ตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟแบบสามเฟส

3-Phase Static VAR Compensator

โดย

นฤดล เพ็ชรนาดี

ปราชญา นวนจ่มตระกูล

ปราณ บัญญวรรณศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๔๘

ตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟแบบสามเฟส

3-Phase Static VAR Compensator

โดย

นฤดล เพ็ชรนาดี

ปราชญา นวแจ่มตระกูล

ปราณ ปัญญวรรณศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-Phase Static VAR Compensator

NARUDOL PETNADEE

PRACHAYA NAWAJAMTRAKUL

PRAN PUNYAWANSIRI

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

ตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟสามเฟส

3-Phase Static VAR Compensator

โดย

นฤดล เพ็ชรนาดี

ปราชญา นวแจ่มตระกูล

ปราณ ปัญญวรรณศิริ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟแบบสามเฟส

ผู้จัดทำ

1. นาย นฤดล เพ็ชรนาดี
2. นาย ปราชญา นวแจ่มตระกูล
3. นาย ปราณ ปัญญวรรณศิริ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟสามเฟส

นาย นฤดล เพ็ชรนาดี
นาย ปราชญา นวแจ่มตระกูล
นาย ปราณ ปัญญวรรณศิริ
รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ
อ.ชัยทัต มณีอินทร์
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปัญหาทางด้านเสถียรภาพและความมั่นคงกับระบบไฟฟ้า ส่งผลถึงการขยายตัวของเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทั้งนี้ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถช่วยรักษาเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาและทดลองตัวชดเชยกำลังรีไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิตในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส โดยใช้วงจรรีแอกเตอร์ควบคุมด้วยไธริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor) ที่มีพิกัดกำลัง 1.5 kVA แรงดัน 220 V และกระแส 3.5 A เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดโหลด และปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายของระบบสามเฟสให้ดีขึ้น ตัวชดเชยนี้สามารถควบคุมปริมาณกำลังรีแอกทีฟ ที่เข้าสู่ระบบได้โดยการปรับมุมจุดชนวนนำกระแสของไทริสเตอร์ ซึ่งในการควบคุมจะรับค่าแรงดันที่ จุดโหลดเพื่อนำไปคำนวณหามุมจุดชนวนนำกระแสของไทริสเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ แล้วนำค่ามุมจุดชนวนที่คำนวณได้ไปสั่งการชุดควบคุมเฟสให้ไทริสเตอร์แต่ละเฟสนำกระแส โดยใช้วงจรบัฟเฟอร์ในการขยายแรงดันแทนวงจร Buck Converter การเพื่อให้การทำงานรวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-phase Static VAR Compensator

Mr. NARUDOL PETNADEE
Mr. PRACHAYA NAWAJAMTRAKUL
Mr. PRAN PUNYAWANSIRI
Mr. Assoc.Prof.Dr. VIJIT KINNARES
Mr. CHAITAT MANEEINN
2013

Abstract

The stability and security of electric power system has affected to develop and expand the economics and industrials of the country. It is necessary to develop a device that can help to maintain the stability and security of the power system. This paper is to study and experiment of 3-phase Static VAR Compensator for power system using Thyristor Control Reactor (TCR) with fixed capacitor rated power 1.5 kVA voltage 220 V and current 3.5 A. The purpose of this project is to maintain load point voltage level and improve the power factor of three-phase power system. The compensator can control the quantity of reactive power flowing into system by adjusting the firing angle of the thyristors. Microcontroller is used for calculating of the firing angle of the thyristors in eash phase, receiving load point voltage, sending calculated firing angle to trig the thyristor in each phase, and using buffer amplifier instead of buck converter to make the circuit faster.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ และอ.ชัยทัต มณีอินทร์พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงคุณปุณยวีร์ ฉายศิริ ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอดและได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกกำลังและควบคุมเครื่องจักร (EMC) ทุกคนที่ช่วยแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอดนอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงงาน

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูปภาพ	vii
สารบัญตาราง	xi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.4 วิธีการดำเนินงาน	4
1.5 แผนการดำเนินงาน	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาในปริญญานิพนธ์	6
บทที่ 2 หลักการของการชดเชยกำลังรีแอกทีฟ	7
2.1 ทฤษฎีและหลักการของการลดลงของแรงดันที่โหลด	7
2.2 ทฤษฎีและหลักการปรับปรุงค่าตัวประกอบ	8
2.2.1 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง	9
2.3 การใช้งานตัวชดเชยโหลด (Compensator)	11
2.3.1 คุณสมบัติของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิต	12
2.4 ของตัวชดเชยแบบรีแอกเตอร์ด้วยไธริสเตอร์	13
2.4.1 หลักการทำงาน	13
2.4.2 ลักษณะแรงดัน / กระแส	17
2.5 การควบคุม	18
2.5.1 การควบคุมแบบวงเปิด	19
2.5.1 ความเร็วในการตอบสนอง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 การควบคุมเฟสที่เป็นอิสระ	20
2.6 ผลการตอบสนองของศักดาเกินและศักดาต่ำ	20
2.7 กำลังสูญเสีย	20
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลอง	21
3.1 บทนำ	21
3.2 ตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ	21
3.2.1 การออกแบบขนาดของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	21
3.2.2 การควบคุม	23
3.3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	23
3.3.1 การจำลองแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส	25
3.3.2 การจำลองตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ	25
3.3.3 การจำลองโหลดไฟฟ้า	26
3.4 การออกแบบวงจรตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟแบบสามเฟส	27
3.4.1การออกแบบวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing detector circuit)	27
3.4.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	28
3.4.3 การออกแบบวงจรขับเกต	29
3.4.4 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า	30
3.4.5 การออกแบบวงจรไตรแอคและวงจรสนับเบอร์	31
3.4.6 ออกแบบตัวเหนี่ยวนำจำลองค่าแอมพิแดนซ์ของสายส่ง	32
3.4.7 ขดลวดตัวเหนี่ยวนำของตัวชดเชย	33
3.4.8 ตัวเก็บประจุของตัวชดเชย	34
3.4.9 ออกแบบโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	35
บทที่ 4 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ	36
4.1 บทนำ	36
4.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ระดับไฟฟ้า 1 เฟส	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส	38
4.3.1 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ที่แรงดัน 170 V	38
4.3.2 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ที่แรงดัน 190 V	40
4.3.3 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ที่แรงดัน 220 V	42
4.4 การทดสอบผลกระทบการเปลี่ยนแปลงมุมชนวน	44
4.5 การศึกษาค่าตัวประกอบกำลังของแหล่งจ่าย	48
4.6 การศึกษาค่าฮาร์มอนิกส์	51
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	54
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก รหัสการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	57
ภาคผนวก ข คู่มืออุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบในเครื่องต้นแบบ	62
ภาคผนวก ค เครื่องมืออุปกรณ์การวัด	83
ภาคผนวก ง บทความวิชาการ	87
ประวัติผู้เขียน	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 อุปกรณ์สวิตช์จำพวกไทริสเตอร์ (Thyristors) รูปแบบต่างๆ	2
1.2 โครงสร้างของวงจรรีแอกเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor)	3
2.1 แสดงแผนภาพเฟสเซอร์ของการเกิดแรงดันและกระแส	7
2.2 ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิตในทางอุดมคติ	12
2.3 ตัวชดเชยแบบสถิตประเภทต่าง	13
2.4 รีแอกเตอร์ควบคุมด้วยไธริสเตอร์ (thyristor-controlled reactor)	14
2.5 รูปคลื่นกระแสเฟส (phase) เมื่อต่อตัวชดเชยแบบรีแอกเตอร์ควบคุมด้วยไธริสเตอร์ กระแสขณะใดๆ (i) จะเป็น	14
2.6 กราฟลักษณะแรงดัน/กระแสหลักมูลในตัวชดเชยแบบรีแอกเตอร์ควบคุมด้วยไธริสเตอร์	18
2.7 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม	18
3.1 วงจรภาคกำลังของตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ	21
3.2 ทิศทางการไหลของกำลังรีแอกทีฟ 1 เฟส	22
3.3 flow chart กระบวนการการทำงานของตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ	23
3.4 วงจรภาคจำลองทางคอมพิวเตอร์ภาคกำลัง	24
3.5 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ภาคควบคุม	24
3.6 บล็อกการจำลองทางคอมพิวเตอร์ของมุมจุดชนวน	24
3.7 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ของแหล่งจ่าย	25
3.8 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ตัวชดเชย	25
3.9 จำลองทางคอมพิวเตอร์ของวงจรโหลด	26
3.10 รูป Schematic ของวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing)	27
3.11 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing)	27
3.12 Schematic ของวงจรไมโครคอนโทรเลอร์	28
3.13 วงจรไมโครคอนโทรเลอร์	28
3.14 รูป Schematic ของวงจรขับเกต	29
3.15 วงจรขับเกต	29
3.16 รูป Schematic ของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 วงจรตรวจจับแรงดัน	30
3.18 รูป Schematic ของวงจรไตรแอคและสนับเบอร์	31
3.19 วงจรไตรแอคและสนับเบอร์	31
3.20 รูป Schematic ของขดลวดจำลองตัวเหนี่ยวนำสายส่งในวงจรกำลัง	32
3.21 ขดลวดจำลองตัวเหนี่ยวนำสายส่ง	32
3.22 รูป Schematic ขดลวดเหนี่ยวนำของตัวชดเชยในวงจรกำลัง	33
3.23 ขดลวดตัวเหนี่ยวนำของตัวชดเชย	33
3.24 รูป Schematic ตัวเก็บประจุของตัวชดเชยในวงจรกำลัง	34
3.25 ตัวเก็บประจุของตัวชดเชยในวงจรกำลัง	34
3.26 โหลดสามเฟส	35
4.1 รูปวงจร Schematic ของเครื่องต้นแบบชุดขดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟหนึ่งเฟส	37
4.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ	37
4.3 รูป Schematic วงจรเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสามเฟส	38
4.4 กราฟผลการทดลองการชดเชยแรงดันที่โหลด ที่แรงดัน 170 V (ก) เฟส AB, (ข) เฟส BC, (ค) เฟส CA	39
4.5 กราฟค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 170 V	40
4.6 กราฟเปอร์เซ็นความผิดเพี้ยนของกระแส ที่แรงดัน 170 V	40
4.7 กราฟผลการทดลองการชดเชยแรงดันที่โหลด ที่แรงดัน 190 V (ก) เฟส AB, (ข) เฟส BC, (ค) เฟส CA	41
4.8 กราฟค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 190 V	42
4.9 กราฟเปอร์เซ็นความผิดเพี้ยนของกระแส ที่แรงดัน 190 V	42
4.10 กราฟผลการทดลองการชดเชยแรงดันที่โหลด ที่แรงดัน 220 V (ก) เฟส AB, (ข) เฟส BC, (ค) เฟส CA	43
4.11 กราฟค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 220 V	44
4.12 กราฟเปอร์เซ็นความผิดเพี้ยนของกระแส ที่แรงดัน 220 V	44
4.13 ผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α=120°	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่างแรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α = 120°	45
4.15 ผลการจำลองรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่ไตรแอคและรูปคลื่นกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α=135°	46
4.16 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่ไตรแอคและรูปคลื่นกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α =135°	46
4.17 ผลการจำลองรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่ไตรแอคและแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α = 150°	47
4.18 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่ไตรแอคและแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α =150°	47
4.19 รูปเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่แหล่งจ่าย ที่ค่าแรงดันพิกัด 170 V (ก) เฟส a (ข) เฟส b (ค) เฟส c	48
4.20 รูปเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่แหล่งจ่าย ที่ค่าแรงดันพิกัด 190 V (ก) เฟส a (ข) เฟส b (ค) เฟส c	49
4.21 รูปเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่แหล่งจ่าย ที่ค่าแรงดันพิกัด 220 V (ก) เฟส a (ข) เฟส b (ค) เฟส c	50
4.22 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ No-load	51
4.23 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ 300 VA	51
4.24 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ 500 VA	52
4.25 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ 800 VA	52
4.26 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ 1000 VA	53
4.27 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ 1200 VA	53
ค - 1 Multi-Meter: SANWA	84
ค – 2 Oscilloscope: YOKOGAWA DL 1620	84
ค – 3 Oscilloscope Probe: YOKOGAWA MODEL 700978 50MΩx100	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค – 4 Differential Probe: YOKOGAWA MODEL 700925	85
ค – 5 Current Probe: Fluke	86
ค – 6 Fluke 43B	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงงาน	4
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส	25
3.2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ (Static VAR Compensator : SVC) แบบ 3 เฟส	25
3.3 ค่าพารามิเตอร์ของโหลดไฟฟ้า 3 เฟส	26
4.1 ตารางแสดงผลการรักษาแรงดันและค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 170 V	38
4.2 ตารางแสดงผลการรักษาแรงดันและค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 190 V	40
4.3 ตารางแสดงผลการรักษาแรงดันและค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 220 V	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้ากำลังได้แก่ ส่วนการผลิตไฟฟ้า(Generation System) ส่วนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Transmission System) และระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า(Distribution system) และส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า(Consumer) โดยส่วนประกอบเหล่านี้ถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันอยู่ สำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งกำลังไฟฟ้าจากส่วนการผลิตไฟฟ้าไปยังโหลดซึ่งโหลดของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านี้จะพิจารณาในลักษณะของกลุ่มโหลดที่ต่ออยู่กับสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation)ปลายทาง ระยะทางของระบบส่งจ่ายยาวหลายร้อยกิโลเมตรซึ่งจะดำเนินการส่งจ่ายด้วยระบบแรงดันสูง115 kV, 230 kV และ500 kVเพื่อลดความสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในสายส่งในส่วนของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเป็นระบบที่จ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านระบบสายป้อนที่มีระดับแรงดันตั้งแต่3-34 kV สายป้อนนี้ถูกต่อออกมาจากสถานีไฟฟ้าย่อย โดยสถานีไฟฟ้าย่อยจะเป็นที่รวบรวมและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับส่วนผู้ใช้ไฟฟ้า

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างมากเนื่องจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม และการขยายตัวภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีอัตราการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง พลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ในแง่ของการสร้างความสะดวกสบายใช้เป็นพลังงานหลักในการขับเคลื่อนเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ จึงมิอาจปฏิเสธได้ว่าพลังงานไฟฟ้าได้เป็นสิ่งจำเป็นของประเทศ ส่งผลให้ภาครัฐจำเป็นต้องเพิ่มกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า และจะต้องพยายามรักษาเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีความมั่นคงและมีมาตรฐาน เนื่องจากปัจจุบันปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ส่งผลต่อทั้งด้าน ผู้ใช้ไฟฟ้าและ ผู้ผลิตไฟฟ้า หรือการไฟฟ้า นั้นสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยๆได้ดังนี้

- ปัญหาแรงดันตกที่ ปลายทางหรือจุดโหลดอันเนื่องมาจาก แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นอยู่ห่างไกลกับจุดโหลด ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่สายส่ง หรือเกิดการสูญเสียในสายส่ง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางหรือจุดโหลด นั้นมีขนาดลดลงจากเดิม ซึ่งส่งผลกระทบ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานในย่านขนาดแรงดันที่ผิดปกติ ซึ่งอาจจะนำมาสู่การชำรุดและเสียหายของอุปกรณ์
- ปัญหาเสถียรภาพของระบบ เมื่อมีการใช้โหลดมากขึ้นส่งผลให้ขนาดกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามายังปลายทางจุดโหลดนั้นมี ขนาดมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียที่สายส่งมากยิ่งขึ้น แรงดันที่จุดโหลดก็จะยิ่งมีขนาดลดลง ซึ่งหากลดลงจนถึงจุดพังทลายจะทำให้แรงดันในระบบขาดเสถียรภาพ ทำให้เกิดไฟฟ้าดับตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาทางด้านอุตสาหกรรม เมื่อแรงดันที่จุดโหลดนั้นขนาดต่ำกว่าค่าปกติและความต้องการไฟฟ้าที่อุตสาหกรรมนั้นมีค่าที่สูงมาก โดยเหตุผลข้างต้นนี้ อุตสาหกรรมนั้นมีความเป็นไปด้านที่เกิดการเสียเสถียรภาพทางไฟฟ้า หากไม่มีการปรับแก้ ซึ่งจะทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องเกิดการหยุดทำงาน หรือการผลิตได้ต่ำกว่าที่ควร
- ปัญหาทางด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องมาจากการส่งพลังงานไฟฟ้าไปที่ระยะไกล จำเป็นต้องใช้การจ่ายไฟฟ้าด้วยขนาดแรงดันสูง ซึ่งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงนั้นมีราคาที่สูงมาก

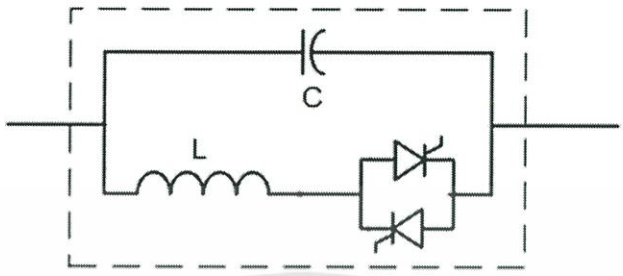
นอกจากนี้ในปัจจุบันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีการขยายตัวและซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากการพัฒนาทั้งทางด้านเศรษฐกิจและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น เป็นเหตุให้มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยตามไปด้วย สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาด้านเสถียรภาพและความมั่นคงกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เช่น แรงดันตกของระบบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของโหลด อย่างไรก็ตามในปัจจุบันด้วยการพัฒนาของเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำทำให้การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในปริมาณสูงระดับหลายร้อยเมกกะวัตต์ สามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์สวิตช์จำพวกไทริสเตอร์ (Thyristors) หรือจีทีโอ(Gate Turn-Off Thyristors;GTO) อุปกรณ์เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบส่งจ่ายพลังไฟฟ้าเพื่อแก้ปัญหาทางด้านเสถียรภาพและความมั่นคงได้อีกด้วย อุปกรณ์นี้ เรียกว่าระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ายืดหยุ่นได้(Flexible AC Transmission System devices: FACTS)

รูปที่ 1.1 อุปกรณ์สวิตช์จำพวกไทริสเตอร์ (Thyristors) รูปแบบต่างๆ

ตัวชดเชยกำลังแอคทีฟแบบสามเฟส เป็นหนึ่งในอุปกรณ์จำพวกของกำลังแอคทีฟตอบสนองเร็วในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ได้ดำเนินการศึกษาและจำลองการทำงานของ ตัวชดเชยกำลังแอคทีฟแบบสามเฟสการศึกษานี้จะพิจารณาการควบคุมการทำงานของตัวชดเชยกำลังแอคทีฟแบบสามเฟสโดยใช้วงจรแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor)ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.2 โดยตัวเก็บประจุจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าแอคทีฟได้เพียงพอกับความต้องการของโหลด และชุดแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ จะครอบคลุมถึงค่าความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของตัวเก็บประจุ (Q_c)กับค่า กำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอคทีฟที่โหลดรับเข้าไปจริง $[Q_{load}(t)]$ ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ $[Q_c - q_{load}(t)]$จะไหลเวียนระหว่างตัวเก็บประจุกับแอคเตอร์(X_L)



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของวงจรแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor)

ในการควบคุมให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟตามที่โหลดต้องการจะใช้การควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (inductor,L) ให้ได้ค่าที่ทำให้กำลังไฟฟ้าแอคทีฟรวมของตัวชดเชยมีค่าเท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของโหลด ในการควบคุมกระแสดังกล่าวนี้จะควบคุมจากมุมจุดฉนวนไทริสเตอร์ซึ่งมีมุมนำกระแสของไทริสเตอร์เปลี่ยนไปจะทำให้ค่า rms ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนไป เสมือนกับเป็นแอคเตอร์ที่ควบคุมค่าแอคแตนซ์ได้ ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าแอคทีฟของระบบโดยการควบคุมมุมจุดฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อรักษาขนาดแรงดันที่โหลดให้คงที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลด โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าแอคทีฟเข้าสู่ระบบเพื่อทดแทนการสูญเสียในสายส่ง

1.2.2เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง (Unity Power Factor) มากขึ้น

1.2.3 เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบ ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบสามเฟส โดยใช้วงจรแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor)

1.3.2 พัฒนาแบบจำลองของ ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบสามเฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink

1.3.3 รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของโหลดที่พิกัด 1.5 kVA และปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

1.3.4 ทดสอบผลด้วยการจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของโหลด

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานของไทริสเตอร์

1.4.2 ศึกษาหลักการทำงานของตัวชดเชยกำลังแอคทีฟแบบสามเฟส

1.4.3 ออกแบบและวิเคราะห์ ชุดชดเชยกำลังแอคทีฟแบบสามเฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink

1.4.4 สร้างแบบจำลองและทดลอง ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบสามเฟส ที่ได้ทำการออกแบบ

1.4.5 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่1.1แผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.กำหนดหัวข้อ วัตถประสงค์ ขอบเขตการวิจัย										
2. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเบื้องต้น, ศึกษาการทำงานของวงจรชดเชยกำลังรีแอคทีฟ, ศึกษาการควบคุมวงจรแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์										
3.ออกแบบและจำลองวงจรตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟทางคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม Matlab/Simulink										
4.สร้างเครื่องต้นแบบตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ										
5. สร้างแบบจำลองและทดลอง ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ										
6.สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง										
7.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และนำเสนอ										

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบสามเฟส สามารถรักษาขนาดแรงดันที่โหลดให้คงที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลด โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าแอคทีฟเข้าสู่ระบบ เพื่อทดแทนการสูญเสียในสายส่ง

1.6.2 สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง (Unity Power Factor)

1.6.3 สามารถเพิ่มเสถียรภาพให้แก้ระบบไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาในปริญญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจำแนกได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา, วัตถุประสงค์ของงานวิจัย, ขอบเขตของงานวิจัย, วิธีการดำเนินงาน, แผนการดำเนินงาน, ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่างถึงที่เกี่ยวข้องกับการชดเชยแรงดัน, ทฤษฎีของตัวชดเชยโหลด, ทฤษฎีของตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor-Controlled Reactor, TCR)

บทที่ 3 การออกแบบและผลการจำลอง กล่าวถึงการจำลองทางคอมพิวเตอร์ และการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับยืนยันผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ กล่าวถึงผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ และผลการทดลอง

บทที 5 สรุปผล ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา กล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า และการดำเนินจัดทำโครงงาน สรุปผลการทดลองที่ได้ รวมไปถึงข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

ภาคผนวก ประกอบไปด้วย รายการอุปกรณ์ที่ใช้ ข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ บทความทางวิชาการและโปสเตอร์นำเสนอผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการของการลดลงของแรงดันที่โหลด

ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายสู่โหลดโดยสายส่งตัวนำซึ่งภายในสายส่งจะมีค่าความต้านทาน(R: Resistance) และค่าความเหนี่ยวนำ (L: Inductance) โดยค่าความต้านทานเชิงซ้อน (Z: Impedance) ของสายส่ง จะสามารถหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$X_L = \omega L \tag{2.1}$$

$$Z = R + jX_L \tag{2.2}$$

โดยจากสมการที่ 2.2 สามารถนำไปหาค่าแรงดันตกคร่อมที่สายส่งซึ่งทำให้แรงดันที่แหล่งจ่ายกับโหลดมีค่าขนาดไม่เท่ากัน นอกจากนี้เมื่อมีการเพิ่มโหลดทำให้กระแสมีค่าสูงขึ้นไปด้วย โดยจะส่งผลให้แรงดันตกคร่อมที่สายส่งมีค่ามากยิ่งขึ้น และแรงดันที่โหลดมีค่าลดลง โดยสามารถได้ดังรูปและสมการต่อไปนี้

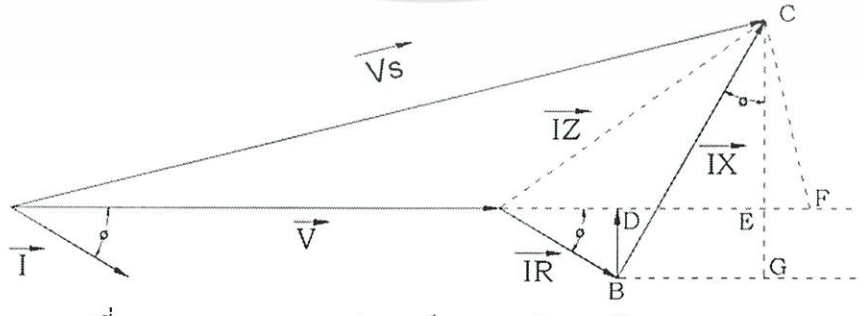
$$|S| = I_l^2 Z_l \tag{2.3}$$

$$I_s = I_l \tag{2.4}$$

$$V_{drop} = I_s Z_{line} \tag{2.3}$$

$$V_{load} = V_{source} - V_{drop} \tag{2.4}$$

โดยจากสมการที่ 2.4 สามารถอธิบายเพิ่มเติมโดยใช้เฟสเซอร์(Phasor diagram) ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพเฟสเซอร์ของการเกิดแรงดันตกและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 ทำให้สามารถอธิบายและจำแนกองค์ประกอบของแรงดันตก (V_{drop}) ได้ดังนี้

$$\overrightarrow{V}_{drop} = \vec{I}(R + jX_L) \quad (2.5)$$

จะพบว่าการที่แรงดันที่โหลดมีค่าลดลง จะขึ้นอยู่ความต้องการของโหลด และค่าอิมพิแดนซ์ของสายส่ง โดยพิจารณาที่ค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายคงที่ซึ่งไม่ใช่ผลดีกับผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ผลิตโดยในด้านผู้ใช้ไฟฟ้าการเกิดแรงดันตก นั้นส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าและอุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้า ส่วนผู้ผลิตนั้นการเกิดแรงดันตก อาจจะนำมาสู่การขาดเสถียรภาพทางแรงดัน

โหลดทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏนั้นก็มีค่าสูงขึ้นไปด้วย และส่งผลแรงดันที่โหลดในลำดับต่อมา ซึ่งเพื่อเป็นการป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ ทางการไฟฟ้าจึงออกกฎข้อบังคับให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารักษาระดับแรงดันภายในขีดจำกัดที่กำหนด (ขีดจำกัดมีค่าประมาณ ± 5% ของแรงดันมาตรฐาน) การเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันลดลง และเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ป้องกัน (Protective equipment) ด้วยเหตุดังกล่าวจำเป็นต้องมีการนำอุปกรณ์มาแก้ไขการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โดยวิธีที่เด่นชัดที่สุดในการแก้ไขการเปลี่ยนแปลงแรงดันนั้น ก็คือทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมั่นคงขึ้นโดยการเพิ่มขนาดและจำนวนของหน่วยผลิตไฟฟ้า (generation unit) หรือมีระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่อกันให้หนาแน่นเพิ่มมากขึ้น แต่วิธีดังกล่าวนั้นเป็นวิธีที่ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และอาจนำไปสู่ปัญหาเกี่ยวกับระดับฟอลต์ที่รุนแรง (high fault level) และพิกัดของสวิตช์เกียร์ (Switchgear rating) ที่ต้องสูงขึ้น จึงแก้ไขหรับปรุงที่จุดโหลดแทน เพื่อให้คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และไม่เพิ่มระดับฟอลต์ โดยการเพิ่มระบบควบคุมไฟฟ้ากำลังตามค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด และควบคุมจัดการกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ด้วยตัวชดเชยและอุปกรณ์อื่นที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรีแอคทีฟได้

2.2 ทฤษฎีและหลักการปรับปรุงค่าตัวประกอบ

กำลังไฟฟ้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

- กำลังไฟฟ้าจริง (P : Real Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง สามารถแปลงรูปไปอยู่ในประเภทอื่นๆได้ เช่น ความร้อน แสง กำลังทางกล มีหน่วยเป็น วัตต์(Watt)
- `กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q : Reactive Power) เป็นกำลังที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องอาศัยสนามแม่เหล็กในการทำงาน เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ โหลดจำพวกตัวเหนี่ยว มีหน่วยเป็น วาร์ (Var)
- กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power)เป็นรวมทางเฟสเซอร์ของกำลังงานจริงกับกำลังงานปรากฏ มีหน่วยเป็น โวลท์แอมป์ (VA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$kVA = \sqrt{(kW)^2 + (kVAR)^2} \quad (2.8)$$

ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) คำนวณได้จากสูตร

$$\cos\emptyset = \frac{kW}{\sqrt{(kW)^2+(kVAR)^2}} \quad (2.9)$$

เนื่องจากโหลดในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีตัวประกอบกำลังตามหลัง (lagging) กล่าวคือจะรับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ดังนั้นกระแสโหลดจะมีค่ามากขึ้นกว่าที่ต้องการกำลังไฟฟ้าจริงจากแหล่งจ่ายเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้นที่ใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ส่วนกระแสโหลดส่วนเกินจะเป็นส่วนที่สูญเปล่า ซึ่งไม่เพียงแต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้สายที่มีขนาดใหญ่แต่ยังเกิดความสูญเสียในรูปพลังงานความร้อนที่สายอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเพิ่มเติมจากการจ่ายไฟของการไฟฟ้า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการที่ (2.9) แล้วจะพบว่าเมื่อมีการใช้กำลังรีแอคทีฟจาการไฟฟ้าลดลงจะทำค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟก็คือตัวเก็บประจุ (Capacitor) ซึ่งตัวของมันเองต้องการกำลังไฟฟ้าจริง (kW) เป็นจำนวนน้อยมากโดยจะทำการควบคุมให้ตัวเก็บประจุจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟใกล้เคียงกับที่โหลดต้องการจนทำให้ค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 (unity power factor)

2.2.1 ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

1. ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้สูงขึ้นแล้ว จะทำให้กระแสของระบบลดลง นั้นคือกำลังไฟฟ้าปรากฏของโหลดรวมลดลง ทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้น

2. แรงดันไฟฟ้าของระบบดีขึ้น จากสูตรแรงดันตกระหว่างสาย (ΔV) ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส จากสมการ

$$\Delta V = \sqrt{3}I(R\cos\emptyset + X\sin\emptyset) \quad (2.10)$$

โดยที่ I = กระแสสาย (line current) [A]

R = ความต้านทาน (resistance) [Ω]

X = แอคแตนซ์ (reactance) [Ω]

$\emptyset$ = มุมกำลัง (power angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น ทำให้กระแสลดลง และมุมกำลัง (ø) ลดลง ส่งผลให้แรงดันตกระหว่างสายน้อยลง

3. แรงดันตกในหม้อแปลงลดลง

จากสูตร $$\%V = \frac{\text{Rated kVar}_{\text{Cap}} \times \%\text{Uk}_{\text{Tr}}}{\text{Rated kVA}_{\text{Tr}}} \quad (2.11)$$

เมื่อค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (%V) เพิ่มขึ้น

4. กำลังสูญเสียในระบบลดลง เนื่องจากกำลังสูญเสียในสายตัวนำไฟฟ้าของระบบเป็นสัดส่วนกับกำลังสองจองกระแส เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นจะทำให้กระแสลดลงดังนั้นกำลังสูญเสียจึงเป็นส่วนกลับกับค่าตัวประกอบกำลังกำลังสอง

$$\%Power\ Loss = \left|\frac{P.F.1}{P.F.2}\right|^2 \times 100\% \quad (2.12)$$

$$\%\Delta Power\ Loss = \left(1 - \left|\frac{P.F.1}{P.F.2}\right|^2\right) \times 100\% \quad (2.13)$$

$$(Power\ Loss2) = (Power\ Loss1) \times \left(1 - \left|\frac{P.F.1}{P.F.2}\right|^2\right) \quad (2.14)$$

เมื่อ P.F.1 = ค่าตัวประกอบกำลังก่อนทำการปรับปรุง

P.F.2 = ค่าตัวประกอบกำลังหลังทำการปรับปรุง

Power Loss1 = กำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนทำการปรับปรุง

Power Loss2 = กำลังไฟฟ้าสูญเสียหลังทำการปรับปรุง

ระบบ 3 เฟส กำลังสูญเสียในสายไฟฟ้า = $3I^2R$

ดังนั้นเมื่อกระแสลดลงทำให้กำลังสูญเสียในสายลดลงด้วย

5. กำลังสูญเสียในหม้อแปลงลดลง กำลังสูญเสียในหม้อแปลงประกอบด้วยสองส่วน คือกำลังสูญเสียในแกนเหล็กและกำลังสูญเสียในขดลวดทองแดง ซึ่งกำลังสูญเสียในลวดทองแดงนี้จะแปรผันตามกระแสกำลังสอง เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นแล้ว กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะลดลง ทำให้กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานในขดลวดของทองแดงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การใช้งานตัวชดเชยโหลด(Compensator)

อุปกรณ์ชดเชยสำหรับควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าที่สามารถควบคุมการไหลทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับโหลดไฟฟ้าและสายส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าประกอบด้วยตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ (Static Var Compensator) ต่อขนานเข้ากับโหลดโดยทั่วไปแล้วจะถูกใช้ควบคุมแรงดันที่เฟสและกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของระบบที่ชุดตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟนั้นต่ออยู่ อุปกรณ์ชนิดนี้อาจมองว่าเป็นอิมพีแดนซ์หรือแหล่งจ่ายที่เปลี่ยนแปลงค่าได้หรือบางครั้งอาจเป็นทั้งสองอย่างพร้อมกันหลักการทั่วไปของอุปกรณ์จำพวกตัวควบคุมแบบขนานทั้งหมดจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรักษาระดับแรงดันรอบๆจุดที่เชื่อมต่อโดยอาศัยหลักการฉีดหรือดึงกระแสไฟฟ้ารีแอคทีฟเพียงอย่างเดียวแต่ในบางกรณีอาจต้องการทั้งกระแสไฟฟ้ารีแอคทีฟและกระแสจริงเพื่อผลของการควบคุมแรงดันที่ดีขึ้นและเพื่อลดการแกว่งของแรงดัน(Damping of Voltage Oscillations) ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบคงที่ (Static Var Compensator: SVC) ประกอบด้วยตัวแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor: TCR)ต่อขนานกับคาปาซิเตอร์ที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor: FC) หรืออาจต่อขนานกับคาปาซิเตอร์สวิตช์ด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Switch Capacitor: TSC) หลักการควบคุมของตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าดังรายละเอียดในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต (Static VAR Compensator) จะใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับตัวเหนี่ยวนำ มักใช้ปรับปรุงโหลดที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเปลี่ยนแปลงขึ้นลงโดยมีวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้า ดังนี้

1. ใช้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่
- ใช้ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆอันเนื่องจากการเปลี่ยนโหลด
- ใช้ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากเหตุการณ์ที่ไม่คาดว่าจะเกิดขึ้น เช่น การตัดโหลดออกไป แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงของแหล่งกำเนิด (generator) และในสายส่ง
- ใช้ลดการกระตุกของแรงดัน (voltage flicker) อันเนื่องมาจากโหลดที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว

2. ใช้เพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้า
- ใช้ช่วยจ่ายแรงดันไฟฟ้าเสริมเข้าไปที่จุดกลางของสายส่ง
- ช่วยปรับปรุงการแกว่งแบบมีการหน่วง (swing damping)

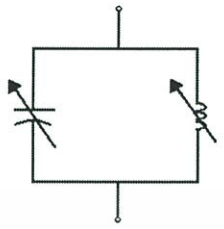
3.ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

4.การทำเฟสให้สมดุล

5. อื่นๆ เช่น
- การควบคุมแรงดันกระแสสลับที่ขั้วของตัวแปลงกระแสตรงแรงดันสูง (HVDC converter)
- การลดการสูญเสียในสายส่งที่ออกมาจากหน่วยกำเนิดไฟฟ้าระยะใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การกำจัดเรโซแนนซ์ของสับซิงโครนัส (subsynchronous)
- การกำจัดแรงดันเกินแบบพลวัติ (dynamic overvoltage)



รูปที่ 2.2 ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิตในทางอุดมคติ

2.3.1 คุณสมบัติของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต (Static VAR Compensator) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการหน่วงเวลาการตอบสนอง และยังสามารถขยายช่วงการชดเชยได้อีกด้วย (ขยายช่วงตามหลัง (lagging) และนำหน้า (leading))

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวชดเชยแบบสถิต คือ ความสามารถในการรักษาให้แรงดันที่ขั้ว (terminal voltage) คงที่ตลอดช่วงการปรับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของระบบไฟฟ้ากำลังคุณสมบัติในการรักษาแรงดันให้คงที่นี้เป็นความจำเป็นอันแรกของตัวชดเชยขนานแบบพลวัต (dynamic shunt compensator) และมีความสำคัญในการลดการกระตุก (flicker) และการแกว่งของแรงดันที่เกิดจากโหลดที่เปลี่ยนแปลง

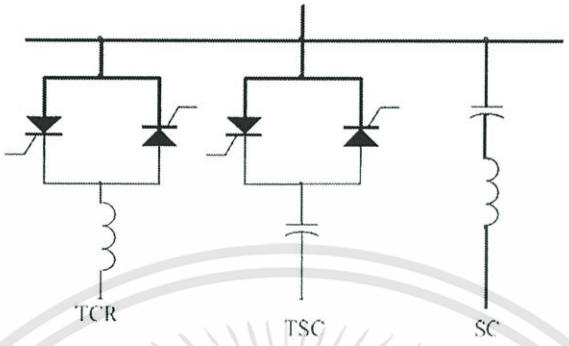
คุณสมบัติที่สำคัญข้อที่สองคือความเร็วในการตอบสนอง ซึ่งตัวชดเชยจะต้องสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้รวดเร็วเพียงพอเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ขั้ว (terminal voltage) แม้จะเปลี่ยนเพียงเล็กน้อยก็ตามแต่อาจไม่จำเป็นที่จะต้องตอบสนองได้รวดเร็วต่อทุกระบบ เช่น ในระบบสายส่งซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นที่มีผลต่อเสถียรภาพของระบบด้วย ซึ่งไม่มีจุดที่ชี้ชัดลงไปว่าตัวชดเชยแต่ละแบบจะมีการตอบสนองที่เร็วที่สุดที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎีเท่าใด ในการปรับปรุงค่าโหลด การกระตุก (flicker) จะลดลงได้เมื่อตัวชดเชยตอบเสนอรวดเร็วที่สุดเท่านั้น

ลักษณะการควบคุมส่วนใหญ่จะมีความชันเป็นบวกเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเสถียรภาพของจุดปฏิบัติงาน กระแสรีแอคทีฟจะถูกจำกัดในทั้งแบบมุมนำ (leading) และมุมตาม (lagging)ด้วยองค์ประกอบที่ใช้ในการออกแบบตัวชดเชย และหลักในการปฏิบัติงานของมัน แม้ว่ากราฟคุณลักษณะของมันจะเบนออกจากเส้นตรงซึ่งทำให้ไม่ต่อเนื่องโดยค่าความชันของกราฟจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสกับแรงดัน

ทฤษฎีหลายอย่างถูกนำมาใช้ในการออกแบบตัวชดเชยแบบสถิต ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของตัวชดเชยได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (the thyristor-controlled reactor ,TCR)
2. แบบไทริสเตอร์ตัดต่อตัวเก็บประจุ (the thyristor-switched capacitor ,TSC)
3. แบบแอคเตอร์อิ่มตัว (the saturated reactor ,SR)



(ก) (ข) (ค)

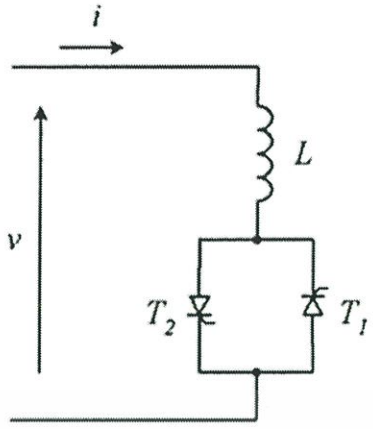
รูปที่ 2.3 ตัวชดเชยแบบสถิตประเภทต่าง
(ก) ตัวชดเชยแบบแอคเตอร์ควบคุมไทริสเตอร์
(ข) ตัวชดเชยแบบไทริสเตอร์ตัดต่อตัวเก็บประจุ
(ค) ตัวชดเชยแบบแอคเตอร์อิ่มตัว

2.4 ของตัวชดเชยแบบแอคเตอร์ด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor-Controlled Reactor, TCR)

2.4.1 หลักการทำงาน

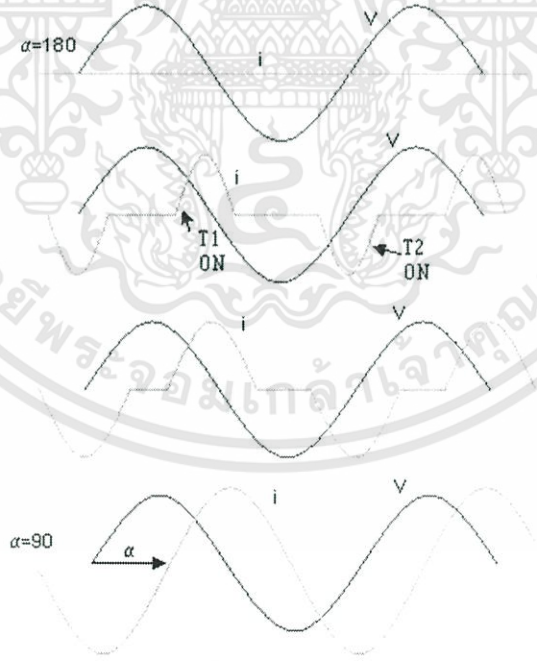
รูปแบบพื้นฐานของตัวชดเชยแอคเตอร์ด้วยไทริสเตอร์ (TCR)แสดงดังรูปที่ (2.4)โดยควบคุมที่ไทริสเตอร์ (Thyristor Controller) จากรูปจะเห็นเป็นไทริสเตอร์คู่ต่อขนานกลับกัน ซึ่งมันจะนำกระแสกลับไป-กลับมาในแต่ละครึ่งรอบ (cycle) ของความถี่แหล่งจ่ายไฟ ถ้าไทริสเตอร์ถูกจุดชนวน (turn on) ที่จุดสูงสุด (peaks) ของคลื่นแรงดันของแหล่งจ่ายพอดี จะเกิดการนำกระแสเต็มที่ (full conduction) ทำให้ไทริสเตอร์ลัดวงจร และกระแสเป็นรีแอคทีฟและตามหลัง (lagging) แรงดันเกือบๆ 90° เนื่องจากมีส่วนประกอบท่เฟสตรงกับแรงดัน (in-phase) อยู่เล็กน้อยอันเกิดจากการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในแอคเตอร์ประมาณ 0.5-2% ของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟรูปที่ (2.5) แสดงรูปคลื่นของกระแสเมื่อเกิดการนำกระแสเต็มที่ (full conduction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (thyristor-controlled reactor)

ถ้าเราทริกขาเกทที่มุมเพิ่มมากขึ้น (delay) เท่ากันบนไทริสเตอร์ทั้งคู่ ผลการตอบสนองเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับมุมทริก α ซึ่งวัดจากจุดที่แรงดันเป็นศูนย์ การนำกระแสจะเกิดขึ้นเต็มทีเมื่อมุมทริกเป็น 90° แต่ถ้าทริกมุม 90° ถึง 180° จะเกิดการนำกระแสบางส่วน เมื่อเพิ่มมุมทริกจะไปทำให้ส่วนประกอบหลักมูลของกระแสลดลง การทำเช่นนี้เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มค่าความเหนี่ยวนำของรีแอคทีฟลง นอกจากจะเกี่ยวข้องกับกระแสหลักมูลแล้ว ตัวชดเชยแบบแอคเตอร์ควบคุมด้วย ไทริสเตอร์ยังเป็นความนำจินตภาพ (susceptance) ที่ควบคุมได้ และสามารถนำไปใช้ในตัวชดเชยแบบสถิต



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นกระแสเฟส (phase) เมื่อต่อตัวชดเชยแบบแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ กระแสขณะใดๆ (i) จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i(\omega t)\begin{cases}\frac{\sqrt{2}V}{X_L}(-\cos\alpha-\cos\omega t) & 0<\omega t<\pi-\alpha\\ 0 & \pi-\alpha<\omega t<\alpha\\ \frac{\sqrt{2}V}{X_L}(\cos\alpha-\cos\omega t) & \alpha<\omega t<2\pi-\alpha\\ 0 & 2\pi-\alpha<\omega t<\pi+\alpha\\ \frac{\sqrt{2}V}{X_L}(-\cos\alpha-\cos\omega t) & 0<\omega t<\pi-\alpha\end{cases} \quad (2.15)$$

เมื่อ V คือแรงดันอาร์เอ็มเอส (rms)

$X_L = \omega L$ เป็นค่าแอคแตนซ์ของแอคเตอร์ที่ความถี่หลักมูล

และ α คือ มุมทริกที่ป้อนขาเกท

จุดเริ่มต้น (origin) ของเวลา คือจุดที่แรงดันไฟฟ้าเป็น 0 และกำลังจะเพิ่มขึ้นในทางบวก เราสามารถหากระแสหลักมูล (fundamental) โดยใช้การแปลงฟูริเยอร์(Fourier) ดังต่อไปนี้ จากการแปลงฟูริเยอร์

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos n\omega t + b_n\cos n\omega t) \quad (2.16)$$

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(\omega t)d\omega t \quad (2.17)$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(\omega t)\cos n\omega t d\omega t \quad (2.18)$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(\omega t)\sin n\omega t d\omega t \quad (2.19)$$

เนื่องจาก $i(\omega t)$เป็นฟังก์ชั่นคี่ดังนั้น$a_0 = 0$

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}\left[\int_0^{\pi-\alpha}(-\cos\alpha-\cos\omega t)\cos\omega t d\omega t + \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha}(\cos\alpha-\cos\omega t)\cos\omega t d\omega t + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi}(-\cos\alpha-\cos\omega t)\cos\omega t d\omega t\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}\left[\begin{array}{l} \int_0^{\pi-\alpha}(-\cos\alpha\cos\omega t - \frac{\cos 2\omega t}{2} - \frac{1}{2})d\omega t \\ + \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha}(\cos\alpha\cos\omega t - \frac{\cos 2\omega t}{2} - \frac{1}{2})d\omega t \\ + \int_{\pi+\alpha}^{2\pi}\left(-\cos\alpha\cos\omega t - \frac{\cos 2\omega t}{2} - \frac{1}{2}\right)d\omega t \end{array}\right]$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}\left[\begin{array}{c} \left\{-\cos\alpha[\sin(\pi-\alpha) - \sin 0] - \frac{1}{4}[\sin(2\pi-2\alpha) - \sin 0] - \frac{1}{2}[\pi-\alpha]\right\} \\ + \left\{\cos\alpha[\sin(2\pi-\alpha) - \sin\alpha] - \frac{1}{4}[\sin(4\pi-2\alpha) - \sin 2\alpha] - \frac{1}{2}[2\pi-\alpha-\alpha]\right\} \\ + \left\{-\cos\alpha[sin2\pi - sin(\pi+\alpha)] - \frac{1}{4}[sin4\pi - sin(2\pi+2\alpha)] - \frac{1}{2}[2\pi-\pi-\alpha]\right\} \end{array}\right]$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}\left[\begin{array}{c} \left\{-cos\propto sin\propto + \frac{1}{4}sin2\propto - \frac{1}{2}\pi + \frac{1}{2}\alpha\right\} \\ + \left\{-2cos\propto sin\propto + \frac{1}{2}sin2\propto - \pi + \alpha\right\} \\ + \left\{-cos\propto sin\propto + \frac{1}{4}sin2\propto - \frac{1}{2}\pi + \frac{1}{2}\alpha\right\} \end{array}\right]$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}[-4cos\alpha sin\alpha + sin2\alpha - 2\pi + 2\alpha]$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}[-sin2\alpha + 2(\alpha - \pi) \tag{2.20}$$

เนื่องจาก $$\alpha + \frac{\sigma}{2} = \pi 2\propto = 2\pi - \sigma \tag{2.21}$$

$$sin2\alpha = sin(2\pi - \sigma) = -sin \tag{2.22}$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}[sin\sigma - \sigma] \tag{2.23}$$

เนื่องจาก $i(\omega t)$เป็นฟังก์ชั่นคี่ ดังนั้น $b_n = 0$

$$I_{1,rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}(\frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}[sin\sigma - \sigma])^2 cos^2\omega t d\omega t}$$

$$= \left|\frac{\sqrt{2}V}{\pi X_L}[\sin\sigma - \sigma]\right|\sqrt{\frac{1}{4\pi}(2\pi)}$$

$$I_{1,rms} = \frac{V}{\pi X_L}(\sigma - \sin\sigma) \tag{2.24}$$

เมื่อ σคือ ช่วงมุมที่นำกระแสซึ่งสัมพันธ์กับ$\propto$ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha + \frac{\sigma}{2} = \pi \tag{2.25}$$

เราสามารถเขียนสมการที่ (asdf)

$$I_1 = B_L(\sigma)V \tag{2.26}$$

เมื่อ $B_L(\sigma)$เป็นค่าความนำจินตภาพที่ความถี่หลักมูล ซึ่งสามารถปรับค่าได้โดยควบคุมช่วงที่นำกระแส (σ)

$$B_L(\sigma) = \frac{\sigma - \sin\sigma}{\pi X_L} \tag{2.27}$$

การควบคุมตัวชดเชยแบบแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์แบบพื้นฐาน เมื่อ $\sigma = \pi$ หรือ 180°จะทำให้ไทริสเตอร์นำกระแสเต็มที่ และค่าความนำจินตภาพที่ความถี่หลักมูลจะต่ำสุดเป็น 0 เมื่อ $\sigma = 0$ ($\propto = 180°$) หลักในการควบคุมดังกล่าวเรียกว่า "การควบคุมเฟส (phase control)

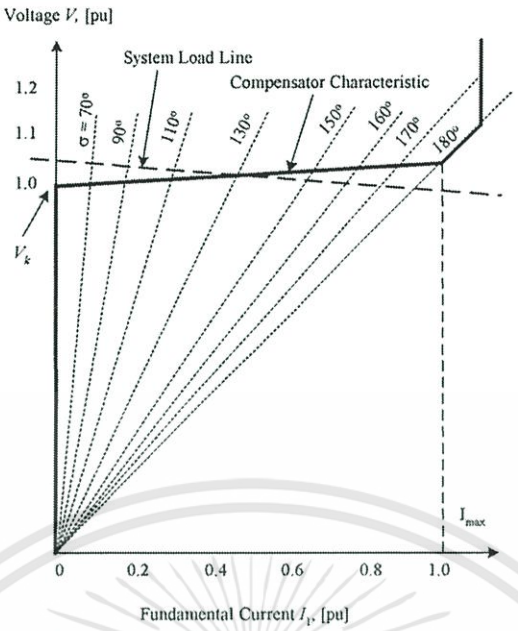
2.4.2 ลักษณะแรงดัน / กระแส

ตัวชดเชยแบบรีแบบแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์จำเป็นต้องมีระบบควบคุมที่ใช้กำหนดในรูปของคลื่นพัลส์ไปยังขาเกทของไทริสเตอร์ ในการออกแบบระบบควบคุมนี้เราจะต้องสร้างสัญญาณป้อนขาเกทที่จะทำให้ได้ ความนำจินตภาพ (susceptance) B_Lตามต้องการกระบวนการในการควบคุมจะแตกต่างกันไปตามพารามิเตอรที่วัดได้จากระบบที่จะไปชดเชย เช่น แรงดัน และจะสร้างสัญญาณป้อนขาเกท (gating pulses) โดยไม่ได้ใช้สัญญาณสำหรับค่าความนำจินตภาพที่แน่นอน ลักษณะของแรงดัน/กระแสในแต่ละกรณีจะเป็นดังรูปที่ 3.8 จุดตัดระหว่างเส้นโหลดของระบบ (system load) กับเส้นคุณลักษณะของตัวชดเชย (compensator characteristic) คือสภาวะคงตัว (steady state) น ที่มุมช่วงนำกระแส (coduction angle) 130°จะให้ค่าแรงดันประมาณ 1.0 p.u. แต่กราฟนี้เป็นแค่เพียงส่วนหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมซึ่งจะต้องพิจารณาส่วนอื่นๆอีก เช่น การตั้งการควบคุมและพิกัดของตัวชดเชย ลักษณะการควบคุมดังรูปที่ 2.6 กำหนดโดยสมการ

$$V = V_K + jX_s I_1,\ 0 < I_1 < I_{max} \tag{2.28}$$

ในรูปที่ 2.6I_{max}มักจะเป็นค่ากระแสพิกัด (rated current) ของแอคเตอร์สำหรับที่แสดงไว้นี้เป็น 1.0 p.u.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กราฟลักษณะแรงดัน/กระแสหลักมูลในตัวชดเชยแบบแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์

2.5 การควบคุม

จุดประสงค์ขั้นต้นของตัวชดเชย คือ ลักษณะของแรงดัน/กระแสของ ลักษณะและชนิดของตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ ศักดาและกระแสของตัวชดเชยจะหาได้โดยรีแอคเตอร์และมุมเหนี่ยวนำ ซึ่งแต่ละจุดจะแสดงรายละเอียดของค่าความนำจินตภาพ จะแสงดว่าตัวชดเชยจะปฏิบัติในส่วนของแรงดันต่อกระแสหลักมูล และระบบสายส่ง การควบคุมแบบอัตโนมัติจะปรับรายละเอียดซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่พอใจ

รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม

(ก) การควบคุมแบบวงปิด , C=RG/(1+GH

(ข) การควบคุมแบบวงเปิด , C=RG

โดย H = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นป้อนกลับ

G = ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเดินหน้า

R = ตัวอ้างอิง

C = ตัวแปรที่ถูกควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมพื้นฐานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ซึ่งจะใช้การควบคุมแบบวงปิด (closed-loop) หรือแบบวงเปิด (open-loop) ในการควบคุมโดยที่การควบคุมแบบวงปิดจะเป็นแบบป้อนกลับดังรูปที่ 2.7ก ส่วนการควบคุมแบบวงเปิดจะเป็นแบบที่ไม่มีการป้อนกลับดังรูปที่ 2.7ข ซึ่งทรานซ์เฟอร์ฟังก์ชั่นของการป้อนไปข้างหน้าคือ G ซึ่งจะถูกโปรแกรมไว้ล่วงหน้าให้ผลออกมาเป็นค่าของ C เมื่อป้อนค่า R เข้าไป และไม่มีการนำผลของค่า C มาเปรียบเทียบและตรวจสอบโดยเงื่อนไขการคำนวณจะรวมอยู่ในฟังก์ชั่น G แต่ถ้าเกิดเหตุการณ์ในการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ล่วงหน้าของระบบ C ที่ได้จะไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ การพัฒนาระบบการควบคุมแบบวงปิดจะให้ผลที่ถูกต้องกว่า แต่ระบบการควบคุมแบบวงเปิดจะมีข้อดีตรงที่ได้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว

2.5.1 การควบคุมแบบวงเปิด

การควบคุมแบบวงเปิดมีจุดสำคัญคือมีผลตอบสนองที่รวดเร็วซึ่งเป็นพื้นฐานที่ถูกประยุกต์ในการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณป้อนขาเกทของไทริสเตอร์ โดยทั่วไปการควบคุมแบบวงเปิดจะมีความรู้สึกไวต่อการคำนวณ (susceptance calculators =SC) จากสัญญาณซึ่งแสดงการวัดศักดาและกระแสของภาระ การใส่ตัวชดเชยจะเป็นที่ต้องการ ความต้องการที่จะชดเชยได้ไวจำนวนเส้นทางที่แตกต่างกัน สัญญาณที่แสดงถึงกระบวนการ การคำนวณมุมเหนี่ยวนำ (CAC) ในการผลิตสัญญาณแสดงถึงค่าความนำจินตภาพที่จะต้องชดเชยตามสมการ

$$B_\gamma = B_L(\sigma) - B_C \qquad (2.29)$$

เมื่อ $B_L(\sigma)$ คือค่าที่ได้จากสมการ (2.27) ในผลการแก้สมการหาค่าของ (σ) ในสมการที่ (2.27) จะไม่เป็นเชิงเส้น จะมี 1 วิธี คือ สร้างวงจรโดยมีทรานเฟอร์ฟังก์ชั่น $\frac{K_2\pi}{(\sigma-\sin(\sigma))}$ เมื่อใส่ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นนี้ลงไปในตัวชดเชย สมการที่ (2.27) ซึงผลออกมาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการสัญญาณที่มีความไวกับการชดเชยที่ถูกต้องต่อความรู้ไสเป็นเชิงเส้น

การควบคุมแบบวงงเปิดสำหรับการชดเชยภาระ ซึ่งต้องการผลตอบสนองตัวชดเชยที่รวดเร็วโดยใส่ค่าของความนำเชิงซ้อน (admittance) ลงในคอมพิวเตอร์ โดยได้รายละเอียดจากศักดาและกระแสของภาระ ซึ่งโวลท์เตจเร็กกูเรติ้ง (voltage-regulating) ในฟังก์ชั่นในการควบคุมนี้จะไม่แน่นอน

2.5.2 ความเร็วในการตอบสนอง

ในหัวข้อ 2.4.1 แสดงถึงมุมของการเหนี่ยวนำในเฟสใดๆของตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์สามารถที่จะเปลี่ยนได้โดยระหว่างครึ่งรอบของความถี่ที่ป้อนเข้าไปซึ่งกำหนดว่ามุมช่วงนำกระแส (σ) จะเหลือน้อยกว่า $180°$ สุดท้ายผลตอบสนองที่รวดเร็วจะถูกต้องการประยุกต์ระบบแรงดันสูงเมื่อเสถียรภาพและความถูกต้องของระบบควบคุมมีความสำคัญมากกว่า ดังนั้นเวลาในการตอบสนองของตัวชดเชยซึ่งใส่ตัวเก็บประจุสามารถจะเป็น 2 รอบเล็กๆความถี่กำลังสำหรับการจ่ายศักดาสูงสุดในการอาร์คเตาเผา จะใช้ผลตอบสนองที่รวดเร็วเป็นสิ่งที่สำคัญ และผลตอบสนองทางธรรมชาติของตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การควบคุมเฟสที่เป็นอิสระ

เป็นลักษณะประจำตัวของตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วไทริสเตอร์ที่สำคัญซึ่งสามารถถูกควบคุม 3 เฟส ที่อิสระต่อกันและตัวชดเชยสามารถทำให้เฟสสมดุลได้ดังในบทที่ 2 ความถูกต้องของเฟสสมดุลจะไม่ดีทีเดียว ตัวเก็บประจุขนาน ซึ่งใช้ชุดรีแอคเตอร์จะไม่จำกัดความสามารถในการสมดุลเฟส ในโครงข่ายชดเชยอาจมีความต้องการทั่วๆไปทั้งการเหนี่ยวนำและการเก็บประจุ นอกจากนี้ความนำเชิงซ้อนในแต่ละเฟสและความไม่สมดุลของชุดรีแอคเตอร์อาจจะก่อให้เกิดฮาร์มอนิกส์ที่มากกว่าเงื่อนไขที่สมดุล ทำให้จำเป็นต้องมีวงจรกรองฮาร์มอนิกส์ (Filter) เป็นสิ่งที่จำเป็นโดยฮาร์มอนิกส์จะปรากฏในกระแสสาย (line)

2.6 ผลตอบสนองชองศักดาเกินและศักดาต่ำ

สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งของตัวชดเชยแบบสถิต (Static Compensator) คือการแสดงพฤติกรรมภายใตเงื่อนไขของศักดาที่สูงเกินไปและต่ำเกินไป การอ้างอิงสถานะคงแรงดันต่อกระแสหลักมูล ในรูปที่ 2.6 ถ้าศักดาของระบบเพิ่มขึ้น มุมเหนี่ยวนำจะขึ้นสู่ค่าสูงสุดตามกัน กาควบคุมจะถูกจำกัดและกระแสหลักมูลจะสัมพันนธ์กับชุดรีแอคเตอร์ ซึ่งปกติพฤติกรรมของรีแอคเตอร์เป็นเชิงเส้น รีแอคเตอร์ของชุดรีแอคเตอร์จะมากเกินไปที่จะจำกัดเพิ่มศักดาของระบบภายใต้เงื่อนไขสำคัญสุดท้ายนี้และมีความจำเป็นในการที่จะเริ่มลดเหนี่ยวนำเพื่อป้องกันไทริสเตอร์จากความร้อนที่รอยต่อ (Junction) ซึ่งสาเหตุมาจากกระแสที่สูงเข้ามาเกี่ยวข้อง

เมื่อศักดาของระบบตกลงในช่วงของการควบคุมของตัวชดเชย มันมีพฤติกรรมเหมือนกับการใส่ตัวเก็บประจุ ไทริสเตอร์จะปิดมุมเฟส (phased-off) ตัวชดเชยแบบรีแอคเจอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ จะเป็นตำแหน่งในการจำกัดศักดาเกิน มันจะถูกติดตั้งเพื่อใช้ชดเชยทั้งมุมนำและมุมตาม และแก้ปัญหาการแกว่งของกำลัง (damping power swings) และตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์จะถูกควบคุมโดยสัญญาณการป้อนกลับ

2.7 กำลังสูญเสีย

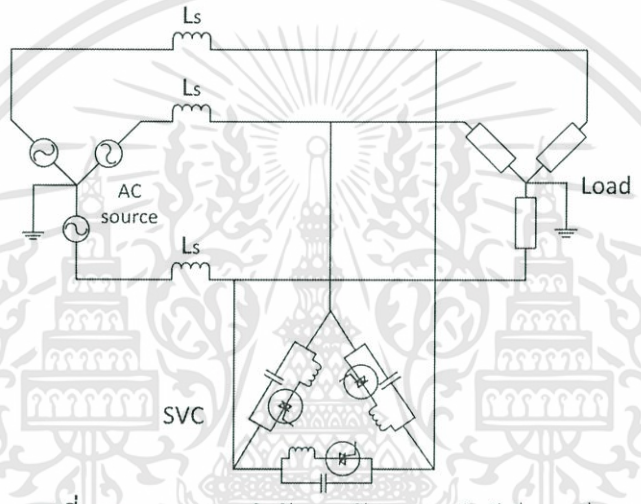
การสูญเสียกำลังโดยตัวชดเชยเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะต้องพิจารณา เพราะว่าพลังงานมีราคาสูง ค่าหลักของการสูญเสียสามารถถูกเปรียบเทียบกับราคาเมื่อมีตัวชดเชย ตัวชดเชยแบบรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ซึ่งต่อขนานกับตัวเก็บประจุจะมีความสุญเสียเพิ่มขึ้นกับการเหนี่ยวนำในตัวชดเชยเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตรากำลังไฟฟ้าแอคทีฟ แบบตัวเก็บประจุมันรวมไปถึงความสูญเสียกับความต้านทานในรีแอคเตอร์การเหนี่ยวนำสวิตชิ่งต์ และความสูญเสียอื่นในระบบควบคุมไทริสเตอร์ ความสูญเสียจะลดลงเมื่อเป็นกำลังรีแอคทีฟนำหน้า และความสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเมื่อเป็นกำลังรีแอคทีฟตามหลังแนวทางซึ่งตรงกันข้ามถูกทำได้โดยตัวชดเชยไฮบริด เมื่อตัวเก็บประจุเป็นกลุ่มของสวิทช์และขนาดเล็กกว่าชุดรีแอคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและผลการจำลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงแบบจำลองตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ (Static Var Compensator) ใช้สำหรับชดเชยเป็นช่วงๆในระบบสายส่งระยะทางไกลๆและก็ยังมีการชดเชยโหลดหลายรูปแบบการใช้งาน โดยตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟนั้นมีส่วนของวงจรกำลังและวงจรควบคุม ในการควบคุมอาศัยหลักการควบคุมแบบปิด (Close Loop) โดยรับค่าแรงดันที่จุดโหลดมาคำนวณหาค่ามุมนำกระแสของไตรแอค (α)เพื่อควบคุมกำลังรีแอคทีฟของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 วงจรภาคกำลังของตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ

3.2 ตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ

3.2.1 การออกแบบขนาดของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟถูกใช้ในการรักษาแรงดันที่จุดโหลดหรือชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของระบบ เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยอาศัยไตรแอคต่ออยู่กับตัวเหนี่ยวนำและขนาดอยู่กับตัวเก็บประจุ แสดงแบบต่อเฟสในรูปที่ 3.2 แสดงแบบสามเฟสในรูปที่ 3.1

ขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุสำหรับรักษาระดับแรงดันจะหาได้จาก

$$Q_{svc} = Q_{cc} - Q_{tcr} \tag{3.1}$$

$$Q_{cc} = V_t I_{cc} \tag{3.2}$$

$$X_{cc} = \frac{V_t}{I_{cc}} \tag{3.3}$$

$$Q_{tcr} = V_t I_{tcr} \tag{3.4}$$

$$X_{tcr} = \frac{V_t}{I_{tcr}} \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของชุดตัวชดเชยที่สามารถจ่ายออกไปให้กับระบบจะมีค่าต่ำสุดเมื่อมุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90 องศาและจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 180 องศา

$$X_{tcr} = X_L = X_{cc} \tag{3.6}$$

ค่าอิมพิแดนซ์ที่มุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90 องศา

$$X_{\text{tcr}} = \frac{\pi X_L}{2\pi - 2\alpha + sin2\alpha} \tag{3.7}$$

ค่าอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำควบคุมด้วยไตรแอคที่มุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90-180 องศา

$$X_{svc} = \frac{\pi X_L X_C}{X_C(2\pi - 2\alpha + sin2\alpha) - \pi X_L} \tag{3.8}$$

ค่าอิมพิแดนซ์รวมของตัวชดเชยที่มุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90-180 องศา

$$Q_{svc} = \frac{V_t^2}{X_{svc}} \tag{3.9}$$

เมื่อ Q_{cc} คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุต่อเฟส

Q_{tcr} คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเหนี่ยวนำควบคุมต่อเฟส

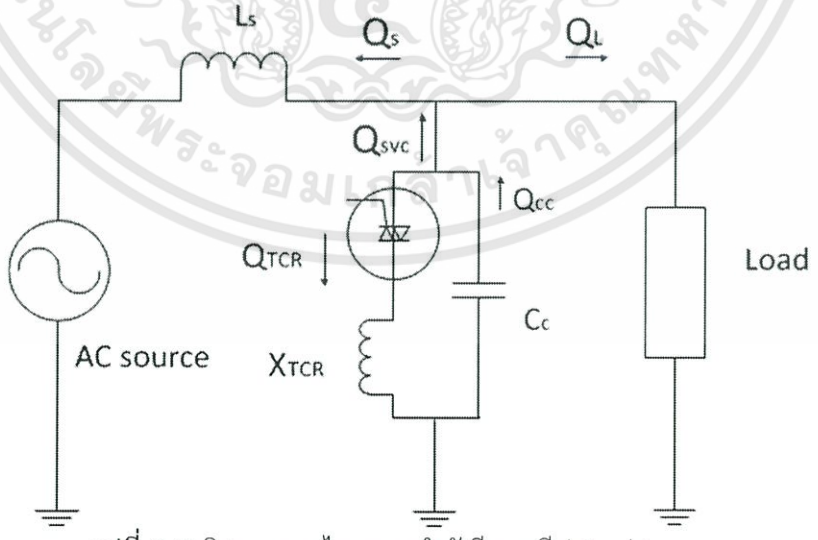
Q_{svc} คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวชดเชย

I_{cc} คือ กระแสต่อเฟสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุที่ชดเชยเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

X_{cc} คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ต่อเฟส

X_{TCR} คือ ขนาดอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำเมื่อควบคุมด้วยไตรแอค

X_{svc} คือ อิมพิแดนซ์รวมของตัวชดเชย

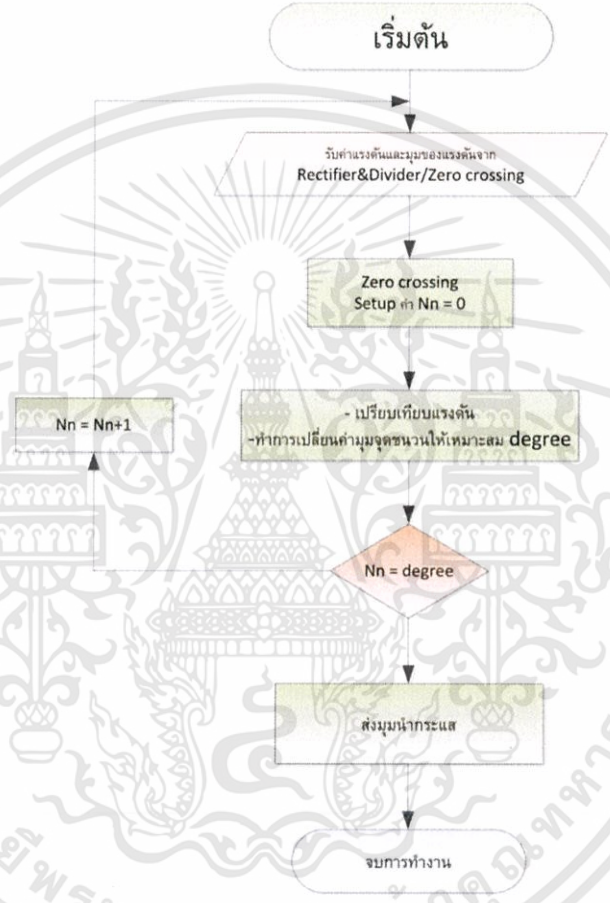


รูปที่ 3.2 ทิศทางการไหลของกำลังรีแอคทีฟ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การควบคุม

การควบคุมจะเป็นการจับสัญญาณแรงดันกลับมาทำการคำนวณเปรียบเทียบหาค่ามุมจุดชนวนที่เหมาะสม โดยในกรณีที่แรงดันลดน้อยลงจะ เพิ่มมุมจุดฉนวน หรือ เป็นการลดความเป็นตัวเหนี่ยวนำ (X_L) ในวงจรตัวชดเชย ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวชดเชย (X_{SVC}) ลดลง ดังนั้น กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของวงจร (Q_{SVC}) ที่ให้กับระบบจะมีค่ามากขึ้น

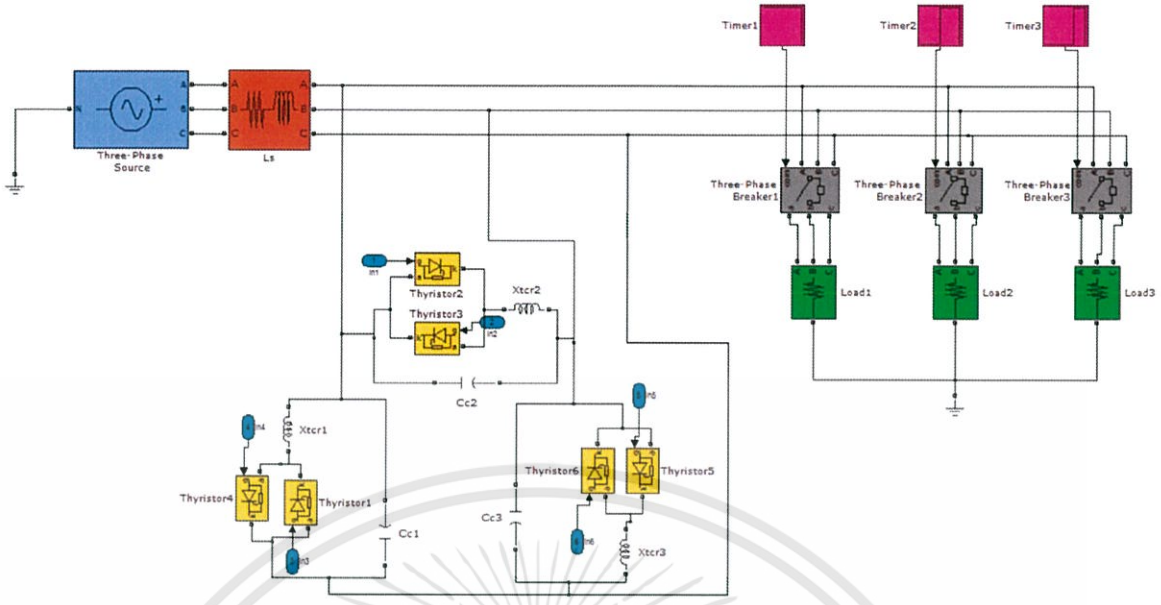


รูปที่ 3.3 flow chart กระบวนการการทำงานของตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ

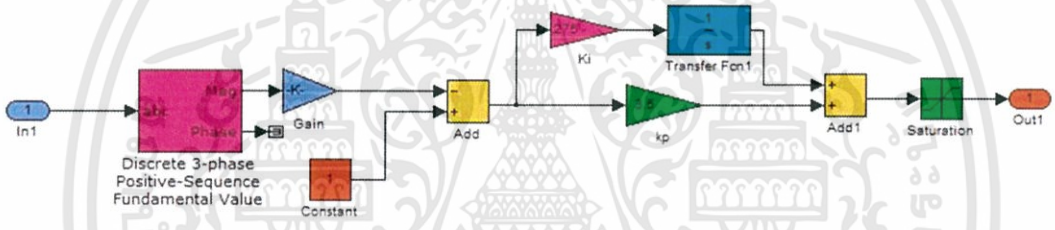
3.3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นขั้นตอนการจำลองที่ได้ออกแบบไว้เพื่อใช้เป็นหลักการที่ถูกต้องในการออกแบบและได้ผลเป็นไปตามทฤษฎีและสมมติฐานที่มีอยู่ ก่อนนำไปสร้างเครื่องต้นแบบซึ่งควรจะเป็นค่าที่ใช้จริงที่จะใช้ในการสร้างตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟและสามารถช่วยลดความเสียหายและอุบัติเหตุได้โดยโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบวงจรนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

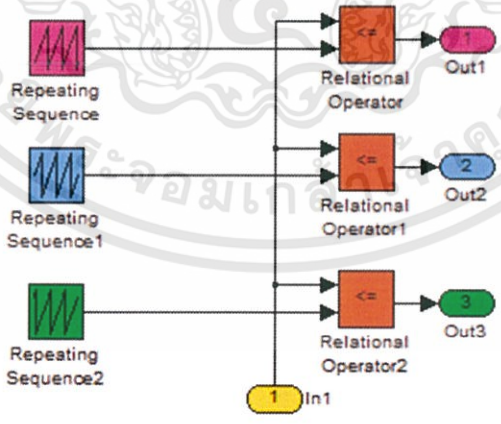
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ภาคกำลัง



รูปที่ 3.5 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ภาคควบคุม



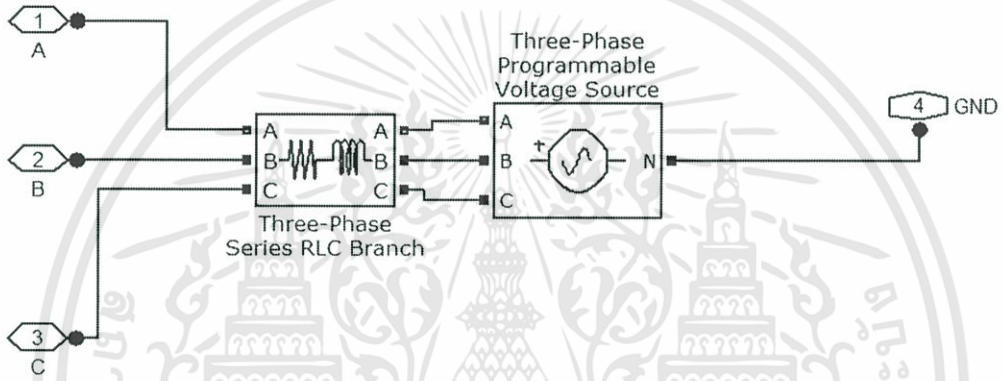
รูป 3.6 บล็อกการจำลองทางคอมพิวเตอร์ของมุมจุดชนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การจำลองแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

Voltage rms (Phase-Phase)	380 V
Phase(Degree)	0
Frequency	50 Hz
Resistance	00.6 Ohm
Inductance	7.5mH



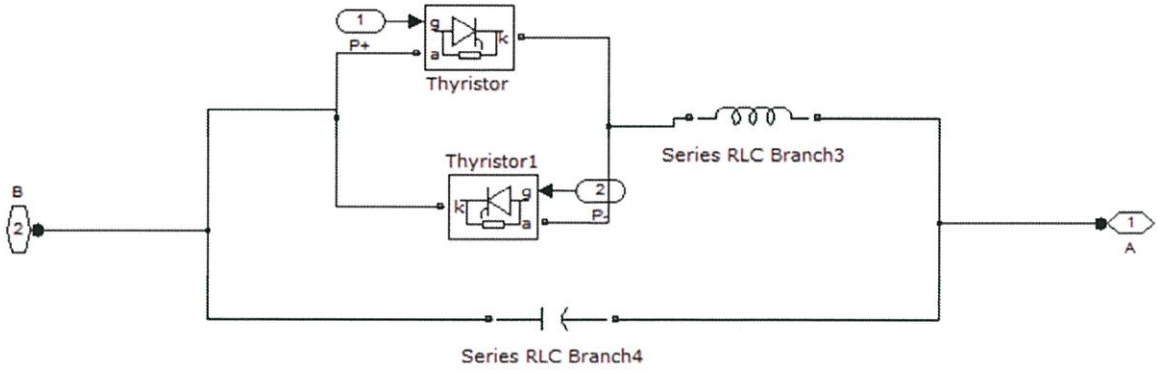
รูปที่ 3.7 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ของแหล่งจ่าย

3.3.2 การจำลองตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ (Static VAR Compensator : SVC) แบบ 3 เฟส

SVC phase-AB	Capacitor 60 μF	Inductor 170 mH
SVC phase-BC	Capacitor 60 μF	Inductor 170 mH
SVC phase-CA	Capacitor 60 μF	Inductor 170 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

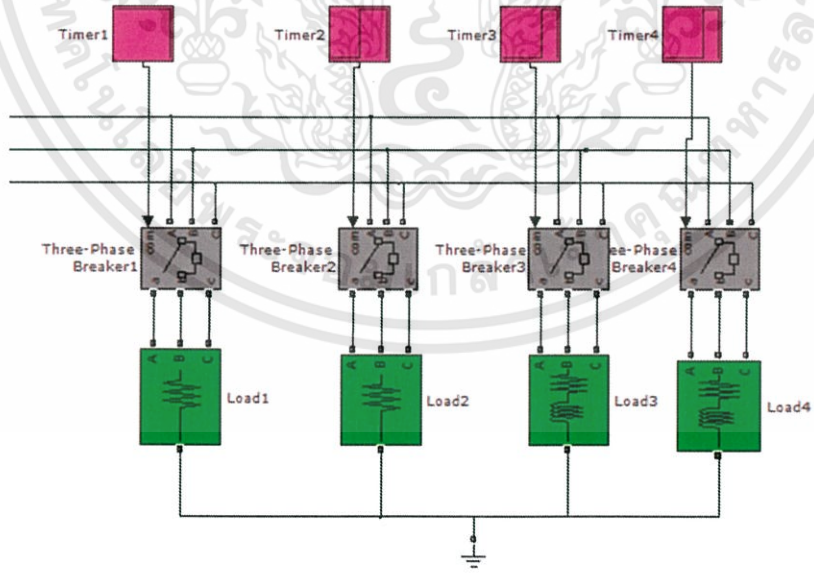


รูปที่ 3.8 วงจรจำลองทางคอมพิวเตอร์ตัวชดเชย

3.3.3 การจำลองโหลดไฟฟ้า

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของโหลดไฟฟ้า 3 เฟส

parameter / step	Nominal Voltage ph-ph (rms)	Nominal Frequency (Hz)	Apparent Power (VA)	Power Factor ($\cos\theta$)
Load 1	380	50	500	1
Load 2	380	50	500	1
Load 3	380	50	100	0.49
Load 4	380	50	100	0.49



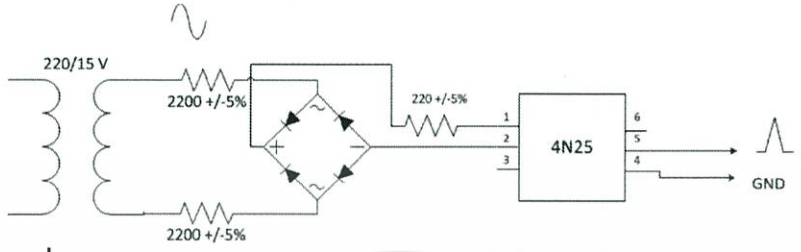
รูปที่ 3.9 จำลองทางคอมพิวเตอร์ของวงจรโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

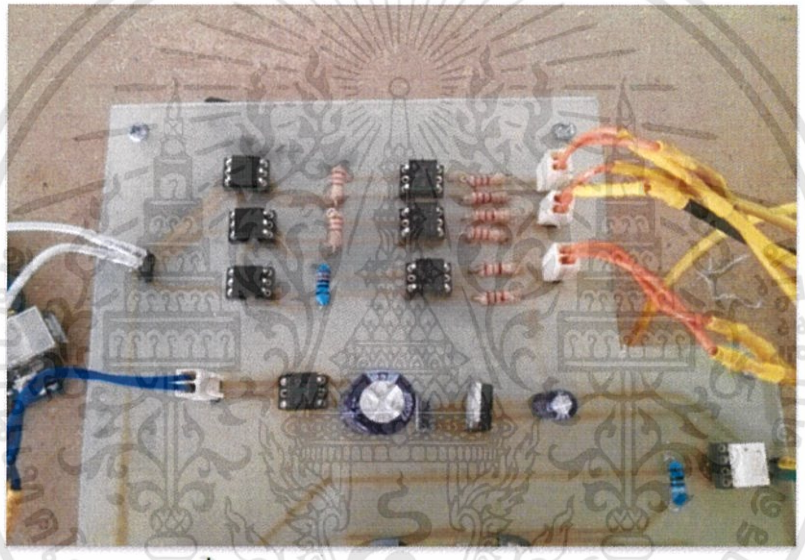
3.4 การออกแบบวงจรตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟแบบสามเฟส

3.4.1การออกแบบวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing detector circuit)

เนื่องจากการควบคุมไตรแอคคอนโทรล เป็นแบบควบคุมเฟส (phase control) จำเป็นต้องมีจุดอ้างอิงเฟส จึงใช้วงจรตรวจจับผ่านศูนย์เพื่อตรวจจับเฟสอ้างอิง



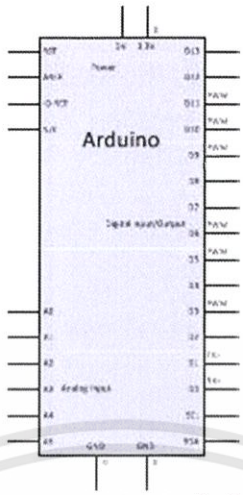
รูปที่ 3.10 รูป Schematic ของวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing)



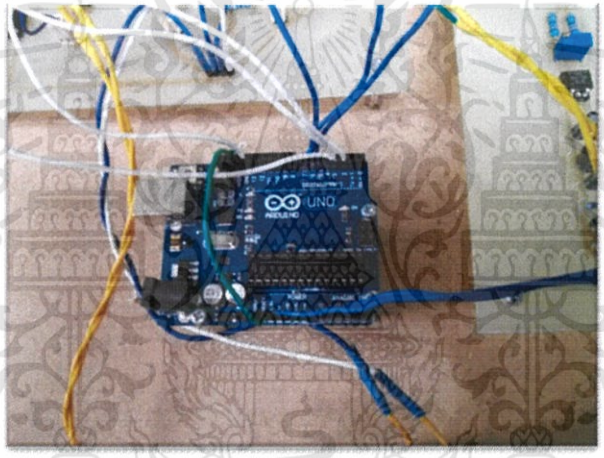
รูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.12 Schematic ของวงจรไมโครคอนโทรเลอร์

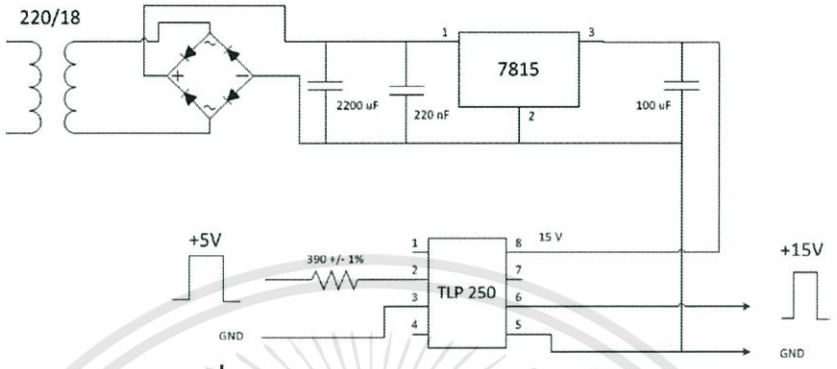


รูปที่ 3.13 วงจรไมโครคอนโทรเลอร์

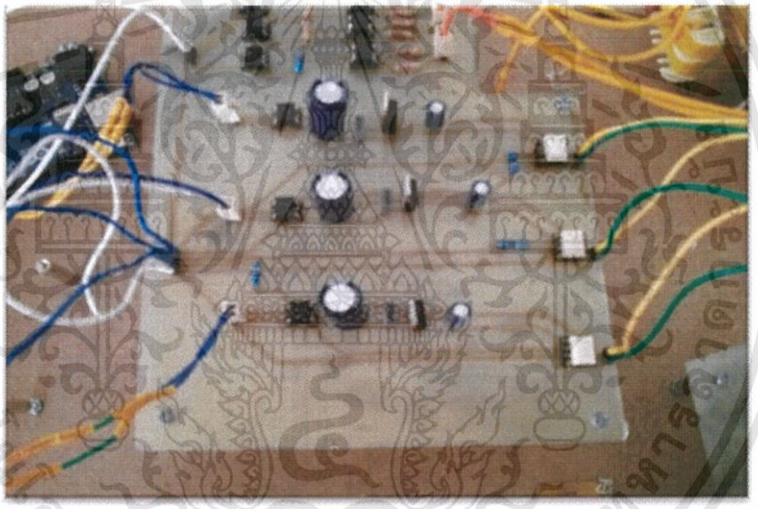
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การออกแบบวงจรขับเกต

มีหน้าที่ขยายสัญญาณที่ออกมาจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถขับเกตที่ขาเกตของตัวไตรแอค โดยขยายสัญญาณจาก 0-5 V เป็น 0-15 V



รูปที่ 3.14 รูป Schematic ของวงจรขับเกต

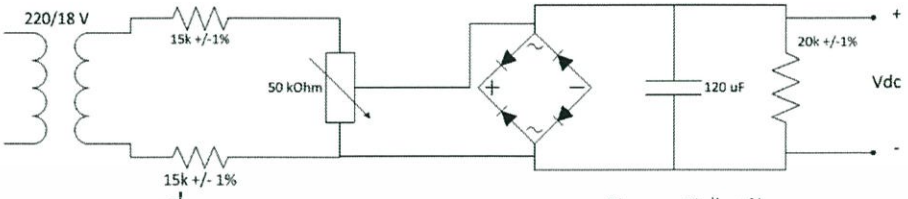


รูปที่ 3.15 วงจรขับเกต

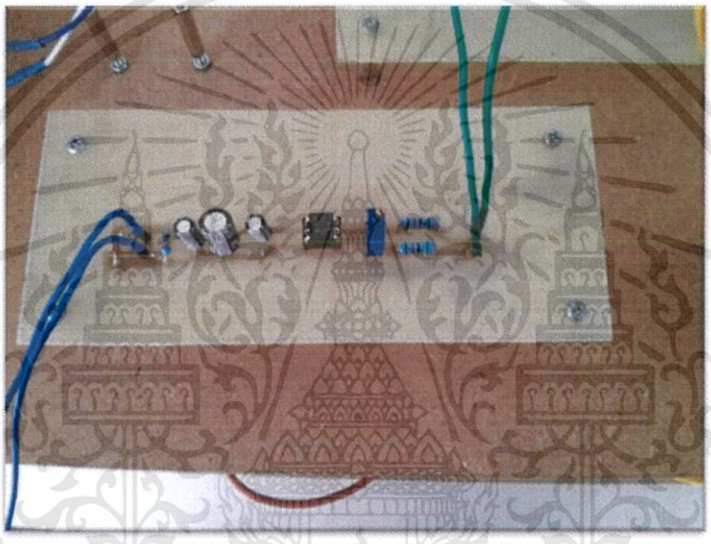
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

ทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันที่จุดโหลดมาเพื่อควบคุมกำลังรีแอคทีฟจากชุดชดเชยกำลังรีแอคทีฟ 3 เฟส



รูปที่ 3.16 รูป Schematic ของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า

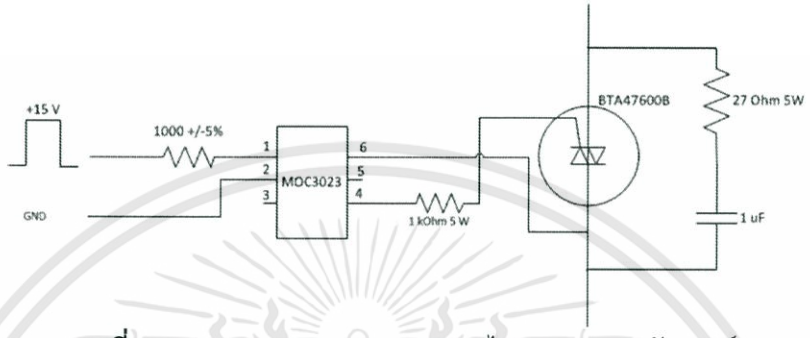


รูปที่ 3.17 วงจรตรวจจับแรงดัน

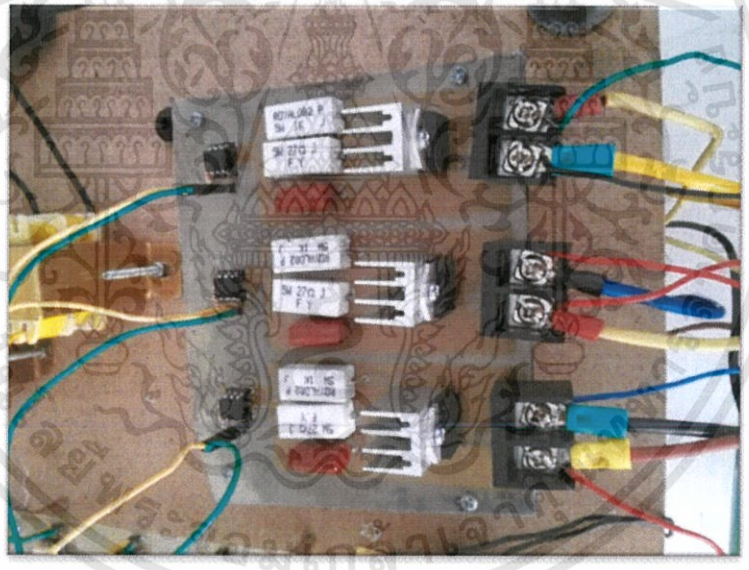
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การออกแบบวงจรไตรแอคและวงจรสนับเบอร์

ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรไตรแอคเป็นตัวสวิทส์ชิ่งกำลังโดยมีวงจรสนับเบอร์แบบอาร์ซีสนับเบอร์ (RC Snubber) ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟเกินชั่วขณะและแรงดันกระเพื่อมที่ตกคร่อมไตรแอคขณะปิดสวิตช์ (Turn Off) ช่วยกำจัดกระแสสูงของไตรแอค จะทำให้ง่ายต่อการควบคุมกระแสที่ป้อนเข้าขาเกตในขณะเปิดสวิตช์ (Turn on)



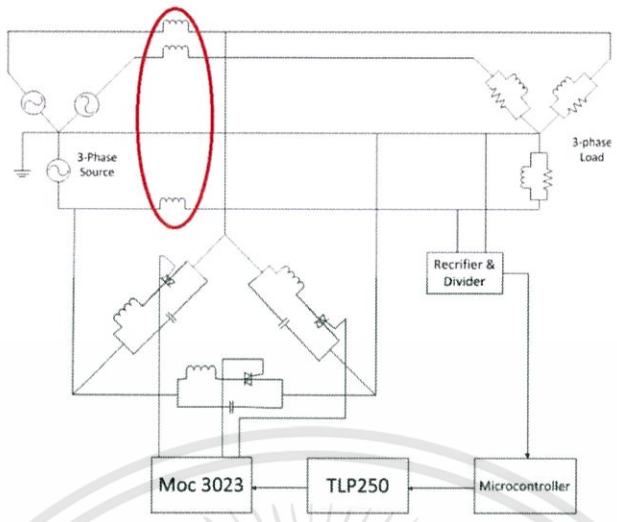
รูปที่ 3.18 รูป Schematic ของวงจรไตรแอคและสนับเบอร์



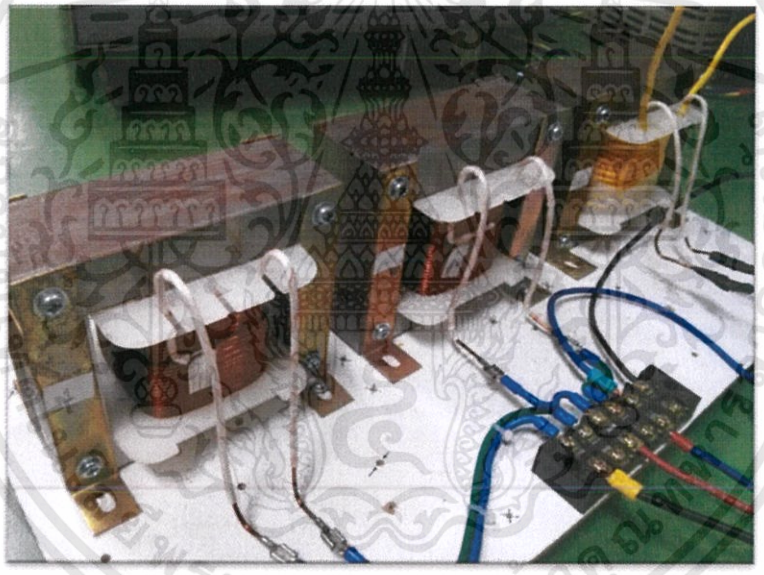
รูปที่ 3.19 วงจรไตรแอคและสนับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 ออกแบบตัวเหนี่ยวนำจำลองค่าแอมพิแดนซ์ของสายส่ง



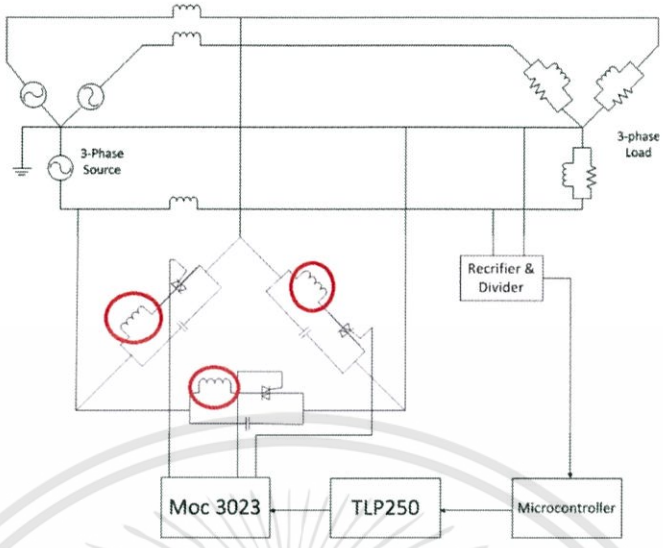
รูปที่ 3.20 รูป Schematic ของขดลวดจำลองตัวเหนี่ยวนำสายส่งในวงจรกำลัง



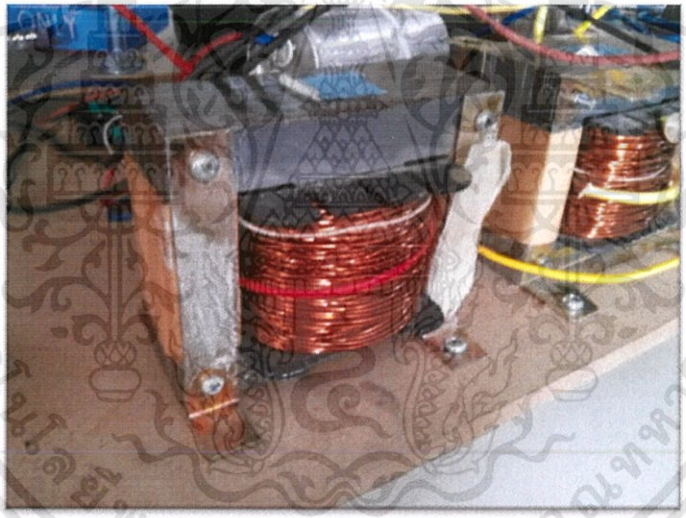
รูปที่ 3.21 ขดลวดจำลองตัวเหนี่ยวนำสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 ขดลวดตัวเหนี่ยวนำของตัวชดเชย



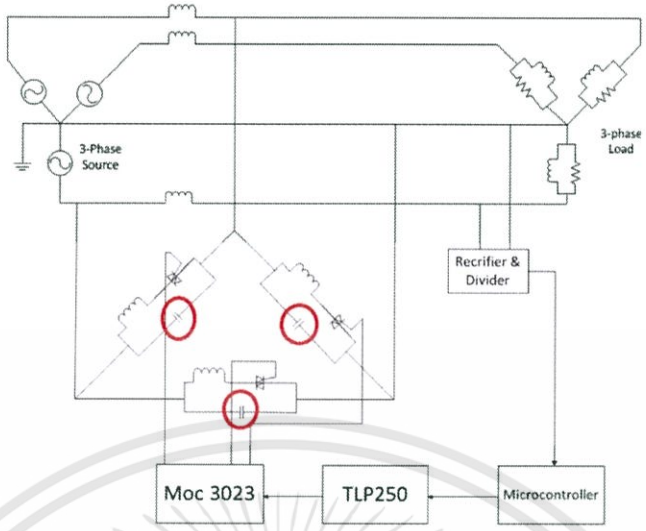
รูปที่ 3.22 รูป Schematic ขดลวดเหนี่ยวนำของตัวชดเชยในวงจรกำลัง



รูปที่ 3.23 ขดลวดตัวเหนี่ยวนำของตัวชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ตัวเก็บประจุของตัวชดเชย



รูปที่ 3.24 รูป Schematic ตัวเก็บประจุของตัวชดเชยในวงจรกำลัง

รูปที่ 3.25 ตัวเก็บประจุของตัวชดเชยในวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 ออกแบบโหลดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 3.26 โหลดสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อศึกษาการควบคุมวงจรชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ การทำงานของสวิตช์ชิ่งต์ในชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ให้เป็นไปตามหลักการที่ได้ตั้งไว้ โดยในส่วนของการทดสอบเครื่องต้นแบบ จะนำผลการทดสอบนั้นมาทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์

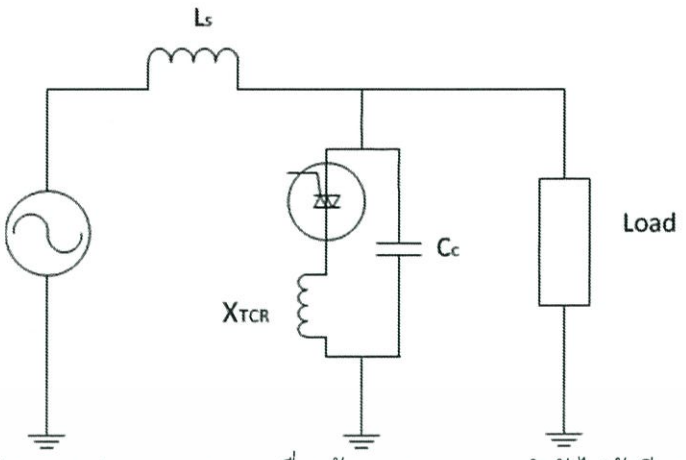
นอกจากนี้จะมีการศึกษาเพิ่มเติมของ ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงมุมจุดชนวน ที่อุปกรณ์สวิตชิ่ง ตัวเหนี่ยวนำในชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ และกระแสแหล่งจ่าย โดยผลการทดสอบเครื่องต้นแบบจะนำเสนอแบ่งออกเป็นขั้นตอน เริ่มต้นจากการทดสอบในระดับไฟฟ้า 1 เฟส แล้วจึงสร้างเครื่องต้นแบบสามเฟส และทำการทดสอบในลำดับต่อไป

4.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ระดับไฟฟ้า 1 เฟส

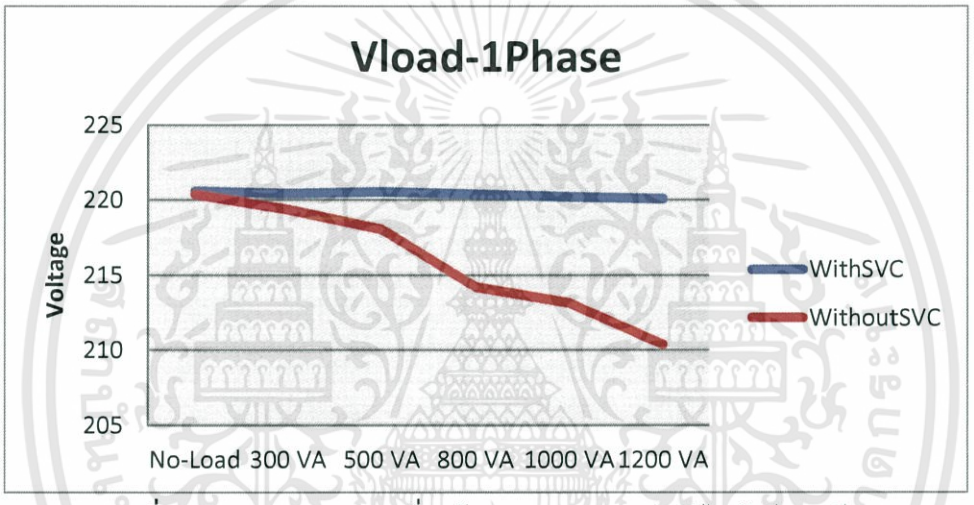
การทดสอบนี้เพื่อศึกษาประมาณค่าขอบเขตของการชดเชย ของชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ โดยชุดชดเชยจะประกอบด้วย ตัวเก็บประจุพิกัดแรงดัน 450 volt 60μF ต่อขนานกับ ตัวเหนี่ยวนำขนาด 170 mH พร้อมอุปกรณ์สวิตชิ่งต์ไตรแอค (triac) และตัวเหนี่ยวนำจำลองอิมพีแดนซ์แหล่งจ่าย และอินพีแดนซ์ในสายส่งขนาด 4.4mH (%Z = 10%) วงจรแสดงในรูปที่ 4.1

โดยการทดสอบจะเริ่มต้นจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่จุดโหลดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดเพื่อให้ได้พิกัดของโหลดที่จะนำมาทำการชดเชย โดยลำดับแรกจะเพิ่มจำนวนหลอดไฟเสมือน โหลด R ในเพิ่มการดึงกระแส จากนั้นจึงทดสอบด้วยการเพิ่ม โหลด R-L ด้วยการเพิ่ม บัลลาสต่อขนานไปที่ ณ จุดโหลด จากขั้นตอนดังกล่าวทำให้สามารถเลือกพิกัดโหลด ได้ดังนี้ คือ หลอดไฟ (100W) จำนวน 10 หลอดและบัลลาสต์ ต่อขนาน 2 ตัว จากนั้นจึงนำชุดตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเข้ามาทดสอบ กับโหลดว่าสามารถชดเชยได้หรือไม่ โดยผลการทดสอบเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟหนึ่งเฟสจะนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ก่อนมีชุดชดเชยกับหลังการมีชุดชดเชยมาทำการเปรียบเทียบกัน เป็นไปดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 รูปวงจร Schematic ของเครื่องต้นแบบชุดขดเขยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟหนึ่งเฟส



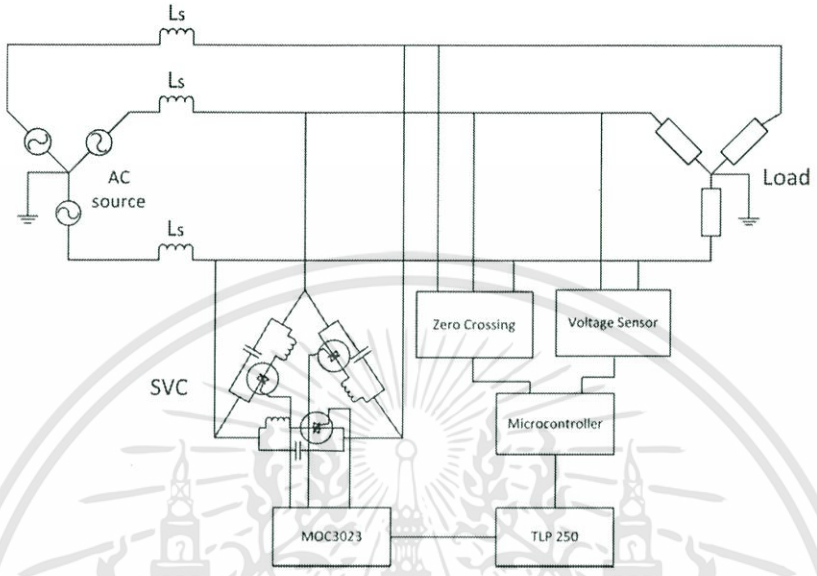
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

จากการทดสอบข้างต้นนั้นพบว่าเครื่องต้นแบบชุดชดเชยหนึ่งเฟสสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้หรือรักษาแรงดันที่จุดโหลด ดังนั้นจึงนำพิกัดโหลดดังกล่าว และอุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบ เพื่อเริ่มต้นสร้างเครื่องต้นแบบสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส

การทดสอบเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสามเฟส นั้น จะทำการต่อชุดชดเชยเป็นลักษณะ Delta และโหลดเป็นลักษณะ Star โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะแสดงในหัวข้อ 4.2 และมีวงจรดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูป Schematic วงจรเครื่องต้นแบบชุดชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสามเฟส

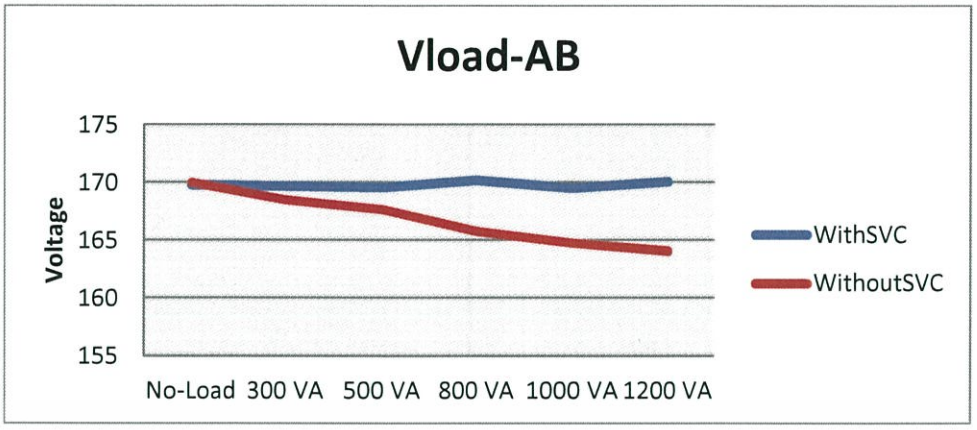
ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ในการชดเชยแรงดันที่โหลด และปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังที่แหล่งจ่าย เมื่อมีการเพิ่มขนาดโหลด ที่แรงดันต่างๆ

4.3.1 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ที่แรงดัน 170 V

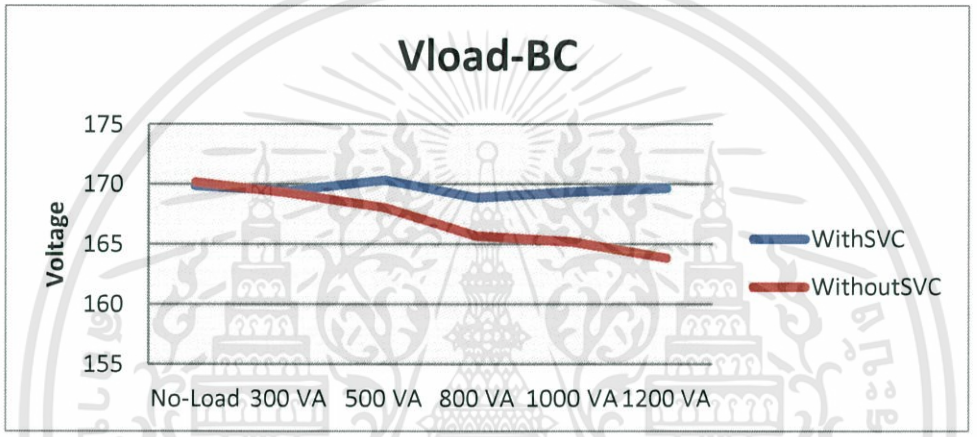
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการรักษาแรงดันและค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 170 V

ขนาดโหลด	No-Load	300 VA	500 VA	800 VA	1000 VA	1200 VA
Vs(V)	97.9	97.8	97.9	97.3	97.2	97.9
Is(A)	0.66	1.01	1.48	2.01	2.52	3.06
P(W)	0.03	0.09	0.13	0.19	0.24	0.29
S(VA)	0.07	0.1	0.14	0.2	0.24	0.3
Q(VAR)	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
P.F.	0.53	0.87	0.94	0.96	0.98	0.98
D.P.F.	0.98	1	0.99	0.99	1	1
THDi(%)	82.5	50.6	32	23.5	18	14.6

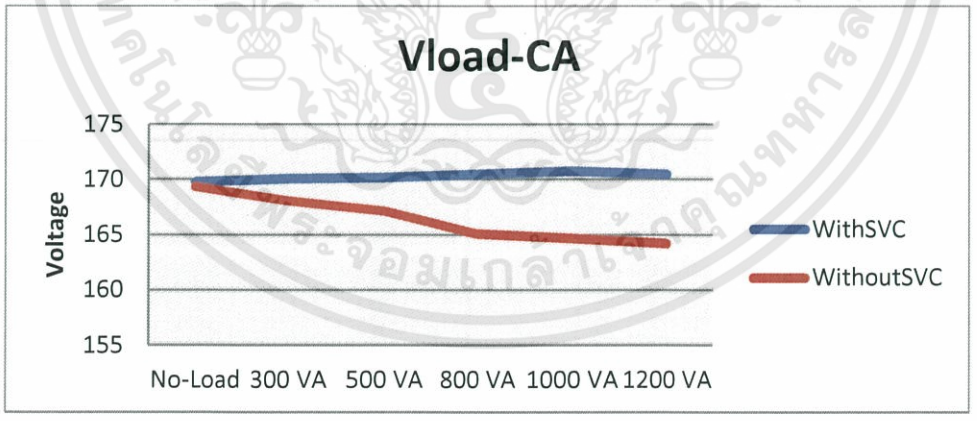
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

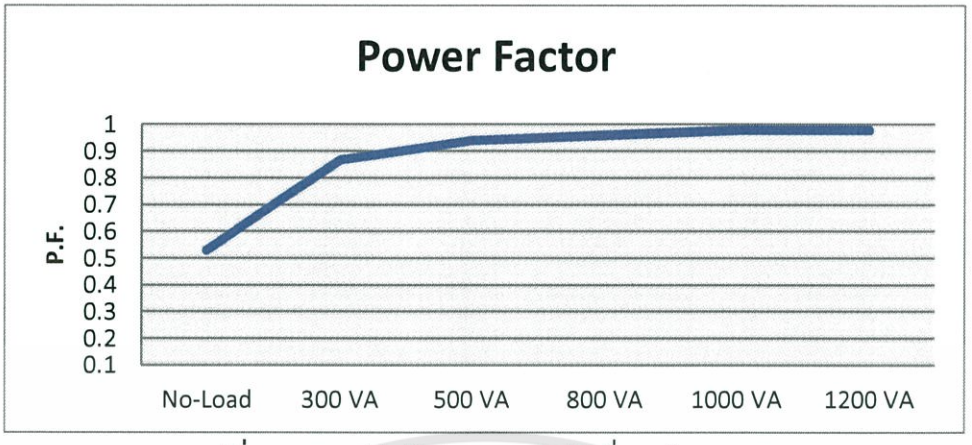


(ค)

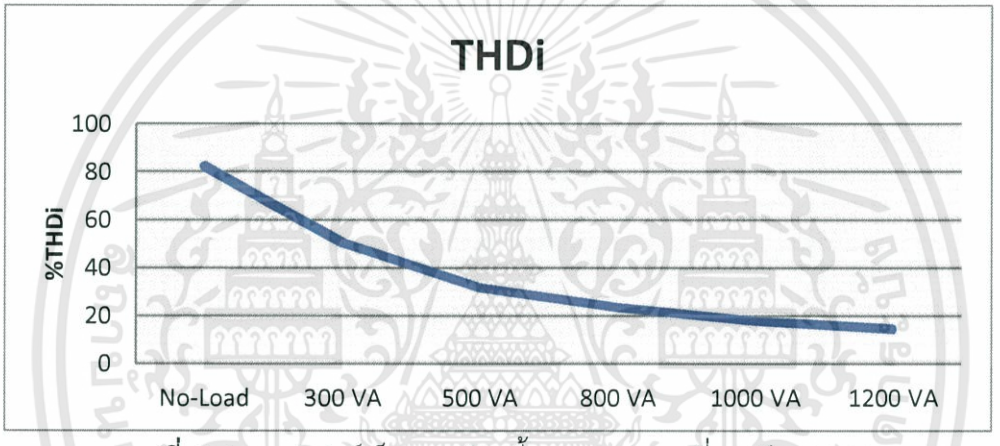
รูปที่ 4.4 กราฟผลการทดลองการชดเชยแรงดันที่โหลด ที่แรงดัน 170 V
(ก) เฟส AB, (ข) เฟส BC, (ค) เฟส CA

จากการทดลองเครื่องชดเชยกำลังรีแอคทีฟสามเฟสจะสามารถเห็นได้ว่า เครื่องชดเชยกำลังรีแอคทีฟสามเฟสสามารถรักษาแรงดันที่จุดโหลดได้จริงที่แรงดัน 170 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 170 V



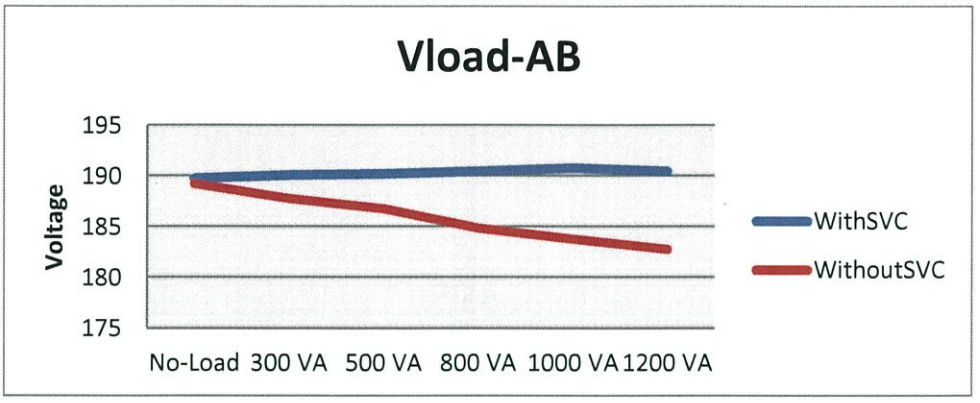
รูปที่ 4.6 กราฟเปอร์เซ็นความผิดเพี้ยนของกระแส ที่แรงดัน 170 V

4.3.2 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ที่แรงดัน 190 V

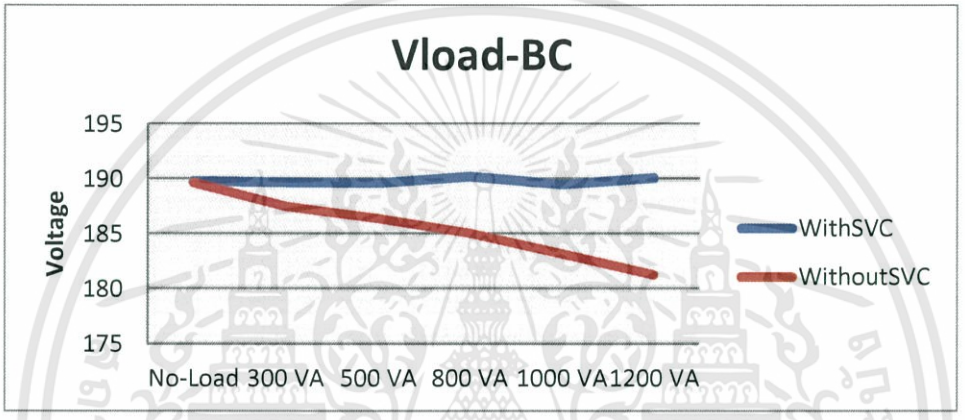
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการรักษาแรงดันและค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 190 V

ขนาดโหลด	No-Load	300 VA	500 VA	800 VA	1000 VA	1200 VA
Vs(V)	109	109.2	109.2	108.7	108.6	108.3
Is(A)	0.73	1.02	1.56	2.1	2.7	3.23
P(W)	0.04	0.09	0.15	0.21	0.28	0.34
S(VA)	0.08	0.11	0.17	0.23	0.29	0.35
Q(VAR)	0.07	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09
P.F.	0.52	0.84	0.89	0.93	0.95	0.97
D.P.F.	0.97	0.94	0.95	0.95	0.97	0.98
THDi(%)	84	51.2	30.8	22.5	17.2	14.5
THDv(%)	1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2

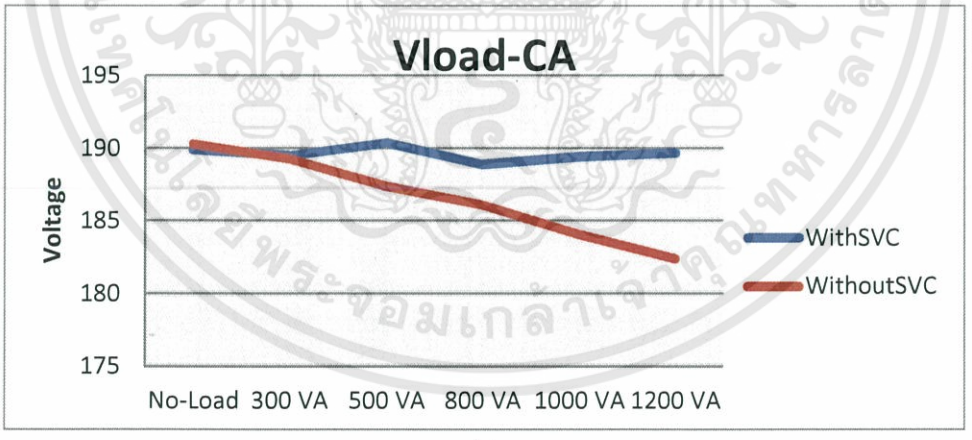
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

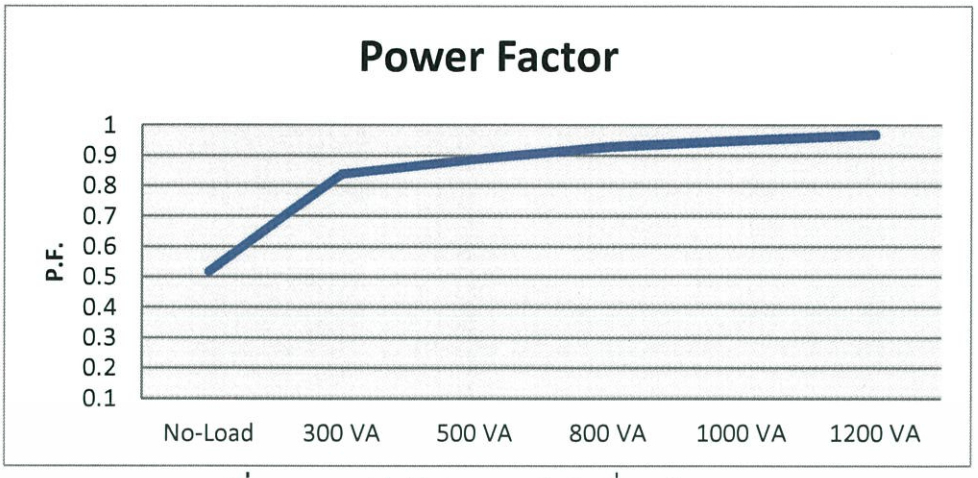


(ค)

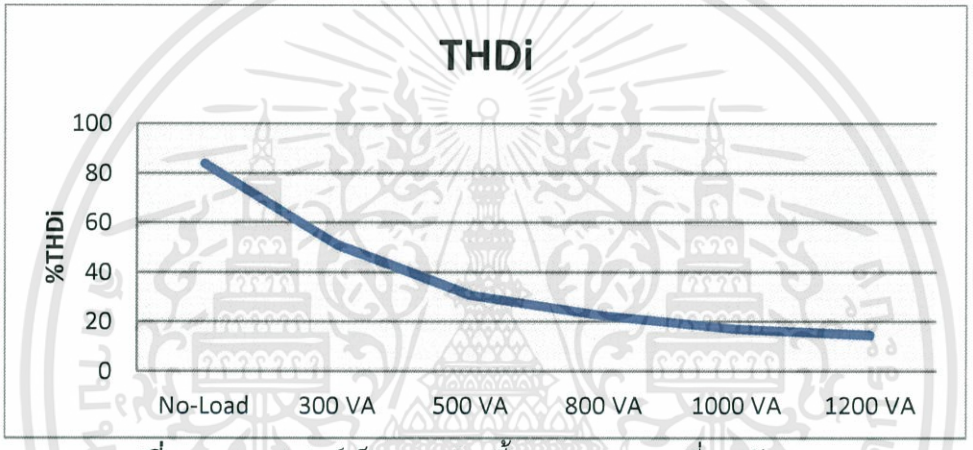
รูปที่ 4.7 กราฟผลการทดลองการชดเชยแรงดันที่โหลด ที่แรงดัน 190 V
(ก) เฟส AB, (ข) เฟส BC, (ค) เฟส CA

จากการทดลองเครื่องชดเชยกำลังรีแอคทีฟสามเฟสจะสามารถเห็นได้ว่า เครื่องชดเชยกำลังรีแอคทีฟสามเฟสสามารถรักษาแรงดันที่จุดโหลดได้จริงที่แรงดัน 190 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 190 V



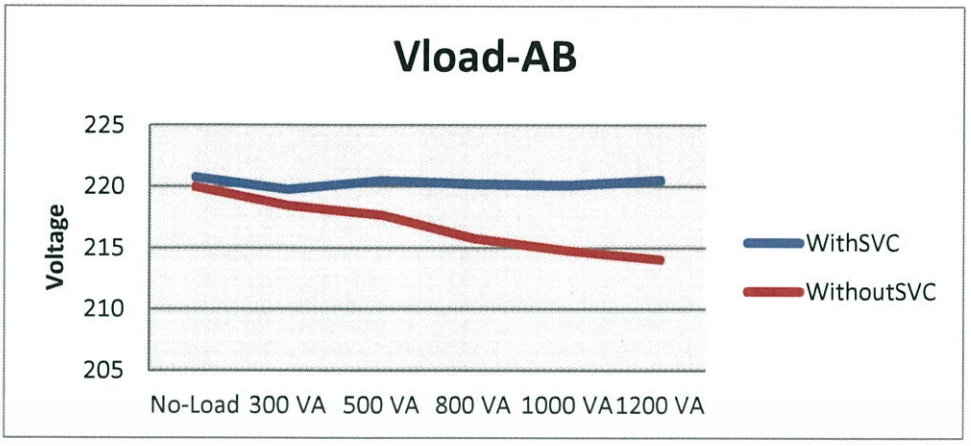
รูปที่ 4.9 กราฟเปอร์เซ็นความผิดเพี้ยนของกระแส ที่แรงดัน 190 V

4.3.3 ผลการทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส ที่แรงดัน 220 V

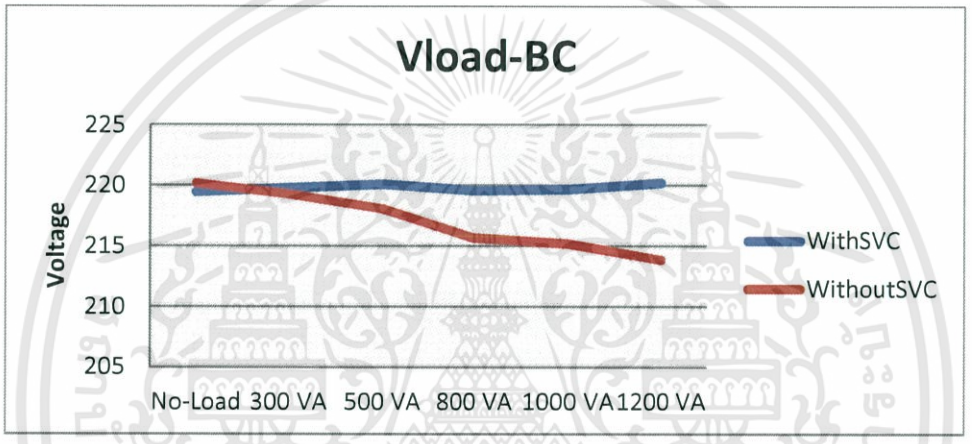
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการรักษาแรงดันและค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 220 V

ขนาดโหลด	No-Load	300 VA	500 VA	800 VA	1000 VA	1200 VA
Vs(V)	119.9	120.9	121	120.6	120.5	121.7
Is(A)	0.76	0.95	1.54	2.24	2.77	3.39
P(W)	0.01	0.09	0.16	0.24	0.32	0.4
S(VA)	0.1	0.13	0.19	0.26	0.34	0.41
Q(VAR)	0.09	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1
P.F.	0.1	0.67	0.86	0.93	0.95	0.97
D.P.F.	0.22	0.89	0.94	0.95	0.97	0.97
THDi(%)	65.9	46	30	20.4	16.8	13.3

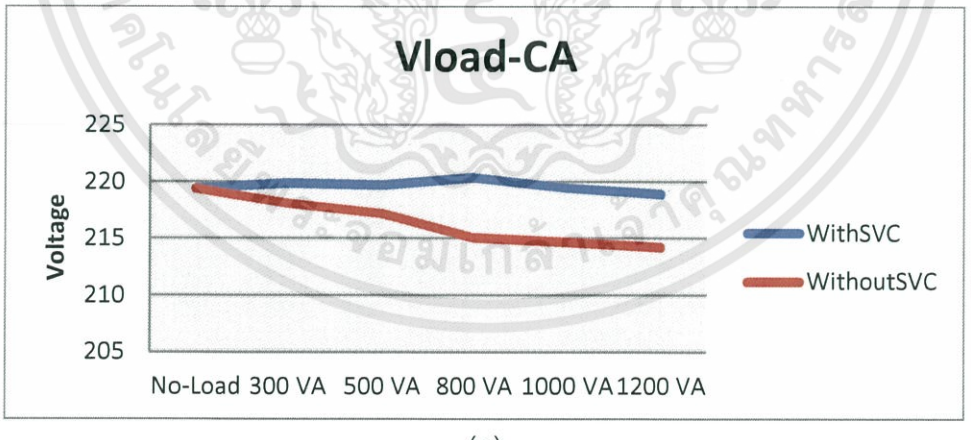
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

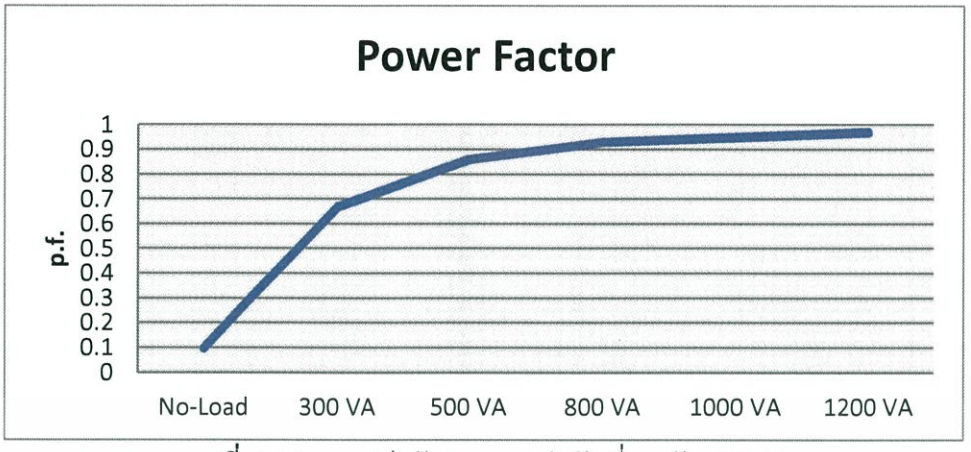


(ค)

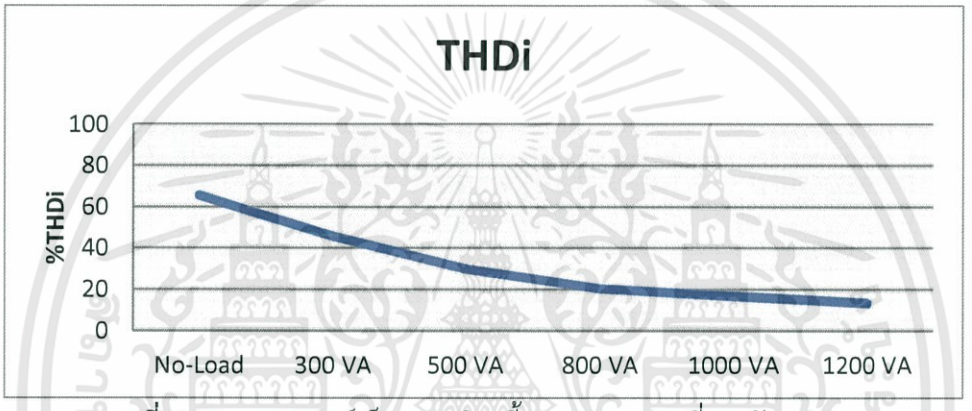
รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดลองการชดเชยแรงดันที่โหลด ที่แรงดัน 220 V
(ก) เฟส AB, (ข) เฟส BC, (ค) เฟส CA

จากการทดลองเครื่องชดเชยกำลังรีแอคทีฟสามเฟสจะสามารถเห็นได้ว่า เครื่องชดเชยกำลังรีแอคทีฟสามเฟสสามารถรักษาแรงดันที่จุดโหลดได้จริงที่แรงดัน 220 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟค่าตัวประกอบกำลัง ที่แรงดัน 220 V

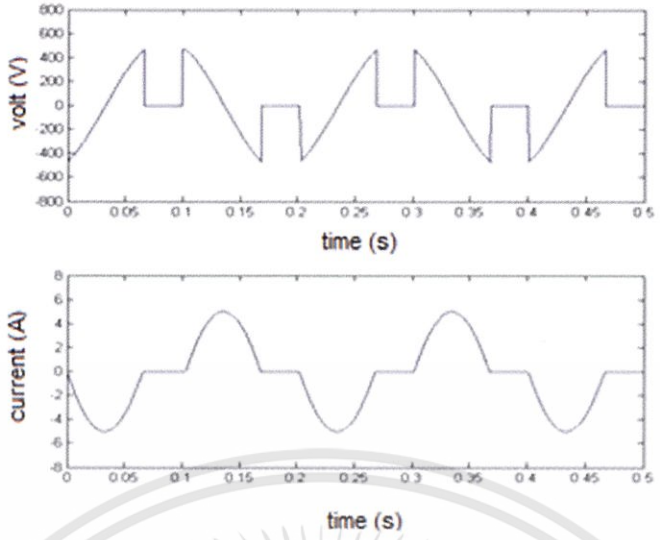


รูปที่ 4.12 กราฟเปอร์เซ็นความผิดเพี้ยนของกระแส ที่แรงดัน 220 V

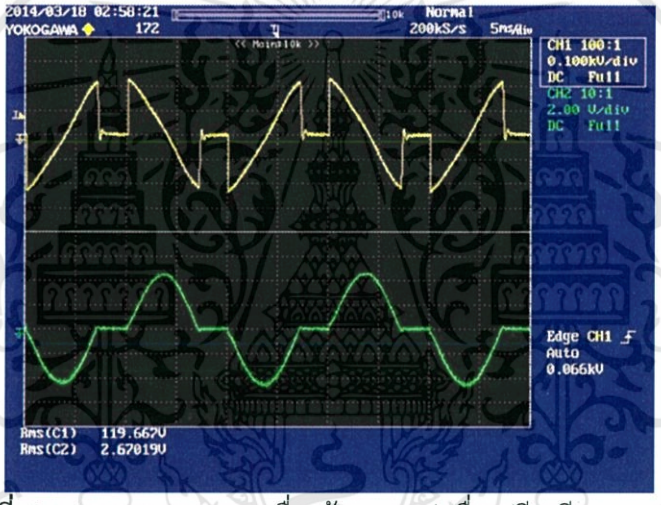
4.4 การทดสอบผลกระทบการเปลี่ยนแปลงมุมชนวน

เพื่อศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงมุมจุดชนวนที่ส่งผลให้รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ในชุดชดเชยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามลักษณะแบบเดียวกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยผลการทดสอบจะถูกนำมาเปรียบเทียบดังในรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



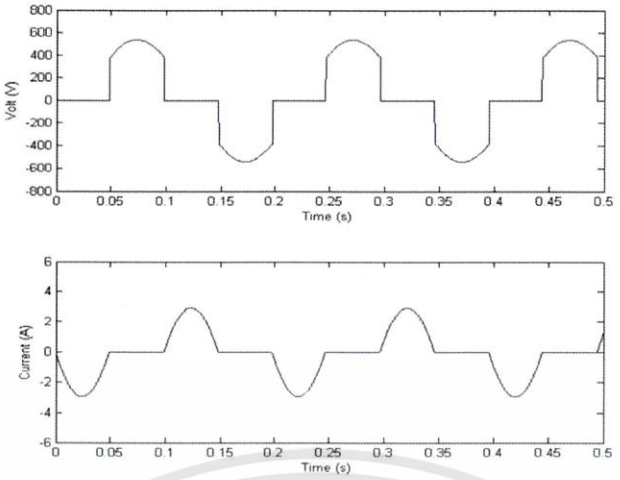
รูปที่ 4.13 ผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α=120°



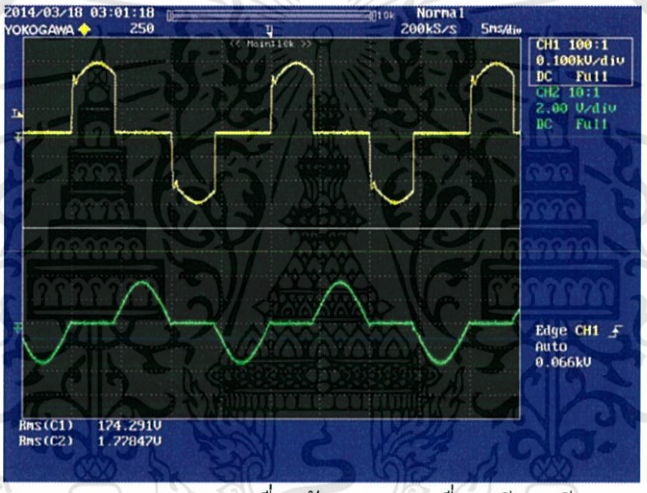
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบรูปคลื่นเปรียเทียบระหว่าง แรงดันและกระแสของตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α = 120°

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะได้ว่าผลการจำลองและผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่มุมจุดชนวน 120° มีความใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



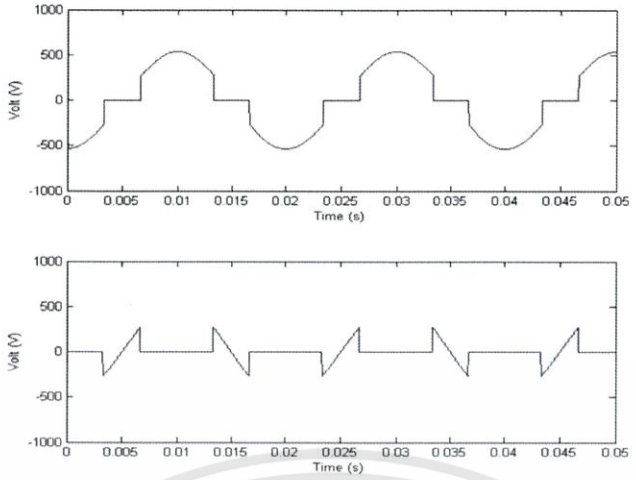
รูปที่ 4.15 ผลการจำลองรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่าง
แรงดันที่ไตรแอคและรูปคลื่นกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α=135°



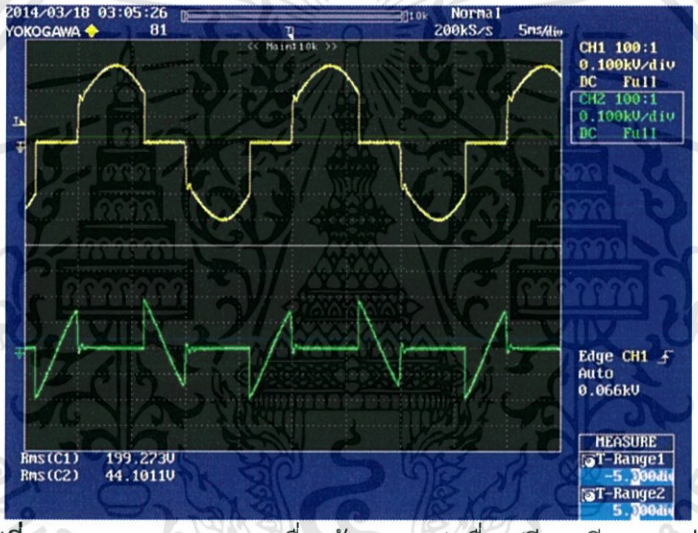
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่าง
แรงดันที่ไตรแอคและรูปคลื่นกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α=135°

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะได้ว่าผลการจำลองกับผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่มุมจุดชนวน 135° มีความใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลการจำลองรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่าง
แรงดันที่ไตรแอค และแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ เฟส BC α = 150°



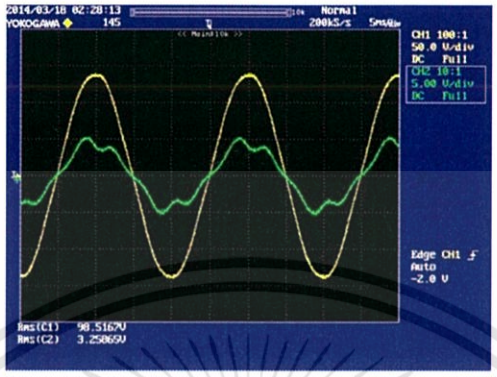
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบรูปคลื่นเปรียบเทียบระหว่าง
แรงดันที่ไตรแอค และแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำเฟส BC α=150°

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่าผลการจำลองกับผลการทดสอบเครื่องต้นแบบที่มุม
จุดชนวน 135° มีความใกล้เคียงกัน

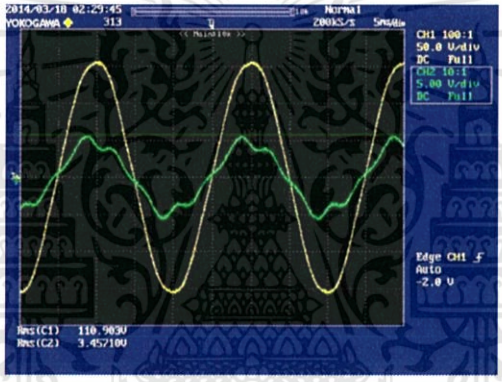
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาค่าตัวประกอบกำลังของแหล่งจ่าย

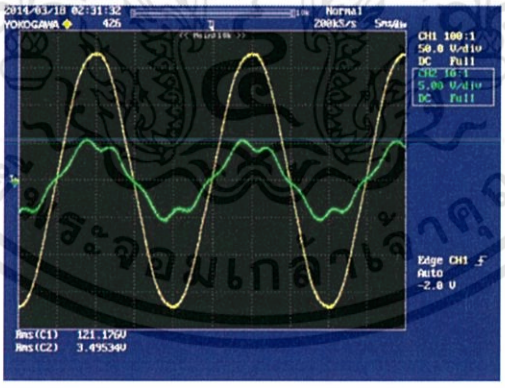
โดยการศึกษาจะทำการจับรูปคลื่นแรงดันเทียบกับรูปคลื่นกระแสของแหล่งจ่าย เพื่อหาค่าตัวประกอบกำลังที่แหล่งจ่าย เมื่อได้รับผลจากการต่อตัวชดเชยที่มุมจุดชนวนต่างๆ



(ก)



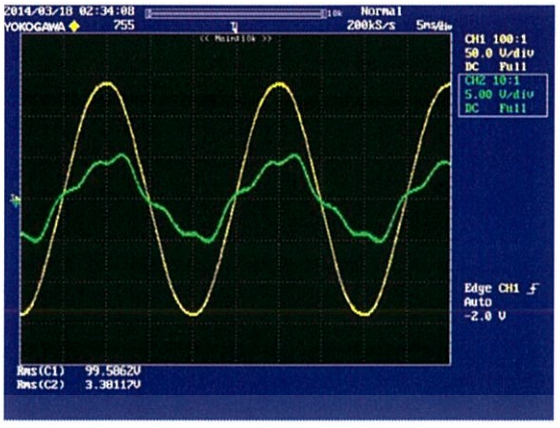
(ข)



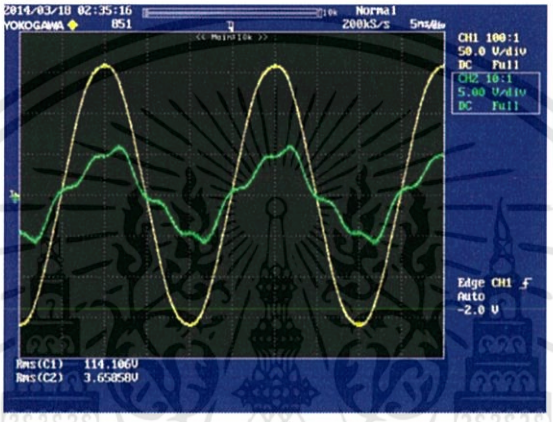
(ค)

รูปที่ 4.19 รูปเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่แหล่งจ่าย ที่ค่าแรงดันพิกัด 170 V (ก) เฟส a (ข) เฟส b (ค) เฟส c

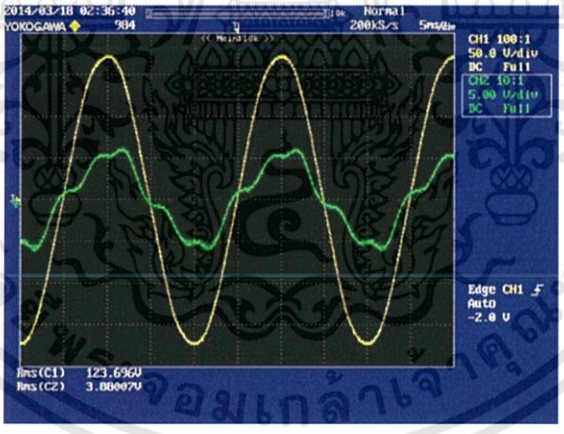
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



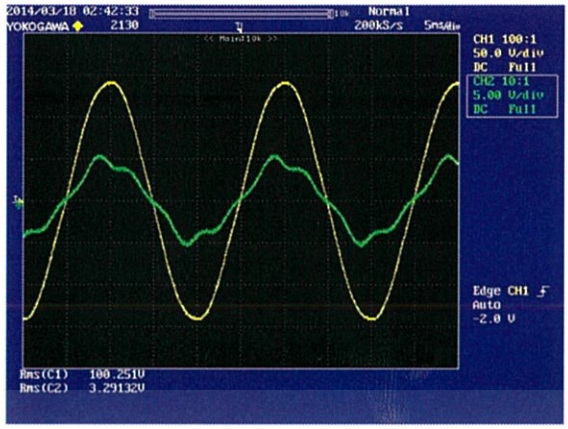
(ข)



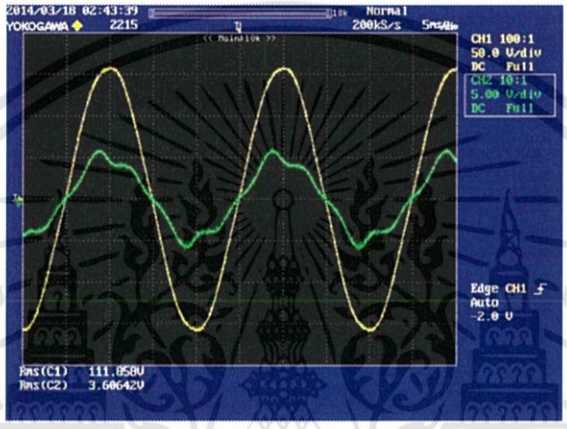
(ค)

รูปที่ 4.20 รูปเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่แหล่งจ่าย ที่ค่าแรงดันพิกัด 190 V (ก) เฟส a (ข) เฟส b (ค) เฟส c

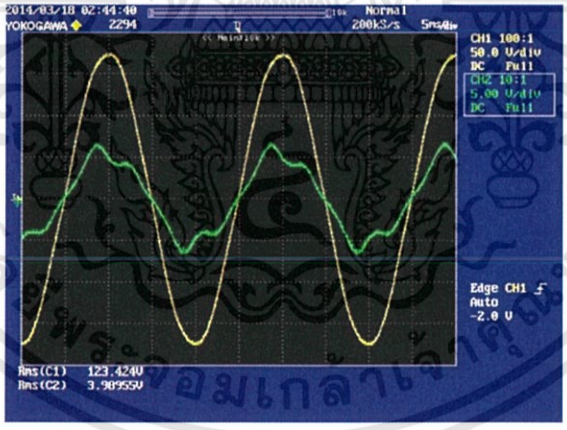
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



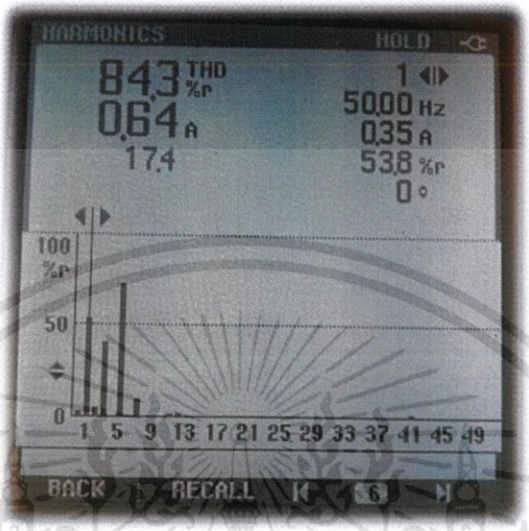
(ค)

รูปที่ 4.21 รูปเปรียบเทียบรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่แหล่งจ่าย ที่ค่าแรงดันพิกัด 220 V (ก) เฟส a (ข) เฟส b (ค) เฟส c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษาค่าฮาร์มอนิกส์

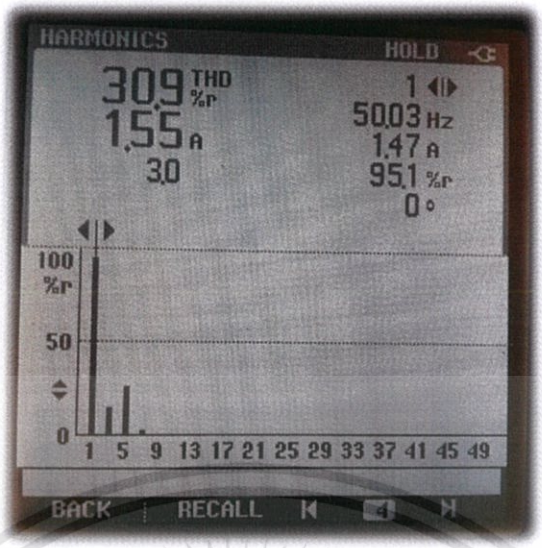
โดยทำการวัดค่าฮาร์มอนิกส์ลำดับต่างๆที่ขั้วของโหลดออกมาในรูปแบบของสเปกตรัม ซึ่งในการศึกษาจะทำการปรับมุมจุดชนวน และปริมาณของโหลดค่าต่างๆ เพื่อศึกษาปริมาณฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากการสวิตชิ่งของตัวชดเชย



รูปที่ 4.22 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ No-load

รูปที่ 4.23 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่ขนาดโหลด 300 VA

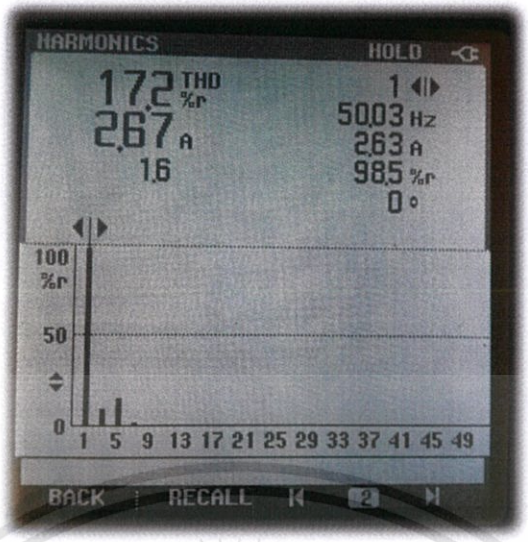
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่โหลด 500 VA

รูปที่ 4.25 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่โหลด 800 VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่โหลด 1000 VA

รูปที่ 4.27 ค่าฮาร์มอนิกส์ที่แรงดัน 190 V และที่โหลด 1200 VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 อภิปรายผลการทดลอง

จากการผลการทดลองเครื่องต้นแบบตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟโดยเริ่มจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แล้วจึงนำมาออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ โดยผลการทดลองนี้จะจำแนกออกเป็นเรื่องต่างๆ แรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่าตัวประกอบกำลังของแหล่งจ่าย ค่า THD_iของแหล่งจ่าย โดยการทำลองของเครื่องต้นแบบจะทำรับสัญญาณจากจุดโหลดมาเข้า ไมโครโคลโทลเลอร์ ทำการประมวลผล ปรับมุมจุดฉนวนที่เหมาะสม แล้วส่งสัญญาณ (Trigger) ออกมาผ่านวงจร Buffer เพิ่มขนาดของสัญญาณ แล้วจึงไปขับขาเกตของอุปกรณ์สวิตชิ่ง ไตรแอค โดยการสวิตชิ่งนั้นเป็นการปรับค่ารีแอคเตอร์ของตัวชดเชยเพื่อปรับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ที่ตัวชดเชยนั้นส่งให้แก่ระบบ จากทดลองในระดับแรงดันต่างๆ พบว่าการติดตั้งตัวชดเชยกำลังไฟฟ้า รีแอคทีฟนั้น รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ณ จุดโหลดได้ ทุกช่วงการทดลอง เป็นไปตามวัตถุประสงค์ เมื่อศึกษาการทดลองเพิ่มเติม จะพบว่าเกิดปัญหาในด้าน THD_i โดยในขณะ โหลดต่ำนั้น THD_i จะมีค่าสูงมาก ซึ่งเป็นการสร้างฮามอร์นิคให้กับระบบ แต่เมื่อทำการเพิ่มโหลดมากยิ่งขึ้น THD_i จะน้อยลงตามไปด้วย การศึกษาในเรื่องของ ค่าตัวประกอบกำลัง มีปัญหาแบบเดียวกับ THD_i ในสภาพว่าโหลดต่ำๆจะพบว่า ค่าตัวประกอบกำลังนั้นจะมีค่าต่ำ ในขณะโหลดต่ำ และดีขึ้นเมื่อเพิ่มโหลดเข้าสู่ระบบ

ในการทดลองพบว่าเกิดปัญหาในด้านพิกัดแรงดันที่ทำการทดลอง เนื่องจากเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าที่พิกัดจะเกิดการพังบริเวณอุปกรณ์สวิตชิ่งต์ การศึกษาจึงลดขนาดแรงดันลงแล้วจึงทำการทดลอง นอกจากนั้น ค่ารีแอคเตอร์ในตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟนั้น ทั้งสามเฟสมีขนาดไม่เท่ากันจึงส่งผลทำให้เกิดกรณีไม่สมดุล (Unbalance) จึงแก้ไขในทางโปรแกรมของไมโครคอนโทลเลอร์เพื่อชดเชยมุมจุดฉนวนให้ทั้งสามเฟสสมดุล (Balance)

5.2 สรุปผลการทดลอง

เครื่องต้นแบบตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าที่โหลดได้ โดยการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูญเสียในสายส่ง เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเข้าใกล้ Unity เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโหลด ซึ่งเป็นผลที่ตามมาจากการปรับมุมจุดชนวน แต่ตัวชดเชยที่ปัญหาสร้างฮามอร์นิคให้ระบบ ในสภาวะโหลดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ประโยชน์

ได้นำความรู้ที่ศึกษามาประยุกต์ใช้โครงงานวิจัย ฝึกทักษะการวางแผนและทำงานเป็นทีม ฝึกใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัดทำให้เกิดความชำนาญ ได้มีประสบการณ์การทำงานแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

เครื่องต้นแบบไม่สามารถทำงานในระดับแรงดันที่ได้วางแผนออกแบบไว้ ตัวเหนี่ยวนำในตัวชดเชยมีขนาดไม่เท่ากัน ส่งผลให้ค่ารีแอคเตอร์ไม่เท่ากัน

5.5 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการตรวจสอบลายวงจรให้รอบคอบก่อนเริ่มต้นการทดลอง เพราะอาจนำมาสู่ความเสียหายได้ ตัวเหนี่ยวนำที่จะนำมาใช้ทดลอง ควรสั่ง เพราะการพันเองให้เป็นไปตามที่ต้องการต้องมีหลักการ เครื่องมือ และความชำนาญในการพันตัวเหนี่ยวนำ ควรศึกษาขอบเขตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เรียบร้อยก่อนจะสั่งซื้อหรือเริ่มทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] L.Gyugyi, "Power Electronics in Electric Utilities : Static Var Compensators," Proc.IEEE, Vol. 76, No.4, 1988, pp. 483-494.

[2] L.Gyugyi, "Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits," IEEE Trans. On Ind. Application, Vol. IA-15, NO.5, 1979, pp. 521-531.

[3] ทานทัด เนตรขำ และคณะ, "ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบสถิต," ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542

[4] ภีรศักดิ์ เผ่าผาง, "การวิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ชดเชยแรงดันกลับคืนแบบพลวัตที่ใช้พลังงานจากบัสด้านโหลด," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

[5] ภานุมาศ แสนพวง, "การศึกษาตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าแบบรวมสำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม ATP/EMTP," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รหัสการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์
(Code Program Microcontroller)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครื่องต้นแบบนี้ใช้ Microcontroller Arduino Mega 2560 โดยทางโปรแกรมเป็นลักษณะ ภาษา C++ โดยมีโค้ดที่สำเร็จรูปของทาง arduino ประกอบด้วยการกำหนดค่า register โดยตรงของตัวไมโครคอนโทลเลอร์

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

const byte BUTTON = 18;
const byte BUTTON1 = 19;
const byte BUTTON2 = 20;
int ledPin = 7;
int ledPin1 = 6;
int ledPin2 = 5;
int var = 0;
volatile int N =0;
volatile int N1 =0;
volatile int N2 =0;
volatile float volt = 100;
volatile int aval = 0 ;
int volt1=0;
int degree=0;
float vload=0;
float vref=190.25;
float v=0;
double val1=167;
int main(void)
{
   Serial.begin(9600);
attachInterrupt (5, pinChange, RISING);
attachInterrupt (4, pinChange1, RISING);
attachInterrupt (3, pinChange2, RISING);
pinMode(ledPin,OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pinMode(ledPin1,OUTPUT);
pinMode(ledPin2,OUTPUT);
pinMode(BUTTON,INPUT);
pinMode(BUTTON1,INPUT);
pinMode(BUTTON2,INPUT);
digitalWrite (BUTTON, HIGH);
digitalWrite (BUTTON1, HIGH);
digitalWrite (BUTTON2, HIGH);

 ADMUX = 0x43;
 ADCSRA = 0x00;
 ADCSRA |= 0xA0;
 ADCSRB &= 0xF8;
 ADCSRA |= 0x0F;
TCCR0A |= (1 << WGM01);
 OCR0A = 0x50;
 TIMSK0 |= (1 << OCIE0A);
 sei();
 TCCR0B |= (1 << CS01);
 ADCSRA |= 0x40;  //start ADC
while (1)
   {

     vload = aval * (950.00/1023.0);
     v=vref-vload;
    if((v>1.2)&(vload>170))val1=val1+0.1;
    if((v<-1.2)&(vload>170))val1=val1-0.1;
    volt1=val1;
    if(volt1<152)volt1=152;
    if(volt1>237)volt1=237;
    degree=volt1*0.72;
    Serial.print(" vload = ");
    Serial.print(vload);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Serial.print(" diff = ");
      Serial.print(v);
       Serial.print(" volt1 = ");
      Serial.print(volt1);
      Serial.print(" degree = ");
      Serial.println(degree);

    }
}

ISR(ADC_vect) {
  aval = ADCL; // store lower byte ADC
  aval += ADCH*256  ; // store higher bytes ADC
  ADCSRA &= 0xEF;
  ADCSRA |= 0x40;  //start ADC
}

ISR (TIMER0_COMPA_vect)  // timer0 overflow interrupt
{
    //event to be exicuted every 4ms here
    N=N+1;
    N1=N1+1;
    N2=N2+1;
     if(((volt1)>=(N-1))&((volt1)<=(N+1)))digitalWrite(ledPin,HIGH);
     if(((volt1)>=(N1-1))&((volt1)<=(N1+1)))digitalWrite(ledPin1,HIGH);
     if(((volt1)>=(N2-1))&((volt1)<=(N2+1)))digitalWrite(ledPin2,HIGH);
  }

void pinChange ()
{
  N=0;
digitalWrite(ledPin,LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void pinChange1 ()
{
  N1=0;
digitalWrite(ledPin1,LOW);
}
void pinChange2()
{
 N2=0;
digitalWrite(ledPin2,LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
คู่มืออุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบในเครื่องต้นแบบ
(Datasheet of Equipment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by MC7800/D

MOTOROLA

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

Three-Terminal Positive Voltage Regulators

THREE–TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed–voltage regulators for a wide variety of applications including local, on–card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe–area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 A
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe–Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance
- Available in Surface Mount D^2PAK and Standard 3–Lead Transistor Packages
- Previous Commercial Temperature Range has been Extended to a Junction Temperature Range of –40°C to +125°C

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface connected to Pin 2.

Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D^2PAK)

Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE

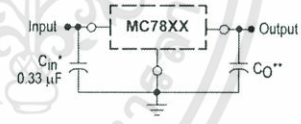
MC7805AC LM340AT–5	5.0 V	MC7812C LM340T–12	12 V
MC7805C LM340T–5		MC7815AC LM340AT–15	15 V
MC7806AC MC7806C	6.0 V	MC7815C LM340T–15	
MC7808AC MC7808C	8.0 V	MC7818AC MC7818C	18 V
MC7809C	9.0 V	MC7824AC MC7824C	24 V
MC7812AC LM340AT–12	12 V		

ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Operating Temperature Range	Package
MC78XXACT	2%	T_J = –40° to +125°C	Insertion Mount
LM340AT–XX			
MC78XXACD2T			Surface Mount
MC78XXCT	4%		Insertion Mount
LM340T–XX			
MC78XXCD2T			Surface Mount

XX indicates nominal voltage.

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response. Values of less than 0.1 µF could cause instability.

Ω Motorola, Inc. 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

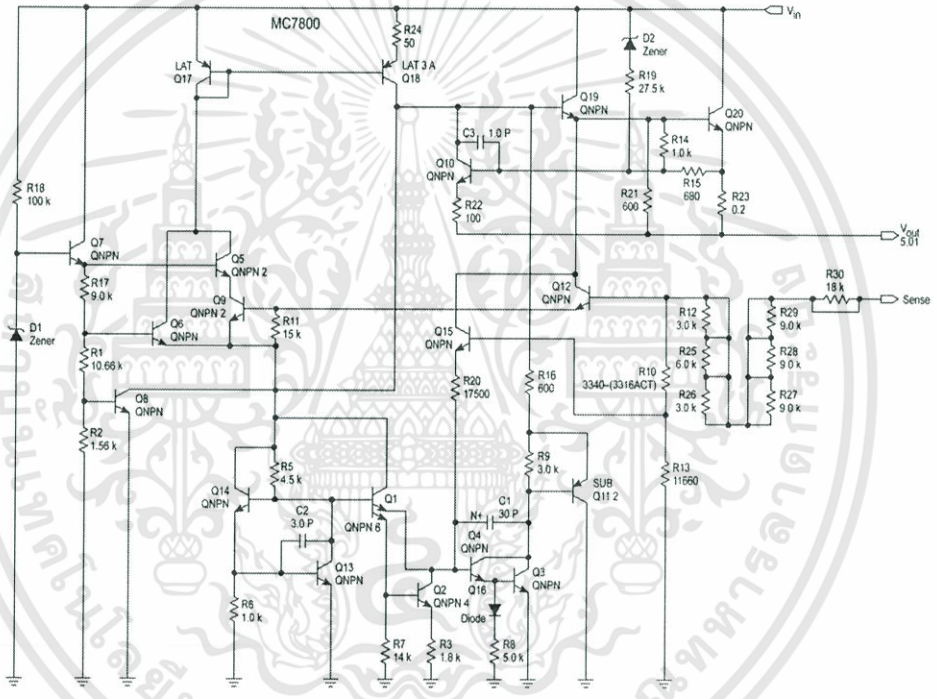
MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (5.0 – 18 V) (24 V)	V_I	35 40	Vdc
Power Dissipation Case 221A T_A = 25°C Thermal Resistance, Junction–to–Ambient Thermal Resistance, Junction–to–Case Case 936 (D^2PAK) T_A = 25°C Thermal Resistance, Junction–to–Ambient Thermal Resistance, Junction–to–Case	 P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JC}$ P_D $R_{\theta JA}$ $R_{\theta JA}$	 Internally Limited 65 5.0 Internally Limited See Figure 13 5.0	 W °C/W °C/W W °C/W °C/W
Storage Junction Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	°C
Operating Junction Temperature	T_J	+150	°C

NOTE: ESD data available upon request.

Representative Schematic Diagram



This device contains 22 active transistors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{in} = 10 V, I_O = 500 mA, T_J = T_{low} to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7805C/LM340T–5			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage (T_J = 25°C)	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Output Voltage (5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P_D ≤ 15 W) 7.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 20 Vdc 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 20 Vdc	V_O	 4.75 –	 5.0 –	 5.25 –	Vdc
Line Regulation (Note 2) 7.5 Vdc ≤ V_{in} ≤ 20 Vdc, 1.0 A 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 12 Vdc	Reg_{line}	 – –	 0.5 0.8	 20 10	mV
Load Regulation (Note 2) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A (T_A = 25°C)	Reg_{load}	 – -	 1.3 1.3	 25 25	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.2	6.5	mA
Quiescent Current Change 7.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 25 Vdc 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A (T_A = 25°C)	ΔI_B	 – –	 0.3 0.08	 1.0 0.8	mA
Ripple Rejection 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 18 Vdc, f = 120 Hz	RR	62	83	–	dB
Dropout Voltage (I_O = 1.0 A, T_J = 25°C)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc
Output Noise Voltage (T_A = 25°C) 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz	V_n	–	10	–	μV/V_O
Output Resistance f = 1.0 kHz	r_O	–	0.9	–	mΩ
Short Circuit Current Limit (T_A = 25°C) V_{in} = 35 Vdc	I_{SC}	–	0.6	–	A
Peak Output Current (T_J = 25°C)	I_{max}	–	2.2	–	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	–	–0.3	–	mV/°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{in} = 10 V, I_O = 1.0 A, T_J = T_{low} to T_{high} [Note 1], unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC7805AC/LM340AT–5			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Voltage (T_J = 25°C)	V_O	4.9	5.0	5.1	Vdc
Output Voltage (5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A, P_D ≤ 15 W) 7.5 Vdc ≤ V_{in} ≤ 20 Vdc	V_O	4.8	5.0	5.2	Vdc
Line Regulation (Note 2) 7.5 Vdc ≤ V_{in} ≤ 25 Vdc, I_O = 500 mA 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 12 Vdc, I_O = 1.0 A 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 12 Vdc, I_O = 1.0 A, T_J = 25°C 7.3 Vdc ≤ V_{in} ≤ 20 Vdc, I_O = 1.0 A, T_J = 25°C	Reg_{line}	 – – – –	 0.5 0.8 1.3 4.5	 10 12 4.0 10	mV
Load Regulation (Note 2) 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.5 A, T_J = 25°C 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A 250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA	Reg_{load}	 – – –	 1.3 0.8 0.53	 25 25 15	mV
Quiescent Current	I_B	–	3.2	6.0	mA
Quiescent Current Change 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 25 Vdc, I_O = 500 mA 7.5 Vdc ≤ V_{in} ≤ 20 Vdc, T_J = 25°C 5.0 mA ≤ I_O ≤ 1.0 A	ΔI_B	 – – –	 0.3 – 0.08	 0.8 0.8 0.5	mA
Ripple Rejection 8.0 Vdc ≤ V_{in} ≤ 18 Vdc, f = 120 Hz, I_O = 500 mA	RR	68	83	–	dB
Dropout Voltage (I_O = 1.0 A, T_J = 25°C)	$V_I - V_O$	–	2.0	–	Vdc

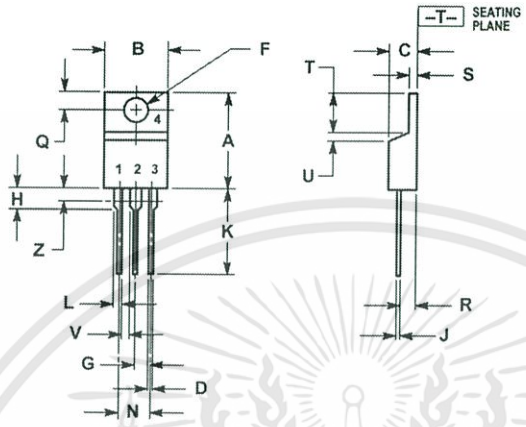
NOTES: 1. T_{low} = –40°C for MC78XXAC, C, LM340AT–XX, LM340T–XX T_{high} = +125°C for MC78XXAC, C, LM340AT–XX, LM340T–XX

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS

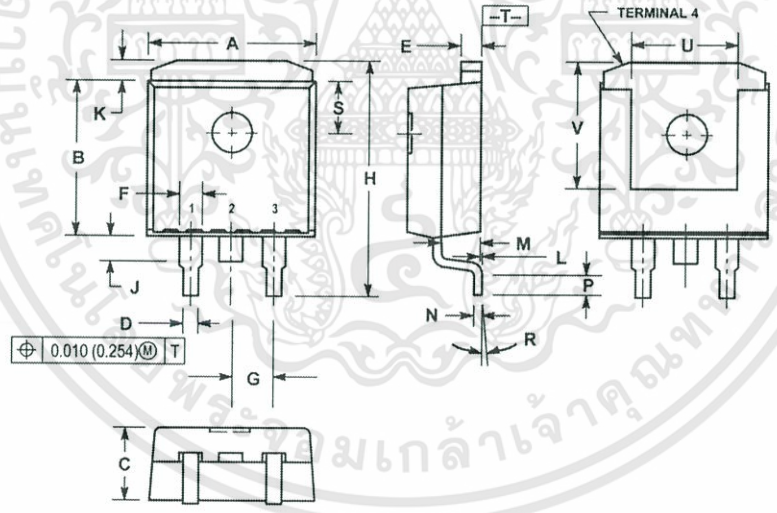
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A–06
ISSUE Y



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIM Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	–	1.15	–
Z	–	0.080	–	2.04

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936–03
(D^2PAK)
ISSUE B



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. TAB CONTOUR OPTIONAL WITHIN DIMENSIONS A AND K.
4. DIMENSIONS U AND V ESTABLISH A MINIMUM MOUNTING SURFACE FOR TERMINAL 4.
5. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR GATE PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND GATE PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.025 (0.635) MAXIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.386	0.403	9.804	10.236
B	0.356	0.368	9.042	9.347
C	0.170	0.180	4.318	4.572
D	0.026	0.036	0.660	0.914
E	0.045	0.055	1.143	1.397
F	0.051 REF		1.295 REF	
G	0.100 BSC		2.540 BSC	
H	0.539	0.579	13.691	14.707
J	0.125 MAX		3.175 MAX	
K	0.050 REF		1.270 REF	
L	0.000	0.010	0.000	0.254
M	0.088	0.102	2.235	2.591
N	0.018	0.026	0.457	0.660
P	0.058	0.078	1.473	1.981
R	5° REF		5° REF	
S	0.116 REF		2.946 REF	
U	0.200 MIN		5.080 MIN	
V	0.250 MIN		6.350 MIN	

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1–303–675–2140 or 1–800–441–2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: SPD, Strategic Planning Office, 4–32–1, Nishi–Gotanda, Shinagawa–ku, Tokyo 141, Japan. 81–3–5487–8488

Customer Focus Center: 1–800–521–6274

Mfax©: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 1–602–244–6609
Motorola Fax Back System – US & Canada ONLY 1–800–774–1848
– http://sps.motorola.com/mfax/

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852–26629298

HOME PAGE: http://motorola.com/sps/

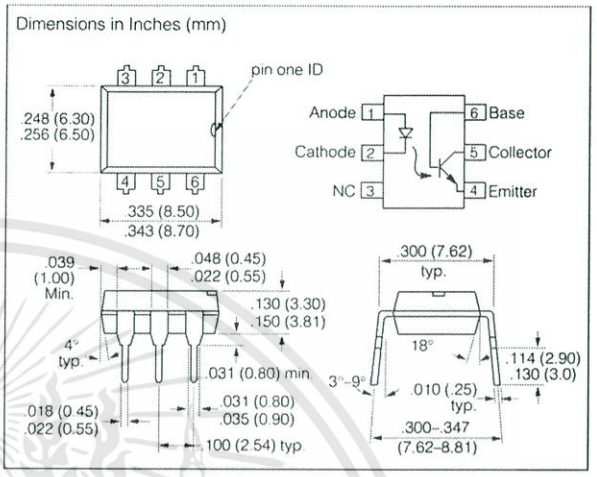
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHOTOTRANSISTOR

Industry Standard Single Channel 6 Pin DIP Optocoupler

DEVICE TYPES

Part No.	CTR % Min.	Part No.	CTR % Min.
4N25	20	MCT2	20
4N26	20	MCT2E	20
4N27	10	MCT270	50
4N28	10	MCT271	45–90
4N35	100	MCT272	75–150
4N36	100	MCT273	125–250
4N37	100	MCT274	225–400
4N38	10	MCT275	70–90
H11A1	50	MCT276	15–60
H11A2	20	MCT277	100
H11A3	20		
H11A4	10		
H11A5	30		



FEATURES

- **Interfaces with Common Logic Families**
- **Input-output Coupling Capacitance < 0.5 pF**
- **Industry Standard Dual-in-line 6-pin Package**
- **Field Effect Stable by TRIOS®**
- **5300 V_{RMS} Isolation Test Voltage**
- **Underwriters Laboratory File #E52744**
- **VDE #0884 Approval Available with Option 1**

APPLICATIONS

- **AC Mains Detection**
- **Reed Relay Driving**
- **Switch Mode Power Supply Feedback**
- **Telephone Ring Detection**
- **Logic Ground Isolation**
- **Logic Coupling with High Frequency Noise Rejection**

Notes:

Designing with data sheet is covered in Application Note 45.

DESCRIPTION

This data sheet presents five families of Infineon Industry Standard Single Channel Phototransistor Couplers. These families include the 4N25/26/27/28 types, the 4N35/36/37/38 couplers, the H11A1/A2/A3/A4/A5, the MCT2/2E, and MCT270/271/272/273/274/275/276/277 devices.Each optocoupler consists of Gallium Arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

These couplers are Underwriters Laboratories (UL) listed to comply with a 5300 V_{RMS} Isolation Test Voltage. This isolation performance is accomplished through Infineon double molding isolation manufacturing process. Compliance to VDE 0884 partial discharge isolation specification is available for these families by ordering option 1. Phototransistor gain stability, in the presence of high isolation voltages, is insured by incorporating a TRansparent IOn Shield (TRIOS)® on the phototransistor substrate. These isolation processes and the Infineon IS09001 Quality program results in the highest isolation performance available for a commercial plastic phototransistor optocoupler.

The devices are available in lead formed configuration suitable for surface mounting and are available either on tape and reel, or in standard tube shipping containers.

© 2001 Infineon Technologies Corp. • Optoelectronics Division • San Jose, CA
www.infineon.com/opto • 1-888-Infineon (1-888-463-4636)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Ratings T_A=25°C

Emitter

Reverse Voltage ..... 6.0 V
Forward Current ..... 60 mA
Surge Current (t≤10 µs) ..... 2.5 A
Power Dissipation ..... 100 mW

Detector

Collector-Emitter Breakdown Voltage ..... 70 V
Emitter-Base Breakdown Voltage ..... 7.0 V
Collector Current ..... 50 mA
Collector Current(t <1.0 ms) ..... 100 mA
Power Dissipation ..... 150 mW

Package

Isolation Test Voltage ..... 5300 V_{RMS}
Creepage ..... ≥7.0 mm
Clearance ..... ≥7.0 mm
Isolation Thickness between Emitter and Detector ..... ≥0.4 mm
Comparative Tracking Index per DIN IEC 112/VDE0303, part 1 175
Isolation Resistance
V_{IO}=500 V, T_A=25°C ..... 10^{12} Ω
V_{IO}=500 V, T_A=100°C ..... 10^{11} Ω
Storage Temperature ..... -55°C to +150°C
Operating Temperature ..... -55°C to +100°C
Junction Temperature ..... 100°C
Soldering Temperature (max. 10 s, dip soldering:
distance to seating plane ≥1.5 mm) ..... 260°C

4N25/26/27/28—Characteristics T_A=25°C

Emitter		**Symbol**	**Min.**	**Typ.**	**Max.**	**Unit**	**Condition**
Forward Voltage*		V_F	—	1.3	1.5	V	I_F=50 mA
Reverse Current*		I_R	—	0.1	100	µA	V_R=3.0 V
Capacitance		C_O	—	25	—	pF	V_R=0
Detector							
Breakdown Voltage*	Collector-Emitter	BV_{CEO}	30	—	—	V	I_C=1.0 mA
	Emitter-Collector	BV_{ECO}	7.0	—	—		I_E=100 µA
	Collector-Base	BV_{CBO}	70	—	—		I_C=100 µA
I_{CEO}(dark)*	4N25/26/27 4N28	—	—	5.0 10	50 100	nA	V_{CE}=10 V, (base open)
I_{CBO}(dark)*		—	—	2.0	20	nA	V_{CB}=10 V, (emitter open)
Capacitance, Collector-Emitter		C_{CE}	—	6.0	—	pF	V_{CE}=0
Package							
DC Current Transfer Ratio*	4N25/26	CTR	20	50	—	%	V_{CE}=10 V, I_F=10 mA
	4N27/28		10	30	—		
Isolation Voltage*	4N25	V_{IO}	2500	—	—	V	Peak, 60 Hz
	4N26/27		1500	—	—		
	4N28		500	—	—		
Saturation Voltage, Collector-Emitter		$V_{CE(sat)}$	—	—	0.5	V	I_{CE}=2.0 mA, I_F=50 mA
Resistance, Input to Output*		R_{IO}	100	—	—	GΩ	V_{IO}=500 V
Coupling Capacitance		C_{IO}	—	0.5	—	pF	f=1.0 MHz
Rise and Fall Times		t_r, t_f	—	2.0	—	µs	I_F=10 mA V_{CE}=10 V, R_L=100 Ω

* Indicates JEDEC registered values

© 2001 Infineon Technologies Corp. • Optoelectronics Division • San Jose, CA
www.infineon.com/opto • 1-888-Infineon (1-888-463-4636)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N35/36/37/38—Characteristics T_A=25°C

Emitter		Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Forward Voltage*		V_F	0.9	1.3	1.5 1.7	V	I_F=10 mA I_F=10 mA, T_A=–55°C
Reverse Current*		I_R		0.1	10	µA	V_R=6.0 V
Capacitance		C_O		25	—	pF	V_R=0, f=1.0 MHz
Detector							
Breakdown Voltage, Collector-Emitter*	4N35/36/37	BV_{CEO}	30	—	—	V	I_C=1.0 mA
	4N38		80	—	—		
Breakdown Voltage, Emitter-Collector*		BV_{ECO}	7.0	—	—	V	I_E=100 µA
Breakdown Voltage, Collector-Base*	4N35/36/37	BV_{CBO}	70	—	—	V	I_C=100 µA, I_B=1.0 µA
	4N38		80	—	—	—	
Leakage Current, Collector-Emitter*	4N35/36/37	I_{CEO}	—	5.0	50	nA	V_{CE}=10 V, I_F=0
	4N38		—	—	50		V_{CE}=60 V, I_F=0
Leakage Current, Collector-Emitter*	4N35/36/37	I_{CEO}	—	—	500	µA	V_{CE}=30 V, I_F=0, T_A=100°C
	4N38		—	6.0	—		V_{CE}=60 V, I_F=0, T_A=100°C
Capacitance, Collector-Emitter		C_{CE}	—	6.0	—	pF	V_{CE}=0
Package							
DC Current Transfer Ratio*	4N35/36/37	CTR	100	—	—	%	V_{CE}=10 V, I_F=10 mA,
	4N38		20	—	—		V_{CE}=1.0 V, I_F=20 mA
DC Current Transfer Ratio*	4N35/36/37	CTR	40	50	—	%	V_{CE}=10 V, I_F=10 mA, T_A=–55 to 100°C
	4N38	—	—	30	—	—	
Resistance, Input to Output*		R_{IO}	10^{11}	—	—	Ω	V_{IO}=500 V
Coupling Capacitance		C_{IO}	—	0.5	—	pF	f=1.0 MHz
Switching Time*		t_{ON}, t_{OFF}	—	10	—	µs	I_C=2.0 mA, R_L=100 Ω, V_{CC}=10 V

* Indicates JEDEC registered value

H11A1 through H11A5—Characteristics T_A=25°C

Emitter		Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Forward Voltage	H11A1–H11A4	V_F	—	1.1	1.5	V	I_F=10 mA
	H11A5		—	1.1	1.7		
Reverse Current		I_R	—	—	10	µA	V_R=3.0 V
Capacitance		C_0	—	50	—	pF	V_R=0, f=1.0 MHz
Detector							
Breakdown Voltage, Collector-Emitter		BV_{CEO}	30	—	—	V	I_C=1.0 mA, I_F=0 mA
Breakdown Voltage, Emitter-Collector		BV_{ECO}	7.0	—	—	V	I_E=100 µA, I_F=0 mA
Breakdown Voltage, Collector-Base		BV_{CBO}	70	—	—	V	I_C=10 µA, I_F=0 mA
Leakage Current, Collector-Emitter		I_{CEO}	—	5.0	50	nA	V_{CE}=10 V, I_F=0 mA
Capacitance, Collector-Emitter		C_{CE}	—	6.0	—	pF	V_{CE}=0
Package							
DC Current Transfer Ratio	H11A1	CTR	50	—	—	%	V_{CE}=10 V, I_F=10 mA
	H11A2/3		20	—	—		
	H11A4		10	—	—		
	H11A5		30	—	—		
Saturation Voltage, Collector-Emitter		V_{CEsat}	—	—	0.4	V	I_{CE}=0.5 mA, I_F=10 mA
Capacitance, Input to Output		C_{IO}	—	0.5	—	pF	—
Switching Time		t_{ON}, t_{OFF}	—	3.0	—	µs	I_C=2.0 mA, R_L=100 Ω, V_{CE}=10 V

© 2001 Infineon Technologies Corp. • Optoelectronics Division • San Jose, CA
www.infineon.com/opto • 1-888-Infineon (1-888-463-4636)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCT2/MCT2E—Characteristics T_A=25°C

Emitter		Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Forward Voltage		V_F	—	1.1	1.5	V	I_F=20 mA
Reverse Current		I_R	—	—	10	µA	V_R=3.0 V
Capacitance		C_O	—	25	—	pF	V_R=0, f=1.0 MHz
Detector							
Breakdown Voltage	Collector-Emitter	BV_{CEO}	30	—	—	V	I_C=1.0 mA, I_F=0 mA
	Emitter-Collector	BV_{ECO}	7.0	—	—		I_E=100 µA, I_F=0 mA
	Collector-Base	BV_{CBO}	70	—	—		I_C=10 µA, I_F=0 mA
Leakage Current	Collector-Emitter	I_{CBO}	—	5.0	50	nA	V_{CE}=10 V, I_F=0
	Collector-Base	I_{CBO}	—	—	20	—	
Capacitance, Collector-Emitter	—	C_{CE}	—	10	—	pF	V_{CE}=0
Package							
DC Current Transfer Ratio		CTR	20	60	—	%	V_{CE}=10 V, I_F=10 mA
Capacitance, Input to Output		C_{IO}	—	0.5	—	pF	—
Resistance, Input to Output		R_{IO}	—	100	—	GΩ	—
Switching Time		t_{ON}, t_{OFF}	—	3.0	—	µs	I_C=2.0 mA, R_L=100 Ω, V_{CE}=10 V

MCT270 through MCT277—Characteristics T_A=25°C

Emitter		Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Forward Voltage		V_F	—	—	1.5	V	I_F=20 mA
Reverse Current		I_R	—	—	10	µA	V_R=3.0 V
Capacitance		C_O	—	25	—	pF	V_R=0, f=1.0 MHz
Detector							
Breakdown Voltage	Collector-Emitter	BV_{CEO}	30	—	—	V	I_C=10 µA, I_F=0 mA
	Emitter-Collector	BV_{ECO}	7.0	—	—		I_E=10 µA, I_F=0 mA
	Collector-Base	BV_{CBO}	70	—	—	—	I_C=10 µA, I_F=0 mA
Leakage Current, Collector-Emitter		I_{CEO}	—	—	50	nA	V_{CE}=10 V, I_F=0 mA
Package							
DC Current Transfer Ratio	MCT270	CTR	50	—	—	%	V_{CE}=10 V, I_F=10 mA
	MCT271		45	—	90		
	MCT272		75	—	150		
	MCT273		125	—	250		
	MCT274		225	—	400		
	MCT275		70	—	210		
	MCT276		15	—	60		
	MCT277		100	—	—		
Current Transfer Ratio, Collector–Emitter	MCT271–276	CTR_{CE}	12.5	—	—	%	V_{CE}=0.4 V, I_F=16 mA
	MCT277		40	—	—	—	
Collector–Emitter Saturation Voltage		V_{CEsat}	—	—	0.4	V	I_{CE}=2.0 mA, I_F=16 mA
Capacitance, Input to Output		C_{IO}	—	0.5	—	pF	—
Resistance, Input to Output		R_{IO}	—	10^{12}	—	Ω	V_{IO}=500 VDC
Switching Time	MCT270/272	t_{ON}, t_{OFF}	—	—	10	µs	I_C=2.0 mA, R_L=100 Ω, V_{CE}=5.0 V
	MCT271		—	—	7.0		
	MCT273		—	—	20		
	MCT274		—	—	25		
	MCT275/277		—	—	15		
	MCT276		—	—	3.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

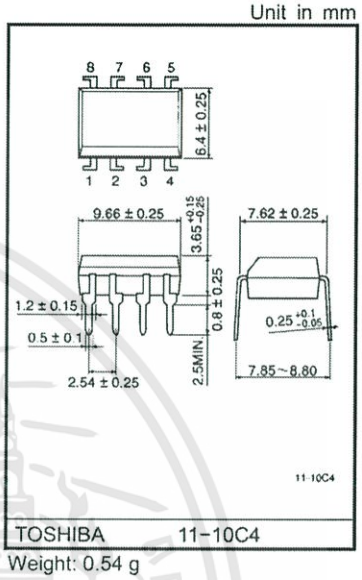
Transistor Inverter
Inverter For Air Conditionor
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: I_F=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10-35V
- Output current (I_O): ±1.5A (max.)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 1.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(min.)
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
  VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
  Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
  Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

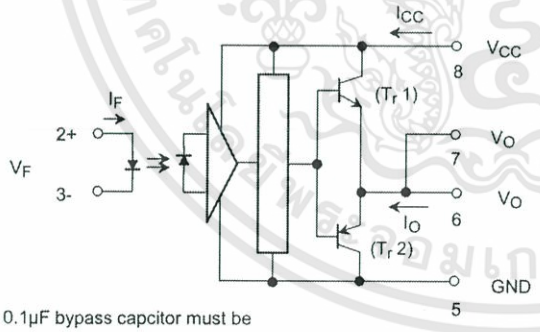
  (Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"
- Creepage distance: 6.4mm(min.)
  Clearance: 6.4mm(min.)

Unit in mm



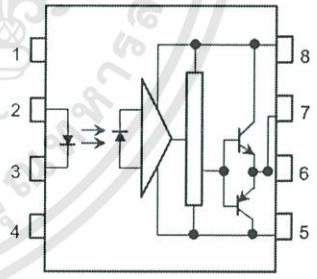
TOSHIBA 11-10C4
Weight: 0.54 g

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Pin Configuration (top view)



1 : N.C.
2 : Anode
3 : Cathode
4 : N.C.
5 : GND
6 : V_O (Output)
7 : V_O
8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic			Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	−0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent	(Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V_R	5	V
	Junction temperature		Tj	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPH}	−1.5	A
	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Junction temperature		Tj	125	°C
Operating frequency		(Note 3)	f	25	kHz
Operating temperature range			T_{opr}	−20~85	°C
Storage temperature range			T_{stg}	−55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s)			T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%)		(Note 4)	BV_S	2500	Vrms

(Note 1) Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

(Note 2) Exporenential wavefom

(Note 3) Exporenential wavefom, I_{OPH} ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)

(Note 4) Device considerd a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching proparty. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.		Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10		mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8		V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5		A
Operating temperature	T_{opr}	−20	25	70	85	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Ta = −20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition		Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V_F	—	I_F = 10 mA , Ta = 25°C			1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	I_F = 10 mA		—	−2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I_R	—	V_R = 5V, Ta = 25°C			—	10	μA
Input capacitance		C_T	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	I_{OPH}	3	V_{CC} = 30V (*1)	I_F = 10 mA V_{8-6} = 4V	−0.5	−1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2		I_F = 0 V_{6-5} = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V_{OH}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, I_F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	5	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_F = 0.8V		—	−14.2	−12.5	
Supply current	"H" level	I_{CCH}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 10mA		—	—	11	
	"L" level	I_{CCL}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				V_{CC} = 30V, I_F = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I_{FLH}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I_{FHL}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_O < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		V_{CC}	—			10	—	35	V
Capacitance (input−output)		C_S	—	V_S = 0 , f = 1MHz Ta = 25°C		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input−output)		R_S	—	V_S = 500V , Ta = 25°C R.H.≤ 60%		1×10^{12}	10^{14}	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Characteristics (Ta = −20~70°C , unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	6	I_F = 8mA V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t_r			—	—	—	
Output fall time		t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C_{MH}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 8mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	−5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C_{ML}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 0mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MOC3020/D

GlobalOptoisolator

VDE | UL | CSA | SETI | SEMKO | DEMKO | NEMKO | BABT

6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output
(400 Volts Peak)

MOC3021
[IFT = 15 mA Max]
MOC3022
[IFT = 10 mA Max]
MOC3023*
[IFT = 5 mA Max]

*Motorola Preferred Device

The MOC3020 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

- ω ***To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.***

They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- ω Solenoid/Valve Controls
- ω Lamp Ballasts
- ω Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- ω Motor Controls
- ω Static ac Power Switch
- ω Solid State Relays
- ω Incandescent Lamp Dimmers

STYLE 6 PLASTIC

STANDARD THRU HOLE
CASE 730A–04

SCHEMATIC

1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
   DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P_D	100 1.33	mW mW/°C
OUTPUT DRIVER			
Off–State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	300 4	mW mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage(1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	330 4.4	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T_J	−40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range(2)	T_A	−40 to +85	°C
Storage Temperature Range(2)	T_{stg}	−40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	°C

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 1

Ω Motorola, Inc. 1995

MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3021 MOC3022 MOC3023

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED						
Reverse Leakage Current (V_R = 3 V)		I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage (I_F = 10 mA)		V_F	—	1.15	1.5	Volts
OUTPUT DETECTOR (I_F = 0 unless otherwise noted)						
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated V_{DRM}(1))		I_{DRM}	—	10	100	nA
Peak On–State Voltage, Either Direction (I_{TM} = 100 mA Peak)		V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off–State Voltage (Figure 7, Note 2)		dv/dt	—	10	—	V/μs
COUPLED						
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V(3))	MOC3021	I_{FT}	—	8	15	mA
	MOC3022		—	—	10	
	MOC3023		—	—	5	
Holding Current, Either Direction		I_H	—	100	—	μA

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt. See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load–driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT}. Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (15 mA for MOC3021, 10 mA for MOC3022, 5 mA for MOC3023) and absolute max I_F (60 mA).

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T_A = 25°C

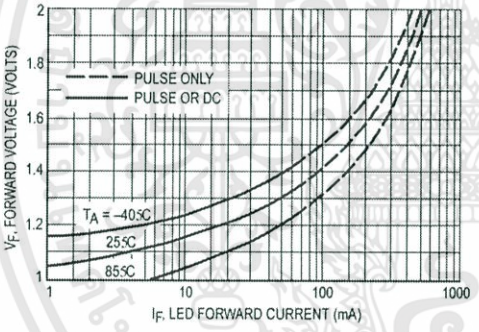


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

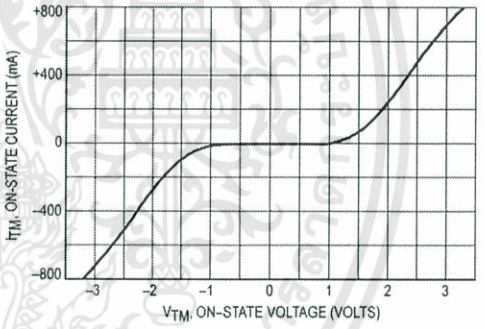


Figure 2. On–State Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

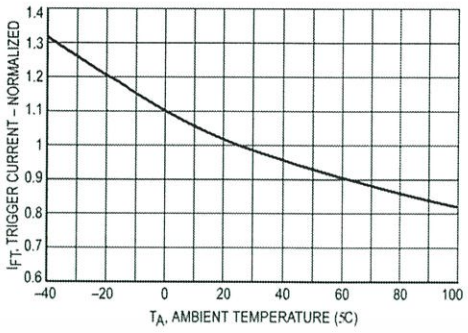


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

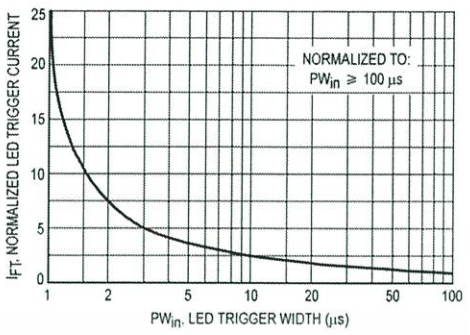


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

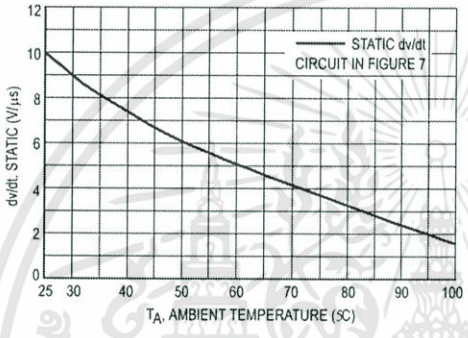


Figure 5. dv/dt versus Temperature

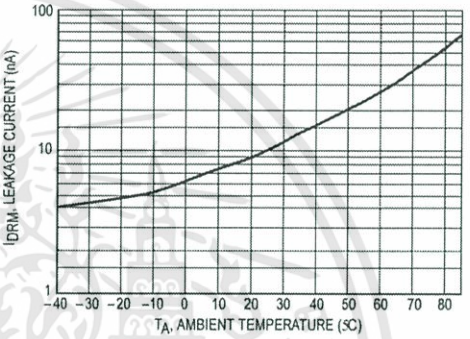
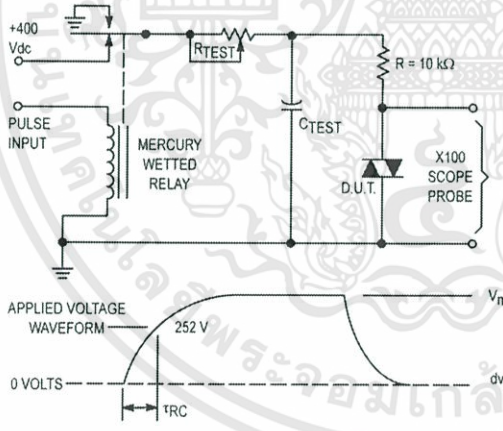


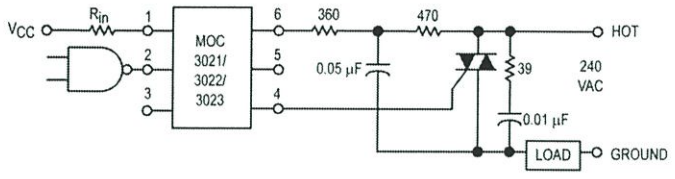
Figure 6. Leakage Current, I_{DRM} versus Temperature



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst–case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



* This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Additional information on the use of optically coupled triac drivers is available in Application Note AN–780A.

In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01 μF capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05 μF capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Typical Application Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

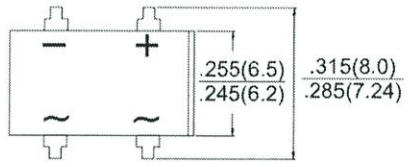
TAIWAN SEMICONDUCTOR

DBL101G - DBL107G

Single Phase 1.0AMP. Glass Passivated Bridge Rectifiers

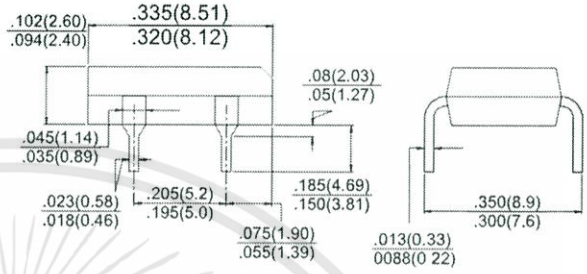
RoHS COMPLIANCE

DBL



Features

- ✧ UL Recognized File # E-326854
- ✧ Glass passivated junction
- ✧ Ideal for printed circuit board
- ✧ Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique
- ✧ High temperature soldering guaranteed: 260℃/ 10 seconds at 5lbs., (2.3kg) tension
- ✧ High surge current capability
- ✧ Green compound with suffix "G" on packing code & prefix "G" on datecode



Mechanical Data

- ✧ Case: Molded plastic body
- ✧ Terminals: Pure tin plated, lead free, solderable per MIL-STD-202, Method 208
- ✧ Weight: 0.37 grams

Dimensions in inches and (millimeters)

Marking Diagram

DBL10XG	= Specific Device Code
G	= Green Compound
Y	= Year
WW	= Work Week

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25 ℃ ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	Symbol	DBL 101G	DBL 102G	DBL 103G	DBL 104G	DBL 105G	DBL 106G	DBL 107G	Unit
Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current @T_A=40℃	$I_{F(AV)}$	1							A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)	I_{FSM}	40					30		A
Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1) @1.0A	V_F	1.1							V
Maximum DC Reverse Current @T_A=25℃ at Rated DC Block Voltage @ T_A=125 ℃	I_R	10 500							uA
Typical Junction Capabitance	Cj	25							pF
Typical Thermal Resistance (Note 2)	$R_{\theta JA}$ $R_{\theta JL}$	40 15							°C/W
Operating Temperature Range	T_J	- 55 to + 150							°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	- 55 to + 150							°C

Notes 1: Pulse Test with PW=300 usec, 1% Duty Cycle

Notes 2: Thermal Resistance from Junction to Ambient and from Junction to Lead Mounted On P.C.B. With 0.2" x 0.2"(5mm x 5mm) Copper Pads.

Version:H11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAIWAN SEMICONDUCTOR

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (DBL101G THRU DBL107G)

FIG.1 FORWARD CURRENT DERATING CURVE

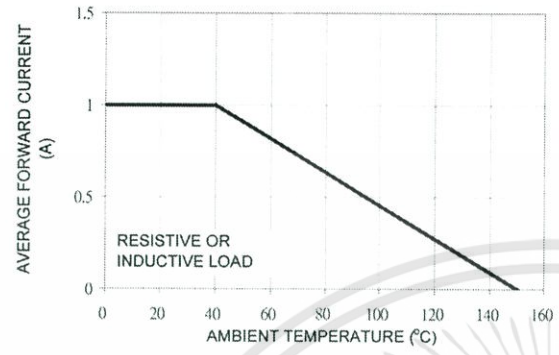


FIG. 2 TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

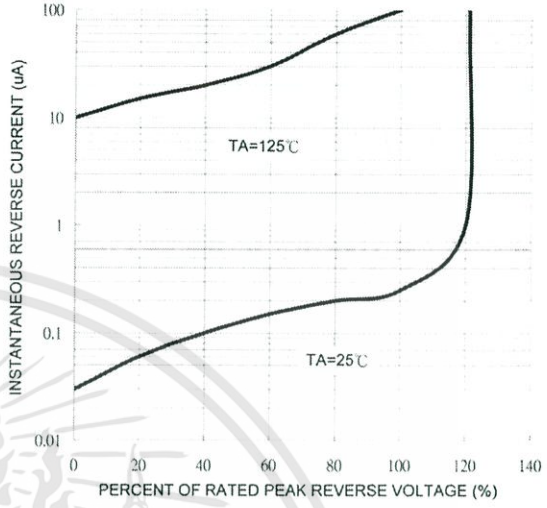


FIG. 3 MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

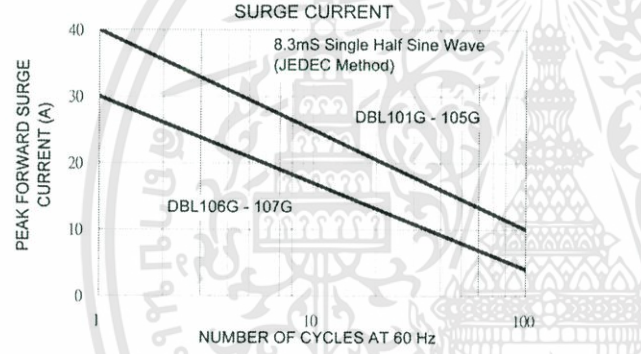


FIG. 4 TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

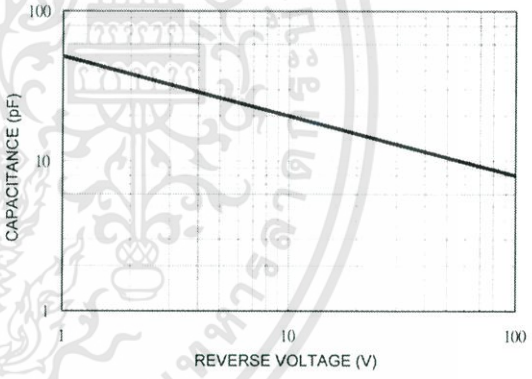
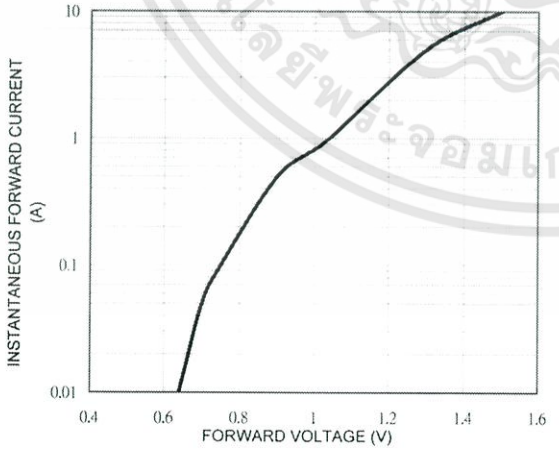


FIG. 5 TYPICAL FORWARD CHARACTERISRICS



Version:H11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

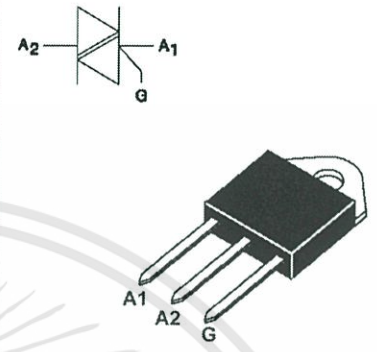
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

BTA41 A/B
BTB41 B

STANDARD TRIACS

FEATURES

- HIGH SURGE CURRENT CAPABILITY
- COMMUTATION : (dV/dt)c > 10V/µs
- BTA Family :
  INSULATING VOLTAGE = 2500V(RMS)
  (UL RECOGNIZED : E81734)



TOP 3
(Plastic)

DESCRIPTION

The BTA41 A/B / BTB41 B triac family are high performance glass passivated PNPN devices.
These parts are suitables for general purpose applications where high surge current capability is required. Application such as phase control and static switching on inductive or resistive load.

ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter			Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (360° conduction angle)	BTA	Tc = 75°C	40	A
		BTB	Tc = 85°C	45	
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (Tj initial = 25°C)		tp = 8.3 ms	315	A
			tp = 10 ms	300	
I^2t	I^2t value		tp = 10 ms	450	A^2s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current Gate supply : I_G = 500mA dI_G/dt = 1A/µs		Repetitive F = 50 Hz	10	A/µs
			Non Repetitive	50	
Tstg Tj	Storage and operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	°C °C
Tl	Maximum lead temperature for soldering during 10 s at 4.5 mm from case			260	°C

Symbol	Parameter	BTA41-...A/B / BTB41-... B				Unit
		400	600	700	800	
V_{DRM} V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltage Tj = 125°C	400	600	700	800	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit
Rth (j-a)	Junction to ambient		50	5C/W
Rth (j-c) DC	Junction to case for DC	BTA	1.2	5C/W
		BTB	0.8	
Rth (j-c) AC	Junction to case for 3605 conduction angle (F= 50 Hz)	BTA	0.9	5C/W
		BTB	0.6	

GATE CHARACTERISTICS (maximum values)

$P_{G\ (AV)}$ = 1W P_{GM} = 40W (tp = 20 µs) I_{GM} = 8A (tp = 20 µs) V_{GM} = 16V (tp = 20 µs).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Quadrant		Suffix A	Suffix B	Unit
I_{GT}	V_D=12V (DC) R_L=33Ω	Tj=255C	I-II-III	MAX	100	50	mA
			IV	MAX	150	100	
V_{GT}	V_D=12V (DC) R_L=33Ω	Tj=255C	I-II-III-IV	MAX	1.5		V
V_{GD}	V_D=V_{DRM} R_L=3.3kΩ	Tj=1255C	I-II-III-IV	MIN	0.2		V
tgt	V_D=V_{DRM} I_G = 500mA dI_G/dt = 3A/µs	Tj=255C	I-II-III-IV	TYP	2.5		µs
I_L	I_G=1.2 I_{GT}	Tj=255C	I-III-IV	TYP	70	60	mA
			II		200	180	
I_H *	I_T= 500mA gate open	Tj=255C		MAX	100	80	mA
V_{TM} *	I_{TM}= 60A tp= 380µs	Tj=255C		MAX	1.8		V
I_{DRM} I_{RRM}	V_{DRM} Rated V_{RRM} Rated	Tj=255C		MAX	0.01		mA
		Tj=1255C		MAX	6		
dV/dt *	Linear slope up to V_D=67%V_{DRM} gate open	Tj=1255C		MIN	250	250	V/µs
(dV/dt)c *	(dI/dt)c = 18A/ms BTA (dI/dt)c = 20A/ms BTB	Tj=1255C		MIN	10		V/µs

* For either polarity of electrode A2 voltage with reference to electrode A1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
เครื่องมืออุปกรณ์การวัด
(Instrument)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
เครื่องมืออุปกรณ์การวัด

1. Multi-Meter: SANWA

รูปที่ ค - 1 Multi-Meter: SANWA

2. Oscilloscope: YOKOGAWA DL 1620

รูปที่ ค – 2 Oscilloscope: YOKOGAWA DL 1620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.Oscilloscope Probe: YOKOGAWA MODEL 700978 50MΩx100

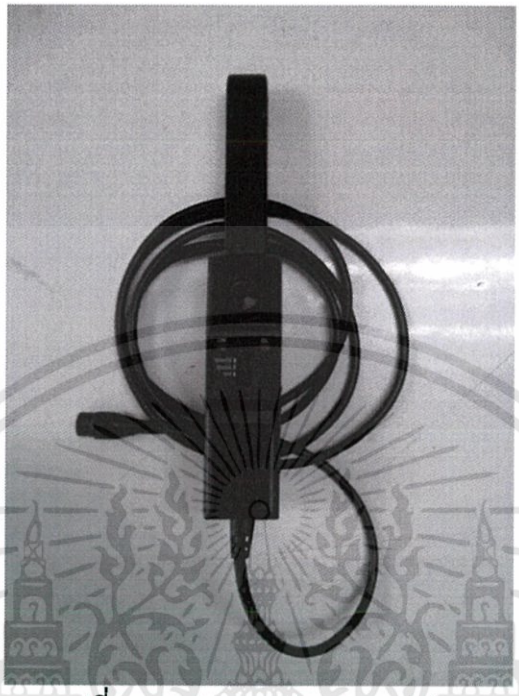
รูปที่ ค – 3 Oscilloscope Probe: YOKOGAWA MODEL 700978 50MΩx100

4.Differential Probe: YOKOGAWA MODEL 700925

รูปที่ ค – 4 Differential Probe: YOKOGAWA MODEL 700925

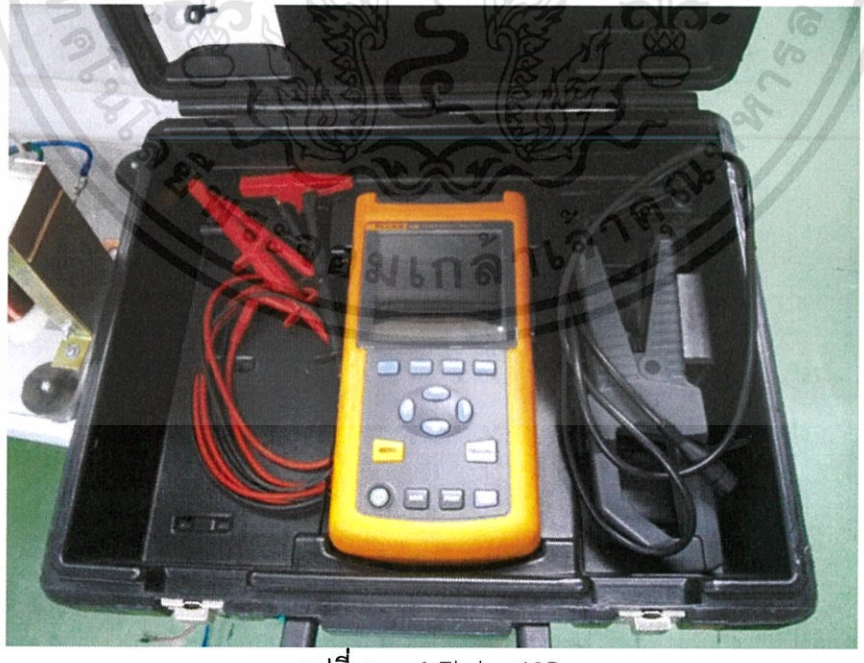
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.Current Probe: Fluke



รูปที่ ค – 5 Current Probe: Fluke

6.Fluke 43B



รูปที่ ค – 6 Fluke 43B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
บทความวิชาการ
(Paper)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟแบบสามเฟส

3-Phase Static VAR Compensator

นาย นฤคล เพ็ชรนาคี นาย ปราชญา นวแจ่มตระกูล นาย ปราณ ปัญญวรรณศิริ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: keborm jenly@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหาทางด้านเสถียรภาพและความมั่นคงกับระบบไฟฟ้าส่งผลถึงการขยายตัวของเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมทั้งนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถช่วยรักษาเสถียรภาพและความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาและทดลองตัวชดเชยกำลังรีไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิตในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสโดยใช้วงจรรีแอกเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor) ที่มีพิกัดกำลัง 1.5 kVA แรงดัน 220 V และกระแส 3.5 A เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดโหลดและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายของระบบสามเฟสให้ดีขึ้น ตัวชดเชยนี้สามารถควบคุมปริมาณกำลังรีแอกทีฟที่เข้าสู่ระบบได้โดยการปรับมุมจุดชนวนนำกระแสของไทริสเตอร์ ซึ่งในการควบคุมจะรับค่าแรงดันที่ จุดโหลดเพื่อนำไปคำนวณหามุมจุดชนวนนำกระแสของไทริสเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ แล้วนำค่ามุมจุดชนวนที่คำนวณได้ไปสั่งการชุดควบคุมเฟสให้ไทริสเตอร์แต่ละเฟสนำกระแส โดยใช้วงจรบัฟเฟอร์ในการขยายแรงดันแทนวงจร Buck Converter การเพื่อให้การทำงานรวดเร็วขึ้น

คำสำคัญ: ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสามเฟส, วงจรรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์

Abstract

The stability and security of electric power system has affected to develop and expand the economics and industrials of the country. It is necessary to develop a device that can help to maintain the stability and security of the power system. This paper is to study and experiment of 3-phase Static VAR Compensator for power system using Thyristor Control Reactor (TCR) with fixed capacitor rated power 1.5 kVA voltage 220 V and current 3.5 A. The purpose of this project is to maintain load point voltage level and improve the power factor of three-phase power system. The compensator can control the quantity of reactive power flowing into system by adjusting the firing angle of the thyristors. Microcontroller is used for calculating of the firing angle of the thyristors in eash phase, receiving load point voltage, sending calculated firing angle to trig the thyristor in each phase, and using buffer amplifier instead of buck converter to make the circuit faster.

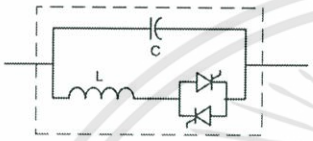
Keyword: 3-phase Static VAR Compensator, Thyristor Control Reactor

1.บทนำ

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส เป็นหนึ่งในอุปกรณ์จำพวกของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตอบสนองเร็วในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ได ดำเนินการศึกษาและจำลองการทำงานของ ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส การศึกษานี้จะพิจารณาการควบคุมการทำงานของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสามเฟส โดยใช้วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.1 โดยตัวเก็บประจุจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟได้เพียงพอกับความต้องการของโหลด และชุดรีแอคเตอร์ควบคุมด้วยไทริสเตอร์จะครอบคลุมถึงค่าความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุ (Q_c)กับค่า กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่โหลดรับเข้าไปจริง $[q_{load}(t)]$ ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ $[Q_c - q_{load}(t)]$ จะไหลเวียนระหว่างตัวเก็บประจุกับรีแอคเตอร์ (X_L)



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของวงจรรีแอคเตอร์ที่ควบคุมด้วยไทริสเตอร์ (Thyristor Control Reactor : TCR) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุที่กำหนดค่าคงที่ (Fixed Capacitor)

ในการควบคุมให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตามที่โหลดต้องการจะใช้การควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (inductor, L) ให้ได้ค่าที่ทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟรวมของตัวชดเชยมีค่าเท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของระบบ ในการควบคุมกระแสดังกล่าวนี้จะควบคุมจากมุมจุดฉนวนไทริสเตอร์ซึ่งมีมุมนำกระแสของไทริสเตอร์เปลี่ยนไปจะทำให้ค่า rms ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนไป เสมือนกับเป็นรีแอคเตอร์ที่ควบคุมค่ารีแอกแตนซ์ได้ ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของระบบโดยการควบคุมมุมจุดฉนวน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แรงดันตก (Voltage drop)

ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า การที่ระบบแหล่งจ่ายมีระยะห่างจากจุดโหลดมากๆ ทำให้เกิดการสูญเสียในสายส่ง ซึ่งค่าอิมพลิแดนซ์ในสายส่งจะเป็นดังสมการดังต่อไปนี้

$Z_{line} = R + jX_L$ โดยค่าอิมพลิแดนซ์ในสาย $R \ll X_L$ เมื่อนำมาพิจารณาแล้ว สายส่งจะมีการ สูญเสียกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ และเกิด แรงดันตกคร่อม ซึ่งส่งผลให้ ที่จุดโหลดนั้น แรงดันมีค่าลดลงกว่าระดับ และแหล่งจ่ายไม่สามารถจ่าย กำลังไฟฟ้าที่จุดโหลดได้ตามความต้องการ

2.2 การแก้ไขปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ในระบบกำลังไฟฟ้า สามารถแยกออกเป็นกำลังไฟฟ้าจริง กับ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ซึ่งในโรงงานหรือสถานประกอบการ ไม่เพียงต้องการกำลังไฟฟ้าแล้ว มีความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟอีกด้วย จึงทำให้ ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าลดน้อยลง และกระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำชุดตัวชดเชยเข้าจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้กับระบบ ก็สามารถปรับแก้ค่าตัวประกอบกำลังของแหล่งจ่ายได้ และทำให้กระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายมีค่าลดลงอีกด้วย

3. การออกแบบและผลการจำลอง

ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟถูกใช้ในการรักษาแรงดันที่จุดโหลดหรือชดเชยกำลังไฟฟ้า รีแอคทีฟของระบบ เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยอาศัย ไตรแอคต่ออยู่กับตัวเหนี่ยวนำและขนาดอยู่กับตัวเก็บประจุ ขนาดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของตัวเก็บประจุสำหรับรักษาระดับแรงดันจะหาได้จาก

$$Q_{svc} = Q_{cc} - Q_{tcr} \quad (3.1)$$

$$Q_{cc} = V_t I_{cc} \quad (3.2)$$

$$X_{cc} = \frac{V_t}{I_{cc}} \quad (3.3)$$

$$Q_{tcr} = V_t I_{tcr} \quad (3.4)$$

$$X_{tcr} = \frac{V_t}{I_{tcr}} \quad (3.5)$$

ขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของชุดตัวชดเชยที่สามารถจ่ายออกไปให้กับระบบจะมีค่าต่ำสุดเมื่อมุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90 องศาและจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 180 องศา

$$X_{tcr} = X_L = X_{cc} \quad (3.6)$$

ค่าอิมพิแดนซ์ที่มุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

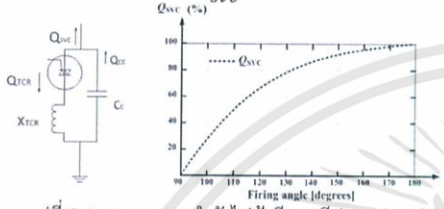
$$X_{\text{tcr}} = \frac{\pi X_L}{2\pi - 2\alpha + sin2\alpha} \quad (3.7)$$

ค่าอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำควบคุมด้วยไตรแอคที่มุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90-180 องศา

$$X_{svc} = \frac{\pi X_L X_C}{X_C(2\pi - 2\alpha + sin2\alpha) - \pi X_L} \quad (3.8)$$

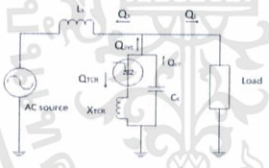
ค่าอิมพิแดนซ์รวมของตัวชดเชยที่มุมจุดชนวนไตรแอคที่มุม 90-180 องศา

$$Q_{svc} = \frac{V_t^2}{X_{svc}} \quad (3.9)$$

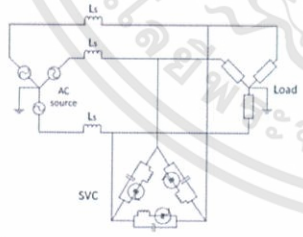


รูปที่ 3.1 วงจรชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ชดเชยกับมุมจุดชนวน

นอกจากนี้จะมีการศึกษาเพิ่มเติมของ ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงมุมจุดชนวน ที่อุปกรณ์สวิตชิ่ง ตัวเหนี่ยวนำในตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ และกระแสแหล่งจ่าย โดยผลการทดสอบเครื่องต้นแบบจะนำเสนอแบ่งออกเป็นขั้นตอน เริ่มต้นจากการทดสอบในระดับไฟฟ้า 1 เฟส แล้วจึงสร้างเครื่องต้นแบบสามเฟส



รูปที่ 3.2 วงจรของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ 1 เฟส และทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

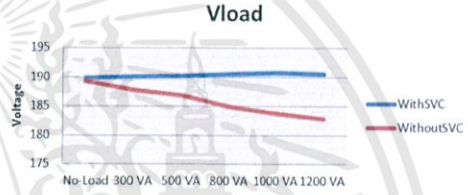


รูปที่ 3.3 วงจรของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

สำหรับการควบคุมจะทำการจับสัญญาณแรงดันมาทำการคำนวณเปรียบเทียบหาค่ามุมจุดชนวนที่เหมาะสม โดยในกรณีที่แรงดันลดน้อยลงจะ เพิ่มมุมจุดฉนวน หรือเป็นการลดความเป็นตัวเหนี่ยวนำ (X_L) ในวงจรตัวชดเชยทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวชดเชย (X_{SVC}) ลดลง ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟของวงจร (Q_{SVC}) ที่ให้กับระบบจะมีค่ามากขึ้น

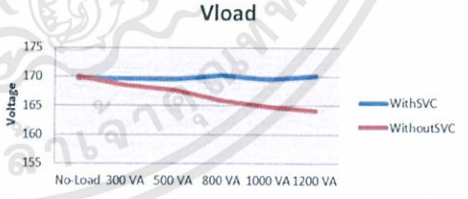
4. ผลทดลองเครื่องต้นแบบ

โดยการทดลองจะเริ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าจนถึงระดับแรงดันที่ทำการศึกษาจากนั้นจะเพิ่มโหลดเข้าสู่ระบบ และทำการอ่านค่าบันทึกผล



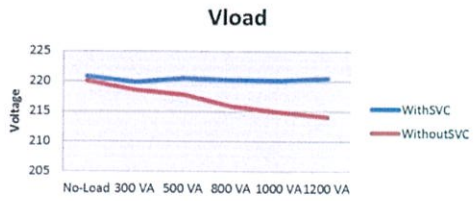
รูปที่ 4.1 รูปกราฟแสดงเปรียบเทียบระดับแรงก่อนและหลังติดตั้งชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ 190 โวลท์

การทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 190 โวทล์ จะพบว่าค่าแรงดันหลังจากติดตั้งตัวชดเชยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด สามารถรักษาระดับแรงดันไว้ที่ 190 โวทล์ได้ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ และเมื่อศึกษาเพิ่มเติม ที่ระดับแรงดัน 170 โวลท์ และ 220 โวลท์เพิ่มติมได้ผลดังนี้

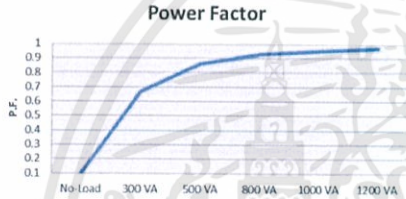


รูปที่ 4.2 รูปกราฟเปรียบเทียบระดับแรงก่อนและหลังติดตั้งตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ 170 โวลท์

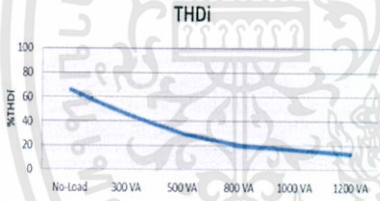
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปกราฟแสดงเปรียบเทียบระดับแรงก่อนและหลังติดตั้งชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ 220 โวลท์ โดยการทำงานของตัวชดเชยเมื่อศึกษาเพิ่มเติมพบว่ามีปัญหาด้านฮาร์มอนิกส์และค่าตัวประกอบของแหล่งจ่าย ในสภาวะที่โหลดต่ำนั้นค่าตัวประกอบกำลังจะต่ำและTHD_i สูง อันเนื่องมาจากการสวิตชิ่งรีแอคเตอร์ทำให้กระแสมีความผิดเพี้ยนไป สร้างฮาร์มอนิกส์ แล้วเมื่อโหลดมีขนาดมากขึ้น ปัญหาดังกล่าวจะลดลง โดยแสดงดังรูปที่ 4.4และ4.5

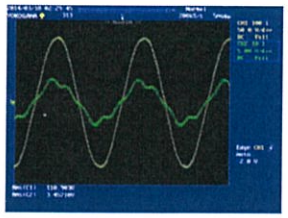


รูปที่ 4.4 รูปกราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังของแหล่งจ่าย



รูปที่ 4.5 รูปกราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของกระแส

โดยในเรื่องของค่าตัวประกอบกำลังมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการจับสัญญาณรูปคลื่นแรงดัน กับ กระแส ของแปลงจ่ายมาทำการเปรียบเทียบกันจะพบว่าแรงดันกับกระแสเข้าใกล้ Unity แต่กระแสจะมีความผิดเพี้ยนออกไปดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ในขณะโหลดมากขึ้น โดยแสดงในรูปที่4.6



รูปที่ 4.6 รูปแสดงการเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันกับกระแสของแหล่งจ่าย

5. สรุป

การทดลองตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสามเฟส พบว่า สามารถรักษาระดับแรงดันไว้ได้ ด้วยการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูญเสียในสายส่ง และค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเข้าใกล้ Unity เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโหลดซึ่งเป็นผลที่ตามมาจากการปรับมุมจุดชนวน แต่พบปัญหาที่สภาวะในโหลดต่ำตัวชดเชยจะสร้างฮามอร์นิค

เอกสารอ้างอิง

[1] L.Gyugyi, "Power Electronics in ElectricUtilities : Static Var Compensators," Proc.IEEE, Vol. 76, No.4, 1988, pp. 483-494.

[2] L.Gyugyi, "Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits," IEEE Trans. On Ind. Application, Vol. IA-15, NO.5, 1979, pp. 521-531.

[3] ทานทัด เนตรขำ และคณะ, ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟแบบสถิต", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ,สาขาวิชาวิศวกรมไฟฟ้า ,เจ้าคุณทหารลาดกระบัง2542.

[4] ภีรศักดิ์ เผ่าผาง, "การวิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ชดเชยแรงดันกลับคืนแบบพลวัตที่ใช้พลังงานจากบัสด้านโหลด," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

[5] ภานุมาศ แสนพวง, "การศึกษาตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้าแบบรวมสำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม ATP/EMTP," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นาย นฤดล เพ็ชรนาดี
วัน/เดือน/ปี เกิด 6 ตุลาคม 2534

ชื่อ – นามสกุล นาย ปราชญา นวแจ่มตระกูล
วัน/เดือน/ปี เกิด 13 มิถุนายน 2535

ชื่อ – นามสกุล นาย ปราณ ปัญญวรรณศิริ
วัน/เดือน/ปี เกิด 20 มีนาคม 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้