

เครื่องแก้ตัวประกอบกำลังแบบ 3 เฟสสำหรับโหลดเรียงกระแส



นาย อีรพล เตโชเกียรติถวิลย์

# ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

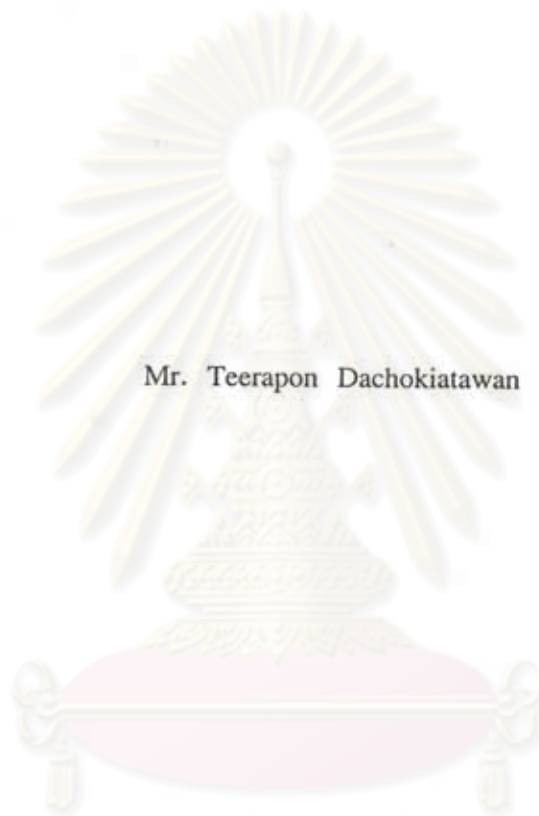
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-565-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A THREE-PHASE POWER FACTOR CORRECTOR FOR RECTIFIER LOAD



Mr. Teerapon Dachokiatawan

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

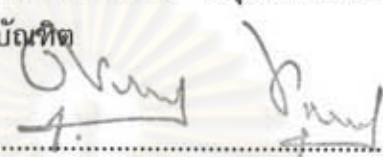
Academic Year 1996

ISBN 974-635-565-1

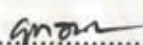
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องแกต้้วประกอบกำลังแบบ 3 เฟสสำหรับโหลดเรียงกระแส  
โดย นาย อีรพล เตโชเกียรติถวัลย์  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.โคทม อารียา

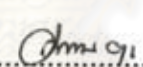
---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยuthana กุลวิทิต)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.โคทม อารียา)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีสารศรี)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์)

ศูนย์วิทยานิพนธ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ธีรพล เดโชเกียรติวัลย์ : เครื่องแก้ตัวประกอบกำลังแบบ 3 เฟสสำหรับโหลดเรียง  
กระแส (A Three Phase Power Factor Corrector for Rectifier Load) อ.ที่ปรึกษา :  
รองศาสตราจารย์ ดร.โคทม อาริยา, 42 หน้า. ISBN 974-635-565-1

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังแบบ 3 เฟส  
สำหรับโหลด เรียงกระแส เพื่อให้กระแสของสายกำลังมีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์ที่มีเฟสตรงกับแรงดันสายกำลัง  
ซึ่งมีผลทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง เครื่องแก้ตัวประกอบกำลังนี้เป็นวงจรสวิตชิ่งที่ประกอบ  
ด้วยตัวเก็บประจุซึ่งมีพลังงานสะสมอยู่ ตัวเหนี่ยวนำ และสวิตช์กำลัง เครื่องแก้ตัวประกอบกำลังจะเป็น  
ตัวจัดแรงกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับโหลด ตราบใดที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าสูงพอคือสูงกว่า  
ค่ายอดของแรงดันสายกำลัง การตัดต่อสวิตช์จะสามารถควบคุมรูปคลื่นกระแสของสายกำลังให้เป็นไซน์  
คำสั่งที่ใช้กำหนดแอมพลิจูดของกระแสสายกำลังได้มาจากการเปรียบเทียบแรงดันตัวเก็บประจุของวงจรแก้  
ตัวประกอบกำลังกับแรงดันอ้างอิง ทั้งนี้เพื่อการคงค่าแรงดันตัวเก็บประจุ วงจรแก้ตัวประกอบกำลังที่สร้าง  
ได้นำไปทดสอบกับวงจรเรียงกระแส 3 เฟสซึ่งกำลังที่โหลดมีค่าประมาณ 850W กำลังสูญเสียในวงจรแก้  
ตัวประกอบกำลังมีค่าประมาณ 6% ของกำลังด้านเข้า วงจรแก้ตัวประกอบกำลังได้ช่วยลดอัตราการใช้  
รวมจาก 19.9 % เป็น 2.9 %



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....  
สาขาวิชา ..... อิเล็กทรอนิกส์กำลัง .....  
ปีการศึกษา ..... 2539 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... ธีรพล .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... อ.ดร.โคทม .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C615738 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: HARMONIC CURRENT / POWER FACTOR CORRECTOR / SWITCHMODE RECTIFIER  
TEERAPON DACHOKIATAWAN : A THREE-PHASE POWER FACTOR CORRECTOR  
FOR RECTIFIER LOAD. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. GOTHOM ARYA, Dr.-Ing.  
42 pp. ISBN 974-635-565-1

This thesis presents the design , construction and testing of a three-phase power factor corrector for rectifier load. This circuit supplies reactive power to the load and consists of a capacitor to store energy , inductors and power switches. If the capacitor voltage is higher than the amplitude of the phase voltage , the inductor current waveform can be controlled by controlling the switches. The current feedback aims at achieving sinusoidal line current which is in phase with phase voltage so that the power factor is nearly unity. A voltage feedback is used to regulate the capacitor voltage. The power factor corrector was tested with a three-phase rectifier which had a load power of 850W. The power factor corrector loss was found to be about 6% of the input power. The use of the corrector resulted in improving the THD from 19.9% to 2.9%

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....

ปีการศึกษา.....2539.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ธีรพล.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อ.อมรร.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.โคทม อารียา ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้งผศ.ดร.ยุทธนา กุลวิทิต , รศ.ดร.เอกชัย ลีลารัมย์ และอ.ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตลอดจนพี่น้องนิสิตทุกท่านที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาเป็นอย่างสูงที่ได้คอยเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
2 เครื่องแก๊วประกอบกำลัง.....	4
3 การทดสอบ.....	26
4 สรุปลงและข้อแนะนำ.....	38
รายการอ้างอิง.....	40
ประวัติผู้เขียน.....	42

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1	ค่าแบบอย่างของฮาร์มอนิกอันดับต่าง ๆ (h) เมื่อเทียบกับองค์ประกอบหลักมูลของกระแสสายกำลัง ( $I_h/I_1$ ) ของวงจรเรียงกระแส 1 เฟสแบบที่ใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองแรงดัน.....	1
1.2	ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	3
3.1	องค์ประกอบหลักมูลและฮาร์มอนิกที่อันดับต่าง ๆ ของกระแสที่แหล่งจ่าย.....	27
3.2	ค่าตัวประกอบกำลังของระบบ.....	31
3.3	ค่าประสิทธิภาพของระบบ.....	31



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วงจรภาคกำลังของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	4
2.2 โครงสร้างของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังและโหลดเรียงกระแส.....	5
2.3 แผนภาพบล็อกวงจรควบคุมของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	6
2.4 แผนภาพบล็อกแบบจำลองเฉลี่ยต่อคาบสายกำลังของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	8
2.5 การเปรียบเทียบรูปคลื่นกระแสไหลต่กับรูปคลื่นกระแสของสายกำลัง.....	9
2.6 วงจรและรูปที่ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำ.....	11
2.7 ผลการซึ่มเลตหาระลอกของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ โดยใช้แบบจำลองสวิตช์ อุดมคติด้วยซึ่มลิ่งค์ของแมตแล็บโดยที่ $V_S=100V_{rms}$ , $V_O=400V$ , $L_S=4mH$ และความถี่ตัดข้าม $\omega_c = 130 \text{ rad/sec}$	
ก) ตัวเก็บประจุขนาด 500 $\mu F$ .....	14
ข) ตัวเก็บประจุขนาด 1000 $\mu F$ .....	14
2.8 วงจรภาคควบคุมของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	15
2.9 แผนภาพบล็อกวงรอบควบคุมของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	15
2.10 ลักษณะอัตรายายวงเปิดที่ใช้.....	17
2.11 Bode Plot ของอัตรายายวงเปิด.....	17
2.12 ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิงแบบขั้นของแรงดันตกคร่อมตัว เก็บประจุ เมื่อเพิ่มแรงดันอ้างอิง 10% แบบขั้น โดยใช้ซึ่มลิ่งค์ของแมตแล็บ โดยที่ $V_S=100V_{rms}$ , $V_O=400V$ , $L_S=4mH$ และ $\omega_c = 130 \text{ rad/sec}$	
ก) ใช้แบบจำลองสวิตช์อุดมคติ.....	18
ข) ใช้แบบจำลองเฉลี่ยต่อคาบ.....	18
2.13 วงจรคุมค่า.....	19
2.14 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง.....	20
2.15 วงจรคุณสัญญาณ.....	21
2.16 วงจรเปรียบเทียบแบบมีแถบฮิสเตอร์ซิส.....	21
2.17 วงจรตรวจวัดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ.....	22
2.18 สัญญาณที่ใช้ควบคุม IGBT ตัวบนและตัวล่างของภาพที่ 2.1.....	23
2.19 วงจรหน่วงเวลาสัญญาณขับนำ IGBT.....	23
2.20 วงจรขับนำเกตที่ใช้พาหะความถี่สูงแทรกเข้าไปในสัญญาณขับนำเกต.....	24
2.21 วงจรป้องกันของเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง.....	25

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1	แผนภาพบล็อกของวงจรที่ใช้ในการทดสอบ..... 26
3.2	รูปคลื่นกระแสที่แหล่งจ่าย
	ก) ก่อนเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังทำงาน..... 28
	ข) หลังเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังทำงาน..... 28
3.3	สเปกตรัมของกระแสที่แหล่งจ่าย
	ก) ก่อนเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังทำงาน..... 29
	ข) หลังเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังทำงาน..... 29
3.4	รูปคลื่นแรงดันเฟสที่แหล่งจ่าย ( $v_s$ ) เทียบกับกระแสเฟสที่แหล่งจ่าย ( $i_s$ )
	ก) ก่อนเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังทำงาน..... 30
	ข) หลังเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังทำงาน..... 30
3.5	ก) กระแสที่แหล่งจ่ายขณะเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังเริ่มทำงาน..... 32
	ข) กระแสที่เข้าเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังขณะเครื่องแก้ตัวประกอบกำลัง เริ่มทำงาน..... 32
	ค) แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขณะเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังเริ่มทำงาน เทียบกับผลการซิมูเลต..... 33
3.6	ก) กระแสที่แหล่งจ่ายขณะเพิ่ม $V_o$ จาก 420V เป็น 440V แบบขั้น..... 34
	ข) กระแสที่เข้าเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังขณะเพิ่ม $V_o$ จาก 420V เป็น 440V แบบขั้น..... 34
	ค) แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขณะเพิ่ม $V_o$ จาก 420V เป็น 440V แบบขั้น เทียบกับผลการซิมูเลต..... 35
3.7	ก) กระแสที่แหล่งจ่ายเทียบกับกระแสอ้างอิงในสถานะอยู่ตัว..... 36
	ข) กระแสเข้าเครื่องแก้ตัวประกอบกำลังในสถานะอยู่ตัว..... 36
	ค) กระแสผ่านสวิตช์ในสถานะอยู่ตัว..... 37
	ง) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ตัวบนเทียบกับตัวล่างในสถานะอยู่ตัว..... 37