

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การปรับปรุงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟโดยใช้โรริสเตอร์

**CONTROLABLE VAR COMPENSATION**



โดย

นาย วิทวัส เล็กพูนเกิด

นาย วีระศักดิ์ ทองทิพย์

นาย วุฒิชัย สกุลชัยพฤษ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**62434**  
.....**18** ส.ค. 2549  
วัน,เดือน,ปี.....



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การปรับปรุงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟโดยใช้โวลติสเตอร์  
CONTROLABLE VAR COMPENSATION



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จรงค์ บุญเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

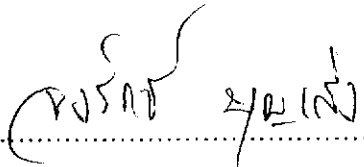
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงตัวชุดเซยกำลังรีแอกทีฟโดยใช้โคริสเตอร์

ผู้จัดทำ

1. นาย วิทวัส เล็กพูนเกิด
2. นาย วีระศักดิ์ ทองทิพย์
3. นาย วุฒิชัย สกุลชัยพฤษ



  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การปรับปรุงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟโดยใช้โตรีสเตอร์

นาย วิทวัส เล็กพูนเกิด

นาย วีระศักดิ์ ทองทิพย์

นาย วุฒิชัย สกุลชัยพฤกษ์

รศ. จงรักษ์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

การใช้ตัวเก็บประจุ เป็นตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้า สามารถช่วยเพิ่มค่า ตัวประกอบกำลัง ของระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้นได้ ดังนั้นการปรับปรุง การทำงานของชุดชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการใช่วจรรวม TCA 785 เป็นตัวช่วยเพิ่มหรือลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่ชดเชยให้กับระบบ ทำให้อุปกรณ์ชดเชยสามารถทำงานได้หลากหลายมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ความสามารถในการชดเชยที่ระดับต่างๆ หรือการชดเชยตามช่วงเวลาการทำงานของภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CONTROLABLE VAR COMPENSATION

Wittawat Lekpoonkerd

Werasak Tongtip

Wuttichai Sakulchaiyapreuk

Asst. Prof. Jongrak Boonseng , Advisor

2005

### ABSTRACT

Using Capacitor bank for reactive power compensator can improve power factor of electrical power system. So , reactive power compensator improvement can make it work more stability. Using IC TCA 785 for increase – decrease trigger angle for control reactive power that compensate to electrical power system. This can make it work in many state. Such as , ability to compensate at many level of reactive power or compensate in all period of load.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการนุสสิกขาบซึ่งต่อความกรุณาที่ รศ.จรงค์ นุญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ และสละเวลาคอยให้คำปรึกษา ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านในภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็ คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่ศักดา พรหมเหมือน พี่ยุทธ พี่โหน่ง พี่เอ็ม ตลอดจนเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(ตึกเก่า)ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้าง ชี้นงาน และคอยเอาใจใส่ และเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการคุณภาพไฟฟ้า ที่คอยถามถึงความ คืบหน้าอยู่เสมอ

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ให้ ผู้จัดทำเรียนหนังสือจนจบในครั้งนี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 เนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง.....	4
2.2 การแก้ไขค่าโวลเตจเรกูเลชั่น.....	6
2.3 การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ.....	6
2.4 อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	9
2.5 วงจรจุดชนวนเกตของไทรซิสเตอร์.....	16
2.6 จงจรสแน็บเบอร์.....	16
<b>บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง</b>	
3.1 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	20
3.2 การสร้างชุดขับจริงที่จะนำไปใช้ขับไทรซิสเตอร์.....	23
3.3 การนำชุดขับไปควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด.....	32
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง</b>	
4.1 ผลการทดลองควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดความต้านทาน.....	34
4.2 ผลการทดลองควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ.....	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะจากการทดลอง.....	42
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>43</b>
<b>กิตติกรรมประกาศ.....</b>	<b>52</b>
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>53</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภาพเฟสเซอร์(Phasor Diagram)ของกำลังไฟฟ้า.....6
รูปที่ 2.2	รูปแสดงวงจร Static VAR Compensator.....8
รูปที่ 2.3	รูปแสดงชั้นรอยต่อภายในไทรสเตอร์.....10
รูปที่ 2.4	รูปแสดงสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์.....11
รูปที่ 2.5	รูปแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของไทรสเตอร์.....12
รูปที่ 2.6	รูปแสดงคุณลักษณะของเวลาในการนำกระแสของไทรสเตอร์ (Turn-On Characteristics).....13
รูปที่ 2.7	รูปแสดงวงจรสับไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำจำกัดค่า $di/dt$ .....17
รูปที่ 2.8	รูปแสดงวงจรป้องกัน $dv/dt$ ด้วยสแน็บเบอร์.....18
รูปที่ 2.9	รูปแสดงการต่อ Cs เพื่อจำกัดปริมาณ $dv/dt$ .....18
รูปที่ 2.10	รูปแสดงแรงดันคร่อมไทรสเตอร์ที่มีการเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเนนเชียล.....19
รูปที่ 3.1	รูปแสดงวงจรจำลองของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดความต้านทาน...21
รูปที่ 3.2	รูปแสดงรูปคลื่นแรงดันที่มุมจุดชนวนขนาด 30 องศา 3 เฟส.....21
รูปที่ 3.3	รูปแสดงวงจรจำลองของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ โหลดตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน.....22
รูปที่ 3.4	รูปแสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่มุมจุดชนวนขนาด 30 องศา 3 เฟส...23
รูปที่ 3.5	รูปแสดงโครงสร้างภายในของวงจรรวมเบอร์ TCA785.....24
รูปที่ 3.6	รูปแสดงสัญญาณ input และ output ทั้งหมดของวงจรรวม เบอร์ TCA785.....25
รูปที่ 3.7	รูปแสดงลายวงจรทั้งหมดที่ออกแบบ.....26
รูปที่ 3.8	รูปแสดงลายวงจรส่วนที่จ่ายสัญญาณพัลส์โดยใช้ TCA785.....27
รูปที่ 3.9	รูปแสดงลายวงจรส่วนที่ทำหน้าที่แยกกราวด์ของสัญญาณโดยการใส่ วงจรรวมเบอร์TLP250.....27
รูปที่ 3.10	รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออก กับสัญญาณสามเหลี่ยม.....28
รูปที่ 3.11	รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออก กับสัญญาณสามเหลี่ยม(ขยาย).....28
รูปที่ 3.12	รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออก ที่ทำการขยายสัญญาณใน 1 ลูกคลื่น.....29
รูปที่ 3.13	รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออกเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิง ที่มุมทริก 0 องศา.....29
รูปที่ 3.14	รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออกเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิง ที่มุมทริก 90 องศา.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออกเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิง ที่มุมทริก 180 องศา.....	30
รูปที่ 3.16 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขา 14 และขา 15.....	31
รูปที่ 3.17 รูปแสดงวงจรที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตัวต้านทาน .....	32
รูปที่ 3.18 รูปแสดงวงจรที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตัวเก็บประจุและตัว เหนี่ยวนำ.....	33
รูปที่ 4.1 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 0 องศา เฟส A.....	34
รูปที่ 4.2 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 45 องศา เฟส A.....	34
รูปที่ 4.3 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 90 องศา เฟส A.....	35
รูปที่ 4.4 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 135 องศา เฟส A.....	35
รูปที่ 4.5 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 180 องศา เฟส A.....	36
รูปที่ 4.6 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ ที่ 0 องศา เฟส A.....	37
รูปที่ 4.7 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ ที่ 45 องศา เฟส A.....	37
รูปที่ 4.8 รูปแสดงสัญญาณแรงดันและกระแสคร่อมไทริสเตอร์ ที่ 90 องศา เฟส A.....	38
รูปที่ 4.9 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และกระแส ที่ 135 องศา เฟส A.....	38
รูปที่ 4.10 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทริสเตอร์ และกระแส ที่ 180 องศา เฟส A.....	39
รูปที่ 5.1 รูปแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผ่านชุดควบคุมเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ไม่ผ่านชุด ควบคุม.....	40
รูปที่ 5.2 รูปแสดงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟที่สามารถควบคุมได้จริง.....	41

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวต้านทานโดยผ่านการควบคุมจาก ไชริสเตอร์.....	36
ตารางที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวต้านทานแบบปกติไม่มีการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้า.....	36
ตารางที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดย ผ่านการควบคุมจากไชริสเตอร์.....	39
ตารางที่ 4.4 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุแบบ ปกติไม่มีการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้า.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้านับได้ว่าเป็นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานที่มีส่วนช่วยในการพัฒนาประเทศ และเทคโนโลยีต่างๆให้มีความเจริญรุดหน้า

การคำนึงถึงคุณภาพไฟฟ้าก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้การนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ สำหรับปัญหาสำคัญที่พบมาก คือ พลังงานการสูญเสียในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด

ในระบบโหลดทางอุตสาหกรรมโดยส่วนมากมักจะมีโหลดเป็นมอเตอร์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นโหลดประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบ มีค่าต่ำเนื่องจากการชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟทำได้ค่อนข้างยาก จึงต้องมีระบบการชดเชยโหลด ให้มีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุด และสามารถยอมรับได้ เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การชดเชยค่าโหลด (Load Compensation) สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้มีการนิยมทำกันมากในปัจจุบันก็คือ การใช้ตัวเก็บประจุ รวมไปถึงอุปกรณ์กรองฮาร์โมนิกส์ต่างๆ เพื่อให้เป็นอุปกรณ์ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้กับโหลดภายในระบบเพื่อช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้มีค่าที่ดียิ่งขึ้น แต่การใช้ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ยังคงมีส่วนช่วยได้ไม่มากนักในช่วงการทำงานที่โหลดมีการ Start และ Stop เพราะตัวชดเชยจะชดเชยกำลังไฟฟ้าในลักษณะคงที่ตลอดช่วงการทำงาน ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายที่สำคัญคือ

1.ปรับปรุงการชดเชยของตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้สามารถครอบคลุม ทุกๆงานการทำงานของโหลด

2.ประยุกต์ใช้หลักการ การชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ กับเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

#### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้ ทำการศึกษาถึงหลักการชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้า การใช้สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาช่วยในการปรับปรุงการทำงานของตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟให้มีการทำงานได้อย่างเหมาะสมในช่วงที่โหลดมีการเริ่มและหยุดการทำงาน เพื่อให้ค่า ตัวประกอบกำลังของระบบมีค่าดีที่สุดในทุกๆช่วงของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงตัวชุดเซยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ได้แบ่งขั้นตอนออก เป็นดังนี้

### 1.4.1 ขั้นตอนการวางแผนการทำงาน

เป็นช่วงที่เริ่มการวางแผนการทำงานวิจัย โดยได้วางกรอบของการวิจัยเอาไว้ที่ การปรับปรุงและพัฒนาให้ตัวชุดเซยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ สามารถทำงานได้อย่างที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ รวมไปถึงการแบ่งหน้าที่กันเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวก

### 1.4.2 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้ได้แบ่งกันไปศึกษาข้อมูลกันมาคนละส่วน จึงค่อยนำมาถ่ายทอดรวมกัน ซึ่งเนื้อหาที่ได้ทำการศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้ คือ

1. เนื้อหาของการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบไฟฟ้า
2. เนื้อหาของอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ หลักการทำงาน วงจรขับ วงจรสับเบอร์ดและอุปกรณ์สนับสนุนต่าง ๆ

### 1.4.3 ขั้นตอนการทำการทดลอง

เมื่อได้ทำการศึกษาข้อมูลอย่างเพียงพอแล้วจึงได้ทำการเลือกใช้ไทรสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากตัวชุดเซยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้มีปริมาณเท่ากับที่ต้องการ เนื่องจากไทรสเตอร์สามารถตอบสนองการทำงานได้อย่างรวดเร็ว รวมไปถึงมีคุณสมบัติสามารถทนต่อกระแส และแรงดันที่พิกัดสูงได้ดี

จากนั้นจึงได้ศึกษาการทำงานของ ไทรสเตอร์ พบว่าตัวมันต้องการวงจรรีบเพื่อเป็นสัญญาณจุดชนวน (Triggering) ให้สามารถทำงานได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งวงจรรีบสามารถหาได้จากหลายๆที่ด้วยกันแต่ที่น่าสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้วงจรรีบเบอร์ TCA785 มาทำเป็นวงจรรีบ เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน จากนั้น จึงได้ทำการศึกษาการทำงานของวงจรรีบเบอร์ TCA785 พบว่า สามารถปรับมุมจุดชนวนได้ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา ซึ่งตรงกับความต้องการที่จะนำไปใช้ควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์

ในขั้นตอนช่วงนี้ได้ใช้เวลาไปพอสมควรเนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดบางส่วนในวงจรรีบ ที่นำมาทำการทดลอง แต่ได้ทำการแก้ไขให้เสร็จเรียบร้อยแล้ว จนสามารถจ่ายสัญญาณพัลส์ที่สามารถควบคุมมุมเฟสได้ตามที่ต้องการ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ได้

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

การทำการศึกษาวิจัยเรื่องการปรับปรุงตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟ เป็นการวิจัยที่ให้ผลในแง่ดีหลายด้านซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

1.5.1 ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้สูงขึ้นแล้ว จะทำให้กระแสของระบบลดลง นั่นคือ กำลังไฟฟ้าปรากฏของโหลดรวมลดลง ทำให้ระบบสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้น

1.5.2 แรงดันไฟฟ้าของระบบดีขึ้น เมื่อปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น ทำให้กระแสและมุมกำลัง ( $\phi$ ) ลดลง ส่งผลให้แรงดันตกระหว่างสายน้อยลง

1.5.3 แรงดันตกในหม้อแปลงลดลงเมื่อค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (%V) เพิ่มขึ้น

1.5.4 กำลังสูญเสียของระบบลดลง เนื่องจากกำลังสูญเสียในสายตัวนำไฟฟ้าของระบบเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของกระแส เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น จะทำให้กระแสลดลง ดังนั้นกำลังสูญเสียจึงเป็นสัดส่วนกลับกับค่าตัวประกอบกำลังกำลังสอง

1.5.5 กำลังสูญเสียในหม้อแปลงลดลง กำลังสูญเสียในหม้อแปลงประกอบด้วย 2 ส่วนคือ กำลังสูญเสียในแกนเหล็กและกำลังสูญเสียในลวดทองแดง ซึ่งกำลังสูญเสียในลวดทองแดงนี้จะแปรผันตามกระแสกำลังสอง เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นแล้ว กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะลดลง ทำให้กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานในขดลวดทองแดงลดลง

1.5.6 ลดค่าไฟฟ้า ถ้าสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงกว่า 0.85 ได้จะลดค่าภาระกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟ (kVAR Charge) จากการไฟฟ้า

1.5.7 นอกจากประโยชน์ดังกล่าวแล้วนั้น การวิจัยในครั้งนี้ ยังช่วยกระตุ้นต่อกรทบทวนความรู้จากที่ได้ศึกษามา ตั้งแต่เริ่มต้น ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องที่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้า เรื่องอิเล็กทรอนิกส์กำลังแล้วนั้น ยังได้รับความรู้ใหม่เพิ่มเติมในเรื่องการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า ผลเสียที่เกิดจากการเรโซแนนซ์ในระบบไฟฟ้าระหว่างตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

การได้ทำการวิจัยครั้งนี้ ยังได้ประโยชน์ในเรื่องการคิดวางแผนการทำงาน การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่าง ๆ จนเกิดความชำนาญ

## บทที่ 2

### เนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาและทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำการทดลองเรื่องการปรับปรุงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ สามารถแบ่งออกได้ ดังต่อไปนี้

#### 2.1 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง

ในเวลาจ่ายไฟฟ้าจะพบว่ามอดูล์ประกอบของกระแส 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนที่เรียกว่า Active current ซึ่งส่งผลให้เกิด Active power ซึ่งจะคอยทำหน้าที่จ่ายโหลด

2. ส่วนที่เรียกว่า Reactive current ซึ่งส่งผลให้เกิด Reactive power ซึ่งกำลังไฟฟ้าส่วนนี้เอง ไม่ก่อให้เกิด กำลังไฟฟ้าที่เป็นประโยชน์ กับโหลดที่ต่ออยู่ อาจเป็นได้ทั้งกระแส Inductive หรือ กระแส Capacitive

กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟนี้เองที่ทำให้ generator มีโหลดเพิ่มขึ้น ทั้งยังทำให้หม้อแปลงต้องถูกจำกัดการจ่าย Active power ซึ่งจะส่งผลให้เกิด การสูญเสียเพิ่มขึ้นในสายตัวนำ หากลดกระแสส่วนนี้ได้ก็จะทำให้สามารถผลิตและส่ง Active power ได้มากขึ้น

การต่อตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive compensator) ข นานกับโหลด หรือสายส่งเป็นวิธีที่สามารถลดกระแสส่วนนี้ลงได้

กำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย จ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

**2.1.1 กำลังไฟฟ้าจริง(Real Power)** เป็นกำลังไฟฟ้าที่ไหลทางไฟฟ้าใช้งานจริง เช่น เปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ๆ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt) หรือ กิโลวัตต์(kW)

**2.1.2 กำลังไฟฟ้าเสมือน(Reactive Power)** เป็นกำลังไฟฟ้า ที่ต้องการสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กในอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ ตัวเหนี่ยวนำ เป็นต้น ซึ่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟนี้จะมีหน่วยเป็น วาร์(Var) หรือ กิโลวาร์(kVAR)

**2.1.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ(Appearance power)** เป็นกำลังไฟฟ้าที่ไหลทางไฟฟ้าต้องการซึ่งกำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนสามารถรวมเข้าด้วยกันทางเฟสเซอร์(Phasor)เป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power) มีหน่วยเป็น โวลต์แอมป์ (VA) หรือ กิโลโวลต์แอมป์ ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$kVA = \sqrt{(kW)^2 + (kVAR)^2} \quad 2.1$$

ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ 3 เฟส สามารถคำนวณได้จากสูตร

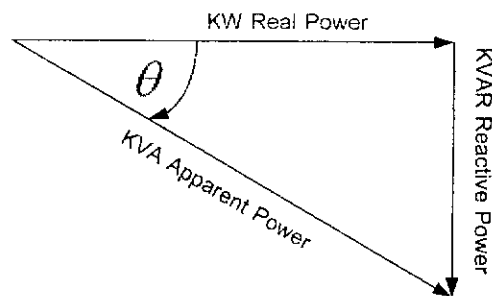
$$kVA = \sqrt{3} \times \frac{VI \times \Pi}{1,000} \quad 2.2$$

และค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) คำนวณได้จากสูตร

$$\cos \theta = \frac{kW}{\sqrt{(kW)^2 + (kVAR)^2}} \quad 2.3$$

เนื่องจากโหลดในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะมีตัวประกอบกำลัง ตามหลัง (Lagging) กล่าวคือ จะรับกำลังไฟฟ้านอกที่ฟ ดังนั้นกระแสโหลดจะมีค่ามากขึ้นกว่าที่ต้องการกำลังไฟฟ้าจริงจากแหล่งจ่ายเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้นที่ใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ส่วนกระแสในโหลดส่วนเกินจะเป็นส่วนที่สูญเปล่า ซึ่งไม่เพียงแต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้สายที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ยังเกิดความสูญเสียในรูปพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในสายอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้านอกที่ฟเพิ่มเติมจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2.3 จะพบว่าเมื่อมีการใช้กำลังรีแอกทีฟจากการไฟฟ้านลดลง จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลัง ( $\cos\phi$ ) สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้านอกที่ฟ ก็คือตัวเก็บประจุ (Capacitor) ซึ่งตัวของมันเองต้องการกำลังไฟฟ้าจริง (kW) เป็นจำนวนน้อยมาก โดยจะทำการควบคุมให้ตัวเก็บประจุจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีค่ากำลังไฟฟ้านอกที่ฟ ใกล้เคียงกับที่โหลดต้องการจนทำให้ค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 (Unity Power Factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภาพเฟสเซอร์(Phasor Diagram)ของกำลังไฟฟ้า

## 2.2 การแก้ไขค่าโวลเตจเรกูเลชัน (Voltage regulation)

โหลดทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่จุดต่อกับแหล่งจ่าย (Regulation) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้รับไฟฟ้า จากการไฟฟ้า เพื่อที่จะป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ ทางกริดไฟฟ้าจึงออกกฎข้อบังคับให้ผู้รับไฟฟ้ารักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ภายในขีดจำกัดที่กำหนด (ขีดจำกัดนี้อาจมีค่าประมาณ 95% ถึง 105% ของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย) การเปลี่ยนแปลงค่าโวลเตจอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันลดลง และเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ป้องกันของระบบ (Protective equipment) ด้วยเหตุดังกล่าวนี้อาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์แก้ไขค่าโวลเตจเรกูเลชัน ของแรงดัน เพื่อที่ช่วยรักษาระดับแรงดันของแหล่งจ่ายให้อยู่ในขีดจำกัดที่ต้องการ

วิธีที่เห็นเด่นชัดที่สุดในการแก้ไขโวลเตจเรกูเลชัน ก็คือ การทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมั่นคงขึ้นโดยการเพิ่มขนาดและจำนวนของหน่วยผลิตไฟฟ้า (Generation units) หรือสร้างระบบเครือข่ายที่ต่อเชื่อมกันให้หนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่วิธีดังกล่าวนี้อาจเป็นวิธีที่ไม่คุ้มค่าเนื่องจากต้องมีการลงทุนสูง จึงไปควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังตามค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด และจัดการกับกำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้า(Compensator) และอุปกรณ์อื่นๆ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนซึ่งสามารถทำงานได้คล่องกว่าการเพิ่มหน่วยผลิตไฟฟ้า อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย

## 2.3 การชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ

เนื่องจากกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ มีผลทำให้กระแสไฟฟ้ารวมของระบบสูงขึ้น เกิดแรงดันตก(Voltage drop) และการสูญเสีย(Loss) เพิ่มขึ้นในลวดตัวนำที่กระแสรวมทั้งหมดไหลผ่าน

การชดเชยค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นที่นิยมกันมาก เพราะสามารถช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ในระบบไฟฟ้าให้มีค่าที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือมีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ กำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟ (kVAR) ของตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไปในระบบด้วยโดยมีวิธีการชดเชยค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟ หลักๆ ดังนี้

**2.3.1 การใช้อุปกรณ์ชดเชยชนิด uncontrolled reactive compensation** เป็นการชดเชยชนิดที่มีการต่ออุปกรณ์ชดเชยที่เป็นแบบตายตัว(Fix) ไม่มีการปลดหรือสับ เช่น การต่อ shunt reactor, shunt capacitor ซึ่งต่อแบบขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยต่อผ่าน fuse ซึ่งอุปกรณ์ชดเชยแบบนี้จะมีข้อเสียอยู่ที่ไม่สามารถปรับค่าการชดเชยได้เลย

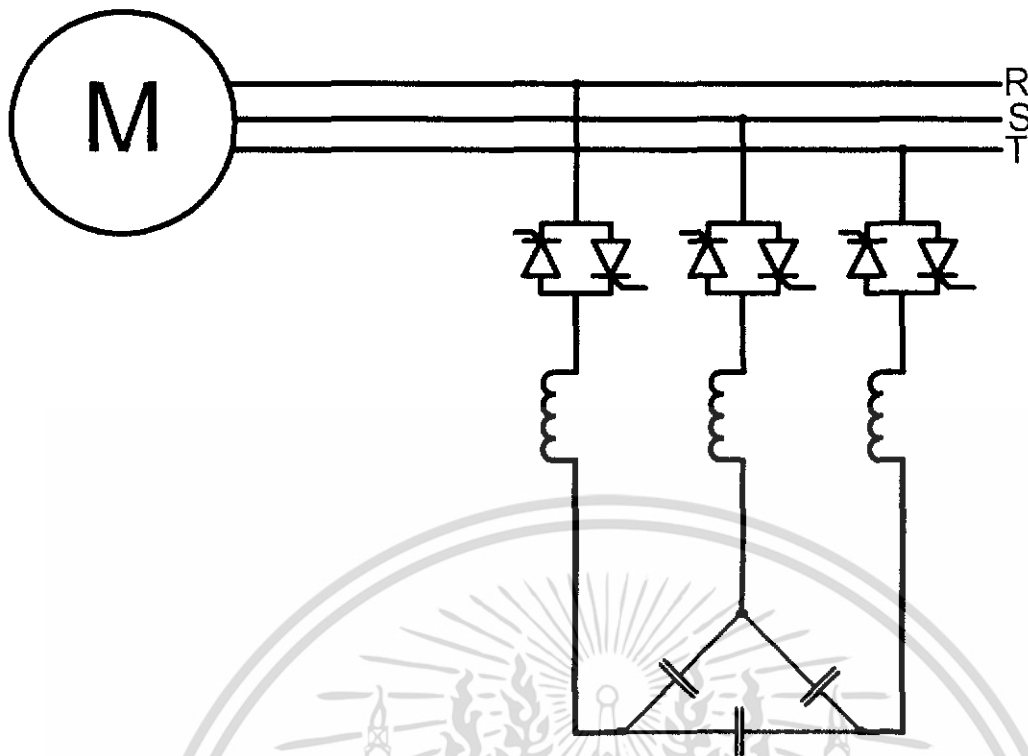
**2.3.2 การใช้อุปกรณ์ชดเชยชนิด controlled reactive compensation** อุปกรณ์ชดเชยชนิดนี้สามารถปรับค่าได้ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมค่า ตัวแปร(parameter) ต่างๆ ให้เป็นไปอย่างที่ต้องการได้ อุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟชนิดนี้สามารถแบ่งประเภทย่อยๆ ได้ดังนี้

**2.3.2.1 การใช้เครื่องจักรไฟฟ้า Synchronous condenser เป็น Rotating machine**  
การทำงานมี 2 เงื่อนไขดังนี้

- กระตุ้นเครื่องจักรไฟฟ้า Synchronous ด้วยค่าที่ต่ำกว่า พิกัด เมื่อต้องการใช้เป็น โหลดตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า(Inductive load)

- กระตุ้นเครื่องจักรไฟฟ้า Synchronous ด้วยค่าที่สูงกว่าพิกัด เมื่อต้องการใช้เป็น โหลดตัวเก็บประจุ(Capacitive load)

**2.3.2.2 การชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟโดยใช้ Static VAR Compensator** การใช้ อุปกรณ์ชดเชยชนิดนี้นิยมใช้กันมากในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจาก สามารถออกแบบได้ง่ายและยังสามารถช่วยลดกระแสฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ซึ่งมีลักษณะวงจรที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้



รูปที่ 2.2 รูปแสดงวงจร Static VAR Compensator

การทำงานของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟ ชนิดนี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกรองฮาร์โมนิกส์ ได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำมาต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม เพื่อให้ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่สุด

$$Z_f = R + j\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right) \quad 2.4$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad 2.5$$

Static Var compensator ดังรูปที่ 2.2 มีวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ดังนี้

- ควบคุมปริมาณแรงดันตรงจุดที่ทำการติดตั้งให้มีความต่อเนื่องตลอดเวลา
- เพิ่มการไหลของ Active Power ในระบบสายส่งให้มากขึ้น
- ช่วยลดแรงดันเกินชั่วคราว และช่วยรักษาความมีเสถียรภาพในขณะชั่วคราวให้กับระบบ

ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics)

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง(Power Electronics)เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามามีส่วนในการช่วยควบคุมในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้า(Energy Conversion) จากแหล่งจ่ายไฟไปยังโหลด

เนื่องจากการควบคุมการแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้น มักจะก่อให้เกิดการสูญเสีย (Loss) ในอุปกรณ์ภายในวงจร ซึ่งจะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงาน และทำให้เกิดความร้อนสูง

ในปัจจุบันจึงได้นิยมนำอุปกรณ์ในทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้เป็นสวิตช์ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้า

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำกำลัง(Power Semi-Conductor Device) สามารถแบ่งออกตามลักษณะของโครงสร้างได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- Power Diode
- Power Thyristor มีหลายชนิด เช่น SCRs, Triac และ GTO เป็นต้น
- Power Bipolar Junction Transistor (BJT)
- Power MOSFET
- Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

ทั้งนี้มักจะเรียกรวมอุปกรณ์ Power Thyristor , Power BJT , Power MOSFET และ IGBT ว่าเป็น Controllable switches เพราะสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ด้วยสัญญาณควบคุม

ในการทำการทดลองครั้งนี้ได้เน้นไปที่การใช้งาน Thyristor ซึ่ง อุปกรณ์ชนิดนี้มีข้อดีตรงที่สามารถทำงานได้รวดเร็ว ตอบสนองโหลดได้อย่างดี อีกทั้งยังมีพิภักสามารถทนต่อแรงดันและกระแสได้สูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง

### 2.4.1 ไทริสเตอร์(Thyristors)

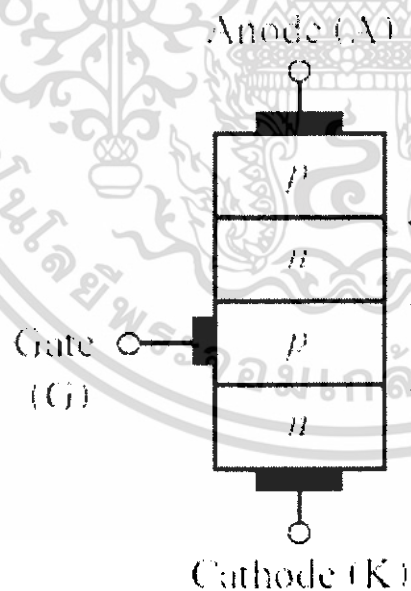
ไทริสเตอร์(Thyristors) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำกำลัง มีหลักการทำงานเหมือนกับสวิตช์ 2 สถานะ คือ นำกระแสกับไม่นำกระแส ถือว่ามันสามารถทำงานเป็นสวิตช์ในแบบอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติไทรสเตอร์ยังมีคุณสมบัติบางอย่างที่ตายตัวและมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

#### ลักษณะสมบัติของไทรสเตอร์

ไทรสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น คือ P-N-P-N จึงมีรอยต่อ พี-เอ็นอยู่ 3 รอยต่อ ไทรสเตอร์มีขาใช้งาน 3 ขา คือ แอนโอด แคโทด และเกตไทรสเตอร์ สร้างมาจากกระบวนการ Diffusion

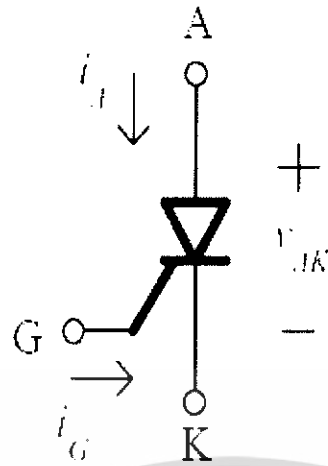
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันที่ขาแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทด รอยต่อ  $J_1$  และ  $J_3$  จะถูกไบอัสตรง และ  $J_2$  จะเป็นไบอัสย้อนกลับ โดยมีกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากแอโนดไปแคโทด ไทรสเตอร์ที่สถานะนี้เรียกได้ว่าสถานะบล็อกกิง (Forward Blocking หรือ Off-state) ขณะไบอัสตรง หรือสถานะออฟ และเรียกระแสรั่วไหลว่า กระแสออฟสแตต (Off-State Current,  $I_d$ ) ถ้าแรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทด ( $V_{ak}$ ) มีค่าสูงจนถึงจุดจุดหนึ่ง จนทำให้รอยต่อ  $J_2$  พัง เรียกว่า การพังแบบอะวาลานซ์ และเรียกระงดันขณะนั้นว่า แรงดันพังขณะไบอัสตรง ( $V_{bo}$ ) เนื่องจากรอยต่อ  $J_1$  และ  $J_3$  มีการไบอัสตรงอยู่แล้ว จึงมีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อทั้งสามส่งผลให้มีกระแสแอโนดไหลเป็นจำนวนมาก ไทรสเตอร์จะอยู่ในสถานะนำกระแสหรือ ON แรงดันตกคร่อมเนื่องจากความต้านทานในชั้นทั้ง 4 ชั้นมีค่าน้อยประมาณ 1 V สถานะนำกระแส กระแสแอโนดจะถูกจำกัดโดยความต้านทานภายนอก  $R_L$  กระแสแอโนดต้องมีค่ามากกว่าค่าหนึ่ง คือกระแสแลตซิ่งหรือกระแสค้าง (Latching)  $I_L$  เพื่อที่จะรักษาปริมาณประจุที่ไหลผ่านรอยต่อให้เพียงพอ นอกจากนี้ไทรสเตอร์จะกลับไปสู่สถานะบล็อกกิง เมื่อแรงดันระหว่างแอโนดและแคโทดมีค่าลดลง กระแสแลตซิ่ง ( $I_L$ ) คือ กระแสแอโนดต่ำสุดที่ยังทำให้ไทรสเตอร์อยู่ในสถานะนำกระแสทันทีภายหลังจากที่ไทรสเตอร์นำกระแส เมื่อได้รับสัญญาณที่เกด



รูปที่ 2.3 รูปแสดงชั้นรอยต่อภายในไทรสเตอร์

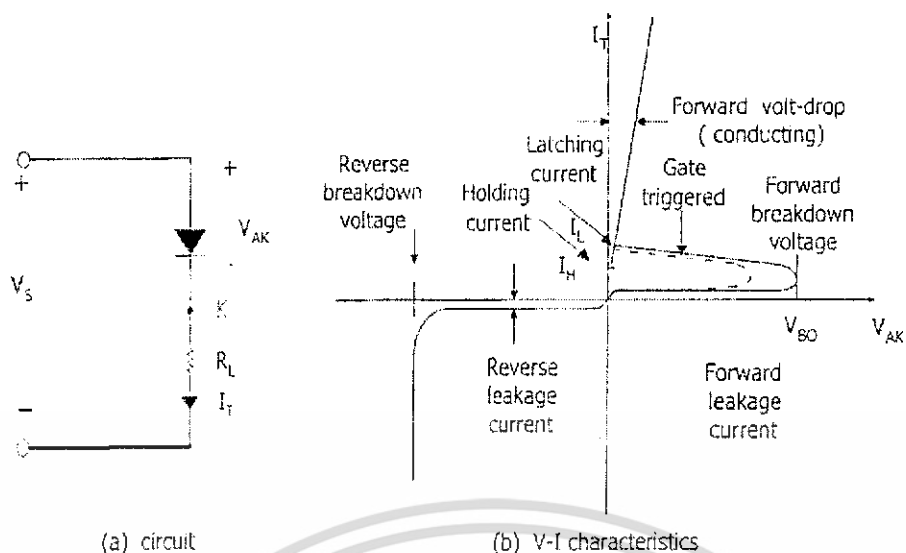
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปแสดงสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์

ครั้งแรกที่ไทรสเตอร์นำกระแส มันจะมีลักษณะเหมือนกับการนำกระแสของไดโอดและไม่สามารถควบคุมได้ และจะยังคงนำกระแสต่อไป เพราะไม่มีชั้นของดีพลีชันของรอยต่อ  $J_2$  เนื่องจากเคลื่อนที่ของประจุอิสระ ถ้ากระแสแอนโนดเมื่อได้รับไบอัสตรง ลดลงจนต่ำกว่าระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่า กระแสโฮลด์ดิ้งหรือกระแสยึด (Holding Current,  $I_H$ ) จะเกิดช่วงดีพลีชันรอบรอยต่อ  $J_2$  เนื่องจากการลดจำนวนลงของประจุ และไทรสเตอร์จะอยู่ในสถานะบล็อกกิ้ง กระแสโฮลด์ดิ้งอยู่ในหน่วยมิลลิแอมแปร์ และน้อยกว่ากระแสแลตซ์ซึ่ง  $I_L$  นั่นคือ  $I_L > I_H$  กระแสโฮลด์ดิ้ง ( $I_H$ ) คือกระแสแอนโนดที่น้อยที่สุด ที่ยังทำให้ไทรสเตอร์อยู่ในสถานะนำกระแสปกติ ค่ากระแสโฮลด์ดิ้งจะมีค่าน้อยกว่ากระแสแลตซ์ซึ่ง

เมื่อแรงดันแคโทดเป็นบวก เมื่อเทียบกับแอนโนด รอยต่อ  $J_2$  เป็นไบอัสตรง แต่  $J_1$ ,  $J_2$  เป็นไบอัสกลับเหมือนกับไดโอด 2 ตัวต่ออนุกรมกัน มีแรงดันกลับตกคร่อมอยู่ ทำให้ไทรสเตอร์จะต้องอยู่ในสถานะบล็อกกิ้ง และกระแสรั่วไหลย้อนกลับเรียกว่า กระแสย้อนกลับ  $I_R$  ไหลผ่านไทรสเตอร์



รูปที่ 2.5 รูปแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของไทรสเตอร์

ไทรสเตอร์สามารถจะนำกระแสโดยการเพิ่มแรงดันไบอัสตรง  $V_{AK}$  ให้มากกว่า  $V_{BO}$  แต่สถานะนี้อาจทำให้ไทรสเตอร์ถูกทำลายได้โดยในทางปฏิบัติ ดังนั้นแรงไบอัสตรงจะต้องต่ำกว่า  $V_{BO}$  ไทรสเตอร์จะนำกระแสโดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิด เมื่อเทียบกับแคโทด ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยเส้นประคือครั้งแรกที่ไทรสเตอร์นำกระแส โดยสัญญาณเกิดและกระแสแอโนดมากกว่ากระแสโพลดิ้ง ไทรสเตอร์ยังคงนำกระแสเนื่องจากการป้อนกลับแบบบวก แม้ว่าจะนำสัญญาณเกิดออกไปแล้วก็ตาม ไทรสเตอร์เป็นอุปกรณ์แบบแลตซึ่ง

#### การนำกระแสของไทรสเตอร์

ไทรสเตอร์อาจจะนำกระแสโดยการเพิ่มกระแสแอโนด ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

**อุณหภูมิ** ถ้าอุณหภูมิของไทรสเตอร์สูงขึ้น จะทำให้จำนวนของอิเล็กตรอน - โพลสูงขึ้นไป จะทำให้กระแสรั่วไหลมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  เพิ่มขึ้น และเนื่องจากปรากฏการณ์ รีเจนเนอเรทีฟ ( $\alpha_1 + \alpha_2$ ) มีแนวโน้มเท่ากับ 1 และไทรสเตอร์นำกระแสเนื่องจากอุณหภูมินี้ ทำให้เกิดความร้อนสูง ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด

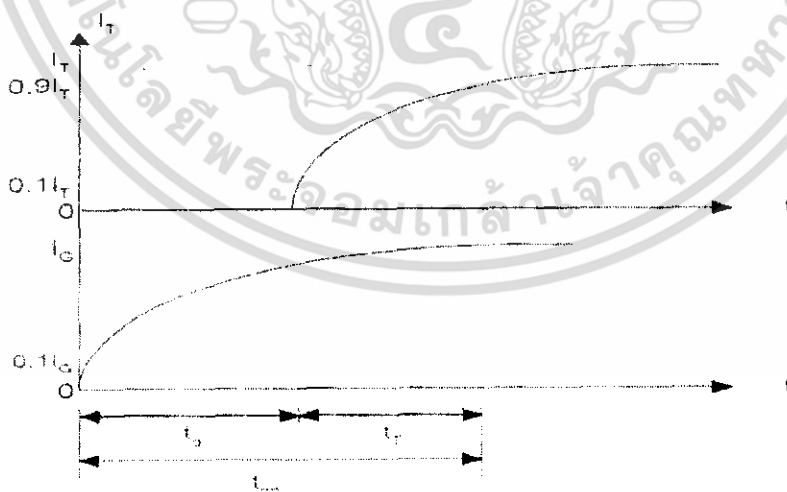
**แสง** ถ้ามีแสงตกบนรอยต่อของไทรสเตอร์ ทำให้คู่อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ไทรสเตอร์อาจนำกระแสได้ ซึ่งเกิดจากแสงกระทบชั้นซิลิคอนของไทรสเตอร์

**แรงดันสูง** ถ้าแรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้กับแอนโอด - แคโทด มีค่าสูงกว่าแรงดันพังทลาย  $V_{Bo}$  ค่ากระแสรั่วไหลจะกระตุ้นให้เกิดนำกระแสแบบรีเจนเนอเรทีฟ การนำกระแสแบบนี้อาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย ควรหลีกเลี่ยง

$dv/dt$  อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันแอนโอดแคโทดมีค่าสูง กระแสซาร์จของตัวเก็บประจุที่รอยต่ออาจมีค่าสูงจนทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้ และอาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้ ดังนั้น ทรานซิสเตอร์จึงต้องป้องกัน  $dv/dt$  ที่มีค่าสูงมากพอที่จะนำไปใช้ในแต่ละงาน โดยผู้ผลิตจะระบุค่าสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ทนได้ไว้

**Gate Current** ถ้าทรานซิสเตอร์มีการไบอัสตรง และมีกระแสเกตไหลโดยการป้อนแรงดันบวกที่เกิดเมื่อเทียบกับแคโทด จะเป็นการทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสขณะที่กระแสเกตเพิ่มขึ้น กระแสเบสล็อกกิงไบอัสตรงจะลดลง

รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นของกระแสแอนโอด เมื่อป้อนกระแสเกตจะมีช่วงเวลาหนึ่งเรียกว่า ช่วงเวลานำกระแส  $t_{on}$  ระหว่างเวลาการป้อนสัญญาณเกต และการนำกระแสของทรานซิสเตอร์  $t_{on}$  นิยามว่าเป็นช่วงเวลาระหว่าง 10% ของกระแสเกต ที่สถานะคงตัว ( $0.1I_G$ ) กับ 90% ของกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ ที่สถานะคงตัว ( $0.9I_C$ )  $t_{on}$  คือผลบวกของเวลาประวิง  $t_d$  และเวลาช่วงขึ้น  $t_r$  โดย  $t_d$  คือช่วงเวลาระหว่าง 10% ของกระแสเกต ( $0.1I_G$ ) และ 10% ของกระแสที่สถานะนำกระแสของทรานซิสเตอร์ ( $0.1I_C$ )  $t_r$  คือเวลาที่ใช้สำหรับกระแสแอนโอดในการเพิ่มจาก 10% ของกระแสสถานะนำกระแส ( $0.1I_C$ ) ไปถึง 90% ของกระแสสถานะนำกระแส ( $0.9I_C$ ) ซึ่งเวลาทั้งหมดได้แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแสดงคุณลักษณะของเวลาในการนำกระแสของทรานซิสเตอร์  
(Turn-On Characteristics)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดต่อมาที่ควรพิจารณาในการออกแบบวงจรควบคุมเกต คือ

1. สัญญาณเกตควรถูกปลดออกเมื่อไทรสเตอร์นำกระแสแล้ว สัญญาณเกตที่มีต่อไปจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในรอยต่อเกต
2. ขณะที่ไทรสเตอร์ไบอัสกลับไม่ควรมียุสัญญาณเกต นอกจากนี้ไทรสเตอร์อาจเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากมีกระแสรั่วไหลผ่านมากเกินไป
3. ความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ขาเกต  $t_G$  ต้องยาวกว่าช่วงเวลาที่ใช้สำหรับกระแสแอนโอด ในการเพิ่มถึงกระแสโฮลดิ้ง  $I_H$  ในทางปฏิบัติความกว้างของสัญญาณพัลส์จะยาวกว่าเวลานำกระแส  $t_{on}$  ของ ไทรสเตอร์

### การหยุดนำกระแสของไทรสเตอร์

การหยุดนำกระแสของไทรสเตอร์ (Turn-off) หมายถึง การนำกระแสของไทรสเตอร์ ลีนสุดลง และ เมื่อให้กระแสแอนโอด (Anode) อีกครั้ง แต่ ไม่มีการให้กระแส gate จะไม่ทำให้ไทรสเตอร์นำกระแส ได้อีก Commutation เป็นกระบวนการ turn off thyristor และ commutation circuit ประกอบด้วยองค์ประกอบซึ่งเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้การ turn off สะดวกขึ้น

การ turn off thyristor มีสามวิธี คือ natural commutation, reverse bias turn-off และ gate turn-off.

#### Natural commutation

เมื่อ กระแส anode ลดลงต่ำกว่าค่าที่น้อยที่สุด เรียกว่า กระแสโฮลดิ้ง (holding current) แล้ว ไทรสเตอร์ จะ turn off. อย่างไรก็ตาม ต้องรู้ว่ากระแส anode จะต้องมากกว่า 1,000 เท่าของ holding value. ในวงจรกระแสตรง เมื่อ anode voltage ยังคงเป็นบวก เมื่อเทียบกับ cathode กระแส anode จะลดลงได้ก็ต่อเมื่อเปิดวงจรหรือเพิ่มค่าความต้านทาน (impedance) หรือทำการลัดวงจร (short circuit) ระหว่าง anode กับ cathode ของ ไทรสเตอร์

#### Reverse bias turn-off

การป้อนแรงดันย้อนกลับ (reverse voltage) จาก anode ไปยัง cathode (cathode เป็นบวกเมื่อเทียบกับ anode) จะหยุดกระแส anode ซึ่งกระแสนย้อนกลับ (reverse) ทุกๆ ไชเคิลในวงจรกระแสสลับ ดังนั้น ไทรสเตอร์จะถูกกระตุ้นด้วยแรงดันย้อนกลับ (reverse bias) ทุกๆ ไชเคิลลบ และจะ turn off เรียกสภาวะนี้ว่า phase commutation หรือ a.c. line commutation

ในการสร้าง reverse bias voltage คร่อมไทรสเตอร์ ในกรณีของวงจรกระแสตรง จะใช้ตัวเก็บประจุ โดยอาศัยการคายประจุ ของตัวเก็บประจุ ที่ขนานกับไทรสเตอร์ เพื่อจะ turn off thyristor เรียกว่า forced commutation.

ในอุปกรณ์ power electronic มีข้อดี ที่ใช้ไทรสเตอร์ คือความกะทัดรัด อุปกรณ์ควบคุมต้องกะทัดรัด ถ้ามีการใช้วงจร integrated ต้องการทำให้มี ตัวเก็บประจุขนาดเล็กเพื่อ forced commutation และ filtering. การใช้แบบเดิมมีความสำคัญ เพราะกระแสอาจมาก และ ความร้อนที่เกี่ยวข้องเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการออกแบบในปัจจุบัน ตัวเก็บประจุทำด้วย metallized plastic film หรือ plastic film aluminium foil.

### Gate turn-off

การออกแบบไทรสเตอร์ ให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือกระแส gate ที่เป็นลบ จะเพิ่มกระแสโฮลดิ้ง (holding current) จนกระทั่งมากกว่ากระแสโหลด และ ไทรสเตอร์ จะ turn off ระดับกระแสจะมีค่าต่ำกว่า 10 A ซึ่งการหยุดนำกระแสชนิดนี้จะไม่นิยมนำมาใช้งาน

### Thyristor turn-off time

Turn-off time คือเวลาดังแต่ที่มีประจุอยู่ใน silicon จนกระทั่งเข้าใกล้สภาวะ off ถ้าช่วงเวลาที่ลดประจุมีการให้กระแส forward เข้ามาจะทำให้หน้าไฟฟ้าอีกครั้ง turn-off time ขึ้นกับอุณหภูมิ สำหรับ natural commutation จะใช้เวลาระหว่าง 10 ถึง 100 us เพื่อ turn off แต่สำหรับ forced commutation จะอยู่ระหว่าง 7 ถึง 20 us แต่ไม่ใช่ไทรสเตอร์เพื่อใช้ในจุดประสงค์พิเศษ

#### ตัวอย่าง ค่า turn off time

10 us สำหรับ low-voltage, low-current thyristor,

>20 us สำหรับ 500 V ratings

>35 us สำหรับ 800 V ratings

>50 us สำหรับ 1,200 V ratings

และ 100 ถึง 200 us สำหรับ 1,500 ถึง 2,000 V ratings

การ turn off มีกระบวนการดังนี้ reverse bias voltage ที่ให้เพื่อ turn off ทำให้ประจุไหลจาก cathode ไปยัง anode การไหลย้อนกลับของประจุทำให้เกิดกระแส anode ย้อนกลับ ขณะที่ di/dt จะถูกกำหนดโดยวงจรภายนอก กระแสนี้จะไหลจนกว่า carrier ทั้งหมดของ J1 และ J3 จะหมดไป จนถึงสภาวะที่ junction กลับคืนสู่สภาวะ ที่ block กระแส ไทรสเตอร์ จะ block reverse voltage เพราะว่า J1 และ J3 เกิด reverse bias อย่างไรก็ตาม J2 ยังคงเกิด forward bias และมีประจุที่กักไว้ ไทรสเตอร์จะ block forward voltage เมื่อ carrier ที่มีมากเกินไปรวมตัวกันอีกครั้ง แต่การรวมตัวกันใหม่นี้ ไม่ขึ้นกับวงจรภายนอก turn-off time เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของ junction เพราะการรวมตัวกันใหม่ ใช้เวลานานขึ้น ณ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของประจุใกล้ๆ กับ J2 ขึ้นกับ forward current ดังนั้นกระแสที่มากขึ้นทำให้ turn-off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

times มากขึ้น ขณะที่ reverse current ทำให้ turn-off times สั้นลง เพราะ J1 และ J3 จะเกิด reverse bias ในเวลาสั้นๆ

## 2.5 วงจรจุดชนวนเกตของไทรซิสเตอร์

การที่จะทำให้ไทรซิสเตอร์ทำงานได้นั้น มีหลักการ คือใช้พัลส์จุดชนวนที่สามารถจ่ายกระแสให้กับเกตของไทรซิสเตอร์อย่างเพียงพอและเป็นเวลานานกว่าช่วงเวลาไทรซิสเตอร์ต้องการในเวลาทำงาน จนกระทั่งกระแสไหลผ่านแอนโอดของไทรซิสเตอร์เกินกว่าค่ากระแสค้าง ( $I_C$ ) ไทรซิสเตอร์จึงจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์

การสร้างสัญญาณจุดชนวนไทรซิสเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่มักนิยมใช้วงจรรวมสำหรับงานการควบคุมเฟสที่สร้างขึ้นมาจากใช้งานเฉพาะ เช่น วงจรรวม เบอร์ TCA 785 ซึ่งสามารถสร้างการจุดชนวนเกตของไทรซิสเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ได้

## 2.6 วงจรสับเบอร์ (Snubber)

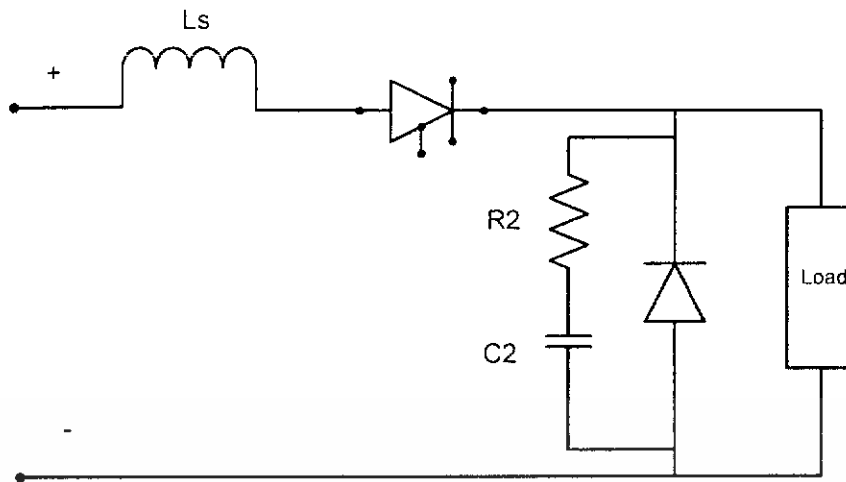
จุดประสงค์หลักของวงจรสับเบอร์สำหรับไทรซิสเตอร์ คือใช้ ทำหน้าที่ป้องกันตัว ไทรซิสเตอร์จากอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน  $dv/dt$  แอนโอด – แคโทด และกระแสแอนโอด ถ้า  $dv/dt$  ที่ ไทรซิสเตอร์มีค่าสูงมากเกินไป จะทำให้ไทรซิสเตอร์นำกระแสถึงแม้ว่าจะไม่มีสัญญาณขับเกตก็ตาม และถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส  $di/dt$  ขณะไทรซิสเตอร์เริ่มนำกระแสมีค่าสูงมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุด ที่รอยต่อขาเกต ทำให้ไทรซิสเตอร์ได้รับความเสียหายได้

### การป้องกัน $di/dt$

ไทรซิสเตอร์ใช้เวลาน้อยที่สุดในการแพร่กระแสไฟฟ้าให้ทั่วทั้งรอยต่อ ถ้าอัตราการเพิ่มของกระแสแอนโอดเร็วมาก เมื่อเทียบกับความเร็วของการแพร่ในขบวนการนำกระแส จะเกิดจุดของความร้อน ความร้อนนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นกระแสมีค่ามาก ไทรซิสเตอร์อาจเสียหายได้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลามากเกินไป

ในทางปฏิบัติต้องป้องกันค่า  $di/dt$  ที่สูงเกินไป ดังในตัวอย่าง พิจารณาวงจรข้างล่าง ภายใต้สภาวะคงตัว  $D_m$  นำกระแสเมื่อไทรซิสเตอร์  $T_1$  ไม่นำกระแส ถ้า  $T_1$  ใหม่ เมื่อ  $D_m$  ยังคงนำกระแส  $di/dt$  จะมีค่าสูงมาก และสามารถจำกัดได้โดยเพิ่มค่า อินดักแตนซ์ของวงจร ในทางปฏิบัติ  $di/dt$  จะลดลงโดยการอนุกรมตัวเหนี่ยวนำ  $L_s$  ดังรูปที่ 2.7

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L_s} \quad 2.3$$



รูปที่ 2.7 รูปแสดงวงจรสับไฟฟ้าที่มีตัวเหนี่ยวนำจำกัดค่า  $di/dt$

**การป้องกัน  $dv/dt$**

$dv/dt$  หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อมไทรซิสเตอร์ต่อเวลา ถ้า สวิตช์  $S_1$  ดังรูปที่ 2.8 ปิดที่เวลา  $t = 0$  จะมีแรงดันสแตป้อนคร่อมไทรซิสเตอร์  $t_1$  และ  $dv/dt$  อาจมีค่าสูงเพียงพอที่จะทำให้ฉนวนกระแสได้  $dv/dt$  จะถูกจำกัดโดยการต่อ  $C_s$  ดังรูปที่ 2.9 การต่อ  $R_s$  และ  $C_s$  เข้าไปขนานกับไทรซิสเตอร์เรียกว่า วงจรสับเบอร์

เมื่อนำวงจร RC ที่รู้จักในนามวงจรสับเบอร์เพิ่มเข้าไปป้องกันไทรซิสเตอร์ แรงดันคร่อมไทรซิสเตอร์จะเพิ่มขึ้น แบบเอ็กโพเนนเชียล ดังรูปที่ 2.10 และวงจร  $dv/dt$  หาได้จาก

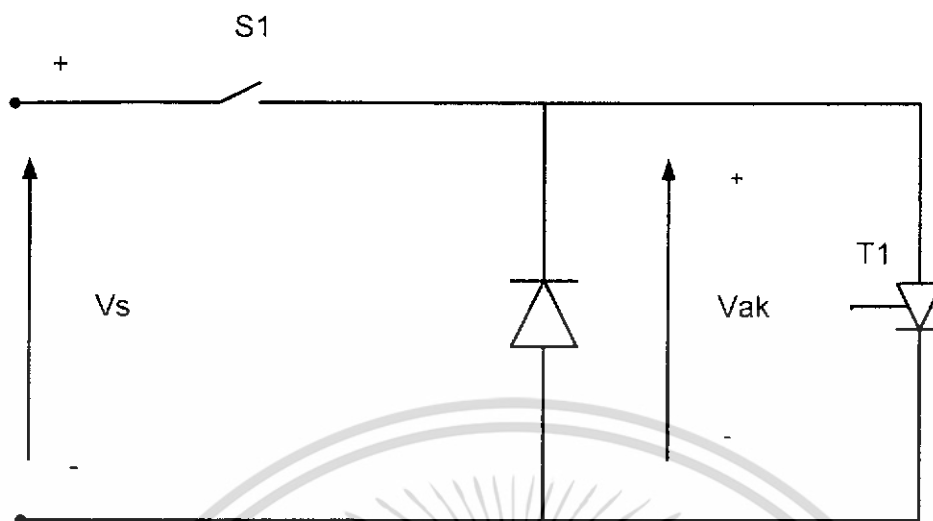
$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.632Vs}{\tau} = \frac{0.632Vs}{R_s.C_s} \tag{2.4}$$

ค่าคงที่เวลาสับเบอร์  $t = R_s.C_s$  หาได้จากสมการ 2.4 สำหรับค่า  $dv/dt$  ค่า R หากจากกระแสดีสชาร์จ  $I_{TD}$

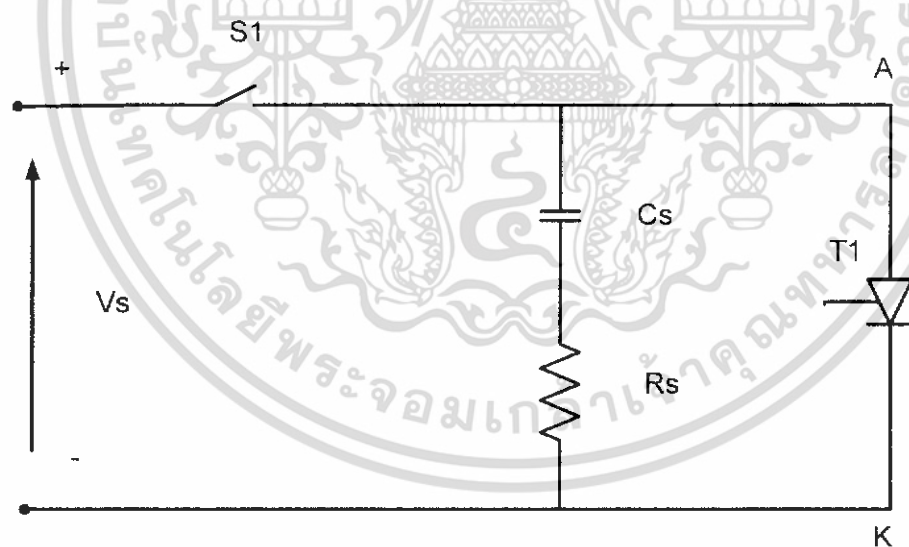
$$R_s = \frac{Vs}{I_{TD}} \tag{2.5}$$

**62434**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

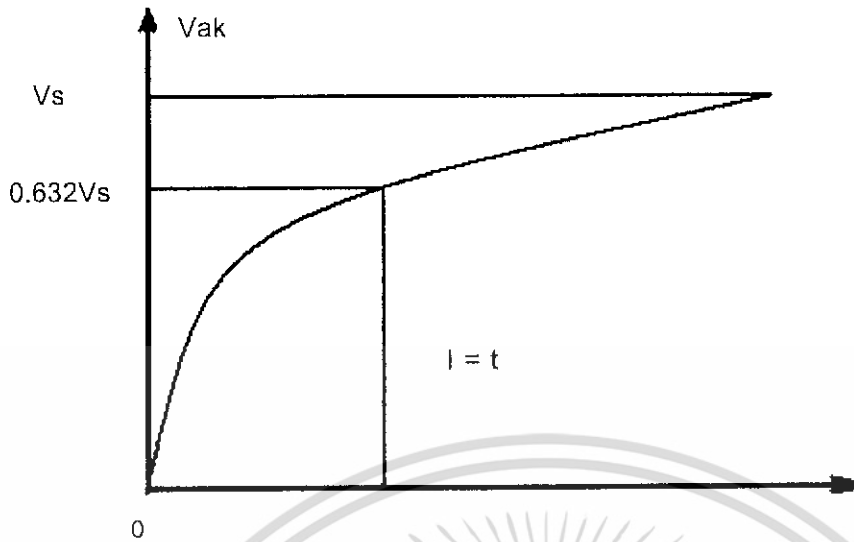


รูปที่ 2.8 รูปแสดงวงจรป้องกัน  $dv/dt$  ด้วยสับเบออร์



รูปที่ 2.9 รูปแสดงการต่อ  $C_s$  เพื่อจำกัดปริมาณ  $dv/dt$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 รูปแสดงแรงดันคร่อมไตรโอดที่มีการเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเนนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟสามารถสังเกตเห็นได้ว่าการใส่ Capacitor bank และ Reactor ที่ทำหน้าที่ป้องกันการเรโซแนนซ์ ที่ความถี่อันดับต่าง ๆ ซึ่งจะมีส่วนช่วยชดเชยค่ากำลังรีแอกทีฟ ให้กับระบบได้แล้วนั้น ยังมีบางส่วนของความต้องการพัฒนาเพื่อให้สามารถควบคุมตัวชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive power compesator) ให้ทำงานในช่วงเวลาที่เรากำหนด หรือช่วงเวลาที่เหมาะสมกับโหลด ทำให้ต้องชดเชยค่ากำลังรีแอกทีฟในเวลานั้น ๆ ดังนั้นจึงต้องการตัวควบคุมการทำงานของตัวชดเชยกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive power compensator)

สำหรับการทำการทดลองในโครงการครั้งนี้ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ด้วยกัน คือ

#### 3.1 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

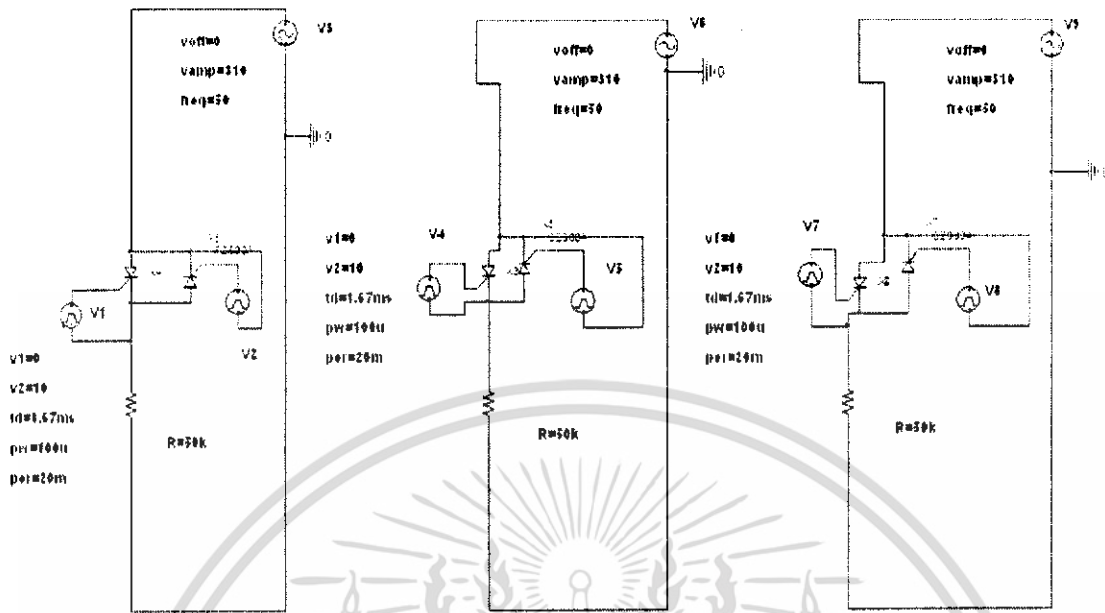
ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในงานหลายๆ ด้านโดยเฉพาะในด้านวิศวกรรม ซึ่งได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ ออกแบบและจำลองการทำงาน ในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าได้มีการนำเอาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบและจำลองการทำงานมาใช้ อย่างกว้างขวาง ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดเวลา ในการออกแบบหรือทดสอบวงจรภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่ได้จะมีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองหรือเป็นตัวอ้างอิงกับผลการทดลองในกรณีที่มีการทดลองจริงเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์หาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้

โปรแกรมที่ใช้ทำการทดลองในโครงการนี้คือ โปรแกรม Orcad 9.1 เนื่องจากว่าเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ง่าย สามารถแสดงผลรูปสัญญาณออกมาได้ใกล้เคียงของจริง ทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์การทำงาน

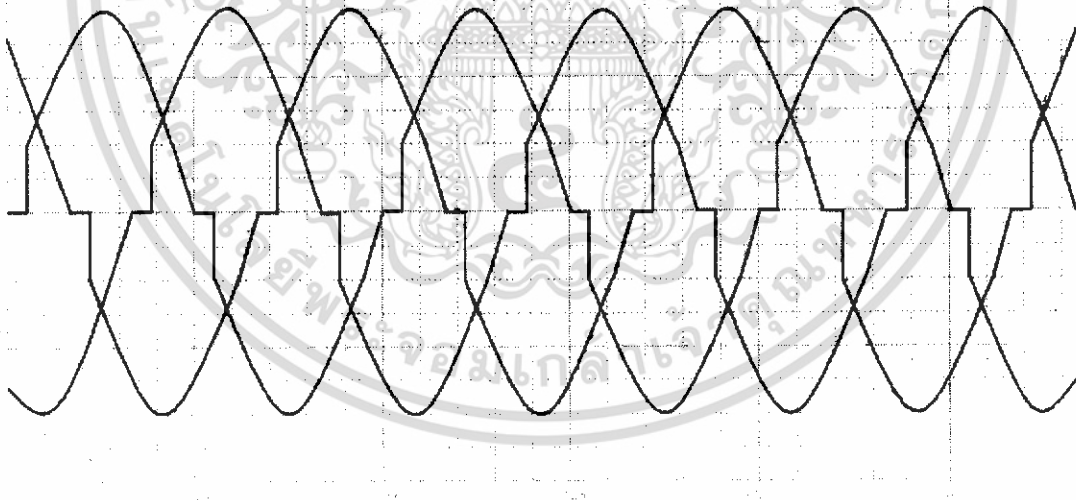
โปรแกรม Orcad เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการช่วยวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้า แต่โปรแกรม Orcad นี้ไม่สามารถออกแบบวงจรได้เอง แต่จะใช้ในการตรวจสอบการออกแบบของวงจรที่ออกแบบไว้ ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม Orcad เพื่อทำการจำลองการทำงาน (simulate) ของวงจรเพื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณออกแบบ ค่าที่ได้จะมีผลลัพธ์ใกล้เคียงกันเพื่อยืนยันถึงความถูกต้อง แต่ถ้าผลลัพธ์ที่คำนวณไม่ตรง หรือเกิดการผิดพลาดในการจำลองการทำงาน แสดงว่าวงจรของเราไม่สามารถทำงานได้จริงในห้องปฏิบัติการหรือแสดงว่าต้องมีการแก้ไขในวงจรที่ได้ทำการออกแบบ

ได้ทำการออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

วงจรควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดความต้านทาน



รูปที่ 3.1 รูปแสดงวงจรจำลองของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดความต้านทาน



รูปที่ 3.2 รูปแสดงรูปคลื่นแรงดันที่มุมจุดชนวนขนาด 30 องศา 3 เฟส

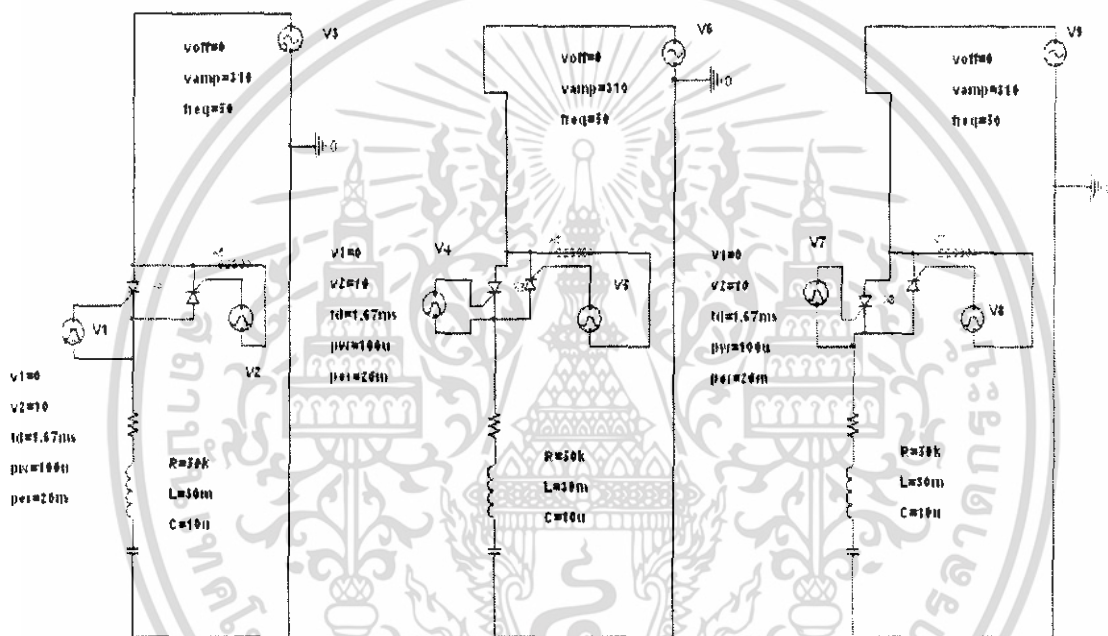
เมื่อลองทำการปรับมุมจุดชนวนที่ 30 องศา พบว่าสามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

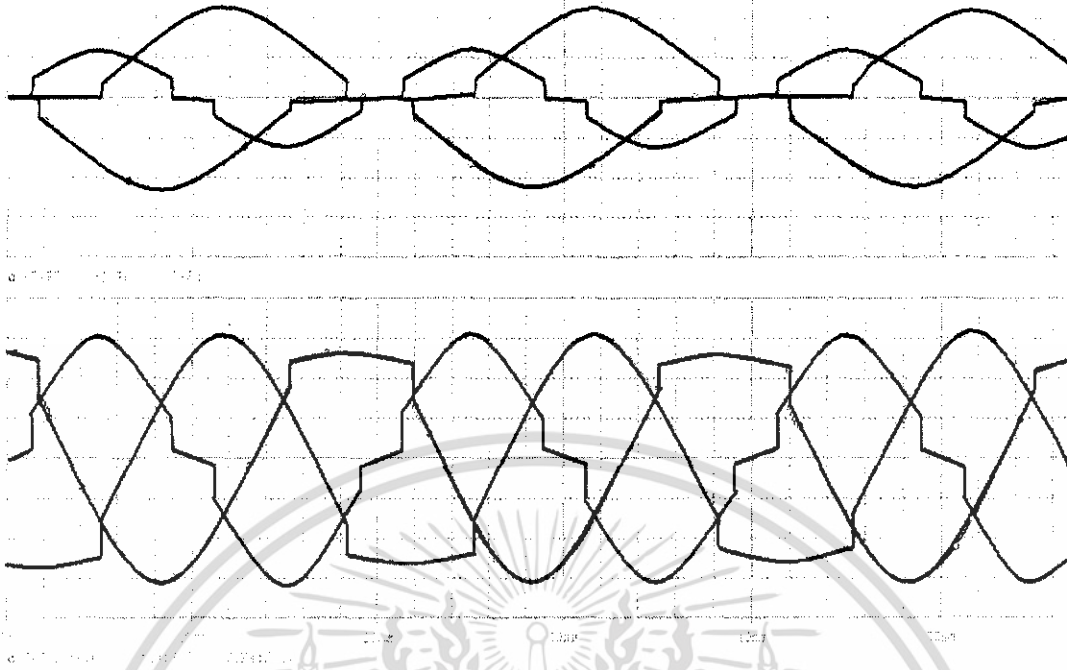
### วงจรควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน

เนื่องจากการใช้เฉพาะโหลด ตัวเหนี่ยวนำ และโหลดตัวเก็บประจุ เมื่อพิจารณาหลักการทางทฤษฎี พบว่า มุมของโหลดลัพท์จะหักล้างกันหมดทำให้มุมของโหลดมีค่าเป็น 0 จึงทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ไม่ก่อให้เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

จึงได้ทำการแก้ไขระบบเพื่อให้สามารถทำการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ วิธีการแก้ไขก็คือ ทำได้ โดยการต่อ ความต้านทานเพิ่มเข้าไปในระบบ เพื่อทำให้ค่าของมุมโหลดมีค่าเป็น 1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวความต้านทานเอง



รูปที่ 3.3 รูปแสดงวงจรจำลองของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน



รูปที่ 3.4 รูปแสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่มุมจุดชนวนขนาด 30 องศา 3 เฟส

จากการทดลองจำลองโปรแกรม สามารถวิเคราะห์ผลที่ได้ว่า สามารถใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ควบคุมปริมาณแรงดันเข้าสู่ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟได้ และสามารถควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้าจากตัวชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟได้ ซึ่งพบว่าที่ มุมจุดชนวนองศาต่างๆ จะมีปริมาณแรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับมุมจุดชนวน

### 3.2 การสร้างชุดขับจริงที่จะนำไปใช้ขับไทรสเตอร์

จากการทดลองสร้างวงจรจำลองพบว่า สอดคล้องกับเป้าหมายของโครงการ นั่นคือสามารถควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาดต่างๆ ในช่วงเวลาต่างๆ ได้

การที่จะทำให้ไทรสเตอร์ทำงานได้จำเป็นต้องมีวงจรขับทำหน้าที่จ่ายพัลส์ ในปริมาณที่เหมาะสม ให้กับไทรสเตอร์ ซึ่งวงจรขับไทรสเตอร์สามารถหาตัวอย่างได้จากหลายๆที่ด้วยกัน แต่ที่สนใจที่จะนำมาใช้กับโครงการครั้งนี้ คือการใช้วงจรรวมเบอร์ TCA 785 มาทำเป็นวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนไทรสเตอร์ เนื่องจาก เป็นวงจรรวมที่สามารถใช้งานได้ง่ายภายในตัวเอง นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติ สามารถใช้ปรับมุมจุดชนวนได้ 0 ถึง 180 องศา ตามที่ต้องการเพื่อใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ

### คุณสมบัติของวงจรรวมเบอร์ TCA 785

วงจรรวมเบอร์ TCA 785 ผลิตโดยบริษัท siemens ประเทศ เยอรมัน ใช้ในงานควบคุมเฟสโดยเฉพาะ หรือใช้ได้กับวงจร Line commutate converter ใช้ได้กับระบบไฟฟ้า 1เฟสและ 3เฟส สามารถปรับมุมจุดชนวนเกิดได้ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา และสามารถสร้างลักษณะพัลส์ได้หลายรูปแบบตามลักษณะของโหลด และสามารถใช้งานได้ดีในย่านความถี่ 10 ถึง 500 Hz ต้องการไฟเลี้ยง กระแสตรง ขนาด 8 – 18 โวลต์ดีซี ทำงานได้ดีในย่านอุณหภูมิ -25 ถึง +85 องศาเซลเซียส กินกระแสไฟฟ้าประมาณ 4.5 ถึง 10 มิลลิแอมป์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าต้านออกของวงจรที่ขา 14 และ 15 ได้ประมาณ 250 มิลลิแอมป์ โดยที่สัญญาณต้านออกมีทั้งแบบปกติและแบบกลับสัญญาณ มี Inhibit Function ควบคุมการกำเนิดสัญญาณและสามารถใช้งานในลักษณะ Zero crossing ได้ด้วย

### การทำงานของวงจรรวมเบอร์ TCA 785

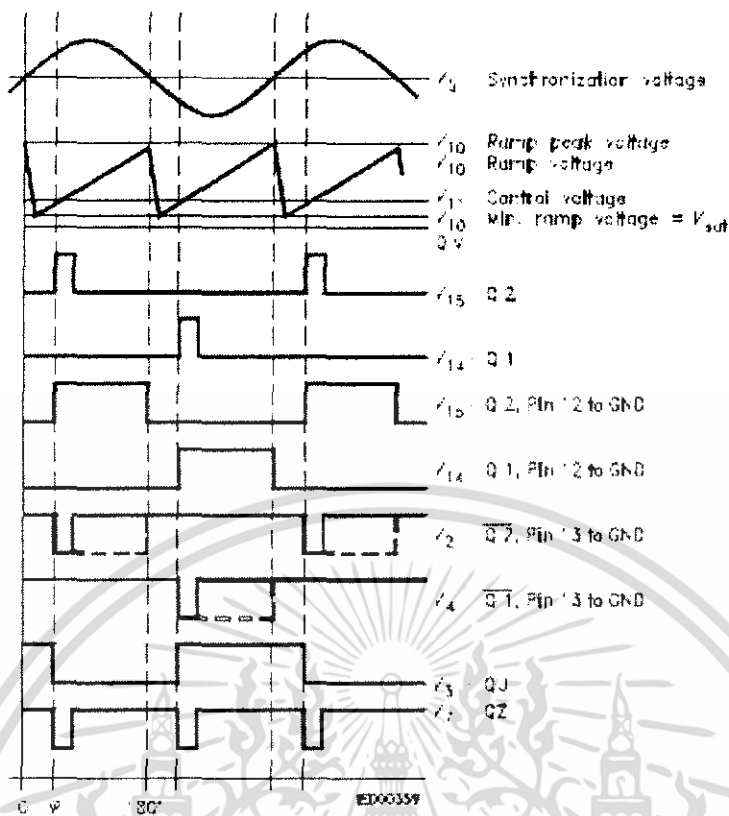
พิจารณาโครงสร้างภายในของ วงจรรวม TCA 785 ซึ่งเป็นวงจรรวมแบบ LSI มี 16 ขา บรรจุด้วยตัวถังพลาสติกทรงรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าขา 16 คือ  $+V_s$  รับแรงดันไบแอสในย่าน +8 ถึง +18 โวลต์ ดีซี โดยที่ขา 1 เป็นกราวด์ แรงดันควบคุมภายในเป็นแรงดันอ้างอิง คือ  $V_{ref}$  ขา 5 คือ ขาที่รับแรงดันซิงโครไนซ์ ซึ่งเป็นแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟสลับ โดยต่อ neutral เข้าที่ขา 1 ด้วยเซ็นกัน  $R_9$  เป็นตัวสร้างสัญญาณลาดเอียง และ  $C_{10}$  คือตัวเก็บประจุสัญญาณลาดเอียง ต่อกับขา 9 และขา10 ตามลำดับ ค่าของ  $C_{10}$  อยู่ในย่าน 500 pF ถึง 1 uF และ  $R_9$  มีค่าเหมาะสมในย่าน  $3k\Omega$  ถึง  $300 k\Omega$

ค่า  $R_9$  และ  $C_{10}$  จะเป็นตัวกำหนดของสัญญาณลาดเอียง ถ้า  $R_9$  และ  $C_{10}$  มีค่ามาก ความลาดเอียงของ  $V_{10}$  ก็จะมีมากตามไปด้วย ขา 11 คือค่าที่ต่อแรงดันควบคุม เป็นแรงดันไฟตรงปรับค่าได้ แรงดันควบคุมนี้จะป้อนเข้าขาบวกของออปแอมป์



รูปที่ 3.5 รูปแสดงโครงสร้างภายในของวงจรรวมเบอร์ TCA785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปแสดงสัญญาณ input และ output ทั้งหมดของวงจรรวมเบอร์ TCA785

เมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมจะได้ดังรูปที่ 3.6 โดยเทียบแรงดันกับ  $V_{10}$  เพื่อกำหนดมุมจุดชนวนที่ด้านออกของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าสัญญาณด้านออกของวงจรอยู่ที่ขา 14 และ 15 โดยพัลส์ที่ขา 15 จะทำงานช่วงเวลา  $\omega t = 0$  ถึง  $180$  องศา และพัลส์ขาที่ 14 จะทำงานช่วงเวลา  $\omega t = 180$  ถึง  $360$  องศา ขนาดความกว้างของพัลส์ด้านออกคือ  $\theta$  ซึ่งปกติถ้าไม่ต่อ  $C_{12}$  จะมีค่า  $\theta = 30$   $\mu$ S แต่สามารถเปลี่ยนค่าได้โดยใช้ค่า  $C_{12}$  ต่อเข้าที่ขา 12 สำหรับขา 2 และขาที่ 4 คือสัญญาณกลับของ  $V_{14}$  และ  $V_{15}$  สัญญาณลักษณะพัลส์เดี่ยวที่มี  $\theta = 30$   $\mu$ S จะเกิดได้ก็เมื่อมีการต่อ  $C_{12}$  กับกราวด์ แต่ถ้าต้องการให้สัญญาณออกที่ ขา 2 และ 4 เป็นพัลส์ยาวด้วย จะต้องต่อขา 13 เข้ากับกราวด์ด้วยดังที่แสดงในรูปที่ 3.6

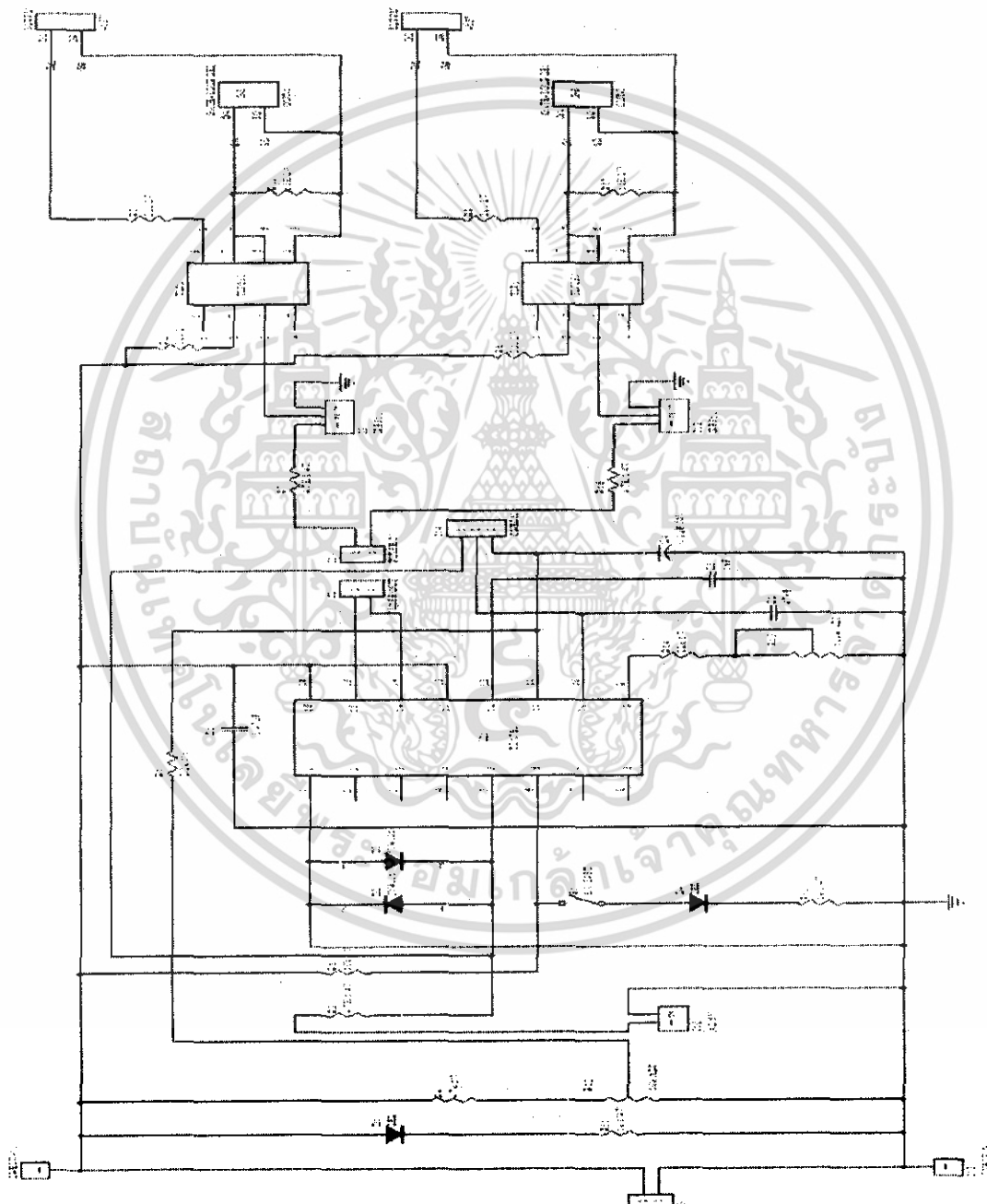
เมื่อได้ศึกษาหลักการการทำงานของวงจรรวม TCA785 เรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงได้ทำการทดลองต่อวงจรตามรูปที่ 3.7 โดยใช้ TCA 785

### คุณสมบัติของวงจรรวมเบอร์ TLP250

วงจรรวมเบอร์ TLP250 เป็นวงจรรวมที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการแยกกราวด์ของวงจร ซึ่งเข้ามาทำหน้าที่แทนหม้อแปลงพัลส์ ซึ่งจะมีข้อดีกว่าตรงที่สามารถส่งผ่านสัญญาณพัลส์ได้เรียบและมีเสถียรภาพมากกว่าหม้อแปลงแบบเก่า

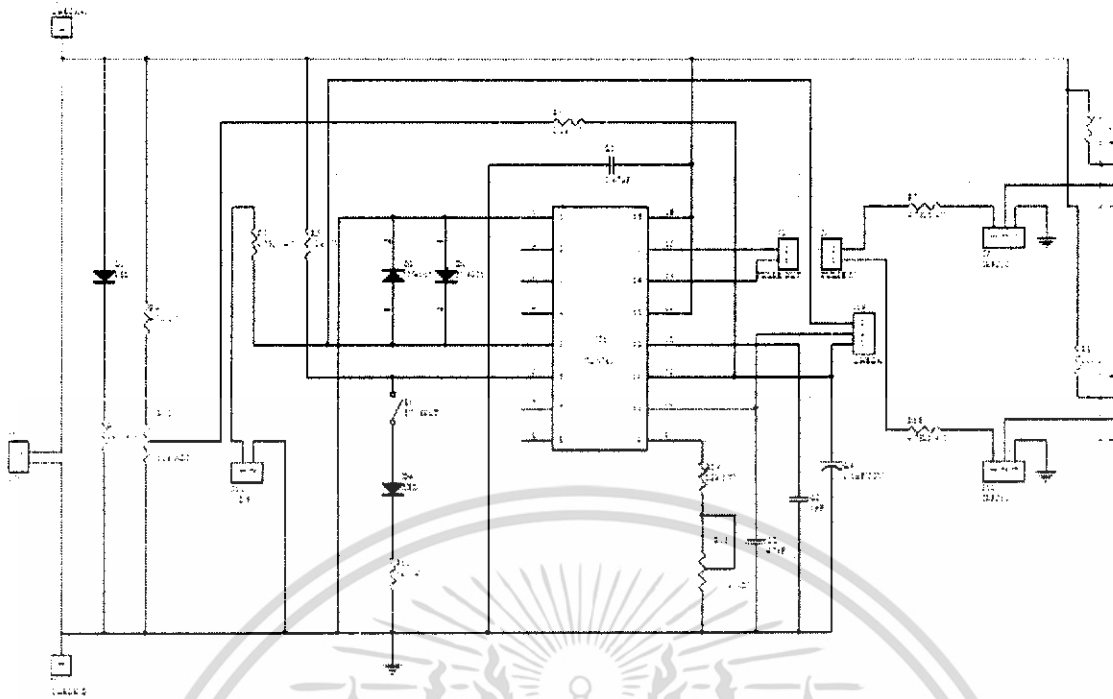
วงจรรวมเบอร์ TLP250 ใช้หลักการของแสงเข้ามาช่วยในการแยกกราวด์ โดยจะส่งสัญญาณผ่านไดโอดเปล่งแสง(LED) ในด้านขาเข้า และจะใช้ตัวรับสัญญาณแสงอีกตัวหนึ่งเป็นตัวรับสัญญาณแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณขาออก

การทดลองในส่วนนี้เป็นลักษณะของการสร้างชิ้นงาน จึงเน้นไปที่การต่อวงจรและทำการบันทึกกราฟเก็บไว้ เพื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานของวงจรรวมเบอร์ TCA 785 จากผลการทดลองที่ได้ทำการบันทึกไว้จริง กับ คุณสมบัติที่ได้มาจาก data sheet ว่าสอดคล้องกันหรือไม่สามารถทำงานได้จริงหรือไม่

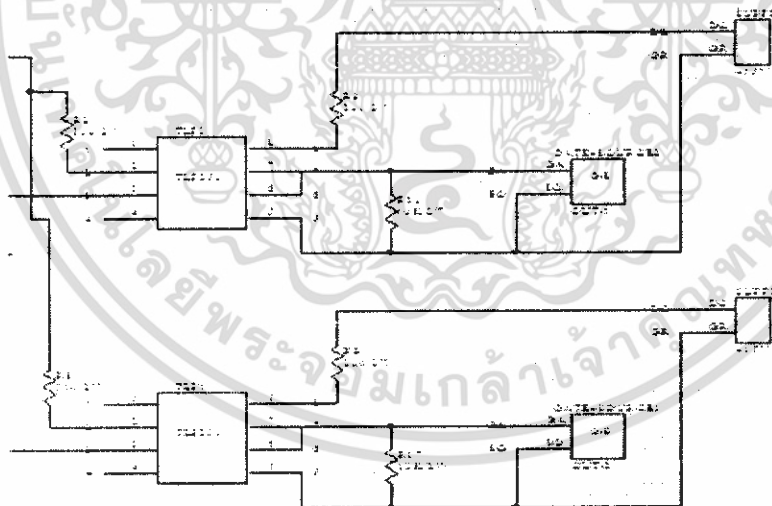


รูปที่ 3.7 รูปแสดงลายวงจรทั้งหมดที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



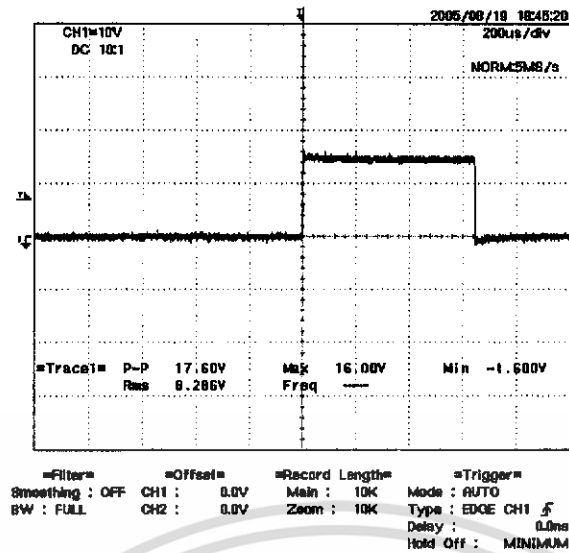
รูปที่ 3.8 รูปแสดงลายวงจรส่วนที่จ่ายสัญญาณพัลส์ โดยใช้ TCA785



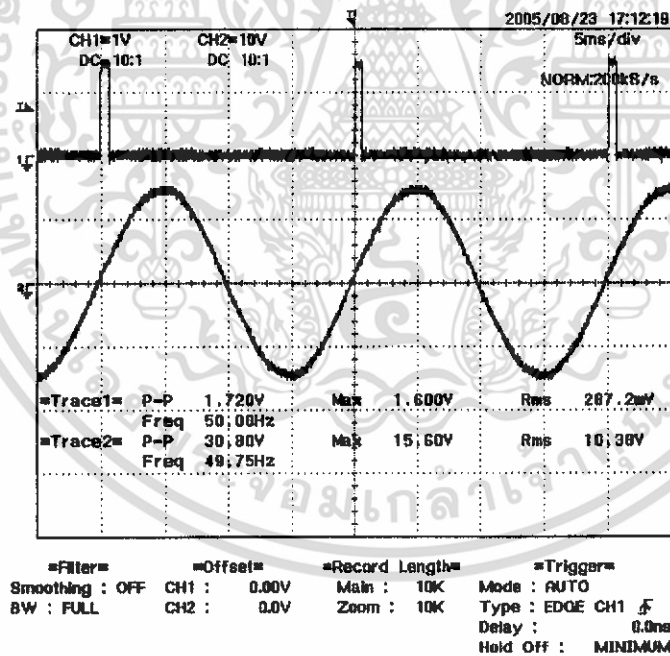
รูปที่ 3.9 รูปแสดงลายวงจรส่วนที่ทำหน้าที่แยกกราวด์ของสัญญาณ โดยการใช้วงจรรวมเบอร์ TLP250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



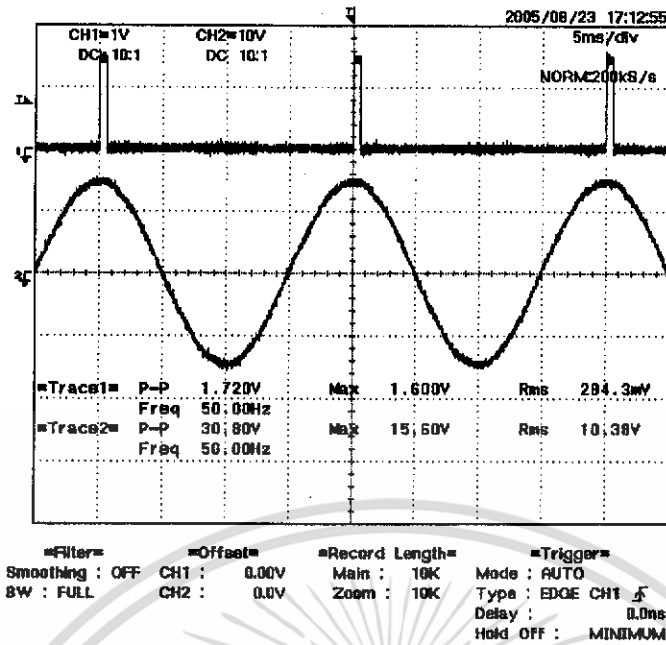


รูปที่ 3.12 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออก ที่ทำการขยายสัญญาณใน 1 ลูกคลื่น

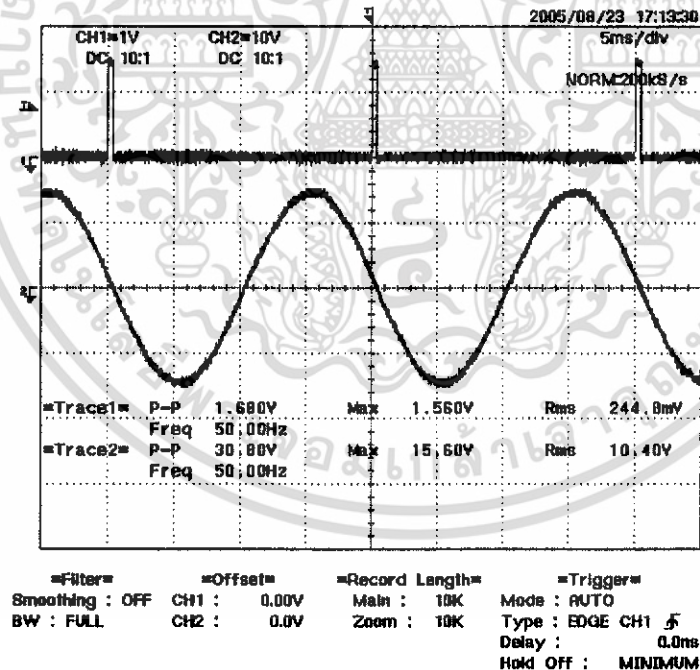


รูปที่ 3.13 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออกเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิงที่มุมทริก 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

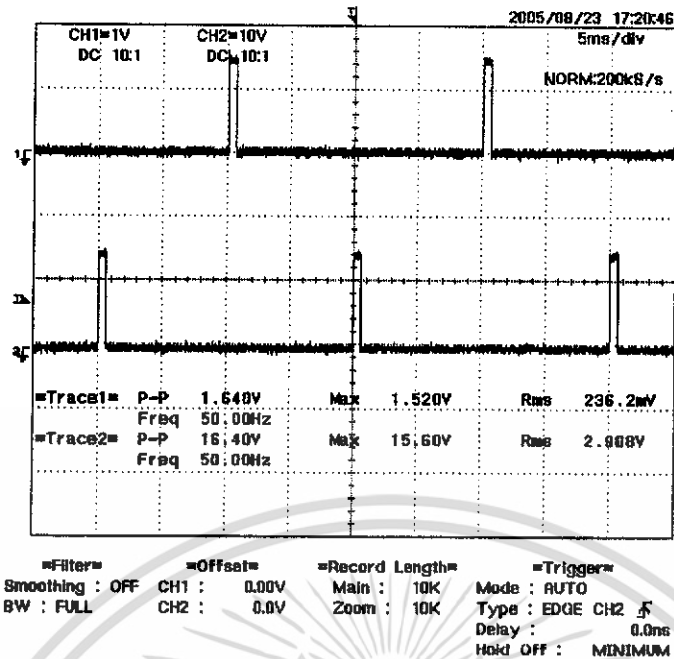


รูปที่ 3.14 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออกเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิงที่มุมทริก 90 องศา



รูปที่ 3.15 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขาออกเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิงที่มุมทริก 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 รูปแสดงสัญญาณพัลส์ขา 14 และขา 15

### ปัญหาที่พบและการแก้ไขจากการทดลองในส่วนของการสร้างวงจร

ในการสร้างวงจรนั้น ใช้เวลานานมาก เนื่องจากพบปัญหาหลายประการซึ่งแบ่งออกได้เป็นดังนี้

-ปัญหาที่เกิดจากตัวสมาชิกผู้ทำการทดลองเอง เนื่องจากว่าไม่มีความชำนาญในการทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์และหลักการพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การใช้เครื่องมือวัด รวมไปถึงการวิเคราะห์การทำงานของวงจร ทำให้ต้องใช้เวลาในการแก้ไขและวิเคราะห์ปัญหา

-ปัญหาที่เกิดจากการขาดตลาดของอุปกรณ์รุ่นเก่า เมื่อนำอุปกรณ์ตัวอื่นมาใช้ทดแทนทำให้วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ไม่สามารถสร้างสัญญาณพัลส์จุดชนวนออกมาได้ตามที่ต้องการ จึงได้ทำการแก้ไขโดยการออกแบบส่วนของวงจรใหม่ในบางส่วน เช่น ในวงจรเดิมได้มีการใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD875 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ แต่ไม่สามารถหาอุปกรณ์เบอร์นี้ได้จึงใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 แทน ผลที่ได้คือไม่สามารถสร้าง หรือขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกจากตัววงจรรวม TCA785 ได้ จึงได้เปลี่ยนเป็นใช้ มอสเฟตเบอร์ IRF510 มาทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์แทน แล้วออกแบบอุปกรณ์รอบข้างเอง จึงสามารถขยายสัญญาณพัลส์ขาออกได้ตามต้องการ

-ปัญหาเรื่องการวางตำแหน่งกราวด์และการแยกกราวด์ของวงจร เป็นปัญหาที่ใช้เวลานานที่สุดในการแก้ไข โดยช่วงแรกทำการใช้การแยกกราวด์ของวงจรโดยใช้ หม้อแปลง แต่ไม่สามารถแยกกราวด์ของสัญญาณพัลส์ขาออกได้(ได้ทำการทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงแล้วไม่พบว่ามีผล) จึงได้ทำการสร้างวงจรแยกกราวด์โดยอาศัย Opto-Coupler ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงแรกๆ ก็ยังไม่สามารถจ่ายสัญญาณพัลส์ขาออก ออกมาได้ จึงได้ทำการตัดลดอุปกรณ์บางอย่างออกไป เป็นผลให้สามารถแยกกราวด์ของสัญญาณขาออกได้ ตามต้องการ

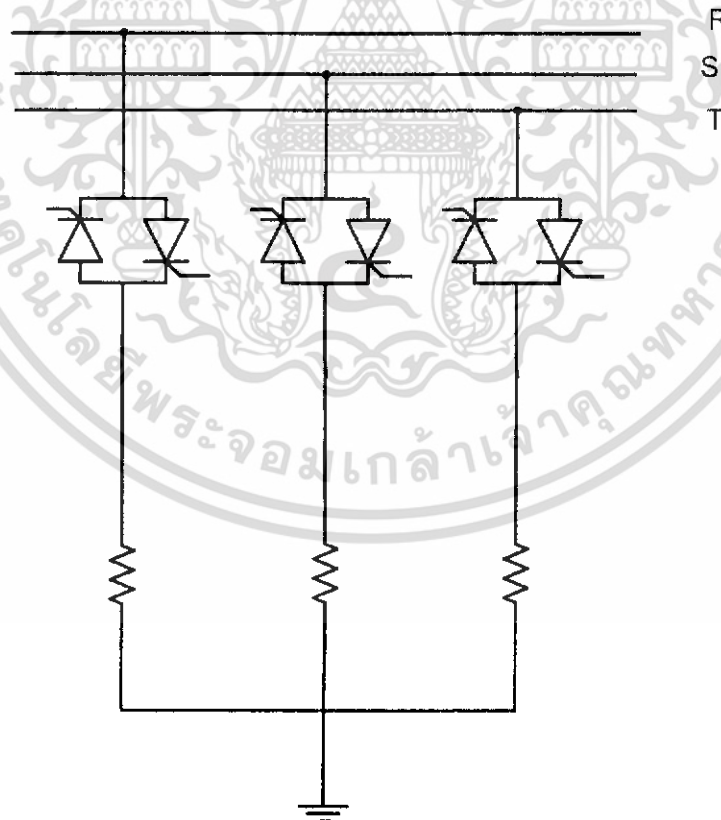
-ปัญหาแรงดันของสัญญาณพัลส์ขาออกที่จะนำไปควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ลดลงอย่างมากทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ได้ ซึ่งปัญหานี้สามารถทำการแก้ไขได้โดยการเพิ่มขนาดหม้อแปลงให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้น

### 3.3 การนำชุดขับที่ได้ไปทำการขับไทรสเตอร์

จากผลการทดลองในช่วงต้น เมื่อได้สัญญาณพัลส์ตามต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็เป็นขั้นตอนของการนำสัญญาณที่ได้ไปทำการควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ เพื่อควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดแต่ละชนิด ซึ่งโหลดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน จึงได้ทำการแบ่งการทดลองช่วงนี้ออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันคือ

#### 3.3.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้า โหลดชนิดตัวต้านทาน(Resistance Load)

โดยการต่อระบบ ที่ต้องการทดสอบเข้ากับโหลดทางไฟฟ้าชนิดตัวต้านทาน ขนาด  $48.4 \Omega$  พิกัดกระแส  $4.55 \text{ A}$  ซึ่งวงจรที่ใช้ในการทดลองส่วนนี้ เป็นดังนี้



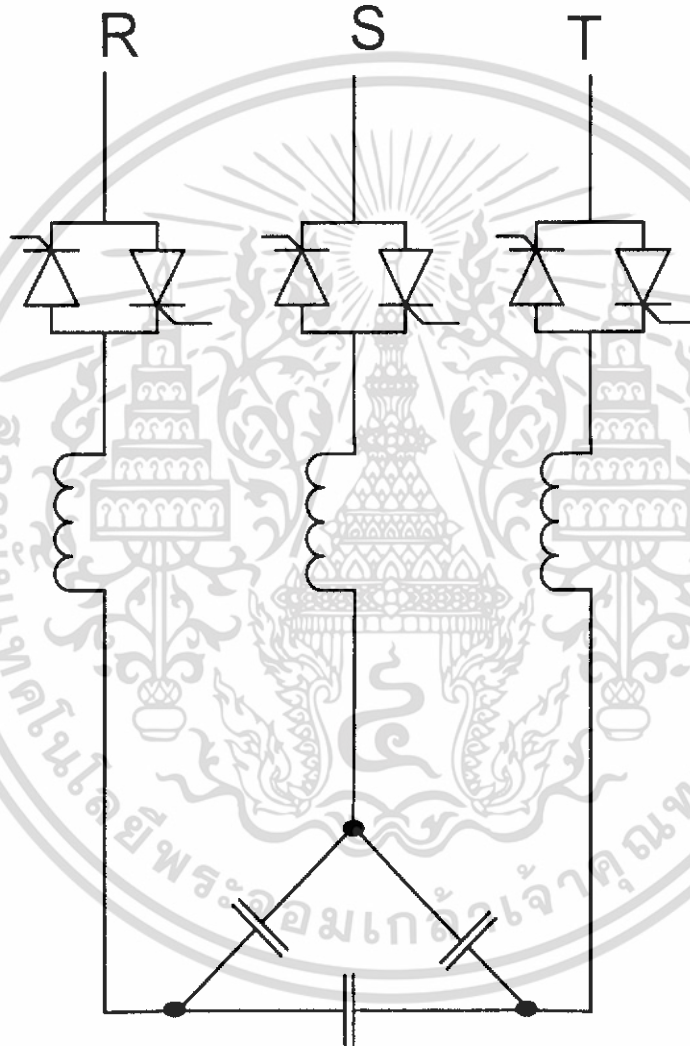
รูปที่ 3.17 รูปแสดงวงจรที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าชนิดโหลดตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

โหลดชนิดตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่ต่อร่วมกันนี้ถือว่าเป็นภาระทางไฟฟ้าที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าชดเชยให้กับระบบไฟฟ้าด้วยแต่ปัญหาที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการออกแบบโหลดชนิดนี้คือ จำเป็นจะต้อง คำนึงถึงผลการเรโซแนนซ์ที่จะเกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้โหลดชนิดนี้สามารถช่วยกรอง ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดในระบบด้วย

โดยใช้ระบบที่ทำการทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 รูปแสดงวงจรที่ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ

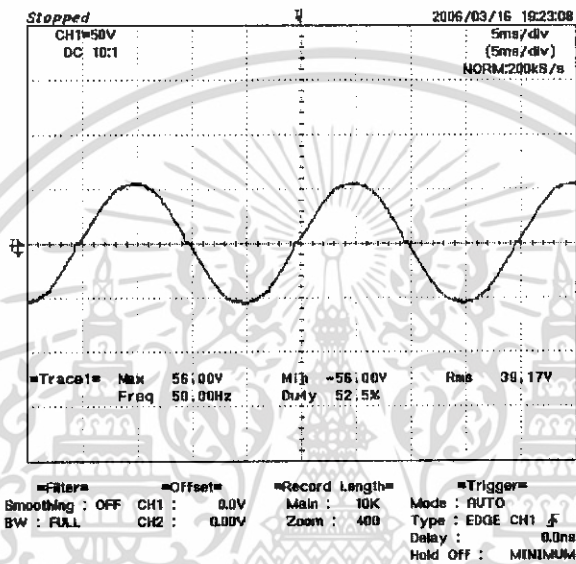
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

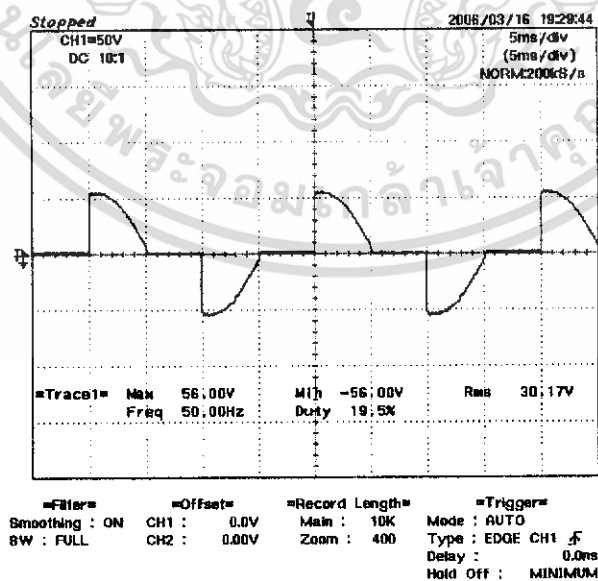
### ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการใช้วงจรควบคุมไครสเตอร์ ไปทำการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดทางไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

#### 4.1 ผลการทดลองควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดชนิดตัวต้านทาน

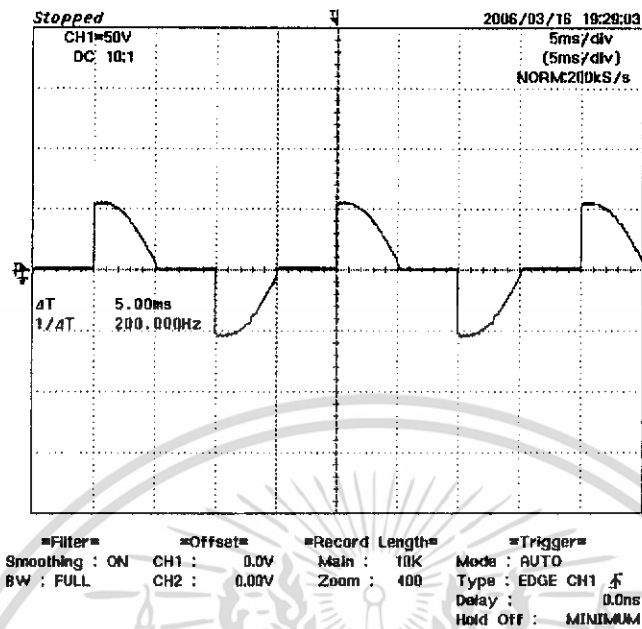


รูปที่ 4.1 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 0 องศา เฟส A

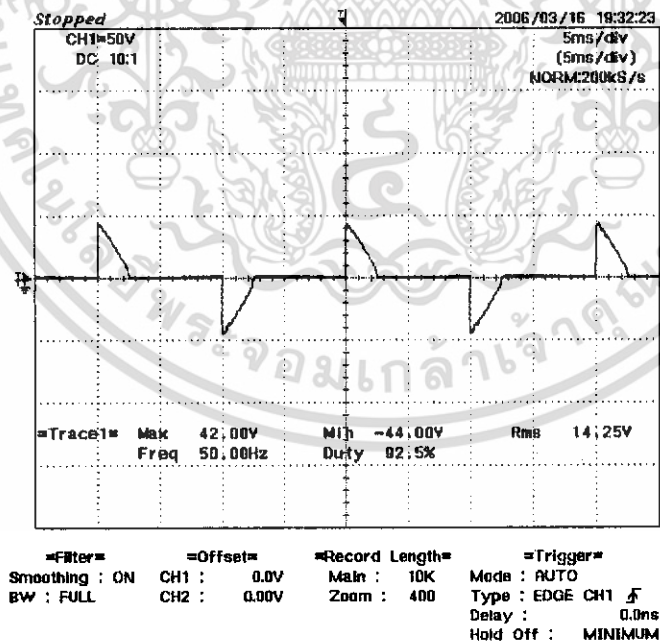


รูปที่ 4.2 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 45 องศา เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

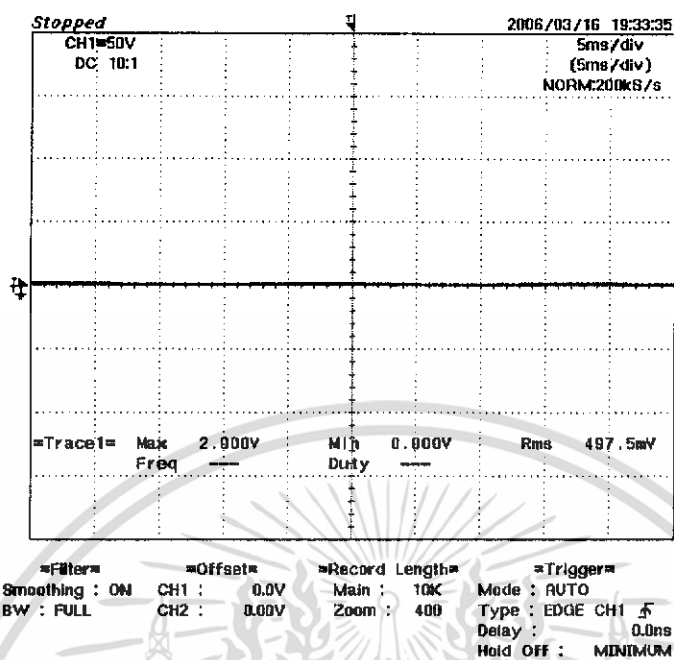


รูปที่ 4.3 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 90 องศา เฟส A



รูปที่ 4.4 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 135 องศา เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ และสัญญาณพัลส์ ที่ 180 องศา เฟส A

ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวต้านทานโดยผ่านการควบคุมจากไครสเตอร์

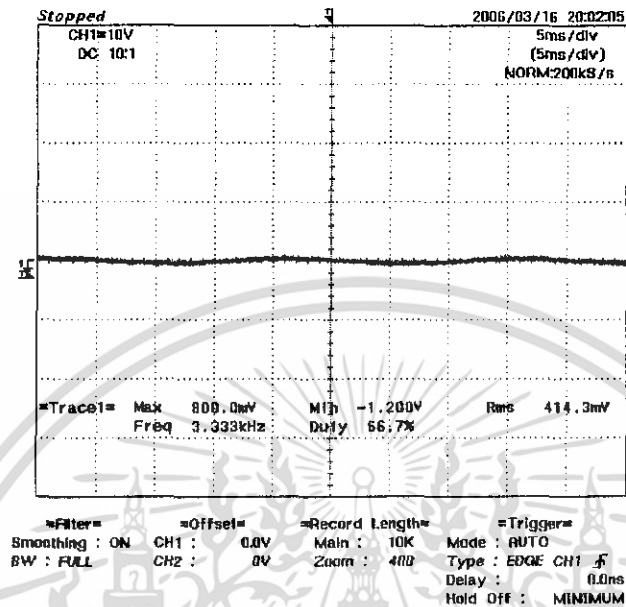
องศาของมุมจุดชนวน	กำลังไฟฟ้าจริง(P) Watt	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ(Q) VAR
0	2985.63	0
45	2253.67	0
90	1502.09	0
135	746.83	0
180	25.45	0

ตารางที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวต้านทานแบบปกติไม่มีการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้า

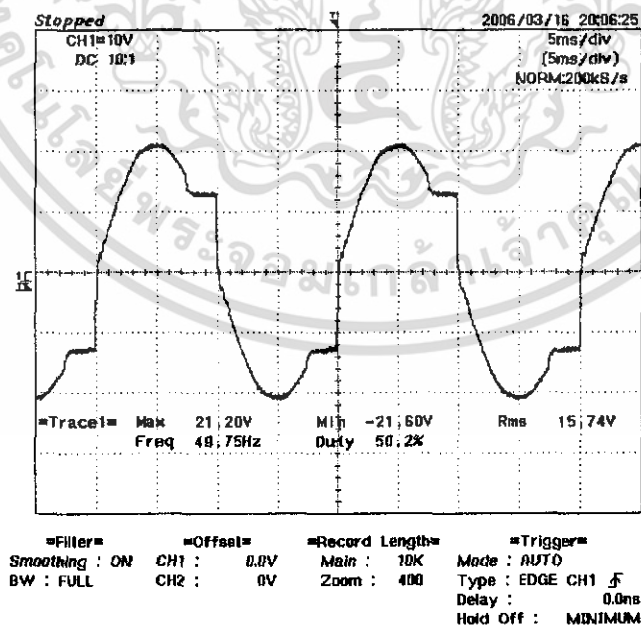
โหลดทางไฟฟ้าชนิดตัวต้านทาน	กำลังไฟฟ้าจริง(P) Watt	กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ(Q) VAR
	2985.63	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ผลการทดลองควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

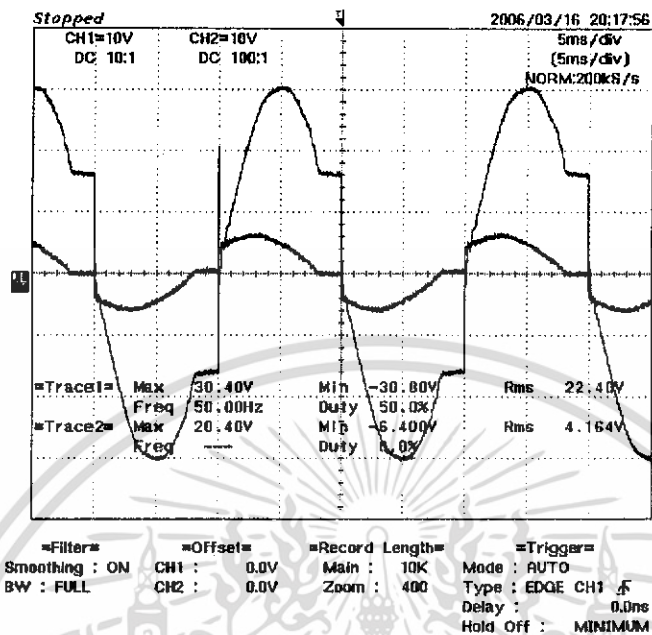


รูปที่ 4.6 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ ที่ 0 องศา เฟส A

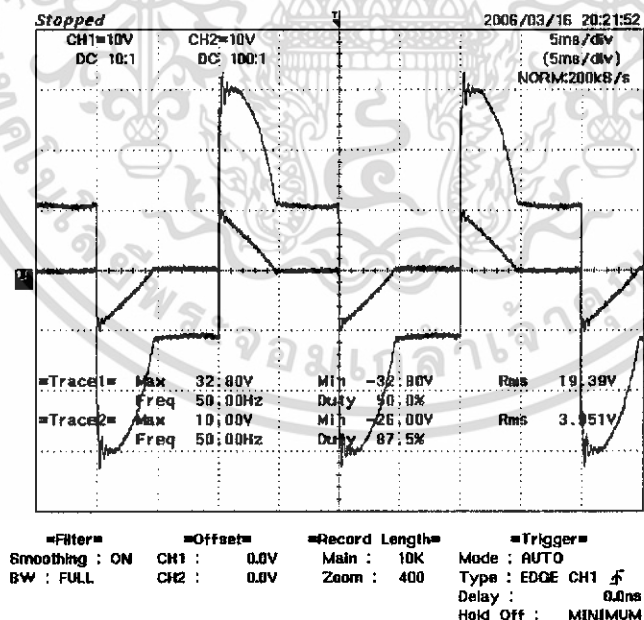


รูปที่ 4.7 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไครสเตอร์ ที่ 45 องศา เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

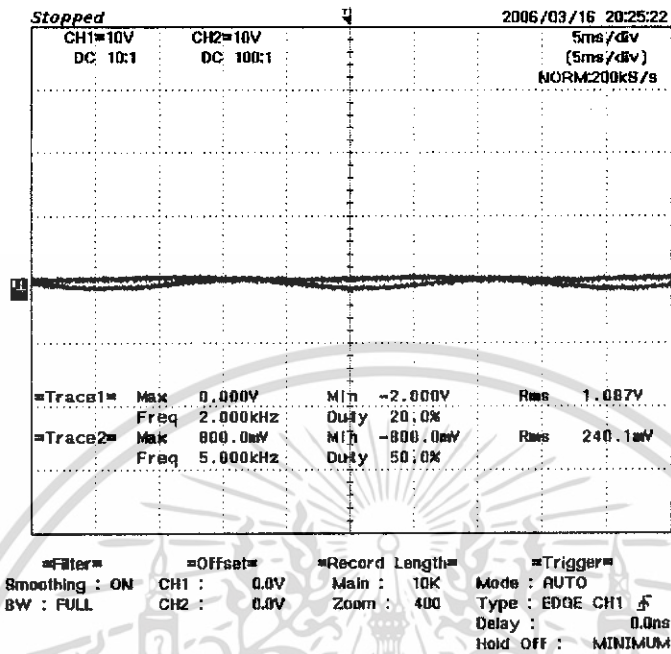


รูปที่ 4.8 รูปแสดงสัญญาณแรงดันและกระแสคร่อมไวริสเตอร์ ที่ 90 องศา เฟส A



รูปที่ 4.9 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไวริสเตอร์ และกระแส ที่ 135 องศา เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 รูปแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมไทรสเตอร์ และกระแส ที่ 180 องศา เฟส A

ตารางที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุโดยผ่านการควบคุมจากไทรสเตอร์

องศาของมุมจุดชนวน	กำลังไฟฟ้าจริง(P) watt	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ(Q) var
0	481.46	2972.61
45	481.46	2972.61
90	123.11	760.09
135	84.74	523.18
180	39.97	246.78

ตารางที่ 4.4 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุแบบปกติไม่มีการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้า

โหลดทางไฟฟ้าชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ	กำลังไฟฟ้าจริง(P) Watt	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ(Q) Var
	481.46	2972.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะจากการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

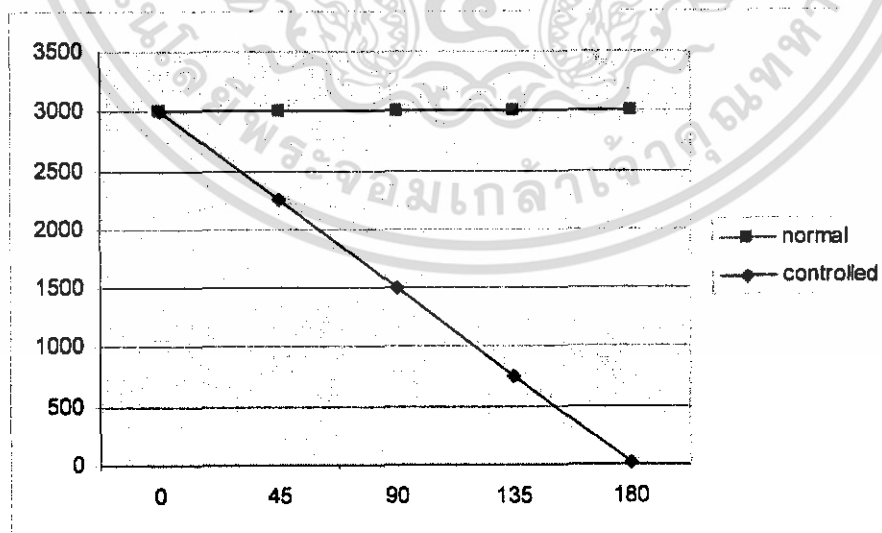
จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อนำวงจรสร้างพัลส์จุดชนวนควบคุมการทำงานของ ไซริสเตอร์ เพื่อควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เข้าสู่โหลด ซึ่งจากการทดลองได้ทำการแบ่งการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลด ออกเป็น 2 ชนิด ตามประเภทของโหลดดังนี้

##### 5.1.1 การควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดชนิดตัวต้านทาน

จากการทดลองพบว่า สามารถควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดตัวต้านทานได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 วัตต์ โดยการปรับมุมจุดชนวน ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา

ที่ มุมจุดชนวนขนาด 0 องศา จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ที่พิกัด 2985 วัตต์ ต่อเฟส ในขณะที่มุมจุดชนวนขนาด 90 องศา จะจ่ายกำลังไฟฟ้า ได้ที่ 50 % ของกำลังไฟฟ้าที่เต็มพิกัด 2985 วัตต์ และเมื่อ มุมจุดชนวนควบคุมไซริสเตอร์มีขนาด 180 องศา จะเป็นช่วงการทำงานที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ได้ต่ำที่สุด คือ 25.45 วัตต์

เมื่อ พิจารณารูปกราฟ พบว่า ในขณะที่ ไซริสเตอร์ หยุดนำกระแส จะยังคงมีปริมาณกำลังไฟฟ้าปริมาณต่ำผ่านอยู่ ทำให้ได้รูปคลื่นมีความโค้ง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจาก กระแสไหลตรง และที่ มุมจุดชนวนขนาด 180 องศา ซึ่งจะเป็นช่วงที่ไซริสเตอร์ไม่นำกระแส แต่กลับมีปริมาณกำลังไฟฟ้า 25.45 วัตต์ ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากกระแสแลตซิง ของไซริสเตอร์



รูปที่ 5.1 รูปแสดงกำลังไฟฟ้าที่ผ่านชุดควบคุมเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ไม่ผ่านชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 การควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

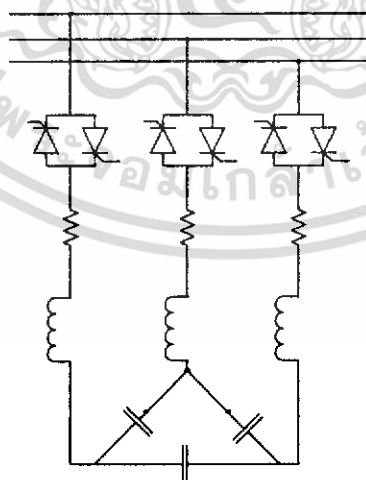
#### ประจ

จากการทดลองนำวงจรควบคุมที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้น มาเพื่อทำการขับ โหลดที่เป็นชนิดตัวเหนี่ยวนำ(ขนาด 30 mH) และตัวเก็บประจุ(ขนาด 6.3 uF) จากการทดลอง พบว่าไม่สามารถทำการควบคุมปริมาณใดๆ ได้เลย ทั้งแรงดัน ดังนั้นจึงส่งผลให้ ไม่สามารถ ควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ด้วยเช่นกัน

เมื่อทำการต่อความต้านทานขนาด 48.4  $\Omega$  อนุกรมเข้าไปกับตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บ ประจุ ดังรูปที่ 5.2 พบว่าสามารถควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ได้ นั่นคือ สามารถควบคุม ปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ แต่เมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นที่ได้บันทึกไว้ จะเห็นได้ว่าขนาดของตัวเก็บ ประจุและค่าของตัวเหนี่ยวนำมีความสำคัญมากเช่นกัน ดังในการทดลองนี้ จะเห็นว่า ค่าของตัว เก็บประจุมีค่าน้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถควบคุมกำลังงานได้ตลอดช่วงเวลาการ คายประจุ ไฟฟ้า

จากรูปที่ได้ทำการบันทึก พิจารณาในช่วงที่มุมจุดชนวนมีค่า 0 ถึง 45 องศา จะไม่ สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้ เนื่องจากโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำทำการเหนี่ยวนำกระแส และ เป็นผลจากค่าของตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยเกินไป แต่ในช่วงที่มุมจุดชนวนมีค่าเป็น 90 ถึง 180 องศา พบว่าสามารถควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ โดยสามารถสังเกตได้จาก ค่าของ แรงดันไฟฟ้า Rms ของแรงดันคร่อมไทรสเตอร์ในรูป

เหตุผลของการใส่โหลดชนิดตัวต้านทานเพิ่มเข้าไปก็เพราะ โหลดทางไฟฟ้าชนิดตัว เหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ เมื่อนำมาต่อรวมกันจะทำให้เกิดการหักล้างกลายเป็นศูนย์ ส่งผลให้ กระแสไฟฟ้า ไม่สามารถไหลผ่านได้ จึงต้องมีการเพิ่มตัวต้านทานอนุกรมเข้าไป เพื่อช่วยให้ กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้นั่นเอง



รูปที่ 5.2 รูปแสดงตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟที่สามารถควบคุมได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำการทดลองในครั้งนี้สามารถแยกออกได้เป็น ข้อเสนอแนะสำหรับด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจทำการทดลอง

ผู้ทำการทดลองควรเตรียมตัวศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นอย่างดี เพื่อจะได้สามารถวิเคราะห์การทำงานของวงจรได้อย่างถูกต้อง

### 5.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำการทดลองต่อไป

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงและพัฒนา ในส่วนของวงจรควบคุมสัญญาณสร้างพัลส์จูดชนวนไทรสเตอร์ ยังสามารถทำการพัฒนาต่อไปได้อีก อาจเป็นการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาช่วยในการทำงานของวงจร ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้วงจรควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์มีความน่าเชื่อถือได้ในการทำงานมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการใช้ microcontroller เข้ามาช่วยเสริมการทำงานของวงจรรวม TCA785 ให้สามารถทำงานได้อย่างดียิ่งขึ้น มีความเที่ยงตรงมากขึ้น หรืออาจเป็นการใช้เทคนิคการป้องกันสัญญาณเพื่อช่วยให้วงจรควบคุมพัลส์จูดชนวน สามารถให้สัญญาณขาออกที่มีความเกี่ยวข้องกับที่โหลดทางไฟฟ้าต้องการ ซึ่งจะช่วยให้สัญญาณที่ได้มีความละเอียด เที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำวงจรพัลส์จูดชนวนไปใช้

ส่วนของวงจรสร้างสัญญาณควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าโดยการใช้ไทรสเตอร์นั้น หลักการทำงานของวงจรพบว่านอกจากสามารถใช้ควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าให้เป็นไปตามที่ต้องการแล้วนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานประเภทอื่นได้อีก ที่เป็นไปได้อย่างชัดเจนคือสามารถนำไปใช้ควบคุมการทำงานของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น จำพวกมอเตอร์ได้ ทั้งนี้เนื่องจาก การควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นการปรับเพิ่ม-ลด แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการ เพื่อควบคุมความเร็วการทำงานของมอเตอร์

### 5.2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจการทำงานของวงจรรวม TCA785

เนื่องจากวงจรรวมเบอร์ TCA785 เป็นวงจรรวมที่สามารถใช้งานได้ง่ายและสามารถควบคุมมุมจูดชนวนได้ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา แต่การใช้งาน อาจเกิดปัญหาหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างวงจรที่ไม่สามารถทำงานได้จริง หรือ อาจเป็นปัญหาจาก อุปกรณ์ที่ใช้เป็นต้นแบบเก่า ทำให้บางครั้งไม่สามารถ หาอุปกรณ์มาทดแทนได้

เพื่อให้สะดวกต่อการศึกษา อาจใช้วงจรที่ออกแบบขึ้นในโครงงานนี้ ทำการศึกษาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการปรับปรุงความหนาเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิกเกี่ยวไฟฟ้าประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรม , PRC-PQG-01/1998
- [2] สุกกิจ นิ้วเจริญ อัครเดช พรหมชน และ อาทิตย์ พัฒนพงศ์ชัย,"การศึกษาและออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟ," ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [3] ปานทอง ถินสถิตย์,"การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสำหรับระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2541.
- [4] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน,"อิเล็กทรอนิกส์กำลัง," พิมพ์ครั้งที่ 1 , สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วน จำกัด วี เจ พรินติ้ง ,กรุงเทพฯ ,2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

ข้อมูลคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง เรื่อง การปรับปรุงตัวชดเชยกำลัง  
ไฟฟ้าร์แอกทีฟ

IC TCA-785

# SIEMENS

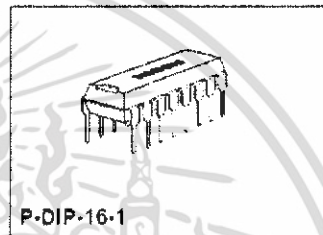
Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

### Features

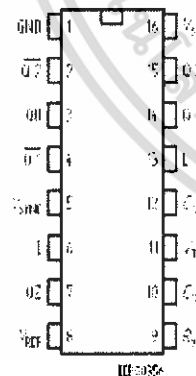
- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0° and 180°. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.



Pin Configuration  
(top view)

### Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	Q2	Output 2 inverted
3	Q U	Output U
4	Q2	Output 1 inverted
5	V <sub>sync</sub>	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q Z	Output Z
8	V <sub>REF</sub>	Stabilized voltage
9	R <sub>r</sub>	Ramp resistance
10	C <sub>r</sub>	Ramp capacitance
11	V <sub>in</sub>	Control voltage
12	C <sub>te</sub>	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V <sub>s</sub>	Supply voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	$V_S$	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	$I_O$	- 10	400	mA
Inhibit voltage	$V_I$	- 0.5	$V_S$	V
Control voltage	$V_{11}$	- 0.5	$V_S$	V
Voltage short-pulse circuit	$V_{15}$	- 0.5	$V_S$	V
Synchronization input current	$I_{5s}$	- 200	$\pm 200$	$\mu$ A
Output voltage at pin 14, 15	$V_{O14}$		$V_S$	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	$I_O$		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	$V_O$		$V_S$	V
Junction temperature	$T_j$		150	$^{\circ}$ C
Storage temperature	$T_{stg}$	- 55	125	$^{\circ}$ C
Thermal resistance system - air	$R_{th(sa)}$		80	K/W

## Operating Range

Supply voltage	$V_S$	8	18	V
Operating frequency	$f$	10	500	Hz
Ambient temperature	$T_a$	- 25	85	$^{\circ}$ C

## Characteristics

 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 85 \text{ }^{\circ}\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$ 

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{12} = 47 \text{ nF}; R_{12} = 100 \text{ k}\Omega$	$I_S$	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current	$I_{5sync}$	30		200	$\mu$ A	1
Offset voltage	$\Delta V_S$		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	$V_{11}$	0.2		$V_{11,open}$	V	1
Input resistance	$R_{11}$		15		$\text{k}\Omega$	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

## Characteristics (cont'd)

 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$ 

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	$I_{IC}$	10		1000	$\mu\text{A}$	
Max. ramp voltage	$V_{IC}$			$V_S - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	$V_{IC}$	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	$R_{IC}$	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	$t_r$		80		$\mu\text{s}$	1
Inhibit pin 6 switch-over of pin 7						
Outputs disabled	$V_{EH}$		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	$V_{EH}$	4	3.3		V	1
Signal transition time	$t_r$	1		5	$\mu\text{s}$	1
Input current	$I_{IH}$		500	800	$\mu\text{A}$	1
$V_S = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{IL}$	80	150	200	$\mu\text{A}$	1
$V_S = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of $I_{IC}$	$I_{IC}$	-5		5	%	1
$R_a = \text{const.}$ $V_S = 12 \text{ V}; C_{IC} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of $I_{IC}$	$I_{IC}$	-20		20	%	1
$R_a = \text{const.}$ $V_S = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_S = \text{const.}$	$\Delta V_{IC \text{ max}}$		$\pm 1$		%	
Long pulse switch-over pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	$V_{OH}$	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	$V_{OH}$		2.5	2	V	1
Input current	$I_{IH}$			10	$\mu\text{A}$	1
$V_S = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{IL}$	45	65	100	$\mu\text{A}$	1
$V_S = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	$I_{CEO}$			10	$\mu\text{A}$	2.6
$V_S = V_S$						
Saturation voltage	$V_{sat}$	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_S = 2 \text{ mA}$						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Characteristics (cont'd)

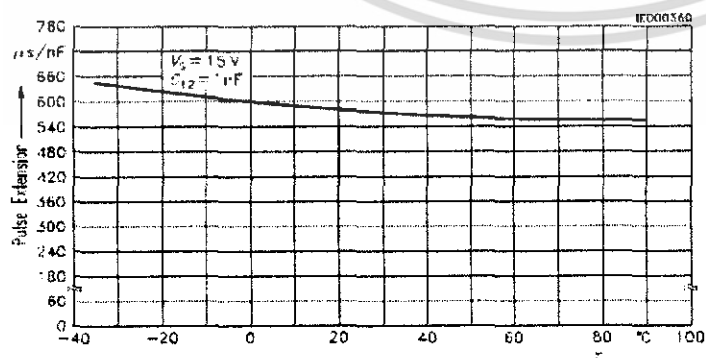
 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$ 

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage $-I_O = 250 \text{ mA}$	$V_{14H5-}$	$V_S - 3$	$V_S - 2.5$	$V_S - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_O = 2 \text{ mA}$	$V_{14H5L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	$t_s$	20	30	40	$\mu\text{s}$	1
Pulse width (short pulse) with $C_{12}$	$t_s$	530	620	760	$\mu\text{s};$ nF	1
Internal voltage control Reference voltage	$V_{REF}$	2.8	3.1	3.4	V	1
Parallel connection of 10 ICs possible TC of reference voltage	$K_{REF}$		$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	1/K	1

## Application Hints for External Components

Ramp capacitance	$C_{12} = 500 \text{ pF}$	min	max	The minimum and maximum values of $t_s$ are to be observed
Triggering point	$V_{tr} = \frac{V_{REF} \times R_3 \times C_{12}}{V_{REF} \times K}$			
Charge current	$I_{C2} = \frac{V_{REF} \times K}{R_3}$			
				Ramp voltage $V_{14H5L} = V_S - 2 \text{ V}$
				$V_{14H5} = \frac{V_{REF} \times K \times C_{12}}{R_3 \times C_{12}}$

## Pulse Extension versus Temperature

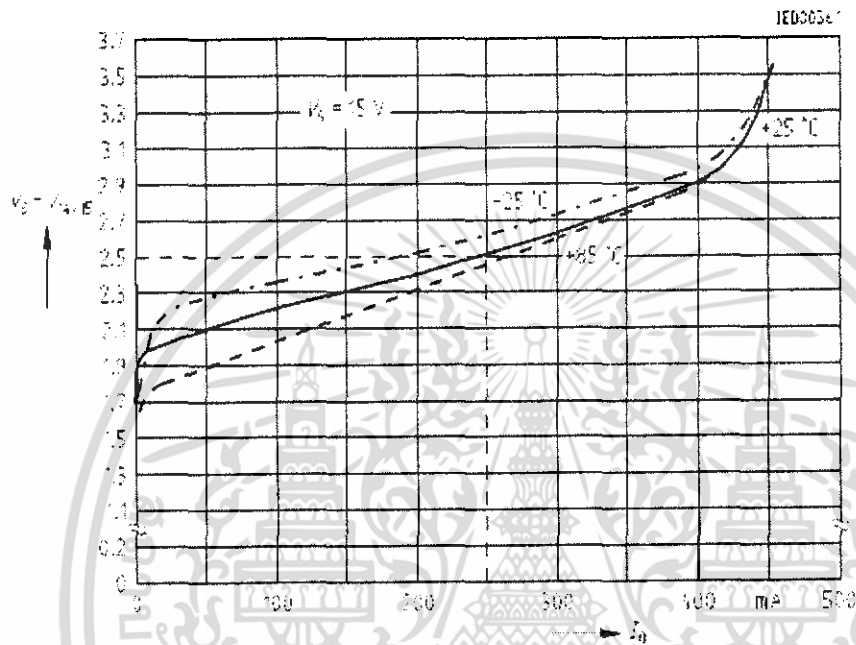


Attention to flyback times  
 $K = 1.10 \pm 20\%$

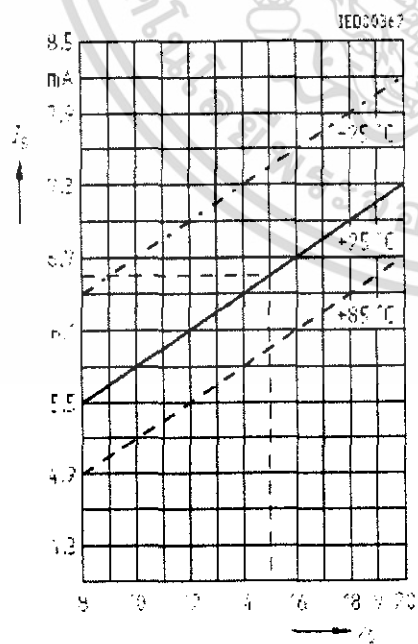
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

Output Voltage measured to +  $V_o$ 

Supply Current versus Supply Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC TLP250

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Inec & Photo-IC

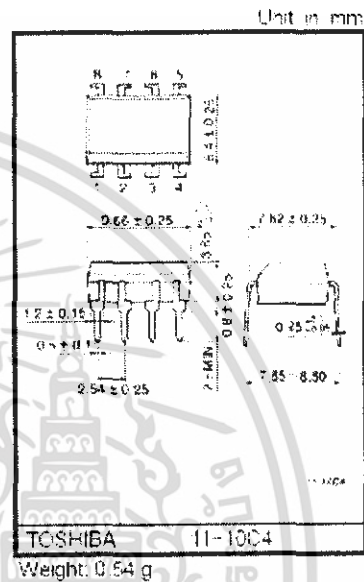
# TLP250

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

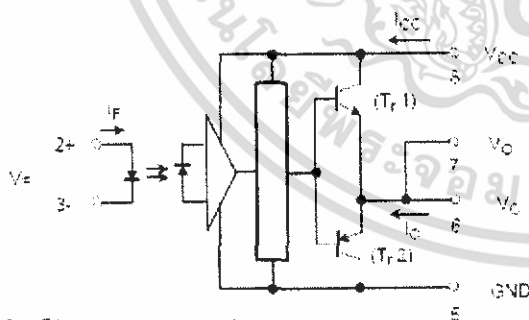
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
This unit is 8-lead DIP package.  
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current  $I_{FT} = 5\text{mA (max.)}$
- Supply current  $(I_{CC}) = 11\text{mA (max.)}$
- Supply voltage  $(V_{CC}) = 10\text{--}35\text{V}$
- Output current  $(I_O) = 1.5\text{A (max.)}$
- Switching time  $(t_{pLH}/t_{pHL}) = 1.5\mu\text{s (max.)}$
- Isolation voltage:  $2500\text{Vrms/min.}$
- UL recognized: UL1577, file No. E67349
- Option 'D4' type  
VDE approved: DIN VDE0884/08.92, certificate No. 76823  
Maximum operating insulation voltage:  $630\text{VPK}$   
Highest permissible over voltage:  $4000\text{VPK}$

- (Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"
- Creepage distance:  $3.4\text{mm (min.)}$
  - Clearance:  $3.4\text{mm (min.)}$

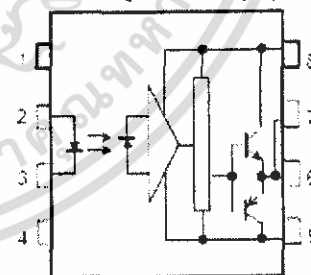


### Schematic



A 0.1μF bypass capacitor 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:  $V_c$  (Output)
- 7:  $V_o$
- 8:  $V_{cc}$

### Truth Table

	$T_1$	$T_2$
Input LED	On	Off
	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LLD	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating ( $T_a \geq 70^\circ\text{C}$ )	$\Delta I = I / \Delta T_a$	-0.36	mA/ $^\circ\text{C}$	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FFT}$	-	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_j$	125	$^\circ\text{C}$	
Detector	"H" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu\text{s}, f \leq 15\text{kHz}$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu\text{s}, f \leq 15\text{kHz}$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	( $T_a \leq 70^\circ\text{C}$ )	$V_O$	36	V
		( $T_a = 85^\circ\text{C}$ )		24	
	Supply voltage	( $T_a \leq 70^\circ\text{C}$ )	$V_{CC}$	36	V
		( $T_a = 85^\circ\text{C}$ )		24	
	Output voltage derating ( $T_a \geq 70^\circ\text{C}$ )	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V/ $^\circ\text{C}$	
	Supply voltage derating ( $T_a \geq 70^\circ\text{C}$ )	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V/ $^\circ\text{C}$	
	Junction temperature	$T_j$	125	$^\circ\text{C}$	
Operating frequency (Note 3)	$f$	25	kHz		
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20~85	$^\circ\text{C}$		
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125	$^\circ\text{C}$		
Lead soldering temperature (10 s)	$T_{sol}$	260	$^\circ\text{C}$		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. 60%) (Note 4)	$BV_S$	2500	Vrms		

(Note 1) Pulse width  $P_W \leq 1\mu\text{s}$ , 300pps

(Note 2) Exponential waveform

(Note 3) Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0\text{A} (\leq 2.5\mu\text{s})$ ,  $I_{OPL} \leq +1.0\text{A} (\leq 2.5\mu\text{s})$

(Note 4) Device considered 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(0.1 $\mu\text{F}$ ) 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 property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

### Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on	$I_{IPON}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{I,OFF}$	0	—	0.6	V
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30   20	V
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	$\pm 0.5$	A
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70   85	$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.6	1.6	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> /ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV/°C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C	—	—	10	μA
Input capacitance		C <sub>I</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OH</sub>	3	V <sub>CC1</sub> = 30V (T1) I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>EE</sub> = -4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I <sub>OL</sub>	2		I <sub>F</sub> = 0 V <sub>EE</sub> = -2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE</sub> = -18V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE</sub> = -18V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>I</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	10	
	"L" level	I <sub>COL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>IH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE</sub> = -18V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
	"Output H→L"	I <sub>IL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE</sub> = -18V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 800V, Ta = 25°C R, H ≤ 65%	1 · 10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (†) Duration of t<sub>p</sub> time ≤ 50μs

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

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t <sub>PLH</sub>	6	I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE</sub> = -18V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t <sub>PHL</sub>			—	0.15	0.5	
Output rise time		τ <sub>r</sub>	—	—	—	—	—	—
Output fall time		τ <sub>f</sub>	—	—	—	—	—	—
Common mode transient immunity at high level output		CMH	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V/μs
Common mode transient immunity at low level output		CML	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V/μs

\* All typical values are at Ta = 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้