็นแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและมีกระแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC จะมีมุมเฟสกับแรงดันเป็น ϕ ดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-17 การหน่วงเวลาระหว่างแรงดันที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์กับกระแสที่ไหลผ่านตัวกรอง LC

เมื่อกำหนดพิกัดกำลังเอาต์พุตของหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นขนาด 36 วัตต์ ทำงานที่ความถี่สูงเกิน 20 kHz ดังนั้น กำลังเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 32 วัตต์ จากนั้นต้องหาแรงดันมูลฐาน RMS ของแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ สามารถหาได้จากสมการที่ 3-6

$$V_{\text{rms}} = \frac{E\sqrt{2}}{\pi} \quad (3-6)$$

เมื่อ E คือ แรงดันขดลวดถึงขดลวดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม
จากนั้นเมื่อได้ค่าแรงดันมูลฐานแล้วก็สามารถหาค่า Z อิมพีแดนซ์ของวงจรกรองเรโซแนนซ์โดยหาอยู่ในรูปแบบเฟสเซอร์ ได้ดังสมการที่ 3-7

$$Z = \frac{R}{1 + C_p^2 R^2 \omega^2} + j \left[\left(L\omega - \frac{1}{C_s \omega} \right) - \frac{R^2 C_p \omega}{1 + C_p^2 R^2 \omega^2} \right] \quad (3-7)$$

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม
จากนั้นก็หาค่ากำลังเอาต์พุตที่จ่ายให้กับโหลดจากสมการที่ 3-6 และ 3-7 ได้จากสมการที่ 3-8

$$P = \operatorname{Re} \left(\frac{V_{rms}^2}{Z} \right) \quad (3-8)$$

และวงจรกรองเรโซแนนซ์ $L, C_s, C_p(\phi)$ หาได้จากสมการที่ 3-9

$$\phi = \tan^{-1} [\omega R^{-1} ((L - C_s^{-1} \omega^{-2})(1 + C_p^2 R^2 \omega^2) - R^2 C_p)] \quad (3-9)$$

โดยอาศัยค่า L, C_s, C_p ที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดมุมเฟสขึ้นในวงจรกรองเรโซแนนซ์เพื่อให้อยู่ในช่วงการทำงานของสวิตช์ภาคแรงดันศูนย์ขณะที่ปิดวงจร (Zero voltage switching : ZVS) และมีการสูญเสียที่สวิตช์น้อยกว่าที่มุมเฟสเป็น 0 องศา การออกแบบวงจรกรองเรโซแนนซ์นั้นเมื่อได้ค่าแรงดัน V_{rms} , กำลังไฟฟ้เอาต์พุต (P), ค่ามุมเฟส (ϕ) และความถี่ในการสวิตช์เริ่มต้น (ω) ก็สามารถหาค่า L, C_s, C_p ส่วนประกอบวงจรเรโซแนนซ์ได้

การคำนวณหาค่าของตัวเก็บประจุขนาน C_p จากสมการที่ 3-8 และ 3-9 จะกำหนดให้ X เทอมมีค่าตามสมการที่ 3-10

$$X = \tan(\phi) \quad (3-10)$$

โดยแทนที่ในสมการที่ 3-10 สำหรับ 3-8 และ 3-9 จะสามารถหาค่าตัวเก็บประจุขนาน C_p ได้จากสมการที่ 3-11

$$C_p(\phi) = \frac{1}{\omega R V_{rms}^2} \sqrt{\frac{P}{R} (R^2 + (R \tan(\phi))^2) - 1} \quad (3-11)$$

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำโดยแทนที่สมการที่ 3-10 สำหรับ 3-8, 3-9, 3-11 และตัวเหนี่ยวนำ L จะแยกเป็นฟังก์ชันหนึ่งฟังก์ชันของมุมเฟส สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 3-12

$$L(\phi) = \frac{R \tan(\phi) \omega^{-1} + C_p(\phi) R^2}{1 + \omega^2 C_p^2(\phi) R^2} + \frac{1}{C_s \omega^2} \quad (3-12)$$

การหาค่าคงที่ที่ทำให้การควบคุมกระแสที่หม้อแปลงอิมตัว I_L กับแรงดันที่จ่ายของสวิตช์ MOSFET ในรูปที่ 3-15

$$i_L(0) = -\varepsilon \text{ เมื่อ } \left. \frac{di_L(t)}{dt} \right|_{t=0} > 0 \quad (3-13)$$

$$i_L\left(\frac{T_s}{2}\right) = \varepsilon \text{ เมื่อ } \left. \frac{di_L(t)}{dt} \right|_{t=0} < 0 \quad (3-14)$$

ก็จะหาค่า ε ได้จากสมการ

$$\varepsilon = \frac{N_\pi V_Z}{2\omega L_m} \quad (3-15)$$

โดยที่ N คือ อัตราส่วนของหม้อแปลงอิมตัว $n = n_p / n_s$

V คือ แรงดันของซีเนอร์ไดโอด

L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่หม้อแปลงอิมตัว

โดยที่ค่า L_m หาได้จากสมการที่ 3-15

$$L_m = \frac{L((c - a\omega^2) + (b\omega - \omega^3)^2)}{Kn[a\omega^2(a\omega^2 - c) + \omega^3(b\omega - \omega^3)]} \quad (3-15)$$

เมื่อกำหนดให้

$$S = j\omega, a = \frac{1}{RC_p}, b = \frac{1}{L(C_s + C_p)} \quad (3-16)$$

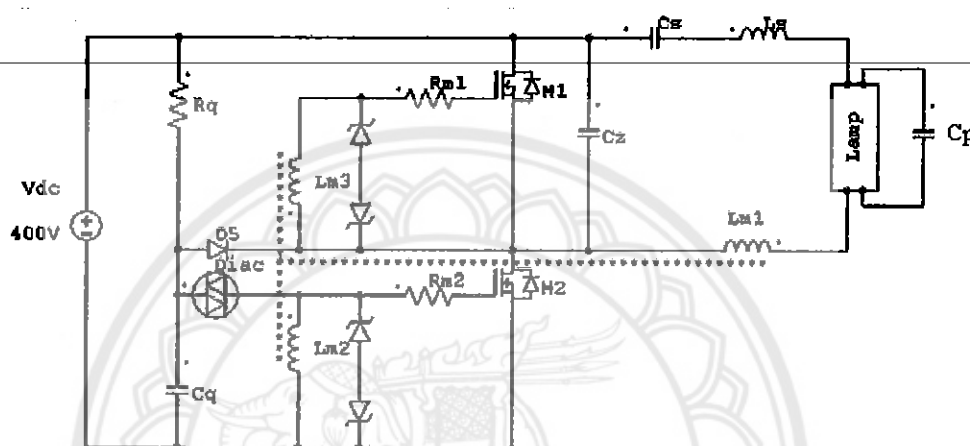
$$C = \frac{1}{RC_p C_s L}, K = \frac{E}{2V_Z}, R = R_{Lamp}$$

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

โดยที่ $n = \frac{n_s}{n_p}$

n_s = จำนวนรอบด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงอิมตัว

n_p = จำนวนรอบด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงอิมตัว



รูปที่ 3-18 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

3.9 การออกแบบการทดลอง

การทดลองได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

3.9.1 การทดลองระหว่างวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จริง และวงจรที่ได้จากการจำลองการทำงานเป็นการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณระหว่างการจำลองการทำงาน และการสร้างสัญญาณจากอุปกรณ์จริง

3.9.2 การทดลองวงจรจริงที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีอยู่ตามท้องตลาดเป็นการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบดัชนีวัดคุณภาพต่างๆ ว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จำลองขึ้นมา นั้นมีมาตรฐานเป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ตามท้องตลาด

3.10 วิธีที่ใช้ในการทำการทดลอง [13]

ดัชนีคุณภาพทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินคุณภาพของสัญญาณกระแสทางค่านินทุคและเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงสมรรถนะการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการออกแบบขึ้นเพื่อลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

3.10.1 แรงดันและกระแสมาตรฐานอาร์เอ็มเอส

เป็นค่าอาร์เอ็มเอสขององค์ประกอบความถี่มูลฐานของแรงดัน (V_{rms}) และกระแส (I_{rms}) เป็นค่าระดับแรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอสที่ความถี่มูลฐานซึ่งเป็นความถี่ของระบบแหล่งจ่าย องค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบที่สร้างกำลังไฟฟ้าและเป็นองค์ประกอบที่ต้องใช้งาน

3.10.2 แรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอส

เป็นค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดัน (V_{rms}) และกระแส (I_{rms}) ด้านอินพุทเป็นค่าระดับแรงดัน และกระแสอาร์เอ็มเอสของสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นค่ารวมขององค์ประกอบทุกตัว ทั้งความถี่มูลฐาน และฮาร์โมนิกส์

3.10.3 ค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า (Input Power Factor : PF)

ลักษณะรูปคลื่นกระแสและมุมเฟสของกระแสและแรงดันทางด้านอินพุทจะเป็นตัวกำหนดค่าตัวประกอบกำลังของวงจรซึ่งโดยรวมแล้วค่าตัวประกอบกำลังของวงจรจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการให้กำลังไฟฟ้าของวงจรนั้นๆ กล่าวคือ วงจรที่มีค่า PF สูงจะให้กำลังไฟฟ้าที่ดีกว่าวงจรที่มี PF ต่ำ ดังนั้นวงจรที่มี PF สูงนั้นจึงมีความคุ้มค่าในแง่ของการจ่ายพลังงานที่ดีกว่าวงจรที่มี PF ต่ำ

3.10.4 ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส (Current Crest Factor : CF)

สำหรับค่า CF ที่นิยามไว้ในปริยญาณิพนธ์นี้เป็นค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกระแสอินพุทอาร์เอ็มเอสต่อกระแสพีค (Current Peak) ที่รวมผลของฮาร์โมนิกส์ โดยอัตราส่วนจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 นั้น หมายถึงสัญญาณนั้นไม่มีความผิดเพี้ยน ส่วนกรณีที่ค่าตัวประกอบความผิดเพี้ยนมีค่าต่ำๆ แสดงว่าเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสมาก หรือในอีกความหมายหนึ่งค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแส คืออัตราส่วนระหว่างค่าขอคของกระแสต่อค่ากระแสเฉลี่ย RMS อาจวัดได้ 2 อย่างคือ กระแสด้านเข้าและกระแสผ่านโหลด โดยทั่วไปตัวประกอบยอดคลื่นกระแสที่ผ่านโหลดไม่ควรเกิน 1.7

3.10.5 ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonic Distortion :

THD)

ค่าองค์ประกอบความผิดเพี้ยนรวมของฮาร์โมนิกส์ของกระแส (THD_i) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ถึงความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสด้านอินพุทของแหล่งจ่ายที่แตกต่างไปจากองค์ประกอบกระแสความถี่มูลฐาน ในการหาค่า THD_i นี้จะต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ เพื่อทำการหาองค์ประกอบความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกส์ของรูปคลื่นสัญญาณกระแสอินพุททางด้านแหล่งจ่าย จึงสามารถนำไปเข้าสู่สูตร และหาค่าออกมาได้ โดยค่าดัชนีคุณภาพทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 นิยามของค่านีและปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณสมบัติรูปคลื่นกระแสอินพุต

ค่า	นิยาม	ค่า	นิยาม
V_{rms}	$V_{peak} / \sqrt{2}$	I_{rms}	$I_{peak} / \sqrt{2}$
V_{rms}	$\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}$	I_{rms}	$\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$
PF	$\frac{I_{rms}}{I_{rms}} \cos \theta$	CF	$\frac{I_{rms}}{I_{peak}}$
%THD _i	$\frac{100}{I_{input}} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}$		

3.10.6 ทดสอบและบันทึกค่าองค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า

การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ตั้งแต่ 185–265 V ได้

เมื่อแรงดันเปลี่ยนแปลงเปลี่ยน 1 ค่า ก็ทำการวัดค่าดังต่อไปนี้

1. แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (V_{IN})
2. กระแสไฟฟ้าด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (I_{IN})
3. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (P_{IN})
4. ตัวประกอบกำลังด้านเข้า (P.F)
5. ตัวประกอบยอดคลื่น (C.F)
6. ค่าความผิดเพี้ยนจากความเป็นไซน์ (%THD_i)
7. แรงดันไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือแรงดันที่โหลด (V_{lamp})
8. กระแสไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือกระแสที่โหลด (I_{lamp})
9. กำลังไฟฟ้าด้านออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือกำลังที่โหลด (P_{out})

3.11 สรุปขั้นตอนการศึกษาและออกแบบการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาสาเหตุการเกิดฮาร์โมนิกส์ โครงสร้างโดยรวมทั้งการออกแบบ และสร้างวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงงานนี้ทั้งในส่วนของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตซึ่งจะเข้ามาลดฮาร์โมนิกส์ในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W ซึ่งโครงงานนี้จะทำการเลือกใช้วงจร Active Power Factor Correction โดยใช้หลักการวงจรแปลงผันกำลังแบบทบระดับ (Boost Converter) ซึ่งใช้วงจรมอสเฟตเป็นตัวขับสวิตซ์ขาเกิด เพื่อลดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังออกแบบการทดสอบพารามิเตอร์และค่าค่านีสมรรถนะที่ต้องการรู้เพื่อมาแปรผลในบทต่อไปอีกด้วย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

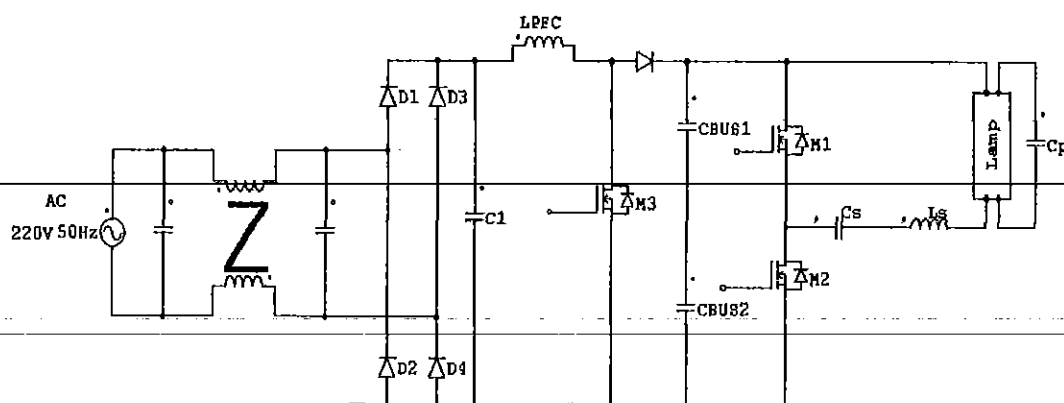
ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์และศึกษาการแก้ไขฮาร์โมนิกส์ และเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังได้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ และอุปกรณ์ต่างๆในส่วนของภาคกำลังของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งวิธีการทดลองจะแยกทำเป็น ส่วนๆ ซึ่งมี 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1. วงจรส่วนหน้าของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
2. วงจรควบคุมของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. วงจรส่วนหลังของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ในบทนี้จะแสดงถึงผลการทดสอบการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ และการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตามท้องตลาดรวมทั้งบัลลาสต์แกนเหล็กเพื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน อีกทั้งยังนำผลที่ได้จากการทดสอบมาอ้างอิงกับมาตรฐาน มอก. 1506-2541 เพื่อจะได้ทราบว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีตามท้องตลาดนั้นมีคุณภาพมากน้อยเพียงใด และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จำลองขึ้นผลการทดสอบจะผ่านมาตรฐานหรือไม่

4.1 การนำเสนอผลการทดลอง

ผลการศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณ และค่าของกระแส แรงดันและกระแสฮาร์โมนิกส์ทางด้านขาเข้าของวงจร รวมถึงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) และแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร โดยทำการแสดงรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงาน (Simulation) และที่ได้จากการสร้างขึ้นมาจากอุปกรณ์จริง นำมาเปรียบเทียบกัน อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบระหว่างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากการจำลองการทำงานจริงและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายตามท้องตลาด แล้วทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งรายละเอียดของวงจรที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4-1 โดยจะทำการทดสอบหาประสิทธิภาพและคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญอย่างเป็นขั้นตอน



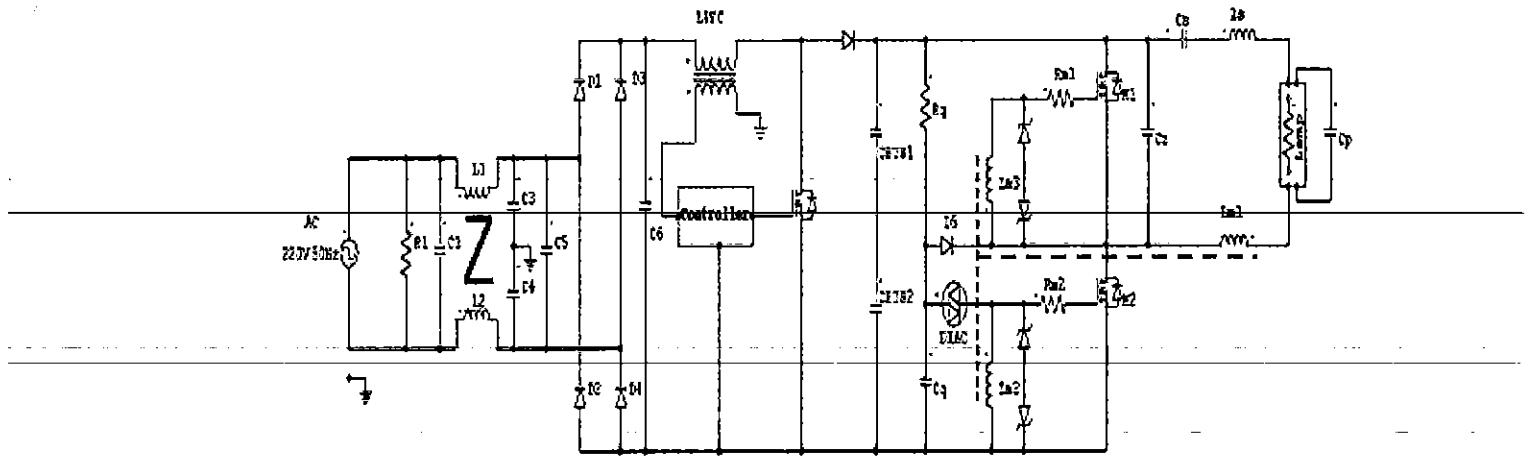
รูปที่ 4-1 วงจรภาคกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบจำลองโดยโปรแกรม PSIM

ตารางที่ 4-1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงสำหรับสร้างวงจรภาคกำลังของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้	รายละเอียด
C_1	0.1 μF / 400V	ตัวเก็บประจุกรองความถี่สูงที่แรงดันด้านเข้า
$C_{\text{BUS1}} - C_{\text{BUS2}}$	10 μF / 250V	ตัวเก็บประจุกรองแรงดันบัสไฟตรง
C_s	0.1 μF / 250V	ตัวเก็บประจุกรองแรงดันไฟตรง
C_p	6.8nF/1500V	ตัวเก็บประจุในวงจรเรโซแนนซ์
$D_1 - D_4$	1N4007	ไดโอดเรกติไฟเออร์
D_5	MUR160	ไดโอดบูสต์
L_{PFC}	1.4mH	ตัวเหนี่ยวนำในวงจรบูสต์
L_s	2mH	ตัวเหนี่ยวนำในวงจรเรโซแนนซ์
$M_1 - M_2$	IRF830	มอสเฟตสำหรับ Half-Bridge Inverter
M_3	IRF830	มอสเฟตสำหรับวงจรบูสต์

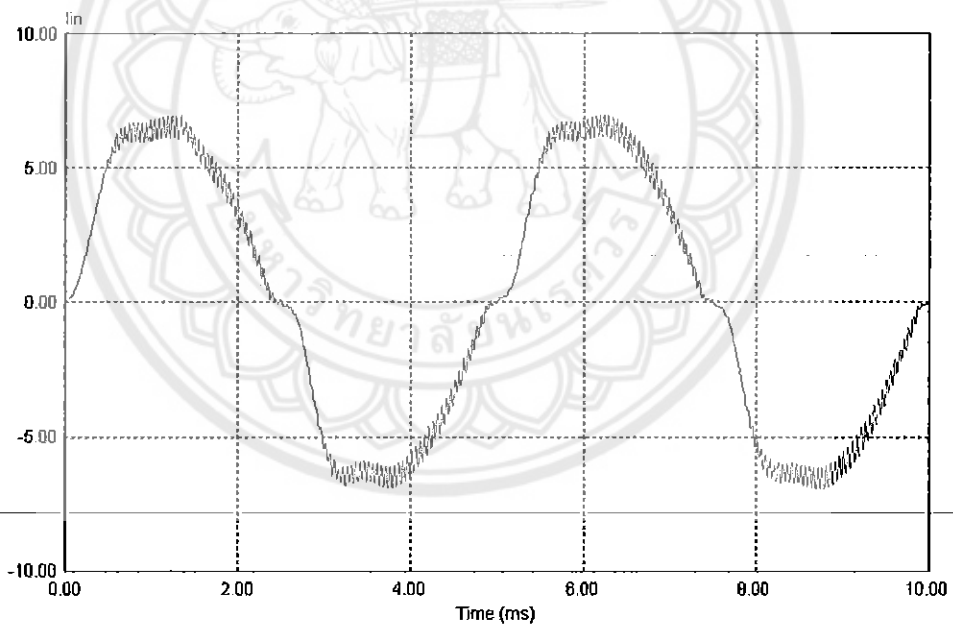
4.2 การทดสอบโดยการจำลอง (Simulation)

4.2.1 จำลองการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังโดยใช้โปรแกรม PSIM

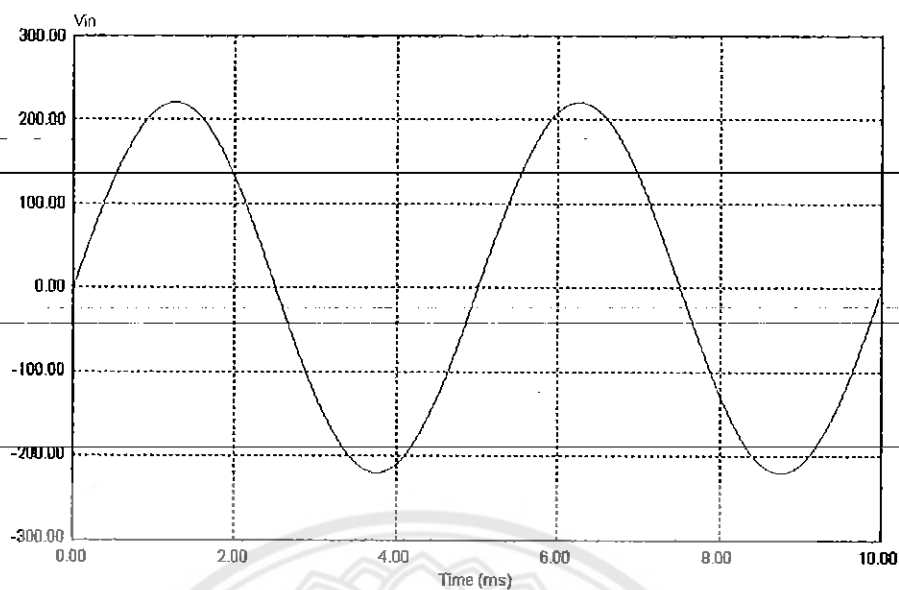


รูปที่ 4-2 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยโปรแกรม PSIM

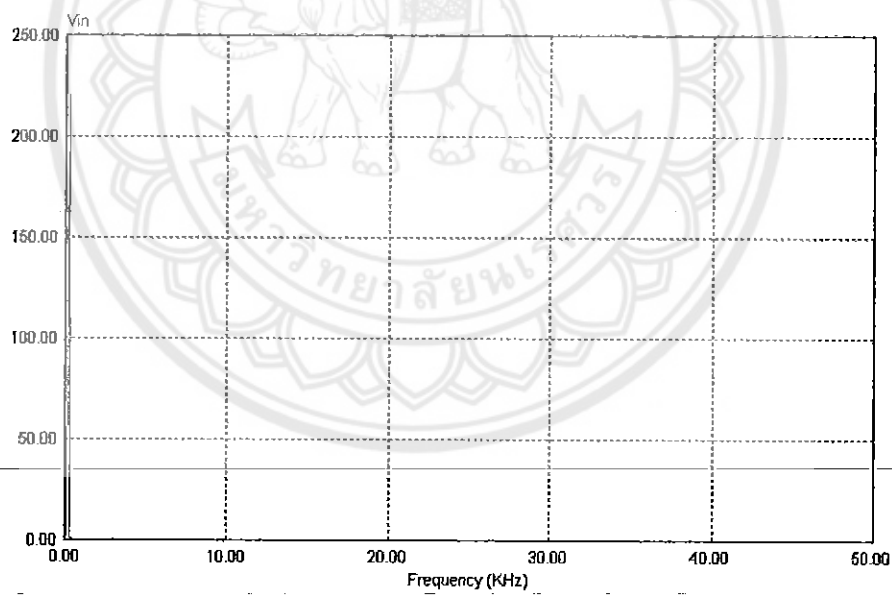
ผลที่ได้จากการจำลอง (Run Simulation)



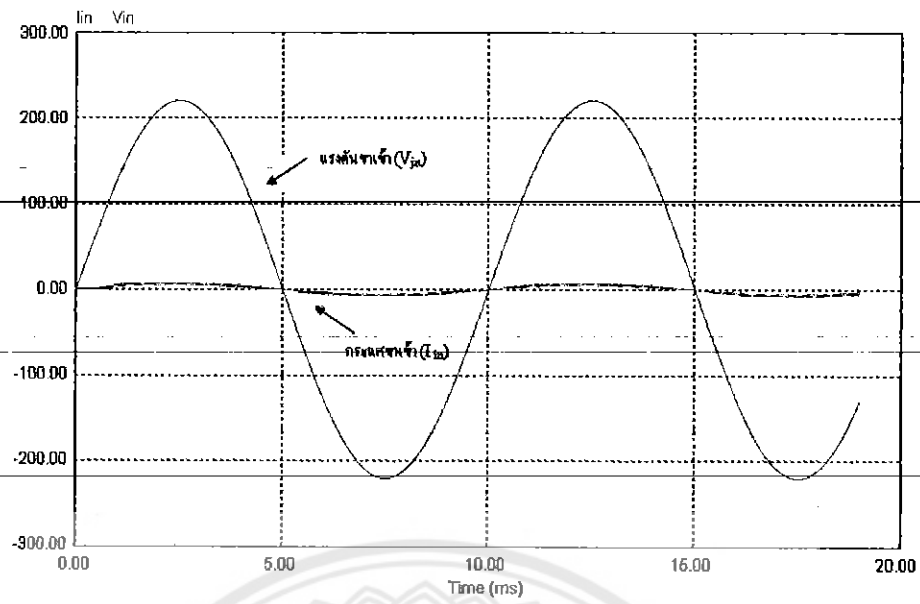
(ก). รูปคลื่นกระแสขาเข้าของวงจร



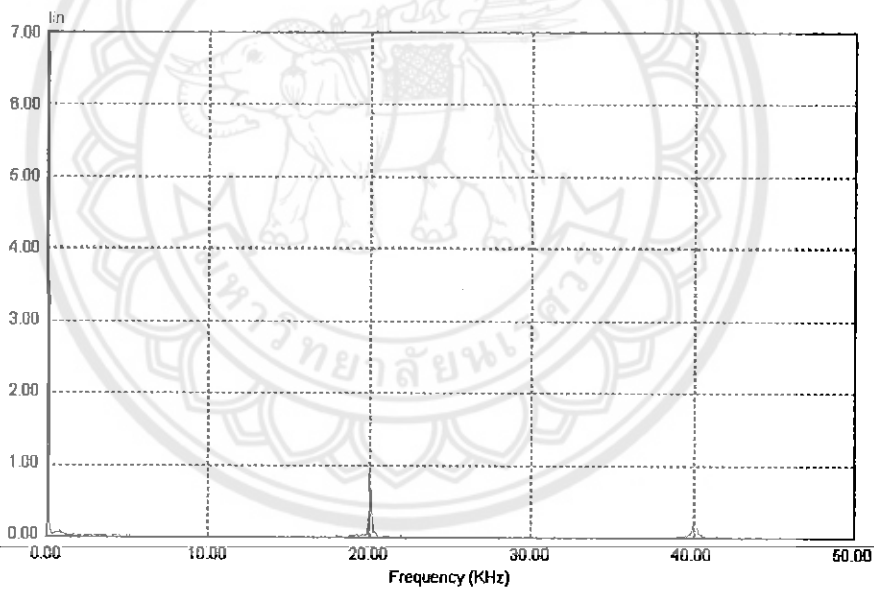
(ข). รูปคลื่นแรงคั่นขาเข้า



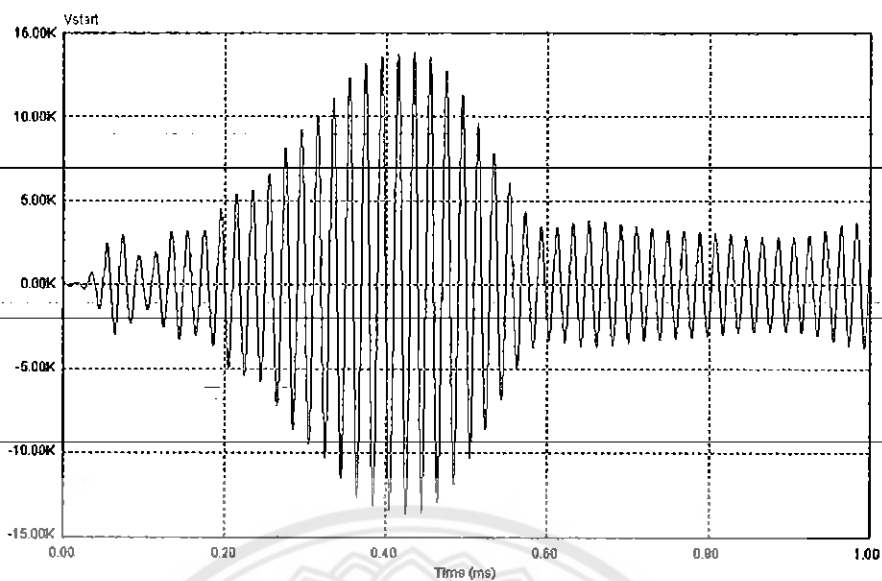
(ค). การวิเคราะห์ค่าฮาร์มอนิกของแรงคั่นขาเข้าโดยใช้วิธี FFT



(ง). รูปคลื่นกระแสขาเข้าและแรงดันขาเข้าของวงจร



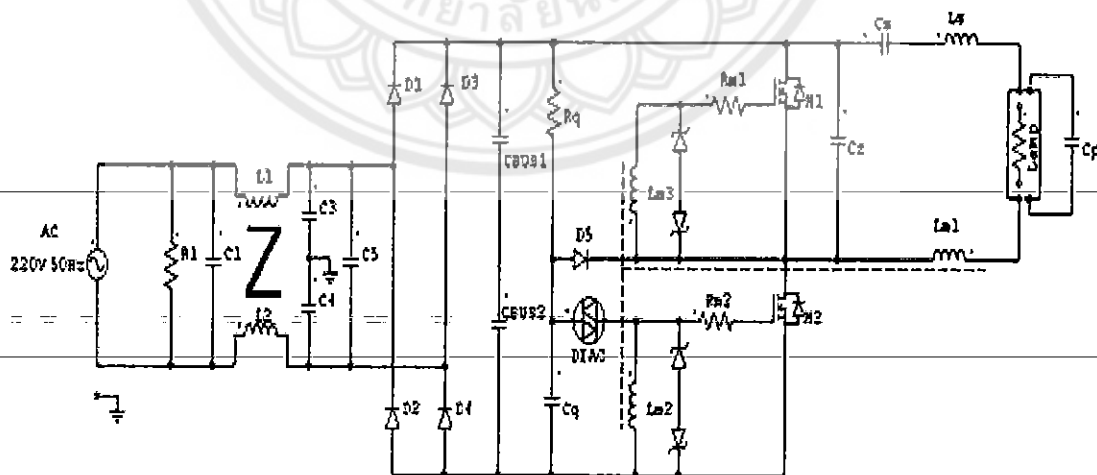
(จ). กราฟวิเคราะห์ FFT ของกระแสฮาร์มอนิกสี่ขาเข้าของวงจร



(ณ). รูปคลื่นแรงดันขณะจุดหลุด

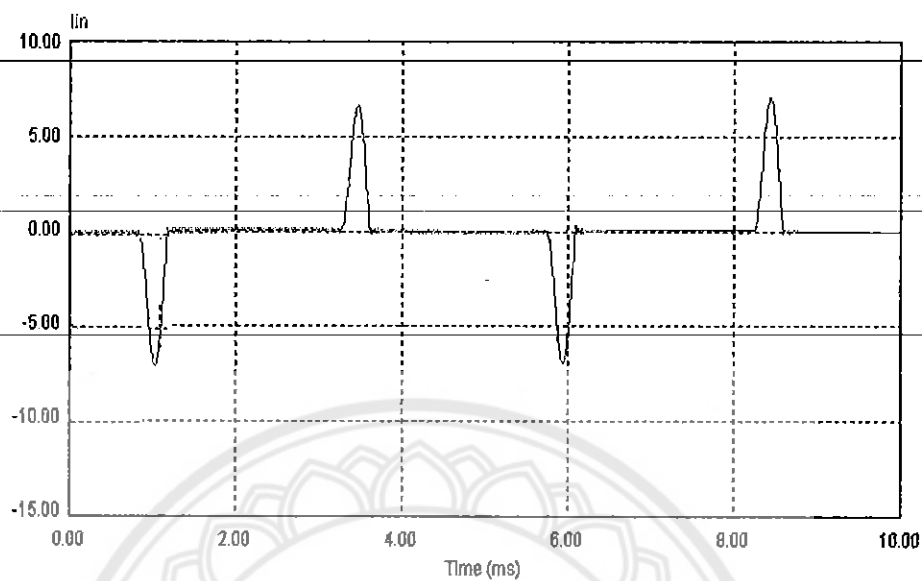
รูปที่ 4-3 ผลจากการจำลองการทำงาน (Run Simulation) ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มี
วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังโดยใช้โปรแกรม PSIM

4.2.2 จำลองการทำงานของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรม ที่ไม่มีวงจรแก้ไขตัว
ประกอบกำลังโดยโปรแกรม PSIM

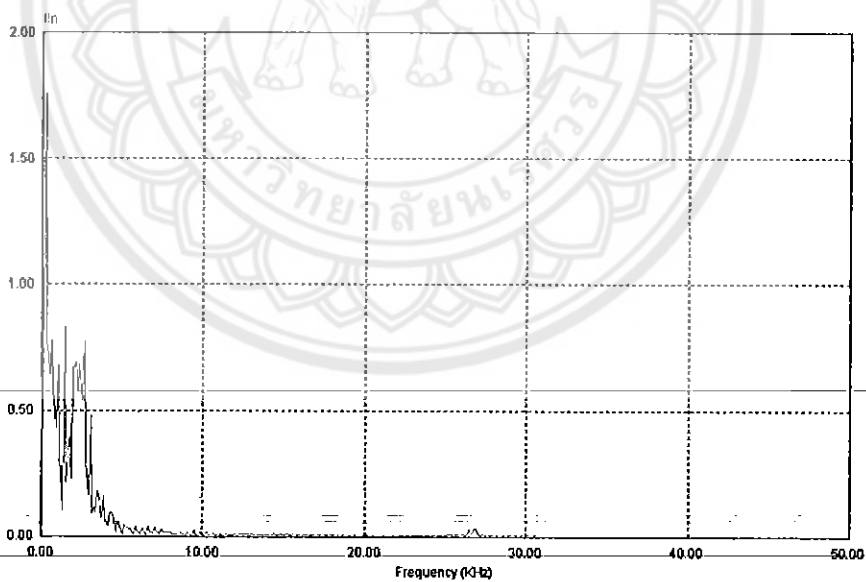


รูปที่ 4-4 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ยังไม่ได้แก้ไขค่าประกอบกำลัง)
โดยโปรแกรม PSIM

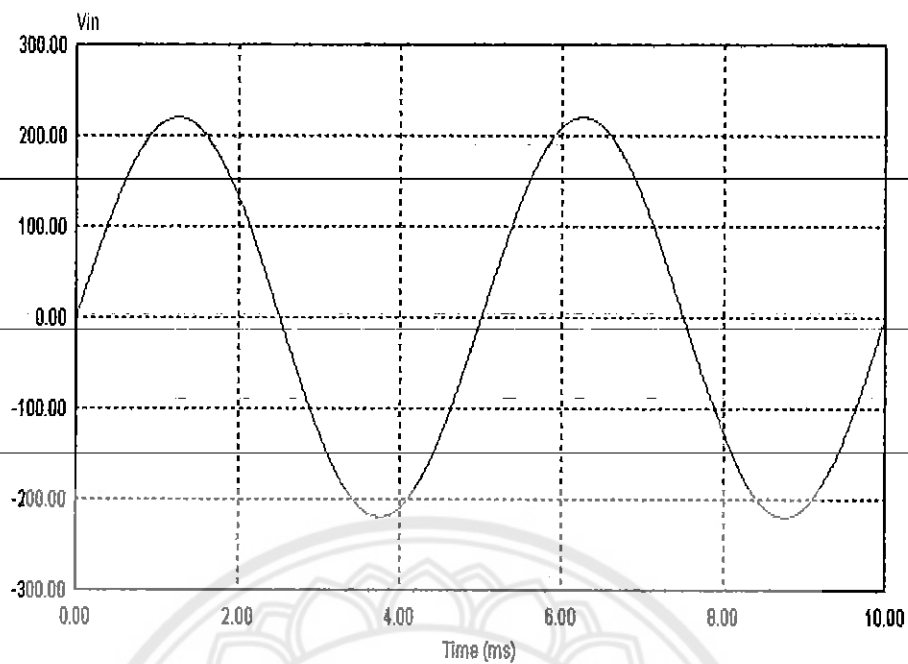
() ผลที่ได้จากการจำลอง (Run Simulation)



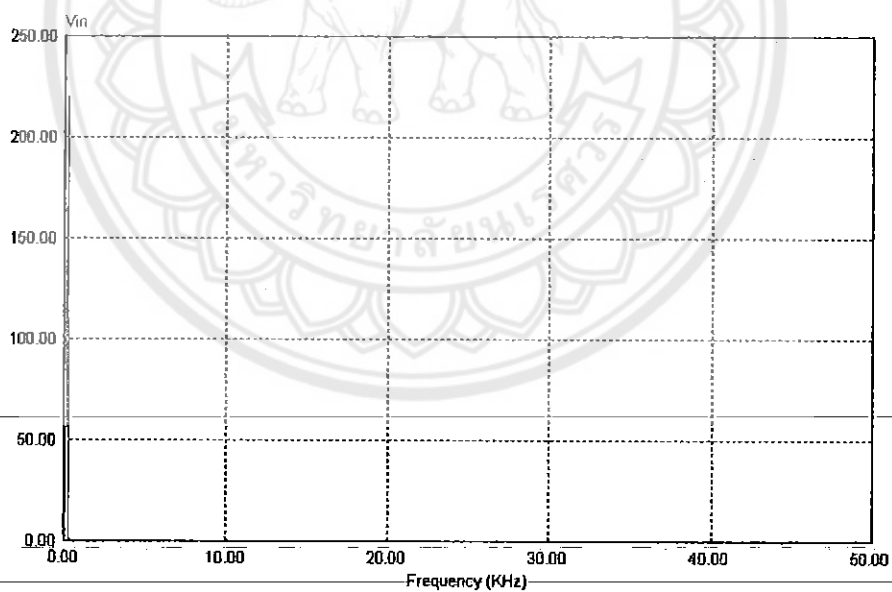
(ก). รูปคลื่นกระแสขาเข้า



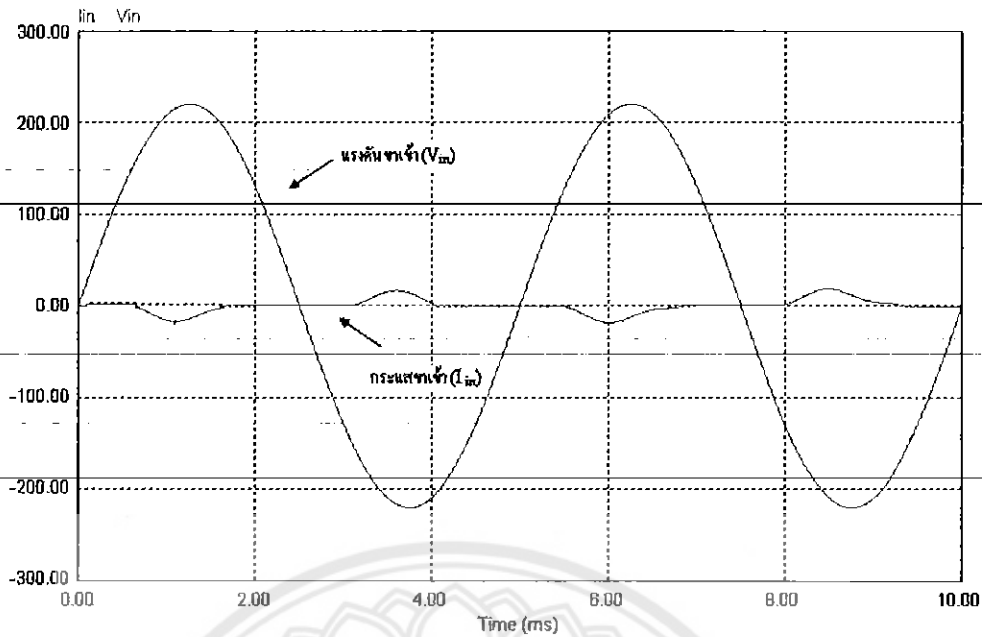
(ข). การวิเคราะห์ค่าฮาร์มอนิกของกระแสขาเข้าโดยใช้วิธี FFT



(ค). รูปคลื่นแรงดันขาเข้า



(ง). การวิเคราะห์ค่าฮาร์มอนิกส์ของแรงดันขาเข้าโดยใช้วิธี FFT



(จ). แรงดันและกระแสขาเข้าของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ
(ยังไม่ได้แก้ไขค่าประกอบกำลัง)

รูปที่ 4-5 ผลจากการจำลองการทำงาน (Run Simulation) ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มี
วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังโดยใช้โปรแกรม PSIM

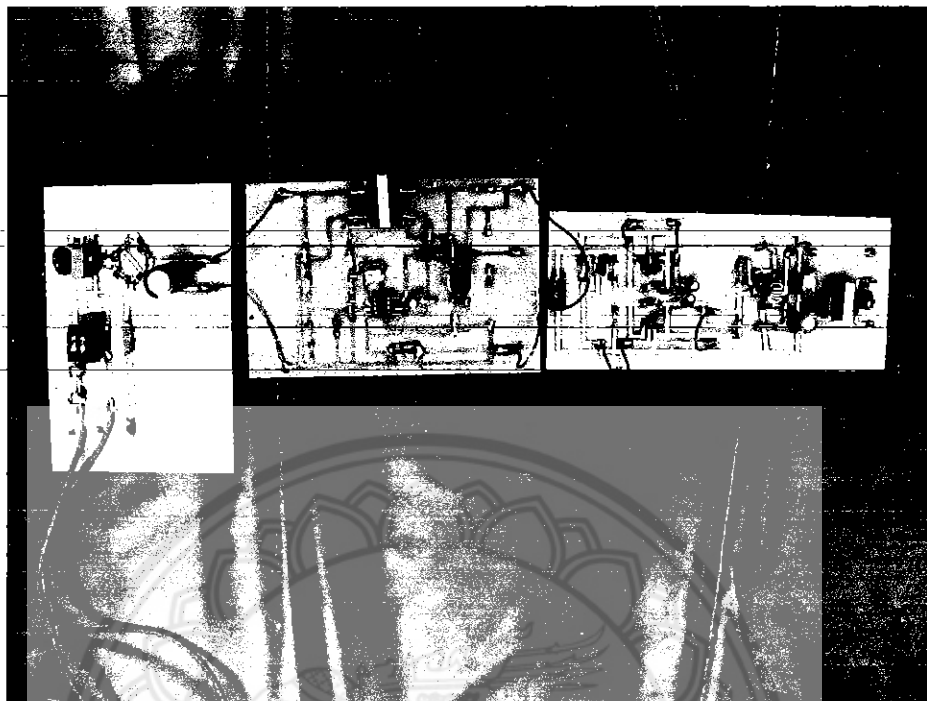
4.2.3 สรุป

จากการจำลองการทำงาน ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ พบว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบที่มี
วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง ตามรูปที่ 4-4 (ก) จะได้รูปคลื่นกระแสขาเข้าที่ใกล้เคียงรูปคลื่นขา
มากขึ้น เมื่อเทียบกับวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แบบที่ไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง ตามรูปที่
4-5 (ก)

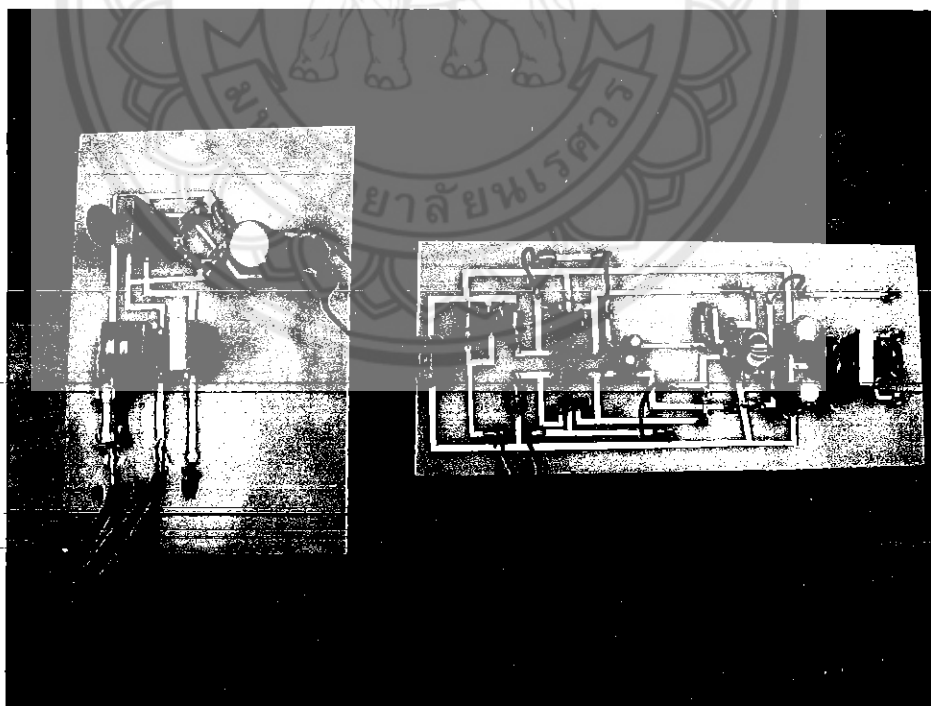
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพและคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญ

การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพและคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญของวงจรต้นแบบ
สำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้สร้างขึ้นมานั้น ขั้นตอนและวิธีวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ
จะอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 1506-2541 เป็นสำคัญและจะทดสอบวงจรสำหรับบัลลาสต์
อิเล็กทรอนิกส์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดด้วย เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับวงจรต้นแบบที่ได้สร้าง
ขึ้นมาต่อไป

4.3.1 การทดสอบวงจรต้นแบบสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้สร้างขึ้น



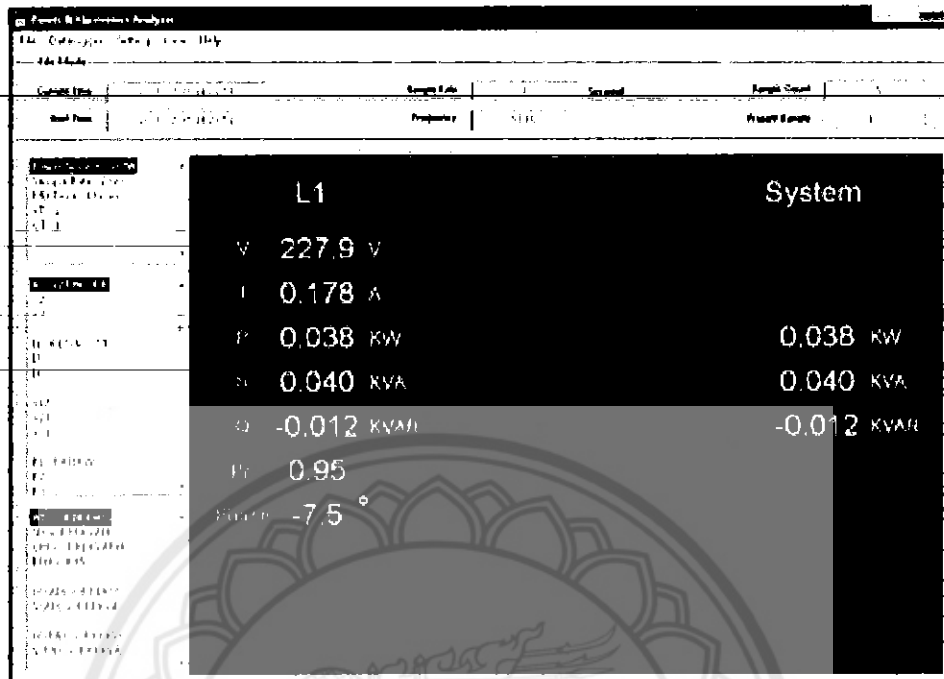
(ก). วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



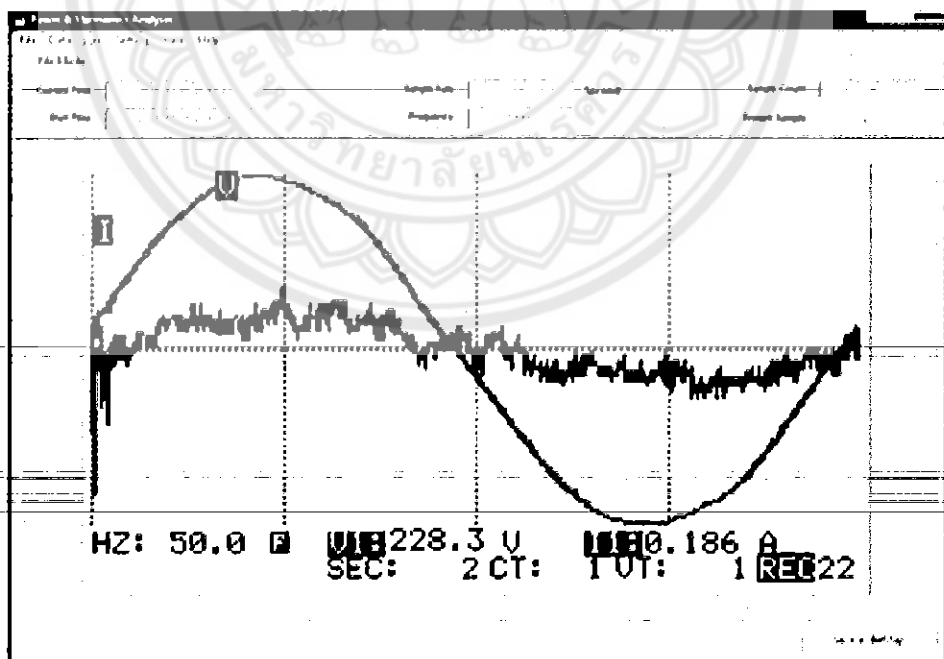
(ข). วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง

รูปที่ 4-6 การจำลองวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ

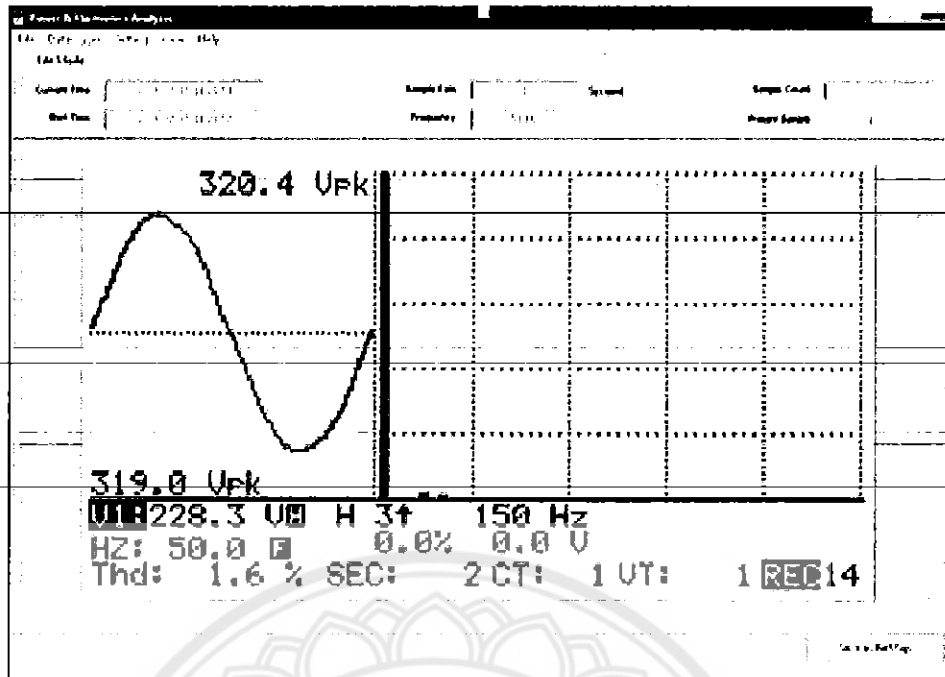
4.3.1.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีเพิ่มวงจรแก้ไขค่าประกอบกำลัง



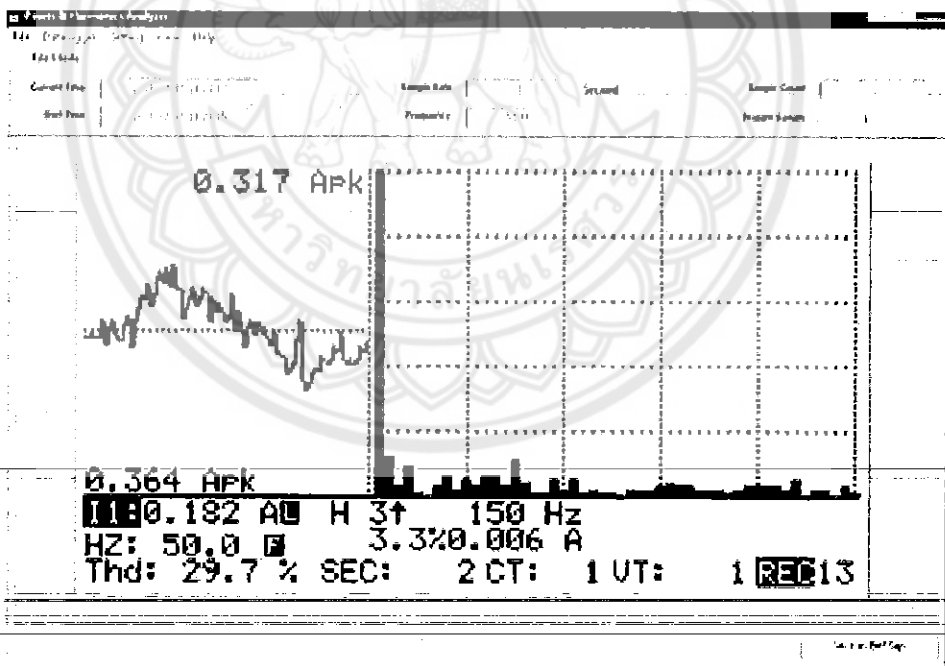
(ก). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



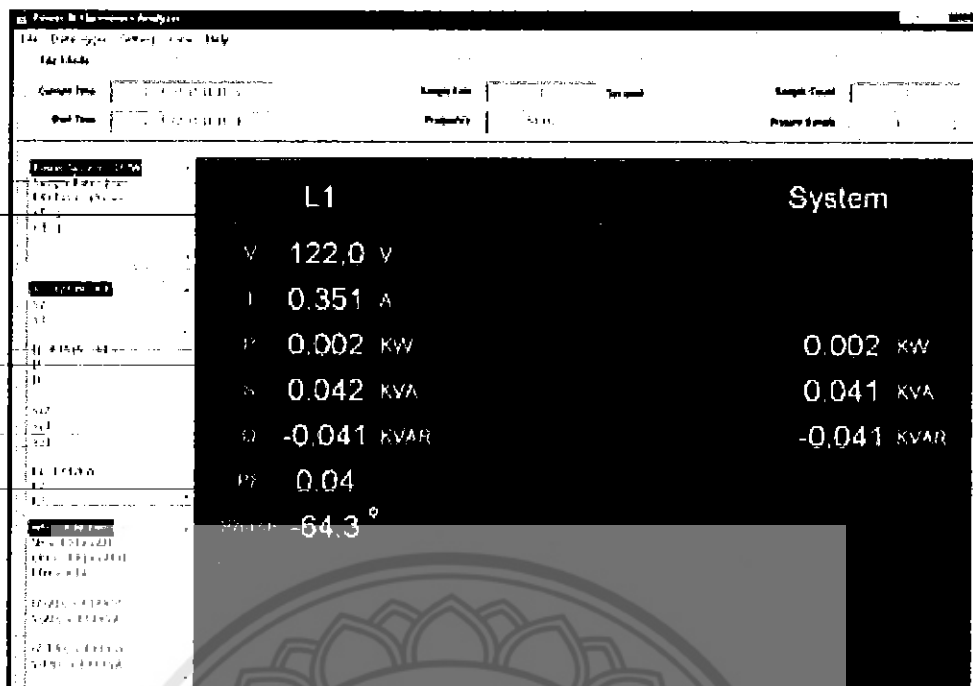
(ข). รูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



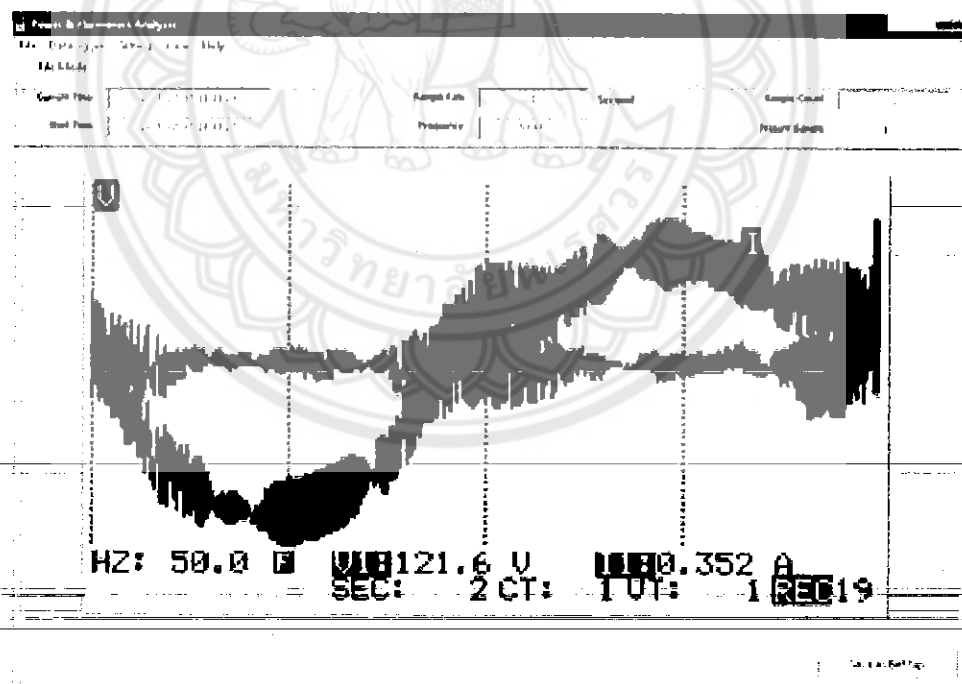
- (ค). รูปคลื่นของแรงดันขาเข้า และการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



- (จ). รูปคลื่นของกระแสขาเข้า และการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



(ก). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



(ข). รูปคลื่นของแรงดันขาออกและกระแสไฟฟ้าขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง

รูปที่4-7 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง

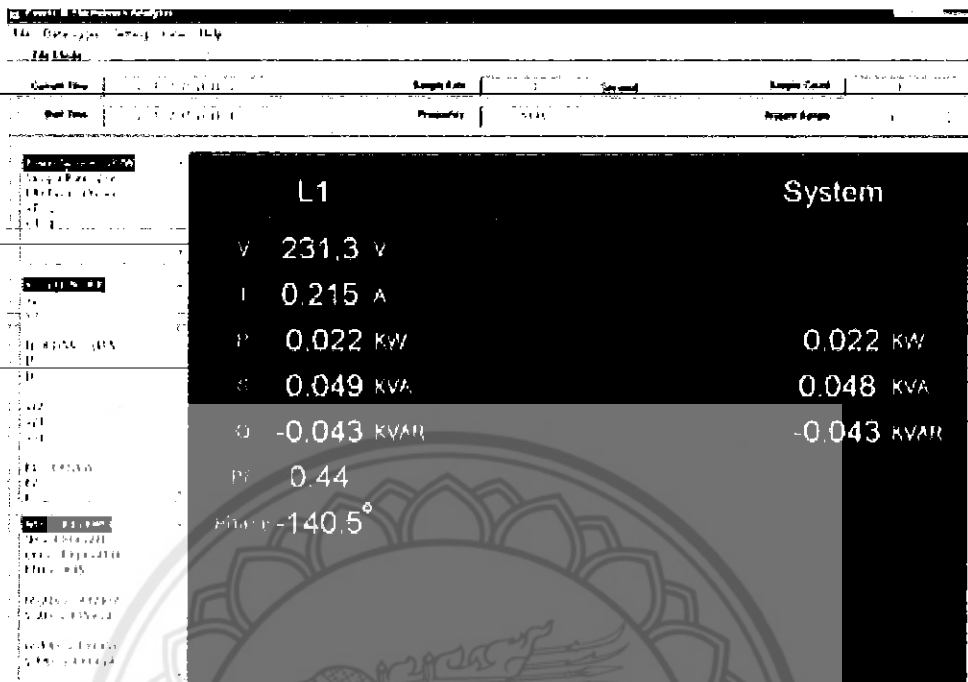
ตารางที่ 4-2 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่องวิเคราะห์ ฮาร์มอนิกส์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ
และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

ฮาร์มอนิกส์ ลำดับที่ n	ค่าสูงสุด (แสดงเป็นร้อยละของกระแสหลักมูลของวงจร)
2	1.8
3	3.3
5	11.2
7	9.8
9	4.1
$11 \leq n \leq 39$	≤ 3.4

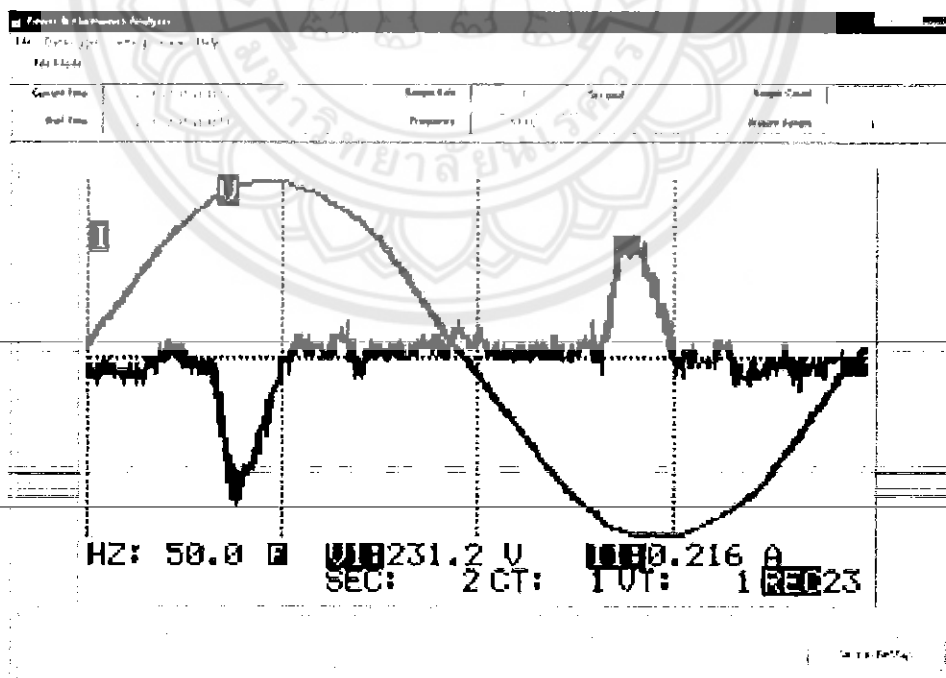
ตารางที่ 4-3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัดได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้สร้างขึ้น
และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรทดสอบ	ผลการทดสอบ
แรงดันอินพุตของวงจร V_{rms} (V)	227.9
กระแสอินพุตที่ไหลในวงจร I_{rms} (A)	0.178
กำลังอินพุตของวงจร P_{in} (W)	38
กำลังเอาต์พุตที่โหลด P_{lamp} (W)	36
ค่าประสิทธิภาพของวงจร η (%)	94.74
ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร PF	0.97±5%
ค่า THD ของกระแสอินพุต THD_i (%)	29.7
ค่า THD ของแรงดันอินพุต THD_v (%)	1.6
ค่าตัวประกอบขดคลื่นของกระแสอินพุต CF	1.74
ค่าความส่องสว่าง (lux)	650

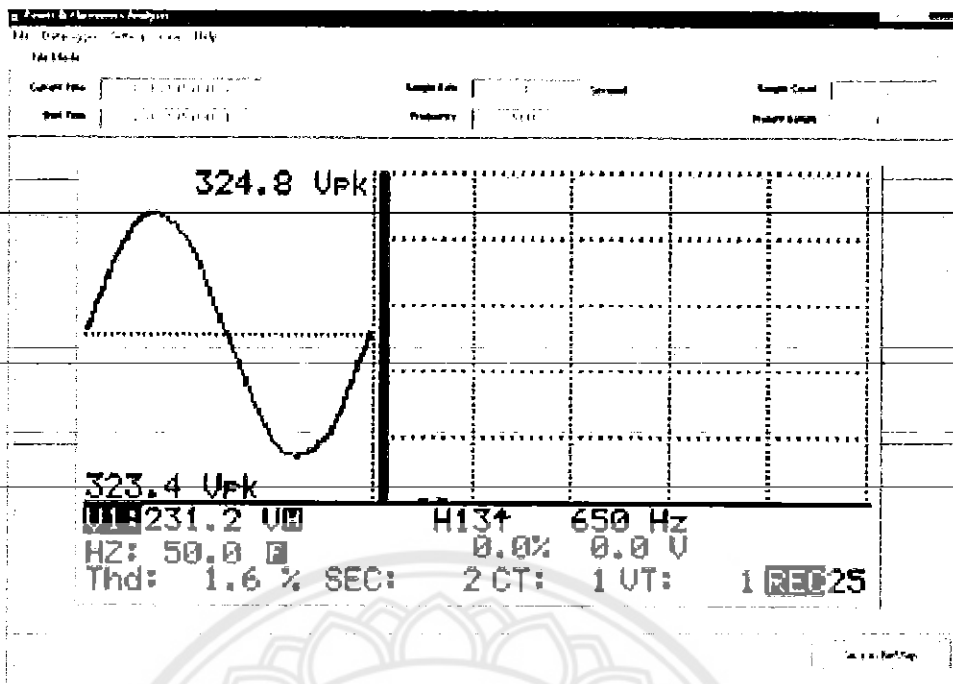
4.3.1.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีวงจรแก้ไขค่าประกอบกำลัง



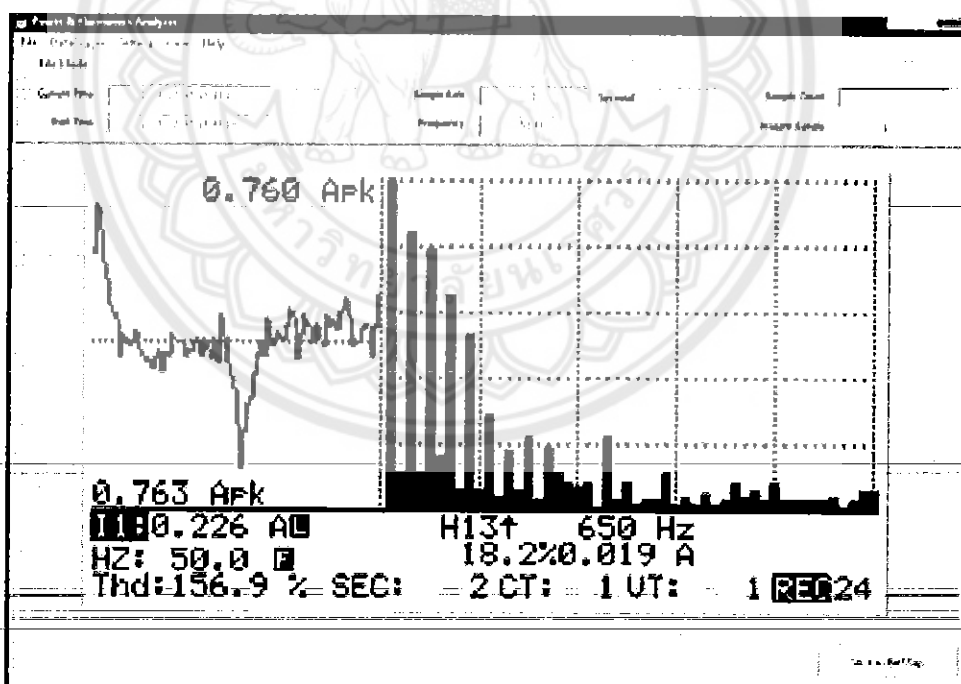
- (ก). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



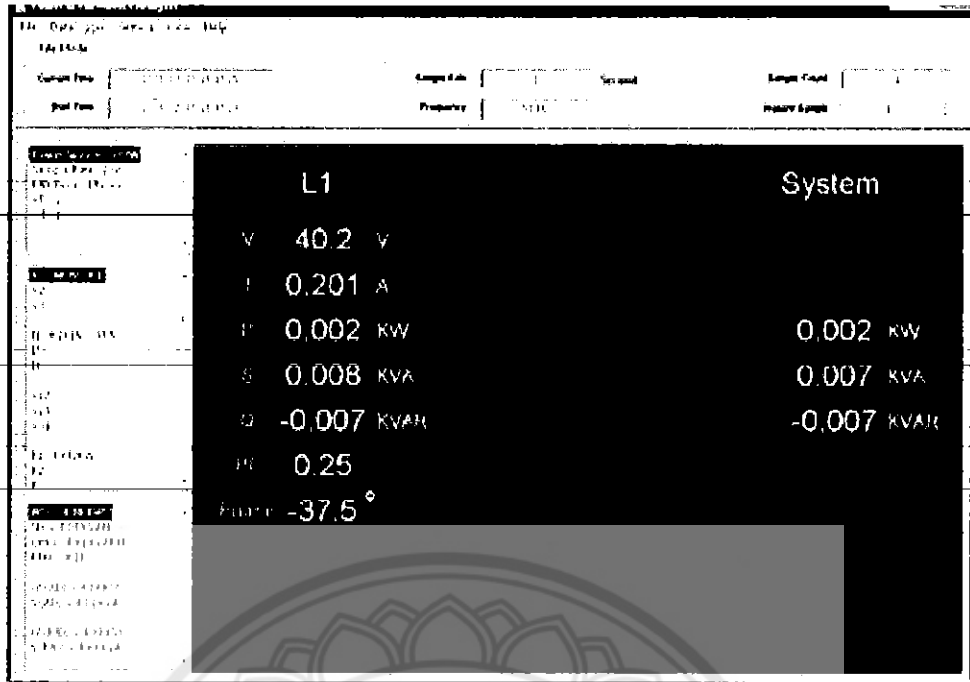
- (ข). รูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



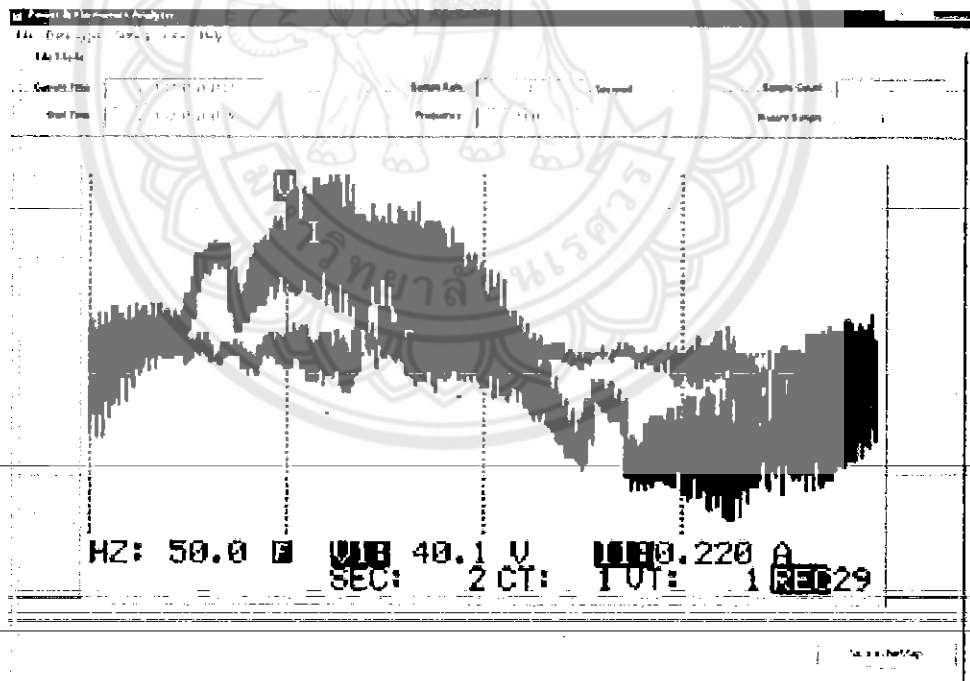
(ค). รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



(ง). รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้า และการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



- (จ). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง



- (ฉ). รูปคลื่นของแรงดันขาออกและกระแสไฟฟ้าขาออกของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง

รูปที่ 4-8 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ได้จำลองขึ้น และไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 4-4 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ
และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

ฮาร์มอนิกส์ ลำดับที่ n	ค่าสูงสุด (แสดงเป็นร้อยละของกระแสหลักมูลของวงจร)
2	17
3	90
5	84
7	72
9	45
$11 \leq n \leq 39$	≤ 19

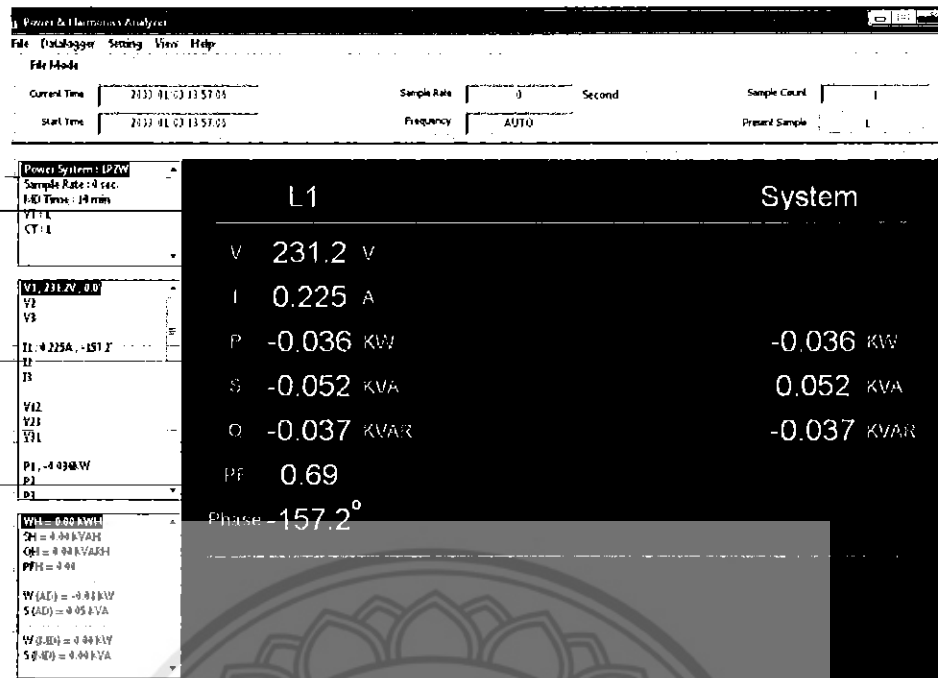
ตารางที่ 4-5 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัดได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้สร้างขึ้น
และมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรทดสอบ	ผลการทดสอบ
แรงดันอินพุตของวงจร V_{rms} (V)	231.3
กระแสอินพุตที่ไหลในวงจร I_{rms} (A)	0.215
กำลังอินพุตของวงจร P_{in} (W)	22
กำลังเอาต์พุตที่โหลด P_{lamp} (W)	20
ค่าประสิทธิภาพของวงจร η (%)	90.91
ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร PF	0.44
ค่า THD ของกระแสอินพุต THD_i (%)	156.9
ค่า THD ของแรงดันอินพุต THD_v (%)	1.6
ค่าตัวประกอบขดคลื่นของกระแสอินพุต CF	3.38
ค่าความส่องสว่าง (lux)	590

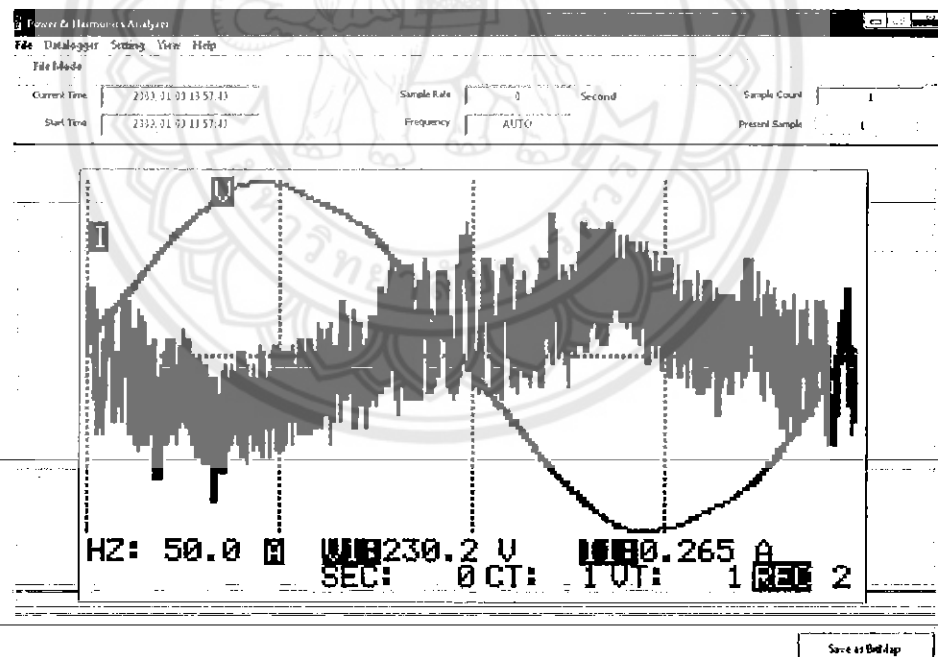
4.3.2 การทดสอบวงจรสำหรับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในห้องตลาด

4.3.2.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์ ก. ใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ 1×36 W

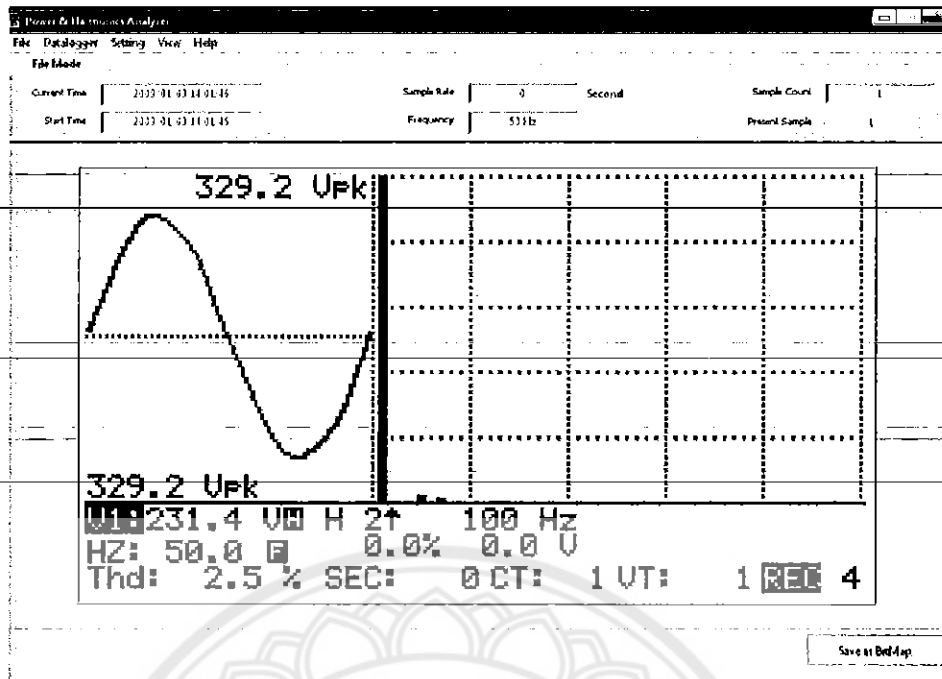
ผลการทดสอบจริงที่ได้จากการสุ่มเลือกบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวางจำหน่ายอยู่แล้วใน
ห้องตลาดผลิตภัณฑ์หนึ่ง การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยการวัดรูปคลื่นทางไฟฟ้าที่สำคัญ
ได้แสดงดังนี้



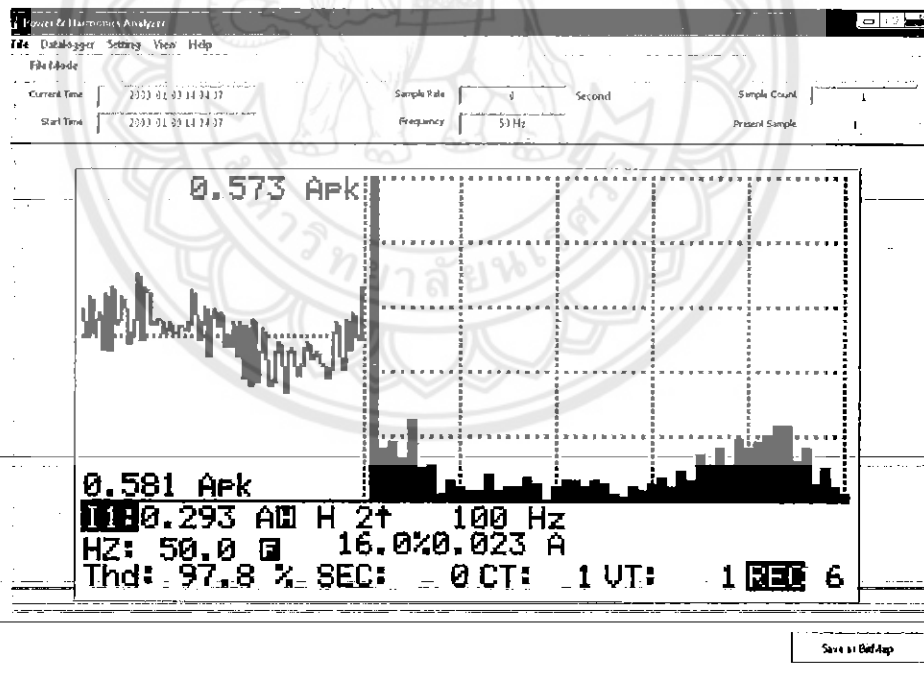
(ก). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาเข้า (input) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ผลิตภัณท์ในท้องตลาดผลิตภัณท์ ก.



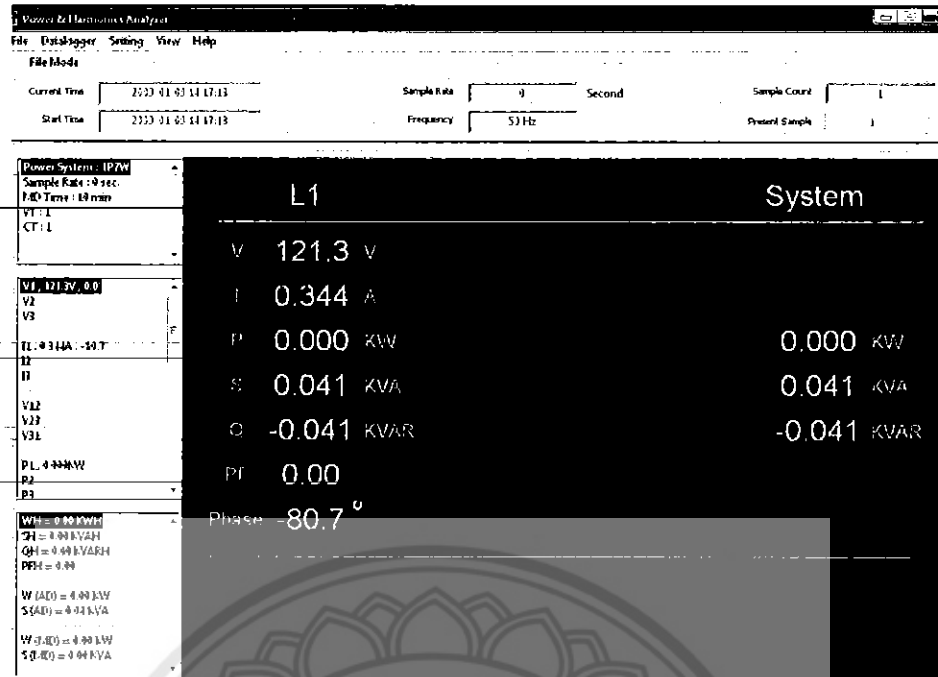
(ข). รูปลักษณ์ของแรงดันขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดผลิตภัณท์ ก.



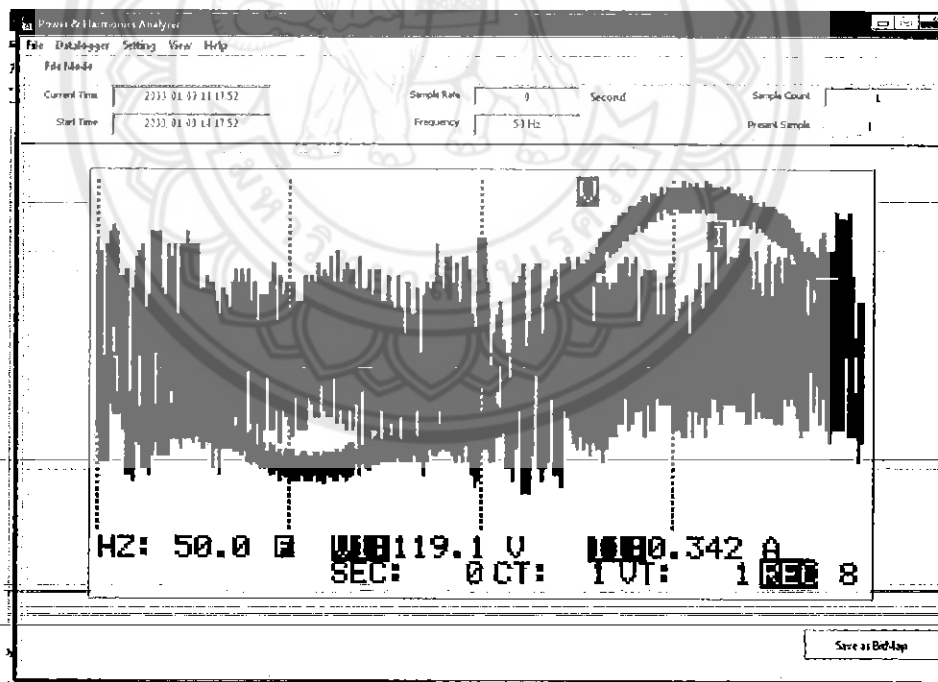
- (ค). รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดผลิตภัณฑ์ ก.



- (ง). รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดผลิตภัณฑ์ ก.



(๓). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์ดัดแปลงอิเล็กทรอนิกส์ ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ก.



(๓). รูปคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดของบัลลาสต์ดัดแปลงอิเล็กทรอนิกส์ ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ก.

รูปที่ 4-9 ผลจากการทดสอบของบัลลาสต์ดัดแปลงอิเล็กทรอนิกส์ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ก.

ตารางที่ 4-6 ค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
ในห้องทดลอง ผลลัพธ์ ก.

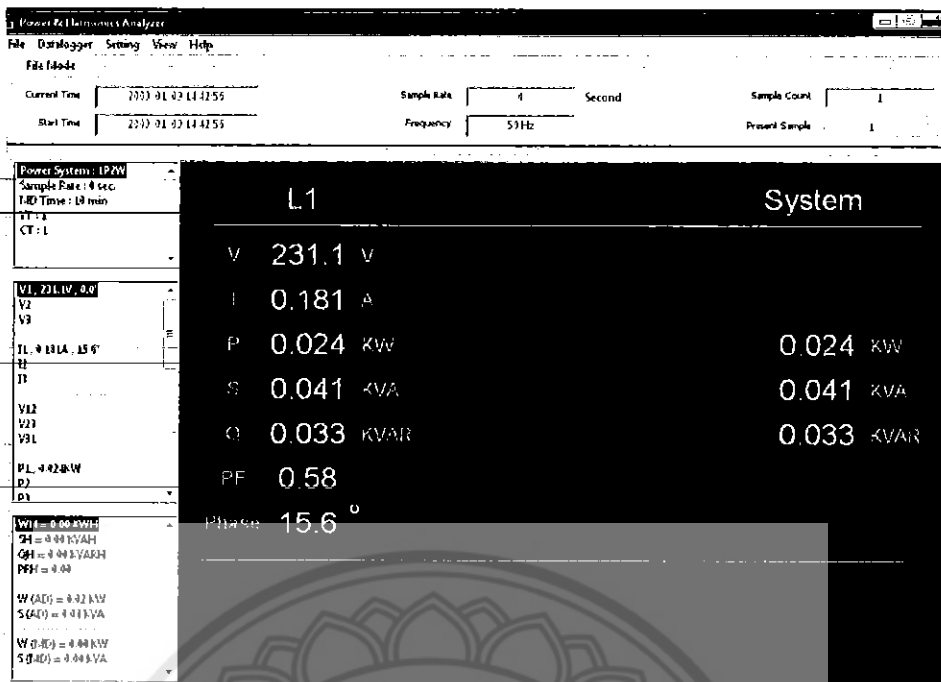
ฮาร์มอนิกส์ ลำดับที่ n	ค่าสูงสุด (แสดงเป็นร้อยละของกระแสหลักมูลของวงจร)
2	8.1
3	72.8
5	44
7	30.5
9	22.4
$11 \leq n \leq 39$	≤ 7.2

ตารางที่ 4-7 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัดได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลลัพธ์ ก.

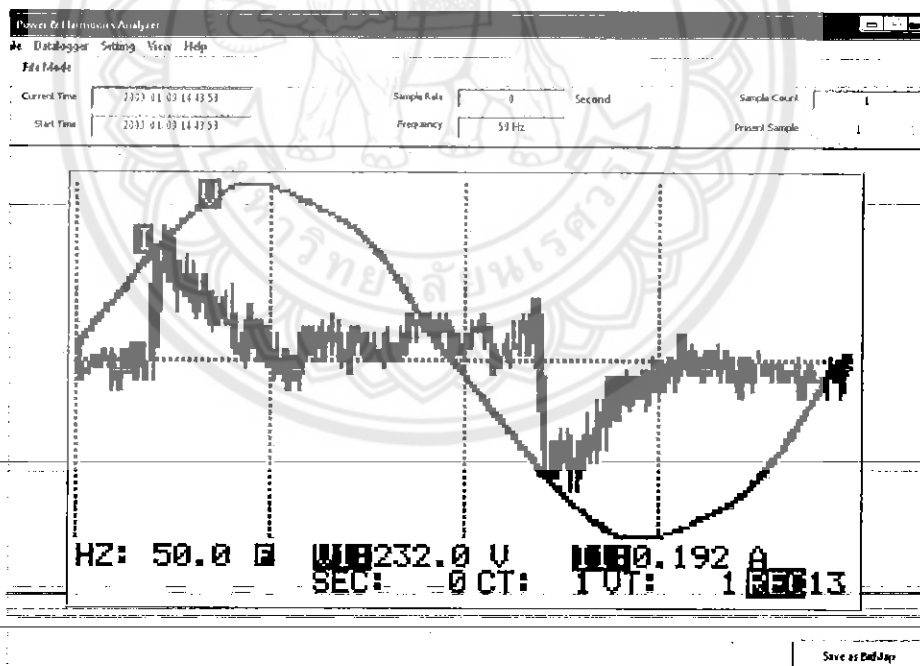
คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรทดสอบ	ผลการทดสอบ
แรงดันอินพุตของวงจร V_{rms} (V)	231.2
กระแสอินพุตที่ไหลในวงจร I_{rms} (A)	0.225
กำลังอินพุตของวงจร P_{in} (W)	36
กำลังเอาต์พุตที่โหลด P_{lamp} (W)	34
ค่าประสิทธิภาพของวงจร η (%)	94.4
ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร PF	0.69
ค่า THD ของกระแสอินพุต THD_i (%)	97.8
ค่า THD ของแรงดันอินพุต THD_v (%)	2.5
ค่าตัวประกอบขดคลื่นของกระแสอินพุต CF	1.98
ค่าความส่องสว่าง (lux)	790

4.3.2.2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลลัพธ์ ข. ใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1×36 W

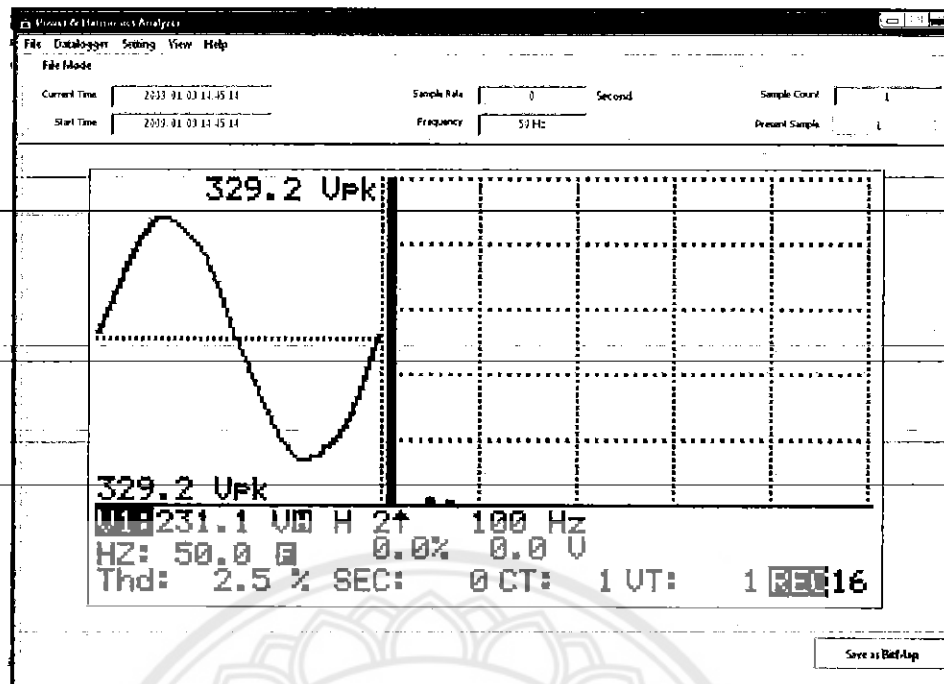
ผลการทดสอบจริงที่ได้จากการสุ่มเลือกบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวางจำหน่ายอยู่แล้วในห้องทดลองผลลัพธ์หนึ่ง การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยการวัดรูปคลื่นทางไฟฟ้าที่สำคัญได้แสดงดังนี้



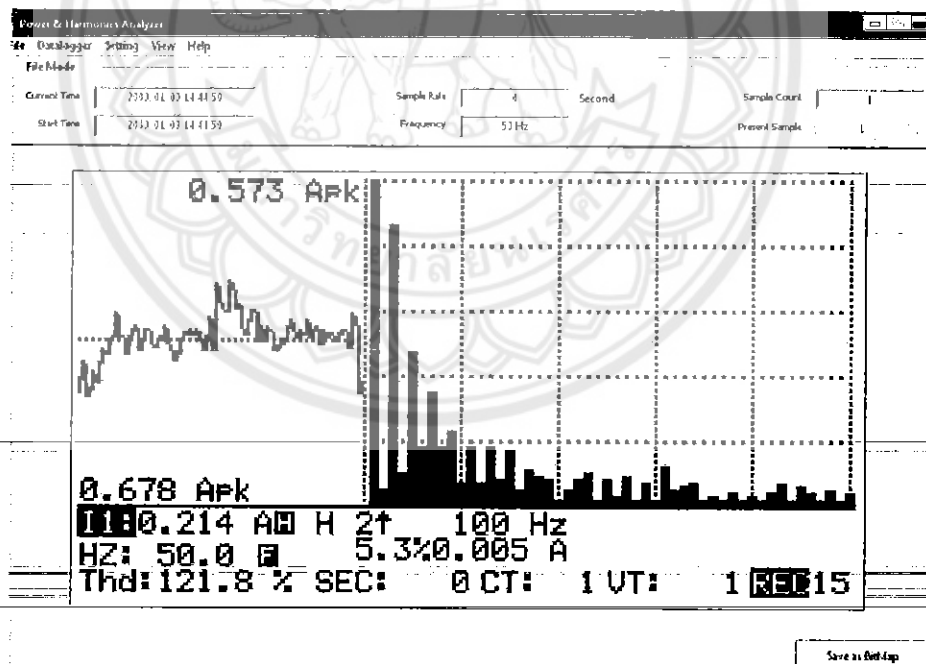
(ก). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาเข้า (input) ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ข.



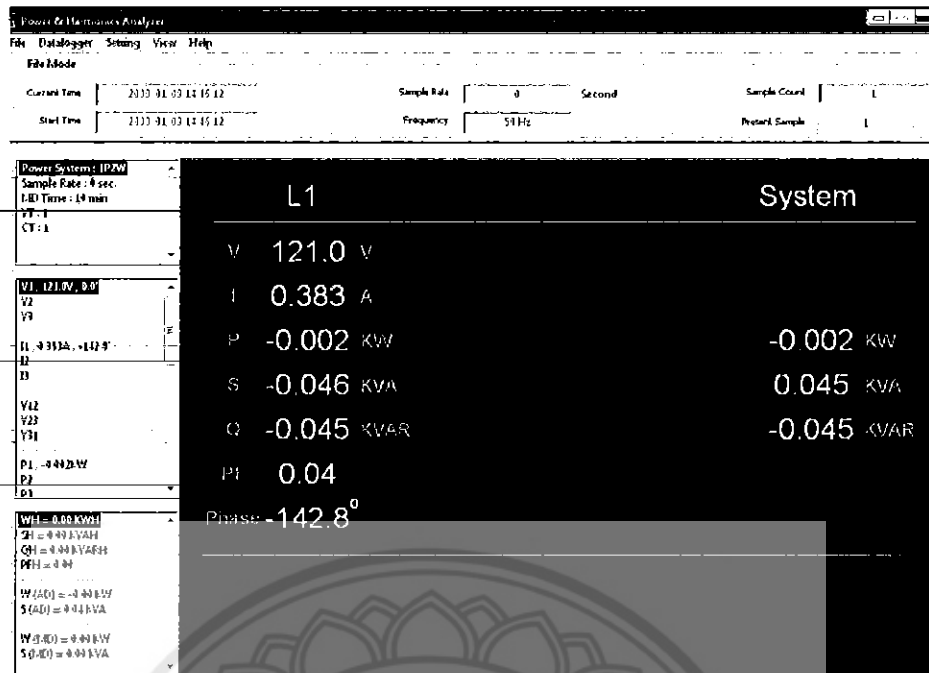
(ข). รูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ข.



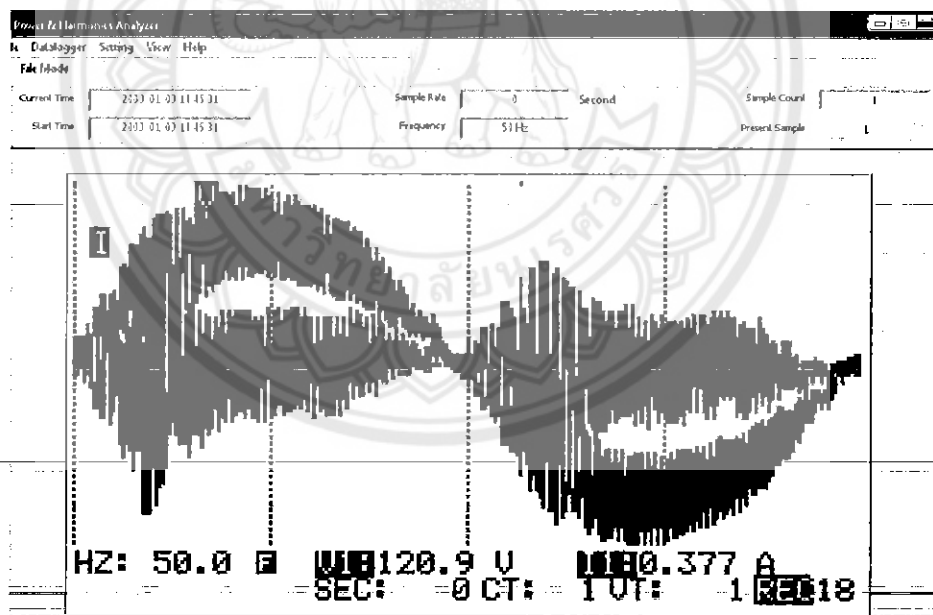
- (ค). รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดผลิตภัณฑ์ ข.



- (ง). รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้า และการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดผลิตภัณฑ์ ข.



(จ). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ข.



(ฉ). รูปคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ข.

รูปที่ 4-10 ผลการทดสอบของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องทดลองผลิตภัณฑ์ ข.

ตารางที่ 4-8 ค่าฮาร์มอนิกซ์ของกระแสไฟฟ้าค่านเข้าวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย
เครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกซ์ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
ในห้องตลาด ผลิตภัณฑ์ ข.

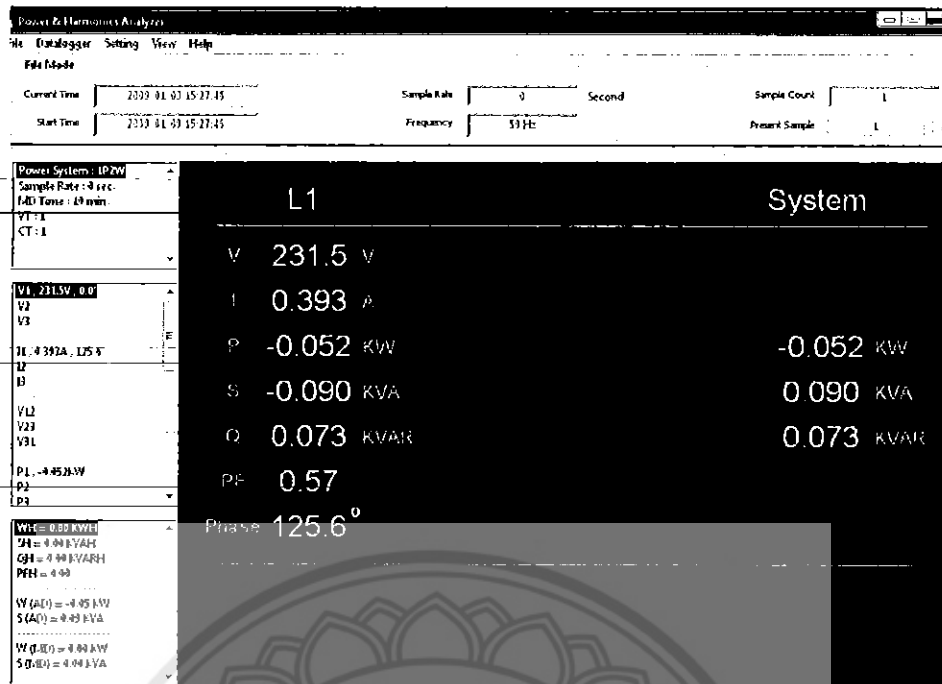
ฮาร์มอนิกซ์ ลำดับที่ n	ค่าสูงสุด (แสดงเป็นร้อยละของกระแสหลักมูลของวงจร)
2	5.3
3	20.8
5	15.4
7	3.4
9	8.8
$11 \leq n \leq 39$	≤ 8.5

ตารางที่ 4-9 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัด ได้จริงจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์ ข.

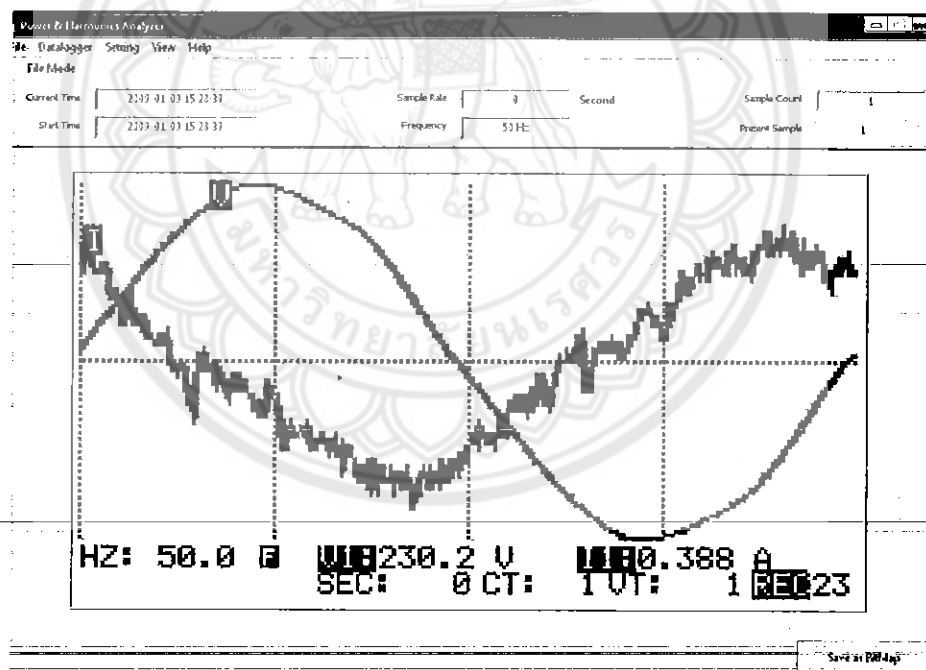
คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรทดสอบ	ผลการทดสอบ
แรงดันอินพุตของวงจร V_{rms} (V)	231.1
กระแสอินพุตที่ไหลในวงจร I_{rms} (A)	0.181
กำลังอินพุตของวงจร P_{in} (W)	24
กำลังเอาต์พุตที่โหลด P_{lamp} (W)	22
ค่าประสิทธิภาพของวงจร η (%)	91.67
ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร PF	0.58
ค่า THD ของกระแสอินพุต THD_i (%)	121.8
ค่า THD ของแรงดันอินพุต THD_v (%)	2.5
ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสอินพุต CF	3.17
ค่าความส่องสว่าง (lux)	620

4.3.3 การทดสอบการทดสอบวงจรสำหรับบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีในห้องตลาด

ผลการทดสอบจริงที่ได้จากการสุ่มเลือกบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีวางจำหน่ายอยู่แล้วใน
ห้องตลาดผลิตภัณฑ์หนึ่ง การตรวจสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยการวัดรูปคลื่นทางไฟฟ้าที่สำคัญ
ได้แสดงดังนี้



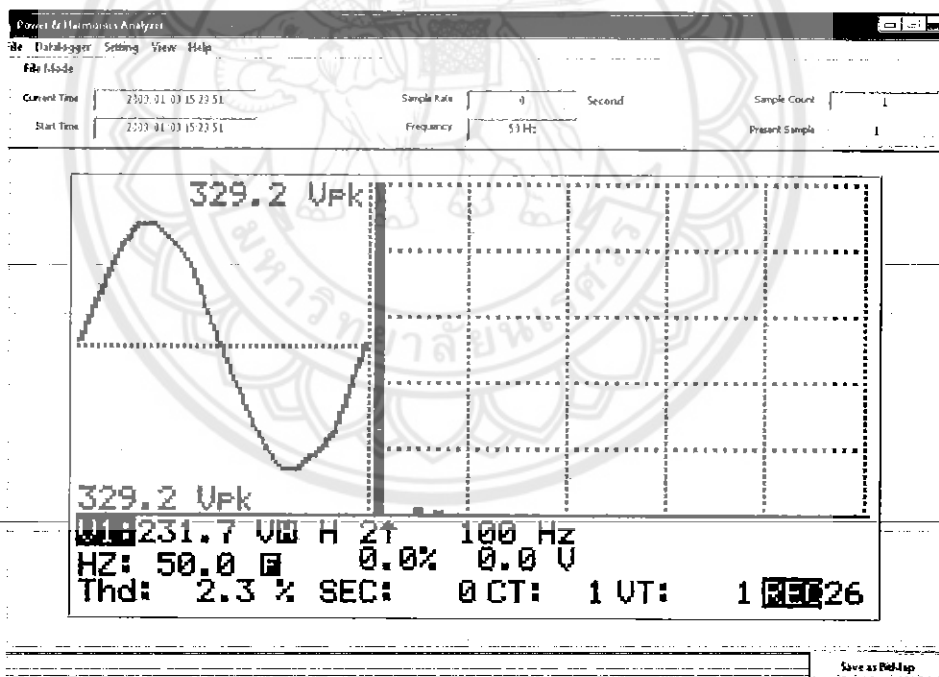
(ก). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าขาเข้า (input) ของบัลลาสต์แกนเหล็ก



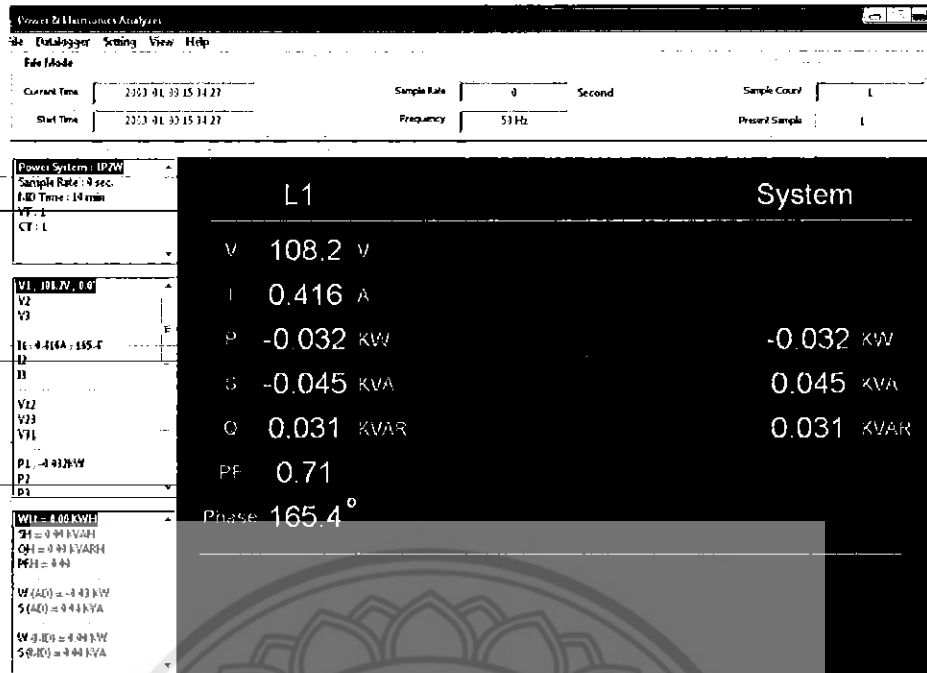
(ข). รูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาเข้าของบัลลาสต์แกนเหล็ก



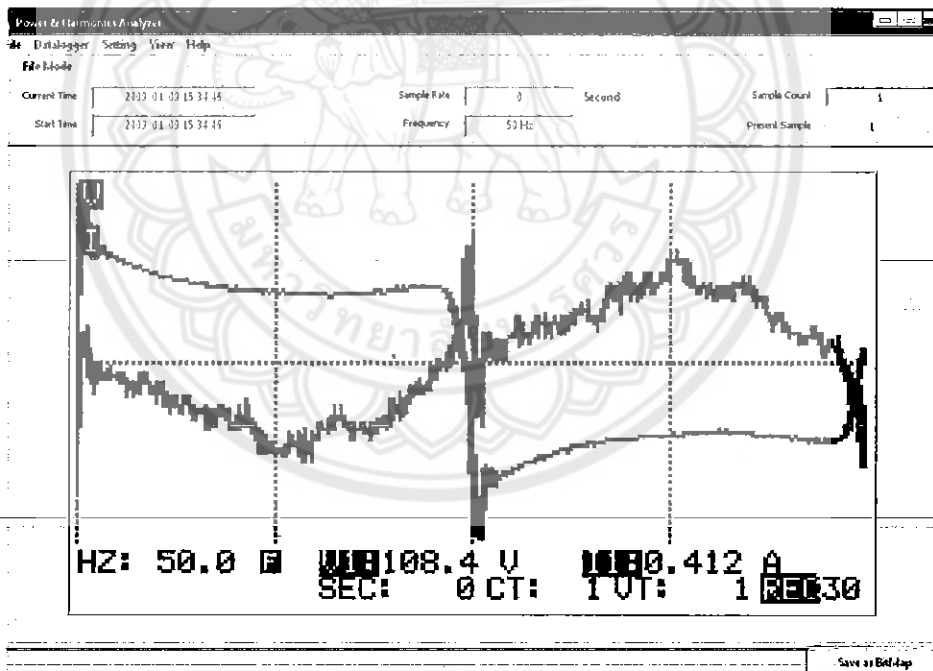
(ค). รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์แกนเหล็ก



(ง). รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ของบัลลาสต์แกนเหล็ก



(จ). ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดของบัลลาสต์แกนเหล็ก



(ฉ). รูปคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดของบัลลาสต์แกนเหล็ก

รูปที่ 4-11 ผลการทดสอบของบัลลาสต์แกนเหล็ก

ตารางที่ 4-10 คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัดได้จริงจากบัลลาสต์แกนเหล็ก

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรทดสอบ	ผลการทดสอบ
แรงดันอินพุตของวงจร V_{rms} (V)	231.5
กระแสอินพุตที่ไหลในวงจร I_{rms} (A)	0.393
กำลังอินพุตของวงจร P_{in} (W)	52
กำลังเอาต์พุตที่โหลด P_{lamp} (W)	32
ค่าประสิทธิภาพของวงจร η (%)	61.54
ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร PF	0.57
ค่า THD ของกระแสอินพุต THD_i (%)	22.8
ค่า THD ของแรงดันอินพุต THD_v (%)	2.3
ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสอินพุต CF	1.62
ค่าความส่องสว่าง (lux)	845

4.3.4 สรุป

จากการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง ตามรูปที่ 4-7 และแบบที่ไม่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง ตามรูปที่ 4-8 อีกทั้งยังสุ่มเลือกบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขายตามท้องตลาดมา 2 ผลิตภัณฑ์เพื่อมาทดสอบ ตามรูปที่ 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ รวมทั้งทดสอบบัลลาสต์แกนเหล็กด้วย ตามรูปที่ 4-11 พบว่าผลการบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานยอมรับได้ ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ตามท้องตลาดทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์แล้ว พบว่าทั้งสองผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 1506-2541

4.4 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4-11 และ 4-12 อีกทั้งยังนำผลที่ได้จากตารางที่ 4-11 มาเขียนอยู่ในรูปกราฟแท่งเพื่อทำการเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 4-12 ซึ่งสามารถสรุปได้ตามนี้

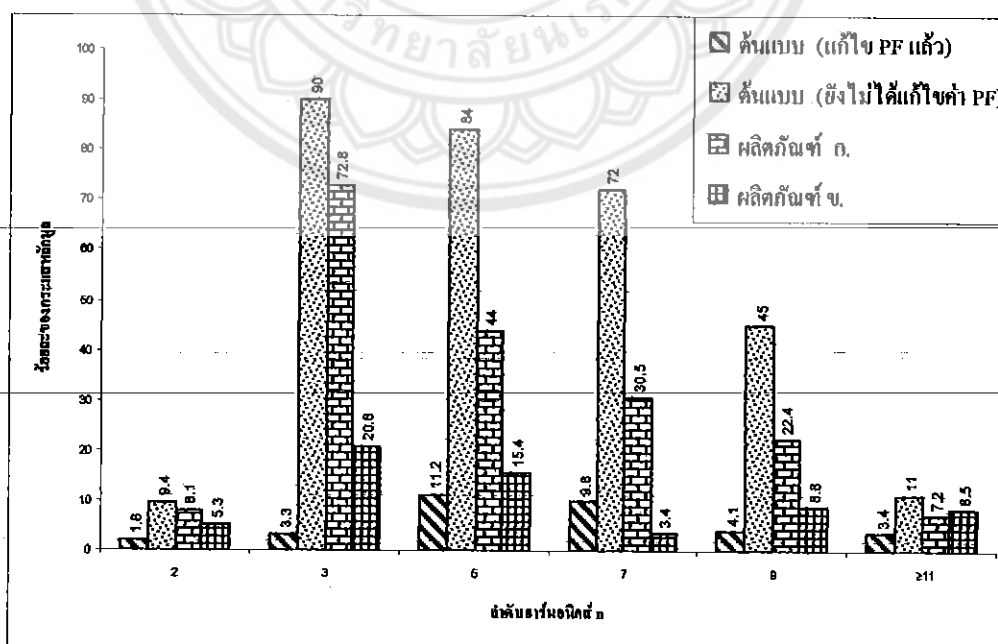
- ตารางที่ 4-11 แสดงค่าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว
- รูปที่ 4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

- ตารางที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัดได้จริงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว

ตารางที่ 4-11 ค่าฮาร์มอนิกซ์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิกซ์ของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว

ฮาร์มอนิกซ์ลำดับที่ n	ค่าสูงสุด			
	(แสดงเป็นร้อยละของกระแสหลักมูลของวงจร)			
	ต้นแบบ (แก้ไข PF แล้ว)	ต้นแบบ (ยังไม่ได้แก้ไขค่า PF)	ผลิตภัณฑ์ ก.	ผลิตภัณฑ์ ข.
2	1.8	9.4	8.1	5.3
3	3.3	90	72.8	20.8
5	11.2	84	44	15.4
7	9.8	72	30.5	3.4
9	4.1	45	22.4	8.8
$11 \leq n \leq 39$	≤ 3.4	≤ 11	≤ 7.2	≤ 8.5

กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกซ์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกซ์ของกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 4-12 เปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สำคัญที่วัดได้จริงของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของ วงจรทดสอบ	ผลการทดสอบ				
	ต้นแบบ (แก้ไข PF แล้ว)	ต้นแบบ (ยังไม่ ได้แก้ไขค่า PF)	ผลิตภัณฑ์ ก.	ผลิตภัณฑ์ ข.	แกน เหล็ก
แรงดันอินพุตของวงจร V_{rms} (V)	227.9	231.3	231.2	231.1	231.5
กระแสอินพุตที่โหลดในวงจร I_{rms} (A)	0.178	0.215	0.225	0.181	0.393
กำลังอินพุตของวงจร P_{in} (W)	38	22	36	24	52
กำลังเอาต์พุตที่โหลด P_{lamp} (W)	36	20	34	22	32
ค่าประสิทธิภาพของวงจร η (%)	94.74	90.91	94.4	91.67	61.54
ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร PF	0.97±5%	0.44	0.69	0.58	0.57
ค่า THD ของกระแสอินพุต THD_i (%)	29.7	156.9	97.8	121.8	22.8
ค่า THD ของแรงดันอินพุต THD_v (%)	1.6	1.6	2.5	2.5	2.3
ค่าตัวประกอบยอดคลื่นของ กระแสอินพุต CF	1.74	3.38	1.98	1.98	1.62
ค่าความส่องสว่าง (lux)	650	590	790	620	845

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าอินพุทที่ 220 V ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามานี้จะผ่านวงจรกรอง EMI เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้วงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เครื่อง เมื่อใช้วงจรกรองแล้วก็จะช่วยลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ ในส่วนของ การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังค่านอินพุทให้ใกล้เคียง 1 ในปริยายานิพนธ์นี้ใช้ไอซีเบอร์ L6561 มาเป็นตัวป้องกันสัญญาณสวิตช์ให้กับมอเตอร์ และยังสามารทำให้ค่า Power Factor มีค่าไม่ต่ำกว่า $0.95 \pm 5\%$ อีกทั้งยังรักษาระดับแรงดันเอาต์พุทให้มีค่าอยู่ที่ 400 V เพื่อจ่ายให้กับวงจรฮาล์ฟบริค อินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟตรง 400 V ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าสลับความถี่สูง และใช้หม้อแปลงอิมิตัวมาใช้แปลงกระแสที่ใช้สร้างแรงดันที่จ่ายให้ขาเกิดของมอเตอร์ให้มีความถี่เพิ่มขึ้น

ในปริยายานิพนธ์นี้ได้ออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ วงจรส่วนหน้าวงจรส่วนหน้า และวงจรส่วนหลัง ทำให้วงจรที่ได้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีกว่าบัลลาสต์แบบใช้วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier) ที่มีตัวเก็บประจุต่อท้าย ซึ่งจะพบว่าวงจรที่มีการแก้ไขค่าประกอบกำลังนั้นจะมีค่า Power Factor ที่ใกล้เคียง 1 และค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสขาเข้า (%THD) มีค่าลดลงจากเดิม นั่นคือได้ค่า $\%THD_i = 29.7$ รวมทั้งทำให้กระแสที่ไหลผ่านหลอดมีค่าตัวประกอบขดคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านหลอดมีค่าใกล้เคียง 1.732

การทดสอบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตามที่องค์การซึ่งได้ทำการสุ่มมา 2 ผลิตรัทพ์ พบว่า ทั้งสองผลิตรัทพ์ไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 1506-2541 และค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสขาเข้า (%THD) สูงมาก อีกทั้งค่า Power Factor ที่ได้ก็ค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรลดลง และอายุการใช้งานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ก็จะสั้นลงด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

1. ในการวิเคราะห์วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เราสามารถให้วงจรที่ด้านเข้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรมีค่าต่ำหรือสูงกว่าในโครงการนี้ได้อีก ถ้าให้วงจรสามารถรับแรงดันได้ต่ำ ก็จะสามารถใช้งานในที่ๆมีแรงดันไฟฟ้าตกเป็นประจำได้ หรือถ้าวงจรรับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่านี้ได้ ก็จะสามารถทนต่อแรงดันกระชากได้เช่นกัน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ยาวนานมากขึ้น

2. ในการคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้องอาศัยการคำนวณที่แม่นยำ และค่าของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านั้นต้องมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อย ค่าที่ออกมาจึงจะใกล้เคียงกับทฤษฎี

5.3 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไข

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างหายาก จึงใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ และนำมาลอง Simulation โดยโปรแกรม PSIM เพื่อให้เกิดความมั่นใจในวงจรที่ออกแบบ

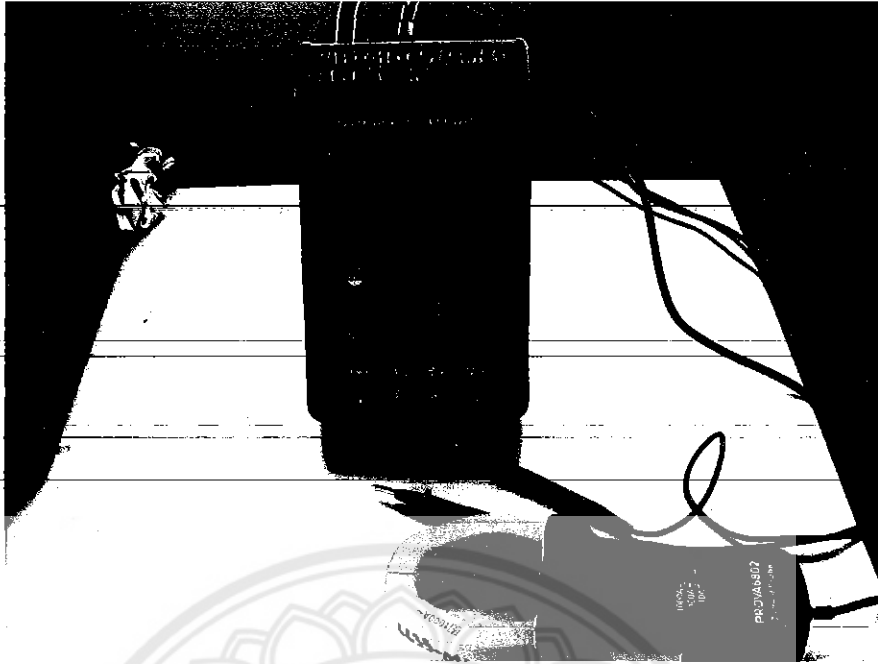
2. การพันขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อนที่จะพันต้องมีการคำนวณซึ่งเกิดความผิดพลาดในการคำนวณค่อนข้างบ่อย ทำให้วงจรเสียหายบ่อยครั้ง ดังนั้นการพันแต่ละครั้งต้องคำนวณให้แม่นยำ และต้องสังเกตการพันจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตัวอื่น



เอกสารอ้างอิง

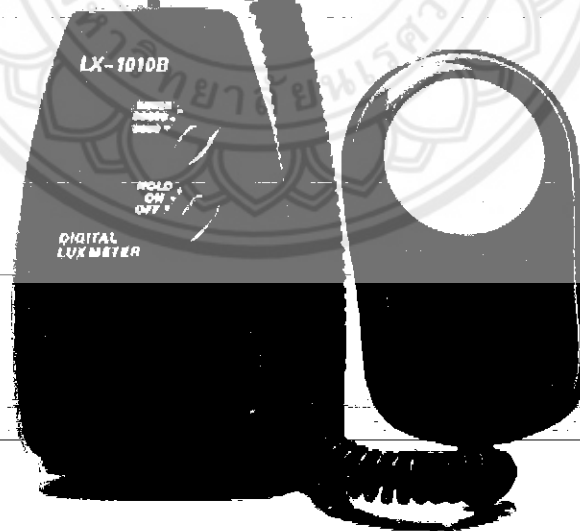
- [1] ครูสุภารัตน์ ณ์ธุ์มีบุญ. (3 สิงหาคม พ.ศ. 2547). เครื่องใช้ไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2551.
จาก <http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/bangkok/>
- [2] E. Gluskin. "Discussion of the Voltage/Current Characteristic of a Fluorescent Lamp." Proc. Inst. Electr. Eng. 136 (1989) : 229-232.
- [3] E. E. Hammer and T.K. McGowan. "Characteristics of Various F40 Fluorescent Systems at 60 Hz and High Frequency." IEEE Trans. Industry Applications, (1985) : 11-16.
- [4] E. E. Hammer. "High Frequency Characteristic of Fluorescent Lamps up to 500 kHz." J. Illuminating Engineering Soc. (1987) : 52-61.
- [5] E. Dang and S. Cuk. "Negative Incremental Impedance and Stability of Fluorescent Lamps." Conference Record of IEEE-APEC, (1997) : 1050-1056.
- [6] M. C. Cosby and R. M. Nelms. "A Resonant Inverter for Electronic Ballast Applications." IEEE Trans. Industrial Electronics. 41 (Aug. 1994) : 418-425.
- [7] D. Tadesse, F. P. Dawson, and S. B. Dewan. "A Comparison of Power Circuit Topologies and Control Techniques for High Frequency Ballast." Conference Record of IEEEIAS, (1993) : 2341-2347.
- [8] ณรงค์ฤทธิ์ ผกาแก้ว, การออกแบบและวิเคราะห์บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W 2 หลอด ที่สามารถหรี่แสงได้โดยใช้การอสซิลเลตด้วยตัวเองวิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, 2549
- [9] มอก.1506-2541. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ประกาศใช้ในประเทศไทย. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541.68
- [10] W. Alling. "Important Design Parameters for Solid-state Ballast." IEEE Trans. Industry Applications. 25 (1989) : 203-207.
- [11] ศักดิ์ชัย นรสิงห์. ฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า. ศูนย์แสดงสินค้าและเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม. สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2551
จาก http://www.9engineer.com/ee_main/Article/Harmonic.htm
- [12] Motorola Analog IC Dvice Data. MC3426-33262-Technical Data Book. Motorola Inc., 1993



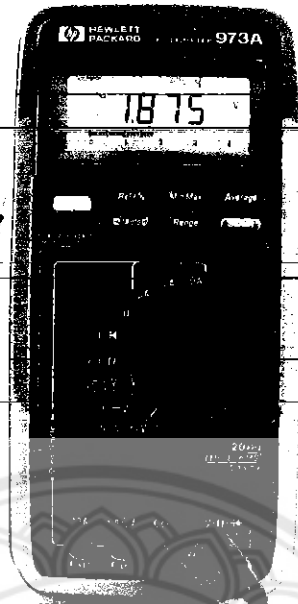


รูปที่ 1 เครื่อง Power and Harmonics Analyzer

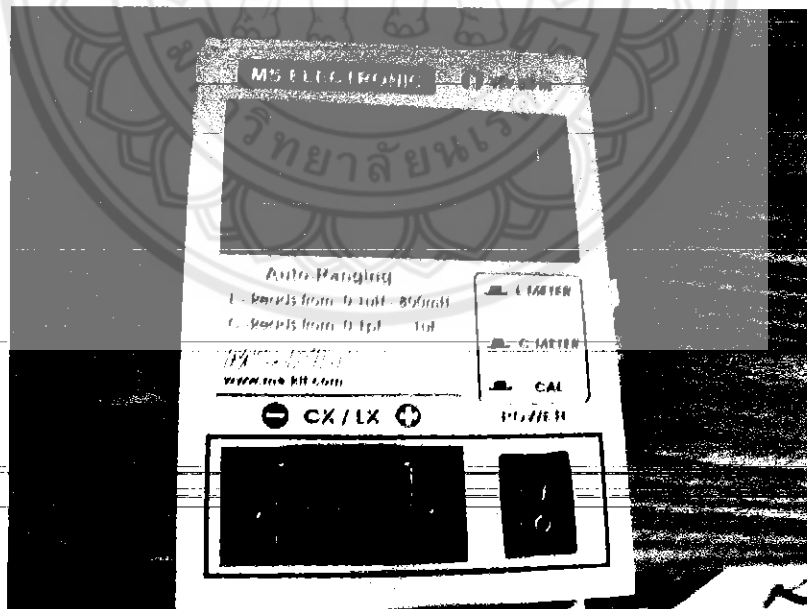
LX1010B



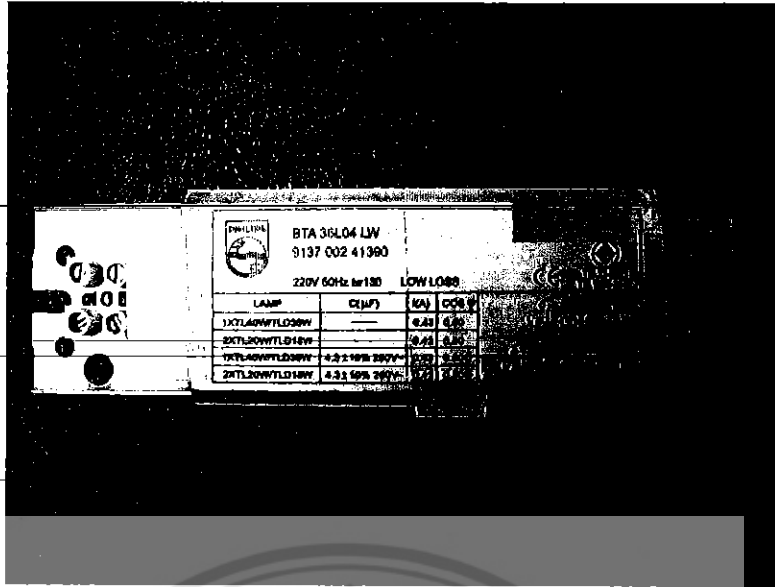
รูปที่ 2 เครื่องวัดแสง(Lux meter)



รูปที่ 3 มัลติมิเตอร์



รูปที่ 4 เครื่องวัดค่าความเหนียว



รูปที่ 5 บัลลาสต์แกนเหล็ก



รูปที่ 6 บัลลาสต์ห้องตลาด ก.



รูปที่ 7 บัลลัสต์ห้องตลาด ข.

รูปที่ 8 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์



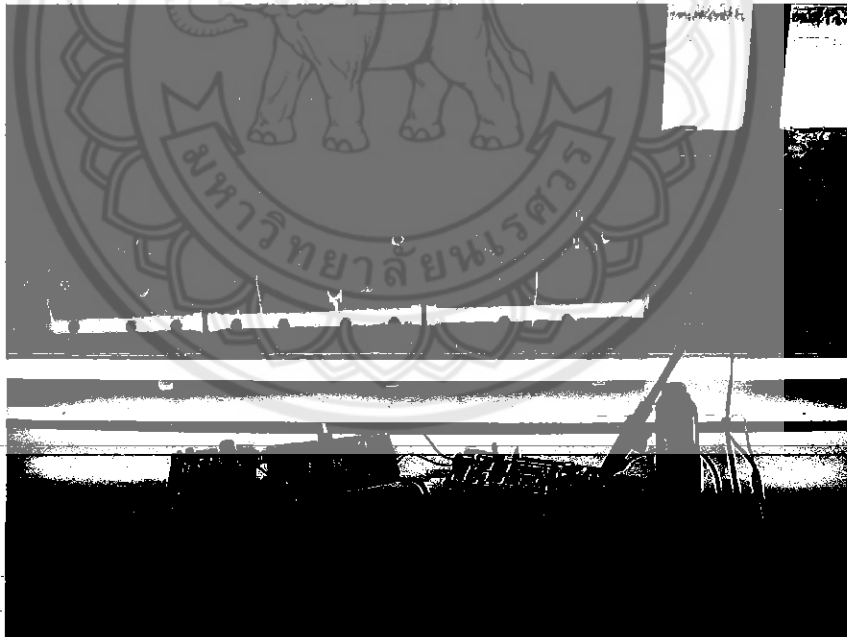
รูปที่ 9 สตาร์ทเตอร์ใช้ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็ก







(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) และ (ข) แสดงการวัดค่าต่างๆ ของบัลลาสต์ต้นแบบ



รูปที่ 2 แสดงการวัดค่าต่างๆ ของวัสดุที่ทดลอง







รูปที่ 1 แสดงวงจรบัลลาสต์คั่นแบบในส่วนEMI and Rectifier



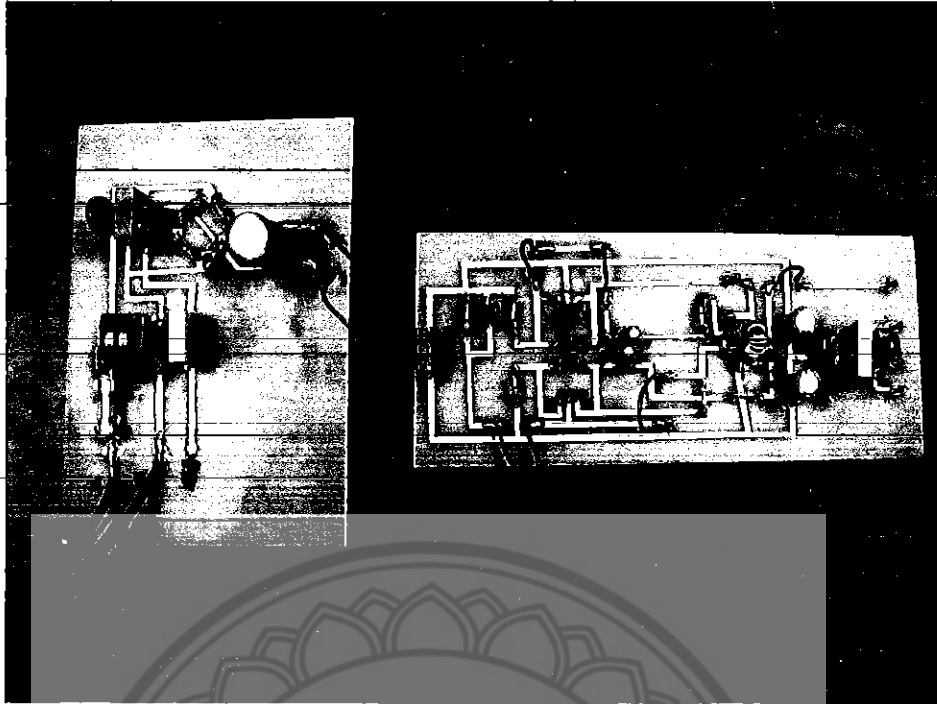
รูปที่ 2 แสดงวงจรบัลลาสต์คั่นแบบในส่วน Active Power Factor



รูปที่ 3 แสดงวงจรบัลลาสต์ต้นแบบในส่วน Half – Bridge Inverter



รูปที่ 4 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



รูปที่ 5 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบที่ไม่มีวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นางสาวพรพรรณ อักษราม
วัน/เดือน/ปีเกิด 17 กรกฎาคม 2529
ภูมิลำเนา 108/29 หมู่ 4 ตำบลเขาบางแgerak
อำเภอหนองฉาง จังหวัดอุทัยธานี

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองฉางวิทยา จังหวัดอุทัยธานี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก

E-mail : pan_engineer@hotmail.com



ชื่อ นางสาวเดือนแรม แผงเกี่ยว
วัน/เดือน/ปีเกิด 26 พฤษภาคม 2529
ภูมิลำเนา 74/1 หมู่ 6 ตำบลหนองอ้อ
อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย 64130

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเมืองเสด็จ จังหวัดสุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก

E-mail : Ultraman_not@hotmail.com