



ปีการศึกษา 2539

การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วยวิธี Phase Control  
CONTROL OF 3 PHASE INDUCTION MOTOR  
BY PHASE CONTROL METHOD



โดย

นายทิมมพร กิรติยุทธวงศ์

นายนรินทร์ ตระกูลจินดารัตน์

นายนเรศ หิรัญกุล

นายพิชัย มาตีสุขสถิตย์

30 ก.ย. 2541  
วัน เดือน ปี.....  
เลขทะเบียน..... 038215  
เลขเรียกหนังสือ..... 139935 ทบ 19 ก.

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สมชาติ จิรวินภัทร

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วยวิธี Phase Control

ผู้จัดทำ

1. นายทิมมพร กิริติยทวงศ์
2. นายนรินทร์ ตระกูลจินดารัตน์
3. นายนเรศ หิรัญกุล
4. นายพิชัย มาดีสุขสถิตย์

สมชาติ จิรวินาคร อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สมชาติ จิรวินาคร)

## การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสด้วยวิธี Phase Control

นายฉิมมพร กิริติยุทธวงศ์

นายนรินทร์ ตระกูลจินดารัตน์

นายนเรศ หิรัญกุล

นายพิชัย มาดีสุขสถิตย์

อ.สมชาติ จิรวินาคร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

### บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันการทำงานของมอเตอร์ที่จุดทำงานต่างๆ ค่าของพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีความสัมพันธ์กับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ กล่าวคือ ในขณะที่มอเตอร์โนโหลด หรือ โหลดจะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ค่อนข้างต่ำ ทำให้พลังงานที่จ่ายให้แก่มอเตอร์นั้นก็ลดลง เมื่อเทียบกับพลังงานที่จ่ายขณะพูล โหลดทำให้มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ จึงต้องมีการใช้เครื่องมือในการควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อว่าในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำอยู่ในสภาวะโนโหลด หรือ โหลด โหลด จะได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ดีขึ้น เครื่องมือที่ใช้เป็นการสร้างสัญญาณ ไปทริกเอสซีอาร์ที่มุมที่เหมาะสมกับการใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะนั้นๆ

**CONTROL OF 3 PHASE INDUCTION MOTOR**  
**BY PHASE CONTROL METHOD**

Tikamporn Keeratiyuttawong

Narin Tragunejindarat

Narate Hirunkul

Pichai Madeesuksathit

Somchat Jiriwibhakorn Advisor

1996.

**ABSTRACT**

Now, the motor working at the operate point, the value of energy that give to the motor are vary to the power factor value. That is motor in the no load or light load that will have little power factor value. That will make to the energy that give to the motor are decrease compair with energy that give to the motor at full load. From this, it will have some lost energy. So that, we will use a tool to control the power factor value of induction motor for the better power factor value when induction motor is no load or light load. The tool use a signal builded to trig thyristor at a good angle for induction motor working at that moment.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำและเอสซีอาร์	3
2.1 คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์	15
2.2.1 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเอสซีอาร์	15
2.2.2 ลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์	16
2.2.3 ข้อจำกัดของเอสซีอาร์	18
2.2.4 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการใช้งานเอสซีอาร์	19
2.2.5 การใช้งานเอสซีอาร์	20
2.2.6 วิธีการทำให้เอสซีอาร์นำกระแส	22
2.2.7 วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส	22
บทที่ 3 หลักการทำงานของอุปกรณ์	24
3.1 วงจรเปรียบเทียบ	24
3.2 วงจรขมิตต์ทริกเกอร์	24
3.3 วงจรขยายกลับขั้ว	25
3.4 วงจรขยายไม่กลับขั้ว	26
3.5 วงจรบวก	26
3.6 วงจรอินทิเกรเตอร์	28
3.7 วงจรดีฟเฟอเรนเชียล	29
3.8 หลักการทำงาน	30

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	41
4.1 เงื่อนไขในการทดสอบ	42
4.2 ผลการทดสอบ	43
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	51
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

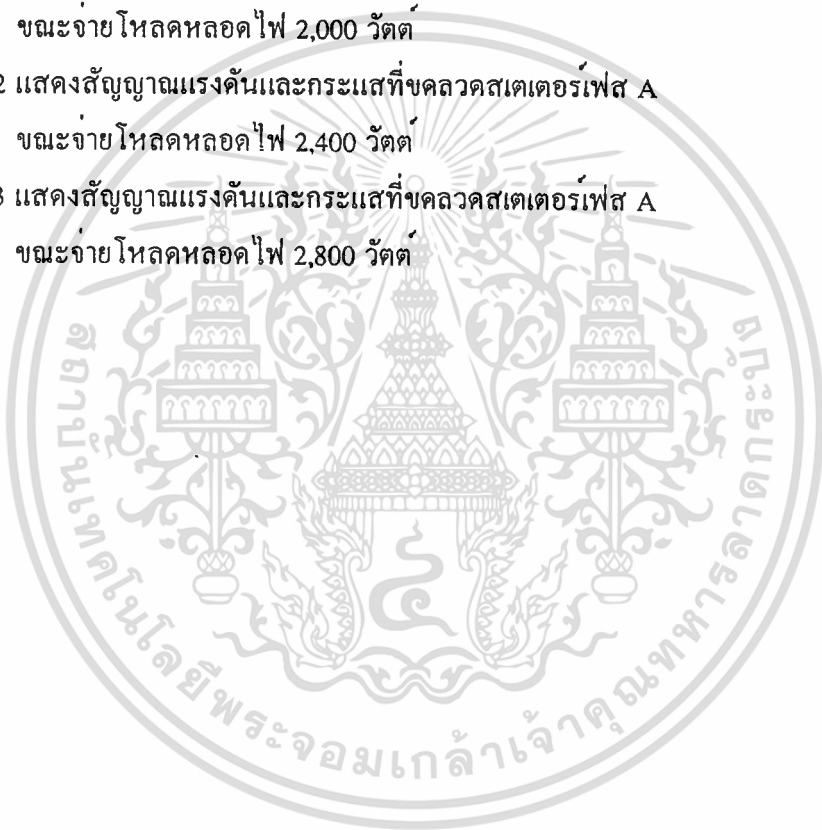


## สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์ประกอบด้วย $R_2$ และ $sX_2$	6
รูป 2.2 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์ประกอบด้วย $R_2/s$ และ $X_2$	6
รูป 2.3 แสดงวงจรสมมูลย์ของโรเตอร์ เมื่อโหลดทางกลเขียนแทนด้วย $R_L = R_2(1-s) / s$	6
รูป 2.4 แสดงการสูญเสียและกำลังในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	8
รูป 2.5 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิบ เมื่อมีค่า ความต้านทานของโรเตอร์ต่างๆ กัน	12
รูป 2.6 แสดงรูปของแรงบิดและสลิบของมอเตอร์และการเปลี่ยนแปลง ของแรงบิดและกระแสโรเตอร์ เทียบกับความเร็วโรเตอร์ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอก	13
รูป 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิบเมื่อแรงดันที่จ่ายให้ กับมอเตอร์เปลี่ยนแปลง	14
รูป 2.8 แสดงโครงสร้างของเอสซีอาร์และสัญลักษณ์	16
รูป 2.9 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์เมื่อยังไม่มีกรทรกด้วย กระแสเกท	17
รูป 2.10 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ขณะที่มีการทรกเกิดขึ้น	17
รูป 2.11 แสดงวงจรใช้งานเอสซีอาร์และไครแอค	19
รูป 2.12 แสดงวงจรการควบคุมกำลังไฟฟ้าสลิบ	20
รูป 2.13 แสดงการใช้เอสซีอาร์ควบคุมกำลังไฟที่ป้อนให้โหลด	21
รูป 2.14 แสดงวงจรจุดชนวนเกท	22
รูป 3.1 แสดงวงจรเปรียบเทียบ	24
รูป 3.2 แสดงวงจรขมิตต์ทริกเกอร์	25
รูป 3.3 แสดงวงจรขยายกลับขั้ว	26
รูป 3.4 แสดงวงจรขยายไม่กลับขั้ว	26
รูป 3.5 แสดงวงจรวก	27
รูป 3.6 แสดงวงจรสมมูลย์ของวงจรวก	27
รูป 3.7 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรสมมูลย์	28
รูป 3.8 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีการลัดวงจรที่ตัวเก็บประจุ	28

	หน้า
รูป 3.9 แสดงวงจรดิฟเฟอเรนเชียล	29
รูป 3.10 แสดงวงจรสมมูลของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล	29
รูป 3.11 แสดงการเกิดสัญญาณทริกเอสซีอาร์	30
รูป 3.12 กราฟแสดงมุดตกของกระแส	31
รูป 3.13 แสดงสัญญาณกระแสเมื่อผ่านวงจรเปรียบเทียบ	31
รูป 3.14 แสดงสัญญาณแรงดันเมื่อผ่านวงจรมิดด์ทริกเกอร์	32
รูป 3.15 แสดงการบวกกันของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส	32
รูป 3.16 แสดงการต่อวงจรบวกและวงจรมิดด์ทริกเกอร์	33
รูป 3.17 กราฟแสดงผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมของกระแสและแรงดัน ขณะแรงดันเพิ่มได้พัลส์ลบ	33
รูป 3.18 กราฟแสดงผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมของกระแสและแรงดัน ขณะแรงดันลดได้พัลส์บวก	34
รูป 3.19 แสดงวงจรสร้างแรงดันกระแสตรง	36
รูป 3.20 แสดงวงจรสร้างสัญญาณแรมพ์	37
รูป 3.21 แสดงวงจรที่ใช้ทริกเอสซีอาร์	38
รูป 3.22 กราฟแสดงพัลส์ที่ใช้ทริกเอสซีอาร์ รูปล่างคือพัลส์ที่เพิ่มความถี่	38
รูป 3.23 แสดงวงจรโมโนสเตเบิลสำหรับจ่ายให้เฟสทั้งสาม พร้อมกับ วงจรถัดเปิดเพิ่มความถี่ และวงจรแยกกราวนด์	39
รูป 3.24 แสดงการต่อเอสซีอาร์ทั้งสามเฟส และวงจรถักเอสซีอาร์	40
รูป 4.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบ	41
รูป 4.2 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ	41
รูป 4.3 แสดงการต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำในการทดสอบ	42
รูป 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสเมื่อใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ ในการทดสอบ	46
รูป 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะโนโหลด	46
รูป 4.6 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 0 วัตต์	47
รูป 4.7 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 400 วัตต์	47

	หน้า
รูป 4.8 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 800 วัตต์	48
รูป 4.9 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 1,200 วัตต์	48
รูป 4.10 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 1,600 วัตต์	49
รูป 4.11 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 2,000 วัตต์	49
รูป 4.12 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 2,400 วัตต์	50
รูป 4.13 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส A ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 2,800 วัตต์	50



## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้มอเตอร์ (Motor) เป็นอุปกรณ์หลักในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ และส่วนใหญ่มอเตอร์ที่ใช้จะเป็นพวกมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ซึ่งในการนำไปใช้จะเกิดสภาวะอยู่ 2 สภาวะ คือ

1. ฟูลโหลด (Full Load)
2. โนโหลด (No Load) หรือ ไลท์โหลด (Light Load)

การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพที่สุด ก็คือ การควบคุมพลังงานที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ให้มีปริมาณพอเหมาะกับสภาวะการทำงานจริงๆ ของมอเตอร์ กล่าวคือ เราจะพิจารณาจากค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor )

สำหรับมอเตอร์ 3 เฟส

$$P = \sqrt{3}V_L I_L \cos\theta$$

P คือ กำลังไฟฟ้า

$V_L$  คือ แรงดันไลน์ (Line Voltage)

$I_L$  คือ กระแสไลน์ (Line Current)

$\cos \theta$  คือ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

ในสภาวะฟูลโหลดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะมีค่าใกล้ 1 มาก และในสภาวะโนโหลดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะมีค่าใกล้ 0 มาก ซึ่งค่า  $\theta$  จะเป็นมุมที่แรงดัน (Voltage) และกระแส (Current) ของมอเตอร์ที่เกิดการลีด (Lead) และแลค (Lag) นั่นเอง ฉะนั้นเราสามารถนำเอาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์นี้มาควบคุมมอเตอร์ ซึ่งจะสามารถควบคุมให้มอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพในสภาวะฟูลโหลดและในสภาวะโนโหลด เราจะทำให้ลดการใช้พลังงานลงไป โดยการลดแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ จะเห็นว่าในสภาวะโนโหลดนั้น เราจะสูญเสียพลังงานไปโดยไร้ประโยชน์ เพื่อที่จะลดพลังงานที่สูญเสียไปนี้ ให้มีค่าน้อยที่สุดจะกระทำโดยมอนิเตอร์ (Monitor) ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ ถ้าในกรณีที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าใกล้ 1 ก็แสดงว่ามอเตอร์อยู่ในสภาวะฟูลโหลด จึงจำเป็นต้องให้มอเตอร์ทำงานเต็มที่ แต่ถ้าในกรณีที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าใกล้ 0 ก็แสดงว่ามอเตอร์อยู่ในสภาวะโนโหลด เราจำเป็นต้องลดค่าแรงดันไลน์ที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ลง

ทำให้กระแสที่มอเตอร์ใช้ลดลงทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วยทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าไปได้มากในสภาวะโนโหลด

ในการสร้างอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้พัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมีอุปกรณ์ในการเซต (Set) มุมทริกของเอสซีอาร์ (SCR) เพื่อจุดชนวนให้เอสซีอาร์ ทำงานที่จุดใหม่ ซึ่งตรงจุดนี้จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสูงขึ้น โดยที่แรงดันที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น กล่าวคือ ในสภาวะโนโหลด หรือ โหลดน้อย แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะน้อยกว่าแรงดันที่พิกัด และเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ก็จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานไปด้วยนั่นเอง



## บทที่ 2

### คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำและเอสซีอาร์

#### 2.1 คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

##### 2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีส่วนประกอบเบื้องต้นเหมือนกัน คือ ประกอบด้วย ส่วนที่อยู่กับที่ ส่วนที่หมุน และฝาครอบ ส่วนที่อยู่กับที่เรียกกันทั่วไปว่า สเตเตอร์ (Stator) สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีหลักการและโครงสร้างเหมือนสเตเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัส ส่วนที่หมุนมักเรียกกันว่าโรเตอร์ (Rotor) โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. แบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นลามิเนต (Laminated Sheet Steel) เซาะผิวด้านนอกให้เป็นร่องโดยรอบเรียกว่า สล็อต (Slot) ตรงกลางแผ่นเจาะรูสำหรับสอดเฟลา เมื่อนำแผ่นลามิเนตเหล่านี้มาอัดเข้าด้วยกันจะได้แกนโรเตอร์ เมื่อนำแกนโรเตอร์เข้าไปวางในแบบพิมพ์ (Mold) แล้วฉีดอลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องสล็อตและมีครีบนูนออกไปทั้งสองข้างเพื่อใช้เป็นใบพัดระบายความร้อน

2. แบบโรเตอร์พันขดลวด หรือ แบบขดลวดโรเตอร์ (Wound Rotor) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นลามิเนตขี้เป็นร่องสล็อต แล้วนำมาอัดติดกันเป็นรูปทรงกระบอกมีขดลวดทองแดงอบน้ำยาฉนวนไฟฟ้าจำนวน 3 ชุด (3 เฟส) พันอยู่ในร่องสล็อต โดยขดลวดแต่ละเฟสจะพันเรียงห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า และต้องพันให้เกิดจำนวนขั้วแม่เหล็กเท่ากับจำนวนแม่เหล็กบนสเตเตอร์ ปลายสายของขดลวดทั้งสามเฟสจะต่อรวมกันเป็นแบบสตาร์ ปลายสายที่เหลือจะต่อเข้ากับสลีปริง (Slip Ring) 3 อัน ซึ่งมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่ และมีสายค่อจากแปรงถ่านออกไปภายนอกเพื่อต่อเข้ากับความต้านทานที่ปรับค่าได้เพื่อใช้ในการเริ่มเดินและปรับแต่งความเร็ว

##### 2.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

1. แบบโรเตอร์กรงกระรอก เมื่อป้อนไฟฟ้าสามเฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ และเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์จะดึงดูดให้สนามแม่เหล็กจากโรเตอร์หมุนตามไปด้วย คือ ทำให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์นี้จะมีค่าต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ

ถ้าหากโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัส จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวนำที่โรเตอร์ จะไม่มีกระแสไหล และไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นบนโรเตอร์ด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วของโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส

2. แบบโรเตอร์พันขดลวดหรือวาวด์โรเตอร์ เมื่อป้อนไฟฟ้าสามเฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มเดินและปรับแต่งความเร็ว ขณะเริ่มเดินต้องปรับค่าความต้านทานภายนอก (ความต้านทานที่ปรับค่าได้ 3 ตัวต่อแบบสตาร์) ไว้ในตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานสูงสุดจะมีผลทำให้แรงบิดเริ่มหมุนเพิ่มขึ้น กระแสขณะสตาร์ทจะลดลงเมื่อความเร็วของมอเตอร์สูงขึ้นแล้วจึงค่อย ๆ ลดความต้านทานภายนอกลง ขณะนี้มอเตอร์มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น เมื่อลดความต้านทานภายนอกลงจนหมดสลีปรินจะถูกลัดวงจรที่จุดต่อสตาร์ของความต้านทานภายนอก มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัด (Rated Speed) ถ้าต้องการปรับแต่งความเร็วของมอเตอร์แบบนี้ ทำได้โดยเพิ่มหรือลดค่าความต้านทานภายนอก ตามปกติแล้วการปรับความเร็วจะปรับจากความเร็วเต็มพิกัดจนถึงความเร็วต่ำกว่าพิกัด ไม่สามารถปรับให้มีความเร็วสูงกว่าความเร็วเต็มพิกัดได้

ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วโรเตอร์ (Rotor Speed) เรียกว่า “ความเร็วสลีป” (Slip Speed or Slip in rpm.) เมื่อจะแสดงค่าสลีปในรูปของเปอร์เซ็นต์ (Per-Unit) หรือ เปอร์เซ็นต์ของความเร็ว ซิงโครนัสก็หาได้ดังนี้

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

หรือ 
$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

S คือ ความเร็วสลีป

$N_s$  คือ ความเร็วซิงโครนัส

$N_r$  คือ ความเร็วโรเตอร์

ดังนั้นจากสมการด้านบน จะได้ความเร็วโรเตอร์

เมื่อ  $S = 1$  จะได้  $N_r = 0$

หรือ  $S = 0$  จะได้  $N_r = N_s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกลของมอเตอร์ไฟฟ้า จะเกิดขึ้นที่โรเตอร์ในมอเตอร์ใน มอเตอร์เหนี่ยวนำกำลังอินพุทของโรเตอร์ไม่ได้เกิดจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโรเตอร์โดยตรงแต่ เป็นการถ่ายทอดกำลังผ่านทางช่องอากาศ (Air Gap) ด้วยการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และความถี่ขึ้นในโรเตอร์ ซึ่งค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส ก็คือ  $E_r = sE_2$  เมื่อ  $E_2$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสที่โรเตอร์ขณะโรเตอร์อยู่กับที่ ถ้าเอาแรงเคลื่อนจำนวนนี้หารด้วย ค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์ ( $Z_2$ ) ก็จะได้กระแสโรเตอร์ต่อเฟส ( $I_2$ ) ไหลอยู่ในโรเตอร์เมื่อ มอเตอร์ทำงานอยู่ที่คอสลิปใด ๆ ได้ดังนี้

$$I_2 = \frac{sE_2}{Z_2}$$

เมื่อ  $Z_2 = R_2 + jX_2$

$I_2$  คือ กระแสโรเตอร์ต่อเฟส

$E_2$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟสที่โรเตอร์ขณะโรเตอร์อยู่กับที่

$Z_2$  คือ ค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์

$R_2$  คือ ความต้านทานต่อเฟสที่โรเตอร์

$X_2$  คือ รีแอกแตนซ์ต่อเฟสขณะโรเตอร์อยู่กับที่

จากสมการกระแสโรเตอร์ต่อเฟส แสดงให้เห็นว่าในวงจรของโรเตอร์ประกอบด้วยความ ต้านทานที่มีค่าคงที่ และรีแอกแตนซ์ที่เปลี่ยนแปลงตามสลิป ดังรูป 2.1 สามารถเปลี่ยนเป็นรูป 2.2 ได้และหากระแสที่ไหลในวงจรของโรเตอร์ได้ดังนี้คือ

$$I_2 = \frac{sE_2}{R_2 + jsX_2}$$

เอาค่าสลิปหารทั้งเศษและส่วนจะได้กระแส  $I_2$  เช่นเดียวกับในรูป 2.2

$$I_2 = \frac{E_2}{\frac{R_2}{s} + jX_2}$$

ค่าความต้านทาน  $R_2/s$  ในรูป 2.2 สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

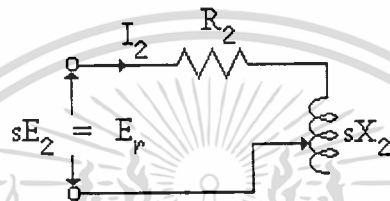
$$R_2/s = R_2 + R_2/s - R_2$$

$$R_2/s = R_2 + R_2(1-s)/s$$

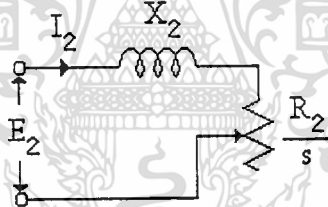
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่หนึ่ง คือ  $R_2$  เป็นค่าความต้านทานในวงจรของโรเตอร์ เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor Copper Loss)

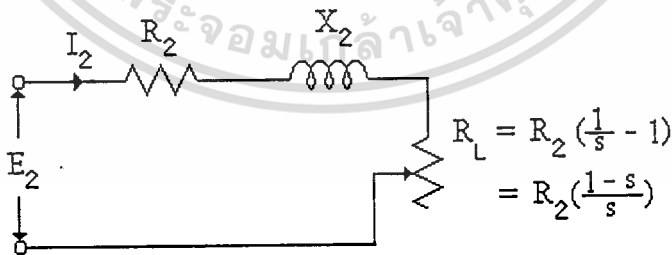
ส่วนที่สอง คือ  $R_2(1 - s) / s$  เป็นค่าความต้านทานของโหลด ( $R_L$ ) เขียนแทนโหลดทางกล (Mechanical Load) ของมอเตอร์ หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าโหลดทางกลของมอเตอร์ เขียนแทนได้ด้วยค่าความต้านทานที่มีค่า  $R_2(1 - s) / s$  และสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของโรเตอร์ เมื่อมีโหลดทางกลได้ดังรูป 2.3



รูป 2.1 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์ประกอบด้วย  $R_2$  และ  $sX_2$



รูป 2.2 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ต่อเฟสที่โรเตอร์ประกอบด้วย  $R_2/s$  และ  $X_2$



รูป 2.3 แสดงวงจรสมมูลย์ของโรเตอร์ เมื่อโหลดทางกลเขียนแทนด้วย  $R_L = R_2(1 - s) / s$

จากรูป 2.3 เมื่อนำ  $I_2^2$  คูณกับค่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์จะได้

$$I_2^2 R_2 = I_2^2 R_2 + I_2^2 R_2 (1 - s) / s$$

$I_2^2 R_2$  คือ กำลังสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ต่อเฟส ( $P_C$  / phase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_2^2 R_2 / s$  คือ กำลังอินพุทของโรเตอร์ต่อเฟส ( $P_2 / \text{phase}$ )

$I_2^2 R_2 (1-s) / s$  คือ กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกล หรืออาจจะเรียกว่า กำลังกลที่เกิดขึ้น (Mechanical Power Developed) ในโรเตอร์ต่อเฟส ( $P_m / \text{phase}$ )

กำลังอินพุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสหมายถึงกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์ คือ

$$P_m = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

การสูญเสียที่สเตเตอร์ประกอบด้วย การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) ซึ่งหมายถึง เอ็ดดี้เคอร์เรน (Eddy Current) และ ฮีทเทอริซิส (Hysteresis) ที่แกนเหล็กสเตเตอร์ และการสูญเสียเนื่องจาก  $I^2 R$  ในขดลวดสเตเตอร์เรียกว่า การสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator Copper Loss)

กำลังส่วนที่เหลือหลังจากสูญเสียที่สเตเตอร์แล้ว เรียกว่า กำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ (Stator Power Output)

กำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์นี้จะถ่ายทอดกำลังผ่านช่องว่างอากาศไปยังโรเตอร์โดยอาศัยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นกำลังอินพุทของโรเตอร์ (Rotor Power Input) จึงเท่ากับกำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ (Stator Power Output)

ดังนั้น  $P_2 =$  กำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์  $=$  กำลังอินพุทของโรเตอร์

$$P_2 = P_m - \text{การสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์}$$

กำลังอินพุทของโรเตอร์จะให้กำลังเอาต์พุทออกมาในรูปของกำลังกล ความแตกต่างระหว่างกำลังอินพุทของโรเตอร์กับกำลังเอาต์พุทของโรเตอร์ คือ การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor Copper Loss) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_c = P_2 - P_m$$

หรือ 
$$P_m = P_2 - P_c$$

กำลังอินพุทของโรเตอร์ ( $P_2$ ) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กำลังผ่านช่องว่างของอากาศ (Air Gap Power) ทำให้เกิดแรงบิดเป็นซิงโครนัสวัตต์ หรือ  $T_g$  (Gross Torque) ขึ้นที่โรเตอร์ซึ่งจะกล้าวในภายหลัง

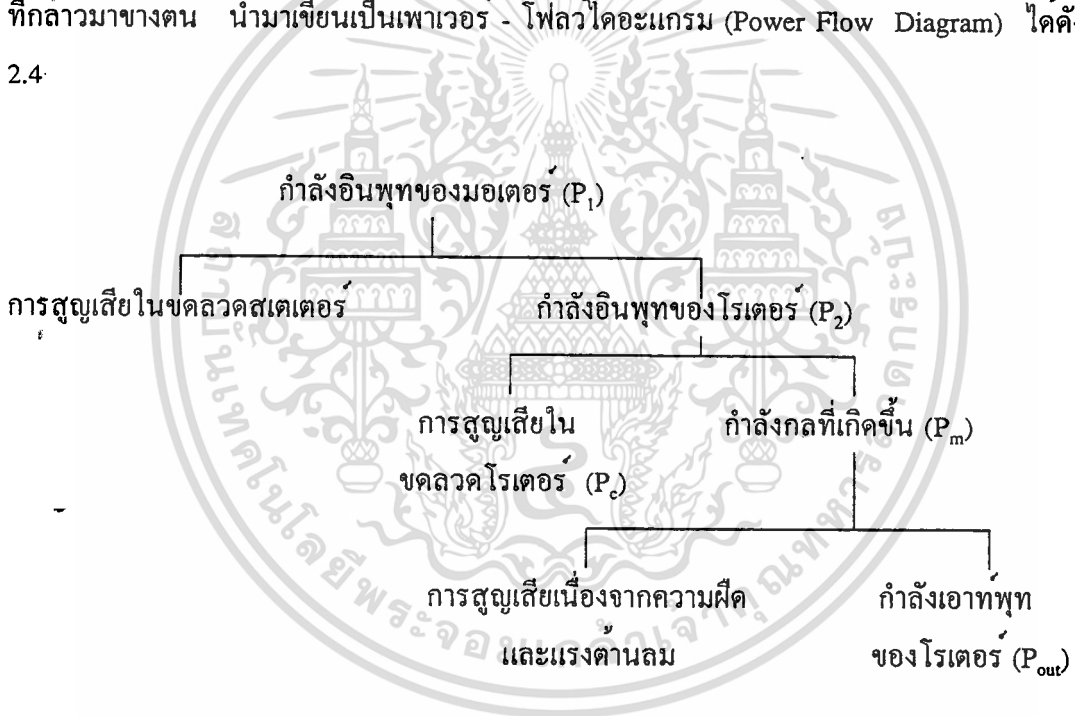
ในทำนองเดียวกันกำลังกลเอาต์พุทของโรเตอร์ ( $P_m$ ) คือ กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกำลังกล ก็ทำให้เกิดแรงบิด  $T_g$  ขึ้นที่โรเตอร์โดยมีค่าเท่ากับ  $T_g$  ที่เกิดจากกำลังอินพุทของโรเตอร์ ( $P_2$ ) เช่นเดียวกัน

นอกจากนั้นขณะที่โรเตอร์หมุน ยังมีการสูญเสียเนื่องจากความฝืดและแรงต้านจากลม (Friction and Windage Loss) เกิดขึ้นอีกด้วย อันเป็นสาเหตุให้เอาต์พุทของโรเตอร์ ( $P_{out}$ ) ลดลงไปอีกดังสมการ

$$P_{out} = P_m - \text{การสูญเสียเนื่องจากความฝืดและแรงต้านจากลม}$$

เอาต์พุทของโรเตอร์ ( $P_{out}$ ) ขณะนี้จะอยู่ในรูปของกำลังกล ทำให้เกิดแรงบิดที่ปลายเพลลา  $T_{sh}$  (Shaft Torque) เป็นแรงบิดที่ใช้ขับโหลดทางกลที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์ กำลังส่วนต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น นำมาเขียนเป็นเฟาเวอร์ - โพลว์ไดอะแกรม (Power Flow Diagram) ได้ดังรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงการสูญเสียและกำลังในส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ให้  $T_g$  = แรงบิดทั้งหมดเกิดขึ้นที่โรเตอร์ เป็น นิวตัน - เมตร ( N - m)

$N_1$  = ความเร็วซิงโครนัส เป็น รอบต่อนาที (rms.)

จากสูตร กำลังกล (วัตต์) = แรงบิด (นิวตัน - เมตร)  $\times$  ความเร็ว (เรเดียน / วินาที)

ดังนั้นกำลังเอาต์พุทของสเตเตอร์ที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศไปยังโรเตอร์ คือ

$$P_2 = 2\pi T_g N_1 \quad \text{จูล / วินาที หรือ วัตต์}$$

ให้  $N_2 =$  ความเร็วโรเตอร์ เป็น รอบต่อวินาที  
 กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกลบนโรเตอร์ คือ

$$P_m = 2\pi T_g N_2 \quad \text{จูล / วินาที หรือ วัตต์}$$

จากเพาเวอร์ - โฟลว์ไดอะแกรม ในรูป 2.4  
 การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ คือ

$$\begin{aligned} P_c &= P_2 - P_m \\ &= 2\pi T_g (N_1 - N_2) \\ P_c / P_2 &= (N_1 - N_2) / N_1 = s \end{aligned}$$

จากเพาเวอร์ - โฟลว์ไดอะแกรม

$$\begin{aligned} P_m &= P_2 - P_c \\ &= P_2 - sP_2 \\ &= P_2 (1 - s) \\ P_m / P_2 &= 1 - s \\ &= 1 - (N_1 - N_2) / N_1 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น  $\frac{P_m}{P_2} = \frac{N_2}{N_1} =$  ความเร็วโรเตอร์ / ความเร็วซิงโครนัส

เพราะฉะนั้น ประสิทธิภาพของโรเตอร์ (Rotor Efficiency) =  $N_2 / N_1$

$$\frac{P_c}{P_m} = \frac{s}{(1-s)}$$

ข้อสังเกต ความสัมพันธ์ระหว่าง  $P_2, P_c$  และ  $P_m$  กับค่าของสลลิป (s) สามารถนำมาเขียนสมการได้ดังนี้

$$P_2 : P_c : P_m = 1 : s : (1 - s)$$

จากสมการ  $R_2 / s = R_2 + R_2(1 - s) / s$

เมื่อนำ  $I_2^2$  คูณทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$I_2^2 R_2 = I_2^2 R_2 + I_2^2 R_2 (1 - s) / s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $P_c = I_2^2 R_2$       วัตต์ / เฟส  
 $P_2 = I_2^2 \frac{R_2}{s}$       วัตต์ / เฟส

เพราะฉะนั้น  $P_2 = \frac{P_c}{s}$   
 หรือ  $P_c = sP_2$   
 $P_m = I_2^2 R_2 \frac{(1-s)}{s}$

$$= P_c \frac{(1-s)}{s}$$

เพราะฉะนั้น  $\frac{P_c}{P_m} = \frac{s}{(1-s)}$

การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์ของทั้ง 3 เฟส

$$P_c = 3I_2^2 R_2$$

จากสูตร

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$$

$$P_c = \frac{3s^2 E_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

เพราะฉะนั้น

$$P_2 = \frac{3sE_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

$$P_m = (1-s)P_2$$

$$= \frac{3(1-s)sE_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ผ่านมาจะได้ว่า แรงบิดทั้งหมดบนโรเตอร์ คือ

$$T_g = \frac{P_m}{2\pi N_2} \quad \text{นิวตัน - เมตร}$$

( $N_2 =$  ความเร็วโรเตอร์ เป็น รอบ / วินาที)

แต่  $N_2 = N_r / 60$  (เมื่อ  $N_r =$  ความเร็วโรเตอร์ เป็น รอบ / นาที)

$$T_g = \frac{P_m}{2\pi N_r / 60}$$

$$= \frac{P_m}{2\pi(1-s)N_s / 60}$$

$$= \frac{1}{2\pi N_s / 60} \times \frac{3sE_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

หรือ

$$T_g = \frac{K_1 s E_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

เมื่อ  $K_1 = \frac{3 \times 60}{2\pi N_s} =$  ค่าคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากสมการของ  $T_g$  ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดกับสลิป ดังนั้นค่าอื่นๆ ให้เป็นค่าคงที่ โดยที่แรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์มีค่าคงที่แล้ว  $\phi$  (Stator Flux) และ  $E_2$  (Standstill Rotor e.m.f.) จะมีค่าคงที่ด้วย

ดังนั้น

$$T_g \propto \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

จากสมการดังกล่าวถ้าเราปรับค่า  $R_2$  โดยกำหนดให้  $X_2$  มีค่าคงที่ 8 โอห์ม / เฟส จะได้

กราฟ แสดงสลิปและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ดังรูป 2.5

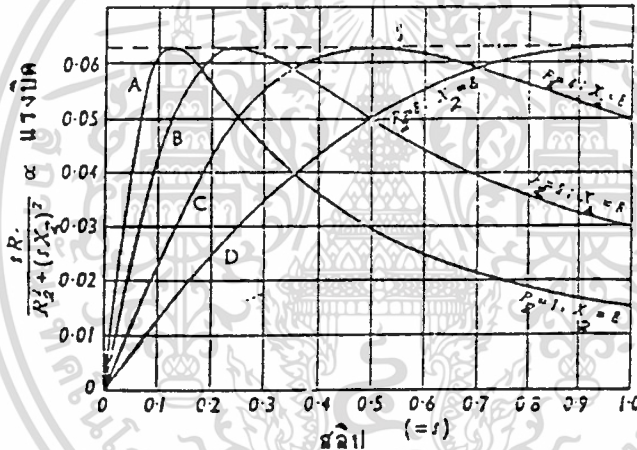
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิปในรูป 2.5 จะได้อธิบายได้ดังนี้

1. แรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้น ไม่ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของโรเตอร์ ( $R_2$ ) แต่จะขึ้นอยู่กับค่ารีแอกแตนซ์ ( $X_2$ ) ไม่ว่าค่า  $R_2$  จะสูงหรือต่ำจะได้ค่าแรงบิดสูงสุดคงที่.

2. แรงบิดเริ่มหมุนจะมีค่าสูงสุด เมื่อค่า  $R_2 = X_2$  ดังเส้นกราฟ D เนื่องจาก  $X_2$  เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ใด ๆ แต่ค่า  $R_2$  เปลี่ยนแปลงได้โดย

3. มอเตอร์ที่มีค่า  $R_2$  สูงจะมีแรงบิดเริ่มหมุนสูง จะทำงานที่ค่าสลิปสูง คือ ให้ความเร็วรอบต่ำ และมีสปีดเรกูเรชัน (Speed Regulation) ไม่ดี พิจารณารูป 2.6 แรงบิดเริ่มหมุน  $T_s$  คือแรงบิดของมอเตอร์ขณะมอเตอร์เริ่มหมุนจากลักษณะหยุดนิ่ง ซึ่งค่าสลิป  $s = 1$  ความเร็วรอบ  $N_r = 0$



รูป 2.5 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิป เมื่อมีค่าความต้านทานของโรเตอร์ต่างๆ กัน

แรงบิดเต็มพิกัด (Full - Load Torque) คือ แรงบิดของมอเตอร์ขณะเดินเครื่องใช้งานขับโหลดเต็มพิกัดและความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ค่าแรงบิดนี้ เรียกว่าความเร็วรอบเต็มพิกัด (Rate Speed or Full - Load Speed) ค่าสลิปขณะนี้ คือ  $s_f$  หมายถึงค่าสลิปที่โหลดเต็มพิกัด (Full - Load Slip) ถ้าเพิ่มโหลดขึ้นไปเรื่อย ๆ จากขณะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มพิกัดจนกระทั่งโหลดมีค่าสูงมาก (Over Load) ทำให้เกิดแรงบิดที่ต้องการสูงเกินแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque) ของมอเตอร์ มอเตอร์จะลดความเร็วลงอย่างรวดเร็ว เสียสมดุลและหยุดลงในที่สุด ค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้ของ

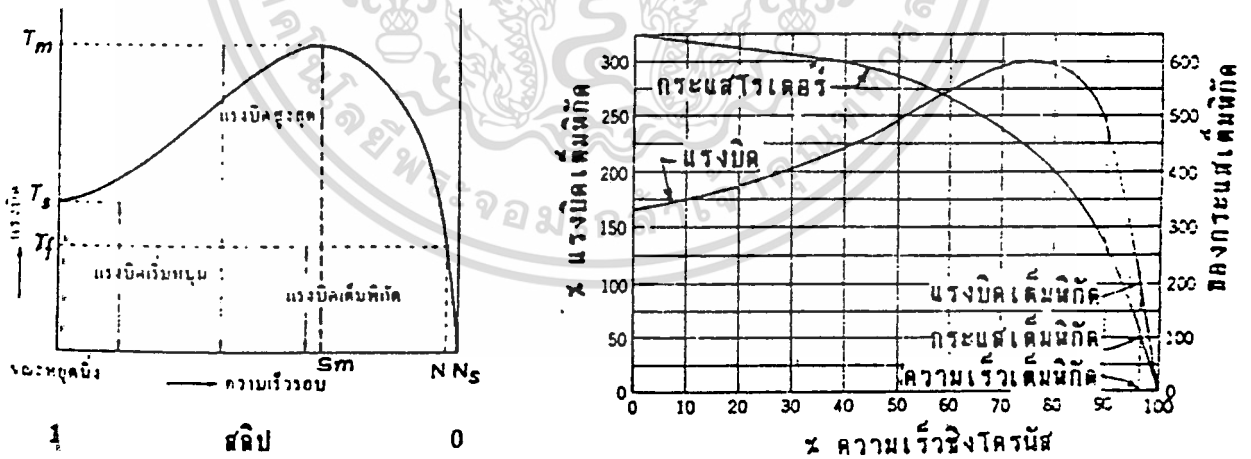
มอเตอร์นี้เรียกว่า “ค่าแรงบิดสูงสุด”  $T_m$  หรือ  $T_{max}$  (Maximum Torque หรือ Breakdown Torque) ซึ่งค่าสลิป ณ จุดนี้ คือ

$$s_m = \frac{R_2}{X_2}$$

การทำงานตามปกติหลังจากสตาร์ทแล้ว จะอยู่บนเส้นกราฟในช่วงสลิป = 0 ถึงสลิป =  $s_m$  สำหรับเส้นกราฟในช่วงสลิป =  $s_m$  ถึงสลิป = 1 นั้นเป็นบริเวณที่ เรียกว่า “อันสแตเบิ้ลรีจัน” (Unstable Region) มอเตอร์ไม่สามารถทำงานโดยมีความเร็วคงที่อยู่ที่ ณ จุดใดจุดหนึ่งในบริเวณนี้ได้ แต่เป็นบริเวณที่มอเตอร์ต้องมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างใดอย่างหนึ่ง

พิจารณารูป 2.6 แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์มีค่าประมาณ 170 เปอรเซ็นต์ของแรงบิดเต็มพิกัด แต่กระแสเริ่มหมุนมีค่าประมาณ 650 เปอรเซ็นต์ของกระแสเต็มพิกัดแรงบิดสูงสุดเกิดขึ้นที่ค่าความเร็วของโรเตอร์ประมาณ 75 เปอรเซ็นต์ของความเร็วจึงโครนัส ค่าแรงบิดสูงสุดเป็น 300 เปอรเซ็นต์ของแรงบิดเต็มพิกัด

ในส่วนต่อมามีส่วนเกี่ยวข้องกับงานโปรเจกต์นี้โดยตรงกล่าวคือดังที่ได้อธิบายไปแล้วว่า มุมทริกเอสซีอาร์ นั้นจะเปลี่ยนไปเมื่อโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเปลี่ยนไป หรือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมันเปลี่ยนไปซึ่งจะมีผลต่อแรงดันเฉลี่ยที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์ซึ่งจะมีผลต่อค่าแรงบิดและสลิปด้วย



รูป 2.6 แสดงรูปของแรงบิดและสลิปของมอเตอร์และการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดและกระแสโรเตอร์เทียบกับความเร็วโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอก

ถ้าแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์เปลี่ยนแปลง จะทำให้  $\phi$  และ  $E_2$  เปลี่ยนแปลง เป็นผลให้แรงบิดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยทั้งแรงบิดเริ่มหมุน และแรงบิดเมื่อมอเตอร์ทำงาน ดังนั้น

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_g = \frac{K_1 s E_2^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

$$E_2 \propto \phi \propto V$$

เพราะฉะนั้น

$$T_g \propto sV^2$$

นั่นคือ แรงดันของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะแปรค่าโดยตรงกับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ยกกำลังสอง

เมื่อ V คือ แรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์

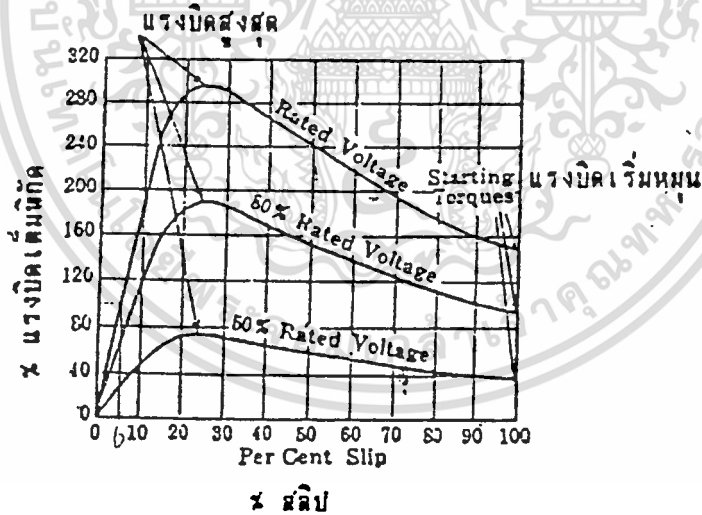
ถ้า V เปลี่ยนแปลงไปเป็น V'

S เปลี่ยนแปลงไปเป็น S'

T<sub>g</sub> เปลี่ยนแปลงไปเป็น T'<sub>g</sub>

ดังนั้น

$$T_g / T'_g = sV^2 / s'V'^2$$



รูป 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสลิปเมื่อแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์เปลี่ยนแปลง

จากรูป 2.7 เมื่อแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ลดลงจะได้เส้นกราฟของแรงบิดสลิปคล้ายกันแต่ค่าของแรงบิดเริ่มหมุน แรงบิดสูงสุด และแรงบิดเต็มพิกัดจะลดลงโดยทั่วกัน ถ้าพิจารณาเส้นกราฟ 50% ของแรงดันเต็มพิกัดจะพบว่าแรงบิดเริ่มหมุนจะลดลงจาก 150% เหลือเพียง 40% ของแรงบิดเต็มพิกัดเท่านั้น ขณะเดียวกันแรงบิดสูงสุดจะลดลงจาก 300% เหลือเพียง 70% ของแรงบิดเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์ และไตรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่อยู่กันอย่างแพร่หลาย และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายกำลังงานสูงๆ หรืออิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันการประยุกต์เอสซีอาร์เป็นไปอย่างกว้างขวางและใช้งานใหม่ๆ ได้มาก การพัฒนาเป็นไปอย่างไม่หยุดยั้ง จนเราสามารถนำเอาเอสซีอาร์ไปใช้ควบคุมการผลิตอุตสาหกรรมควบคุมมอเตอร์ ควบคุมแสงสว่าง เป็นต้น

ไทรสเตอร์ (Thyristor) เป็นชื่อของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่ออน (On) และ ออฟ (Off) ได้ โดยปกติโครงสร้างของไทรสเตอร์ จะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อ P-N-P-N ไทรสเตอร์อาจมีขาต่อใช้งานตั้งแต่ 2 ขา 3 ขา หรือ 4 ขาและอาจจะใช้เป็นชนิดนำกระแสในทิศทางเดียว หรือสองทิศทางก็ได้

ในบรรดาอุปกรณ์ที่มีอยู่ในจำพวกของไทรสเตอร์ เอสซีอาร์เป็นตัวที่รู้จักดีมากที่สุดและเอสซีอาร์ก็เป็นอุปกรณ์ที่นำกระแสได้ทางเดียวเหมือนไดโอด (Diode) แต่มี 3 ขา ขาที่เพิ่มขึ้นมาจึงเป็นขาควบคุมอีกหนึ่งขา

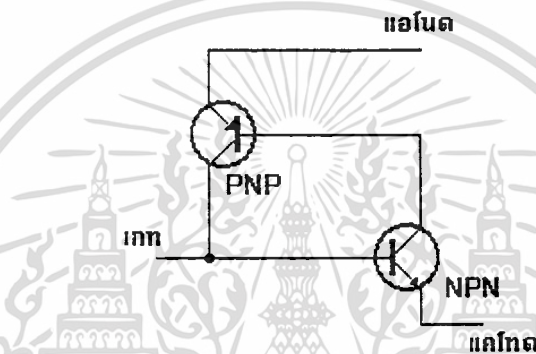
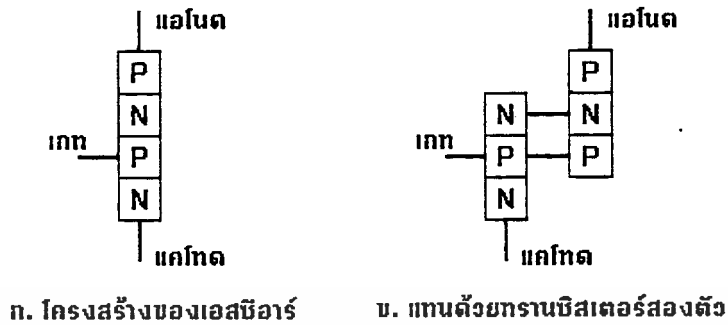
### 2.2.1 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้นแต่ต่อเป็นขั้วออกมาได้ 3 ขั้ว คือ แอโนด (Anode) แคโทด (Cathode) และเกต (Gate) การทำงานของเอสซีอาร์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับไดโอด ที่มี 2 สถานะ คือ สถานะนำกระแสและไม่นำกระแส

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของเอสซีอาร์เราจะเห็นว่าจากลักษณะโครงสร้าง PNPN เราสามารถแยกเอสซีอาร์ออกเป็นทรานซิสเตอร์สองตัวได้ โดยทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งจะเป็นชนิด NPN อีกชนิดจะเป็น PNP ดังรูป 2.8 (ข) และถ้าเขียนเป็นวงจรทรานซิสเตอร์ได้ ดังรูป 2.8 (ค) ขั้วแอโนดของเอสซีอาร์จะต่อกับสารชนิด P ที่อยู่ชั้นนอกสุด ขาแคโทดจะต่อกับสารชนิด N ที่อยู่ชั้นนอกสุดเช่นกัน ส่วนขาเกตต่อกับสารชนิด P ชั้นใน ดังรูป 2.8 (ก)

จากรูป 2.8 (ค) ลักษณะการต่อจะเป็นการป้อนกลับแบบบวก ซึ่งถ้าเราให้ผลคูณของอัตราขยายกระแสมีค่ามากกว่า 1 แล้วการป้อนกลับจะอยู่ในลักษณะที่เพิ่มกระแสให้ทำงานมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ถ้าเราให้ผลคูณของอัตราขยายกระแสมีน้อยกว่า 1 วงจรจะมีเสถียรภาพ

การที่เอสซีอาร์จะทำงานได้จึงขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไบแอส (Bias) ระหว่างเกตกับแคโทดและแรงดันไบแอสตรง (Forward Bias) ที่ขาแคโทด แรงดันที่ทำให้กับเอสซีอาร์จะต้องมีแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาแคโทดเท่านั้นที่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้



ก. วงจรสมมูลย์  
รูป 2.8 แสดง โครงสร้างของเอสซีอาร์และสัญลักษณ์

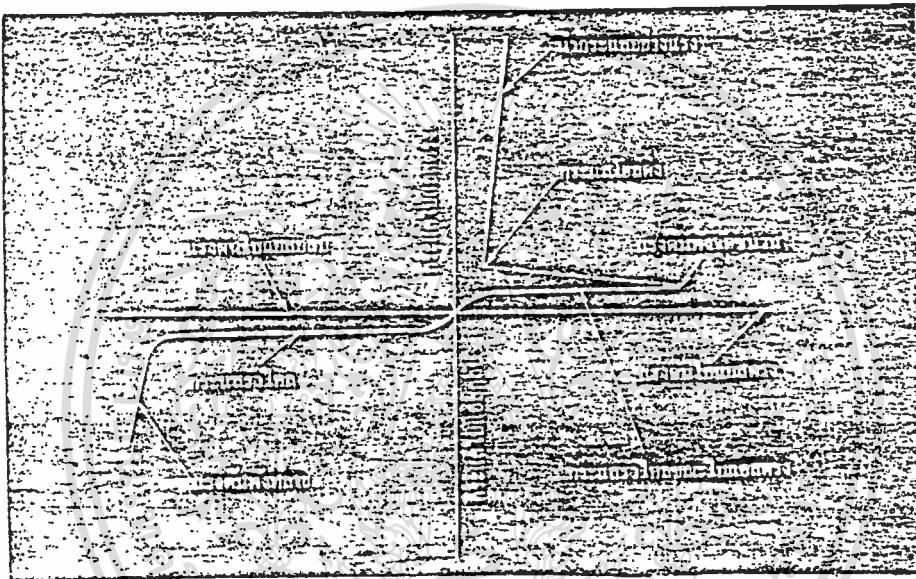
2.2.2 ลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

ลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ในกรณีที่ไม่มีกระแสทริกกระแสเกต ในตอนแรกถ้าเราป้อนแรงดันที่ขาแอนโนดเป็นบวก และแคโทดเป็นลบซึ่งแทนด้วยกราฟด้านบวกของแกน X จะเห็นได้ว่าเอสซีอาร์จะไม่นำกระแสที่แรงดันต่ำๆและจะมีเพียงกระแสรั่วไหลซึ่งมีเพียงน้อยมากไหลผ่าน ถ้าเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นจนถึงค่าแรงดันหนึ่งจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสและมีกระแสจำนวนมาก ค่าแรงดันที่ทำให้เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสนี้ เรียกว่า แรงดันเบรคโอเวอร์ หรือ แรงดันพัง (Breakover Voltage) นั่นคือ ถ้าให้แรงดันระหว่างแอนโนดกับแคโทดต่ำกว่าค่าแรงดันนี้เอสซีอาร์ก็จะไม่นำกระแสแต่ถ้าให้แรงดันมีค่ามากกว่านี้มันจะนำกระแส และถ้าไม่มีการกำจัดกระแสมันจะเสียหายได้ ครั้นถ้าให้แรงดันแอนโนดเป็นลบ และแคโทดเป็นบวกบ้าง จะเห็นว่าลักษณะของเอสซีอาร์ก็เหมือนกับไดโอด ที่ต่อไบแอสกลับนั่นเอง

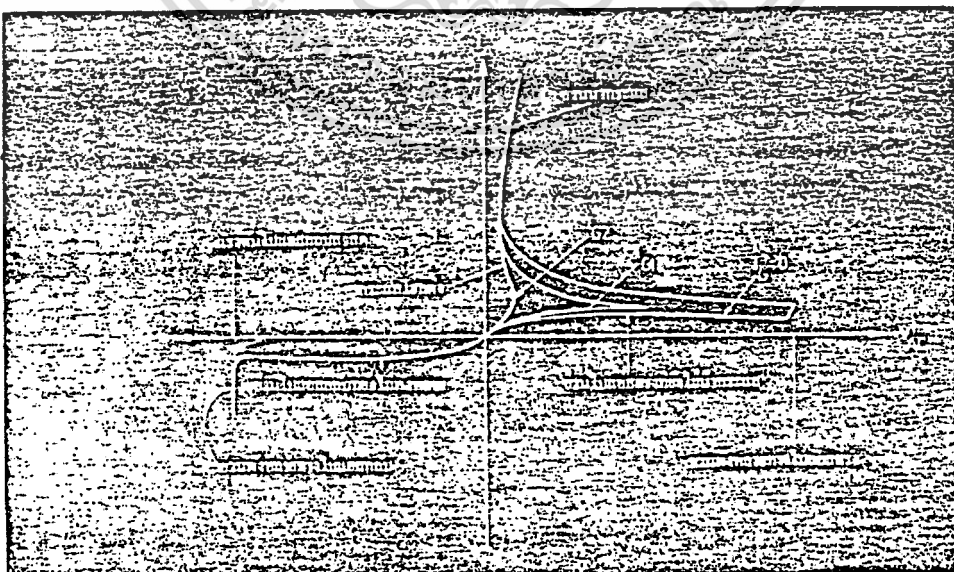
ถ้าพิจารณาจากกราฟตรงส่วนนำกระแส โดยเอสซีอาร์จะนำกระแสได้ค่าของกระแสต่ำสุดที่เอสซีอาร์จะยังคงนำกระแสได้นี้เรียกว่า กระแสโฮลดิ้ง (Holding Current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ป้อนกระแสให้กับเกทหรือที่เรียกว่า “ทริกเกท” หรือ “จุดฉนวน” เอสซีอาร์จะนำกระแสได้โดยที่แรงดันที่แอโนดและแคโทดไม่ต้องถึงแรงดันพัง การนำกระแสของเอสซีอาร์จะเกิดขึ้นเร็วมากหรือมันไวต่อการทริก ดังนั้นจะเป็นผลทำให้ปริมาณกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์เป็นไปได้มาก เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสแล้วมันจะนำกระแสต่อไป ถึงแม้ว่าจะไม่มีกระแสเกทแล้วก็ตาม ถ้าหากว่าเราจะกำจัดค่ากระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ไว้แล้วทำการลดค่ากระแสนี้ลงทีละน้อยทีละน้อย เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสที่ค่ากระแสค่าหนึ่ง นั่นคือ การที่จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสต้องลดค่ากระแสลงมาถึงที่ค่ากระแสโฮลดิ้ง



รูป 2.9 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์เมื่อยังไม่มีการทริกด้วยกระแสเกท



รูป 2.10 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ขณะที่มีการทริกเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ขีดจำกัดของเอสซีอาร์

รายละเอียดของขีดจำกัด ก็คือ สเปคของเอสซีอาร์ดีๆ นี่เอง โดยปกติการออกแบบเอสซีอาร์จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดเหล่านี้ เพราะขีดจำกัดเหล่านี้จะบอกถึงช่วงที่เอสซีอาร์ยังทำงานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยปกติขีดจำกัดของเอสซีอาร์จะยังคงเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมอีกเล็กน้อย ดังนั้นทางผู้ผลิตจึงกำหนดขีดจำกัดไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิประมาณ 25 องศา

ขีดจำกัดของเอสซีอาร์ที่สำคัญ มีดังนี้

1. แรงดันไบแอสตรงจุดชนวน หรือแรงดันขณะไบแอสตรง (Forward Breakdown Voltage) แรงดันขณะไบแอสตรง คือ แรงดันที่ป้อนขั้วบวกให้กับแอโนด และลบให้กับแคโทดแล้ว เอสซีอาร์นำกระแสได้และถ้าไม่มีตัวจำกัดกระแสจากภายนอกเอสซีอาร์ก็จะพังทันที การนำกระแสของเอสซีอาร์นั้นไม่ต้องมีการทรานส์ลูชั่นที่ใช้แทนแรงดันนี้ ใช้  $BV_F$  หรือ  $V_{BO}$  ในการใช้งานเอสซีอาร์ เรามักจะไม่ใช้เอสซีอาร์นำกระแสด้วยการป้อนแรงดันนี้ เพราะจะเป็นการเสี่ยงต่อการเสียหายของเอสซีอาร์อยู่มาก ดังนั้นเมื่อใช้งานที่แหล่งจ่ายไฟสูงสุด 400 โวลต์ เราจะต้องให้แรงดันนี้มีค่ามากกว่า 400 โวลต์

2. แรงดันบล็อกกิ้งขณะไบแอสตรง (Forward Blocking Voltage) แรงดันบล็อกกิ้งขณะไบแอสตรงนี้ คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่คร่อมเอสซีอาร์ซึ่งไม่ทำให้มันนำกระแส สัญลักษณ์ที่ใช้คือ  $V_{FOM}$   $V_{F(OFF)}$   $V_{FX}$

3. กระแสไบแอสตรงสูงสุด (Maximum Forward Current) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ขณะที่มันนำกระแสจะแปรตามอุณหภูมิที่ขั้วต่อของเอสซีอาร์ โดยปกติกระแสนี้จะเป็นกระแสที่ทำให้รอยต่อเกิดความร้อนจนมันพังได้ ดังนั้นขณะใช้งานจะต้องเลือกกระแสไบแอสตรงสูงสุดพอเหมาะ ค่ากระแสนี้ใช้สัญลักษณ์ว่า  $I_{FMAX}$

4. กระแสจุดชนวนเกต (Gate Trigger Current) เป็นกระแสที่ใช้ทรานส์ลูชั่นหรือจุดชนวนให้เอสซีอาร์ทำงาน โดยใช้สัญลักษณ์ย่อว่า  $I_{GT(MIN)}$  ค่ากระแสนี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้บ้าง

5. แรงดันจุดชนวนเกต (Gate Trigger Voltage) เป็นค่าแรงดันที่ใส่เข้าทางเกตเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วแคโทด แรงดันที่ให้ที่เกตนี้ถ้ามีค่าเท่ากับแรงดันจุดชนวนแล้วจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแส ค่าแรงดันนี้ใช้สัญลักษณ์  $V_{GT}$

6. กระแสโวลติจ เป็นค่ากระแสที่ไหลระหว่างแอโนดแคโทดที่ต่ำที่สุด ที่ยังทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ หลังจากที่ได้ทำการจุดชนวนเกต กระแสโวลติจจะมีค่าสูงขึ้นที่อุณหภูมิลดลง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ  $I_H$

7. แรงดันไบแอสกลับสูงสุด (Peak Reverse Voltage) โดยปกติถ้าทำการไบแอสกลับระหว่างแอโนด กับแคโทดจะทำให้เอสซีอาร์มีลักษณะเหมือนไดโอดตัวหนึ่ง ดังนั้นถ้าหากให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



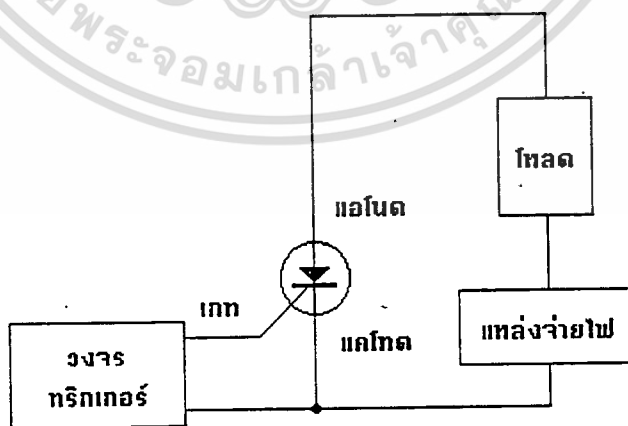
แรงดันไบแอสกลับนี้สูงมากจนเกินไปแล้วเอสซีอาร์ก็จะเสียหายได้ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดคือ  $V_R$

8. แรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกท (Peak Reverse Gate Voltage) ในขณะที่เอสซีอาร์ได้รับการไบแอสกลับจะทำให้มันไม่นำกระแส การที่มันไม่นำกระแสนั้นก็หมายความว่าเรายังไม่มีการทรานส์เฟอร์ที่เกทของเอสซีอาร์ แต่ถ้าเราให้เกทกับแคโทดมีแรงดันไบแอสกลับมันจะมีค่าแรงดันสูงสุดค่าหนึ่งที่ทำให้รอยต่อเกทพัง ค่าแรงดันนี้ เรียกว่า แรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่เกท ใช้สัญลักษณ์ว่า  $V_{RGM}$

9. กระแสเกทสูงสุด (Maximum Gate Current) ในการทรานส์เฟอร์ให้เอสซีอาร์นำกระแส นั้นเราทำได้โดยการให้กระแสกับเกทของมัน ค่ากระแสเกทนี้จะมีขอบเขตจำกัดทางด้านค่าสูงสุด นั่นคือค่ากระแสสูงสุดที่ทำให้ตัวเอสซีอาร์พังได้ ดังนั้นในการทรานส์เฟอร์ให้เอสซีอาร์ให้นำกระแสจะต้องให้ค่ากระแสที่มีค่าน้อยกว่าค่ากระแสเกทสูงสุด สัญลักษณ์ที่ใช้คือ  $V_{G(MAX)}$

### 2.2.4 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการใช้งานเอสซีอาร์

โดยปกติแล้วเราใช้เอสซีอาร์เป็นสวิตช์ปิดเปิดกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายไปยังโหลด วงจรที่ใช้จึงต้องมีส่วนประกอบของวงจรอย่างน้อย 3 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟ วงจรทรานส์เฟอร์ และโหลด ซึ่งวงจรส่วนทรานส์เฟอร์คือออกจะเป็นเรื่องยุ่งยากมากที่สุดจึงอาจจะต้องมีการทรานส์เฟอร์ของการเปลี่ยนแปลงแรงดันและเวลาของการทรานส์เฟอร์ที่สามารถควบคุมได้อีกด้วย



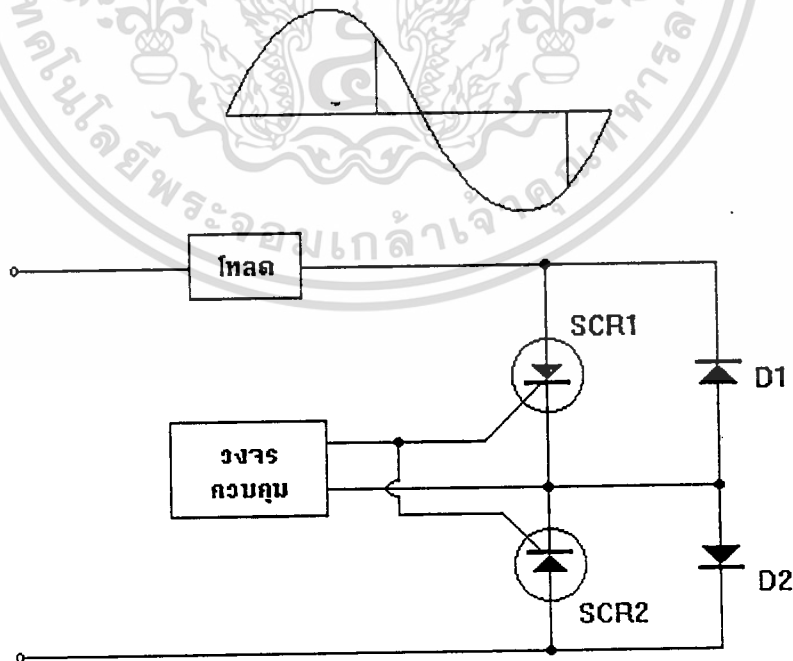
รูป 2.11 แสดงวงจรใช้งานเอสซีอาร์และไดรแอก

### 2.2.5 การใช้งานเอสซีอาร์

เราใช้งานเป็นสวิตช์สำหรับให้กระแสไฟฟ้าผ่านหรือตัดไฟไม่ให้ผ่านไปยังโหลด แต่เอสซีอาร์มีลักษณะพิเศษ คือ สามารถนำกระแสได้ทางเดียวเท่านั้น ดังนั้นเราจึงใช้เอสซีอาร์ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier) ได้ การใช้เอสซีอาร์เป็นสวิตช์ก็เพราะสามารถเปิดปิดวงจรได้อย่างรวดเร็วมาก และต้องการกำลังไฟฟ้าในการทริกเพียงเล็กน้อย ในหน่วยของมิลลิแอมป์เท่านั้น

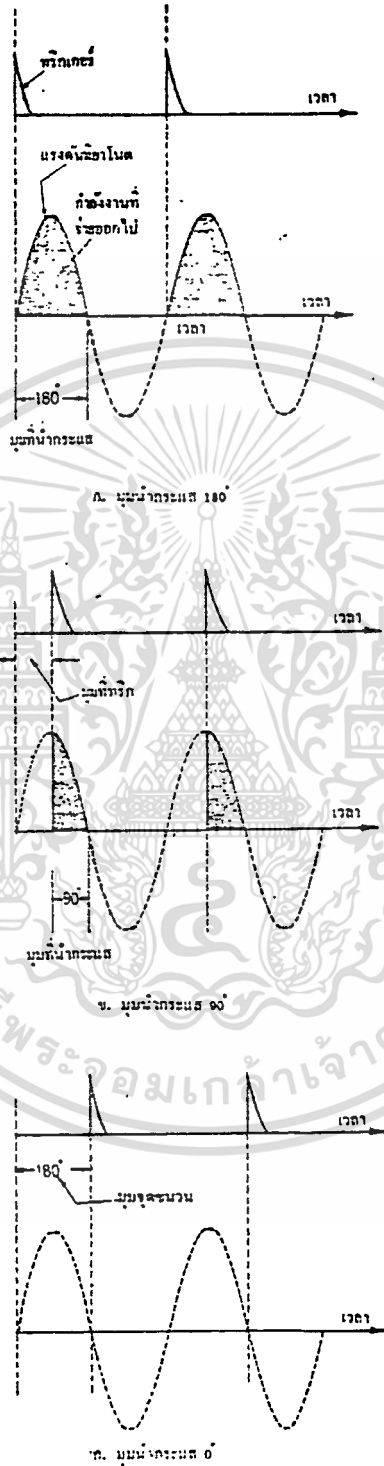
เอสซีอาร์ที่มีใช้งานในวงจรเรกติไฟเออร์อย่างกว้างขวาง ก็คือ สามารถเรกติไฟเออร์ให้แรงดันบวก หรือลบทางเอาต์พุตได้ โดยการกำหนดเวลาที่จะให้เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสตรงช่วงเวลาใดของลูกคลื่นนั้น

ในกรณีที่ใช้เอสซีอาร์กับไฟสลับการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ เพราะกระแสและแรงดันจะตกลงเป็นศูนย์ทุกๆ ครึ่งลูกคลื่น การเรกติไฟเออร์แบบเต็มลูกคลื่น (Full Wave Rectifier) ที่ใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวก็ทำได้โดยให้ตัวหนึ่งนำกระแสในช่วงไฟบวก อีกตัวหนึ่งนำกระแสในช่วงไฟลบ ด้วยวิธีนี้สามารถทำการควบคุมไฟได้ตลอดรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ในงานด้านกำลังไฟสูงๆ ที่ต้องเปิดวงจรบ่อยๆ จะใช้เอสซีอาร์แทนสวิตช์และรีเลย์ได้ดี เพราะมันไม่มีส่วนเคลื่อนไหวนั่นที่จะสึกหรอได้เมื่อเปิดปิดบ่อยๆ ครั้ง ซึ่งส่วนนี้เป็นข้อดีของเอสซีอาร์



รูป 2.12 แสดงวงจรการควบคุมกำลังไฟสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

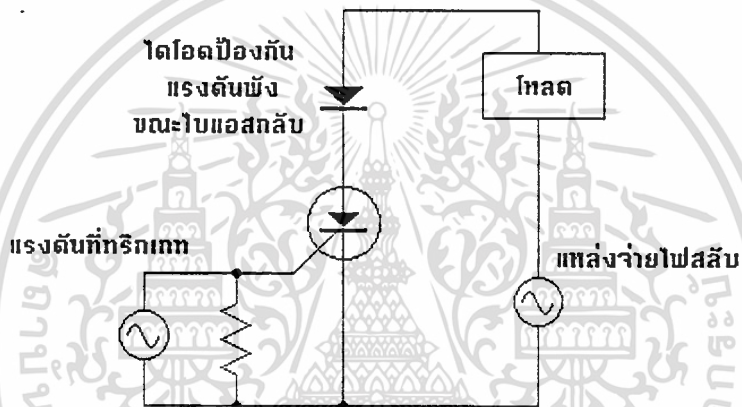


รูป 2.13 แสดงการใช้เอสซีอาร์ควบคุมกำลังไฟที่ป้อนให้โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 วิธีการทำให้เอสซีอาร์นำกระแส

การจุดชนวนเกทด้วยพัลส์ (Pulse) การจุดชนวนเกทด้วยไฟสลับ กระแสเกทจะเป็นเพียงช่วงหนึ่งของรูปคลื่นเท่านั้น ถ้าจุดชนวนเกทด้วยกระแสที่สูงพอ แม้จะใช้เวลาให้มีกระแสเพียงช่วงสั้นๆ น้อยกว่า 1 ไมโคร-วินาที ก็ยังทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ เมื่อช่วงเวลานั้นมากจากรูปคลื่นของกระแสเกทเป็นพัลส์ ดังนั้นการจุดชนวนเกทด้วยพัลส์ก็ย่อมทำได้ การใช้พัลส์จุดชนวนจะใช้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งมักจะแปลงมาจากแหล่งจ่ายไฟตรงเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ (Multi Vibrator) ก็ได้ ซึ่งสามารถแปรความถี่ของพัลส์ได้กว้างมาก



รูป 2.14 แสดงวงจรจุดชนวน

## 2.2.7 วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

วิธีทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสสามารถแบ่งได้ 3 วิธี คือ

1. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยแหล่งจ่ายไฟเป็นกระแสสลับ (Line Commutation หรือ Natural Commutation) คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน ไฟฟ้าจะตกลงเป็นศูนย์ และมีแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทาง ซึ่งจะเป็นการจ่ายรีเวอร์ไบแอสแก่เอสซีอาร์ในทุกๆ ไซเคิล และกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะตกลงสู่ศูนย์ ซึ่งถ้าเป็นเวลานานกว่า เทิร์นออฟไทม์ (Turn Off Time) ก่อนที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวิร์ด (Forward) อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสในการเปลี่ยนกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และการเปลี่ยนแรงดันกระแสสลับโดยการควบคุมเฟส

2. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยการจัดโหลดที่เหมาะสม (Load Commutation) ใช้ในวงจรเปลี่ยนแรงดันกระแสตรง โดยวิธีการชอปเปอร์ (Chopper) และ วงจรเปลี่ยนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงเป็นกระแสลับ คือ เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสจะเป็นการสวิตซ์ไฟเข้าโหลด ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) ที่มีค่าเหมาะสม โดยอยู่ในสถานะอันเดอร์แดมป์ (Underdamp) กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะตกลงสู่ศูนย์โดยธรรมชาติ เมื่อกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสยึดเป็นเวลานานกว่าเทิร์นออฟไทม์ จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสได้

3. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธีบังคับ (Forced Commutation) เป็นการทำให้กระแสไหลลดลงสู่ศูนย์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กระแสเนื่องจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์ หรือจอร์เจอร์สไบแอสซึ่งประจุในคาปาซิเตอร์ให้แก่เอสซีอาร์

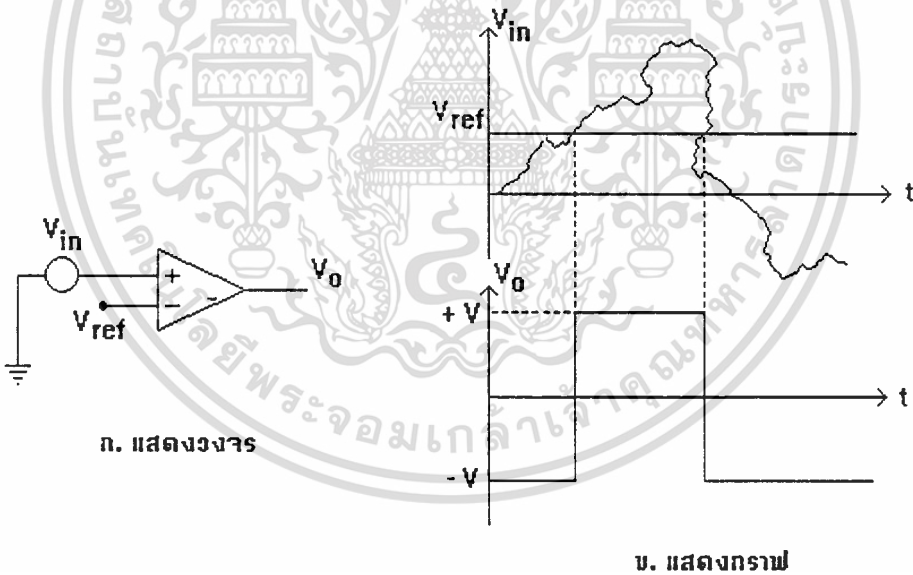


### บทที่ 3 หลักการทํางานของอุปกรณ์

ก่อนที่กล่าวถึงหลักการทํางานของอุปกรณ์ จะขอกล่าวถึงทฤษฎีโดยคร่าวๆ ของวงจรที่ใช้ประกอบในตัวอุปกรณ์เสียก่อน ซึ่งวงจรที่ใช้ประกอบ ดังนี้

#### 3.1 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

รูป 3.1 (ก) แสดงวงจรเปรียบเทียบ โดยป้อนสัญญาณ ( $V_{in}$ ) เข้าที่ขาอินเวอร์ตติ้ง (Noninverting) และ ป้อนแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) เข้าที่ขาอินเวอร์ตติ้ง (Inverting) เมื่อแรงดันของสัญญาณมากกว่าแรงดันอ้างอิงจะทำให้แรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ ) เป็นบวกและถ้าแรงดันของสัญญาณน้อยกว่าแรงดันอ้างอิงจะทำให้แรงดันเอาต์พุตเป็นลบ ดังรูป 3.2 (ข) โดยแรงดันเอาต์พุตจะเป็นบวกหรือลบมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงกระแสที่จ่ายให้โหลด และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์



รูป 3.1 แสดงวงจรเปรียบเทียบ

#### 3.2 วงจรมิตต์ทริกเกอร์ (Schmitt Trigger)

จากรูป 3.2 (ก) จะได้

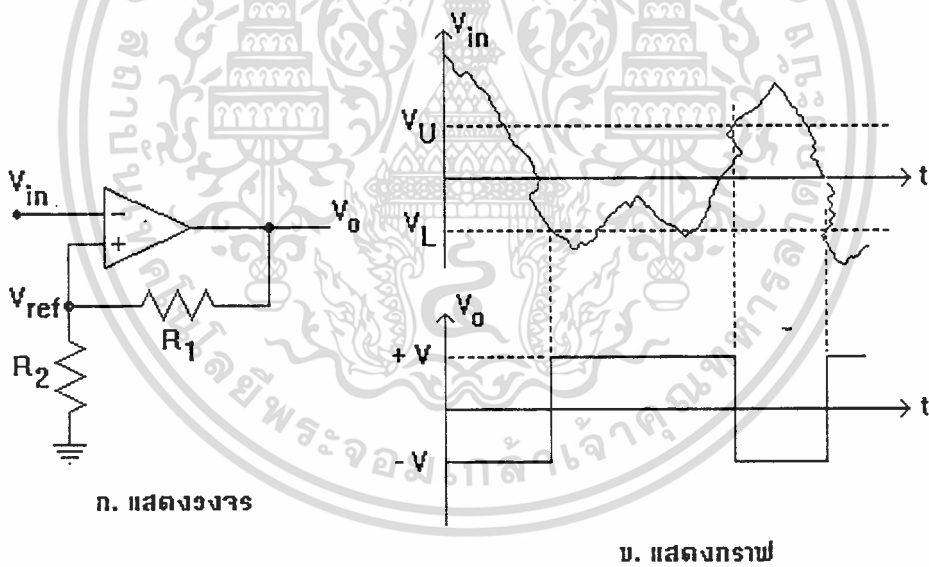
$$V_U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{cc})$$

และ 
$$V_L = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(-V_{cc})$$

จากรูป 3.2 (ข) เมื่อแรงดันสัญญาณป้อนเข้ามากกว่า  $V_U$  แรงดันเอาต์พุตจะเป็นลบ เมื่อสัญญาณแรงดันป้อนเข้าอยู่ระหว่าง  $V_U$  กับ  $V_L$  แรงดันเอาต์พุตยังคงเดิม เพราะขณะนี้แรงดันอ้างอิงจะเปลี่ยนมาเป็น  $V_L$  (เพราะเอาต์พุตเป็นลบ)

และเมื่อสัญญาณป้อนเข้าต่ำกว่า  $V_L$  จะทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนเป็นบวก แรงดันอ้างอิงจะเปลี่ยนเป็น  $V_U$  เมื่อสัญญาณของแรงดันป้อนเข้าอยู่ระหว่าง  $V_U$  กับ  $V_L$  แรงดันเอาต์พุตยังคงเดิม

อาจจะสรุปได้ว่า สถานะของแรงดันเอาต์พุตจะเป็นบวกหรือลบก็ขึ้นอยู่กับแรงดันป้อนเข้า นั้นเกิน  $\frac{R_2}{R_1 + R_2}(V_{cc})$  ครึ่งสุดท้ายในทางบวกหรือลบ การที่แรงดันเอาต์พุตมีสถานะเสถียรอยู่ 2 สถานะ และมีค่าขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ในอดีต หมายความว่าวงจรมีฮิสเทอรีซิส



รูป 3.2 แสดงวงจรฮิสเทอรีซิส

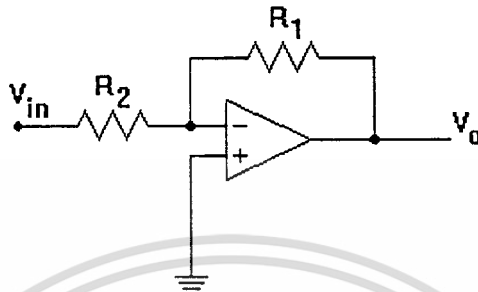
### 3.3 วงจรขยายกลับขั้ว (Inverting Amplifier)

จากรูป 3.3 จะได้

$$V_o = -\left(\frac{R_1}{R_2}\right)V_m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อป้อนสัญญาณป้อนเข้า แรงดันเอาต์พุตจะถูกขยายด้วยอัตราส่วน  $\frac{R_1}{R_2}$  โดยกลับ  
 บวกเป็นลบ



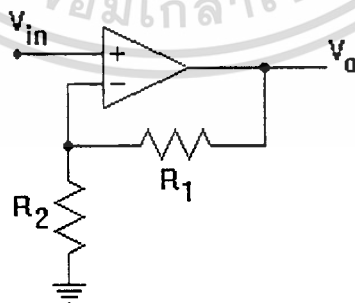
รูป 3.3 แสดงวงจรขยายกลับขั้ว

### 3.4 วงจรขยายไม่กลับขั้ว (Noninverting Amplifier)

วงจรนี้ดูเผินๆ จะคล้ายกับวงจรมีตัวทริกเกอร์ แต่จะต่างกันตรงที่การต่อสัญญาณป้อนเข้า  
 จะสลับกัน และจากรูป 3.4 จะได้

$$V_o = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) V_{in}$$

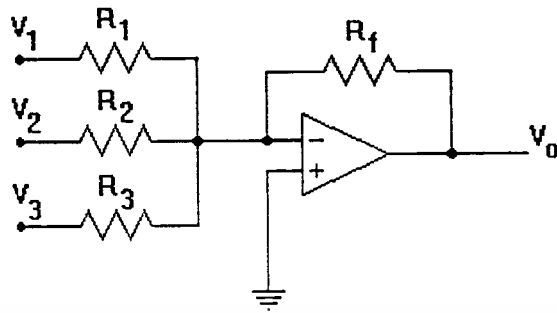
และเมื่อป้อนสัญญาณป้อนเข้า แรงดันเอาต์พุตจะถูกขยายด้วยอัตราส่วน  $\frac{R_1 + R_2}{R_2}$  โดยไม่  
 กลับเฟส



รูป 3.4 แสดงวงจรขยายไม่กลับขั้ว

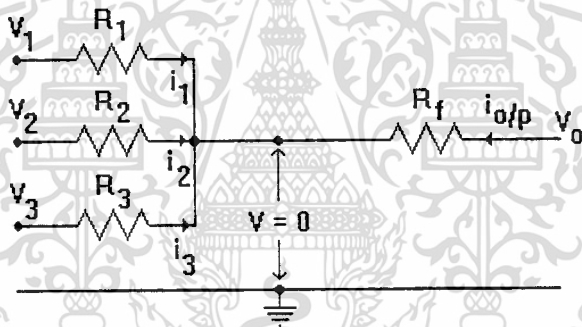
### 3.5 วงจรบวก (Summing Amplifier)

จากรูป 3.5 แรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับผลบวกของแรงดันของสัญญาณป้อนเข้าคูณกับค่า  
 เอกสารหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความต้านทานในวงจรศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.5 แสดงวงจรบวก

เนื่องจากคุณสมบัติของออปแอมป์ (Op-Amp) ที่แรงดันระหว่างขาอินพุตทั้งสองจะเท่ากัน เพราะฉะนั้นอาจจะเขียนวงจรสมมูลของวงจรบวกได้เป็น



รูป 3.6 แสดงวงจรสมมูลของวงจรบวก

เนื่องจากแรงดันที่ขาอินเวอร์ตอินพุตเป็น 0 ดังนั้น

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1} , i_2 = \frac{V_2}{R_2} , i_3 = \frac{V_3}{R_3} \text{ และ } i_{o/p} = \frac{V_o}{R_f}$$

จาก KCL จะได้

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_{o/p} = 0$$

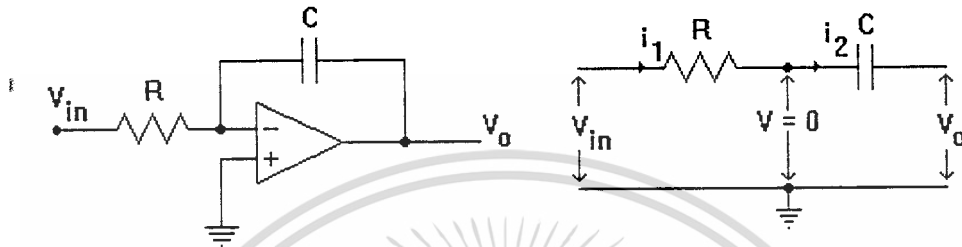
$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_o}{R_f} = 0$$

เพราะฉะนั้น

$$V_o = - \left[ \left( \frac{R_f}{R_1} \right) V_1 + \left( \frac{R_f}{R_2} \right) V_2 + \left( \frac{R_f}{R_3} \right) V_3 \right]$$

3.6 วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator)

จากรูป 3.7 (ก) วงจรอินทิเกรเตอร์จะใช้ตัวเก็บประจุ ป้อนสัญญาณออกมายังขาอินเวอร์ตติ้ง วงจรนี้สามารถอินทิเกรตแรงดันที่แปรค่าตามเวลาได้



ก. วงจรอินทิเกรเตอร์

ข. วงจรสมมูล

รูป 3.7 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์และวงจรสมมูล

จากรูป 3.7 (ข) จะได้

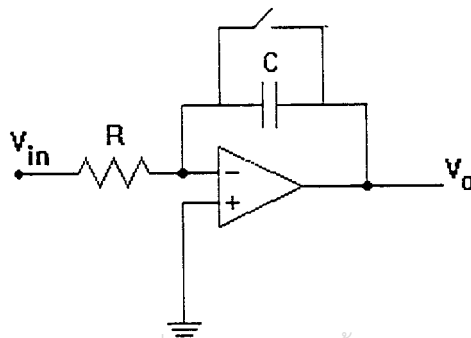
$$i_1 = \frac{V_{in}}{R} = i_2 = -C \frac{dV_o}{dt}$$

$$\frac{V_{in}}{R} = -C \frac{dV_o}{dt}$$

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt$$

เพราะฉะนั้น

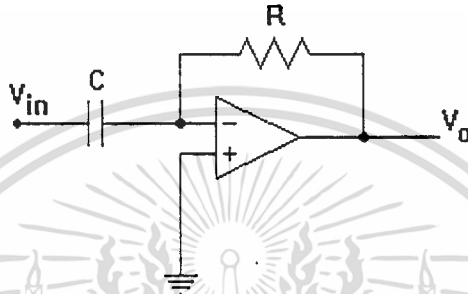
ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับผลของการอินทิเกรตสัญญาณป้อนเข้าเทียบกับเวลา และถ้าจะทำให้แรงดันเอาต์พุตกลับเป็น 0 เหมือนเดิม อาจทำได้โดยลัดวงจรที่ขั้วของตัวเก็บประจุ อาจจะใช้โซลิดสเตตสวิทช์ (Solid State Switch) เช่น ทรานซิสเตอร์ ดังรูป 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูป 3.8 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์ที่มีการลัดวงจรที่ตัวเก็บประจุ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

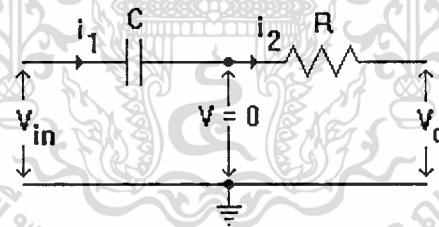
### 3.7 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator)

รูป 3.9 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์นี้ มาจากการสลับตัวเก็บประจุกับตัวต้านทานในวงจรอินทิเกรเตอร์ และวงจรนี้จะทำหน้าที่ดิฟเฟอเรนชิเอตแรงดันเทียบกับเวลา



รูป 3.9 แสดงวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

จากรูป 3.9 สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ ดังรูป 3.10



รูป 3.10 แสดงวงจรสมมูลของวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

จากรูป 3.10 จะได้

$$i_1 = C \frac{dV_m}{dt} = i_2 = -\frac{V_o}{R}$$

$$C \frac{dV_m}{dt} = -\frac{V_o}{R}$$

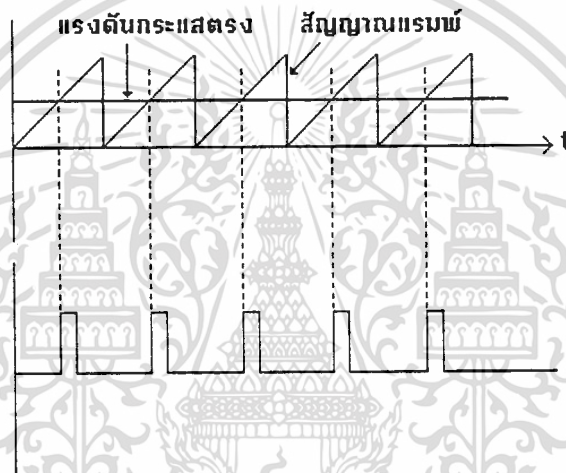
เพราะฉะนั้น

$$V_o = -RC \frac{dV_m}{dt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับแรงดันเอาต์พุต ก็คือ ผลของการดิฟเฟอเรนชิเอตสัญญาณป้อนเข้าเทียบกับเวลา ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้จะสร้างแรงดันกระแสตรง (DC Voltage) ขึ้นมาค่าหนึ่งแล้วนำไปตัดกับสัญญาณแรมพ์ (Ramp) ที่จุดตัดจะส่งสัญญาณออกมาทริกเอสซีอาร์ ดังรูป 3.11 โดยที่การสร้างสัญญาณแรมพ์จะต้องให้ตรงกับสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ และการสร้างแรงดันกระแสตรงนั้น แรงดันที่ได้จะต้องแปรตามค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ เพื่อที่จะให้มุมทริกมากขึ้นไปเมื่อโหลดลดลง และมุมทริกลดลงเมื่อโหลดมากขึ้น



รูป 3.11 แสดงการเกิดสัญญาณทริกเอสซีอาร์

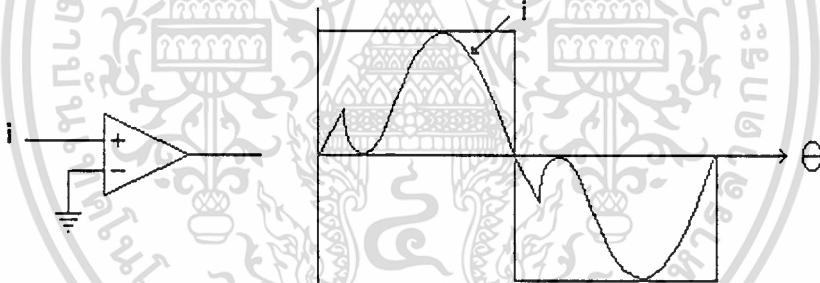
หลักการสร้างสัญญาณแรงดันกระแสตรงนั้นจะทำการตรวจสอบกระแสขาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ถ้ามุมในการตกมากกว่าค่าหนึ่ง (ค่านี้กำหนดเองตามความเหมาะสม) จะปรับให้แรงดันที่ไปตัดกับแรมพ์มีค่ามากขึ้น มีผลทำให้มุมทริกมากขึ้น ถ้ามุมในการตกน้อยกว่าค่าหนึ่ง จะปรับให้แรงดันที่ไปตัดกับแรมพ์มีค่าลดลง มีผลทำให้มุมทริกลดลง

ด้วยหลักการดังกล่าว ถ้าเรามีมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ใช้เครื่องควบคุมนี้อยู่กระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นจะตกที่มุมที่เรากำหนด ถ้าโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำลดลงจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์เพิ่มจากเดิมมีผลให้กระแสตกไกลขึ้นทำให้เลยค่าที่เรากำหนด ทำให้สัญญาณแรงดันเพิ่มขึ้นทำให้มุมทริกมากขึ้น จนกว่ากระแสจะตกตามจุดที่เรากำหนด ค่าแรงดันนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าโหลดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ลดจากเดิมมีผลให้กระแสตกไกลลงทำให้ไม่ถึงค่าที่เรากำหนด ทำให้สัญญาณแรงดันลดลงทำให้มุมทริกลดลง จนกว่ากระแสจะตกตามจุดที่เรากำหนดค่าแรงดันนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง



รูป 3.12 กราฟแสดงมุมตกของกระแส

การทำงานของอุปกรณ์จะนำสัญญาณกระแสผ่านวงจรเปรียบเทียบจะทำให้ได้สัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยมออกมา ดังรูป 3.13 โดยที่สัญญาณที่ออกมาจะอินเฟสกัน



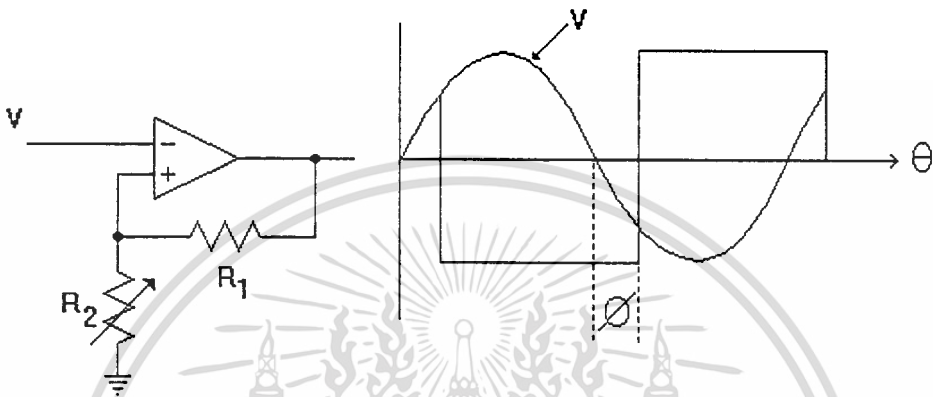
รูป 3.13 แสดงสัญญาณกระแสเมื่อผ่านวงจรเปรียบเทียบ

จากนั้นจะนำสัญญาณแรงดันผ่านวงจรมิตต์ทริกเกอร์ จะได้สัญญาณแรงดันที่กลับเฟสและตามสัญญาณแรงดันอยู่เป็นค่าค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้สามารถปรับได้ตามค่าความต้านทาน ( $R_2$ ) ดังรูป 3.14

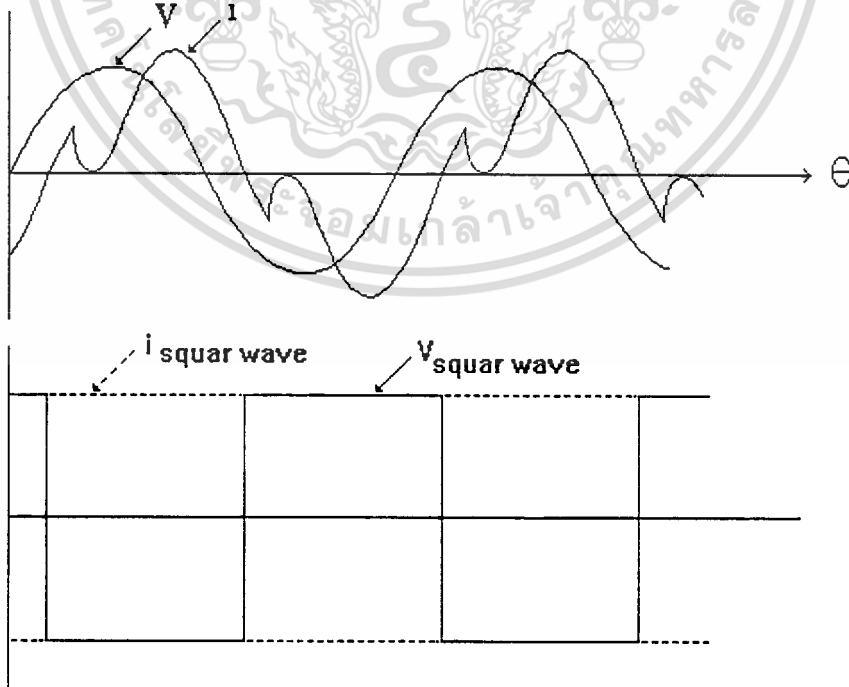
ซึ่งถ้าสัญญาณกระแสตกที่มุม ที่กำหนดจะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองกลับเฟสกันอยู่เมื่อนำมาบวกกันจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังรูป 3.15

แต่ถ้าสัญญาณกระแสไม่ตกตามที่กำหนดถ้านำมาบวกกันจะมีสัญญาณพัลซ์เกิดขึ้นจะเป็นพัลซ์บวกหรือพัลซ์ลบก็ได้ เมื่อเป็นเช่นนี้เราจะให้สัญญาณทั้งสองบวกกัน โดยใช้วงจรบวก และผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์อีกทีหนึ่ง ถ้ากระแสตกลงตามที่เรากำหนดตลอดเวลาระดับแรงดันที่จ่ายจากวงจรอินทิเกรเตอร์จะไม่เปลี่ยนทำให้มุมทริกไม่เปลี่ยน และถ้าโพลเปลี่ยนจะเกิดพัลซ์ทางเอาต์พุต

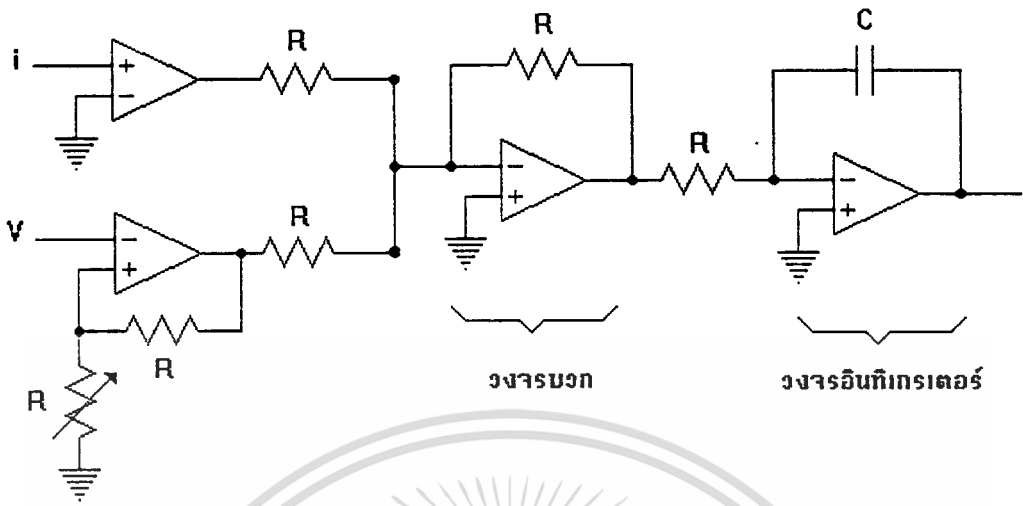
ของวงจรวก เมื่ออินพุทของวงจรมติเกรเตอร์ (เอาต์พุทของวงจรวก) ไม่เป็นศูนย์จะทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุทเปลี่ยนแปลง



รูป 3.14 แสดงสัญญาณแรงดันเมื่อผ่านวงจรมติเกรเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูป 3.15 แสดงการบวกกันของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.16 แสดงการต่อวงจรบวกและวงจรอินทิเกรเตอร์

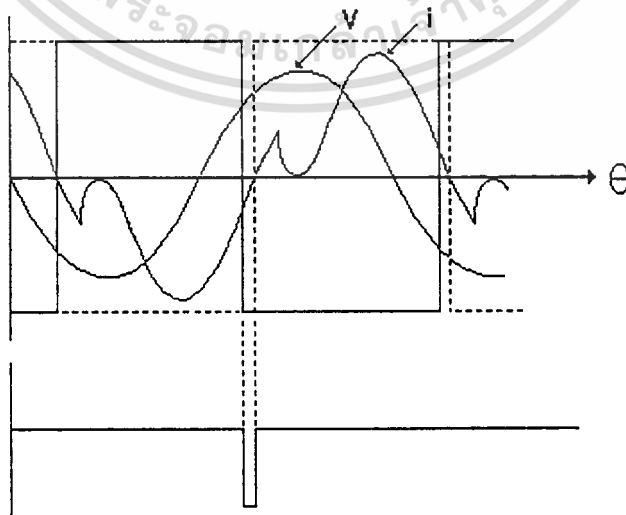
จากรูป 3.16 ตามหน้าที่ของวงจรนี้เราต้องการให้

- ลดระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสตกเกินที่กำหนด
- เพิ่มระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสตกน้อยกว่าความถี่ที่กำหนด
- คงระดับแรงดันถ้ากระแสตกตามที่กำหนด

ข้อหลังสุดนี้เราได้แล้ว ส่วนสองข้อแรกเราต้องมาพิจารณากันดังนี้

- กรณีที่กระแสตกเกินที่เราที่กำหนด ขณะแรงดันกำลังเพิ่มขึ้น จะเป็นดังรูป 3.17

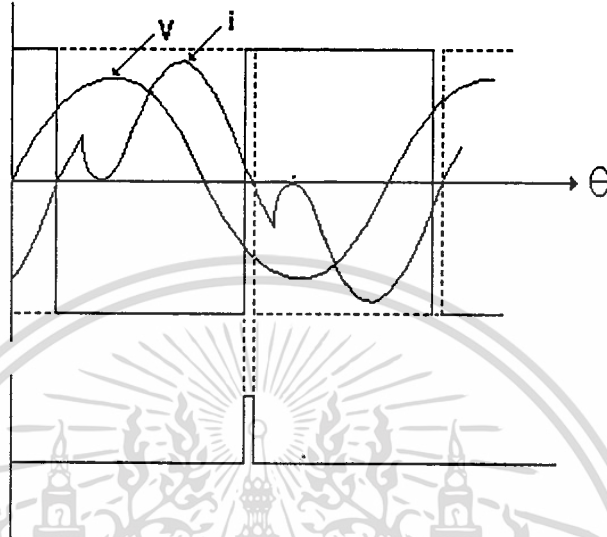
ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าจะได้พัลส์ลบออกมา



รูป 3.17 กราฟแสดงผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมของกระแสและแรงดัน ขณะแรงดันเพิ่มได้พัลส์ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เกิดสแตกเกินที่เรากำหนด ขณะแรงดันกำลังลดลง จะเป็นดังรูป 3.18 ซึ่งเราจะเห็นว่าได้พัลส์บวกออกมา



รูป 3.18 กราฟแสดงผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมของกระแสและแรงดันขณะแรงดันลดได้พัลส์บวก

ในกรณีนี้ (กระแสเกิน) เราต้องการให้วงจรปรับแรงดันกระแสตรงมากขึ้น แต่ในแต่ละครึ่งไซเคิลผลบวกที่ออกมาต่างกันมีทั้งบวกและลบทำให้วงจรอินทิเกรเตอร์ให้ผลทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นไปตามที่ต้องการ (ต้องการให้แรงดันมากขึ้น) จึงต้องทำการปรับปรุงวงจรใหม่เป็นดังรูป 3.19 ซึ่งอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นมามีดังนี้ วงจรดิฟเฟอเรนเชียล วงจรขยายกลับขั้ว และออปโตแบบไตรแอก วงจรนี้จะทำงานดังนี้ เมื่อวงจรบวกทำการบวกสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมทั้งสองผลบวกจะผ่านวงจรขยายกลับขั้ว ทำให้ตอนนี้เราได้ผลบวกที่เป็นทั้งบวก และลบพร้อมกัน จากนั้นผลบวกทั้งสองจะผ่านเข้าไปหาออปโตแบบไตรแอก ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์และถูกปิดเปิดโดยวงจรดิฟเฟอเรนเชียล จากการทำงานของวงจรนี้ ไม่ว่าจะเป็นครึ่งไซเคิลใดวงจรอินทิเกรเตอร์จะได้รับผลอย่างเดียวกันจากการเปลี่ยนแปลงอย่างเดียวกันเช่น ถ้ากระแสเกินที่เรากำหนดจะได้แรงดันลบป้อนเข้าวงจรอินทิเกรเตอร์ มีผลทำให้แรงดันทางเอาต์พุตเพิ่มขึ้น

ที่นี้ลองมาสรุปการท

จรชนิดตรีกรเกอร์จะทำให้เกิดสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่กลับเฟสและตามมา (Lag) เป็นมุมค่าหนึ่งซึ่งเรากำหนดได้จากการปรับค่าความต้านทาน และสัญญาณกระแสผ่านวงจรเปรียบเทียบกับทำให้เกิดสัญญาณสี่เหลี่ยมอินเฟสกับสัญญาณกระแสนั้น ดังนั้นเมื่อกระแสเกินที่มุมเดียวกับมุมที่กำหนด

เดียวกับมุมที่สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมตก) จะทำให้วงจรบวกให้ผลลัพธ์เป็นศูนย์ ทำให้วงจรอินทิเกรเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้ากระแสตกลงที่ไม่เท่ากับมุมที่กำหนดเราจะพิจารณาดังนี้

กรณีตกเกิน และแรงดันกำลังเพิ่ม ผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นลบ วงจรบวกให้ผลเป็นบวก วงจรขยายกลับขั้วเป็นลบ วงจรดิฟเฟอเรนเชียลให้ผลเป็นลบ ดังนั้นแรงดันลบของวงจรขยายกลับขั้วจะผ่านออปโตแบบไตรแอก (ตัวที่ต่อแอนดของไดโอดลงกราวนด์) ไปหาวงจรมินทิเกรเตอร์ เมื่อวงจรมินทิเกรเตอร์ได้อินพุทลบจะทำให้เอาต์พุทเพิ่มขึ้น

กรณีตกเกิน และแรงดันกำลังลดลง ผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นบวก วงจรบวกให้ผลเป็นลบ วงจรขยายกลับขั้วเป็นบวก วงจรดิฟเฟอเรนเชียลให้ผลเป็นบวก ดังนั้นแรงดันลบของวงจรบวกจะผ่านออปโตแบบไตรแอก (ตัวที่ต่อแคโทดของไดโอดลงกราวนด์) ไปหาวงจรมินทิเกรเตอร์ เมื่อวงจรมินทิเกรเตอร์ได้อินพุทลบจะทำให้เอาต์พุทเพิ่มขึ้น

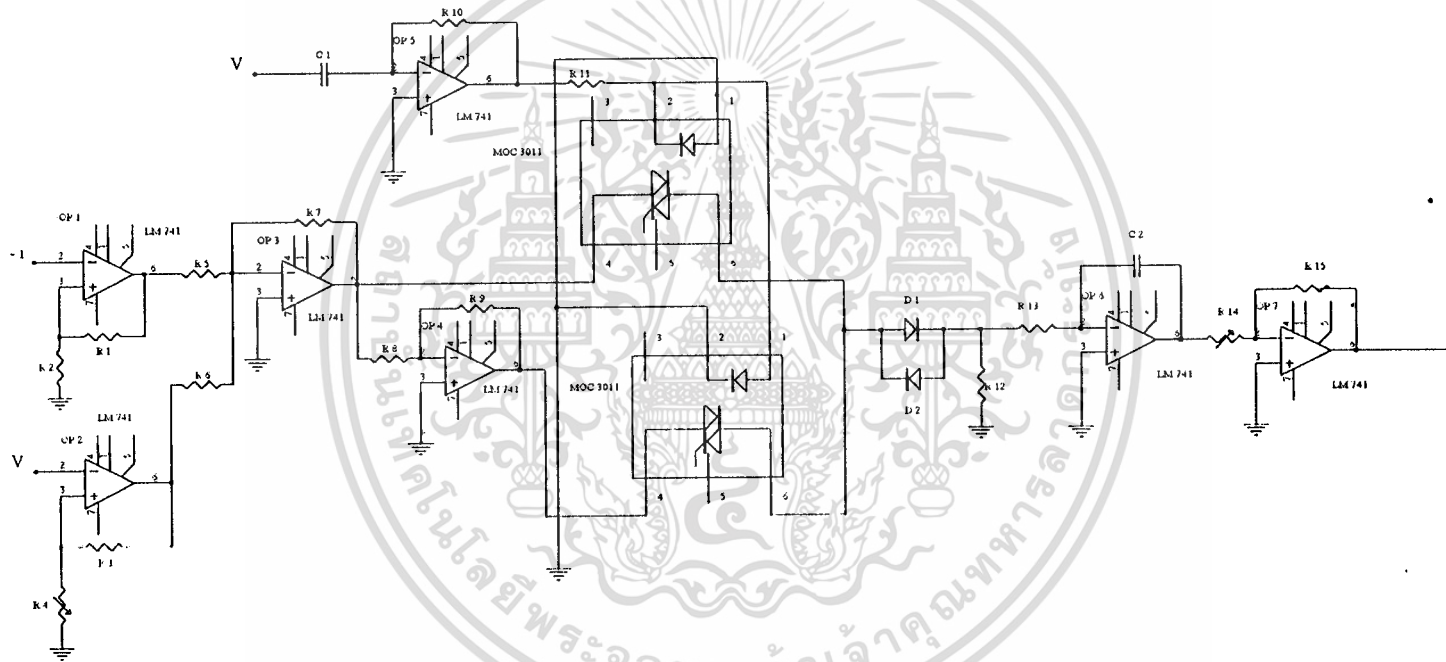
กรณีตกขาด และแรงดันกำลังเพิ่ม ผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นบวก วงจรบวกให้ผลเป็นลบ วงจรขยายกลับขั้วเป็นบวก วงจรดิฟเฟอเรนเชียลให้ผลเป็นลบ ดังนั้นแรงดันบวกของวงจรขยายกลับขั้วจะผ่านออปโตแบบไตรแอก ไปหาวงจรมินทิเกรเตอร์ เมื่อวงจรมินทิเกรเตอร์ได้อินพุทบวกจะทำให้เอาต์พุทลดลง

กรณีตกขาด และแรงดันกำลังลดลง ผลบวกของคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นลบ วงจรบวกให้ผลเป็นบวก วงจรขยายกลับขั้วเป็นลบ วงจรดิฟเฟอเรนเชียลให้ผลเป็นบวก ดังนั้นแรงดันบวกของวงจรบวกจะผ่านออปโตแบบไตรแอก ไปหาวงจรมินทิเกรเตอร์ เมื่อวงจรมินทิเกรเตอร์ได้อินพุทบวกจะทำให้เอาต์พุทลดลง

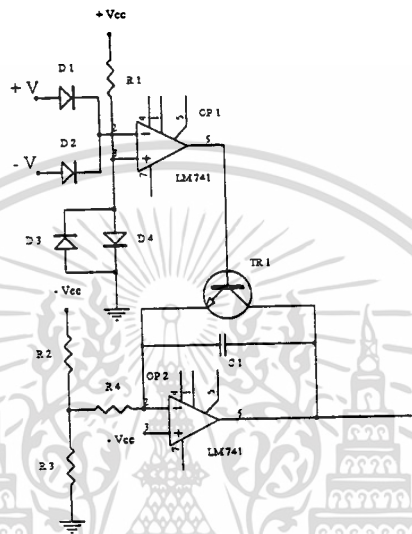
เมื่อเราได้สัญญาณเอาต์พุทแล้วต่อไปจะเป็นการนำไปตัดกับสัญญาณสามเหลี่ยม (แรมพ์) เพื่อที่จะได้จุดตัดซึ่งเป็นจุดกำเนิดสัญญาณทริก การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นเราจะใช้วงจรตามรูป 3.20

จากรูป 3.20 จะเห็นว่ามียออปแอมป์สองตัว ตัวล่างเป็นวงจรมินทิเกรเตอร์ สัญญาณแรมพ์จะมีค่าเริ่มเท่ากับแรงดันที่ป้อนทางขาอินเวอร์ต ดังนั้นจะพุ่งเป็นเส้นตรงด้วยความชัน (ความชันเท่ากับผลคูณของ RC ของวงจรมินทิเกรเตอร์กับ ค่าแรงดันที่ต่างกันระหว่างขาอินพุททั้งสอง)

ส่วนออปแอมป์อีกตัวหนึ่งเป็นตัวสร้างพัลส์สำหรับรีเซ็ตวงจรมินทิเกรเตอร์ โดยที่เมื่อแรงดันใกล้ ๆ ศูนย์ ( $\pm 0.7$  V) วงจรนี้ (ทำหน้าที่เปรียบเทียบ) จะส่งสัญญาณพัลส์บวกออกมา ทำให้สวิชต์ (ทรานซิสเตอร์ที่ต่อกับวงจรมินทิเกรเตอร์) ปิดวงจร ทำให้เอาต์พุทของวงจรมินทิเกรเตอร์เท่ากับอินพุทขาอินเวอร์ต



รูป 3.19 แสดงวงจรสร้างแรงดันกระแสตรง



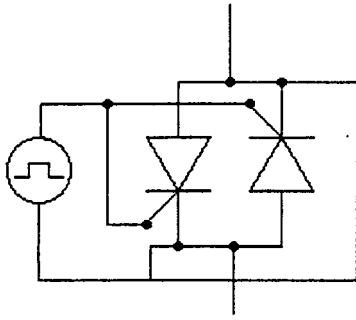
รูป 3.20 แสดงวงจรสร้างสัญญาณแรมพ์

หลังจากได้แรงดันแรมพ์กับแรงดันกระแสตรงแล้ว จะนำมาหาจุดตัดโดยจะใช้วงจรเปรียบเทียบ ที่จุดตัดจะให้สัญญาณเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ แล้วจึงนำไปเข้าอินพุทของไอซีหน่วงเวลา (ไทเมอร์ 555 (Timer 555)) (สัญญาณอินพุทของ ไทเมอร์ 555 จะทำงานที่ขอบขาลง) เพื่อทำเป็นสามเฟส

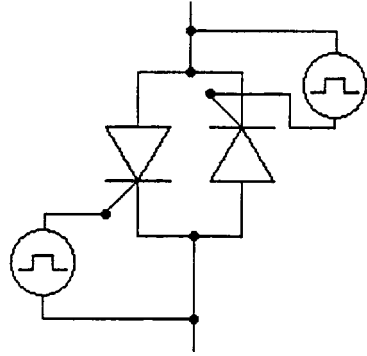
#### ข้อควรคำนึงถึงในวงจรทรานซิสเตอร์

เนื่องจากการทรานซิสเตอร์จะต้องวงจรที่ขับเคลื่อนกับขาเกต และขั้วลบกับขาแคโทด (ขา K) ในวงจรนี้ขาแคโทดบางขาจะต่อกับไฟ ดังนั้นถ้าเราต่อวงจรทรานซิสเตอร์เดียวกับ ไอซีฮับเบิลสองตัวจะทำให้เกิดการลัดวงจรกันระหว่างไฟสามเฟส หรือถ้าเราต่อวงจรทรานซิสเตอร์เดียวกับ ไอซีฮับเบิลสองตัวที่ต่อกลับหัวกันในไฟฟ้าเฟสเดียวกัน จะทำให้เกิดการลัดวงจรผ่านสายสัญญาณข้ามตัวไอซีฮับเบิล จึงเสมือนไม่มีการต่อไอซีฮับเบิลอยู่เลย ดังนั้นเราจะต้องสร้างวงจรขึ้นมาเป็นจำนวนเท่าๆ กับตัว ไอซีฮับเบิล ที่เราต้องการทรานซิสเตอร์ (ในที่นี้ คือ หกตัว (เฟสละสองตัว)) โดยที่ในวงจรทรานซิสเตอร์แต่ละวงจรจะต้องแยกกราวด์ต่างหากจากกัน ดังรูป 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. กระแสไม่ไหลผ่านเอสซีอาร์

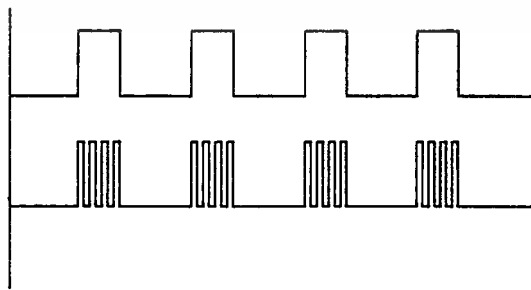


ข. วงจรที่สามารถทริกได้จริง

รูป 3.21 แสดงวงจรที่ใช้ทริกเอสซีอาร์

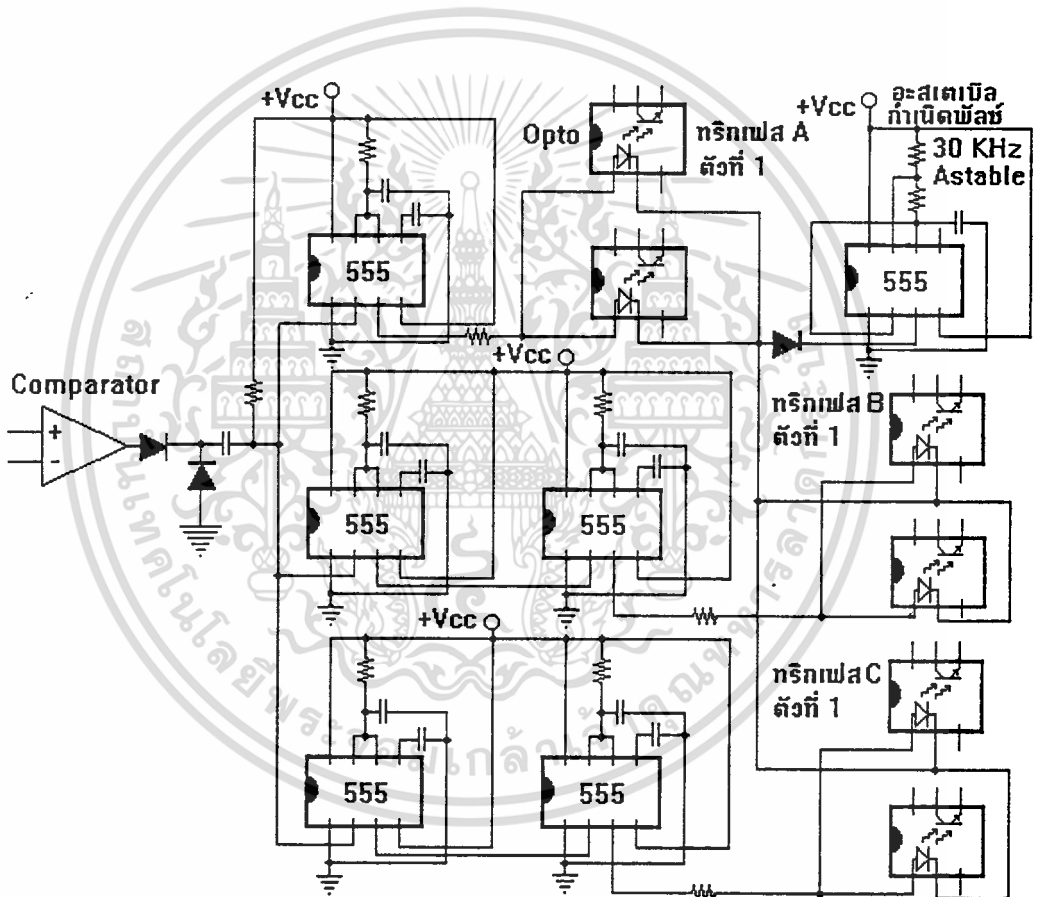
ข้อควรคำนึงอีกประการหนึ่ง ก็คือ ในการทริกเอสซีอาร์ นั้นการเพิ่มกระแสทริกอย่างรวดเร็วเป็นสิ่งจำเป็น ควรเพิ่มกระแสทริกอย่างรวดเร็วมีฉะนั้น อาจไม่เกิดการทริกขึ้น ถ้าสัญญาณทริกคร่อมอยู่ระหว่างจุดที่กระแสทริกอาจไม่เกิดการทริกขึ้น เนื่องจากการทริกจะเกิดตอนที่มีการเพิ่มของกระแสทริก เมื่อกระแสทริกจากครึ่งไซเคิลก่อนยังไม่หมดแต่มีการทริกเกิดขึ้นแล้วจะยังไม่เกิดการทริกเมื่อกระแสเป็นศูนย์พร้อมที่จะได้รับการทริกแล้วและสัญญาณทริกก็ยังอยู่แต่ไม่มีการเพิ่มของกระแสทริกจะทำให้ไม่สามารถทริกได้ถึงแม้จะจ่ายสัญญาณทริกก็ตาม ปัญหานี้อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อเราจ่าย โหลดอินดักทีฟเพราะมีการตามของกระแส เพื่อป้องกันปัญหานี้เราจะมี การเพิ่มความถี่ของสัญญาณทริก (คือ แทนที่เราจะทริกด้วยสัญญาณลูกเดียว เราจะทริกด้วยสัญญาณช่วงสั้น ๆ หลาย ๆ ลูก ) ความถี่ที่ใช้ประมาณ 30 กิโลเฮิรท์ (ควรให้ช่วงเวลาในการเพิ่มกระแสสั้น ๆ ประมาณสัก 1 ไมโครวินาที หรืออย่างน้อยมีการเพิ่มของแรงดันประมาณ 2 โวลต์ต่อไมโครวินาที (ตัวเลขนี้เป็นค่าประมาณจะใช้อย่างไรขึ้นอยู่กับลักษณะของงานนั้น ๆ )) ดังรูป 3.22

นอกจากนี้ยังมีข้อควรรู้อีกเช่น ขนาดของกระแสและแรงดันที่สามารถทริกเอสซีอาร์ได้ แต่จะไม่บอกกล่าวในที่นี้ผู้ที่สนใจสามารถหาอ่านได้ในหนังสือเกี่ยวกับ ไทริสเตอร์ทั่ว ๆ ไป



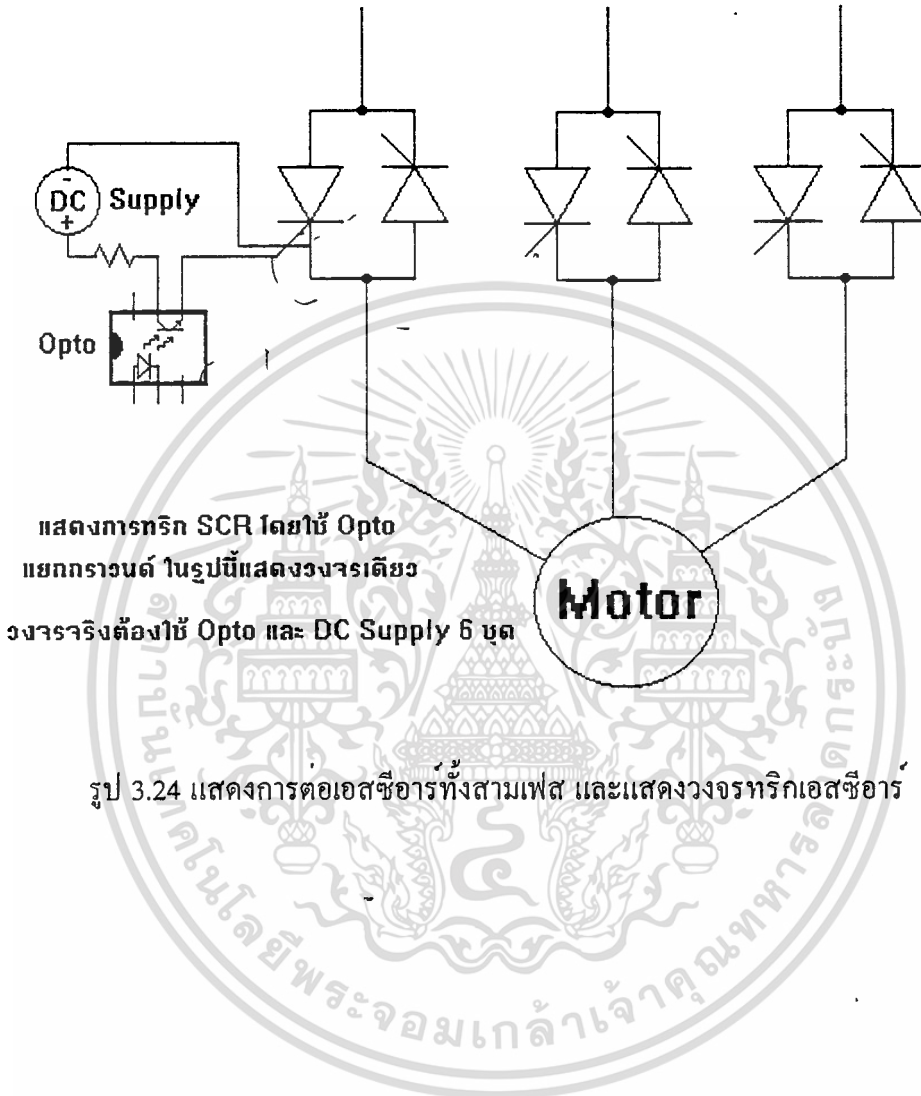
รูป 3.22 กราฟแสดงพัลส์ที่ใช้ทริกเอสซีอาร์ รูปล่างคือพัลส์ที่เพิ่มความถี่แล้ว

วงจรถริกเอสซีอาร์ที่ใช้ในงานนี้เป็นดังรูป 3.23 หลังจากได้สัญญาณจากรังจรเปรียบเทียบแล้วจะเข้าไอซีโทมเมอร์ 555 ซึ่งทำหน้าที่โมโนสเตเบิล ซึ่งสร้างสัญญาณทริกานานประมาณสามสิบลองศา (เฟส A) สำหรับเฟส B จะต้องเข้า โทมเมอร์ 555 หนึ่งเวลาไป 120 องศา ก่อนแล้วจึงเข้า โทมเมอร์ 555 อีกตัวที่ทำหน้าที่สร้างพัลซ่านานประมาณ 30 องศา ส่วนเฟส C จะ หนึ่งเวลา 60 องศา เมื่อได้สัญญาณทริกทริกทั้งสามเฟสแล้วแล้วจะผ่านตัวต้านทาน (เพื่อจำกัด กระแส) เข้าไดโอดของไอซีออปโตคานแอโนด ส่วนค่านแคโทดของไดโอดจะต่อเข้ากับวงจระสเตเบิลซึ่งสร้างพัลซความถี่สูง (30kHz)



รูป 3.23 แสดงวงจระโมโนสเตเบิลสำหรับจ่ายให้เฟสทั้งสาม พร้อมกับวงจระสเตเบิลเพิ่มความถี่ และวงจระแยกกราวนด์

จากวงจรควบคุมเราจะนำมาควบคุมเอสซีอาร์ โดยค่อเอสซีอาร์ ดังรูป 3.24

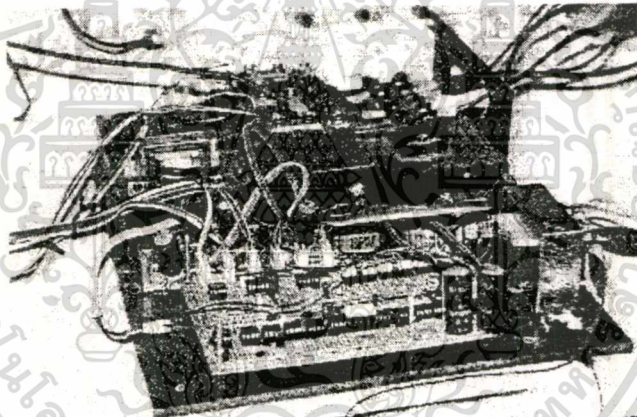


รูป 3.24 แสดงการต่อเอสซีอาร์ทั้งสามเฟส และแสดงวงจรทริกเอสซีอาร์

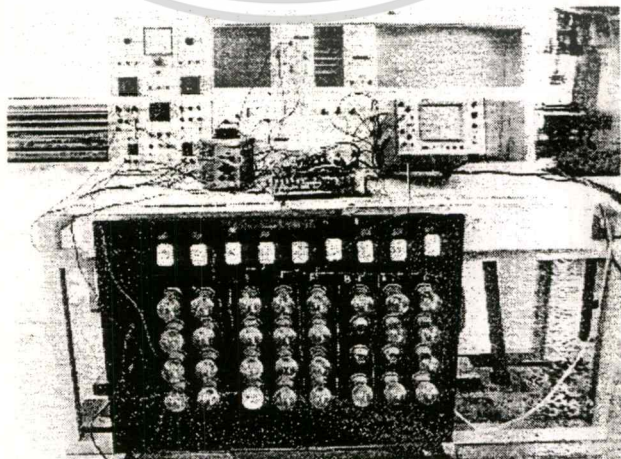
## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

เมื่อได้ทำการประกอบวงจรในส่วนต่างๆ ทั้งหมดแล้ว ไม่ว่าจะเป็นส่วนสร้างสัญญาณแรงดันกระแสดตรง ส่วนสร้างสัญญาณแรมพ์ วงจรโมโนสเตเบิล วงจรอะสเตเบิลเพิ่มความถี่ วงจรที่ใช้แยกกราวนด์ โดยจะนำส่วนต่างๆ ต่อเข้ากับชุดไมโครเอสซีอาร์ ซึ่งสัญญาณจะป้อนเข้าที่ขาเกตและแคโทดของชุดไมครูล โดยสัญญาณที่เข้าที่ขาเกตและแคโทดนี้จะต้องเรียงลำดับจาก  $0^\circ$ ,  $120^\circ$ , และ  $240^\circ$  ตามลำดับ สำหรับเฟส A, B และ C ซึ่งวงจรที่ได้จะนำลงบนแผ่นปริ้นซ์เอนกประสงค์ 1 แผ่น และชุดไมครูลของเอสซีอาร์ 3 เฟส วางอยู่บนแผ่นระบายความร้อน (Heat Sink) ดังรูป 4.1 และการต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ ดังรูป 4.2



รูป 4.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบ

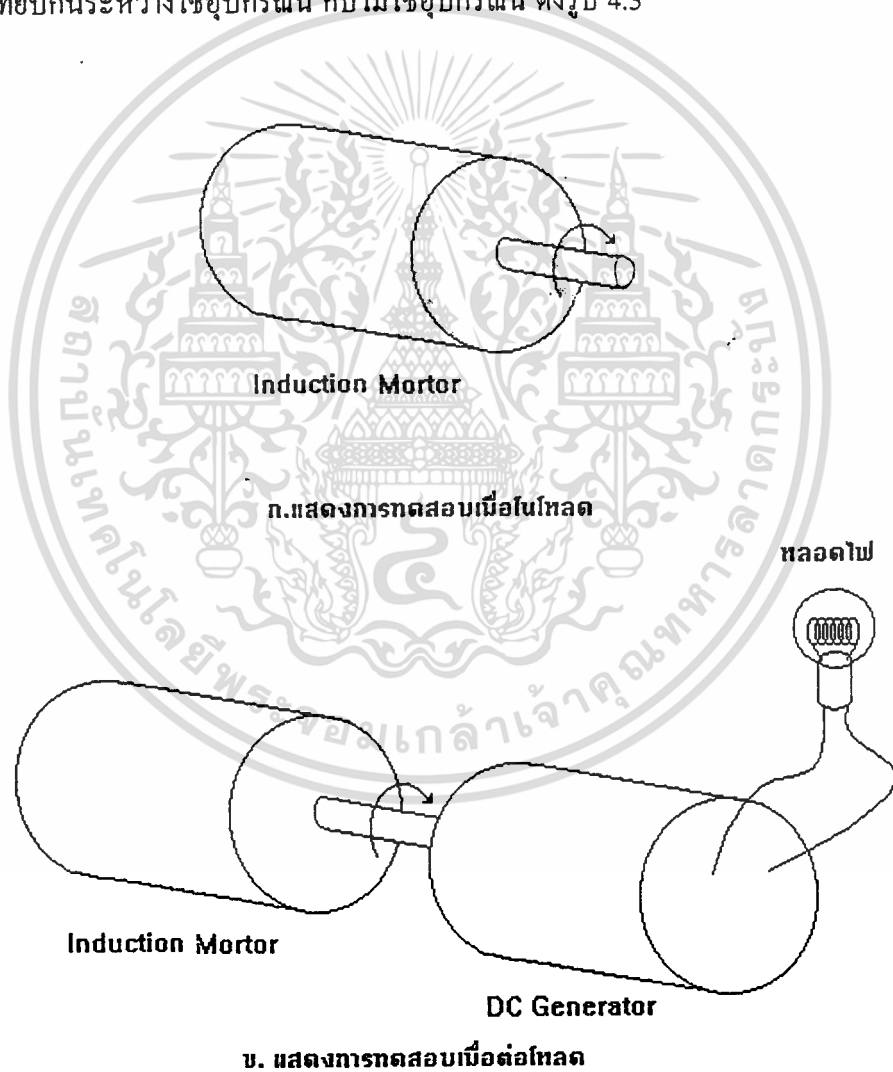


รูป 4.2 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 เงื่อนไขในการทดสอบ

เราจะทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์นี้ โดยการนำไปควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำที่จ่ายโหลดค่าต่างๆกัน โดยในการทดสอบจะให้มอเตอร์เหนี่ยวนำจ่ายโหลดเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) เพื่อความสะดวกในการปรับโหลดค่าต่างๆ โดยจะใช้หลอดไฟเป็นโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอีกทีหนึ่ง และจะปรับโหลดค่าต่างๆ โดยการใช้การเปิดปิดหลอดไฟจำนวนต่างๆ กัน แล้ววัดค่ากระแส และความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเปรียบเทียบกันระหว่างใช้อุปกรณ์นี้ กับไม่ใช้อุปกรณ์นี้ ดังรูป 4.3



รูป 4.3 แสดงการต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำในการทดสอบ

ซึ่งพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ คือ  $220 / 380 \text{ V } \Delta / Y$  ,  $13.5 / 7.9 \text{ A}$  ,  $3.2 \text{ Kilowatt}$  ,  
 $t_m = 1,420 \text{ rpm}$  ,  $50 \text{ Hertz}$  ,  $\text{COS } \theta = 0.75$

และพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คือ  $220 \text{ V}$  ,  $13.5 \text{ A}$  ,  $3.0 \text{ Kilowatt}$  ,  
 $t_r = 1,500 \text{ rpm}$ .

#### 4.2 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบที่ได้ คือ ค่ากระแสและความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยผลการทดสอบที่ได้จะแสดง ดังตาราง 4.1 จะเป็นผลการทดสอบเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์ และตาราง 4.2 จะเป็นผลการทดสอบเมื่อใช้อุปกรณ์ ส่วนตาราง 4.3 จะเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างเมื่อใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ในการทดสอบ

แรงดันดีซี ที่จ่ายให้โหลดไฟ (Volt)	กำลังที่จ่าย ให้โหลดไฟ (Watt)	กระแส (Ampere)	ความเร็วรอบ (rpm.)
-	No Load	5.7	1,496
-	0	6.0	1,491
220	400	6.2	1,478
220	800	6.3	1,468
220	1,200	6.4	1,454
220	1,600	6.7	1,441
220	2,000	6.9	1,427
220	2,400	7.4	1,414
220	2,800	7.9	1,398

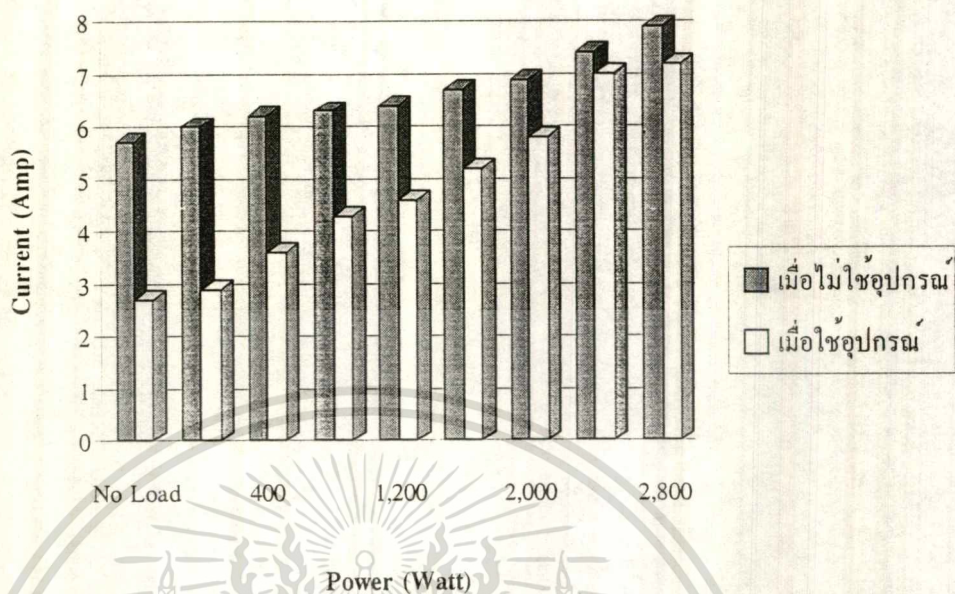
ตาราง 4.1 แสดงผลการทดสอบเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์

แรงดันดีซี ที่จ่ายให้หลอดไฟ (Volt)	กำลังที่จ่าย ให้หลอดไฟ (Watt)	กระแส (Ampere)	ความเร็วรอบ (rpm.)
-	No Load	2.7	1,492
-	0	2.9	1,488
220	400	3.6	1,475
220	800	4.3	1,460
220	1,200	4.6	1,448
220	1,600	5.2	1,436
220	2,000	5.8	1,423
220	2,400	7	1,411
220	2,800	7.2	1,398

ตาราง 4.2 แสดงผลการทดสอบเมื่อใช้อุปกรณ์

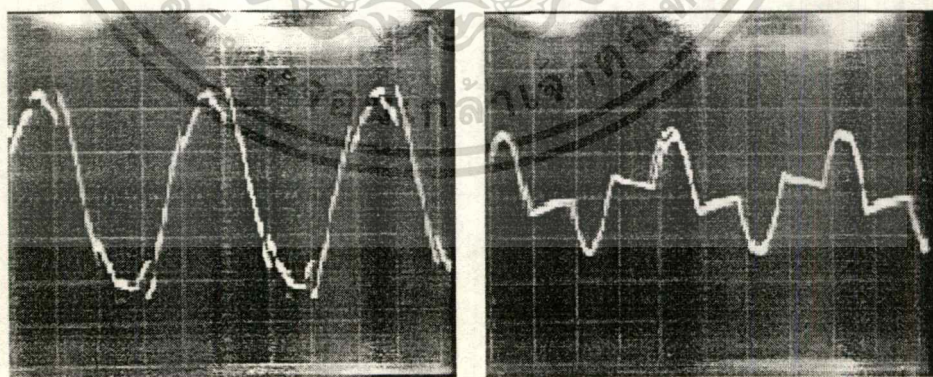
กำลังที่จ่าย ให้หลอดไฟ (Watt)	กระแส เมื่อไม่ใช้อุปกรณ์ ( Ampere)	กระแส เมื่อใช้อุปกรณ์ (Ampere)	% ความแตกต่าง ของกระแส	ความเร็วรอบ เมื่อไม่ใช้อุปกรณ์ (rpm.)	ความเร็วรอบ เมื่อใช้อุปกรณ์ (rpm.)	% ความแตกต่าง ของความเร็วรอบ
No Load	5.7	2.7	53%	1,496	1,492	0.27%
0	6.0	2.9	52%	1,491	1,488	0.20%
400	6.2	3.6	42%	1,478	1,475	0.20%
800	6.3	4.3	32%	1,468	1,460	0.54%
1,200	6.4	4.6	28%	1,454	1,448	0.41%
1,600	6.7	5.2	22%	1,441	1,436	0.35%
2,000	6.9	5.8	16%	1,427	1,423	0.28%
2,400	7.4	7.0	5%	1,414	1,411	0.21%
2,800	7.9	7.2	9%	1,398	1,398	0.00%

ตาราง 4.3 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ในการทดสอบ

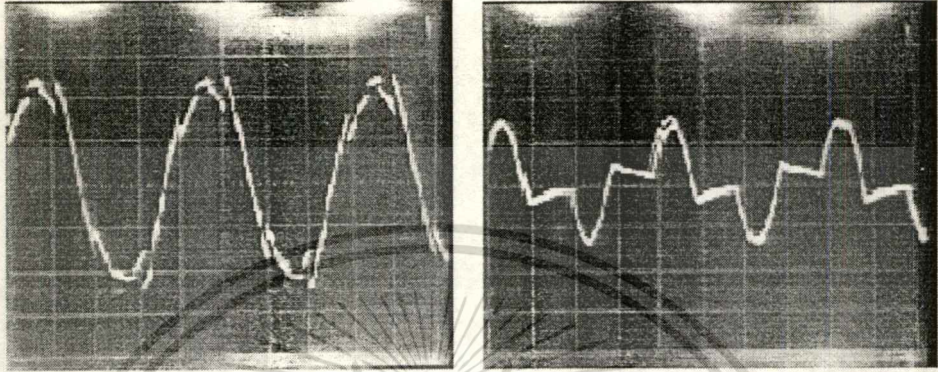


รูป 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสเมื่อใช้และไม่ใช้อุปกรณ์ในการทดสอบ

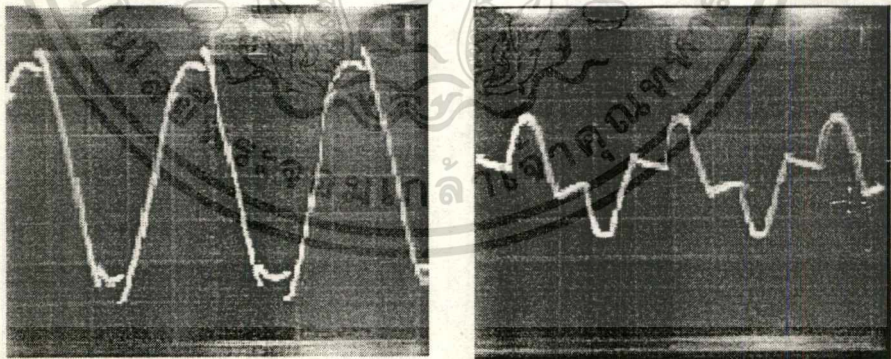
ซึ่งเมื่อใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จับสัญญาณกระแส และแรงดันที่เข้าขด  
 สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เฟส A จะได้ดังรูป



รูป 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A ขณะโนโหลด

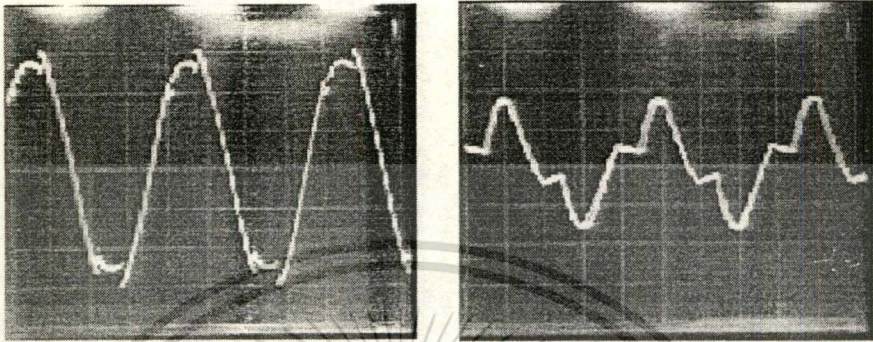


รูป 4.6 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโวลต์หลอดไฟ 0 โวลต์

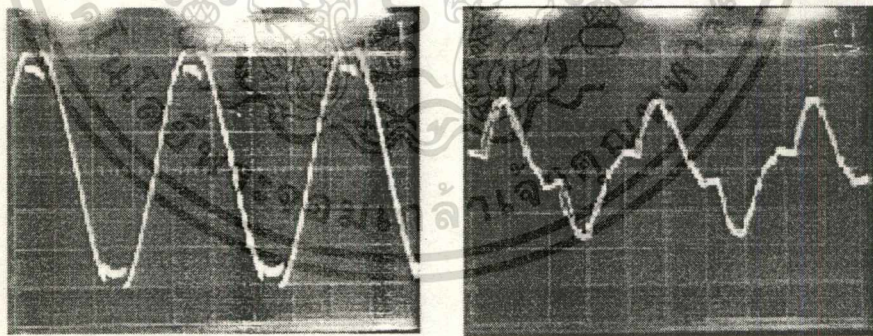


รูป 4.7 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโวลต์หลอดไฟ 400 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

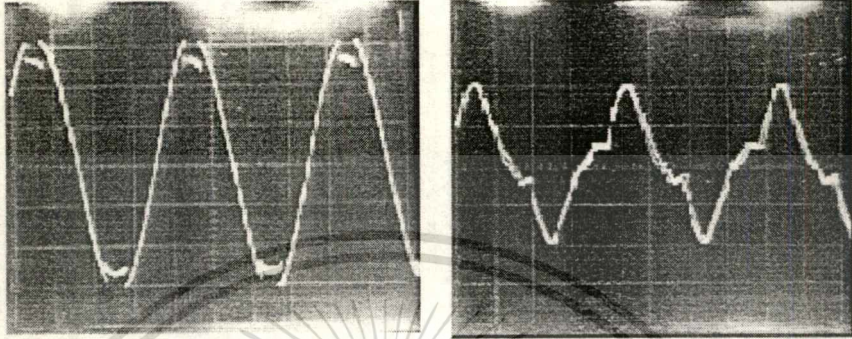


รูป 4.8 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 800 วัตต์

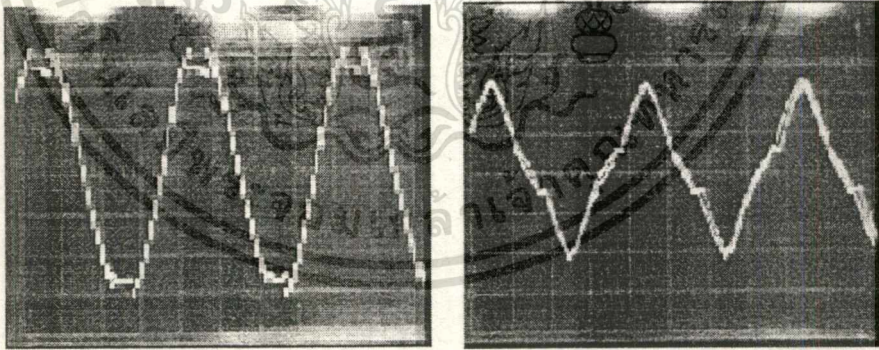


รูป 4.9 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 1,200 วัตต์

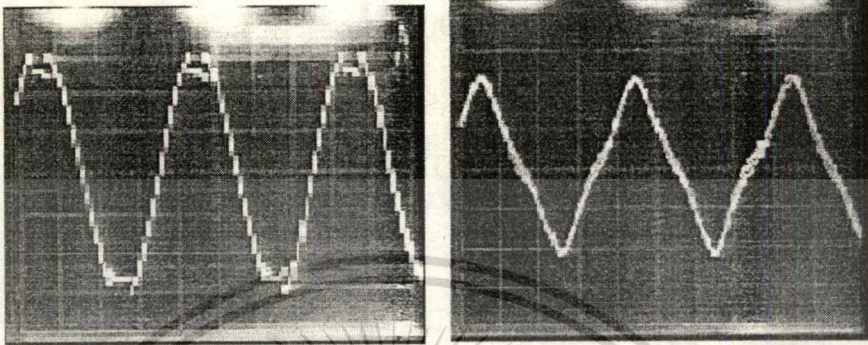
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



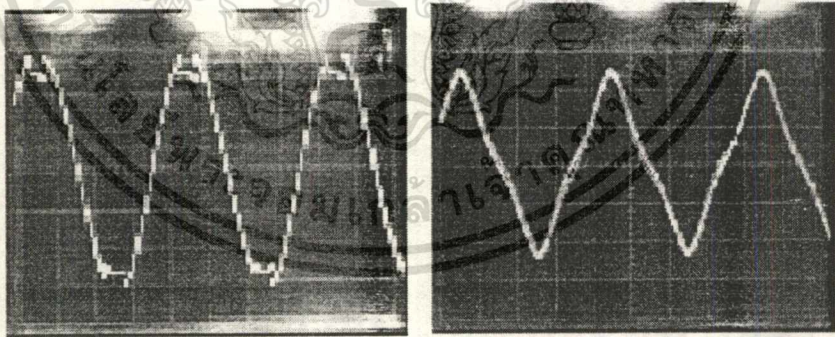
รูป 4.10 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 1,600 วัตต์



รูป 4.11 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 2,000 วัตต์



รูป 4.12 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 2,400 วัตต์



รูป 4.13 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสที่ขดสเตเตอร์เฟส A  
ขณะจ่ายโหลดหลอดไฟ 2,800 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการทดสอบที่ได้จาก ตาราง 4.1 - 4.2 สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของการใช้  
อุปกรณ์นี้ ได้ดังนี้

#### ข้อดีเมื่อใช้อุปกรณ์

1. ช่วยลดกระแสขณะมอเตอร์ โนโหลด หรือ โหลด
2. ช่วยทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ดีขึ้น (ในที่นี้ไม่ได้วัดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่แท้จริง เนื่องจากไม่มี  
อุปกรณ์ที่เหมาะสมแต่คิดว่าค่าเพาเวอร์น่าจะดีขึ้น เนื่องจากการที่เราจ่ายแรงดันให้มอเตอร์ลดลงจึง  
ทำให้ความเร็วมอเตอร์ขณะ โนโหลดหรือขณะ โหลดลดลง ดังนั้นจะทำให้มอเตอร์มีค่าความ  
ต้านทานเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องคำนึงถึงฮาร์โมนิกส์ด้วย เนื่องจากคลื่นความถี่สูงของฮาร์โม  
นิกส์จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำตัวเดียวกันมีค่ารีแอกแตนซ์เพิ่มขึ้น)
3. ช่วยให้มอเตอร์มีความเร็วรอบคงที่ขึ้น
4. ช่วยลดกระแสขณะสตาร์ทลง

#### ข้อเสียเมื่อใช้อุปกรณ์

1. ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์
2. เกิดความสูญเสียในตัวเอสซีอาร์

จากข้อดีข้อเสียดังกล่าวข้างต้น สามารถที่จะสรุปได้ว่ามอเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้งานกับ  
อุปกรณ์นี้ คือ มอเตอร์ที่มักจะใช้งานในสถานะ โนโหลด หรือ โหลดเป็นประจํา ส่วนมอเตอร์ที่  
ใช้งานในสถานะโหลดตลอดเวลาไม่ควรใช้อุปกรณ์นี้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto Coupler)

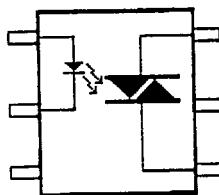
คัปปลิงเป็นตัวเก็บประจุที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าเป็นตัวกลางส่งผ่าน เป็นแบบที่ใช้งานที่สุด การแยกส่วนหรือการ Isolation ต่ำ เหมาะสำหรับงานแรงดันต่ำ สำหรับหม้อแปลงที่ใช้เส้นแรงแม่เหล็กเป็นตัวกลาง แต่การออกแบบให้ได้ตามที่ต้องการนั้นยาก อีกทั้งขนาดยังเทอะทะน้ำหนักมาก แต่ข้อดีของมันก็มีอยู่หลายประการ ดังนี้

1. การ Isolation สูงมาก
2. ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุท และเอาต์พุทเป็นเชิงเส้นดี
3. สามารถใช้ร่วมกับทรานซิสเตอร์ , ออปแอมป์ และลอจิกเซอร์กิตได้
4. ความเร็วสูงใช้คัปปลิงสัญญาณความถี่สูงได้
5. อายุการใช้งานนาน
6. ทนต่อการกระทบกระเทือนได้ดี
7. อัตราการส่งผ่านกระแสสูง

ออปโตคัปเปิลเลอร์ใช้ลำแสงอินฟราเรดเป็นตัวกลางส่งผ่านสัญญาณจากวงจรหนึ่ง ไปยังวงจรอีกส่วนหนึ่ง โดยไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้าถึงกันเลย บางครั้งจะเรียกอุปกรณ์พวกนี้ว่า โฟตอนคัปเปิลเลอร์ (Photon Coupler) หรือ ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator) ส่วนประกอบของออปโตคัปเปิลเลอร์มีสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นตัวกำเนิดแสงอินฟราเรด ซึ่งสามารถใช้สัญญาณใดๆ ควบคุมความเข้มแสง (โดยการควบคุมกระแสที่ผ่านตัวมัน) เป็นส่วนอินพุท ส่วนที่สองเป็นตัวตรวจจับหรือรับความเข้มแสง เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามความเข้มแสงที่ได้รับเป็นส่วนทางด้านเอาต์พุททั้งตัวส่งและตัวรับจะบรรจุในภาชนะที่ปิดมิดชิด แบบต่างๆ ของออปโตคัปเปิลเลอร์ เช่น เบอร์ 4N26 , 4N28 ที่เอาต์พุทเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ ตัวเดียว และเบอร์ MOC 3020 ที่เอาต์พุทเป็นไทรแอก ใช้ควบคุมไฟสลับ 220 โวลต์ได้เลย เป็นต้น

### ออปโตคัปเปิลเลอร์แบบไทรแอก

ออปโตคัปเปิลเลอร์จะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบดินตะขาบ (Dual in Line) พลาสติกแบบไอซีทั่วๆ ไป มี 6 ขา ส่วนของตัวส่งและตัวรับจะแยกออกจากชิกขาคนละข้าง ทั้งนี้เพื่อทำการ Isolation เกิดได้มากที่สุด



### แสดงออปโตคัปเปิลเลอร์แบบตัวถังดินตะขาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM741 Operational Amplifier

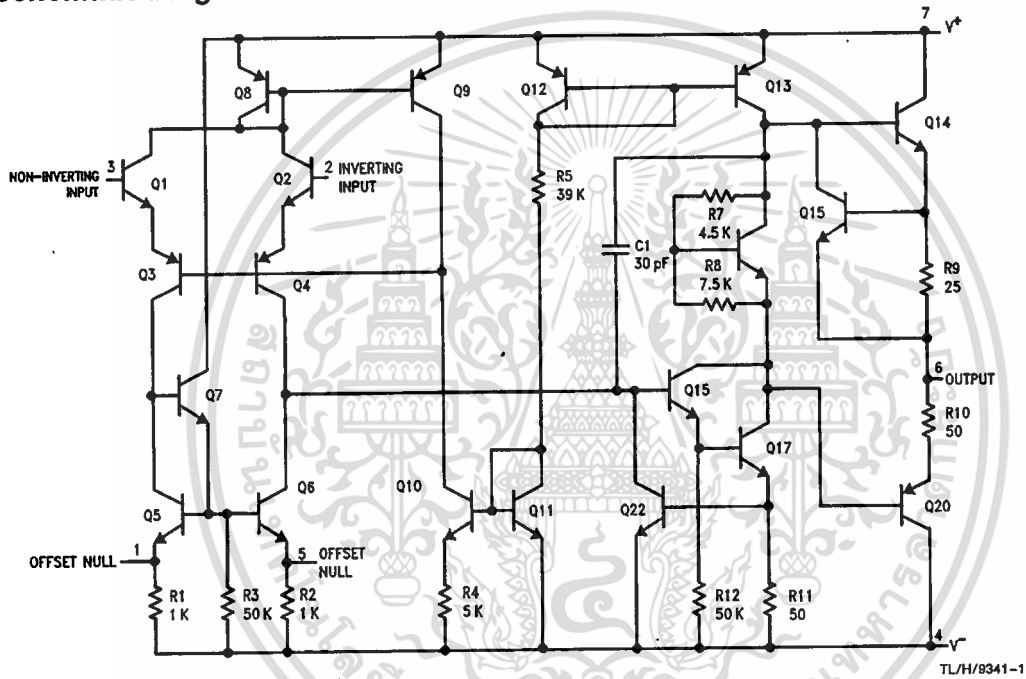
## General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

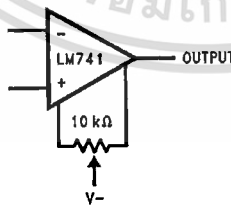
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

## Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V

## Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M $\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	50				50	200		20	200	V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega,$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	32									V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}, V_O = \pm 2\text{V}$	10				25			15		V/mV V/mV

## Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 16$ $\pm 15$									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10 10	25	35 40		25			25		mA mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega, V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		$\mu\text{s}$ %
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ $\mu\text{s}$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW mW
LM741A	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

**Note 1:** For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_J$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

**Note 2:** For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

**Note 3:** Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .

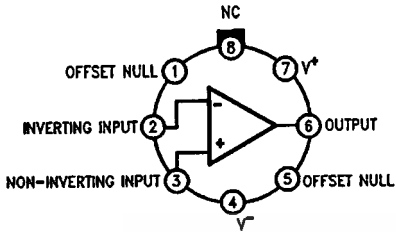
**Note 4:** Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time( $\mu\text{s}$ ).

**Note 5:** For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

**Note 6:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

# Connection Diagrams

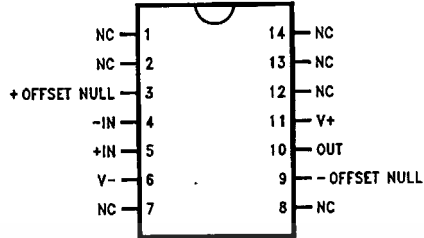
## Metal Can Package



TL/H/8341-2

Order Number LM741H, LM741H/883\*,  
LM741AH/883 or LM741CH  
See NS Package Number H08C

## Ceramic Dual-In-Line Package



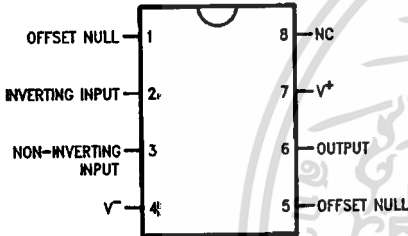
TL/H/8341-5

Order Number LM741J-14/883\*, LM741AJ-14/883\*\*  
See NS Package Number J14A

\*also available per JM38510/10101

\*\*also available per JM38510/10102

## Dual-In-Line or S.O. Package



TL/H/8341-3

Order Number LM741J, LM741J/883,  
LM741CM, LM741CN or LM741EN  
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

## Ceramic Flatpak



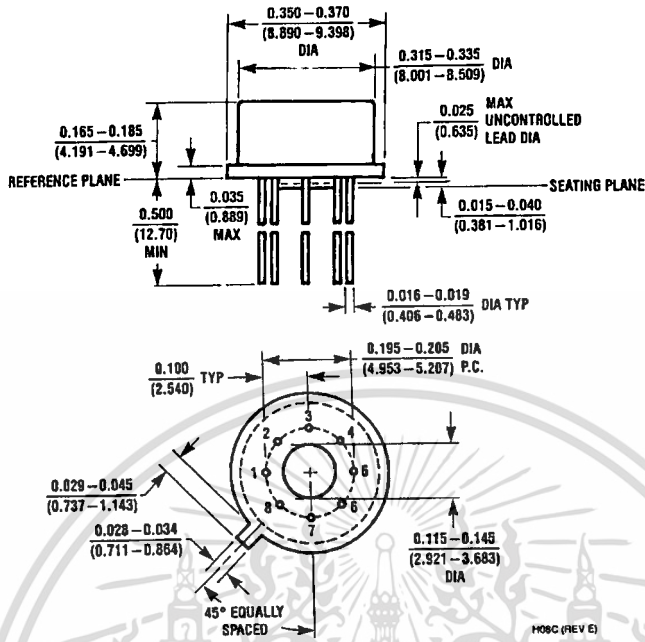
TL/H/8341-6

Order Number LM741W/883  
See NS Package Number W10A

\*LM741H is available per JM38510/10101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

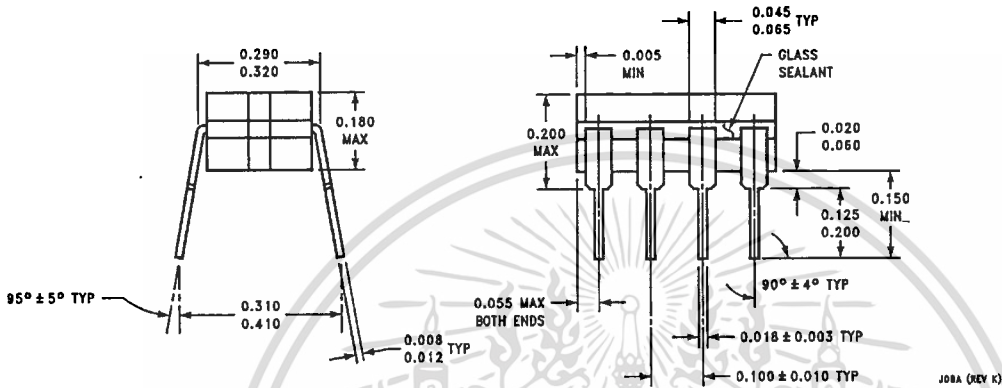
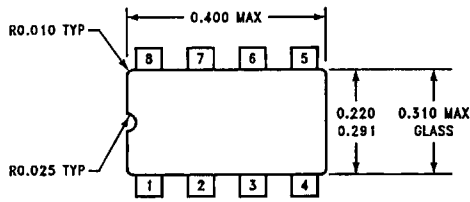
**Physical Dimensions** inches (millimeters)



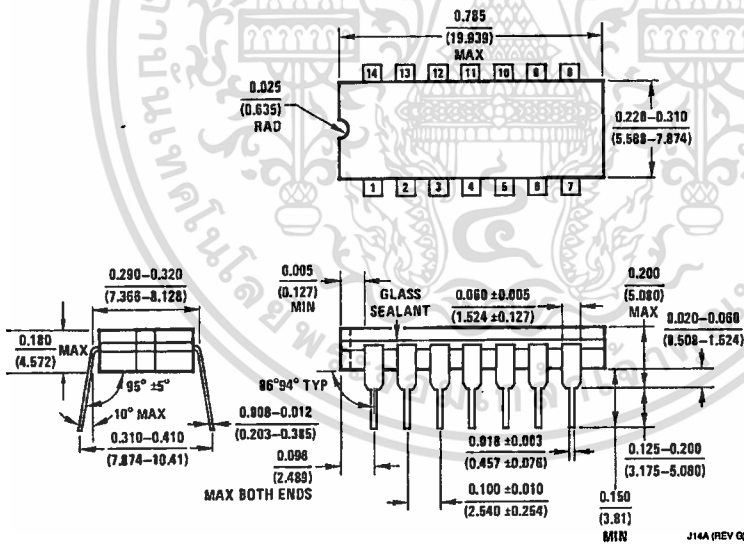
Metal Can Package (H)  
 Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741CH or LM741EH  
 NS Package Number H08C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



**Ceramic Dual-In-Line Package (J)**  
**Order Number LM741CJ or LM741J/883**  
**NS Package Number J08A**

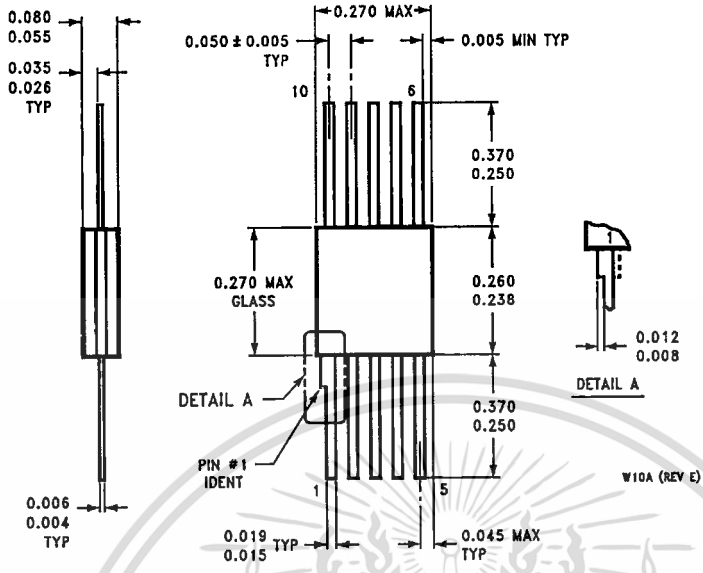


**Ceramic Dual-In-Line Package (J)**  
**Order Number LM741J-14/883 or LM741AJ-14/883**  
**NS Package Number J14A**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)




**10-Lead Ceramic Flatpak (W)  
Order Number LM741W/883  
NS Package Number W10A**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

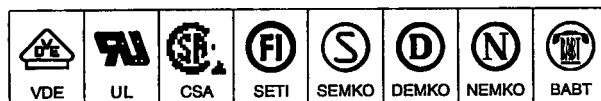
 <p><b>National Semiconductor Corporation</b> 1111 West Bardin Road Arlington, TX 78017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p>	<p><b>National Semiconductor Europe</b> Fax: (+49) 0-180-530 85 88 Email: cnjwge@levm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p>	<p><b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b> 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2738-9860</p>	<p><b>National Semiconductor Japan Ltd.</b> Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p>
---	--	---	---

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Global Optoisolator™



# 6-Pin DIP Optoisolators Darlington Output

The 4N29/A, 4N30, 4N31, 4N32(1) and 4N33(1) devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon photodarlington detector.

This series is designed for use in applications requiring high collector output currents at lower input currents.

- Higher Sensitivity to Low Input Drive Current
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- **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.**

### Applications

- Low Power Logic Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- Telecommunications Equipment
- Portable Electronics
- Solid State Relays

### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

#### INPUT LED

Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	3	Volts
Forward Current — Continuous	I <sub>F</sub>	60	mA
LED Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	120 1.41	mW mW/°C

#### OUTPUT DETECTOR

Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V <sub>ECO</sub>	5	Volts
Collector-Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	30	Volts
Collector Current — Continuous	I <sub>C</sub>	150	mA
Detector Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	150 1.76	mW mW/°C

#### TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage <sup>(2)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V <sub>ISO</sub>	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	250 2.94	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(3)</sup>	T <sub>A</sub>	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range <sup>(3)</sup>	T <sub>stg</sub>	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T <sub>L</sub>	260	°C

1. Difference in 4N32 and 4N33 is JEDEC Registration for VISO only. All Motorola 6-Pin devices exceed JEDEC specification and are 7500 Vac(pk). The same applies for 4N29 and 4N30.
2. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
3. 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.

Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

**4N29**

**4N29A**

**4N30\***

[CTR = 100% Min]

**4N31**

[CTR = 50% Min]

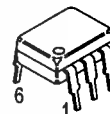
**4N32\***

**4N33 \***

[CTR = 500% Min]

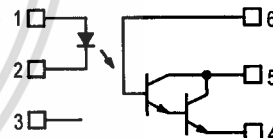
\*Motorola Preferred Devices

### STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

### SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
- LED CATHODE
- N.C.
- EMITTER
- COLLECTOR
- BASE



# 4N29 4N29A 4N30 4N31 4N32 4N33

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

Characteristic	Symbol	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit	
<b>INPUT LED</b>						
*Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ M ohms}$ )	$I_R$	—	0.05	100	$\mu\text{A}$	
*Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.34	1.5	Volts	
Capacitance ( $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	C	—	1.8	—	pF	
<b>OUTPUT DETECTOR (<math>T_A = 25^\circ\text{C}</math> and <math>I_F = 0</math>, unless otherwise noted)</b>						
*Collector–Emitter Dark Current ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ , Base Open)	$I_{CEO}$	—	—	100	nA	
*Collector–Base Breakdown Voltage ( $I_C = 100\ \mu\text{A}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	30	—	—	Volts	
*Collector–Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 100\ \mu\text{A}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	30	—	—	Volts	
*Emitter–Collector Breakdown Voltage ( $I_E = 100\ \mu\text{A}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)ECO}$	5	—	—	Volts	
DC Current Gain ( $V_{CE} = 5\text{ V}$ , $I_C = 500\ \mu\text{A}$ )	$h_{FE}$	—	16K	—	—	
<b>COUPLED (<math>T_A = 25^\circ\text{C}</math> unless otherwise noted)</b>						
*Collector Output Current <sup>(3)</sup> ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ )	4N32, 4N33 4N29, 4N30 4N31	$I_C$ (CTR) <sup>(2)</sup>	50 (500) 10 (100) 5 (50)	— — —	— — —	mA (%)
Isolation Surge Voltage <sup>(4,5)</sup> (60 Hz ac Peak, 1 Second)	4N29/A, 4N30, 31, 32, 33 *4N29, 4N32 *4N30, 4N31, 4N33	$V_{ISO}$	7500 2500 1500	— — —	— — —	Vac(pk)
Isolation Resistance <sup>(4)</sup> ( $V = 500\text{ V}$ )		$R_{ISO}$	—	$10^{11}$	—	Ohms
*Collector–Emitter Saturation Voltage <sup>(3)</sup> ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $I_F = 8\text{ mA}$ )	4N31 4N29, 4N30, 4N32, 4N33	$V_{CE(sat)}$	— —	— —	1.2 1	Volts
Isolation Capacitance <sup>(4)</sup> ( $V = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )		$C_{ISO}$	—	0.2	—	pF
Turn–On Time <sup>(6)</sup> ( $I_C = 50\text{ mA}$ , $I_F = 200\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ )		$t_{on}$	—	0.6	5	$\mu\text{s}$
Turn–Off Time <sup>(6)</sup> ( $I_C = 50\text{ mA}$ , $I_F = 200\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ )	4N29, 30, 31 4N32, 33	$t_{off}$	— —	17 45	40 100	$\mu\text{s}$

\* Indicates JEDEC Registered Data. All Motorola 6-pin devices have  $V_{ISO}$  rating of 7500 Vac(pk).

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. Current Transfer Ratio (CTR) =  $I_C/I_F \times 100\%$ .
3. Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ .
4. For this test, Pins 1 and 2 are common and Pins 4, 5 and 6 are common.
5. Isolation Surge Voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating.
6. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TYPICAL CHARACTERISTICS

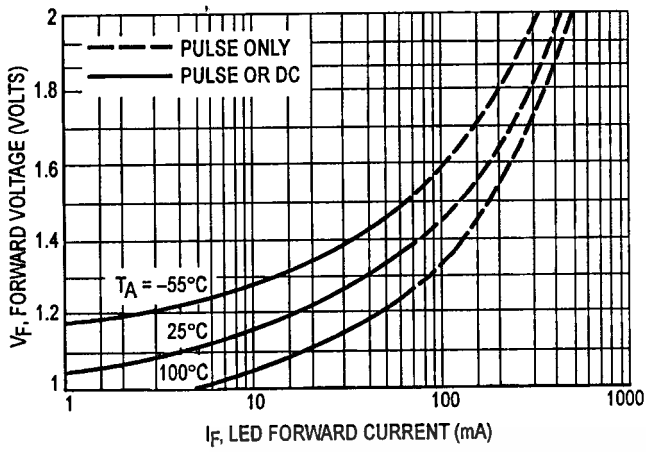


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

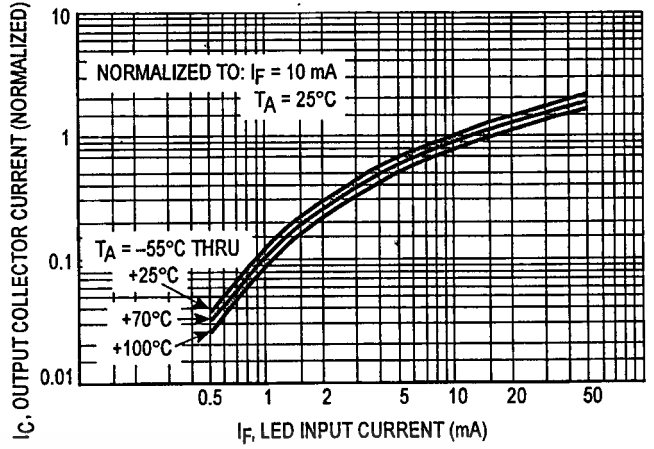


Figure 2. Output Current versus Input Current

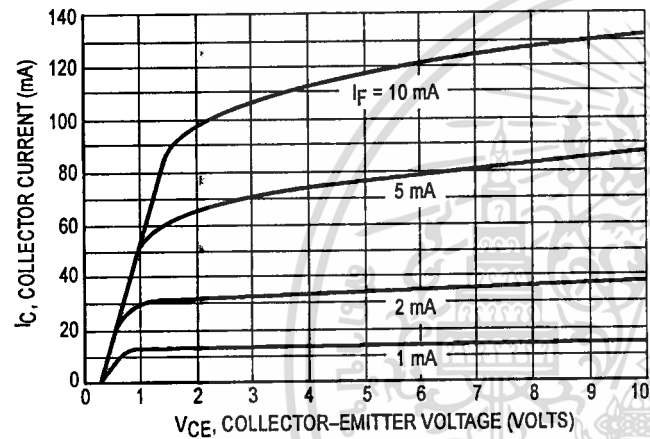


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

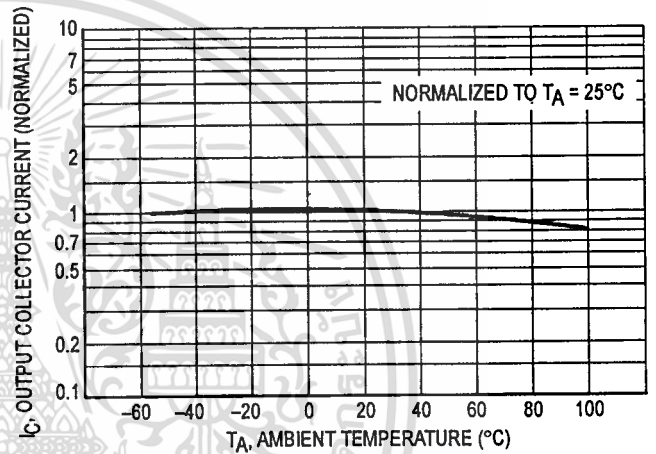


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

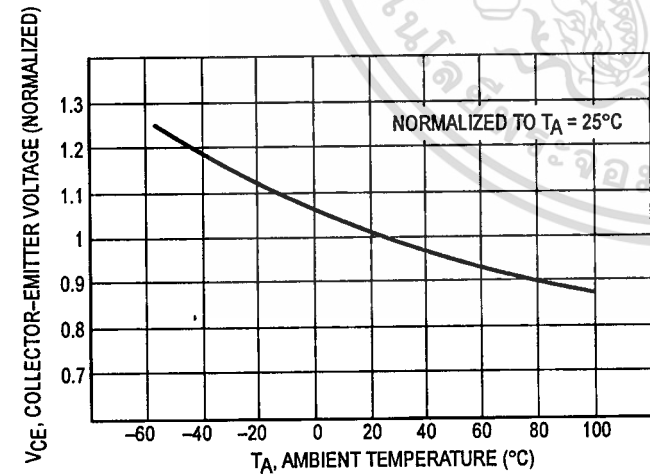


Figure 5. Collector-Emitter Voltage versus Ambient Temperature

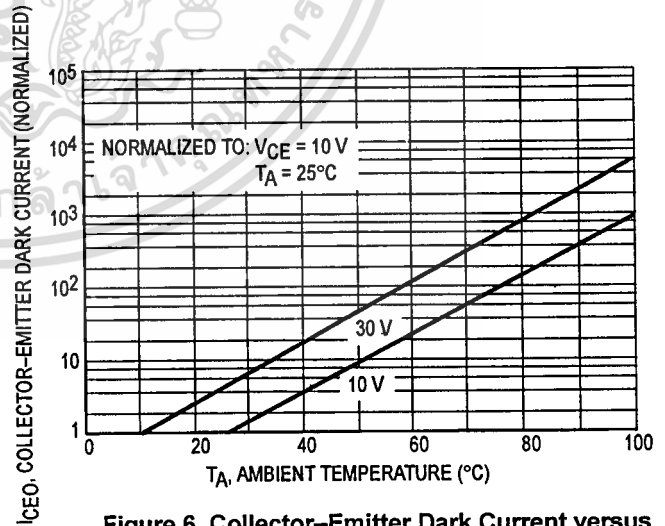
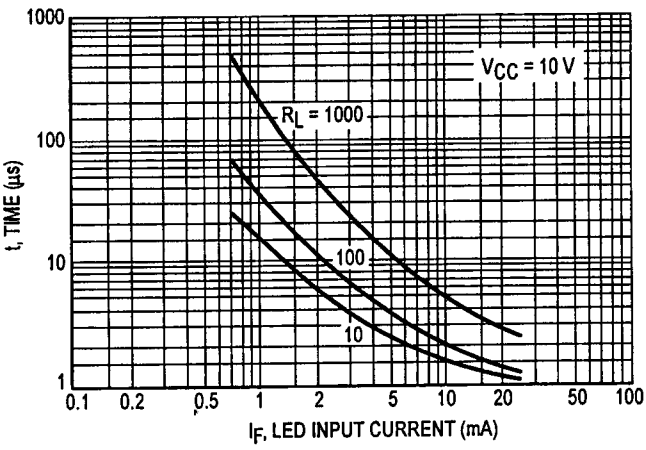
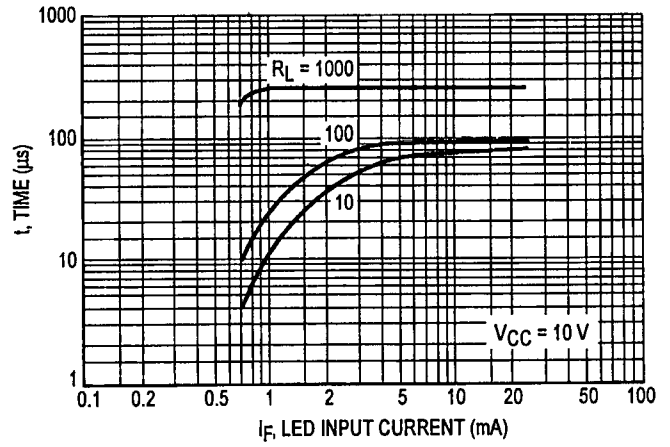


Figure 6. Collector-Emitter Dark Current versus Ambient Temperature

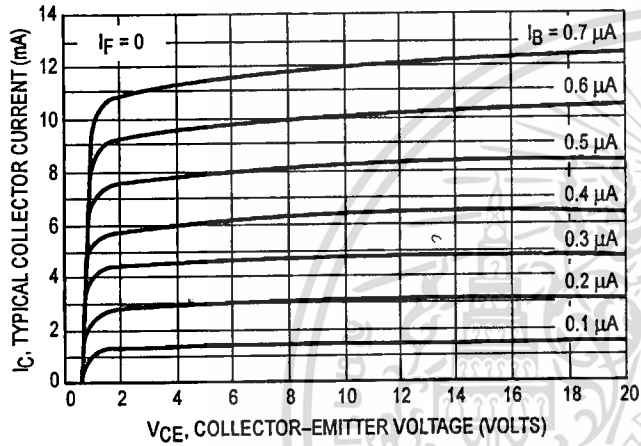
**4N29 4N29A 4N30 4N31 4N32 4N33**



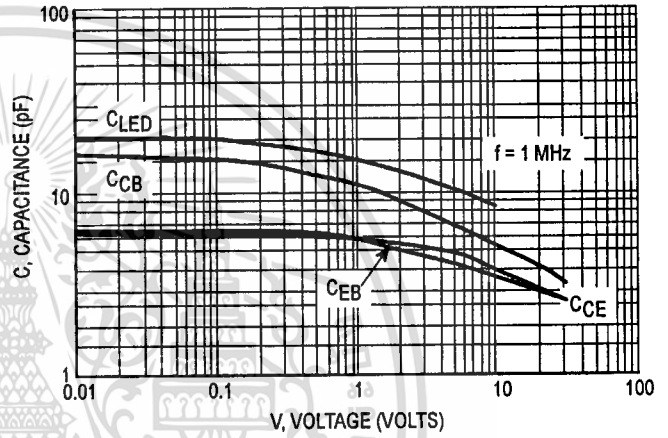
**Figure 7. Turn-On Switching Times**



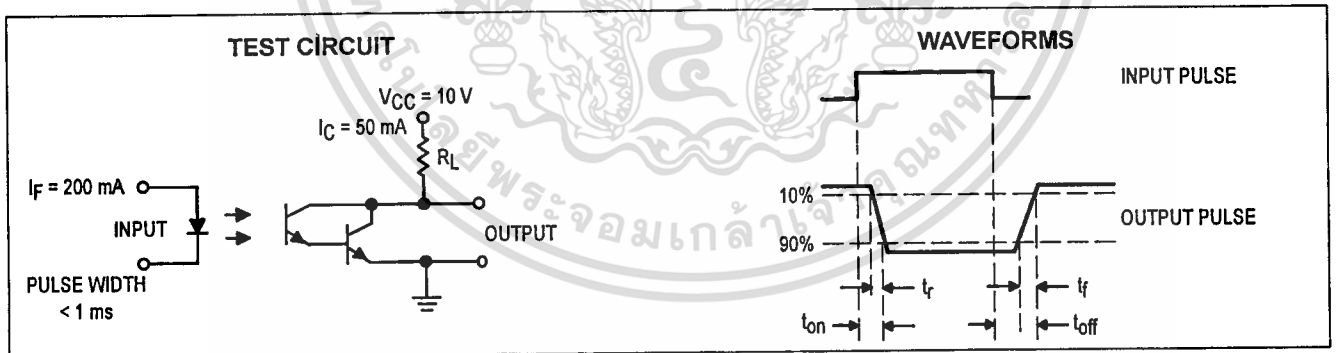
**Figure 8. Turn-Off Switching Times**



**Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)**



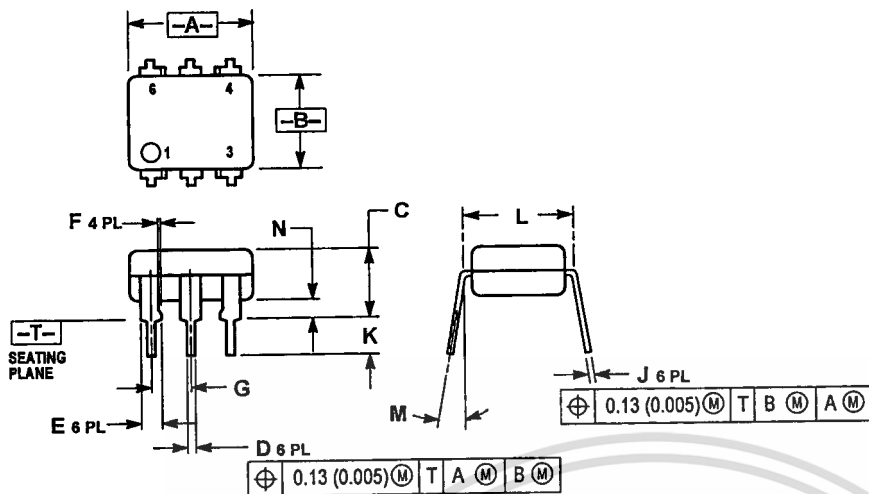
**Figure 10. Capacitances versus Voltage**



**Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PACKAGE DIMENSIONS

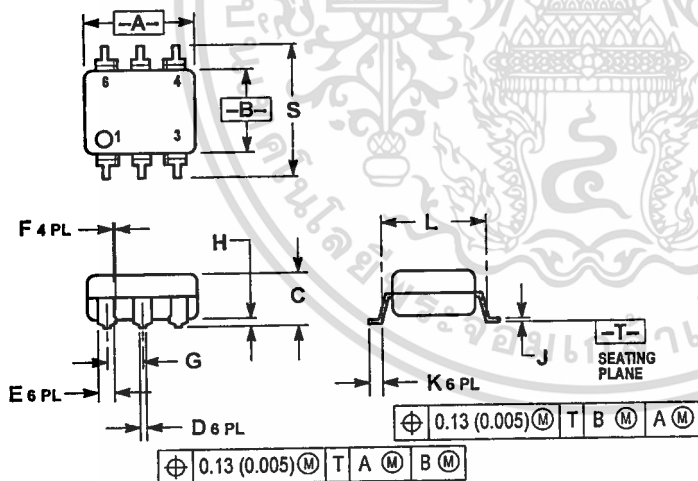


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.015	0.100	0.38	2.54

- STYLE 1:
- PIN 1. ANODE
  - CATHODE
  - NC
  - EMITTER
  - COLLECTOR
  - BASE

CASE 730A-04  
ISSUE G



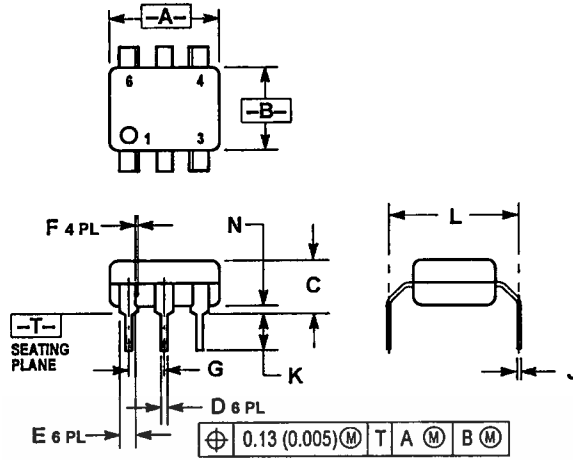
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.020	0.025	0.51	0.63
J	0.008	0.012	0.20	0.30
K	0.006	0.035	0.16	0.88
L	0.320 BSC		8.13 BSC	
S	0.332	0.390	8.43	9.90

\*Consult factory for leadform option availability

CASE 730C-04  
ISSUE D

4N29 4N29A 4N30 4N31 4N32 4N33

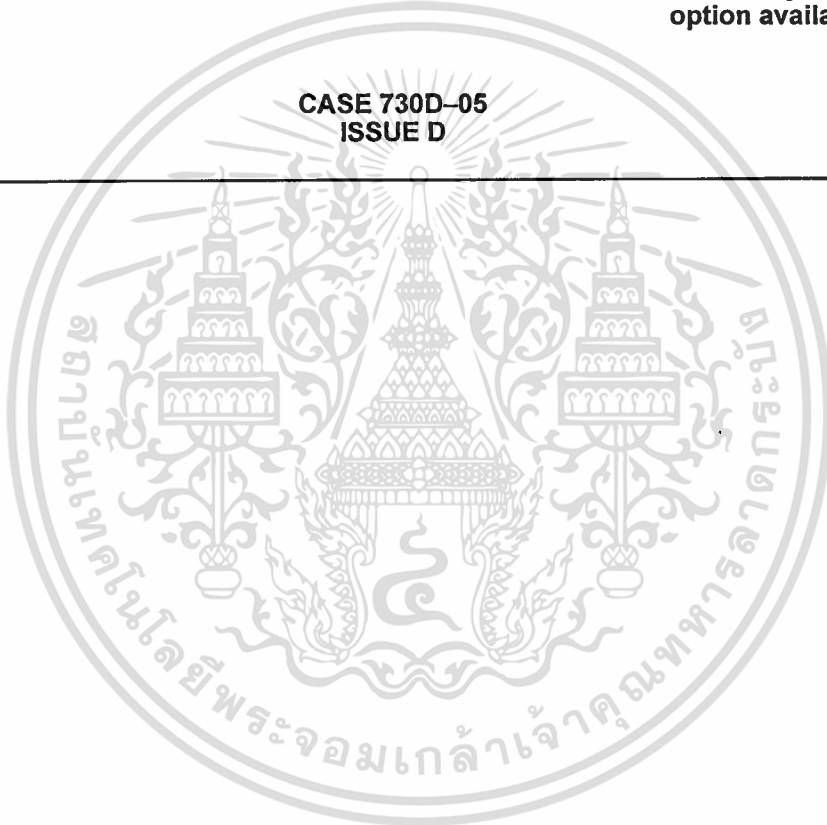


- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.  
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

\*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05  
 ISSUE D



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (AA) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;  
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,  
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609  
 INTERNET: http://Design-NET.com

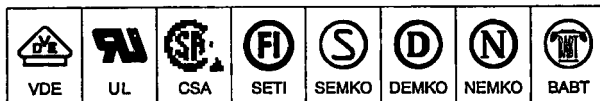
HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MOTOROLA

4N29/D





# 6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (250 Volts Peak)

The MOC3010 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to silicon bilateral switch and are designed for applications requiring isolated triac triggering, low-current isolated ac switching, high electrical isolation (to 7500 Vac peak), high detector standoff voltage, small size, and low cost.

- 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.

### Recommended for 115 Vac(rms) Applications:

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

### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE</b>			
Reverse Voltage <sup>e</sup>	V <sub>R</sub>	3	Volts
Forward Current — Continuous	I <sub>F</sub>	60	mA
Total Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Negligible Power in Transistor Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	100 1.33	mW mW/°C

### OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V <sub>DRM</sub>	250	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I <sub>TSM</sub>	1	A
Total Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	300 4	mW mW/°C

### TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V <sub>ISO</sub>	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	330 4.4	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T <sub>J</sub>	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(2)</sup>	T <sub>A</sub>	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range <sup>(2)</sup>	T <sub>stg</sub>	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T <sub>L</sub>	260	°C

- Isolation surge voltage, V<sub>ISO</sub>, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
- 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.

Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3009/D)

**MOC3010**

[IFT = 15 mA Max]

**MOC3011**

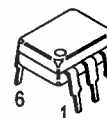
[IFT = 10 mA Max]

**MOC3012\***

[IFT = 5 mA Max]

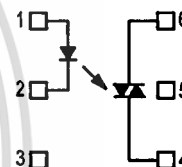
\*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



- ANODE
- CATHODE
- NC
- MAIN TERMINAL
- SUBSTRATE  
DO NOT CONNECT
- MAIN TERMINAL



**MOTOROLA**

# MOC3010 MOC3011 MOC3012

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

## INPUT LED

Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	0.05	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$	—	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 ( $I_{TM} = 100\text{ mA Peak}$ )	$V_{TM}$	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage (Figure 7, Note 2)	$dv/dt$	—	10	—	$\text{V}/\mu\text{s}$

## COUPLED

LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = $3\text{ V}^{(3)}$ )	$I_{FT}$				$\text{mA}$
MOC3010	—	8	15		
MOC3011	—	5	10		
MOC3012	—	3	5		
Holding Current, Either Direction	$I_H$	—	100	—	$\mu\text{A}$

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 MOC3010, 10 mA for MOC3011, 5 mA for MOC3012) and absolute max  $I_F$  (60 mA).

## TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_A = 25^\circ\text{C}$

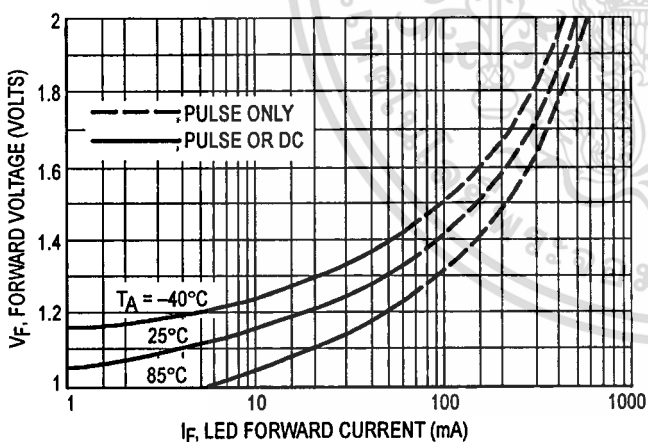


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

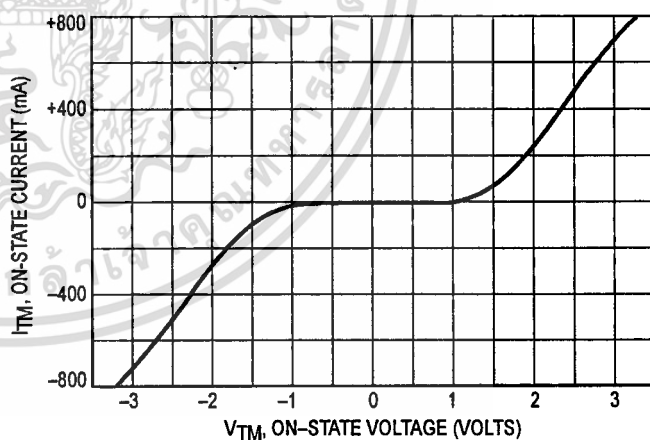


Figure 2. On-State Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

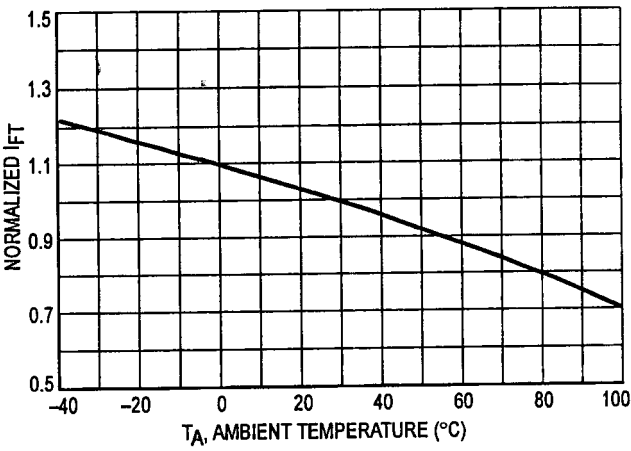


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

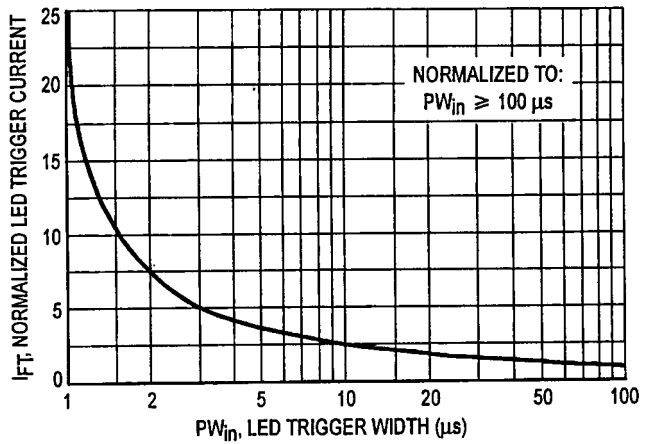


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

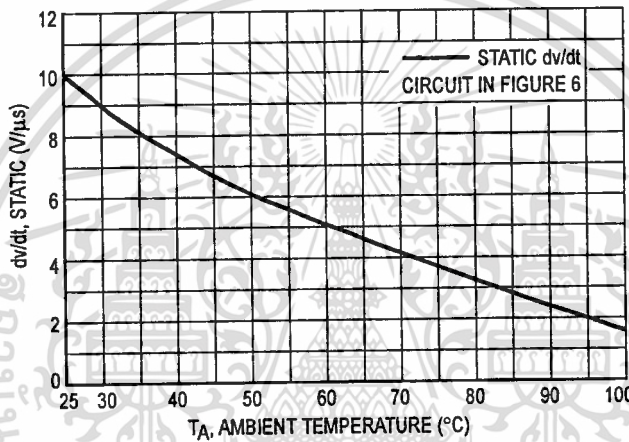
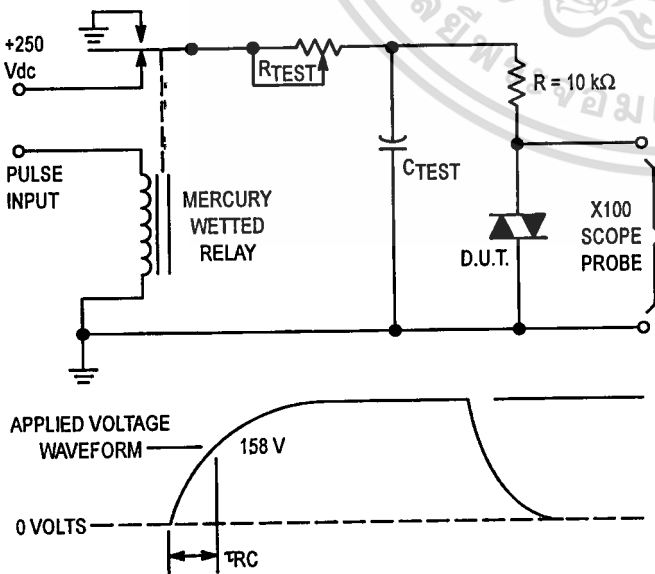


Figure 5. dv/dt versus Temperature



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<sub>TEST</sub> 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<sub>RC</sub> is measured at this point and recorded.

$$V_{max} = 250 \text{ V}$$

$$dv/dt = \frac{0.63 V_{max}}{\tau_{RC}} = \frac{158}{\tau_{RC}}$$

Figure 6. Static dv/dt Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Motorola Optoelectronics Device Data

# MOC3010 MOC3011 MOC3012

## TYPICAL APPLICATION CIRCUITS

NOTE: 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 the MOC3010/3011/3012 is available in Application Note AN-780A.

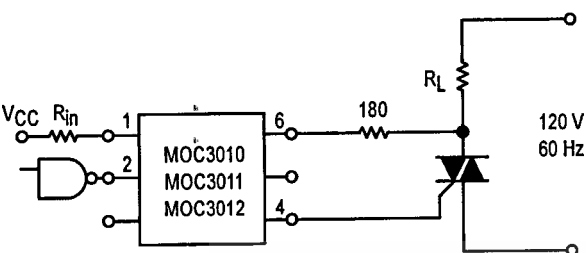


Figure 7. Resistive Load

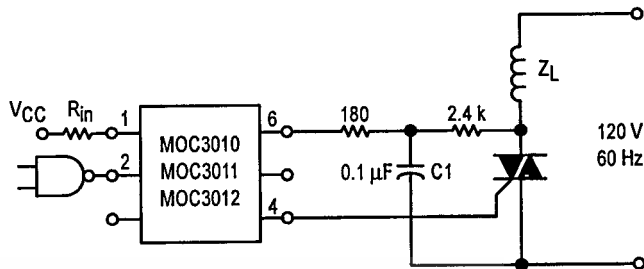


Figure 8. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ( $I_{GT} \leq 15 \text{ mA}$ )

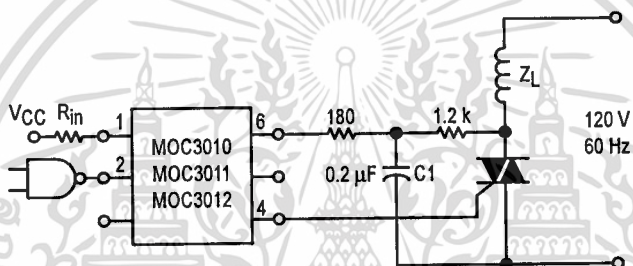
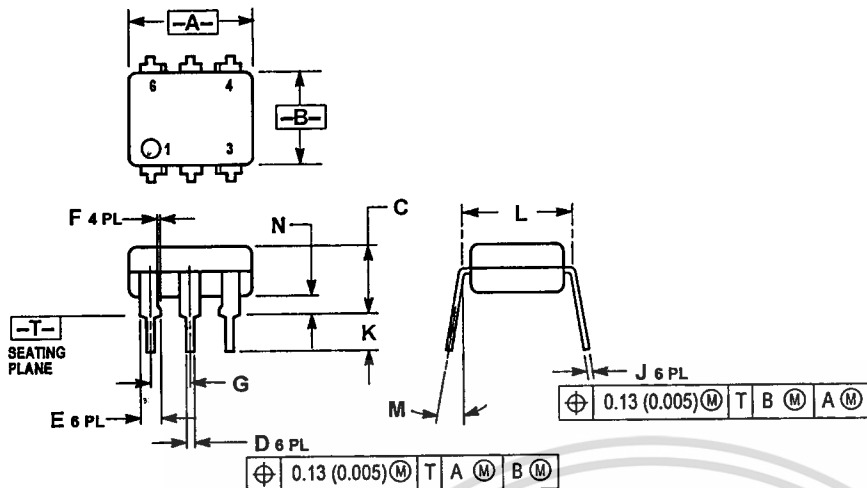


Figure 9. Inductive Load with Non-Sensitive Gate Triac ( $15 \text{ mA} < I_{GT} < 50 \text{ mA}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PACKAGE DIMENSIONS

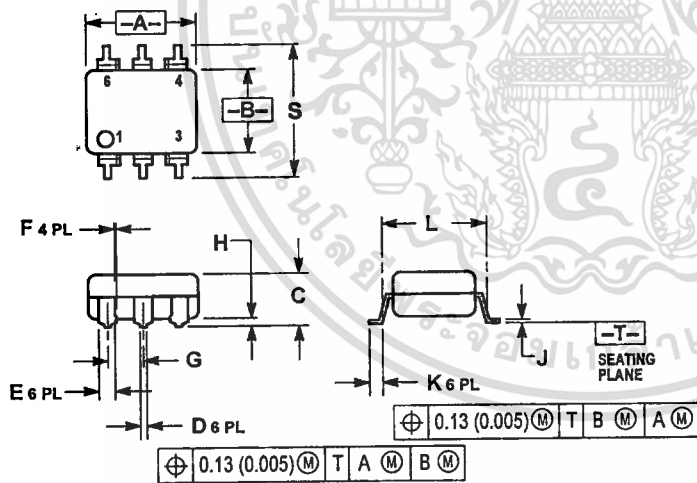


- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.  
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0° 15°		0° 15°	
N	0.015	0.100	0.38	2.54

- STYLE 6:  
 PIN 1. ANODE  
 2. CATHODE  
 3. NC  
 4. MAIN TERMINAL  
 5. SUBSTRATE  
 6. MAIN TERMINAL

CASE 730A-04  
 ISSUE G

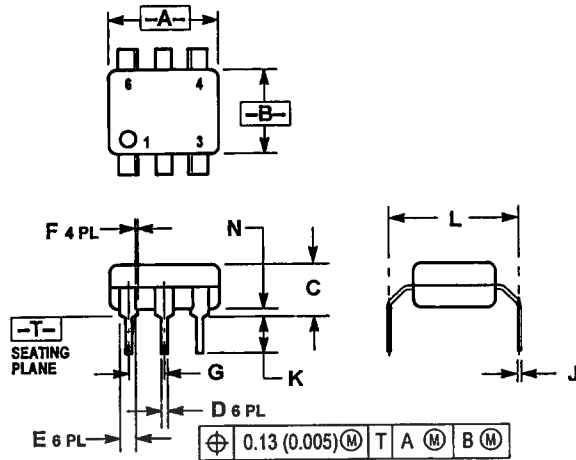


- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.020	0.025	0.51	0.63
J	0.008	0.012	0.20	0.30
K	0.006	0.035	0.16	0.88
L	0.320 BSC		8.13 BSC	
S	0.332	0.390	8.43	9.90

\*Consult factory for leadform option availability

CASE 730C-04  
 ISSUE D

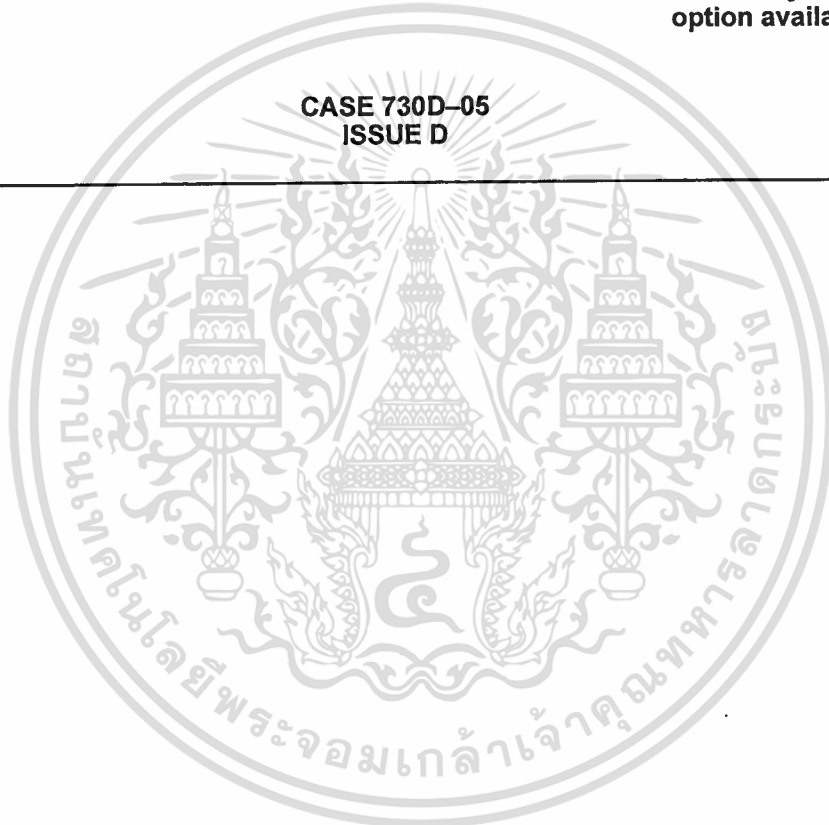


- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.  
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

\*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05  
 ISSUE D



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:  
 USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;  
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,  
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com -- TOUCHTONE (602) 244-6609  
 INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



# Timer

# NE/SA/SE555/SE555C

## DESCRIPTION

The 555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays, or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA.

## FEATURES

- Turn-off time less than 2µs
- Max. operating frequency greater than 500kHz
- Timing from microseconds to hours
- Operates in both astable and monostable modes
- High output current
- Adjustable duty cycle
- TTL compatible
- Temperature stability of 0.005% per °C

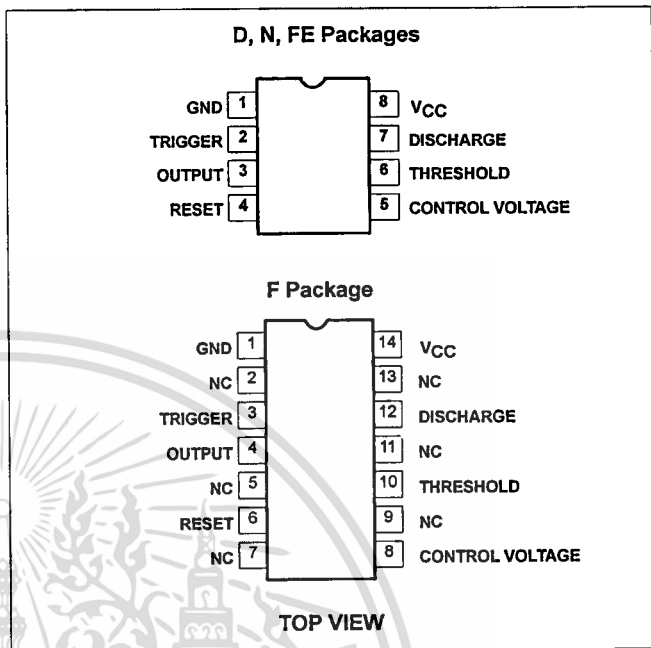
## APPLICATIONS

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation

## ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	NE555D	0174C
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE555N	0404B
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA555N	0404B
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +85°C	SA555D	0174C
8-Pin Hermetic Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE555CFE	
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	SE555CN	0404B
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	SE555N	0405B
8-Pin Hermetic Cerdip <sup>1</sup>	-55°C to +125°C	SE555FE	
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to +70°C	NE555F	0581B
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE555F	0581B
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	SE555CF	0581B

## PIN CONFIGURATIONS

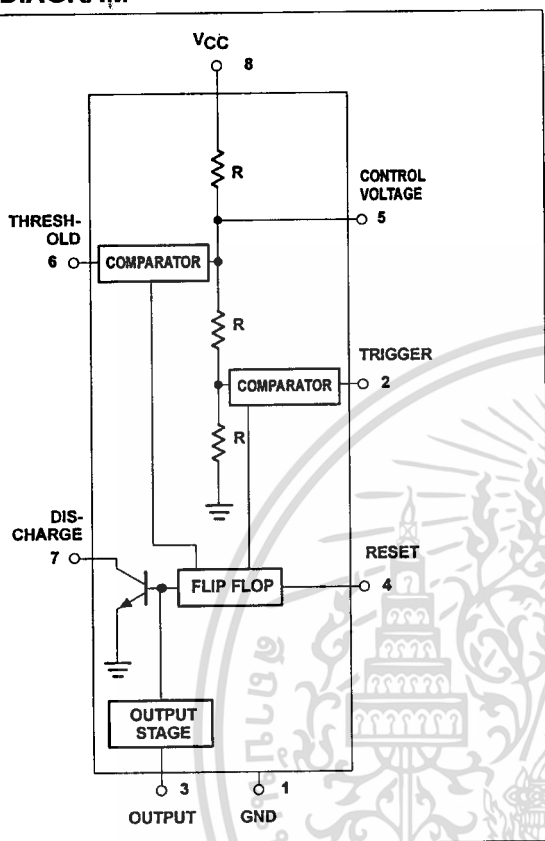


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

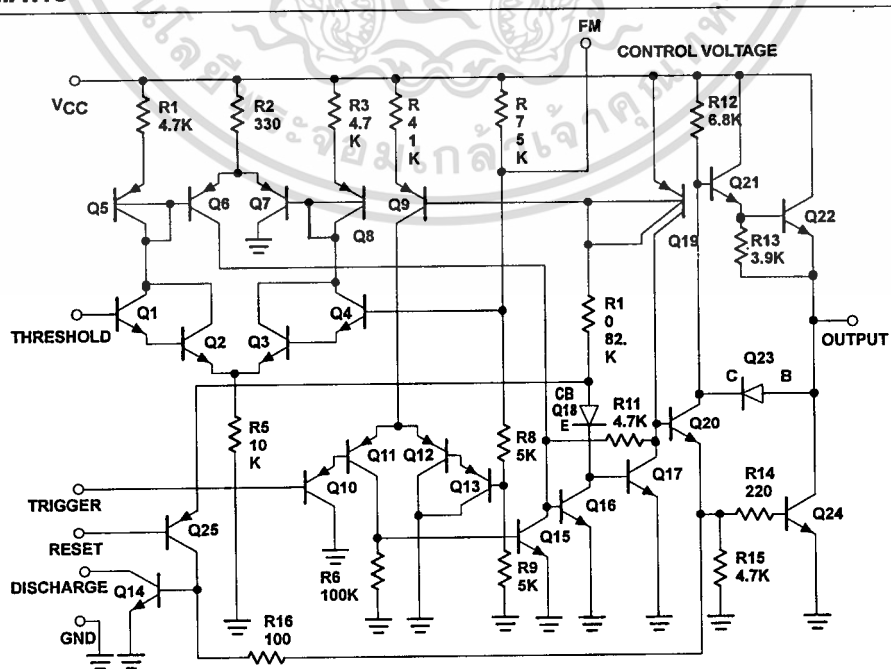
Timer

NE/SA/SE555/SE555C

BLOCK DIAGRAM



EQUIVALENT SCHEMATIC



NOTE: Pin numbers are for 8-Pin package

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Timer

## NE/SA/SE555/SE555C

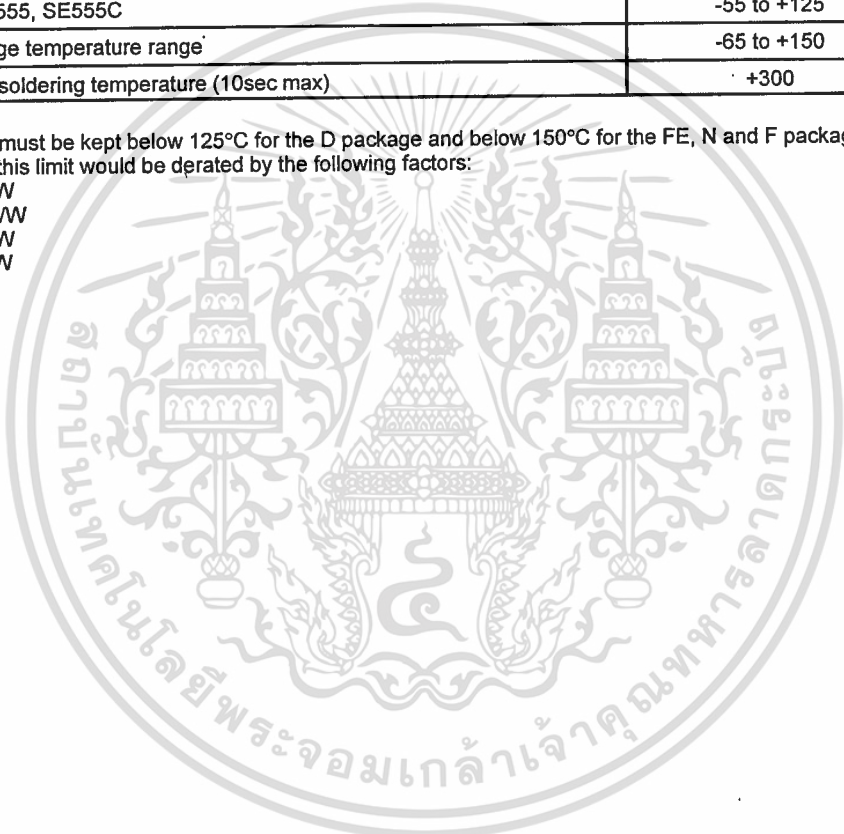
## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V <sub>CC</sub>	Supply voltage		
	SE555	+18	V
	NE555, SE555C, SA555	+16	V
P <sub>D</sub>	Maximum allowable power dissipation <sup>1</sup>	600	mW
T <sub>A</sub>	Operating ambient temperature range		
	NE555	0 to +70	°C
	SA555	-40 to +85	°C
	SE555, SE555C	-55 to +125	°C
T <sub>STG</sub>	Storage temperature range	-65 to +150	°C
T <sub>SOLD</sub>	Lead soldering temperature (10sec max)	+300	°C

## NOTES:

1. The junction temperature must be kept below 125°C for the D package and below 150°C for the FE, N and F packages. At ambient temperatures above 25°C, where this limit would be derated by the following factors:

D package 160°C/W  
 FE package 150°C/W  
 N package 100°C/W  
 F package 105°C/W



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Timer

## NE/SA/SE555/SE555C

## DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5\text{V}$  to  $+15$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NE555/SE555C			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{CC}$	Supply voltage		4.5		18	4.5		16	V
$I_{CC}$	Supply current (low state) <sup>1</sup>	$V_{CC}=5\text{V}$ , $R_L=\infty$ $V_{CC}=15\text{V}$ , $R_L=\infty$		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA
$t_M$ $\Delta t_M/\Delta T$ $\Delta t_M/\Delta V_S$	Timing error (monostable) Initial accuracy <sup>2</sup> Drift with temperature Drift with supply voltage	$R_A=2\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C=0.1\mu\text{F}$		0.5 30 0.05	2.0 100 0.2		1.0 50 0.1	3.0 150 0.5	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
$t_A$ $\Delta t_A/\Delta T$ $\Delta t_A/\Delta V_S$	Timing error (astable) Initial accuracy <sup>2</sup> Drift with temperature Drift with supply voltage	$R_A, R_B=1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C=0.1\mu\text{F}$ $V_{CC}=15\text{V}$		4 0.15	6 500 0.6		5 0.3	13 500 1	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
$V_C$	Control voltage level	$V_{CC}=15\text{V}$ $V_{CC}=5\text{V}$	9.6 2.9	10.0 3.33	10.4 3.8	9.0 2.6	10.0 3.33	11.0 4.0	V V
$V_{TH}$	Threshold voltage	$V_{CC}=15\text{V}$ $V_{CC}=5\text{V}$	9.4 2.7	10.0 3.33	10.6 4.0	8.8 2.4	10.0 3.33	11.2 4.2	V V
$I_{TH}$	Threshold current <sup>3</sup>			0.1	0.25		0.1	0.25	$\mu\text{A}$
$V_{TRIG}$	Trigger voltage	$V_{CC}=15\text{V}$ $V_{CC}=5\text{V}$	4.8 1.45	5.0 1.67	5.2 1.9	4.5 1.1	5.0 1.67	5.6 2.2	V V
$I_{TRIG}$	Trigger current	$V_{TRIG}=0\text{V}$		0.5	0.9		0.5	2.0	$\mu\text{A}$
$V_{RESET}$	Reset voltage <sup>4</sup>	$V_{CC}=15\text{V}$ , $V_{TH}=10.5\text{V}$	0.3		1.0	0.3		1.0	V
$I_{RESET}$	Reset current	$V_{RESET}=0.4\text{V}$		0.1	0.4		0.1	0.4	mA
	Reset current	$V_{RESET}=0\text{V}$		0.4	1.0		0.4	1.5	mA
$V_{OL}$	Output voltage (low)	$V_{CC}=15\text{V}$ $I_{SINK}=10\text{mA}$ $I_{SINK}=50\text{mA}$ $I_{SINK}=100\text{mA}$ $I_{SINK}=200\text{mA}$ $V_{CC}=5\text{V}$ $I_{SINK}=8\text{mA}$ $I_{SINK}=5\text{mA}$		0.1 0.4 2.0 2.5 0.1 0.05	0.15 0.5 2.2 2.5 0.25 0.2		0.1 0.4 2.0 2.5 0.3 0.25	0.25 0.75 2.5 2.5 0.4 0.35	V V V V V V
$V_{OH}$	Output voltage (high)	$V_{CC}=15\text{V}$ $I_{SOURCE}=200\text{mA}$ $I_{SOURCE}=100\text{mA}$ $V_{CC}=5\text{V}$ $I_{SOURCE}=100\text{mA}$	13.0 3.0	12.5 13.3 3.3		12.75 2.75	12.5 13.3 3.3		V V V
$t_{OFF}$	Turn-off time <sup>5</sup>	$V_{RESET}=V_{CC}$		0.5	2.0		0.5	2.0	$\mu\text{s}$
$t_R$	Rise time of output			100	200		100	300	ns
$t_F$	Fall time of output			100	200		100	300	ns
	Discharge leakage current			20	100		20	100	nA

## NOTES:

- Supply current when output high typically 1mA less.
- Tested at  $V_{CC}=5\text{V}$  and  $V_{CC}=15\text{V}$ .
- This will determine the max value of  $R_A+R_B$ , for 15V operation, the max total  $R=10\text{M}\Omega$ , and for 5V operation, the max. total  $R=3.4\text{M}\Omega$ .
- Specified with trigger input high.
- Time measured from a positive going input pulse from 0 to  $0.8 \times V_{CC}$  into the threshold to the drop from high to low of the output. Trigger is tied to threshold.

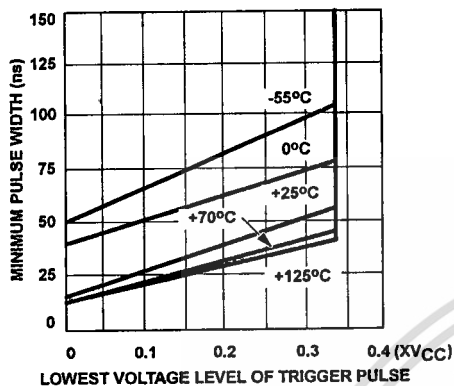
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timer

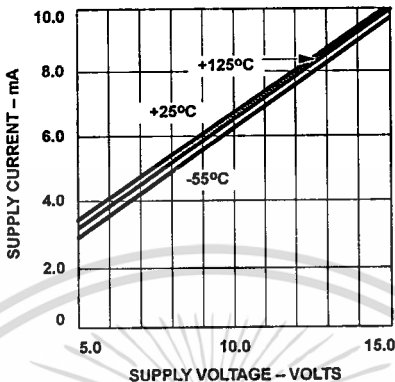
NE/SA/SE555/SE555C

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

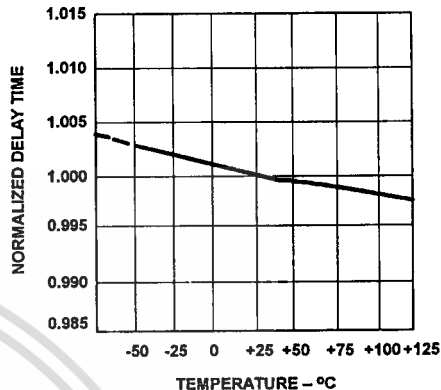
Minimum Pulse Width Required for Triggering



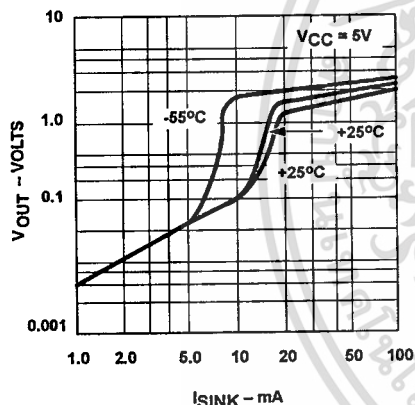
Supply Current vs Supply Voltage



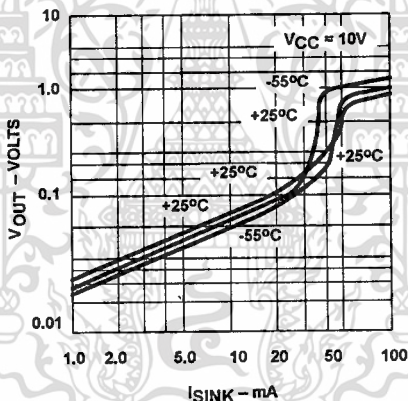
Delay Time vs Temperature



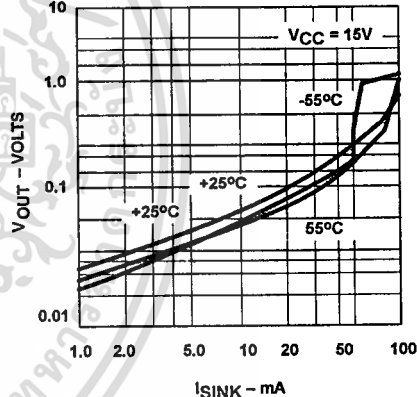
Low Output Voltage vs Output Sink Current



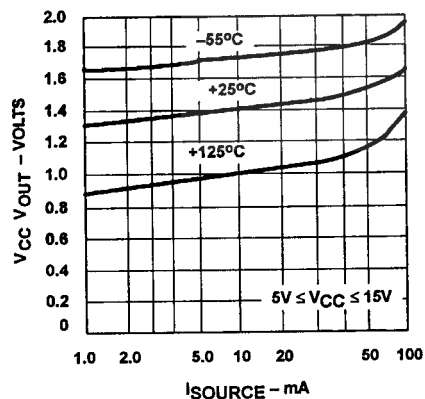
Low Output Voltage vs Output Sink Current



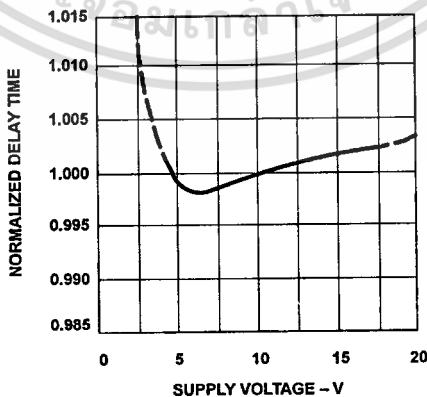
Low Output Voltage vs Output Sink Current



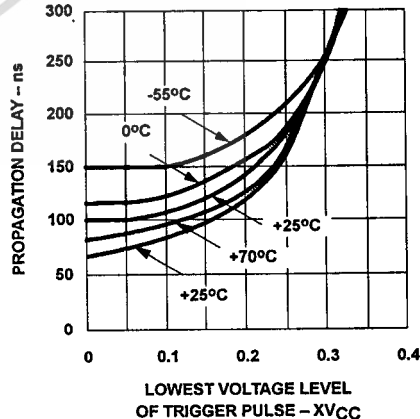
High Output Voltage Drop vs Output Source Current



Delay Time vs Supply Voltage



Propagation Delay vs Voltage Level of Trigger Pulse

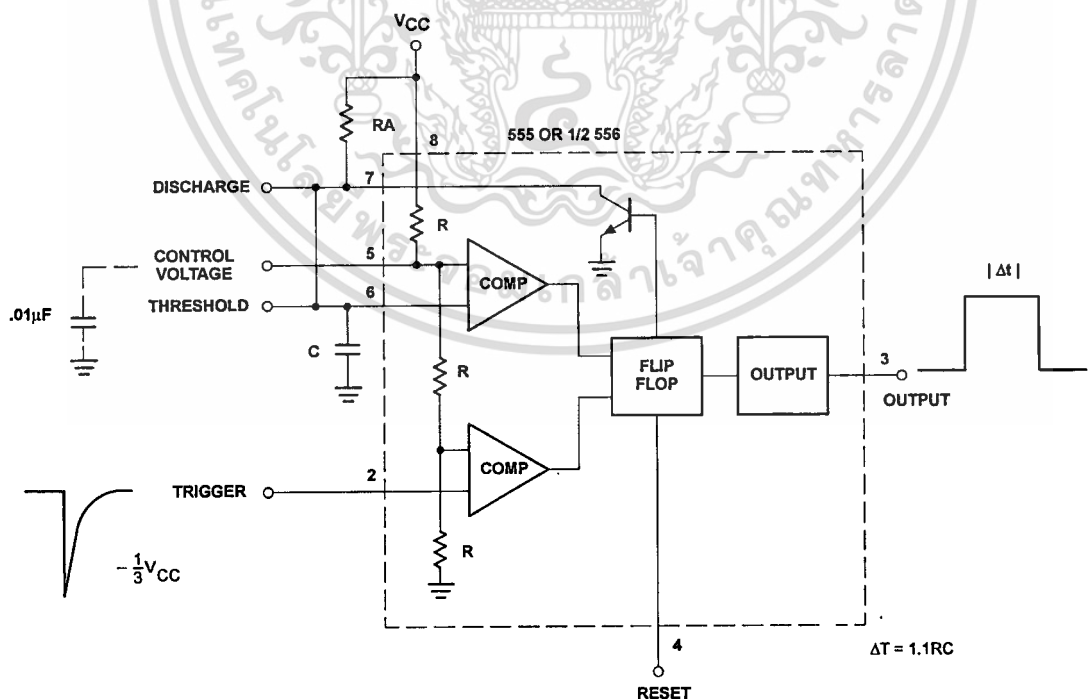
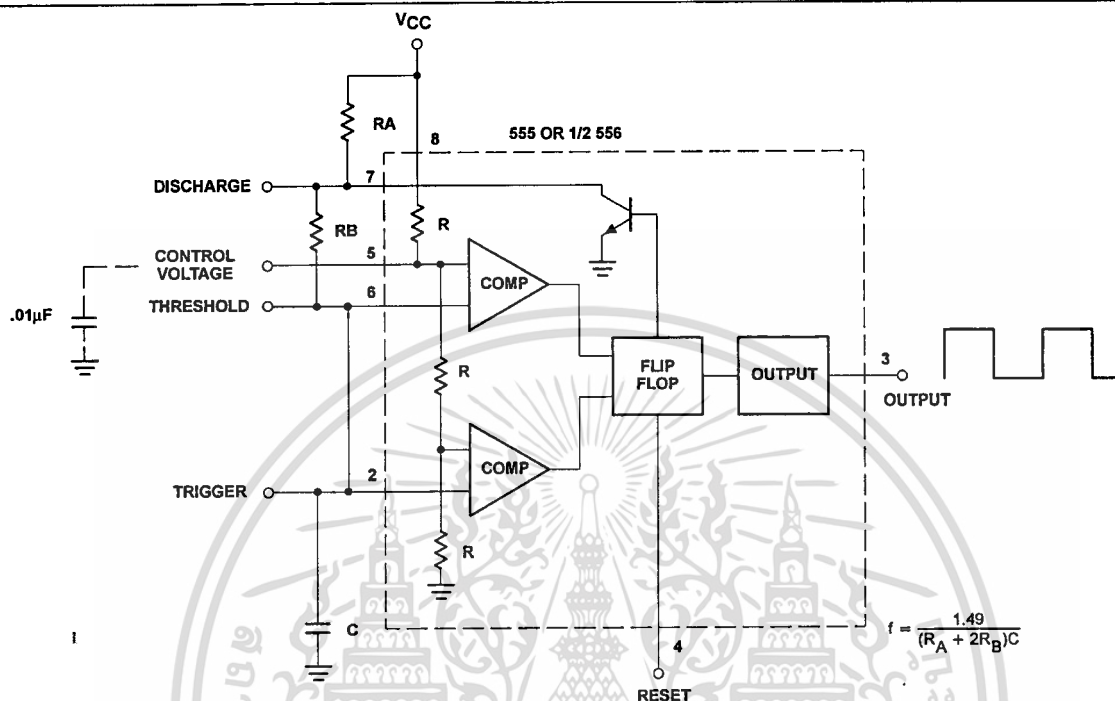


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timer

NE/SA/SE555/SE555C

TYPICAL APPLICATIONS

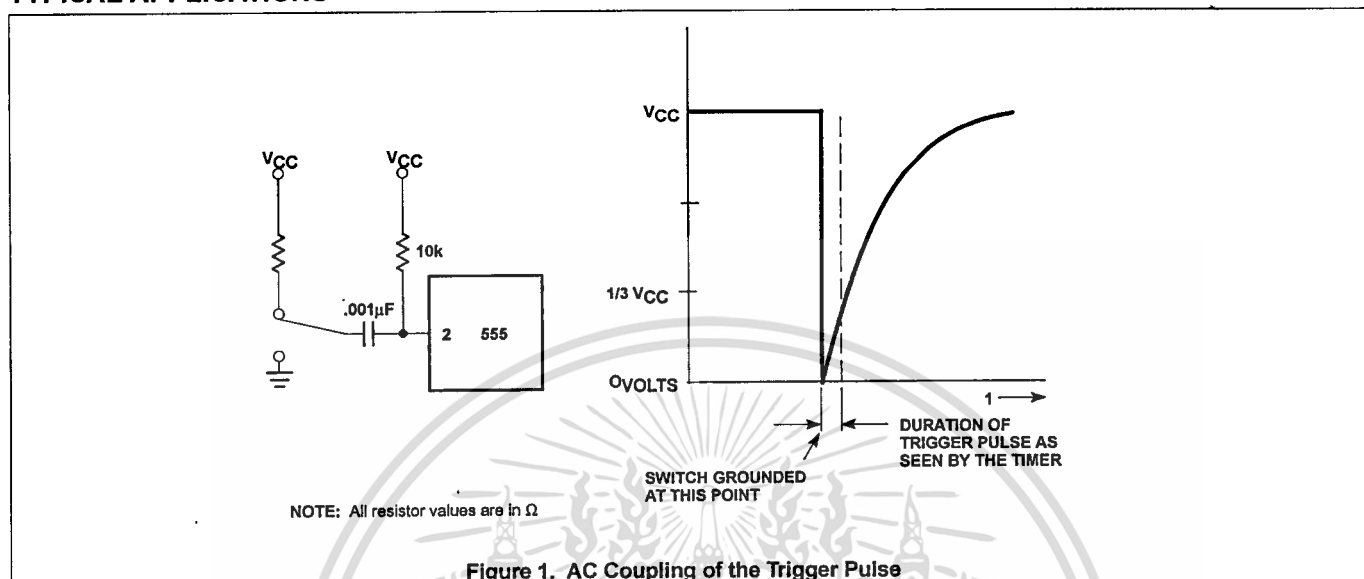


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Timer

## NE/SA/SE555/SE555C

## TYPICAL APPLICATIONS



### Trigger Pulse Width Requirements and Time Delays

Due to the nature of the trigger circuitry, the timer will trigger on the negative going edge of the input pulse. For the device to time out properly, it is necessary that the trigger voltage level be returned to some voltage greater than one third of the supply before the time out period. This can be achieved by making either the trigger pulse sufficiently short or by AC coupling into the trigger. By AC coupling the trigger, see Figure 1, a short negative going pulse is achieved when the trigger signal goes to ground. AC coupling is most frequently used in conjunction with a switch or a signal that goes to ground which initiates the timing cycle. Should the trigger be held low, without AC coupling, for a longer duration than the timing cycle the output will remain in a high state for the duration of the low trigger signal, without regard to the threshold comparator state. This is due to the predominance of  $Q_{15}$  on the base of  $Q_{16}$ , controlling the state of the bi-stable flip-flop. When the trigger signal then returns to a high level, the output will fall immediately. Thus, the output signal will follow the trigger signal in this case.

Another consideration is the "turn-off time". This is the measurement of the amount of time required after the threshold reaches  $2/3 V_{CC}$  to turn the output low. To explain further,  $Q_1$  at the threshold input turns on after reaching  $2/3 V_{CC}$ , which then turns on  $Q_5$ , which turns on  $Q_6$ . Current from  $Q_6$  turns on  $Q_{16}$  which turns  $Q_{17}$  off. This allows current from  $Q_{19}$  to turn on  $Q_{20}$  and  $Q_{24}$  to give an output low. These steps cause the  $2\mu s$  max. delay as stated in the data sheet.

Also, a delay comparable to the turn-off time is the trigger release time. When the trigger is low,  $Q_{10}$  is on and turns on  $Q_{11}$  which turns on  $Q_{15}$ .  $Q_{15}$  turns off  $Q_{16}$  and allows  $Q_{17}$  to turn on. This turns off current to  $Q_{20}$  and  $Q_{24}$ , which results in output high. When the trigger is released,  $Q_{10}$  and  $Q_{11}$  shut off,  $Q_{15}$  turns off,  $Q_{16}$  turns on and the circuit then follows the same path and time delay explained as "turn off time". This trigger release time is very important in designing the trigger pulse width so as not to interfere with the output signal as explained previously.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องการควบคุมมอเตอร์ 3 เฟสด้วยวิธี Phase Control นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์สมชาติ จิรวិภากร เป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. รัชชชัย อรรถวิบูลย์กุล , เครื่องกลไฟฟ้า 2 , กรุงเทพมหานคร , 2533.
2. ยืน ภู่วรรณ , ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2 , ซีเอ็ดยูเคชั่น.
3. Robert Boylestad And Louis Nashelsky , Electronic Devices and Circuit Theory 6<sup>th</sup> Edition  
Prentice - Hall
4. Cyrik W. Lander , Powerelectronic 1<sup>th</sup> Edition , Mcgraw - Hill , 1993.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้