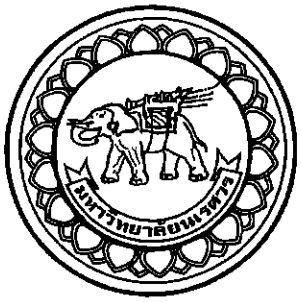


เครื่องปรับค่าตัวประกอบกำลังขนาดเล็ก
เพื่อประยุกต์ใช้กับที่อยู่อาศัยขนาดครัวเรือน

AUTOMATIC POWER FACTOR ADJUSTER FOR HOUSE WHOLE USE

นายศุภกร ตันสุภาวุฒิ รหัส 49361140

นายอนุชัย จันทร์วงค์ รหัส 49364363

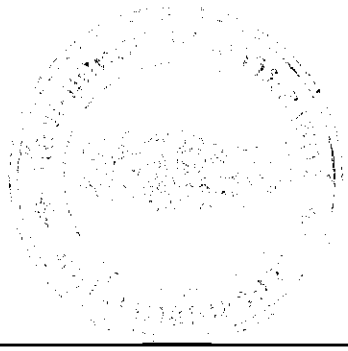
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 19 ม.ค. 2555
เลขทะเบียน 1576777
เลขเรียกหนังสือ ว.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ศ675 ก
2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	เครื่องปรับค่าตัวประกอบกำลังขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้กับที่อยู่อาศัยขนาดครัวเรือน		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายศุภกร	ตันสุภาวุฒิ	รหัส 49361140
	นายอนุชัย	จันทร์วงค์	รหัส 49364363
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.อัครพันธ์	วงศ์กังแห	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2552		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ
(ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	เครื่องปรับค่าตัวประกอบกำลังขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้กับที่อยู่อาศัยขนาดครัวเรือน		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายศุภกร	ตันสุภาวุฒิ	รหัส 49361140
	นายอนุชัย	จันทร์วงค์	รหัส 49364363
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.อัครพันธ์	วงศ์คังแห	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2552		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องปรับค่าตัวประกอบกำลังขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆภายในบ้าน โดยใช้วิธีการต่อขนานตัวเก็บประจุขนาดที่เหมาะสมเข้าไปชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟภายในระบบไฟฟ้า จึงทำให้สามารถเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าภายในบ้านให้สูงขึ้นและช่วยลดกระแสที่ไหลผ่านโหลดได้

เครื่องปรับค่าตัวประกอบกำลังขนาดเล็กนี้ สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้หลายชนิด เช่น พัดลม โทรทัศน์ ตู้เย็น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น จากผลการทดลองพบว่าสามารถปรับค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าดังกล่าวให้มีค่าสูงขึ้นได้

ดังนั้น อุปกรณ์นี้จึงเหมาะกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นเพื่อช่วยลดกระแส ลดกำลังสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งจ่าย จึงส่งผลดีต่อระบบไฟฟ้าภายในบ้าน

Project title	Automatic Power Factor Adjuster for House Whole Use
Name	Mr. Suphakon Tansuphawut ID. 49361140
	Mr. Anuchai Chunwong ID. 49364363
Project advisor	Dr. Akaraphunt Vongkunghae
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2009

Abstract

This project is to study and design an automatic power factor adjuster (APFA) applying to electrical appliances. Connecting the proper capacitors to improve overall power factor is done and controlled by a programmed microcontroller with a crossing zero detection circuit. The APFA is experimentally applied to the electrical appliances of a household such as electrical fan, television, refrigerator, fluorescent and etc… The empirical results show that the APFA is able to adjust the power factor as it's programmed. The APFA can be changed by software programming for applying to the other houses.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะไม่มีทางสำเร็จไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักของโครงงานนี้และอาจารย์อีกสองท่าน คือ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง และดร. มุฑิตา สงฆ์จันทร์ ที่ได้สละเวลารับเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์และให้คำชี้แนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปรับปรุงโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำชี้แนะ จนทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนในการให้ข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบรูณ์ คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายศุภกร ตันสุภาวุฒิ

นายอนุชัย จันทร์วงค์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน 2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 งบประมาณที่ใช้ 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ส่วนประกอบหลักของการจ่ายกำลังไฟฟ้า 3
2.1.1 กำลังไฟฟ้าจริง 3
2.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ 3
2.2 ตัวประกอบกำลัง 4
2.2.1 ตัวประกอบกำลังแบ่งตามองค์ประกอบทางไฟฟ้าได้ดังนี้ 4
2.2.1.1 ตัวประกอบกำลังชนิดยูนิตี้ 4
2.2.1.2 ตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลัง 4
2.2.1.3 ตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้า 5

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.2 ผลเสียที่เกิดจากตัวประกอบกำลังต่ำ 5

2.2.3 การปรับตัวประกอบกำลังของระบบ 6

2.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 7

2.2.4.1 ตัวเก็บประจุ 7

2.2.4.2 ซิงโครนัสมอเตอร์ 8

2.3 การคำนวณหาขนาด Capacitors เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง 9

2.4 ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ 10

2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุควบคู่กับโหลด 10

2.4.2 การติดตั้งตัวเก็บประจุที่กลุ่มของโหลดเป็นกลุ่มๆ 11

2.4.3 การติดตั้งตัวเก็บประจุที่ศูนย์กลางโหลดด้านแรงต่ำ 11

2.4.4 ติดตั้งตัวเก็บประจุทางด้านแรงสูง 12

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 13

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎี วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้งาน 13

3.2 เขียนแผนภาพการทำงานของวงจรโดยรวม 14

3.3 ออกแบบวงจรตรวจสอบ Zero Crossing 14

3.4 ออกแบบโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง 20

3.5 ทดสอบโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง 21

3.6 คำนวณค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS 22

3.7 การทำงานของบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS 28

3.8 การต่ออุปกรณ์เพื่อใช้งาน 29

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 30

4.1 การทดสอบอุปกรณ์ปรับค่าตัวประกอบกำลัง 30

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงงาน....38

5.1 สรุปผลการทดลอง....38

5.2 ปัญหาและอุปสรรค....38

5.3 ข้อเสนอแนะ....39

เอกสารอ้างอิง....40

ภาคผนวก....41

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....51

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน 2
2.1 ตารางเปรียบเทียบพลังงานสูญเสียกับค่าตัวประกอบกำลัง 6
3.1 ผลการทำงานของโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง 21
3.2 ค่าโดยประมาณของตัวประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง 22
3.3 ลำดับการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS 28
4.1 ผลการทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้า 36
4.2 กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง 37

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ....3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า....4
2.3 แสดงรูปสามเหลี่ยมกำลังที่มีตัวประกอบกำลัง 2 ค่า....5
2.4 แสดงการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบ....6
2.5 แสดงการต่อกลุ่มตัวเก็บประจุเข้าสู่ระบบ....8
2.6 การคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง....9
2.7 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุควบคู่กับโหลดที่ตำแหน่งต่างๆ....10
2.8 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุที่กลุ่มของโหลด....11
2.9 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ศูนย์กลางโหลดด้านแรงต่ำ....12
2.10 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุทางด้านแรงสูง....12
3.1 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง....14
3.2 แผนผังวงจรตรวจสอบ Zero Crossing....16
3.3 วงจรตรวจสอบ Zero Crossing....17
3.4 แสดงสัญญาณ Signal_1 เทียบกับสัญญาณแรงดัน....17
3.5 แสดงสัญญาณ Signal_2 เทียบกับสัญญาณกระแส....18
3.6 แสดงการเทียบสัญญาณ Signal_1 และ Signal_2 กรณีโหลดรีซีสทีฟ (Resistive load)....18
3.7 แสดงการเทียบสัญญาณ Signal_1 และ Signal_2 กรณีโหลดอินดักทีฟ (Inductive load)....19
3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time Count และ Power Factor....19
3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง....20
3.10 การต่อตัวเก็บประจุเข้ากับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS....28
3.11 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อใช้งาน....29
4.1 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็น....30
4.2 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็นและหลอดฟลูออเรสเซนต์....31
4.3 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของพัดลม หลอดฟลูออเรสเซนต์และตู้เย็น....33
4.4 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของพัดลม หลอดฟลูออเรสเซนต์....34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากสภาวะโลกร้อนและปัญหาเศรษฐกิจในปัจจุบัน ทำให้เกิดกระแสการประหยัดพลังงาน จึงเป็นเหตุผลให้เกิดการศึกษาวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถใช้ไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียทางไฟฟ้า จึงสามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นลงได้

ปัญหาค่าตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้ามีความรุนแรงมากขึ้นเนื่องจากมีการใช้งานอุปกรณ์แหล่งจ่ายแบบอิเล็กทรอนิกส์จำพวกสวิตซ์อย่างแพร่หลาย โดยทั่วไปในการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าต่ำและมีความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสที่สูง ดังนั้นในการทำโครงงานนี้จึงมุ่งเน้นในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาผลกระทบจากตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
3. เพื่อให้เข้าใจพื้นฐานการออกแบบวงจรที่สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษารายละเอียดตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
2. ศึกษาทฤษฎีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
3. ออกแบบวงจรที่สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน

หัวข้อ	พ.ศ. 2552							พ.ศ. 2553				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง												
2. ออกแบบวงจรที่ใช้												
3. ปรับปรุงวงจรที่ใช้												
4. ทำการทดลอง												
5. บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง												
6. สรุปผลการทดลอง												

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์
3. สามารถสร้างวงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่มีผลต่อระบบไฟฟ้า

1.6 งบประมาณที่ใช้

1. ค่าอุปกรณ์การทดลอง		3,500	บาท
2. ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มโครงงาน		400	บาท
3. อื่นๆ		100	บาท
	รวม	4,000	บาท

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

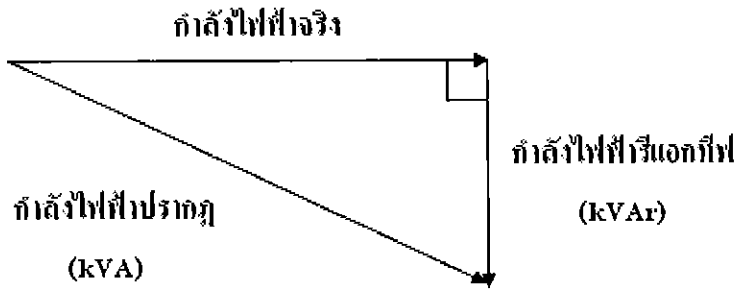
โดยทั่วไปอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในอาคารหรือโรงงานนั้นต้องอาศัยทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพื่อใช้ในการทำงาน ค่าสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าทั้งสองชนิดดังกล่าวบ่งบอกถึงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด หรือของอาคารหรือโรงงานโดยรวม ตามปกติหากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) มีค่าต่ำ (ต่ำกว่าหนึ่งมาก) ย่อมหมายความว่ามีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าจริง ซึ่งจะก่อผลเสียให้เกิดกำลังสูญเสียในอุปกรณ์หรือระบบจ่ายไฟฟ้าสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ก็ย่อมที่จะสามารถลดกำลังสูญเสียลงได้ หมายถึงว่าจะสามารถลดค่าไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นลงได้นั้นเอง

2.1 ส่วนประกอบหลักของการจ่ายกำลังไฟฟ้า ตามปกติประกอบด้วย 2 ส่วน

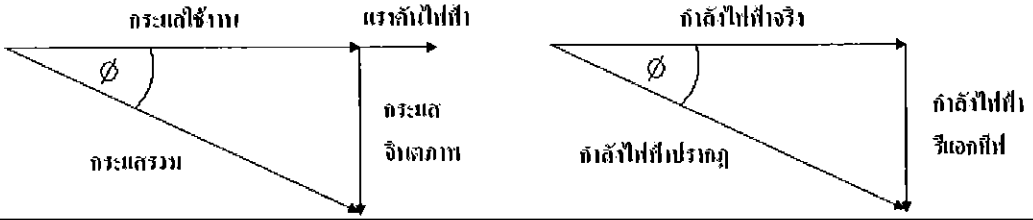
2.1.1 กำลังไฟฟ้าจริง (kW) หรืออาจเรียกเป็นกำลังไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าใช้งานก็ได้ เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ในการทำงานของเครื่องจักร เช่น งานที่ได้จากมอเตอร์หรือจากแสงสว่าง เป็นต้น

2.1.2 กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (kVAr) เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้แก่อุปกรณ์และเครื่องใช้ทางไฟฟ้า เช่น สนามแม่เหล็กในมอเตอร์ บัลลาสต์ของหลอดไฟแสงสว่าง เป็นต้น

ทั้งนี้ค่ากำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนดังกล่าวจะมีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน เราสามารถนำมาเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้เป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากหรือ phaser diagram ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

2.2 ตัวประกอบกำลัง

ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) คือค่าเฉพาะของโหลดตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าคงที่ของกลุ่มโหลดที่บอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนไปเป็นกำลังไฟฟ้าจริง จากรูปสามเหลี่ยมกำลังอาจหาค่าตัวประกอบกำลังได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังจริง (P) ต่อกำลังปรากฏ (S) และแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$\text{ตัวประกอบกำลัง (P.F.) [1]} = \frac{P}{S}$$

$$= \frac{VI\cos\theta}{VI} \qquad = \frac{I^2R}{I^2Z}$$

$$= \cos\theta \qquad = \frac{R}{Z}$$

จากสมการ แสดงให้เห็นว่าตัวประกอบกำลังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนขององค์ประกอบทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าคงที่เฉพาะของโหลดนั้นๆ โดยทั่วไปตัวประกอบกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 แต่การบอกค่าของตัวประกอบกำลังส่วนมากมักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

2.2.1 ตัวประกอบกำลังแบ่งตามองค์ประกอบทางไฟฟ้าได้ดังนี้

2.2.1.1 ตัวประกอบกำลังชนิดยูนิตี้ (Unity power factor)

ประกอบด้วยโหลดชนิดตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว เช่น หลอดไฟ (หลอดไส้) หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เตารีดไฟฟ้า เป็นต้น โหลดจำพวกนี้เรียกว่า โหลดรีซีสทีฟ (Resistive load) ค่าตัวประกอบกำลังของโหลดประเภทนี้มีค่าเท่ากับ 1

2.2.1.2 ตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลัง (Lagging power factor)

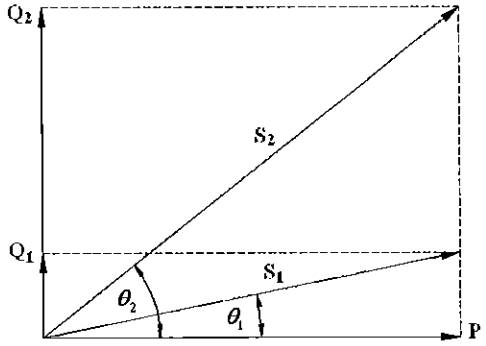
ประกอบด้วยโหลดชนิดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำร่วมกัน เช่น ปั๊มน้ำ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า พัดลม ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น โหลดจำพวกนี้เรียกว่า โหลดอินดักทีฟ (Inductive load) ค่าตัวประกอบกำลังของโหลดประเภทนี้เป็นชนิดล้าหลัง (Lagging power factor) ที่มีค่าน้อยกว่า 1

2.2.1.3 ตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้า (Leading power factor)

ประกอบด้วยโหลดชนิดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เช่น ซิงโครนัสมอเตอร์ ชุดตัวเก็บประจุสำหรับแก้ตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้า เป็นต้น โหลดจำพวกนี้เรียกว่าโหลดคาพาซิทีฟ (Capacitive load) ค่าตัวประกอบกำลังของโหลดประเภทนี้เป็นชนิดนำหน้า (Leading power factor) ที่มีค่าน้อยกว่า 1

2.2.2 ผลเสียที่เกิดจากตัวประกอบกำลังต่ำ

จากรูปที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นกำลังปรากฏสองค่าที่จ่ายกำลังจริงได้เท่ากัน ถ้าเขียนสมการของกำลังปรากฏให้อยู่ในรูปของเลขเชิงซ้อน จะได้ดังนี้คือ $S_1 = P + jQ_1$ และ $S_2 = P + jQ_2$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อแตกแรงให้เป็นสองแนวจะได้กำลังจริง P เท่ากันแต่กำลังรีแอคทีฟ Q จะแตกต่างกัน ตัวที่จ่ายกำลังรีแอคทีฟมากกว่าจะเป็นตัวประกอบกำลัง (P.F.) ต่ำกว่าและมุม (θ) กว้างกว่า



รูปที่ 2.3 แสดงรูปสามเหลี่ยมกำลังที่มีตัวประกอบกำลัง 2 ค่า

เนื่องจากกำลังปรากฏเป็นผลคูณระหว่างแรงดันและกระแส ถ้าดูจากรูปจะเห็นว่าขนาด S_2 ยาวกว่า S_1 ดังนั้นกระแสโหลด I_2 จึงมีค่ามากกว่ากระแสโหลด I_1 หรืออาจสรุปได้ว่าโหลดมีตัวประกอบกำลังต่ำจะใช้กระแสสูงแต่ได้กำลังจริงต่ำและการใช้กระแสสูงนี้เองจะก่อให้เกิดผลตามมาดังนี้คือ

1. เกิดแรงดันตกในสาย
2. เกิดกำลังสูญเสียในสาย
3. หม้อแปลงจ่ายกำลังจริงได้น้อยกว่าที่ควร
4. เกิดกำลังสูญเสียในหม้อแปลงมากกว่าที่ควร

การที่ค่าตัวประกอบกำลังต่ำเกินไป นอกจากจะทำให้ต้องเสียค่าปรับให้กับการไฟฟ้าแล้วยังจะทำให้เกิดการสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในสภาวะการทำงานที่เหมือนกันหากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ายิ่งน้อยจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดความ

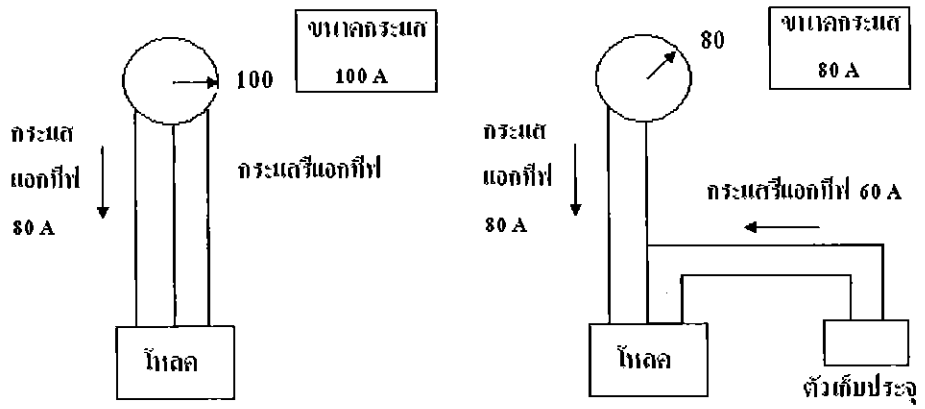
สูญเสียมากตามไปด้วย ซึ่งสามารถคิดเป็นร้อยละของการสูญเสียเทียบกับกรณีตัวประกอบกำลังเป็น 1 ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบพลังงานสูญเสียกับค่าตัวประกอบกำลัง [7]

ตัวประกอบกำลัง	ร้อยละกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเทียบกับกรณีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1	ร้อยละของพลังงานสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเทียบกับกรณีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1
1.00	0	0
0.90	11	23
0.80	25	56
0.70	43	104
0.60	67	179
0.50	100	300
0.40	150	525

2.2.3 การปรับตัวประกอบกำลังของระบบ

เนื่องจากระบบที่มีตัวประกอบกำลังต่ำมีผลเสียต่อระบบหลายประการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น แต่เนื่องจากโหลดโดยทั่วไปมีตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลังเกือบทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงตัวประกอบกำลังจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่มีตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้ามาช่วยจ่ายกำลังรีแอคทีฟให้กับโหลดโดยไม่ต้องดึงกำลังส่วนนี้ออกมาจากแหล่งจ่าย (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลง) ซึ่งจะช่วยให้แหล่งจ่ายสามารถจ่ายกำลังจริงให้แก่โหลดได้สูงขึ้น



(ก) ก่อนปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (ข) หลังปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

รูปที่ 2.4 แสดงการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบ

รูปที่ 2.4 (ก) เป็นรูปก่อนการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง จะเห็นว่ามอเตอร์ต้องการกระแสสองส่วนคือ กระแสแอคทีฟ 80 แอมแปร์ไปเปลี่ยนให้เป็นกำลังงานกล และกระแสรีแอคทีฟ 60 แอมแปร์ไปสร้างสนามแม่เหล็ก รวมเป็นกระแสทั้งหมดเท่ากับ $\sqrt{(80)^2 + (60)^2}$ หรือ 100 แอมแปร์ ซึ่งกระแสจำนวนนี้แหล่งจ่ายจะต้องจ่ายให้กับมอเตอร์

รูปที่ 2.4 (ข) เป็นรูปหลังการปรับปรุงตัวประกอบกำลังแล้ว โดยใช้ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวจ่ายกระแสรีแอคทีฟให้กับมอเตอร์ทั้งหมด เรียกว่าปรับปรุงตัวประกอบกำลังเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีนี้แหล่งจ่ายจะจ่ายเฉพาะกระแสจริง 80 แอมแปร์เท่านั้น ทำให้ลดการจ่ายกระแสลงไปถึง 20 เปอร์เซ็นต์ กระแสส่วนที่ลดลงไปนี้แหล่งจ่ายสามารถนำไปจ่ายให้กับโหลดอื่นได้

2.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นจะต้องต่ออุปกรณ์ที่ช่วยจ่ายกำลังรีแอคทีฟเข้ากับวงจรนั้น แต่จะใช้อุปกรณ์ชนิดใดจ่ายกำลังดังกล่าวจะต้องทราบว่าตัวประกอบกำลังของระบบนั้นเป็นแบบชนิดใดก่อน เช่น ในระบบสายส่งไฟฟ้าที่มีโหลดปลายสายต่ำๆ จะทำให้กระแสอัดประจุ (charging current) ของสายส่งผลให้ตัวประกอบกำลังของสายกลายเป็นชนิดนำหน้าแรงดันปลายสายจะสูงมาก ในกรณีนี้จะต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L) ที่เรียกว่ารีแอกเตอร์ขนาน (shunt reactor) ต่อคร่อมที่ปลายสาย จึงจะช่วยลดแรงดันลงได้ แต่โดยทั่วไปแล้วตัวประกอบกำลังของโหลดเกือบทั้งหมดจะเป็นชนิดล้าหลัง ดังนั้นการปรับตัวประกอบกำลังจึงต้องใช้ตัวเก็บประจุ (C) หรืออุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตัวเก็บประจุ เช่น ซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นตัวช่วยจ่ายกระแสรีแอคทีฟให้กับระบบ การปรับปรุงตัวประกอบกำลังนิยมใช้ตัวเก็บประจุต่อเข้ากับวงจรมากที่สุด เพราะมีราคาค่อนข้างถูก และเกือบจะไม่ต้องบำรุงรักษาเลย เพราะไม่มีส่วนเคลื่อนไหวและประการสำคัญคือ มีกำลังสูญเสียในตัวเองต่ำมาก ในปัจจุบันมีการผลิตตัวเก็บประจุ (C) ให้มีกำลังสูญเสียต่ำกว่า 0.5 W/kVAr ได้ อย่างไรก็ตามบางกรณีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังโดยใช้ซิงโครนัสมอเตอร์ช่วยก็อาจเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ดำเนินอยู่ ดังนั้นการตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ชนิดใดเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังจึงควรศึกษาให้รอบคอบเสียก่อน

2.2.4.1 ตัวเก็บประจุ คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลังให้มีค่าสูงขึ้น โดยตัวของมันเองมีคุณสมบัติเป็นตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้า ตัวเก็บประจุมีหลายชนิด ส่วนใหญ่จะเรียกชื่อตามชนิดของไดอิเล็กทริกที่ใช้เป็นฉนวน ตัวเก็บประจุมีหลายขนาด ถ้าเป็นขนาดเล็กจะบอกพิกัดเป็นไมโครฟารัด (μF) ถ้าเป็นขนาดใหญ่จะบอกพิกัดเป็นกิโลวาร์ (kVAr) และกำกับด้วยขนาดแรงดันใช้งาน ตามปรกติผู้ผลิตนิยมผลิตเพื่อใช้แรงดัน 400 โวลต์ มีขนาดตั้งแต่ 10,15,20,25,30,35,40,50,60,75,100,150,200 จนถึง 300 กิโลวาร์

ในกรณีที่ต้องการขนาดสูงกว่าพิกัดที่ผลิตได้ จะใช้วิธีนำเอาตัวเก็บประจุหลายๆตัวต่อขนานกันและบรรจุอยู่ในภาชนะเดียวกัน โดยเรียกตัวเก็บประจุชนิดนี้ว่า กลุ่มตัวเก็บประจุ (capacitor bank) นอกจากนี้เมื่อต้องการต่อใช้งานที่แรงดันสูง จะต่ออนุกรมกันหลายๆตัวจน

สามารถทนแรงดันนั้นได้ เหตุที่ไม่นิยมผลิตตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มากๆและทนแรงดันได้สูงๆ เป็นเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมประกอบกัน

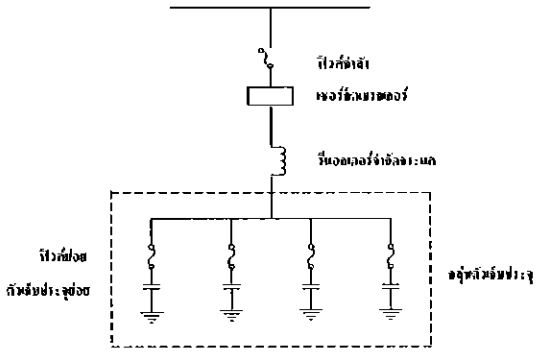
ในการต่อตัวเก็บประจุเพื่อใช้งาน ทั้งตัวเก็บประจุชนิดตัวเดียวและกลุ่มตัวเก็บประจุ (capacitor bank) จะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนรวมอยู่ด้วย เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวเก็บประจุ และเพื่อความสะดวกในการใช้งาน อุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งดังกล่าวได้แก่

1. ฟิวส์กำลัง (power fuse) ใช้เป็นตัวป้องกันการลัดวงจรที่จะเกิดขึ้นภายในกลุ่มตัวเก็บประจุทั้งหมด

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) ใช้เป็นตัวป้องกันกระแสไหลเกินพิกัด กระแสลัดวงจร แรงดันเกินและการไม่สมดุลของกลุ่มตัวเก็บประจุ โดยมีรีเลย์เป็นตัวสั่งตัด (trip) นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวสับหรือปลดกลุ่มตัวเก็บประจุเข้าหรือออกจากการใช้งานอีกด้วย

3. รีแอคเตอร์จำกัดกระแส (current limiting reactor) ใช้จำกัดกระแสกระชาก (inrush current) ในขณะที่สับสวิตช์เพื่อต่อกลุ่มตัวเก็บประจุเข้าไปในวงจร

4. ฟิวส์ย่อย (unit fuse) ใช้เป็นตัวป้องกันกระแสลัดวงจรภายในตัวเก็บประจุย่อย



รูปที่ 2.5 แสดงการต่อกลุ่มตัวเก็บประจุเข้าสู่ระบบ

รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างการต่อกลุ่มตัวเก็บประจุเข้ากับระบบ 22 กิโลโวลต์ ถ้าเป็นตัวเก็บประจุชนิดตัวเดียวที่ใช้กับระบบแรงดันต่ำ จะมีอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดตอนเฉพาะฟิวส์และสวิตช์ปลดวงจรเท่านั้น

2.2.4.2 ซิงโครนัสมอเตอร์ ถ้าทำงานตามปกติจะมีคุณสมบัติเหมือนโหลดที่มีตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลัง แต่ซิงโครนัสมอเตอร์มีคุณสมบัติพิเศษประจำตัวคือ ถ้าปรับให้กระแสกระตุ้นไหลเกินปกติ ก็จะมีคุณสมบัติเหมือนตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้าหรือตัวเก็บประจุได้ จึงเรียกมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า "ซิงโครนัส" ซิงโครนัสมอเตอร์ มีข้อได้เปรียบตัวเก็บประจุอยู่บ้าง คือ สามารถปรับค่าตัวประกอบกำลังได้ต่อเนื่องโดยการปรับกระแสกระตุ้น ถ้าจะใช้ซิงโครนัสมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบ มักจะให้หมุนตัวเปล่ามากกว่าหมุนขับ

โหลด ทั้งนี้เพื่อให้จ่ายกระแสรีแอคทีฟได้สูง แต่ในกรณีที่จำเป็นจะใช้ช่วยขับโหลดพร้อมกับปรับปรุงตัวประกอบกำลังในระบบไปด้วยก็ได้แต่จะให้ผลน้อยกว่า

อย่างไรก็ตามซิงโครนัสมอเตอร์ก็มีข้อเสียเปรียบตัวเก็บประจุเช่นเดียวกัน พอสรุปได้ดังนี้

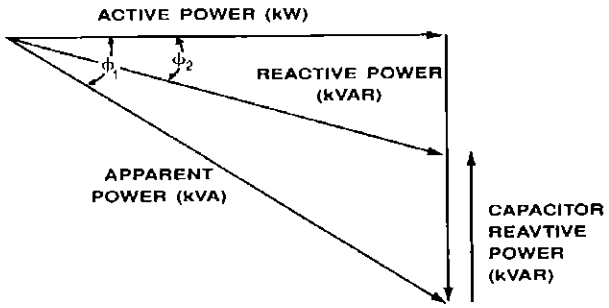
1. มีราคาแพงกว่าเมื่อเปรียบเทียบขณะจ่ายที่กำลังรีแอกทีฟต่างๆ กัน

2. ถ้าแหล่งจ่ายถูกตัดกระแสชั่วครวา ซิงโครนัสมอเตอร์จะหลุดออกจากสภาพซิงโครไนซ์และต้องเริ่มเดินเครื่องใหม่

3. ถ้าเกิดฟอล์ตในระบบ ซิงโครนัสมอเตอร์จะเป็นตัวจ่ายกระแสฟอล์ตให้กับระบบด้วย ทำให้ฟอล์ตรุนแรงขึ้น

เนื่องจากซิงโครนัสมอเตอร์มีข้อเสียเปรียบมากว่าตัวเก็บประจุ ดังนั้นจึงไม่น่าสงสัยเลยว่าทำไมการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังจึงนิยมใช้เฉพาะตัวเก็บประจุเท่านั้น

2.3 การคำนวณหาขนาด Capacitors เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง [6]



รูปที่ 2.6 การคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง

P.F. ก่อนการปรับปรุง = $\cos\theta_1$

P.F. หลังการปรับปรุง = $\cos\theta_2$

Q (kVAr) ที่ P.F. ก่อนการปรับปรุง = $P \times \tan\theta_1$

Q (kVAr) ที่ P.F. หลังการปรับปรุง = $P \times \tan\theta_2$

kVAr ของ Capacitors (Q_c) = $P \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} = \frac{V^2}{2\pi fC}$$

$$Q_c = V^2 \times 2\pi fC$$

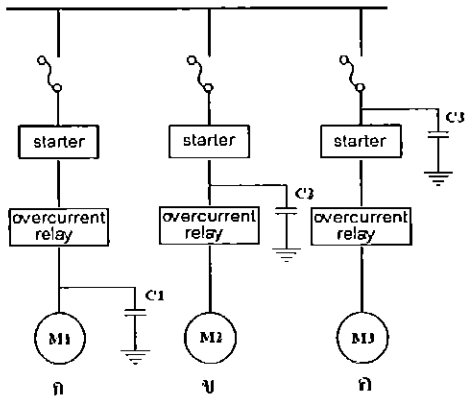
$$C = \frac{Q_c}{V^2 \times 2\pi f}$$

2.4 ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ

การติดตั้งตัวเก็บประจุเข้ากับระบบบอย่างเหมาะสมนั้นเป็นสิ่งที่ดี แต่จะต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้หลายๆด้าน โดยคิดถึงองค์ประกอบทางด้านเศรษฐศาสตร์และด้านเทคนิคประกอบกัน ในทางปฏิบัติมีตำแหน่งที่ควรติดตั้งอยู่ 4 ตำแหน่งด้วยกันคือ

1. ติดตั้งควบคู่กับโหลด
2. ติดตั้งที่กลุ่มของโหลด
3. ติดตั้งที่ศูนย์กลางโหลดด้านแรงต่ำ
4. ติดตั้งทางด้านแรงสูง

2.4.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุควบคู่กับโหลด เป็นวิธีที่ดีที่สุดเพราะสามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้มีค่าคงที่ตามต้องการได้ กล่าวคือขณะปลดโหลดออก เครื่องตัดตอนก็จะตัดตัวเก็บประจุออกไปพร้อมๆกันด้วยจึงทำให้ตัวประกอบกำลังในระบบไม่เปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปการติดตั้งตัวเก็บประจุควบคู่กับโหลด มักใช้ร่วมกับโหลดที่เป็นมอเตอร์เท่านั้น ซึ่งมีวิธีการต่อตัวเก็บประจุได้สามตำแหน่ง



รูปที่ 2.7 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุควบคู่กับโหลดที่ตำแหน่งต่างๆ

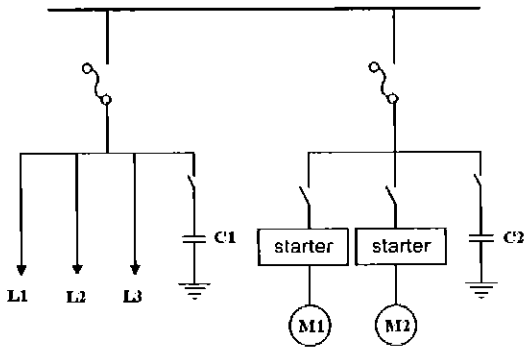
ตำแหน่งที่ 1 ติดตั้งตัวเก็บประจุไว้หลังอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกิน ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ก) การต่อแบบนี้จะใช้กับสตาร์ทเตอร์ที่ต่อมอเตอร์เข้ากับไลน์โดยตรงและใช้เฉพาะกรณีที่ได้ออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุกับอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินให้เหมาะสมกันเท่านั้น เพราะว่าการต่อตัวเก็บประจุในตำแหน่งนี้จะทำให้กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินมีค่าลดลงมากกว่าเมื่ออยู่ในตำแหน่งอื่นประมาณ 10 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการนี้

$$\Delta I = 100 \times \left[1 - \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \right]$$

ตำแหน่งที่ 2 ติดตั้งตัวเก็บประจุไว้ข้างหลังสตาร์ทเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ข) การต่อแบบนี้จะใช้กับสตาร์ทเตอร์ที่ต่อมอเตอร์เข้ากับไลน์โดยตรง และมีอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินไว้แล้ว การติดตั้งตัวเก็บประจุในตำแหน่งนี้จะไม่มีผลกระทบต่อกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันโหลดเกินแต่อย่างใด

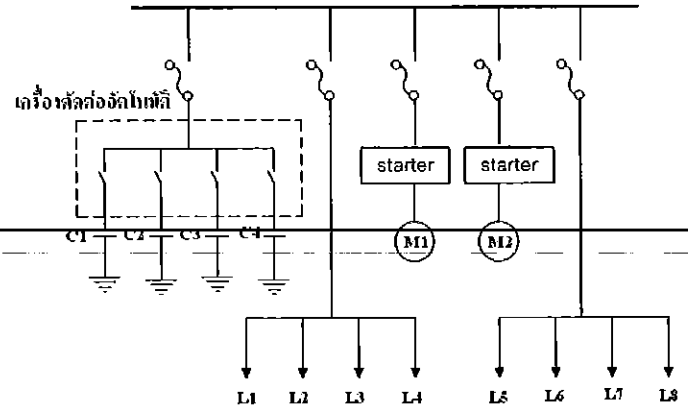
ตำแหน่งที่ 3 ติดตั้งตัวเก็บประจุไว้ข้างหน้าสตาร์ทเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ค) การต่อแบบนี้เหมาะสำหรับใช้กับมอเตอร์ที่มีสตาร์ทเตอร์ช่วยลดแรงดันขณะเริ่มหมุน เช่น การต่อขดลวดแบบสตาร์-เดลตา เป็นต้น การต่อตัวเก็บประจุไว้ข้างหน้าสตาร์ทเตอร์จะไม่มีผลต่อการต่อปลายสายของขดลวดและแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าคงที่

2.4.2 การติดตั้งตัวเก็บประจุที่กลุ่มของโหลดเป็นกลุ่มๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เหมาะสำหรับปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของโหลดย่อยที่ทำงานพร้อมๆกัน เช่น วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือมอเตอร์ที่ปิดเปิดพร้อมกันทั้งชุดหรือปิดเปิดในระยะใกล้เคียงกัน โดยมีการควบคุมเป็นลำดับ การติดตั้งแบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าชนิดติดตั้งควบคู่กับโหลด



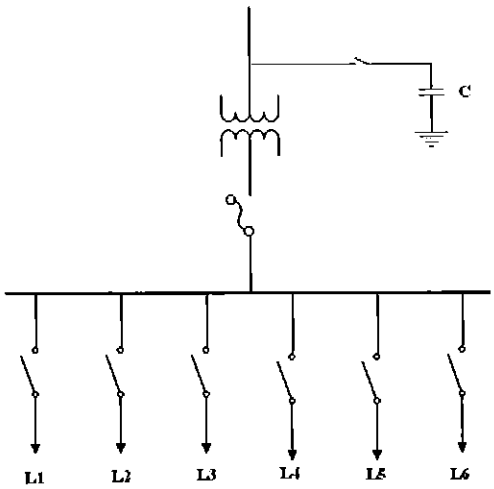
รูปที่ 2.8 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุที่กลุ่มของโหลด

2.4.3 การติดตั้งตัวเก็บประจุที่ศูนย์กลางโหลดต้านแรงต่ำ ดังรูปที่ 2.9 โดยจะติดตั้งแผงสวิตซ์ย่อยหรือแผงสวิตซ์ใหญ่เพียงแห่งเดียว เป็นวิธีควบคุมที่สะดวก แต่การติดตั้งตัวเก็บประจุในตำแหน่งนี้เหมาะสำหรับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปิดใช้งานไม่พร้อมกันจำนวนมาก การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าคงที่ขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลงจะทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุหลายๆ ชุด มีเครื่องปลดและต่อเข้าไปในวงจรแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2.9 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ศูนย์กลางโหลดด้านแรงต่ำ

2.4.4 ติดตั้งตัวเก็บประจุทางด้านแรงสูง ดังรูปที่ 2.10 เป็นแบบที่ไม่ให้ผลดีแก่วงจรเลย กล่าวคือ ไม่ได้ช่วยลดกระแสให้กับหม้อแปลงหรือกระแสใดๆ เลย ในสายทางด้านแรงต่ำทั้งสิ้น การต่อตัวเก็บประจุในตำแหน่งนี้กระทำเพียงเพื่อให้ตัวประกอบกำลังเป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดเท่านั้นและมีราคาติดตั้งที่ถูกที่สุด



รูปที่ 2.10 แสดงการติดตั้งตัวเก็บประจุทางด้านแรงสูง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

โครงงานเครื่องปรับค่าตัวประกอบกำลังขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้กับที่อยู่อาศัยขนาดครัวเรือนเป็นโครงงานที่ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังและการติดตั้งตัวเก็บประจุและนำทฤษฎีที่ศึกษามาออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยมีลำดับขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎี วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้งาน

3.2 เขียนแผนภาพการทำงานของวงจรโดยรวม

3.3 ออกแบบวงจรตรวจสอบ Zero Crossing

3.4 ออกแบบโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง

3.5 ทดสอบโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง

3.6 คำนวณค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎี วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้งาน

การศึกษาข้อมูล เป็นขั้นตอนแรกที่จำเป็นต้องทำ โดยศึกษาในรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเพื่อให้ได้แนวคิดของโครงงานและแนวทางในการสร้างโครงงานนี้ขึ้น จึงขอกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโครงงานนี้ ดังต่อไปนี้

เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังต่ำมีผลเสียต่อระบบหลายประการ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น แต่เนื่องจากโหลดโดยทั่วไปมีตัวประกอบกำลังชนิดล้าหลังเกือบทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่มีตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้ามาช่วยเพิ่มกำลังรีแอคทีฟให้กับโหลดโดยไม่ต้องดึงกำลังส่วนนี้ออกมาจากแหล่งจ่าย ซึ่งจะช่วยให้แหล่งจ่ายสามารถจ่ายกำลังจริงให้แก่โหลดได้สูงขึ้น

อุปกรณ์ที่นิยมใช้ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ได้แก่ ตัวเก็บประจุและซิงโครนัสมอเตอร์ ซึ่งกลุ่มผู้ทำโครงงานนี้ได้เลือกตัวเก็บประจุมาใช้ในการทดลองเพราะมีข้อดี ราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายกว่า โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุได้ใช้วิธีการติดตั้งตัวเก็บประจุที่ศูนย์กลางโหลดด้านแรงต่ำ เพราะเหมาะกับการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่เปิดใช้งานไม่พร้อมกัน โดยใช้งานร่วมกับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บอร์ด Microcontroller AT89C51AC3
2. บอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

3. Current Transformer TZ2L9

4. Voltage Transformer 220/12 Vac

5. วงจรตรวจสอบ Zero crossing

6. เครื่องวัด Power factor

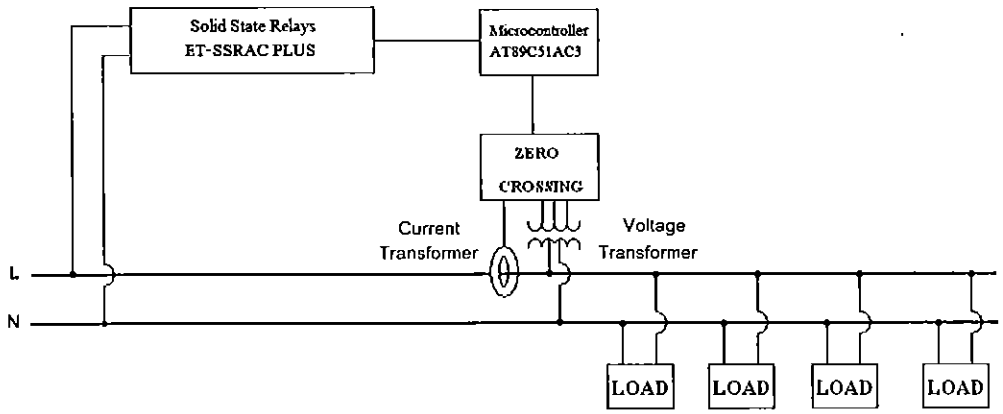
7. ตัวเก็บประจุชนิดไมลาร์ (Mylar Capacitors)

8. ปลั๊กไฟ

9. เครื่องใช้ไฟฟ้า (พัดลม, โทรทัศน์, ตู้เย็นและชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์)

10. คอมพิวเตอร์

3.2 เขียนแผนภาพการทำงานของวงจรโดยรวม



รูปที่ 3.1 วงจรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

จากรูปที่ 3.1 เมื่อมีการปิดเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยวงจร Zero Crossing จะตรวจจับสัญญาณของกระแสและแรงดัน แล้วส่งสัญญาณที่ได้ไปยังบอร์ด Microcontroller AT89C51AC3 เพื่อตรวจสอบค่าตัวประกอบกำลังที่เปลี่ยนแปลงและสั่งงานบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS ที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่เพื่อขนานตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

3.3 ออกแบบวงจรตรวจสอบ Zero Crossing

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบวงจร Zero Crossing

1. Print circuit board	1 ชิ้น
2. Positive voltage regulators L7805	1 ตัว

3. Negative voltage regulators L7905	1 ตัว
4. Optoisolator PC817	2 ตัว
5. Bridge rectifier W04	3 ตัว
6. Operational amplifier TL084	1 ตัว
7. ตัวเก็บประจุ 1000μF	2 ตัว
8. ตัวเก็บประจุ 330μF	2 ตัว
9. ตัวต้านทานปรับค่า 50k	2 ตัว
10. ตัวต้านทาน 1k	3 ตัว
11. ตัวต้านทาน 10k	1 ตัว
12. Heat sink	2 ตัว
13. Serial Port MHDR2X5	1 ตัว
14. Header 3H	1 ตัว
15. Header 2H	1 ตัว
16. Current Transformer TZ2L9	1 ตัว
17. Voltage Transformer 220/12 Vac	1 ตัว

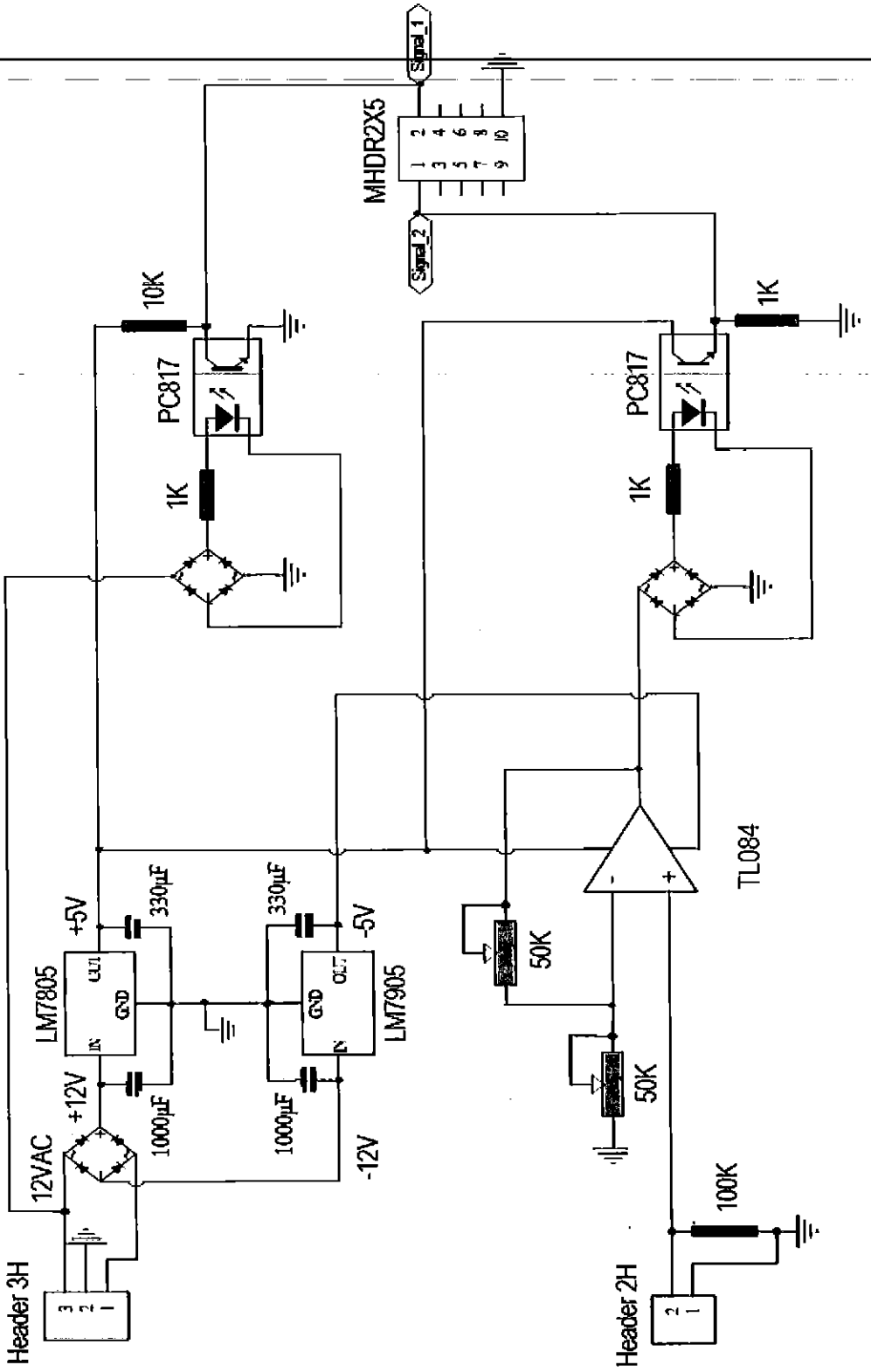
วงจรตรวจสอบ Zero Crossing มีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนของแหล่งจ่ายแรงดัน +5V และ -5V โดยรับสัญญาณแรงดันจากหม้อแปลง 220/12Vac ผ่านขั้ว Header 3H เข้าสู่วงจร Bridge rectifier W04 จากนั้นแยกสัญญาณแรงดัน +12V จาก Bridge rectifier W04 ส่งไปยัง Positive voltage regulators L7805 เพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ +5V และแยกสัญญาณแรงดัน -12V จาก Bridge rectifier W04 ส่งไปยัง Negative voltage regulators L7905 เพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ -5V

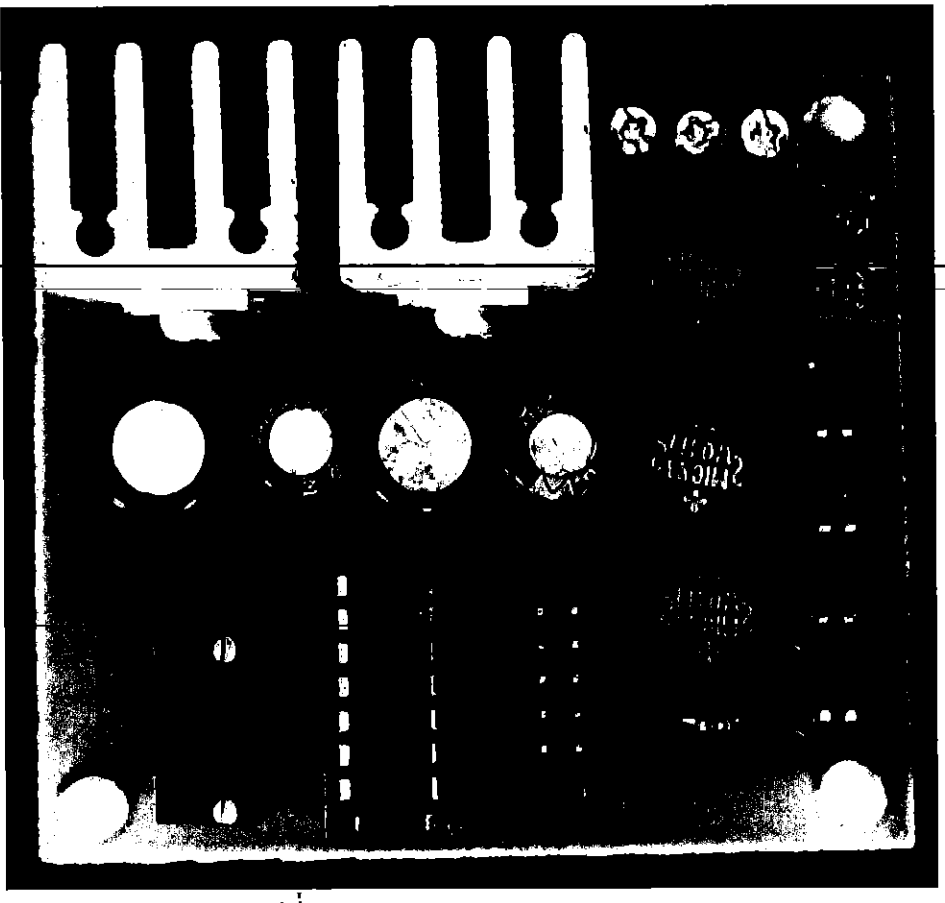
2. ส่วนของสัญญาณแรงดัน โดยรับสัญญาณแรงดัน 12Vac จาก Header 3H ส่งไปยังวงจร Bridge rectifier W04 เพื่อแปลงจากไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปแปลงเป็นพัลส์ โดยใช้ Optoisolator PC817 ต่อตัวต้านทานแบบ pull up เพื่อจับสัญญาณบริเวณ Zero แล้วจึงส่งสัญญาณ (Signal_1) ที่ได้ออกไปที่พอร์ทอนุกรม MHDR2X5 เพื่อนำไปประมวลผลที่ Microcontroller AT89C51AC3

3. ส่วนสัญญาณของกระแส โดยรับสัญญาณของกระแสในรูปของแรงดันจาก Header 2H ที่ต่ออยู่กับ Current Transformer TZ2L9 สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็ก จึงต่อ Operational amplifier TL084 เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดใกล้เคียงกับสัญญาณของแรงดันและนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่วงจร Bridge rectifier W04 เพื่อแปลงจากไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปแปลงเป็นพัลส์ โดยใช้ Optoisolator PC817 ต่อตัวต้านทานแบบ pull

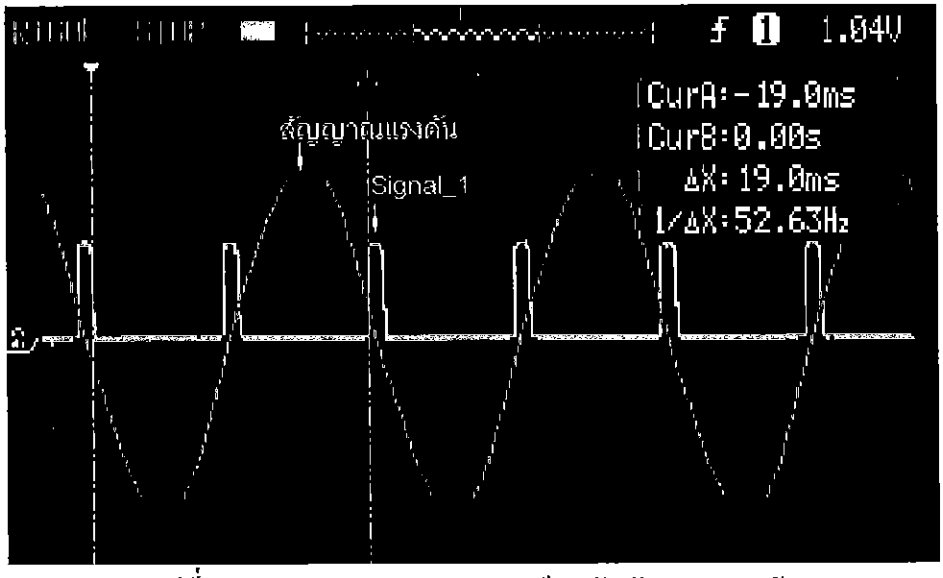
down เพื่อจับสัญญาณบริเวณ Peak แล้วจึงส่งสัญญาณ (Signal_2) ที่ได้ออกไปที่พอร์ทอนุกรม MHDR2X5 เพื่อนำไปประมวลผลที่ Microcontroller AT89C51AC3



รูปที่ 3.2 แผนผังวงจรตรวจสอบ Zero Crossing

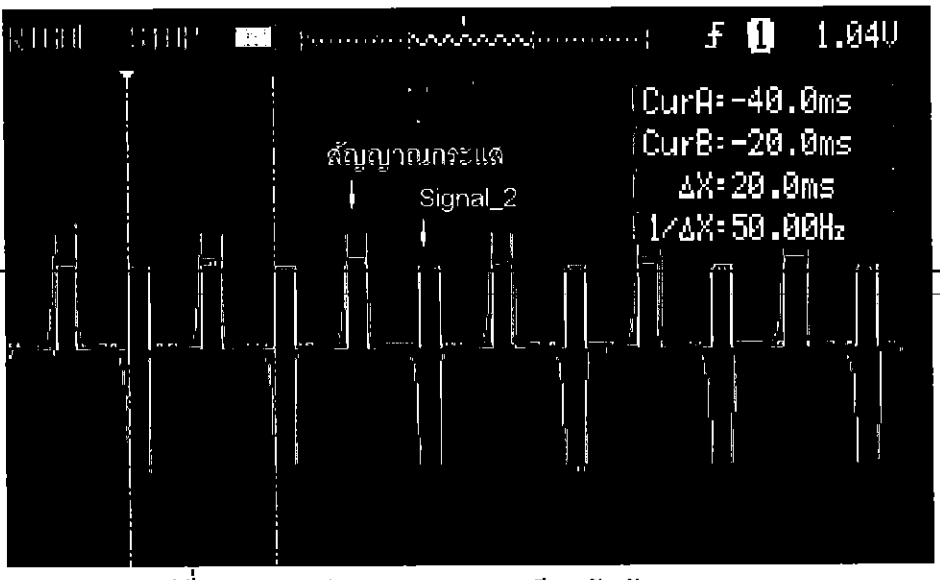


รูปที่ 3.3 วงจรตรวจสอบ Zero Crossing



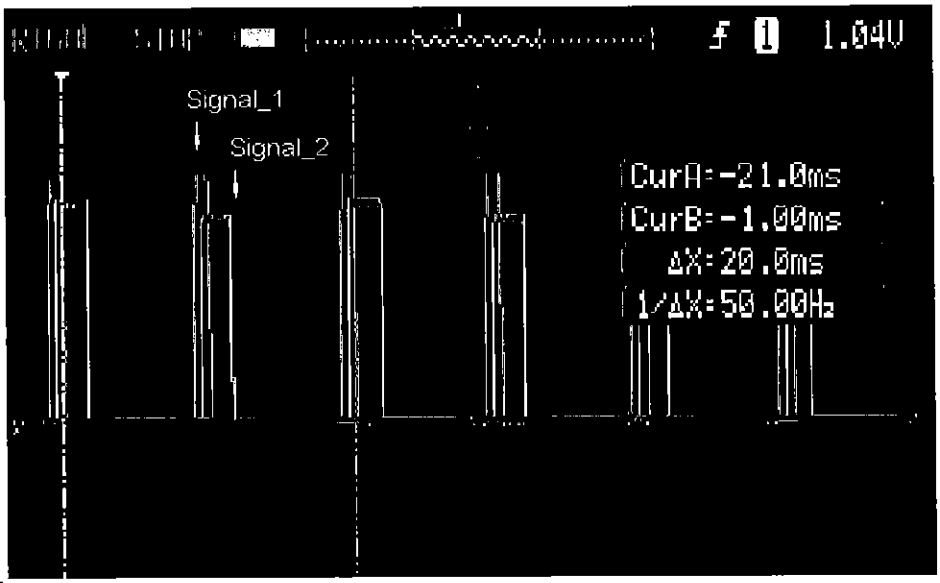
รูปที่ 3.4 แสดงสัญญาณ Signal_1 เทียบกับสัญญาณแรงดัน

จากรูปที่ 3.4 สัญญาณ Signal_1 ที่ได้จากการต่อตัวต้านทานแบบ Pull Up เพื่อรักษาระดับของแรงดัน Vcc(+5V) ให้คงที่ ทำให้อยู่ในสถานะ "1" ตลอดเวลา และเมื่อไดโอดทำงานจะทำให้สถานะเป็นลอจิก "0" หรือที่เรียกว่า Active Low เพราะกระแสไฟฟ้าจะไหลลง Ground ทันที



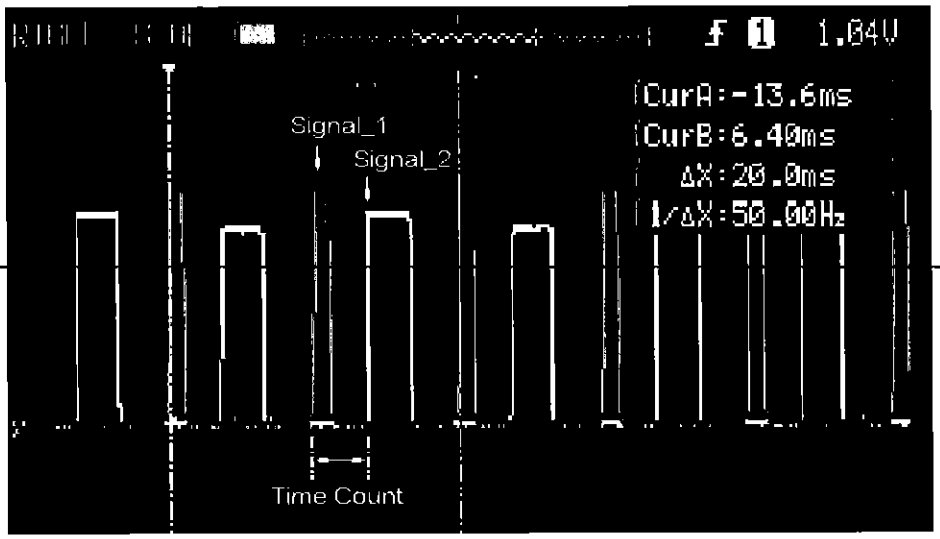
รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณ Signal_2 เทียบกับสัญญาณกระแส

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณ Signal_2 ที่ได้จากการต่อตัวต้านทานแบบ Pull Down จะต่อเข้ากับ Ground เพื่อรักษาระดับของแรงดันให้คงที่ ทำให้อยู่ในสถานะ "0" ตลอดเวลาและเมื่อไดโอดทำงานจะทำให้สถานะเป็นลอจิก "1" หรือที่เรียกว่า Active High เพราะกระแสไฟฟ้าจะไหลจาก Vcc(+5V) ทันที



รูปที่ 3.6 แสดงการเทียบสัญญาณ Signal_1 และ Signal_2 กรณีโหลดรีซีสทีฟ (Resistive load)

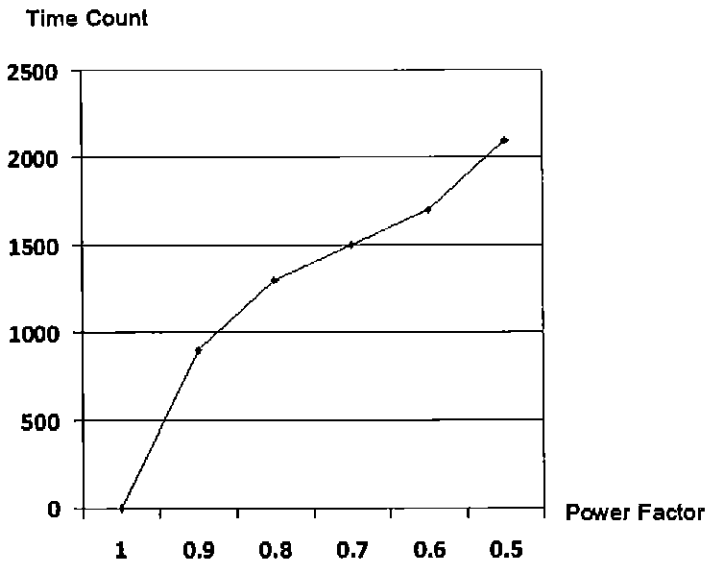
เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้ในการทดลองเป็นหม้อแปลงแบบ Center Tab ทำให้สัญญาณแรงดันที่ด้านทุติยภูมิล้าหลังจากสัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิอยู่ 90 องศา จึงทำให้สัญญาณกระแสและแรงดันที่วัดได้เลื่อนเข้ามาใกล้กัน



รูปที่ 3.7 แสดงการเทียบสัญญาณ Signal_1 และ Signal_2 กรณีโหลดอินดักทีฟ (Inductive load)

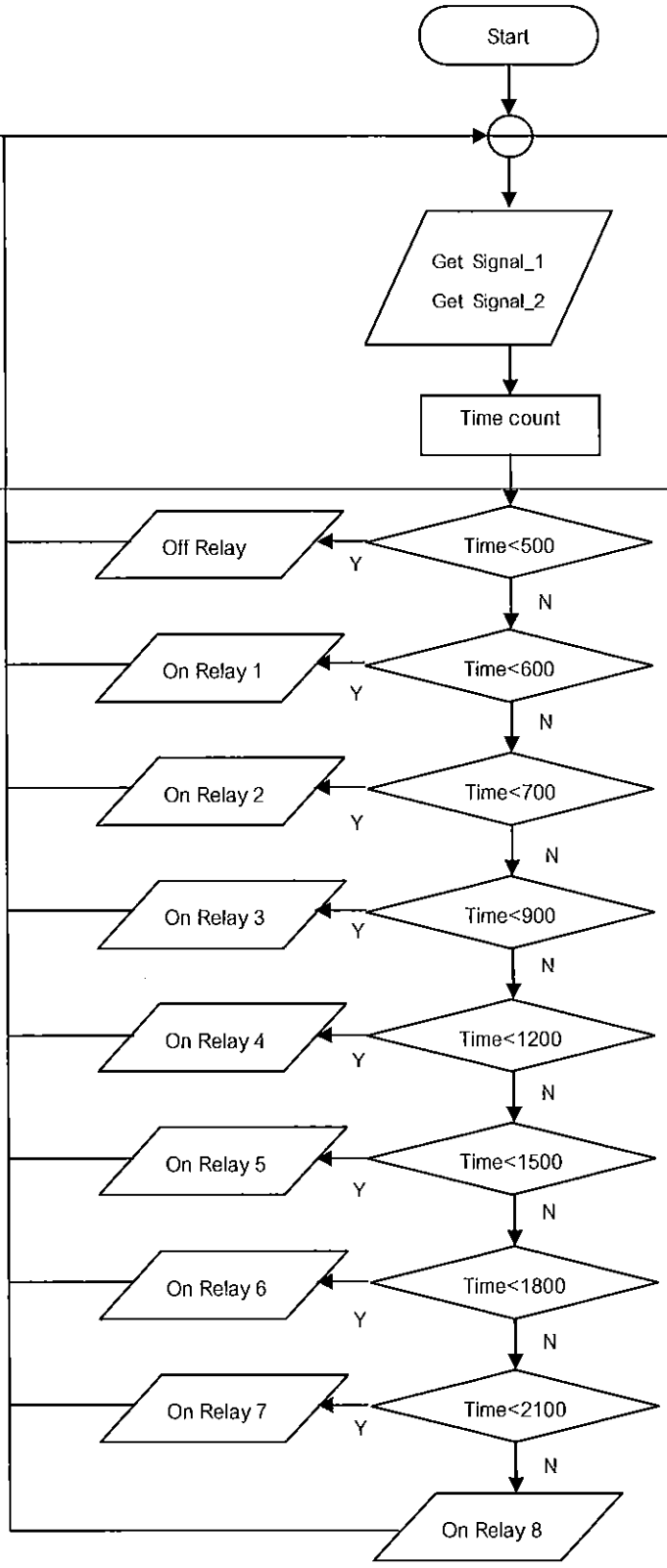
เมื่อค่าตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 1 สัญญาณของกระแส (Signal_2) จะล้าหลังสัญญาณของแรงดัน (Signal_1) ทำให้เกิดระยะห่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง หากตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำสัญญาณทั้งสองจะห่างกันมากขึ้น ซึ่ง Timer ใน Microcontroller AT89C51AC3 จะเป็นตัวนับระยะห่างที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณทั้งสองแล้วนำไปประมวลผลที่โปรแกรมเพื่อเข้าสู่เงื่อนไขการ On-Off Relay เพื่อขนานตัวเก็บประจุเข้าไปปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังต่อไป

จากการทดสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Time Count ที่ Microcontroller AT89C51AC3 นับได้และ Power Factor ที่เปลี่ยนแปลงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time Count และ Power Factor

3.4 ออกแบบโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง

จากรูปที่ 3.9 โปรแกรมจะเริ่มทำงานโดยรับสัญญาณ Signal_1 และ Signal_2 ที่ได้จากวงจร Zero Crossing และส่งไปยัง Time Count ในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนับช่วงเวลาที่ห่างกันของสัญญาณทั้งสองและนำเวลาที่นับได้เข้าสู่เงื่อนไขการ On-Off Relay ต่อไป

การ On-Off Relay ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่าง Signal_1 และ Signal_2 ซึ่งในกรณีโหลดรีซีสทีฟ (Resistive Load) ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 Time Count ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นับได้มีค่าเข้าใกล้ 0 จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไปแต่ในกรณีโหลดอินดักทีฟ (Inductive Load) ตัวประกอบกำลังมีค่าน้อยกว่า 1 Time Count ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นับได้จะมีค่ามากกว่า 0 หาก Time Count มีค่าสูงขึ้นหมายความว่าสัญญาณของกระแสล้าหลังสัญญาณของแรงดันอยู่มากจึงต้องขนานตัวเก็บประจุเข้าไปในระบบเพิ่มขึ้นตามค่าตัวประกอบกำลังที่ลดลง

3.5 ทดสอบโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 3.1 ผลการทำงานของโปรแกรมปรับค่าตัวประกอบกำลัง

ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด	กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)	ตัวประกอบกำลังก่อนปรับปรุง	TIME COUNT เฉลี่ย	จำนวน Relay ที่ทำงาน
พัดลม	50	0.99 Lagging	550	1
TV	65	0.99 Lagging	600	1
ตู้เย็น	100	0.90 Lagging	1000	4
หลอดไฟ	28	0.48 Lagging	2050	7
พัดลม + TV	115	0.99 Lagging	550	1
พัดลม + หลอดไฟ	78	0.77 Lagging	1400	5
พัดลม + ตู้เย็น	150	0.93 Lagging	750	3
TV + หลอดไฟ	93	0.79 Lagging	700	3
TV + ตู้เย็น	165	0.95 Lagging	800	3
หลอดไฟ + ตู้เย็น	128	0.78 Lagging	1400	5
พัดลม + TV + หลอดไฟ	143	0.90 Lagging	700	3
พัดลม + TV + ตู้เย็น	215	0.96 Lagging	650	2
พัดลม + หลอดไฟ + ตู้เย็น	178	0.84 Lagging	1300	5
TV + หลอดไฟ + ตู้เย็น	193	0.85 Lagging	1350	5
TV + หลอดไฟ + ตู้เย็น + พัดลม	243	0.90 Lagging	1000	4

จากตารางที่ 3.1 จะพบว่าตัวประกอบกำลังที่มีค่าต่ำเนื่องจากสัญญาณของกระแสล้าหลังแรงดันอยู่มาก จึงทำให้ค่า Time Count ที่นับได้มีค่ามากขึ้นด้วย ส่งผลให้จำนวน Relay ทำงานมากขึ้นตามเงื่อนไขของโปรแกรมและ Relay จะทำงานเป็นลำดับโดยเริ่มจาก 1,2,3,...,8 โดยที่ Relay แต่ละตัวจะมีตัวเก็บประจุขนาดต่างๆต่ออยู่ เมื่อ Relay ทำงาน ตัวเก็บประจุที่ต่อกับ Relay ตัวนั้นจะถูกต่อขนานเข้าไปในระบบด้วยเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้สูงขึ้น

จากผลที่ได้จากตารางที่ 3.1 สามารถหาค่าโดยประมาณเพื่อคำนวณค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กับ Relay แต่ละตัวของบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ค่าโดยประมาณของตัวประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง

จำนวน Relay ที่ทำงาน	**ตัวประกอบกำลัง โดยประมาณ**	**กำลังไฟฟ้าโดยประมาณ (Watt)**
1	0.99	50
2	0.96	165
3	0.93	130
4	0.90	170
5	0.85	170
6	-	-
7	0.50	28
8	-	-

3.6 คำนวณค่าตัวเก็บประจุที่ใช้กับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

จากตารางที่ 3.2 สามารถคำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้กับ Relay แต่ละตัวได้ดังนี้

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 1 ได้จาก

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 50 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.99 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.99

$\theta_1 = 8.11$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$\theta_2 = 0.00$

Q_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 50 \times \tan 8.11$

$= 7.12$ VAr

Q_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 50 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 7.12 - 0.00$

$= 7.12$ VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{7.12}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 0.47\mu F$$

ควรเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 1 ขนาด 0.47 μF

ดังนั้น เลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณคือ 0.033 μF

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 2 ได้จาก

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 165 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.96 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.96

$\theta_1 = 16.26$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$\theta_2 = 0.00$

Q_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 165 \times \tan 16.26$

$= 48.13$ VAr

Q_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 165 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power (Q) = $Q_1 - Q_2$

= 48.13 – 0.00

= 48.13 VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{48.13}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 3.17 \mu F$$

ควรเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 2 ขนาด 3.17 - 0.033 = 3.13 μF

ดังนั้น เลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณคือ 2.2 μF

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 3 ได้จาก

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 130 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.93 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.93

θ_1 = 21.57

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

θ_2 = 0.00

Q_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง = $P \times \tan\theta_1$

= 130 × tan 21.57

= 51.38 VAr

Q_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง = $P \times \tan\theta_1$

= 130 × tan 0

= 0.00 VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power (Q) = $Q_1 - Q_2$

= 51.38 – 0.00

= 51.38 VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

$$C = \frac{51.38}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 3.38\mu F$$

ควรเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 3 ขนาด 3.38 – 2.2 – 0.033 = 1.147 μF

ดังนั้น เลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณคือ 1.0 μF

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 4 ได้จาก

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 170 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.90 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.90

$$\theta_1 = 25.84$$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$$\theta_2 = 0.00$$

Q_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 170 \times \tan 25.84$

$= 82.33$ VAr

Q_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 170 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 82.33 - 0.00$

$= 82.33$ VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{82.33}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 5.41\mu F$$

ควรเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 4 ขนาด 5.41 – 2.2 – 1.0 – 0.033 = 2.177 μF

ดังนั้น เลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณคือ 2.2 μF

i 5756777
วร.
N675ก
2552

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 5 ได้จาก

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 170 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.85 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.85

$\theta_1 = 31.79$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$\theta_2 = 0.00$

Q_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 170 \times \tan 31.79$

$= 105.36$ VAr

Q_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 170 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 105.36 - 0.00$

$= 105.36$ VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{105.36}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 6.93\mu F$$

ควรเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 5 ขนาด 6.93 – 2.2 – 1.0 – 2.2 – 0.033 = 1.497 μF ดังนั้น เลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณคือ 1.0 μF

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 6 ได้จาก

เนื่องจากไม่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน Relay ตัวที่ 1 – 6 พร้อมกัน จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดความจุน้อยคือ 0.033 μF

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 7 ได้จาก

เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 28 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.50 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.50

$\theta_1 = 60.00$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$\theta_2 = 0.00$

Q_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 28 \times \tan 60$

$= 48.50$ VAr

Q_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 28 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(Q) = Q_1 - Q_2$

$= 48.50 - 0.00$

$= 48.50$ VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{48.50}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 3.19\mu F$$

ควรเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 7 ขนาด 3.19 – 0.033 – 1.0 – 2.2 – 1.0 – 2.2 – 0.033 = -3.276 μF (เนื่องจากตัวเก็บประจุตั้งแต่ตัวที่ 1 – 6 ต่อขนานกัน ทำให้ผลรวมตัวเก็บประจุทั้งหมดเกิน 3.19 จึงไม่จำเป็นต้องใส่ตัวเก็บประจุที่มีขนาดความจุมาก)

ดังนั้น เลือกตัวเก็บประจุที่มีขนาดความจุน้อยคือ 0.033 μF

คำนวณตัวเก็บประจุที่ใช้งานกับ Relay ตัวที่ 8 ได้จาก

เนื่องจากไม่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน Relay ตัวที่ 1 – 8 พร้อมกัน จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดความจุน้อยคือ 0.033 μF

ตารางที่ 3.3 ลำดับการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

Relay ลำดับที่	ขนาดตัวเก็บประจุ	ทนแรงดัน
1	0.033 μF	630 V
2	2.200 μF	250 V
3	1.000 μF	250 V
4	2.200 μF	250 V
5	1.000 μF	250 V
6	0.033 μF	630 V
7	0.033 μF	630 V
8	0.033 μF	630 V

หมายเหตุ: เลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดไมลาร์ (Mylar Capacitor)

3.7 การทำงานของบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

บอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS เป็นบอร์ด OUTPUT แบบ SOLID STATE RELAY ควบคุมปิดเปิดไฟ 220 VAC ขนาดจำนวน 8 OUTPUT โดยสามารถใช้ได้ OUTPUT ละ 10 AMP สามารถต่อเข้าร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย BUS มาตรฐาน 10 PIN

การทำงานของบอร์ดจะเป็นแบบ OPTO ISOLATOR TRIAC DRIVER OUTPUT แยกสัญญาณกันระหว่างบอร์ดและอุปกรณ์ไฟฟ้า 220 VAC โดยเด็ดขาดพร้อมทั้งการทำงานเป็นแบบ ZERO CROSSING เพื่อลดสัญญาณรบกวนในการปิดเปิดการทำงานของ LOAD AC LINE 220V พร้อมกับใช้ HEATSINK ขนาดใหญ่ไว้ระบายความร้อนของ TRIAC พร้อม FUSE แยกอิสระกันในแต่ละ OUTPUT

รูปที่ 3.10 การต่อตัวเก็บประจุเข้ากับบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

3.8 การต่ออุปกรณ์เพื่อใช้งาน

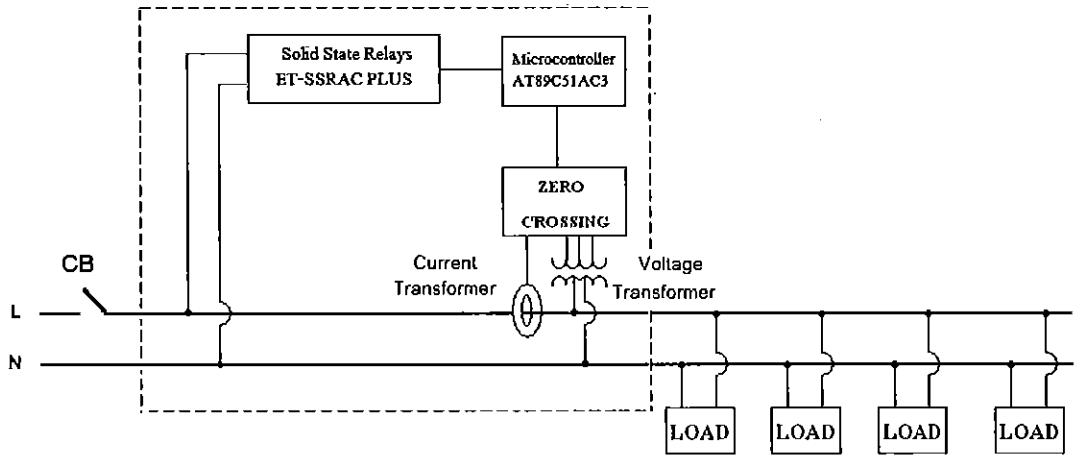
1. ต่อหม้อแปลงขนาด 220/12Vac โดยต่อด้านแรงสูงเข้ากับสายไฟหลักหลังสวิตช์ตัดตอน และต่อด้านแรงต่ำเข้ากับวงจร Zero Crossing ที่ขั้วต่อแบบ 3 ขั้ว

2. คล้อง Current Transformer เข้ากับสายไฟหลัก 1 เส้นแล้วนำสายไฟของ Current Transformer ต่อเข้ากับวงจร Zero Crossing ที่ขั้วต่อแบบ 2 ขั้ว

3. ต่อสายแพรจากขั้ว 10 Pin ของวงจร Zero Crossing เข้ากับ Port P1 ของบอร์ด Microcontroller AT89C51AC3

4. ต่อสายแพรจาก Port P0 ของบอร์ด Microcontroller AT89C51AC3 เข้ากับขั้ว 10 Pin ของบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS

5. ต่อสายไฟ 220 Vac จากขั้วต่อ MAIN แบบ 2 ขั้วของบอร์ด Solid State Relays ET-SSRAC PLUS ขนานเข้ากับสายไฟหลักระหว่างสวิตช์ตัดตอนกับ Current Transformer และหม้อแปลงขนาด 220/12Vac ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อใช้งาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 การทดสอบอุปกรณ์ปรับค่าตัวประกอบกำลัง

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดตามวิธีดำเนินโครงงานแล้ว การทดสอบและบันทึกผลเริ่มจากการทดสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าหนึ่งชนิดแล้วจึงทดสอบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดพร้อมกันดังนี้

รูปที่ 4.1 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็น

ตู้เย็นขนาดกำลังไฟฟ้า 100 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.90 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.90

$$\theta_1 = 25.84$$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$$\theta_2 = 0.00$$

θ_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$$= 100 \times \tan 25.84$$

$$= 48.43 \text{ VAr}$$

θ_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง = $P \times \tan\theta_1$

$= 100 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power (θ) = $\theta_1 - \theta_2$

$= 48.43 - 0.00$

$= 48.43$ VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{48.43}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 3.19\mu F$$

ดังนั้น ควรเลือกตัวเก็บประจุขนาด 3.19 μF กับตู้เย็นขนาด 100 Watt เพื่อปรับค่าตัวประกอบกำลังจาก 0.90 เป็น 1.00

จากการต่อตู้เย็นกับอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองปรากฏว่า Relay ทำงาน 4 ตัว ซึ่งต่อกับตัวเก็บประจุทั้ง 4 ตัวขนานกันมีขนาด 0.033 + 2.2 + 1.0 + 2.2 = 5.433 μF

จากผลการทดลองหลังปรับค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็น ได้ค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.99 Leading

รูปที่ 4.2 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็นและหลอดฟลูออเรสเซนต์

ตู้เย็นเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 128 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.78 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.78

$$\theta_1 = 38.74$$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$$\theta_2 = 0.00$$

θ_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$$= 128 \times \tan 38.74$$

$$= 102.69 \text{ VAr}$$

θ_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$$= 128 \times \tan 0$$

$$= 0.00 \text{ VAr}$$

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(\theta) = \theta_1 - \theta_2$

$$= 102.69 - 0.00$$

$$= 102.69 \text{ VAr}$$

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{102.69}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 6.75\mu F$$

ดังนั้น ควรเลือกตัวเก็บประจุขนาด 6.75 μF กับตู้เย็นเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 128 Watt เพื่อปรับค่าตัวประกอบกำลังจาก 0.78 เป็น 1.00

จากการต่อตู้เย็นเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์กับอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองปรากฏว่า Relay ทำงาน 5 ตัว ซึ่งต่อกับตัวเก็บประจุทั้ง 5 ตัวขนานกันมีขนาด 0.033 + 2.2 + 1.0 +2.2 +1.0 = 6.433 μF

จากผลการทดลองหลังปรับค่าตัวประกอบกำลังของตู้เย็นเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ได้ค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.96 Lagging

รูปที่ 4.3 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของพัดลม หลอดฟลูออเรสเซนต์และตู้เย็น

พัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และตู้เย็นขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 178 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.84 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.84

$$\theta_1 = 32.86$$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$$\theta_2 = 0.00$$

θ_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$$= 178 \times \tan 32.86$$

$$= 114.98 \text{ VAr}$$

θ_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$$= 178 \times \tan 0$$

$$= 0.00 \text{ VAr}$$

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(\theta) = \theta_1 - \theta_2$

$$= 114.98 - 0.00$$

$$= 114.98 \text{ VAr}$$

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{114.98}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 7.56 \mu F$$

ดังนั้น ควรเลือกตัวเก็บประจุขนาด 7.56 μF กับพัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และตู้เย็นขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 178 Watt เพื่อปรับค่าตัวประกอบกำลังจาก 0.84 เป็น 1.00

จากการต่อพัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และตู้เย็นกับอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองปรากฏว่า Relay ทำงาน 5 ตัว ซึ่งต่อกับตัวเก็บประจุทั้ง 5 ตัวขนานกันมีขนาด 0.033 + 2.2 + 1.0 + 2.2 + 1.0 = 6.433 μF

จากผลการทดลองหลังปรับค่าตัวประกอบกำลังของพัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และตู้เย็นได้ค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.95 Lagging

รูปที่ 4.4 การทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของพัดลม หลอดฟลูออเรสเซนต์ ตู้เย็นและโทรทัศน์

พัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตู้เย็นและโทรทัศน์ ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 243 Watt ใช้งานที่แรงดัน 220 Volt ค่า Power Factor = 0.90 ปรับแก้ Power Factor เป็น 1.00 ควรต่อตัวเก็บประจุที่มีขนาด

วิธีคำนวณ

Power Factor ก่อนปรับปรุง = 0.90

$\theta_1 = 25.84$

Power Factor หลังปรับปรุง = 1.00

$\theta_2 = 0.00$

θ_1 (VAr) ที่ค่า Power Factor ก่อนปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 243 \times \tan 25.84$

$= 117.68$ VAr

θ_2 (VAr) ที่ค่า Power Factor หลังปรับปรุง $= P \times \tan\theta_1$

$= 243 \times \tan 0$

$= 0.00$ VAr

ดังนั้น Capacitor Reactive Power $(\theta) = \theta_1 - \theta_2$

$= 117.68 - 0.00$

$= 117.68$ VAr

หาขนาดตัวเก็บประจุได้จาก $Q = \frac{V^2}{X_C} = V^2 \times 2\pi fC$

$$C = \frac{Q}{V^2 \times 2\pi f}$$

$$C = \frac{117.68}{220^2 \times 2\pi \times 50}$$

$$C = 7.74\mu F$$

ดังนั้น ควรเลือกตัวเก็บประจุขนาด 7.74 μF กับพัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตู้เย็นและโทรทัศน์ ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 243 Watt เพื่อปรับค่าตัวประกอบกำลังจาก 0.90 เป็น 1.00

จากการต่อพัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตู้เย็นและโทรทัศน์ กับอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองปรากฏว่า Relay ทำงาน 5 ตัว ซึ่งต่อกับตัวเก็บประจุทั้ง 5 ตัวขนานกันมีขนาด 0.033 + 2.2 + 1.0 + 2.2 + 1.0 = 6.433 μF

จากผลการทดลองหลังปรับค่าตัวประกอบกำลังของพัดลมเปิดใช้งานร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตู้เย็นและโทรทัศน์ได้ค่าตัวประกอบกำลังเป็น 0.96 Lagging

บันทึกค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดก่อนและหลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองปรับค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้า

ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด	ตัวประกอบกำลังก่อนปรับปรุง	ตัวประกอบกำลังหลังปรับปรุง	ขนาดตัวเก็บประจุรวมที่ใช้
พัดลม	0.99 Lagging	0.99 Lagging	0.033 μF
TV	0.99 Lagging	0.99 Lagging	0.033 μF
ตู้เย็น	0.90 Lagging	0.99 Leading	5.433 μF
หลอดไฟ	0.48 Lagging	0.95 Leading	6.499 μF
พัดลม + TV	0.99 Lagging	0.99 Lagging	0.033 μF
พัดลม + หลอดไฟ	0.77 Lagging	0.98 Lagging	6.433 μF
พัดลม + ตู้เย็น	0.93 Lagging	0.99 Lagging	3.233 μF
TV + หลอดไฟ	0.79 Lagging	0.99 Lagging	3.233 μF
TV + ตู้เย็น	0.95 Lagging	0.99 Lagging	3.233 μF
หลอดไฟ + ตู้เย็น	0.78 Lagging	0.96 Lagging	6.433 μF
พัดลม + TV + หลอดไฟ	0.90 Lagging	0.99 Lagging	3.233 μF
พัดลม + TV + ตู้เย็น	0.96 Lagging	0.99 Lagging	2.233 μF
พัดลม + หลอดไฟ + ตู้เย็น	0.84 Lagging	0.95 Lagging	6.433 μF
TV + หลอดไฟ + ตู้เย็น	0.85 Lagging	0.95 Lagging	6.433 μF
TV + หลอดไฟ + ตู้เย็น + พัดลม	0.90 Lagging	0.96 Lagging	5.433 μF

บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดก่อนและหลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 4.2 กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด	กระแสไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	กระแสไฟฟ้าหลังปรับปรุง
พัดลม	0.22 A	0.22 A
TV	0.29 A	0.29 A
ตู้เย็น	0.50 A	0.45 A
หลอดไฟ	0.26 A	0.13 A
พัดลม + TV	0.53 A	0.53 A
พัดลม + หลอดไฟ	0.46 A	0.36 A
พัดลม + ตู้เย็น	0.73 A	0.68 A
TV + หลอดไฟ	0.53 A	0.42 A
TV + ตู้เย็น	0.78 A	0.75 A
หลอดไฟ + ตู้เย็น	0.74 A	0.60 A
พัดลม + TV + หลอดไฟ	0.72 A	0.65 A
พัดลม + TV + ตู้เย็น	1.01 A	0.98 A
พัดลม + หลอดไฟ + ตู้เย็น	0.96 A	0.85 A
TV + หลอดไฟ + ตู้เย็น	1.03 A	0.93 A
TV + หลอดไฟ + ตู้เย็น + พัดลม	1.22 A	1.15 A

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการสรุปผลที่ได้จากการทดลอง พร้อมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ตลอดจนข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงงานนี้ต่อไปให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อต่อตัวเก็บประจุที่เหมาะสมเข้าไปในระบบที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้มีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น เช่น การต่อตัวเก็บประจุขนาด 5.466 μF เข้าไปในระบบที่เปิดใช้งานตู้เย็นกับหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมกัน จะทำให้ตัวประกอบกำลังจาก 0.78 Lagging เพิ่มขึ้นเป็น 0.96 Lagging

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าเหมาะสมเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้นแล้ว สามารถทำให้กระแสที่ไหลผ่านระบบมีค่าลดลงได้ เช่น การต่อตัวเก็บประจุขนาด 5.466 μF เข้าไปในระบบที่เปิดใช้งานตู้เย็นกับหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมกัน จะทำให้กระแสที่ไหลผ่านระบบจากเดิม 0.74 A ลดลงเป็น 0.60 A

จากการสรุปผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อปรับค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟมีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏมีค่าลดลงด้วย จึงทำให้หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้นเพราะกระแสที่ไหลผ่านโหลดมีค่าลดลง

ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังมีดังต่อไปนี้

1. ลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งและขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ลดขนาดสายเมนที่ต่อไปยังโหลด ช่วยให้แหล่งจ่ายสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น
3. เพิ่มความสามารถในการรับโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าและสายไฟ
4. ลดแรงดันตกในสายไฟ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. การเลือกตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทดลองเป็นค่าประมาณที่ควรใช้ในการปรับค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับการทดลองเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นอาจให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังนำหน้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. หากนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริงควรเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับการทดลอง จึงจะทำให้ได้ผลที่ดี

2. หากโครงงานนี้ได้รับการพัฒนา ควรประยุกต์ให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสามารถใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่หลากหลายขึ้น

3. ขนาดสัญญาณของกระแสจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของกระแสที่โหลดใช้งาน โดยที่อัตราขยายของ Operational amplifier ยังเท่าเดิม ทำให้เวลาที่ Time Count นับได้แตกต่างจากโหลดที่ใช้ปริมาณกระแสน้อยในขณะที่ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากัน

4. ควรเพิ่มวงจรหรือโปรแกรมที่สามารถวัดค่าปริมาณกระแสเพื่อประกอบในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังที่ดีขึ้น

5. ควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่สามารถทนแรงดัน peak to peak ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชวลิต ดำรงรัตน์ "การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เล่ม 1", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2538

[2] มงคล ธุระ "วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น 2 (ภาคปฏิบัติ)", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543

[3] มนตรี สุวรรณภิงคาร "เทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง", ธรรมรักษ์การพิมพ์, 2545

[4] ฤทธิ์ ธีระโกเมน "ไฟฟ้ากำลังสำหรับประชาชน/อุตสาหกรรม", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2534

[5] ธนัท ชัยยุทธ "วงจรไฟฟ้า", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2535

[6] นายอดิศร อัปมาเทา "การศึกษาความเหมาะสมในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน" วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2550

[7] EM Group "เทคโนโลยีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า", สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2552 จาก http://www.em-group.co.th/Technology_Power_Factor.html

ภาคผนวก

1. รหัสต้นฉบับ (Source code) ที่ใช้กับบอร์ด Microcontroller AT89C51AC3

```
#include <reg52.h>              // Standard 8052 SFR : File
#include <stdio.h>              // For printf I/O functions

#define ON 0
#define OFF 1

int i,j;
int toggle,toggle_;
int Time_count;

int sck;
sbit Relay1  = P0^0;
sbit Relay2  = P0^1;
sbit Relay3  = P0^2;
sbit Relay4  = P0^3;
sbit Relay5  = P0^4;
sbit Relay6  = P0^5;
sbit Relay7  = P0^6;
sbit Relay8  = P0^7;

sbit Zero_Volt  = P1^1;          // P2^1;
sbit Zero_Amp   = P1^0;          // P2^0;

/* AT89C51AC3 SFR */
sfr CKCON = 0x8F;                // Clock Control

void delay(unsigned long);

/* Timer1 Baudrate (29.4912 MHz x 2 )
```

```
  Reload = 256 - [58.9824 MHz / (384 x Baud)]
  1200  = 0x80(256-128=128)
  2400  = 0xC0(256-94=192)
  4800  = 0xE0(256-32=224)
  9600  = 0xF0(256-16=240)
  19200 = 0xF8(256-8=248)
  38400 = 0xFC(256-4=252)
*/

/*-------------------------------------------
The main C function.  Program execution Here
-------------------------------------------*/

void main (void)
{
   CKCON = 0x01;                  // Initial X2 Mode (58.9824 MHz)

/* Initial MCS51 Serial Port */
   TMOD &= 0x0F;                  // Reset old Timer1 Mode Config
   TMOD |= 0x20;                  // Update Timer1 = 8 Bit Auto Reload
   SCON  = 0x50;                  // Serial Port Mode 1 (N,8,1)
   ES    = 0;                     // Disable Serial Interupt
   ET1   = 0;                     // Disable Timer1 Interrupt
   PCON &= 0x7F;                  // SMOD1 = 0 (Disable Double Baudrate)
   TH1   = 0xF0;                  // Setup Timer1 Baudrate 9600BPS / 58.9824 MHz
   TL1   = 0xF0;
   TR1   = 1;                     // Start Timer1 Generate Baudrate
   TI    = 1;                     // Set TI to send First char of UART
```

```
/* Print Message to RS232 */
printf (" Test POWER FACTOR TIME COUNT  \n");

while (1)                                   // Loop Continue
    {
        if((Zero_Volt == 1))
        {
           toggle          = 1;

        }
        while(toggle)
        {
                Time_count++;
                if(Zero_Amp == 1)
                {
                toggle    = 0;
        while(Zero_Amp==1);
                }else {

                }
        }
        //if(toggle == 1)
        //{
        //      Time_count++;
        //}
        /*
        if((Zero_Volt == 1)&&(toggle_ == 0)&&(Zero_Amp == 0))
        {
           toggle_ = 1;
```

```
                printf (" TIME COUNT = %i \r\n",Time_count);
                Time_count = 0;
                // sck++;
                // if(sck == 1)  Time_count = 0;
                // if(sck >=2) sck = 2;
        }
        */
        if((Zero_Volt == 0)&&(Zero_Amp == 0))
        {
                if(Time_count < 500 )
                {
                        Relay1 = OFF;
                        Relay2 = OFF;
                        Relay3 = OFF;
                        Relay4 = OFF;
                        Relay5 = OFF;
                        Relay6 = OFF;
                        Relay7 = OFF;
                        Relay8 = OFF;
                }
                else if(Time_count < 600 )
                {
                        Relay1 = ON;
                        Relay2 = OFF;
                        Relay3 = OFF;
                        Relay4 = OFF;
                        Relay5 = OFF;
                        Relay6 = OFF;
                        Relay7 = OFF;
```

```
        Relay8 = OFF;
    }else if(Time_count < 700 )
    {
        Relay1 = ON;
        Relay2 = ON;
        Relay3 = OFF;
        Relay4 = OFF;
        Relay5 = OFF;
        Relay6 = OFF;
        Relay7 = OFF;
        Relay8 = OFF;
    }else if(Time_count < 900 )
    {
        Relay1 = ON;
        Relay2 = ON;
        Relay3 = ON;
        Relay4 = OFF;
        Relay5 = OFF;
        Relay6 = OFF;
        Relay7 = OFF;
        Relay8 = OFF;
    }else if(Time_count < 1200 )
    {

        Relay1 = ON;
        Relay2 = ON;
        Relay3 = ON;
        Relay4 = ON;
        Relay5 = OFF;
```

```
                Relay6 = OFF;
                Relay7 = OFF;
                Relay8 = OFF;
        }else if(Time_count < 1500 )
        {
                Relay1 = ON;
                Relay2 = ON;
                Relay3 = ON;
                Relay4 = ON;
                Relay5 = ON;
                Relay6 = OFF;
                Relay7 = OFF;
                Relay8 = OFF;
        }else if(Time_count < 1800 )
        {
                Relay1 = ON;
                Relay2 = ON;
                Relay3 = ON;
                Relay4 = ON;
                Relay5 = ON;
                Relay6 = ON;
                Relay7 = OFF;
                Relay8 = OFF;
        }else if(Time_count < 2100 )
        {
                Relay1 = ON;
                Relay2 = ON;
                Relay3 = ON;
                Relay4 = ON;
```

```
                Relay5 = ON;
                Relay6 = ON;
                Relay7 = ON;
                Relay8 = OFF;
        }else //if(Time_count < 2400 )
        {
                Relay1 = ON;
                Relay2 = ON;
                Relay3 = ON;
                Relay4 = ON;
                Relay5 = ON;
                Relay6 = ON;
                Relay7 = ON;
                Relay8 = ON;
        }
        if( Time_count != 0 )
        {
                printf (" TIME COUNT = %i \r\n",Time_count);
        //      while((Zero_Volt == 0)&&(Zero_Amp == 0));
                Time_count = 0;
        }
}

/*      if(Zero_Amp == 0)
        {
          Time_count++;
          while(Zero_Amp == 0);
```

```
                }
        if(Time_count >= 500) Time_count = 0;
                printf (" TIME COUNT = %i \r\n",Time_count);
    */
```

```
    /*

                Relay8 = OFF;
                Relay1 = ON;
                delay(10000);
                Relay1 = OFF;
                Relay2 = ON;
                delay(10000);
                Relay2 = OFF;
                Relay3 = ON;
                delay(10000);
                Relay3 = OFF;
                Relay4 = ON;
                delay(10000);
                Relay4 = OFF;
                Relay5 = ON;
                delay(10000);
                Relay5 = OFF;
                Relay6 = ON;
                delay(10000);
                Relay6 = OFF;
                Relay7 = ON;
                delay(10000);
                Relay7 = OFF;
```

```
                Relay8 = ON;
                delay(10000);
            */
        };
    }

    void delay(unsigned long i)
    {
     while(i > 0) {i--;}                    // Loop Decrease Counter
     return;
    }
```

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

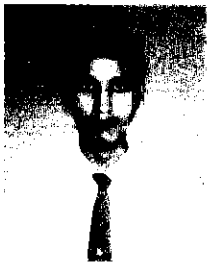
ชื่อ นายศุภกร ตันสุภาวุฒิ

ภูมิลำเนา 58/1 หมู่ 2 ต. ตะเคียนเลื่อน อ. เมือง จ. นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโกรกพระ จังหวัด นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: **piti1140@hotmail.com**



ชื่อ นายอนุชัย จันทร์วงค์

ภูมิลำเนา 66/3 หมู่ 14 ต. พรหมพิราม อ. พรหมพิราม จ. พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจ่านกร้อง จังหวัด พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: **nung_ning_ee@hotmail.com**