

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

แหล่งจ่ายแรงดันและความถี่คงที่

Constant Voltage and Constant Frequency Source



โดย  
นาย บุญนาค สารพัด  
นาย ประคัญ วรรณโมลี  
นาย ประมวล สายพิมพ์  
น.ส. กฤดาภรณ์ สุขสมุท

เลขหน้.....  
เลขทะเบียน 34187  
วัน, เดือน, ปี - 6 ต.ค. 2542

อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ  
ดร. วิจิตร กิณเรศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เหม่งจ่ายแรงดันและความถี่คงที่

ผู้จัดทำ

1. นาย บุญนาค สารพล
2. นาย ประคัญ วรรณโมลี
3. นาย ประมวล สายพิมพ์
4. น.ส. กฤตจภรณ์ สุขสมุทร



(รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจําเริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ดร.วิจิตร กิณเรศ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แหล่งจ่ายแรงดันและความถี่คงที่

นาย บุญนาค สารพล

นาย ประคัญ วรณ โมที

นาย ประมวล สายพิมพ์

น.ศ.กฤดาภรณ์ ศุภสมุท

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจรรย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะสมบัติของระบบ โครงสร้างพื้นฐานของ แหล่งจ่ายแรงดันและความถี่คงที่ โดยควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ให้อยู่ในค่า  $220 \pm 1\%$  โวลต์ และ  $50 \pm 1$  เฮิร์ตซ์ตามลำดับ ระบบหลักประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวต้นกำลังขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม ได้มีการนำเอาระบบควบคุมแบบปิดมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับระบบควบคุมแบบเปิดและทำการทดสอบที่สถานะต่างๆ ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

CONSTANT VOLTAGE AND CONSTANT FREQUENCY SOURCE

Boonnak Sarapol

Prakan Wannamolee

Pramual Saipim

Kridapron Supasamuth

Associate Professor Viriya Pichetjaroen Advisor

Dr.Vijit Kinnares Advisor

1998

Abstract

This project is concerned with a constant voltage and frequency source. The prototype is constructed in order to study the system characteristics. The output voltage and frequency is controlled within  $220 \pm 1\%$  volts and  $50 \pm 1$  Hz respectively. The main system consists of a dc drive as a prime mover, a synchronous generator and microprocessor. In addition, the closed loop system is introduced in order to improve performance when comparing to the open loop one. The tests have been performed under various conditions. The results appear satisfactory.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญรูปภาพ	(ข)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	35
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	45
ภาคผนวก	46
กิตติกรรมประกาศ	69
หนังสืออ้างอิง	70

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงการ	1
2.1 แสดงวงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Synchronous	5
2.2 แสดงวงจรสมมูลย์ของ Separately excited DC motor	7
2.3 แสดงคุณสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของ Separately excited DC motor	8
2.4 แสดงช่วงการควบคุมความเร็ว ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	9
2.5 แสดงไดอะแกรมโครงสร้างของ Computer	11
2.6 แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51	13
2.7 แสดงขาต่างๆของ 8051	14
2.8 แสดงแผนผังของวงจร ADC และสัญลักษณ์	16
2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานแบบSuccessive Approximation	16
2.10 วงจร Fully Control Single-Phase Bridge	18
2.11 วงจร Fully Control Single-Phase Bridge with induction load	18
2.12 แสดงการต่อ Single-Phase Half control Bridge	19
2.13 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SCR	20
2.14 โมเดลของ SCR แบบวงจรทรานซิสเตอร์คู่กันแบบป้อนกลับค่าบวก	21
2.15 แสดงการทำงานในแต่ละขั้วของ TCA 785	22
2.16 แสดงบล็อกไดอะแกรม TCA 785	23
2.17 แสดงรูปสัญญาณของ TCA 785	24
3.1 Block Diagram ของการต่อใช้งานของ MC 1408	25
3.2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาป้อน IC ADC0809	26
3.3 วงจร Anlog to Digital converter	26
3.4 วงจรหาค่าความถี่	27
3.5 แสดงวงจรตรวจจับแรงดัน	27
3.6 แสดงวงจร Fully Controlled Single-Phase Bridge	28
3.7 แสดงวงจร Single-Phase Half Controlled Bridge	29

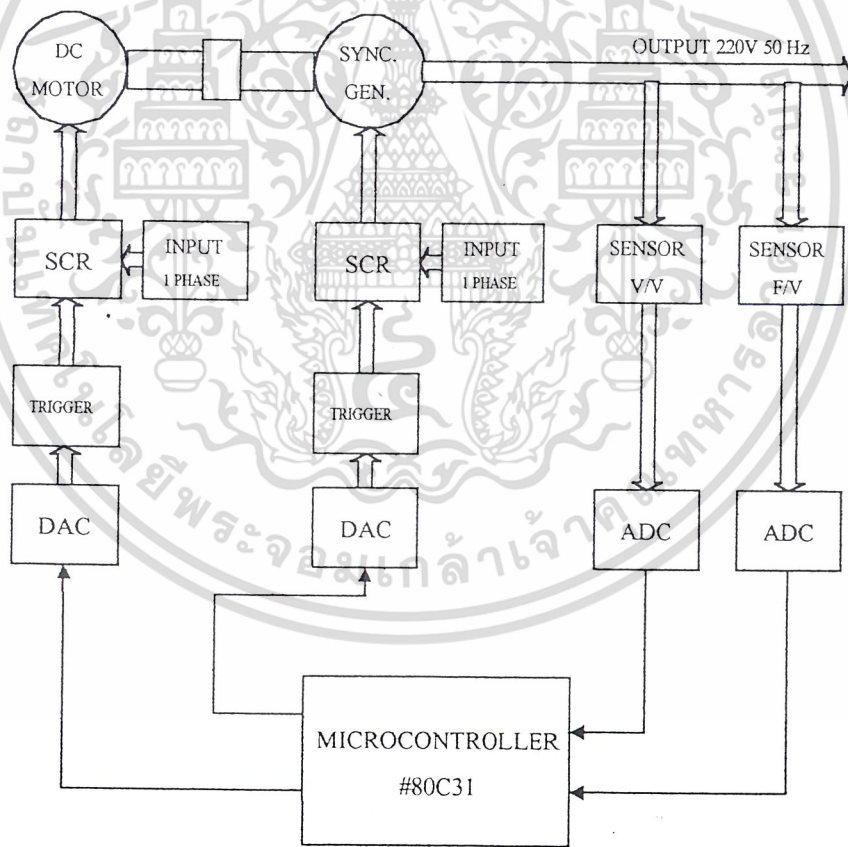
เอกสาร 3.8 ไฟล์เวิร์กช็อปของโปรแกรมควบคุมงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วงจรการทดลอง	36
4.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุทของ Fully Controlled Single-Phase Bridge และสัญญาณทริก ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1500 rpm กระแสกระตุ้น 0.2 A	37
4.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุทของ Single-Phase Half Controlled Bridge และสัญญาณทริกที่ จ่ายให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า 220V ความเร็วรอบ 1500 rpm	38
4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุทที่ค่าโหลดต่างๆ	39
4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุทขณะเริ่มจ่ายโหลด 600 W	40
4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุทขณะเริ่มปลดโหลด 600 W	41
4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุทขณะเริ่มจ่ายโหลด 900 W	42
4.8 แสดงแรงดันเอาต์พุทและความถี่ขณะจ่ายโหลด 900 W	43
4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุทขณะเริ่มปลดโหลด 900 W	44

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้านับเป็นพลังงานสำคัญที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์เราเป็นอย่างมาก ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ดีเป็นสิ่งสำคัญ ระบบต้องมีความมั่นคงแน่นอนเป็นที่น่าเชื่อถือได้ต่อผู้ใช้งาน ระบบที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่เป็นเงื่อนไขหนึ่งในหลายๆเงื่อนไขที่ต้องการ โครงการนี้จะเป็นการจำลองระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อรักษา ระดับแรงดันและความถี่ที่ โดยจะควบคุมระดับแรงดันและความถี่ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีโคอะแกรมการทำงานดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกโคอะแกรมการทำงานของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมเมื่อ Sensor ตรวจเช็คค่าแรงดันและความถี่ที่เอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้แล้วก็จะส่งค่าที่ตรวจสอบได้ผ่านไปยัง ADC (Analog to Digital Converter) เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นส่งสัญญาณที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีหน้าที่ประมวลผลว่าค่าที่ตรวจเช็คได้อยู่ในพิสัยที่ต้องการหรือไม่ ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและส่งข้อมูลที่ได้ออกไปเปลี่ยนแปลงมุมทริกของเอสซีอาร์ (Silicon controlled rectifier) โดยส่งผ่าน DAC (Digital to Analog Converter) เพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก จากนั้นส่งค่าที่ได้เข้าสู่ทริกเพื่อปรับมุมทริกของเอสซีอาร์ ส่งผลทำให้แรงดันเอาท์พุทของชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter) มีการเปลี่ยนแปลง แรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงด้วย จากนั้นจะเริ่มกระบวนการตรวจเช็คค่าใหม่จนกระทั่งแรงดันและความถี่อยู่ที่ค่าพิสัยที่ต้องการ

จากบล็อกไดอะแกรมของโครงงานมีชุดทริกและเอสซีอาร์จำนวน 2 ชุด เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและควบคุมกระแสกระตุ้นที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนกระแสกระตุ้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะให้มีค่าคงที่ ในการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์นั้นจะส่งผลให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนไป ตามสมการ

$$\omega_m = \frac{V_t - I_a R_a}{K_t \phi_p}$$

$$N_m = \frac{60\omega}{2\pi}$$

เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนกำลังขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ นั่นคือความเร็วของมอเตอร์จะเท่ากับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและจากสมการ

$$f = \frac{NP}{120}$$

จากสมการจะเห็นว่าสามารถควบคุมความถี่ได้ด้วยการควบคุมความเร็วรอบ โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์นั่นเอง

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำได้ด้วยการ

ควบคุมกระแสกระตุ้น ดังสมการ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ไปยังผู้อื่นของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{af} = 4.44 f N_{ph} K_w \phi$$

$$V_t = E_{af} - (I_a R_a + jX_s)$$

ค่า  $\Phi_m$  จะแปรตามค่ากระแสกระตุ้นในลักษณะ Magnetization Curve เมื่อกระแสกระตุ้นเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐาน

#### 2.1 3 - $\phi$ Synchronous Machines

**Synchronous machine** ก็คือเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำงานในขณะที่ตัวหมุนมีความเร็วเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากอาร์มาเจอร์ ไม่ว่าเครื่องกลไฟฟ้านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมา(เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วคงที่) หรือตัวจ่ายกำลังออกมา(มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วคงที่) จะอย่างไรก็ตามตัวอาร์มาเจอร์หรือสนามกระตุ้น(field)อาจจะอยู่ที่ตัวอยู่กับที่หรืออยู่ที่ตัวหมุนก็ได้แล้วแต่จุดประสงค์ของการใช้งานและขนาดของเครื่อง ดังนั้น Synchronous machine จึงทำงานที่ความเร็วคงที่เสมอในสถานะที่โหลดไม่เกินค่าพิกัด ทั้งนี้ทั้งนั้น จำนวนขั้วแม่เหล็กและความถี่ของระบบ ไฟฟ้านั้นต้องคงที่ โดยปกติแล้วเครื่องกลไฟฟ้าแบบนี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดที่มีความเร็วคงที่ (Synchronous generator หรือ alternator นั้นเอง)

2. เครื่องกลไฟฟ้าที่มีความเร็วคงที่ (Synchronous motor)

สำหรับเครื่องกลไฟฟ้าที่มีความเร็วสม่ำเสมอ (Synchronous Machines) โดยทั่วไปจะมีสนามกระตุ้นหรือ field winding อยู่บนตัวหมุน (rotor) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำไฟเข้าที่ตัวหมุนซึ่งเป็นปริมาณไฟที่มีจำนวนน้อยกว่าที่ตัวอาร์มาเจอร์ โดยใส่ไฟผ่านแปรงถ่านซึ่งต่อเข้ากับวงแหวนลื่น (Slip ring) อันที่ต่อไปยังขดลวดที่พันอยู่บนตัวหมุน (rotor) อีกที่หนึ่งส่วนอาร์มาเจอร์นั้นก็ย้ายไปอยู่ที่ตัวอยู่กับที่ (stator) นั่นก็คือว่าขดลวดของอาร์มาเจอร์นั้นพันอยู่บนตัวอยู่กับที่ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไฟเข้าหรือออกได้จำนวนมาก (ไฟเข้าเมื่อเป็นมอเตอร์และจ่ายไฟออกมาเพื่อเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) โดยไม่ให้เกิดประกายไฟ (spark) ขึ้นหรือมีบ้างแต่น้อยมากเมื่อมีโหลด

ในกรณีเรื่องโครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้าชนิดนี้ก็ไม่ผิดแปลกแตกต่างไปจากเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมากนักจะแตกต่างที่ตรงที่เครื่องกลไฟฟ้าชนิดนี้ต้องคำนึงถึงเรื่องเฟสและความเร็วที่คงที่ ส่วนโครงสร้างของขั้วแม่เหล็กนั้นโดยทั่ว ๆ ไปแล้วก็แบ่งได้เป็น 2 อย่างคือ ขั้วแม่เหล็กที่เป็นขั้วยื่น (salient pole) และขั้วแม่เหล็กที่เป็นรูปทรงกระบอก (cylindrical) หรือขั้วไม่ยื่น (Non-salient pole) ขั้วแม่เหล็กทั้งสองแบบนี้ก็มีการใช้งานที่แตกต่างกันเล็กน้อยนั่นคือแบบขั้วยื่นใช้ได้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ทุกขนาดโดยที่มีความเร็วปานกลาง แต่สำหรับแบบขั้วแม่เหล็กทรง

กระบอก (cylindrical-pole) ซึ่งอยู่ที่ตัวหมุนนั้นมักจะใช้กับเครื่องกลที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ซึ่งมีความเร็วสูง

**2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ**

หลักการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในเครื่องกลชนิดนี้มีหลักการเช่นเดียวกับเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกสนามกระตุ้น โดยที่ต่างก็เป็นเส้นโค้งการเป็นสนามแม่เหล็ก(Magnetizing Curve)เช่นเดียวกัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจะผลิตแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) ได้ 2 วิธีดังนี้

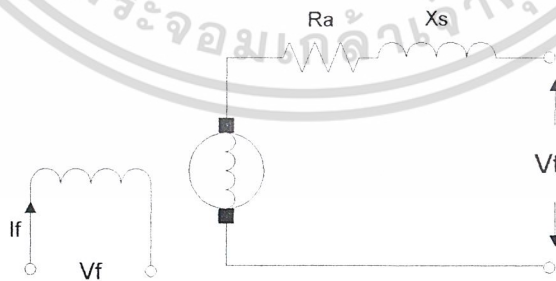
- ให้อาร์เมเจอร์หมุน (Revolving armature) อยู่ภายในสนามแม่เหล็กที่วางอยู่กับที่ (Stationary field)
- ให้อาร์เมเจอร์อยู่กับที่ (Stationary armature) และสนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุน (Revolving field)

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการ

$$E_{ph} = 2.22 N_{ph} \phi_m f K_s K_c \tag{2.1}$$

$$N_{ph} = N \times P \times g$$

วงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส

ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเปลี่ยนไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ากระแสที่จ่ายไปนั้นมีขนาดมากน้อยเท่าไร และลักษณะของโหลด

ไฟฟ้าที่นำมาต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นมีตัวประกอบกำลัง (Power factor) เป็นอย่างไร ซึ่งก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วดังสมการที่ 2.2

$$E = V + I(R_a + jx_l + jX_a) \quad (2.2)$$

$$= V + I(R_a + jX_s) \quad (2.3)$$

$$= V + IZ_s \quad (2.4)$$

เมื่อ  $E_{af}$  = ปริมาณเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่กำเนิดขึ้นภายใน (โวลต์)

$V_t$  = ปริมาณเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วภายนอก (โวลต์)

$I_a$  = ปริมาณเวกเตอร์ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรภายนอก (แอมป์)

$R_a$  = ความต้านทานภายในอาร์เมเจอร์ของขดลวดที่ใช้พัน (โอห์ม)

$X_l$  = การรั่วซึม Reactance ของขดลวดอาร์เมเจอร์ (โอห์ม)

$X_a$  = reactance ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของอาร์เมเจอร์ (โอห์ม)

$X_s$  = reactance ที่ synchronous (synchronous reactance) (โอห์ม)

$Z_s$  = impedance ที่ synchronous (synchronous impedance) (โอห์ม)

เนื่องจาก Synchronous Generator มีความเร็วคงที่เท่ากับ

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

$N_s$  = synchronous speed (rpm)

$f$  = ความถี่

$P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็กทั้งหมด

จากสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.5) เมื่อกำหนดให้จำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกลและความถี่ที่ใช้มีค่าคงที่ เราสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วได้โดยการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายขดลวดสนามแม่เหล็ก

## 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. MOTOR)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกประการ จะมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมากกว่าแรงดันไฟฟ้าในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

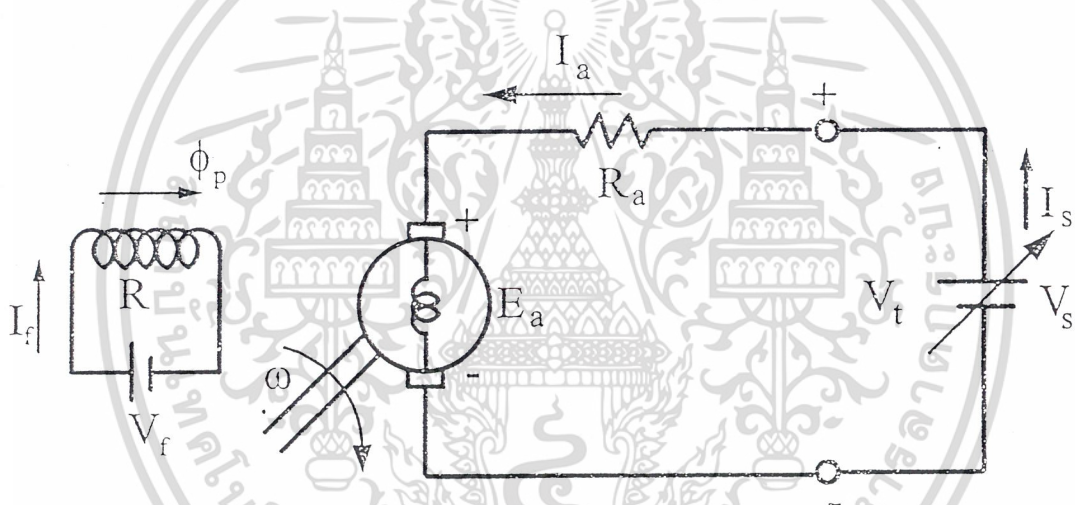
ฟ้าที่ขั้ว(จ่ายพลังงานไปยังโหลด) ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว(รับพลังงานจากแหล่งจ่ายภายนอก)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการต่อขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น (Excited Field) ได้ดังนี้

-มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกสนามแม่เหล็กกระตุ้น (Separately Excited Motor)

-มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอาศัยสนามแม่เหล็กกระตุ้นในตัวเอง(Self Excited Motor)

ซึ่งในที่นี้จะอธิบายเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกสนามแม่เหล็กกระตุ้นเท่านั้น เพราะในการทำโครงการครั้งนี้จะใช้มอเตอร์ชนิดดังกล่าว Separately Excited Motor มีลักษณะการต่อขดลวด และวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรสมมูลของ Separately Excited DC Motor

ขณะที่ทำงานเป็นมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วจะมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.6)$$

$$V_f = I_f R_f \quad (2.7)$$

$$E_a = K_a \phi \omega_m \quad (2.8)$$

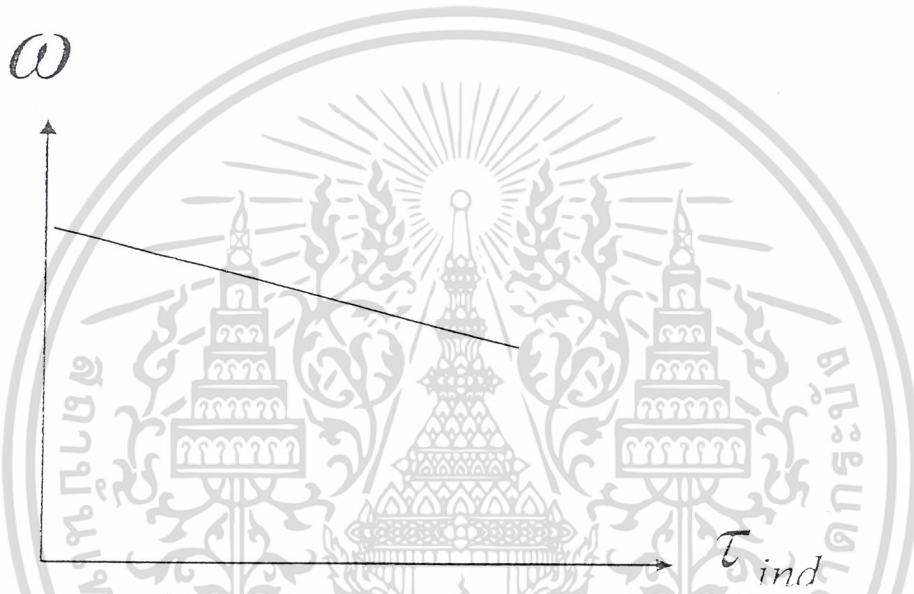
$$T_{ind} = K_a \phi I_a \quad (2.9)$$

ซึ่ง  $T_{ind}$  คือ แรงบิดที่เกิดจากการที่กระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กเรียกว่า Induced Torque

เอกสารนี้เป็นเอกสารอ้างอิงที่ได้ความสัมพัทธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ดังนี้โยชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \phi} - \left[ \frac{R_a}{(K\phi)^2} \right] T_{ind} \tag{2.12}$$

ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบในกรณี  $V_t$  คงที่ ลักษณะความสัมพันธ์ของ  $T_{ind}$  กับ  $\omega$  แสดงดังรูปที่ 2.3

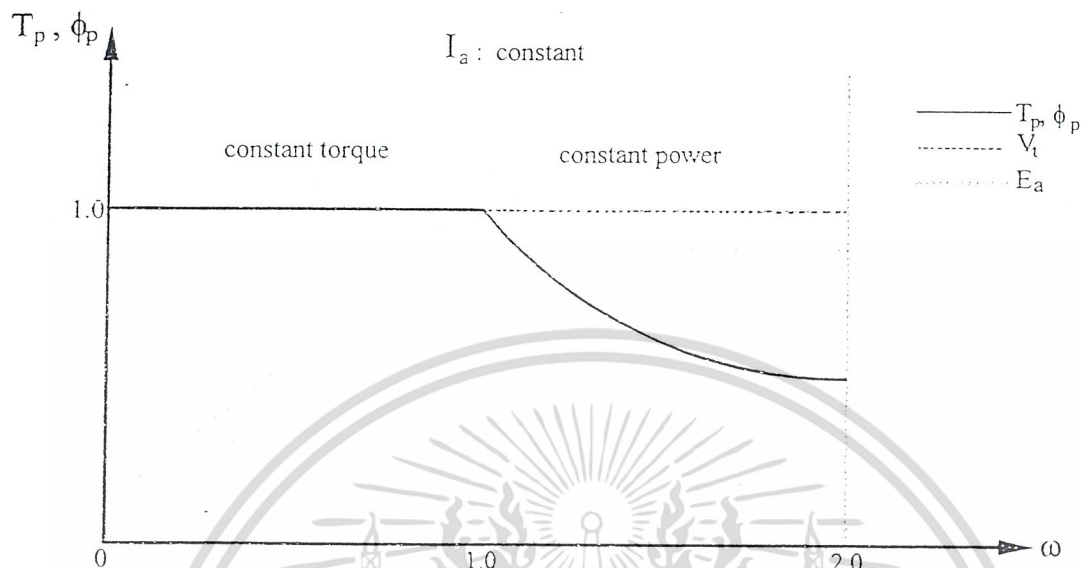


รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติความสัมพันธ์ความเร็วรอบ-แรงบิดของ Separately Excited D.C. Motor

**2.2.1 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Speed Control of Separately Excited Field D.C.Motor)**

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดกระตุ้น ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานในการขับเคลื่อนในอุตสาหกรรมและง่ายต่อการควบคุม รวมถึงช่วงการควบคุมความเร็วจะกว้างคือ เริ่มตั้งแต่ความเร็วเชิงมุมที่ศูนย์ถึงความเร็วเชิงมุมเท่ากับพิกัดซึ่งช่วงนี้เรียกว่า ย่านแรงบิดคงที่(Constant Torque) ส่วนอีกช่วงเริ่มตั้งแต่ความเร็วเชิงมุมที่พิกัดถึงที่สองเท่าของความเร็วเชิงมุมเรียกย่านการทำงานย่านนี้ว่า ย่านกำลังคงที่(Constant Power) ดังแสดงตามรูปที่ 2.4 ซึ่งแต่ละช่วงจะมีเป้าหมายและหลักการต่างๆ ในการควบคุมความเร็วจะป้อนกระแสเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กเป็นค่าที่พิกัด ซึ่งมีผลให้ค่าเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว ( $\phi_p$ ) เป็นค่าที่พิกัดและคงที่ตลอดการควบคุมในย่านความเร็วนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงช่วงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ซึ่งการควบคุมย่านความเร็วตั้งแต่ศูนย์ถึงพิกัดความเร็วว่าย่านแรงบิดคงที่ การเพิ่มความเร็วในย่านนี้ทำได้โดยการเพิ่มศักดาป้อนเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ ( $V_a$ ) เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วมีค่าคงที่จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุม ( $\omega_R$ ) กับศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว ( $V$ ) เป็น

$$\omega_R = \frac{V_t - I_a R_a}{K_t \phi_p} \quad (2.11)$$

เมื่อกำหนดให้

- $k_t = Z_p P / 2\pi a$  : เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์
- $I_a$  : เป็นกระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์
- $R_a$  : เป็นค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่ให้เสียหายเนื่องจากกระแสเกินพิกัดจึงจำเป็นต้องควบคุมให้กระแสป้อนเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ ( $I_a$ ) ต้องไม่เกินพิกัด ดังนั้นเมื่อควบคุมให้เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วมีค่าคงที่แล้วจากสมการที่ (2.9) จะได้แรงบิดที่สัมพันธ์กับกระแส  $I_a$  ดังนี้

$$T_e = K_t \phi_p I_a \quad (2.12)$$

เมื่อกำหนดให้ •  $T_e$  : เป็นแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก

ดังนั้นในย่านแรงบิดคงที่จะพบว่าเมื่อเพิ่มภาระให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้

กระแส  $I_a$  เพิ่มขึ้น โดยระบบควบคุมจะต้องควบคุมไม่ให้กระแสเกินพิกัดของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อลดความเร็วรอบต่ำกว่าพิกัดถ้าระบบระบายความร้อนใช้ใบพัดที่ติดอยู่กับเพลลาของมอเตอร์มีผลทำให้การระบายความร้อนจะแย่งลง ถ้าควบคุมให้กระแส  $I_u$  คงที่ซึ่งมีผลให้ความสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์ ( $I^2 R_u$ ) คงที่จะทำให้อุณหภูมิของเครื่องจักรสูงขึ้น

ในย่านการควบคุมความเร็วตั้งแต่พิกัดจนถึงสองเท่าของพิกัดความเร็วเรียกย่านนี้ว่ากำลังคงที่ เมื่อไม่สามารถเพิ่มศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว ( $V$ ) สูงกว่าศักดาไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อต้องการเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ จากสมการที่ (2.11) ทำได้โดยลดเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว  $\phi_p$  ให้ต่ำกว่าพิกัด ซึ่งจะมีผลทำให้แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กลดลงตามค่าของ  $\phi_p$  ตามสมการที่ (2.12) โดยคิดว่ากระแสป้อนเข้าขดลวดอาเมเจอร์ ( $I_u$ ) มีค่าคงเดิม

ข้อควรระวัง ในการควบคุมความเร็วรอบในย่านความเร็วคงที่ ในทางด้านตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงความเร็วรอบสูงขึ้น โดยการลดเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว ( $\phi_p$ ) มีผลทำให้แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก ( $T_e$ ) มีค่าลดลง แต่ในทางด้านโหลดทางกลเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องจักรขึ้นจะมีผลทำให้โหลดทางกลเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีผลทำให้เกิดการทำงานเกินพิกัดกำลัง (Over load) และอีกกรณีเมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วสูงกว่าพิกัด ซึ่งจะทำให้การทำงานทางด้านกลเกี่ยวกับการขัดสีของซี่คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่านมีค่ามากขึ้น รวมถึงลูกปืนจะทำงานหนักขึ้นควรได้รับการดูแลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำงานในย่านนี้เป็นพิเศษ

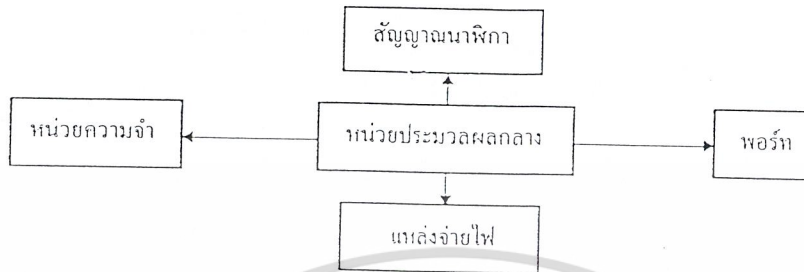
## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller)

### 2.3.1 โครงสร้างของระบบคอมพิวเตอร์

หากพิจารณาระบบคอมพิวเตอร์แล้ว จะไม่ใช่เพียงคอมพิวเตอร์ที่เราเห็นตั้งโต๊ะเท่านั้น เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์บางอย่างก็ถือว่าเป็นระบบคอมพิวเตอร์ได้ ถ้าจะพิจารณาว่าระบบที่เรากำลังศึกษาอยู่นี้เป็นระบบคอมพิวเตอร์หรือไม่ ให้พิจารณาจาก โครงสร้างดังนี้

- 1.) หน่วยประมวลผลกลาง
- 2.) หน่วยความจำ
- 3.) อินพุท
- 4.) เอาท์พุท
- 5.) โปรแกรม

ระบบคอมพิวเตอร์จะทำงานได้นอกจากจะใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังต้องใช้สัญญาณนาฬิกาอีกด้วย ระบบคอมพิวเตอร์เบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โคอะแกรมโครงสร้างของคอมพิวเตอร์

### 1.1) หน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit)

เป็นส่วนที่สำคัญมากในระบบคอมพิวเตอร์ การทำงานของคอมพิวเตอร์จะเกิดขึ้นได้เมื่อหน่วยประมวลผลกลางตีความคำสั่งจากหน่วยความจำและกระทำตามคำสั่งนั้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับสมองของคน ภายใน CPU ยังมีหน่วยที่ทำงานทางด้านตรรกศาสตร์และลอจิก (Arithmetic Logic Unit) หรือ ALU อีกด้วย

### 1.2) หน่วยความจำ (Memory)

ในระบบคอมพิวเตอร์จะมีหน่วยความจำที่ใช้กันอยู่ 2 ชนิดคือ หน่วยความจำที่เป็น ROM (Read Only Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำแบบอ่านอย่างเดียว ไม่มีการเขียนเกิดขึ้น และข้อมูลในหน่วยความจำจะไม่หายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้เก็บ โปรแกรมที่จะทำให้เกิดการทำงานในระบบคอมพิวเตอร์ หน่วยความจำอีกชนิดหนึ่งคือหน่วยความจำที่เป็น RAM (Random Access Memory) เป็นหน่วยความจำที่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ แต่ข้อมูลจะหายไปถ้าไม่มีไฟเลี้ยง หน่วยความจำชนิดนี้จะใช้เก็บข้อมูลที่เกิดจากการประมวลผลจากหน่วยประมวลผลกลาง

### 1.3) พอร์ทอินพุท / เอาท์พุท (I/O Port)

พอร์ทเป็นเส้นทางที่ระบบคอมพิวเตอร์ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก โดยพอร์ทจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกชนิดต่างๆ โดยวงจร Interface

คอมพิวเตอร์จะทำงานได้จะต้องมีโปรแกรมเป็นตัวกำหนดลักษณะการทำงาน เพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทางอินพุทและเอาท์พุท โดยมีหน่วยประมวลผลกลางเป็นตัวประมวลผลคำสั่งที่อ่านได้จากโปรแกรม หน่วยประมวลผลกลางจะเป็นตัวหลักของระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกออกแบบไว้ในชิพเพียงตัวเดียว เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ซึ่งเราสามารถโปรแกรมให้มันทำงานเฉพาะอย่างได้ ดังเช่นอุปกรณ์ต่างๆ ไปที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

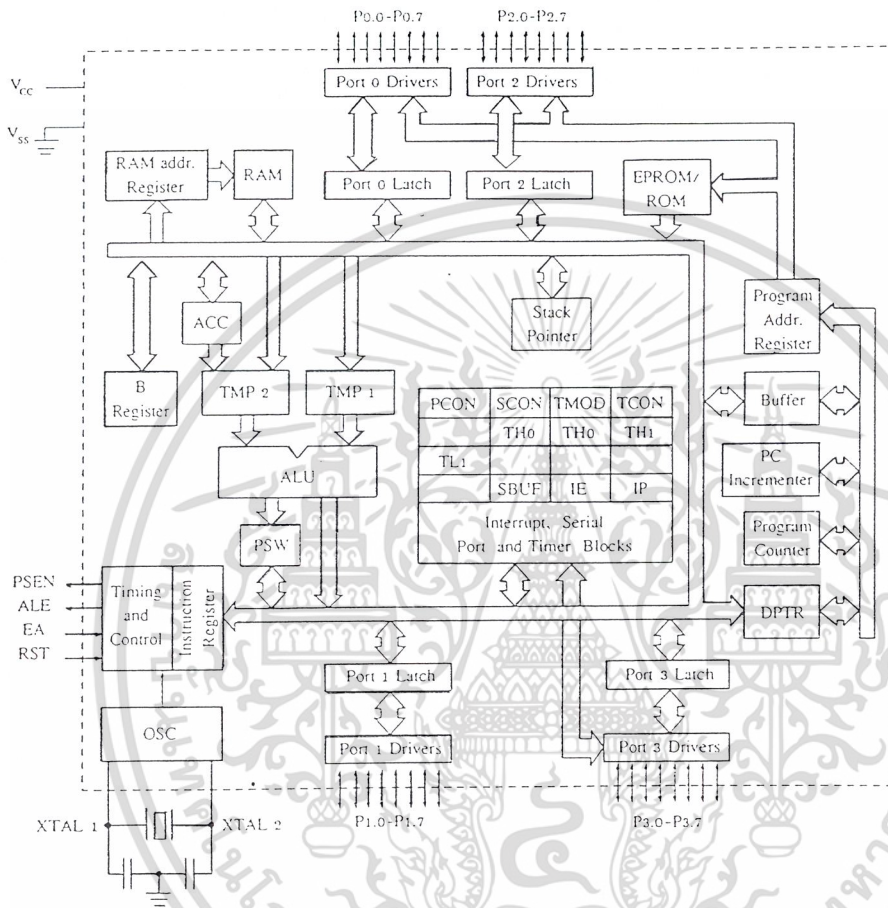
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยประมวลผลกลางของระบบคอมพิวเตอร์ (CPU) จะถูกสร้างเป็นไอซีแบบ LSI ซึ่งสามารถทำการคำนวณได้ภายใต้การควบคุมของโปรแกรมซึ่งเราอาจจะเลือกไมโครโปรเซสเซอร์อีกอย่างหนึ่งว่า หน่วยประมวลผลข้อมูล (Data Processing Unit) ดังนั้นหากจะสร้างระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นมาจะต้องมี IC ไมโครโปรเซสเซอร์ ตัวไมโครโปรเซสเซอร์บางรุ่นจะมีหน่วยความจำประกอบอยู่ในตัวของมัน และบางรุ่นจะมีระบบอินพุทเอาต์พุทอยู่ภายในตัวด้วยซึ่งเรียกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

### 2.3.2 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายแบบขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้นซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง และลักษณะของขาต่างๆจะเหมือนกัน คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

- มีหน่วยความจำ ROM 4K bytes
- มีหน่วยความจำ RAM 128K bytes
- มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
- มี Timer 16 บิต 2 ตัว
- สามารถอินเตอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง
- มีวงจรรอสัญญาณและวงจรมานาฬิกาบนชิพ
- มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

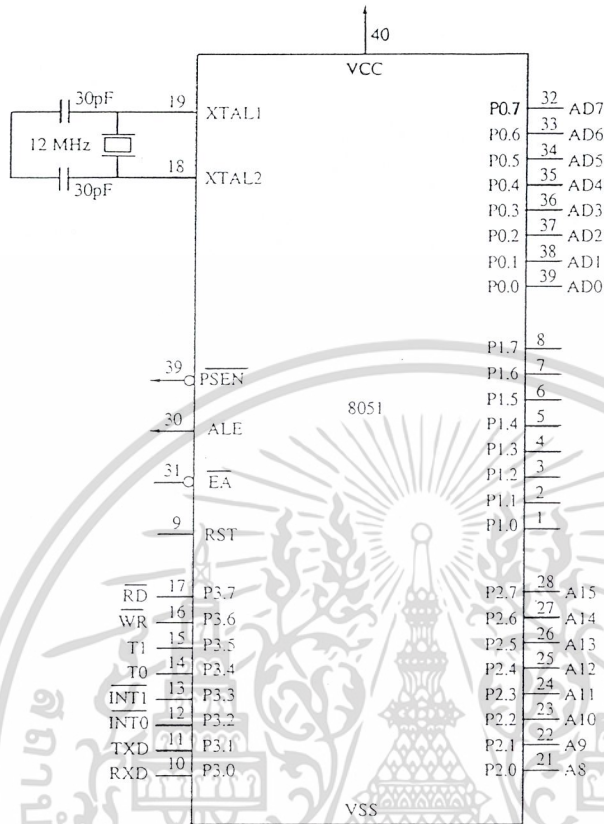


รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51

### 2.3.3 การจัดขาต่างๆของ MCS-51

ไอซี ไมโครคอนโทรเลอร์ 8051 ไอซีเป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่างๆจะใช้เป็นขาพอร์ทอินพุต, เอาท์พุท, ขาสัญญาณควบคุม, ขาค่าแห่งหน่วยความจำ และขาข้อมูลดังรูปที่

2.7



รูปที่ 2.7 แสดงขาต่างๆของ 8051

ความหมายของขาต่างๆมีดังนี้

1.) พอร์ต 0 (Port 0)

พอร์ต 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตได้นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

2.) พอร์ต 1 (Port 1)

พอร์ต 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้ คือ P1.0, P1.1,...etc

3.) พอร์ต 2 (Port 2)

พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าที คือใช้เป็นพอร์ต 8 บิตกับใช้เป็นขาแอดเดรส 8 บิต ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

4.) พอร์ต 3 (Port 3)

พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งาน 2 หน้าทีคือ เป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

เอกสารนี้(5.) PSEN (Program Store Enable) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา PSEN เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขา 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา PSEN จะต่อกับขา Output Anable (OE) ของ EPROM

#### 6.) ALE (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ท 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะต้องมีขา ALE ได้แก่ขา 30 ขานี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ พอร์ท 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้นจะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง พอร์ท 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data bus ต่อไป

#### 7.) EA (External Access)

ขา EA ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก “1” จะใช้กับเบอร์ 8051 /8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก “0” จะบอกให้ MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา EA จะเป็น “0” เสมอ เพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายในแค่ใช้เบอร์ 8051 / 8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในและให้ขา EA เป็น “0” ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

#### 8.) RST (Reset)

ขา RST ได้แก่ขา 9 จะใช้ในการรีเซ็ต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก “1” อย่างน้อย 2 Machine Cycle จึงจะรีเซ็ตระบบได้

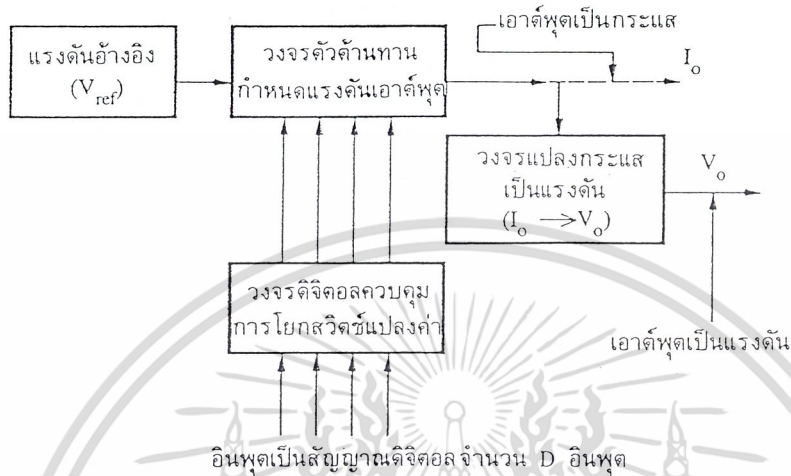
## 2.4 วงจร D/A (Digital to Analog Converter) และ วงจร A/D (Analog to Digital Converter)

### 2.4.1 วงจร D/A (Digital to Analog Converter)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาล็อก (DAC) คือ วงจรใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างวงจรดิจิทัลกับวงจรอะนาล็อก สัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ ตัวตรวจจับสัญญาณจะเป็นหน่วยเปลี่ยนกระบวนการทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ แรงดัน ความชื้น หรืออื่นๆ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปของแรงดัน กระแสหรือความต้านทานก็ตาม แต่จะมีความยุ่งยากมากขึ้นหากต้องการเก็บสัญญาณอะนาล็อกไว้ตลอดในช่วงเวลานานๆ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหรือคำนวณในภายหลัง ตรงกันข้ามคอมพิวเตอร์สามารถทำงานดังกล่าวนี้ได้ดีกว่ามากด้วยสัญญาณดิจิทัล หากเมื่อใดต้องการที่จะนำผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

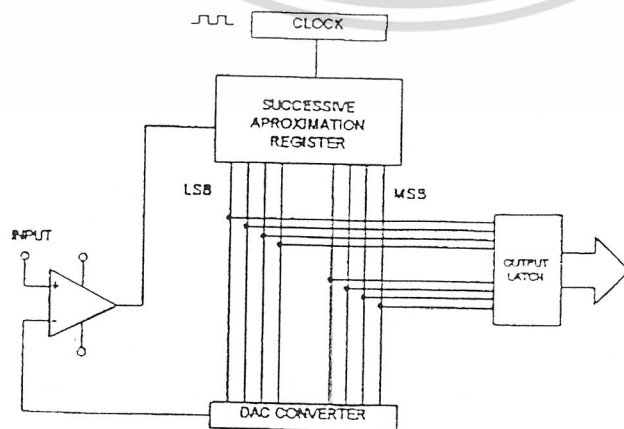
ไปควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องจักรกลใดๆที่ใช้สัญญาณอนาลอก จำเป็นต้องมีวงจร DAC ต่อร่วมอยู่ด้วยเสมอ



รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังของวงจรDAC และสัญลักษณ์

2.4.2 วงจรA/D (Analog to Digital Converter)

กระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติส่วนใหญ่หากนำมาแปรค่าเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามักเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแส หรือไม่ก็เป็นลักษณะของค่าความต้านทาน ลักษณะที่ได้จะเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้กับคอมพิวเตอร์โดยตรงได้จึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เราเรียกวงจรที่ทำหน้าที่ดังกล่าวว่า วงจร ADC การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลภายในตัวไอซี ADC ที่เป็นแบบ Successive Approximation เป็นการประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง เทคนิคการประมาณค่าอย่างต่อเนื่องเป็นเทคนิคที่น่าเลือกใช้ เพราะมีความละเอียดกว่าแบบอื่นๆและมีราคาถูก รวมทั้งมีความเร็วในการทำงานสูงมีประสิทธิภาพดี เพราะไม่มีการออสซิลเลท (Oscillate) เกิดขึ้น ซึ่งมีการทำงานดังนี้



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานแบบ Successive Approximation ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีสัญญาณอนาล็อกถูกป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์(Converter)และพัลซ์ การเปลี่ยนแปลงเริ่มต้นจะถูกป้อนให้กับตัว Successive Approximation Register (SAR)พัลซ์สัญญาณนาฬิกาถูกแรกที่ถูกรับป้อนให้กับ SAR จะ On เอาท์พุทของบิตหนักสูงสุด (MSB) ดังนั้นจึงเป็นการปรับให้เอาท์พุทของ DAC เป็น 50% ของแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ ตัว SAR จะมองไปยังเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบว่าเอาท์พุทของ DAC มีค่ามากกว่าวงจรเปรียบเทียบจะยังอยู่ในสถานะ Off ดังนั้นตัว SAR จะยัง Off บิตหนักสำคัญสูงสุดและให้ชื่อสถานะว่า “0” ถ้าแรงดันของ DAC มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาล็อกอินพุท วงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานอยู่ SAR จะปล่อยให้บิตสูงสุด On อยู่และมีสถานะเป็น “1” สถานะ “1” หรือ “0” จะกระทำภายในพัลซ์ของสัญญาณนาฬิกาเพียงอย่างเดียว บนสัญญาณนาฬิกาถัดไปตัว SAR จะ On บิตสูงสุดอันดับสองและทำการตรวจผลพัลซ์ที่ได้อีกครั้งหนึ่งของวงจรเปรียบเทียบจะไม่มี ดังนั้นตัว SAR จะ Off บิตสูงสุดอันดับสองและเรียกว่า “0” แต่สัญญาณจาก DAC มีค่าน้อยกว่า วงจรเปรียบเทียบจะทำงานและตัว SAR จะปล่อยให้บิตสูงสุดอันดับสอง On เรียกว่า “1”

ตัว SAR จะพิจารณาแต่ละบิตด้วยวิธีเดียวกันตั้งแต่บิตสูงสุดจนถึงบิตต่ำสุด จนกระทั่งทุกๆบิตถูกพิจารณาหมด เนื่องจากหนึ่งบิตถูกพิจารณาภายในหนึ่งบิตถูกพิจารณาภายในหนึ่งพัลซ์ ADC ขนาด 8 บิตจึงใช้สัญญาณนาฬิกา 8 พัลซ์ก็สามารถทำการแปลงจนจบกระบวนการ เมื่อบิตต่ำสุดถูกพิจารณาเสร็จสิ้นแล้ว SAR จะส่งสัญญาณสิ้นสุดการคอนเวอร์ชันไปทำการค้างค่า (Latch) ผลพัลซ์ที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐานสองไว้ที่ทางเอาท์พุท

## 2.5 CONVERTER

เมื่อต้องการควบคุมแรงดันหรือกระแสเอาต์พุทให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องได้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ ต้องใช้ไดโอดและเอสซีอาร์ต่อร่วมกันหรือใช้เอสซีอาร์อย่างเดียวต่อร่วมกัน

ซึ่งในโครงงานนี้เราจะใช้วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีทั้งแบบ (Fully Control Single Phase Bridge) และแบบ (Single Phase Half Controlled Bridge)

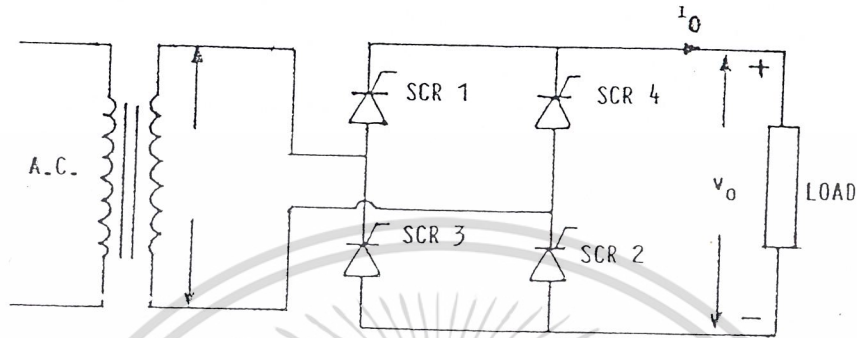
### 2.5.1 Fully controlled single – phase bridge

วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์โดยควบคุมเต็มจะประกอบด้วยเอสซีอาร์ จำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในการควบคุมแบบนี้จะสามารถจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ คือ ในกรณีที่โหลดเป็นมอเตอร์กระแสตรง

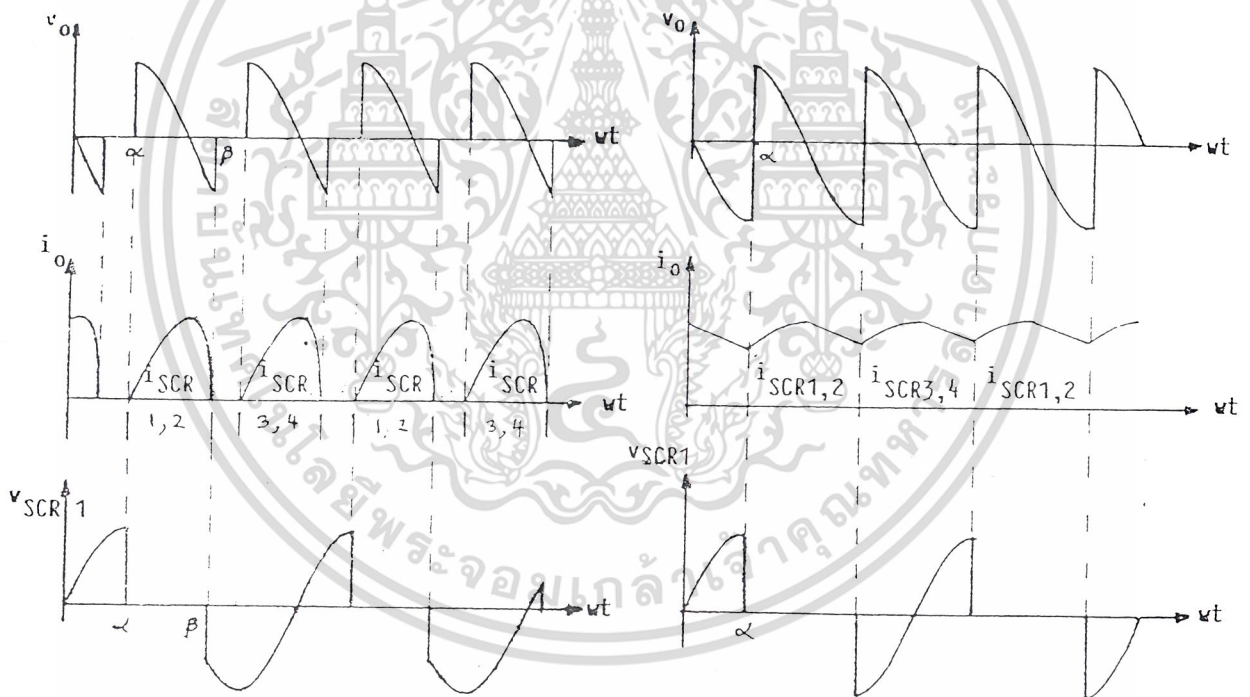
กระแสไหลผ่านโหลดเมื่อเอสซีอาร์ 1 และ 2 ถูกทริกให้นำกระแสพร้อมกันและเอสซีอาร์ 3 และ 4 จะต้องถูกทริกให้นำกระแสในครั้งลูกคลื่นต่อไป จะสังเกตว่าเอสซีอาร์สองตัวที่ต้องทริกให้นำกระแสพร้อมกัน ขั้วคาโทดไม่ได้ต่อร่วมกันและมีระดับแรงดันต่างกันเมื่อต้องการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วงจรสร้างสัญญาณทริกวงจรเดียวกัน จึงจำเป็นต้องใช้ pulse transformer หรือใช้ opto-coupler มาแยกคาโทดของเอสซีอาร์ทั้งสองออกจากกัน



รูปที่ 2.10 Fully-controlled single phase bridge



(ก) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด กระแสไหลต่อเนื่อง

(ข) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลดกระแสไหลต่อเนื่อง

รูปที่ 2.11 Fully – controlled single phase bridge with inductive load

สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลต่อเนื่อง ทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสที่มุม  $\alpha$  และ เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสที่มุม  $\beta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (2.13) ประโยชน์ด้านการค้า  

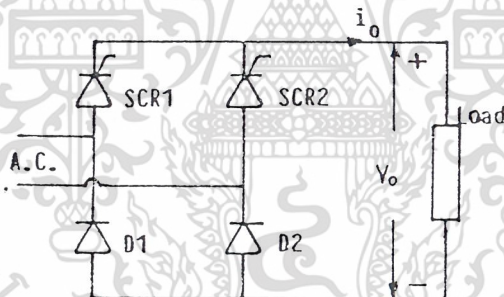
$$V_{o(ave)} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi} (\cos \alpha - \cos \beta); \alpha < \beta$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง คือ เริ่มทริกเอสซีอาร์ 1 และ 2 ให้นำกระแสที่มุม  $\alpha$  เอสซีอาร์ทั้งสองหยุดนำกระแสที่มุม  $180^\circ + \alpha$  และเริ่มทริกเอสซีอาร์ 3 และ 4 ให้นำกระแสที่มุม  $180^\circ + \alpha$  ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) แรงดันเฉลี่ยที่โหลดมีค่าเท่ากับ

$$V_{o(ave)} = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha; \alpha < \theta \tag{2.14}$$

### 2.5.2 Single Phase Half Controlled Bridge

การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิด 1 เฟสแบบ Half controlled bridge โดยใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.12



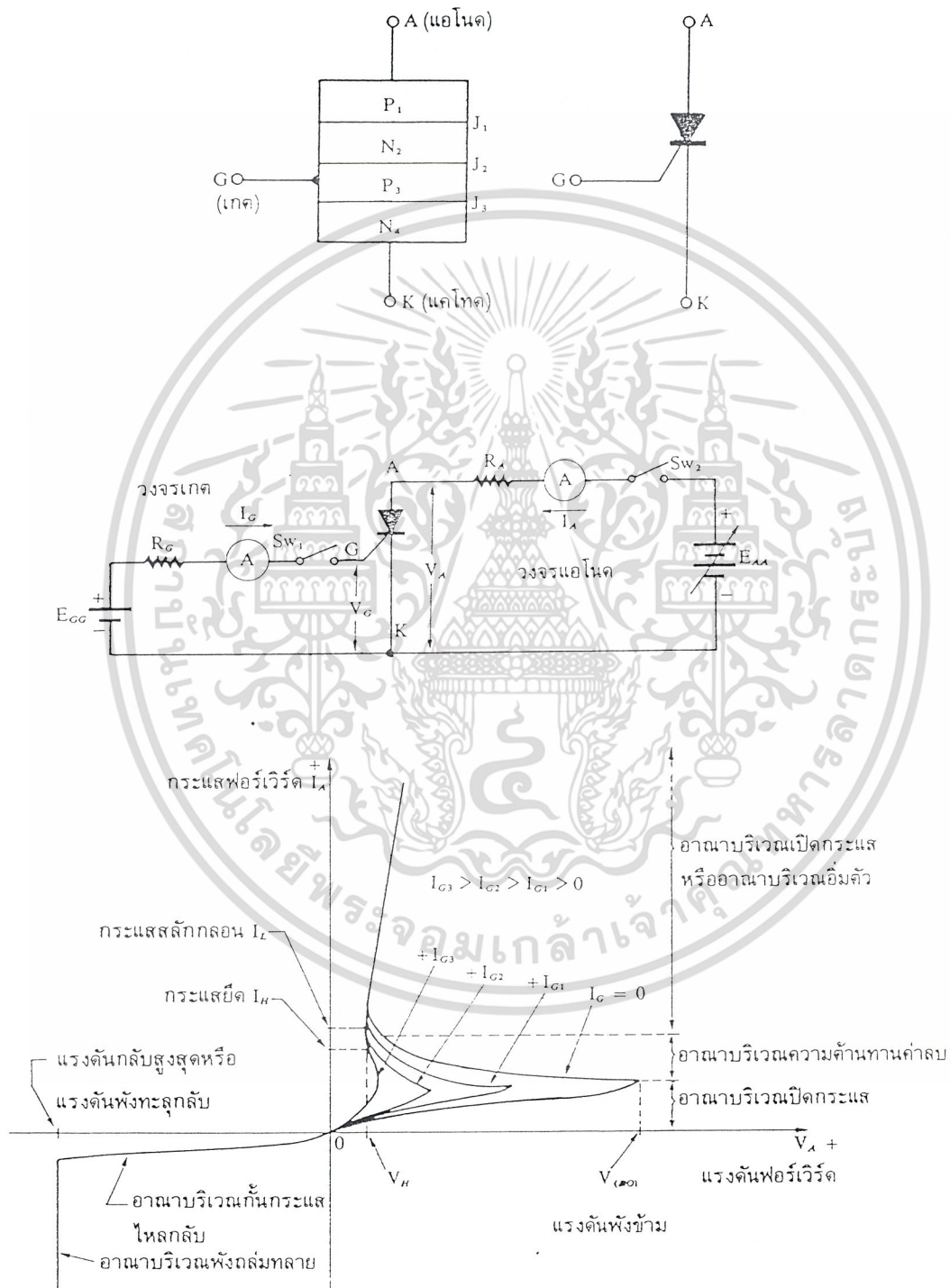
รูปที่ 2.12 แสดงการต่อ Single phase half controlled bridge

ในรูปที่ 2.12 เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 1 ให้นำกระแสเมื่อเอสซีอาร์ 1 ได้รับฟอร์เวอร์ไบ อัสจะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 ไดโอด 2 และโหลด และทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้นำกระแสเมื่อเอสซีอาร์ 2 ได้รับฟอร์เวอร์ไบ อัสจะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 2 ไดโอด 1 และโหลด

### 2.5.3 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของ SCR

SCR เป็นไครสโตร์ชนิดหนึ่งที่มี 3 ขั้วเรียกว่า แอนโนด (A) และแคโทด (K) และเกต (G) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายรูปด้านต่าง (ซึ่งเป็นรูปโครงสร้างของเอสยูเอส) เว้นแต่ว่าที่ชั้นของสาร P3 มีขั้วเกต เข้าติดต่อ

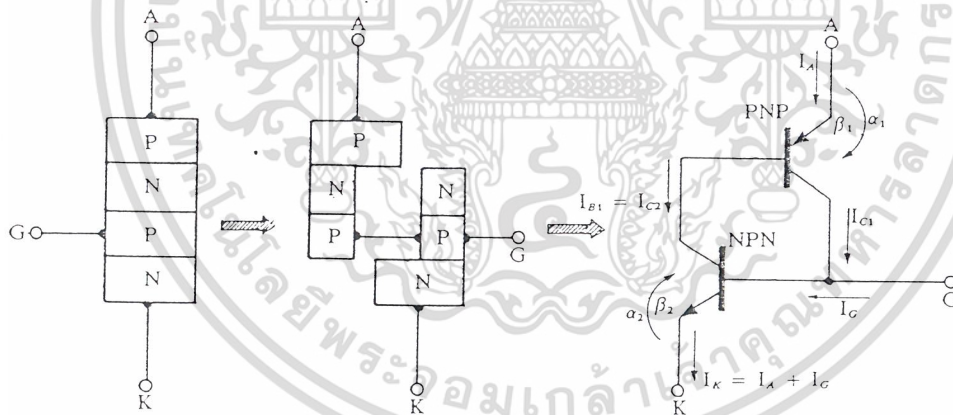
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 (ก) โครงสร้างของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (ข) สัญลักษณ์ของเอสซีอาร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนแรงดันแอนโคโนในทิสฟอว์เวิร์คให้กับ SCR ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวก็จะมีแรงดันเข้าไปเลี้ยงอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์ในทิสฟอว์เวิร์คแต่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองยังอยู่ในสภาวะปิดกระแส ต่อมาเพิ่มแรงดันแอนโคโนถึงค่าแรงดันพังข้าม  $V(BO)$  collector ของ ทรานซิสเตอร์ NPN ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ตัวล่างมีศักย์ลบปรากฏอยู่จะไปกระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ PNP ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ตัวบน จึงมีศักย์บวกปรากฏสูงขึ้น และส่งเข้ากระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวล่างให้เปิดกระแสมากขึ้น Collectorของทรานซิสเตอร์ตัวล่างก็จะมีศักย์ลบมากขึ้นและเข้ากระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดการนำกระแสมากขึ้น ซึ่งผลอันนี้จะวกกลับมากระตุ้นทรานซิสเตอร์ตัวล่างอีก กระบวนการนี้เป็นการป้อนกลับค่าบวก ซึ่งผลสุดท้ายจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแสในสภาวะอิ่มตัว ก็จะมีกระแสแอนโคโนของ SCR ไหลได้สูงมากและ SCR เข้าอยู่ในสภาวะเปิดกระแส



รูปที่ 2.14 โมเดลของ SCR แบบวงจรทรานซิสเตอร์ต่อกับแบบป้อนกลับค่าบวก

ถ้าต้องการของ SCR เปลี่ยนจากสภาวะเปิดกระแส เราก็ลดขนาดของกระแสแอนโคโน ( $I_a$ ) ลงให้ต่ำกว่า  $I_h$  กระแส Collector ตัวบนจะลดต่ำลงมากไม่พอที่จะกระตุ้นให้เบสของทรานซิสเตอร์ตัวล่างเปิดให้กระแสได้ต่อไป ศักย์ที่ Collector ของทรานซิสเตอร์ตัวล่างก็จะลดน้อยลงมาไม่พอที่จะไปกระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดนำกระแสต่อไป ทรานซิสเตอร์ก็หยุดนำกระแส ดังนั้น SCR จึงเปลี่ยนสภาวะกลับเข้าสู่สภาวะปิดกระแส

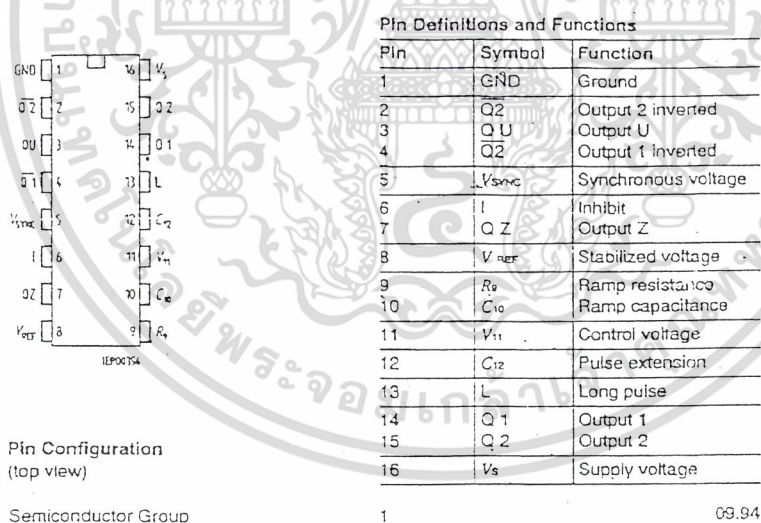
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราแรงดันแอนโตนค่าลบเข้าคู่กับ SCR ทรานซิสเตอร์ทั้งสองต่อจะอยู่ในสภาวะถูกไบแอสกลับทางจึงมีกระแสแอนโตนไหลได้น้อยมาก เมื่อเราป้อนแรงดันค่าลบที่มีค่าสูงมากที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเกิดพังถล่มทลายจึงจะมีกระแสแอนโตนไหลได้สูงมากและSCR ก็จะชำรุดเสียหายได้

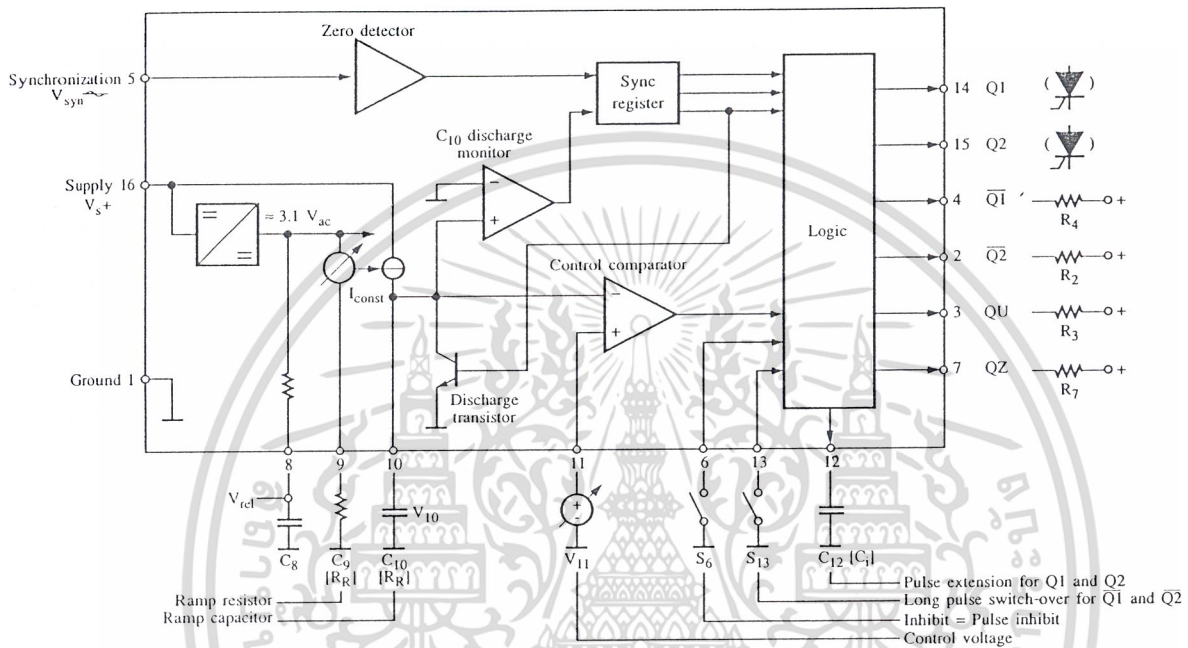
## 2.6 การสร้างสัญญาณทริกเกตเอสซีอาร์ (Thyristor Gate Triggering)

### 2.6.1 การทำงานของ TCA785

IC#TCA 785 จัดเป็น IC ที่ได้นำมาใช้เกี่ยวกับวงจรควบคุมเฟส (Phase control ) โดยทั่วไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น เอสซีอาร์ ไครแอคและจีทีโอ หน้าที่การทำงานในแต่ละขั้วของ TCA785 แสดงได้ดังรูปที่ 2.15

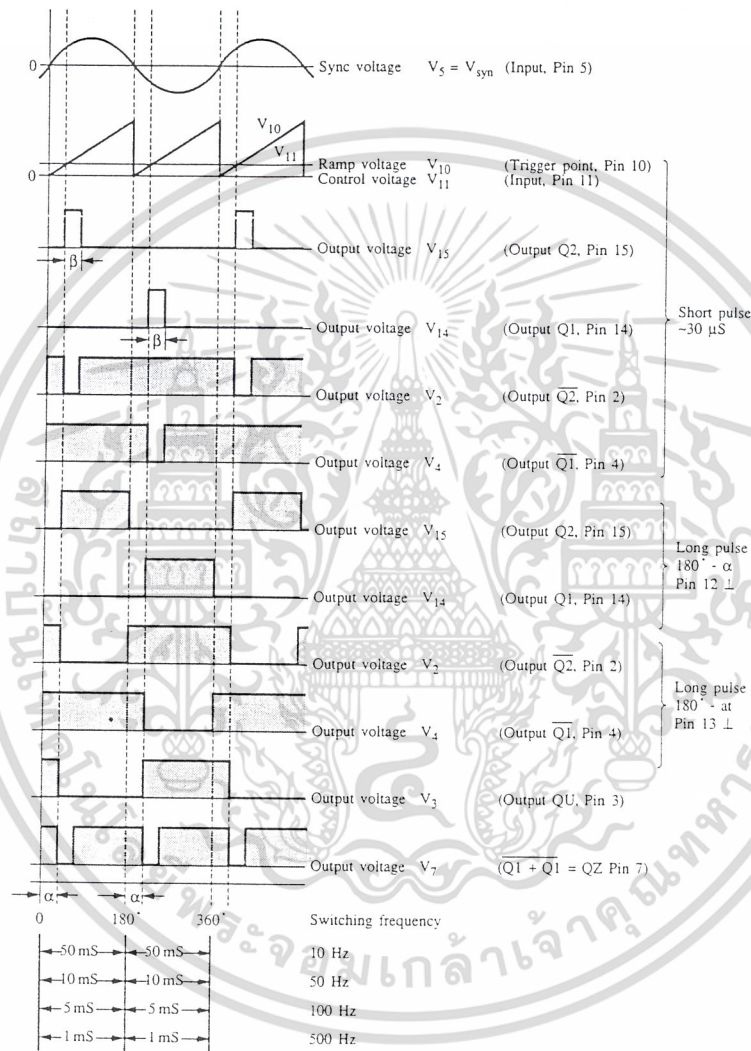


รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานในแต่ละขั้วของ TCA785



รูปที่ 2.16 แสดงบล็อกไดอะแกรม TCA785

จากบล็อกไดอะแกรม เมื่อ TCA785 ได้รับสัญญาณ Synchronization Voltage สัญญาณนี้ก็จะถูกส่งต่อไปยัง Zero Voltage Detector เพื่อตรวจสอบสถานะของสัญญาณในตำแหน่งที่เป็นศูนย์แล้วส่งต่อไปยัง Sync. Register เพื่อที่จะสร้าง Ramp Peck Voltage (V10) ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะควบคุมได้ว่าต้องการค่าสูงสุดเท่าไร โดยเปลี่ยนค่า  $R_e$  ตำแหน่งของมุมที่จะจุดขนวน ซึ่งอยู่ระหว่าง 0-180 องศาสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ โดยการปรับ Control Voltage (V11) เมื่อปรับค่าแรงดันไปสุด Control Comparator จะเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณระหว่าง V10 กับ V11 โดยขบวนการทาง Logic แล้วส่งออกไปยัง V14 กับ V15 คือห่างกัน 180 องศา และจะจุดสัญญาณจุดขนวนออกไปยัง Output แค่ 30 ไมโครวินาที ซึ่ง V14 จะมีสัญญาณจุดขนวนออกมาเมื่อ Vsync เป็นครึ่งคลื่นลบ และ V15 จะมีสัญญาณจุดขนวนออกมาเมื่อ Vsync เป็นครึ่งคลื่นบวก แต่ถ้าต้องการให้ได้สัญญาณจุดขนวนนานๆก็ให้นำขั้ว 12 ลงกราวด์ และถ้าเรานำ TCA 785 ไปใช้งาน โดยที่ต้องการสัญญาณกลับจากครั้งแรกก็สามารถใช้ Output ที่ V3, V7 ได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงรูปสัญญาณของ TCA 785

### 2.7 การตรวจจับแรงดันและความถี่

ในการตรวจจับแรงดันในโครงการนี้ใช้ Transformer เพื่อลดระดับแรงดันลงมา แล้วนำสัญญาณที่ได้เข้าไปประมวลผลใน Controller แล้วในส่วนการตรวจจับความถี่นั้น ใช้ IC LM2917 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณความถี่ ให้เป็นแรงดัน แล้วนำค่าแรงดันที่ได้ไปประมวลผลใน Controller เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

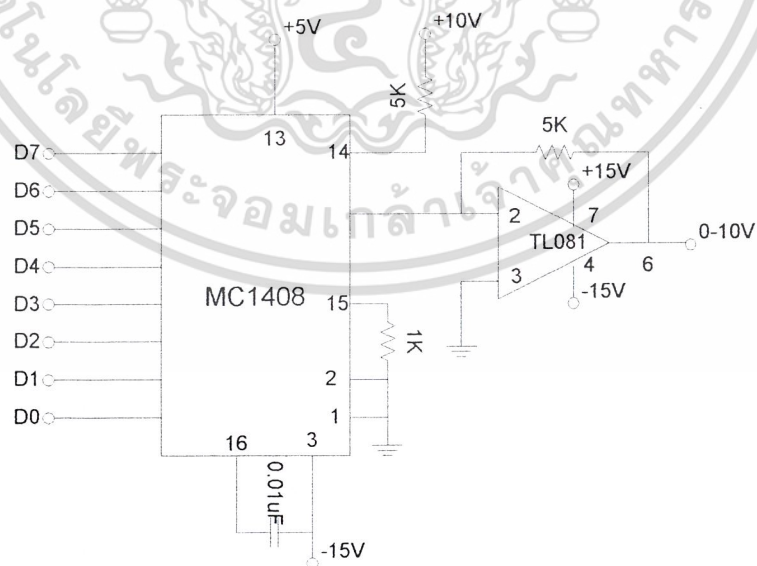
#### การคำนวณและการสร้าง

การออกแบบของระบบควบคุมแรงดันคงที่และความถี่คงที่ ประกอบด้วย

- วงจร D/A (Digital to Analog)
- วงจร A/D (Analog to Digital)
- วงจรตรวจจับความถี่ (Frequency Detector)
- วงจรตรวจจับแรงดัน (Voltage Detector)
- วงจร Full Controlled Single Phase Bridge และการคำนวณ
- วงจร Single Phase Half Control Bridge และการคำนวณ
- การออกแบบโปรแกรมควบคุม

#### 3.1 วงจร D/A (Digital to Analog Converter)

โครงงานนี้ใช้วงจร DAC ชนิด Monolithic เมอร์ MC1408, DAC0808 ซึ่งใช้ค่าความต้านทานที่สร้างขึ้นมารวมกันในขบวนการผลิตทาง IC ทำให้ค่าอัตราส่วนความต้านทาน(R/2R) มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 ค่า โครงสร้างและการต่อใช้งานแสดงในรูปที่ 3.1



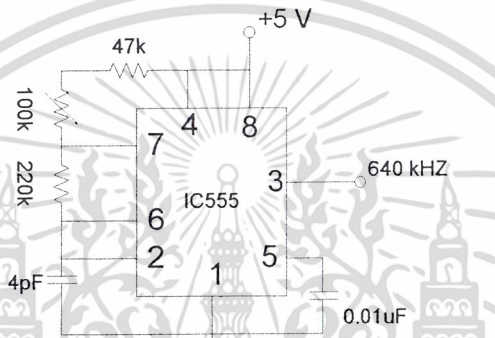
รูปที่ 3.1 (a) Block diagram (b) การต่อใช้งานของ MC1408

#### 3.2 วงจร A/D (Analog to Digital Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 วงจร A/D Converter ใช้ IC ADC0809 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

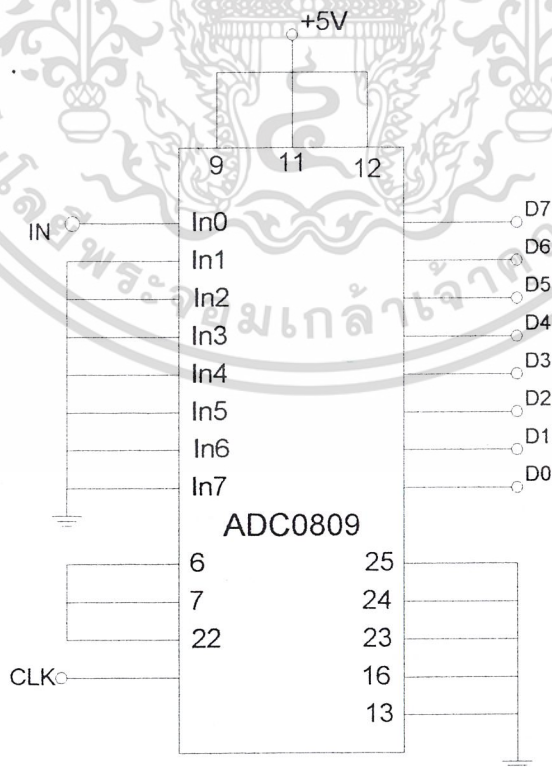
- 8-bit A/D Converter
- 8 channel multiplexer with an address input latch
- Unadjusted error of  $\pm 1$  LSB
- Conversion in  $\sim 100\mu\text{S}$  (640 kHz clock)

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อจ่ายให้ A/D converter ใช้ IC 555



รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาป้อน IC ADC0809.

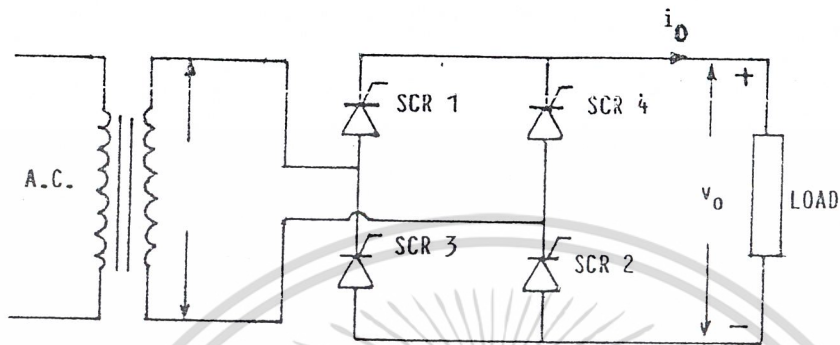
มีวงจรชุด A/D Converter ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ปรากฏการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงเนื้อหา และต้องรับผิดชอบต่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 3.5 วงจร Fully Controlled Single-Phase Bridge



รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Fully Controlled Single-Phase Bridge  
จากรูปที่ 3.6 สามารถหาแรงดัน DC ที่จ่ายได้ตามค่ามุมที่เปลี่ยนไปดังสมการต่อไปนี้  
จากสมการ (2.14)

$$V_{o(ave)} = \frac{2\sqrt{2}v}{\pi} \cos \alpha$$

ให้

$$V_s = 220\text{V}$$

$$V_p = \sqrt{2} V_{rms}$$

$$= \sqrt{2} * 220$$

$$= 311.13 \text{ V}$$

และกำหนดให้มุม  $\alpha = 0$  องศา

แทนค่าในสมการ (2.14)

$$V_o = \frac{2 \times 311.13}{\pi} (\cos 0)$$

$$= 198.07 \text{ V}$$

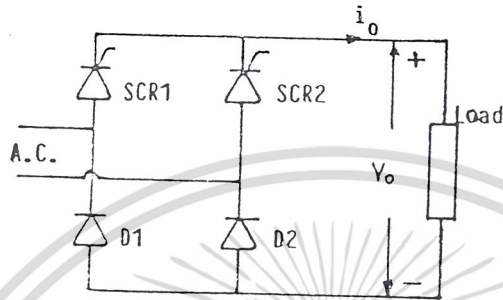
และกำหนดให้มุม  $\alpha = 180$  องศา

แทนค่าในสมการ (2.14)

$$V_o = \frac{2 \times 311.13}{\pi} (\cos 180)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 Single- Phase Half Controlled Bridge



รูปที่ 3.7 วงจร Single-Phase Half Controlled Bridge

จากรูปสามารถหาแรงดัน DC ที่จ่ายได้ตามค่ามุมที่เปลี่ยน จากสมการ (3.1)

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (3.1)$$

ให้  $V_s = 220V$

และกำหนดให้มุม  $\alpha = 0$  องศา

$$V_{dc} = 198.07 V$$

และกำหนดให้มุม  $\alpha = 180$  องศา

$$V_{dc} = 0 V$$

3.7 การออกแบบโปรแกรมควบคุม

การออกแบบมีสองส่วนคือ ส่วนโฟลว์ชาร์ท(Flowchart) และส่วนโปรแกรมซึ่งส่วนนี้จะ อยู่ในภาคผนวก สัญลักษณ์ในส่วน โฟลว์ชาร์ทมีดังนี้

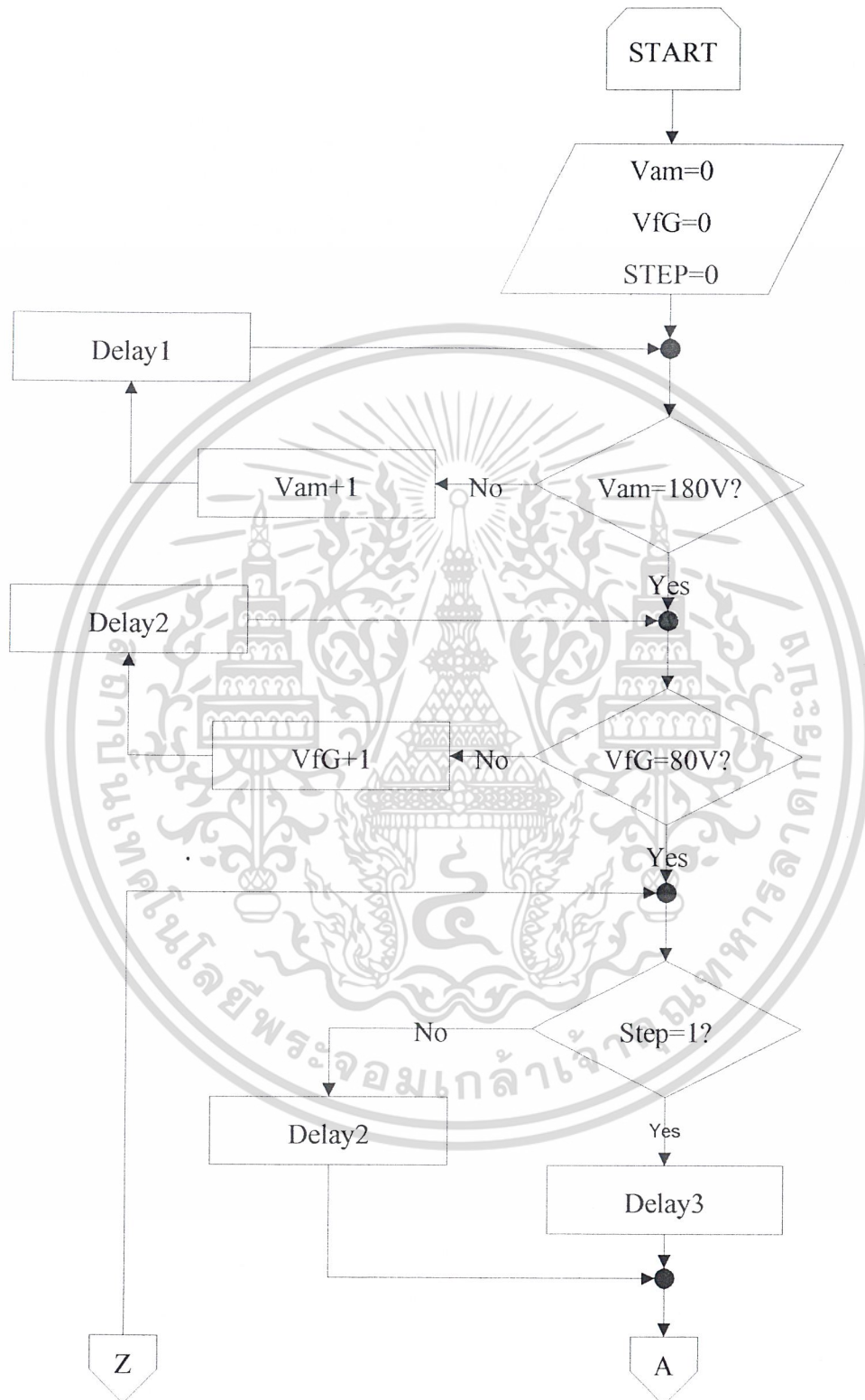
$V_m$  : แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ไฟฟ้า

$V_{FG}$  : แรงดันที่ป้อนให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$V$  : แรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

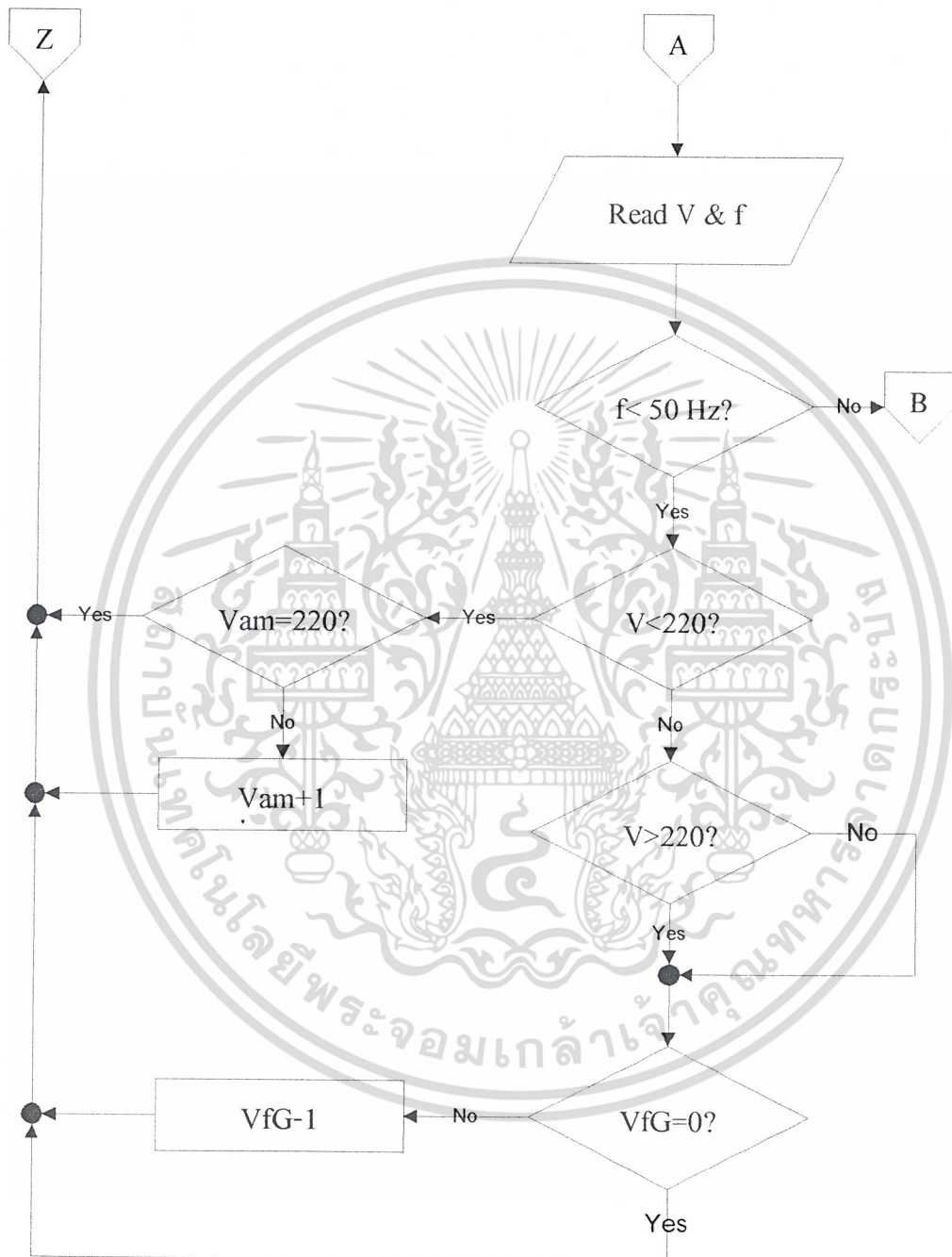
$f$  : ความถี่ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



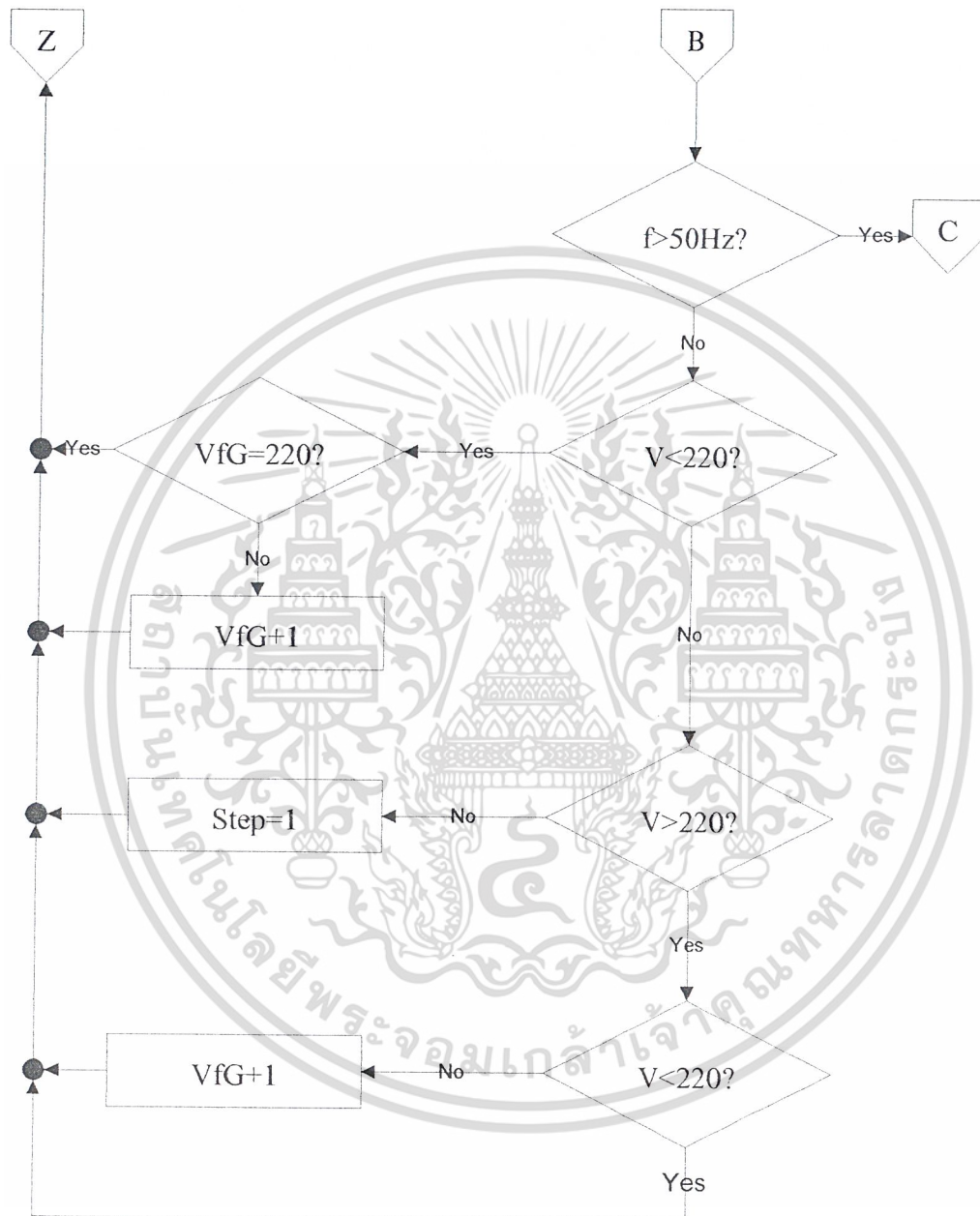
รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



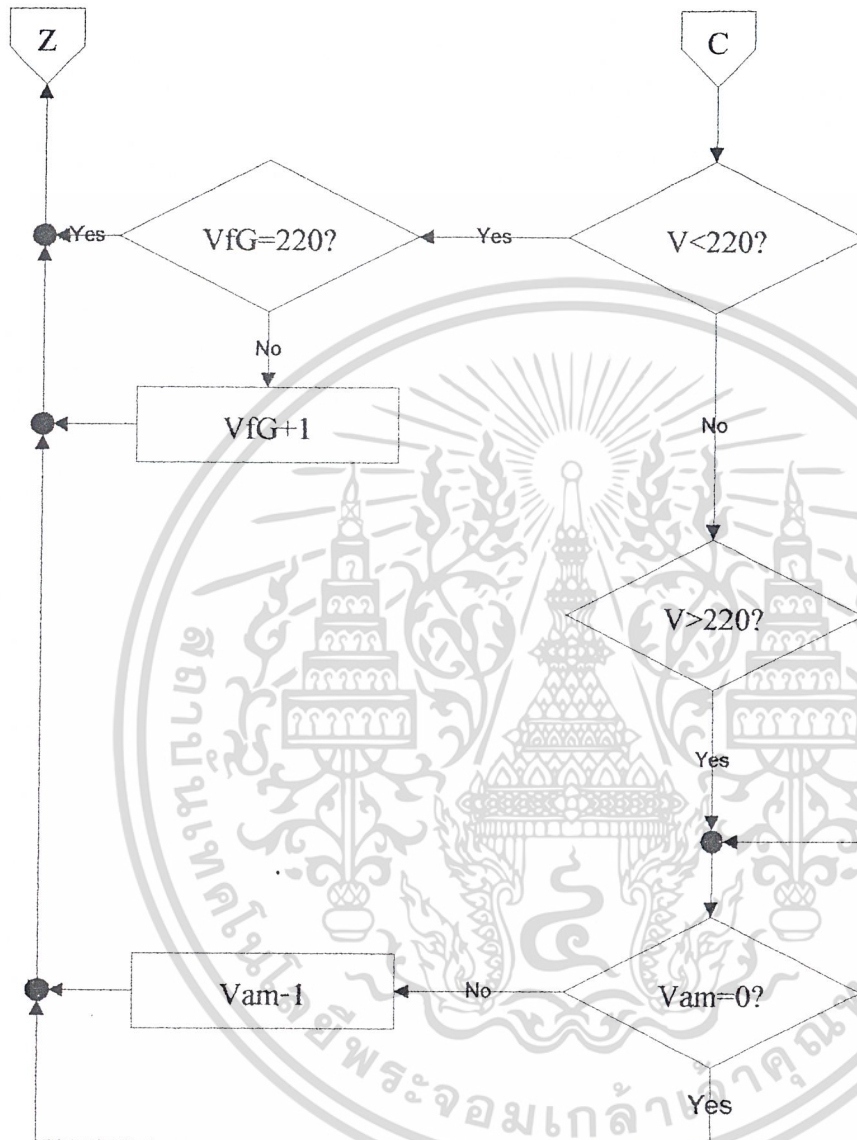
รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมควบคุม(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมควบคุม(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทของ โปรแกรมควบคุม(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

 Interrupt
 

---



รูปที่ 3.8 โพลวัซาร์ทของโปรแกรมควบคุม(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

## การทดสอบและผลการทดลอง

ข้อมูลพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

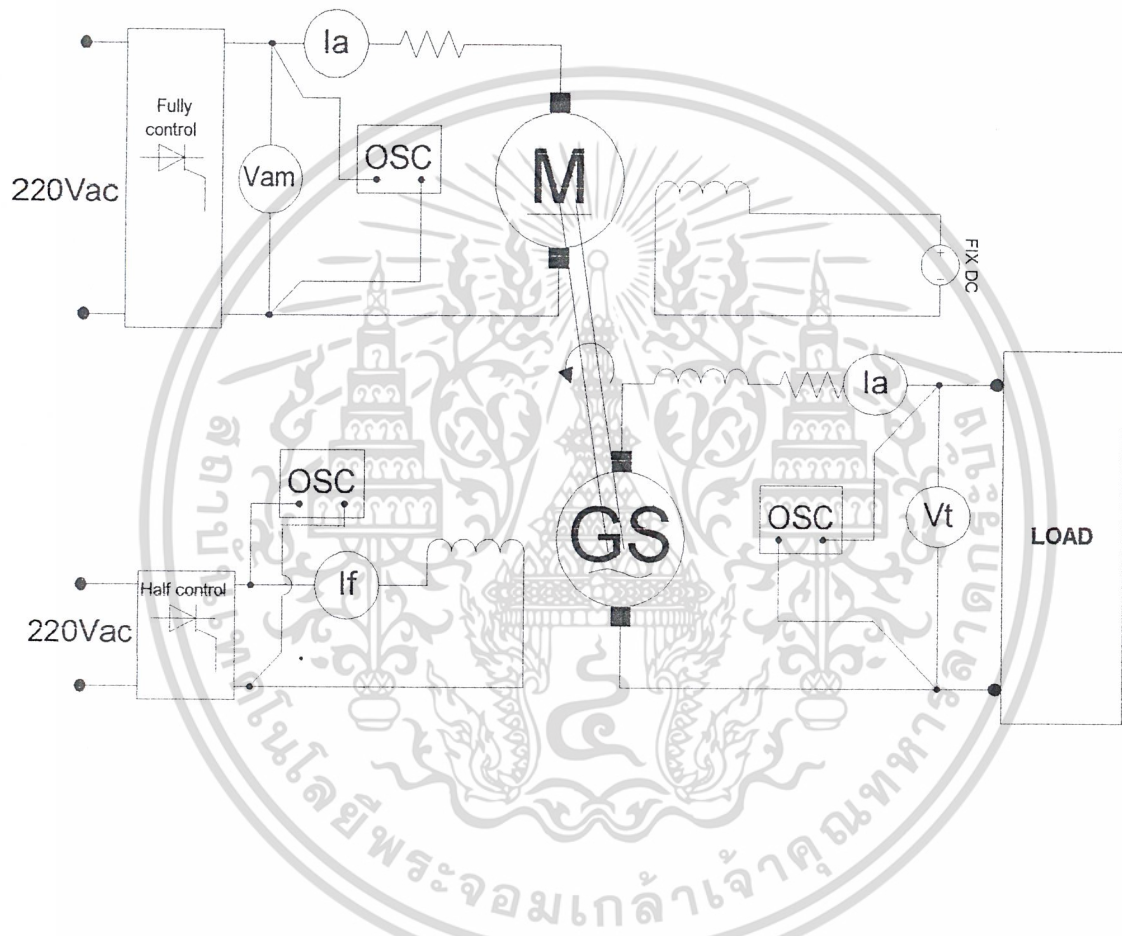
Series Reek	73.1058			N <sup>o</sup>	5B
V	220	A	7.9	KVA	3
KW	2.4	N	1500rpm	Ex	220V

ข้อมูลพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

Series Reek	73.1058			N <sup>o</sup>	1A
V	220	A	13.6	KW	3
Tr/min	1500rpm			Ex	220V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

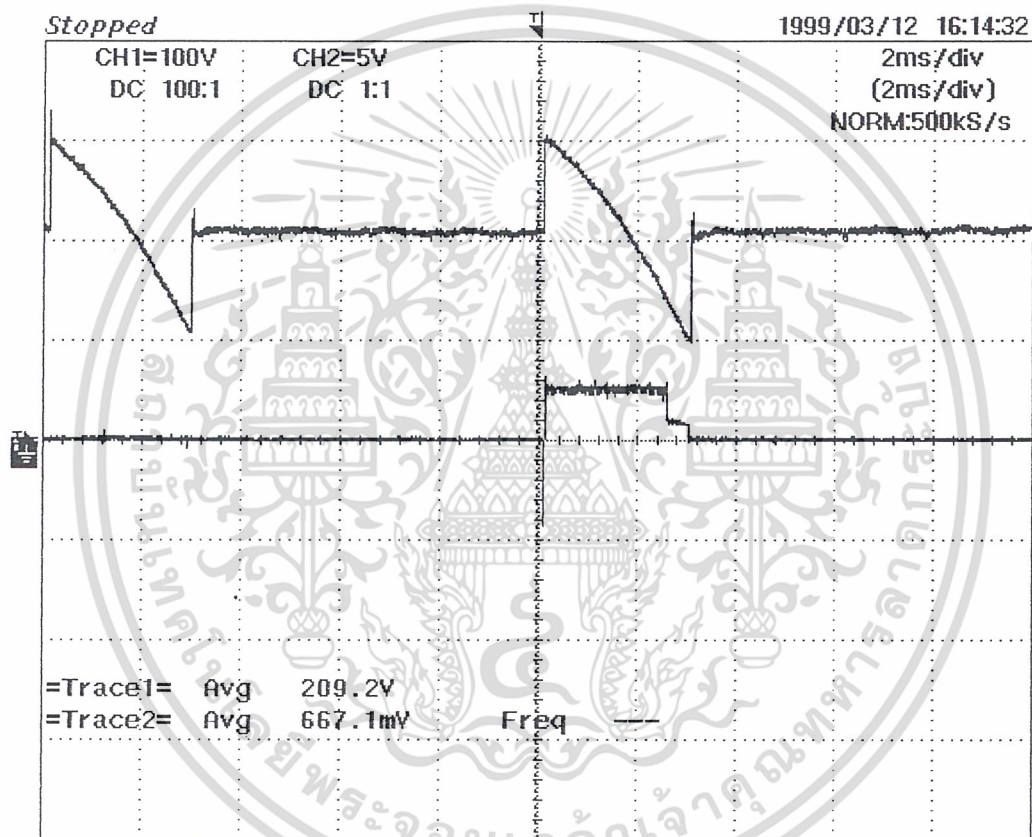
## 4.1 ตัวอย่างการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.1 วงจรการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

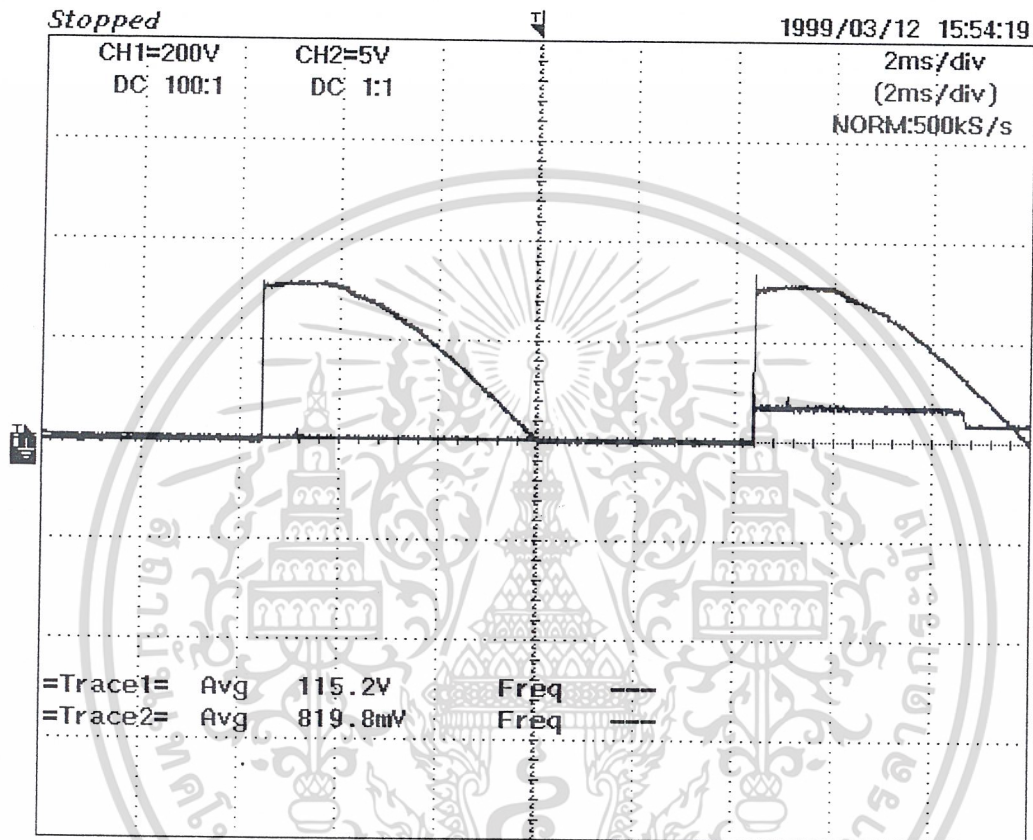
## 4.2 วัดสัญญาณเอาต์พุตของ Fully controlled single-phase bridge



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของ Fully controlled single phase bridge และสัญญาณ  
 ทรัก ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 1500 รอบต่อนาที กระแสกระตุ้น 0.2แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 วัดสัญญาณเอาต์พุตของ Single phase half controlled bridge

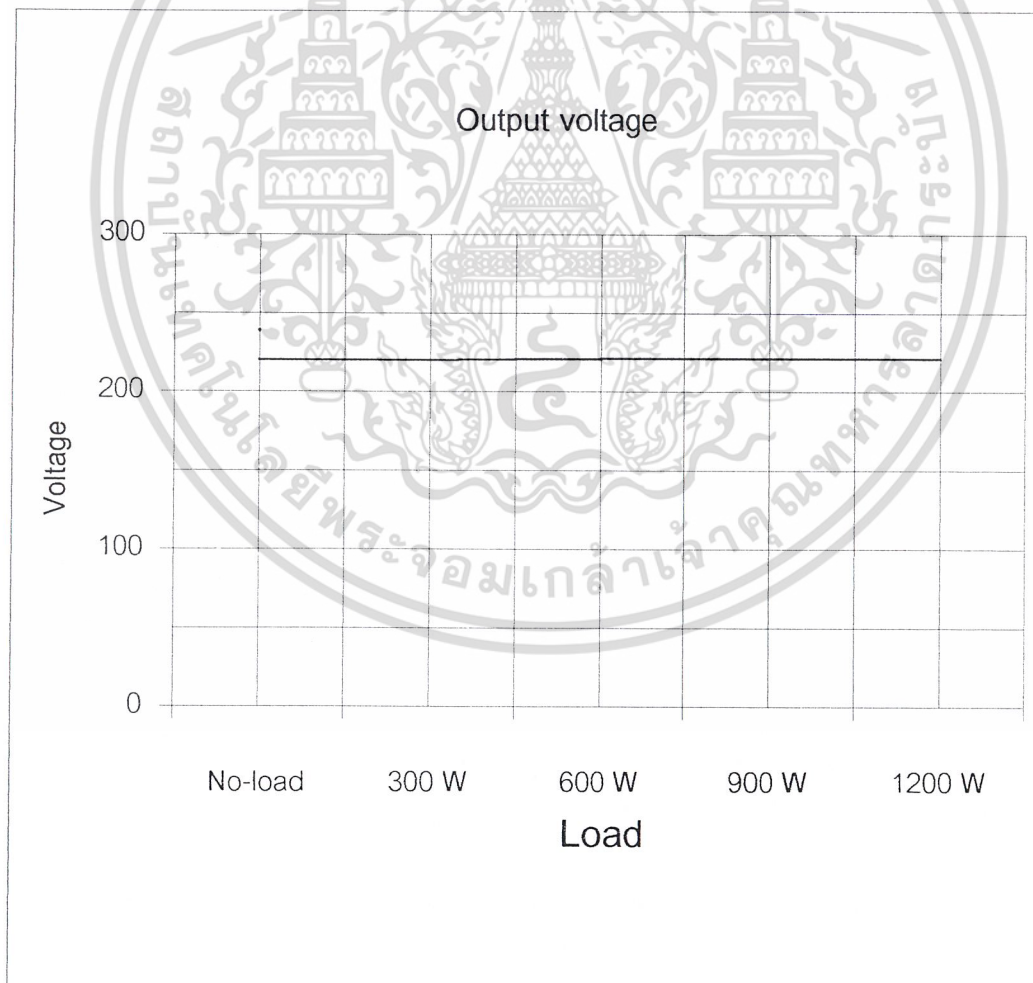


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของ Single phase controlled bridge และสัญญาณทริกที่จ่ายให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 220 โวลท์ ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

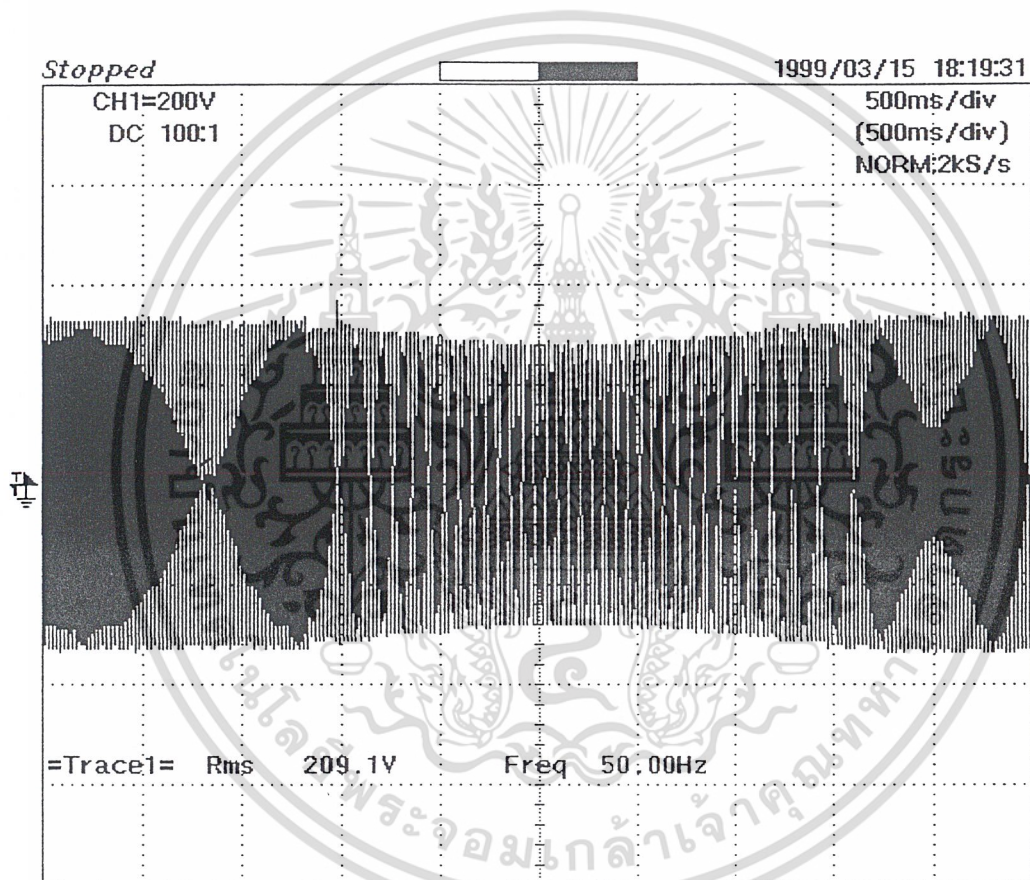
4.4 ทดสอบระบบควบคุมแบบปิด

Load	Motor		Generator			ความเร็ว (rpm)	ความถี่ (Hz)
	Ia	Vam	Ia	If	Vt		
No-load	1.2	150	0	0.25	220	1518	50.6
300 W	3.2	155	0.72	0.29	220	1515	50.5
600 W	4.8	160	1.88	0.29	221	1517	50.9
900 W	6.4	170	2.4	0.29	221	1515	50.5
1200 W	8.2	180	3.1	0.29	221	1513	50.4



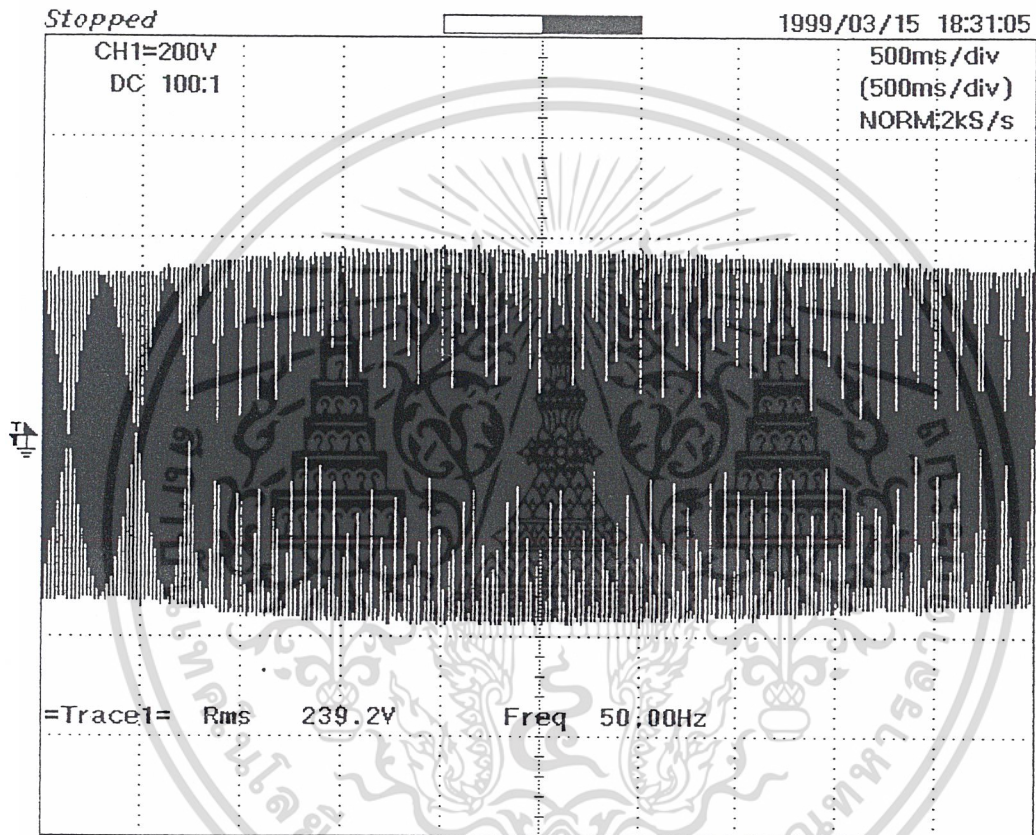
รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต ที่ค่าโหลดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



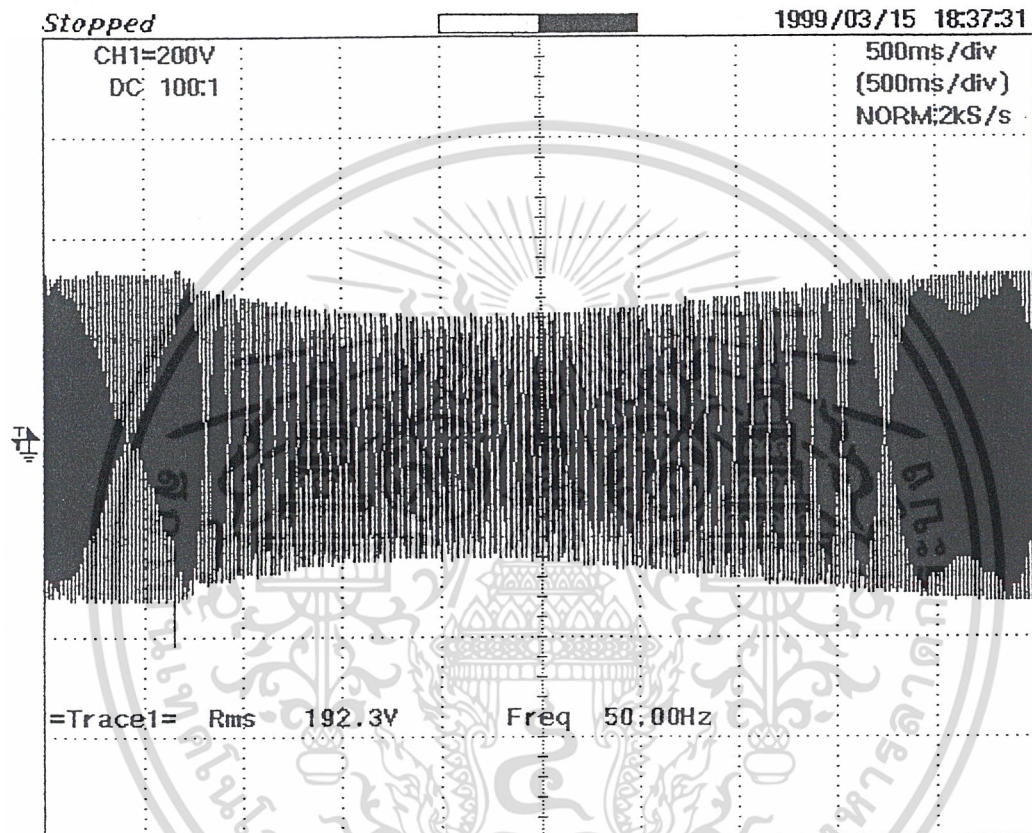
รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุตขณะเริ่มจ่ายโหลด 600 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



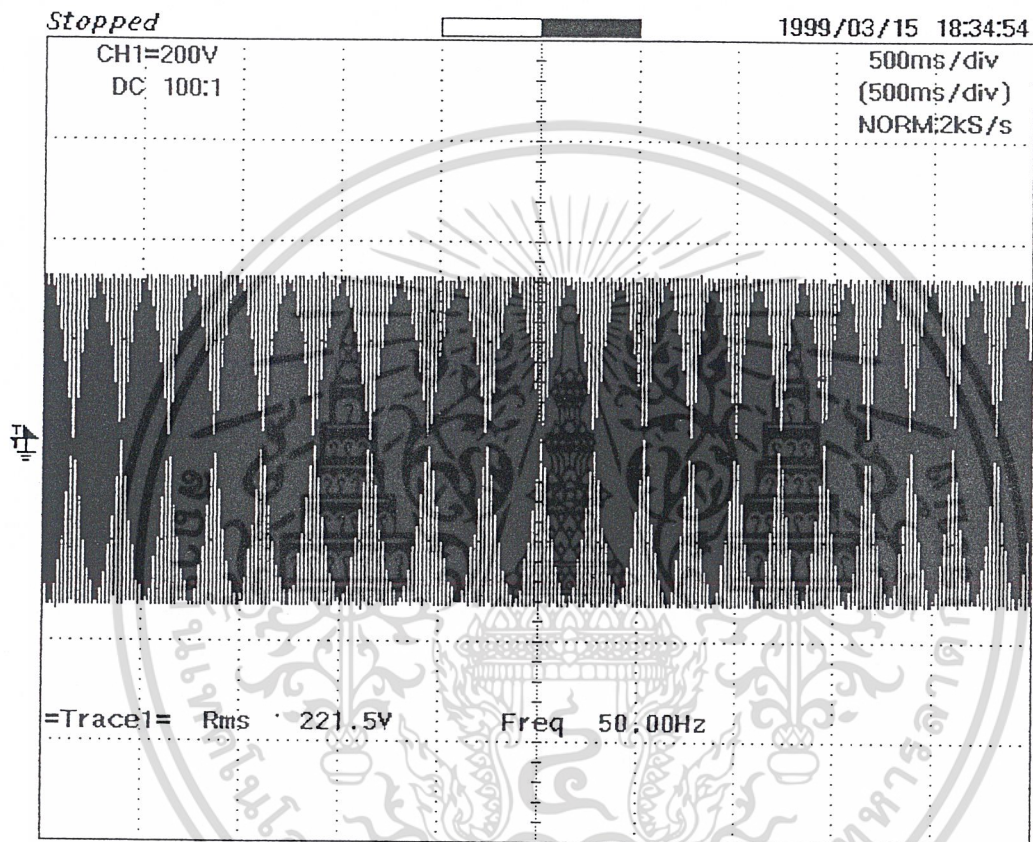
รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันขณะเริ่มปลดโหลด 600 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



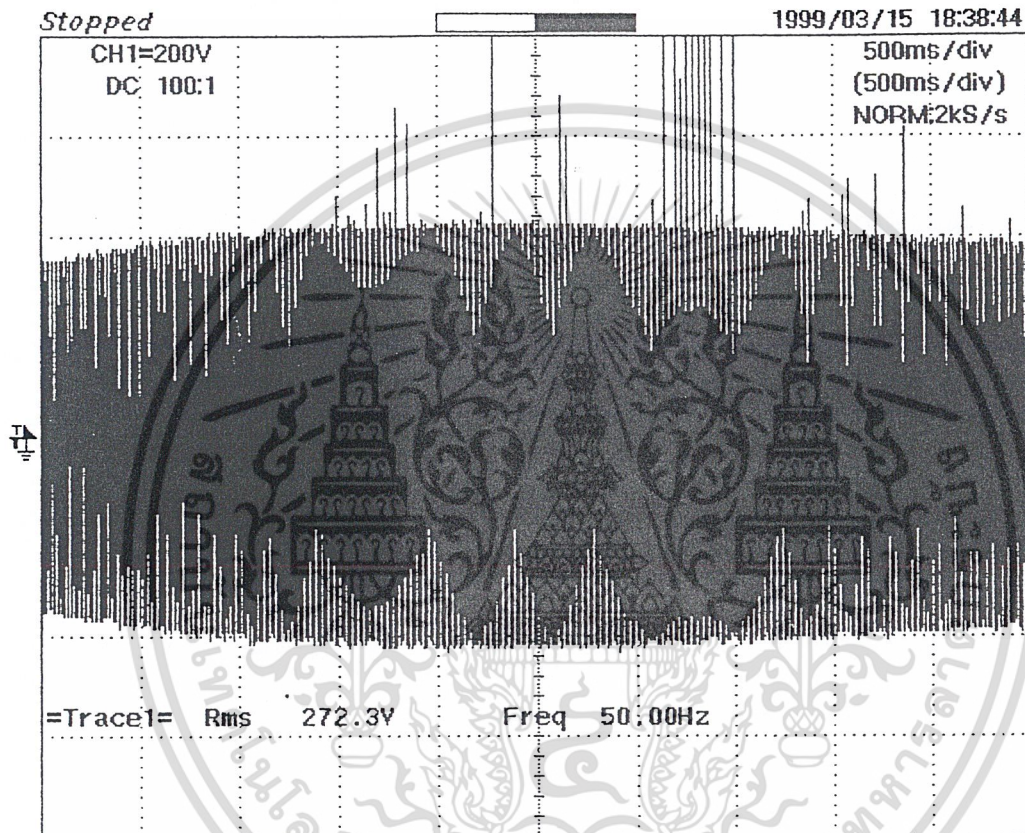
รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตขณะเริ่มจ่ายโหลด 900 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงแรงดันเอาต์พุตและความถี่ขณะจ่ายโหลด 900 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตขณะปลด โหลด 900 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปและวิจารณ์การทดลอง

จากผลการทดลองระบบควบคุมแรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้คงที่ แบบระบบปิด จะเห็นว่าขณะภาวะคงที่แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ในช่วง 218-222 โวลต์ และความถี่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ในช่วง 49-51 เฮิรตซ์ และเมื่อขณะจ่ายภาระไฟฟ้า แรงดันและความถี่จะตกลง แล้วปรับตัวเข้าสู่ภาวะคงที่ ซึ่งการจ่ายภาระไฟฟ้า ถ้าจ่ายมากแรงดันและความถี่ก็จะตกลงมาเช่นกัน ส่วนขณะปลดภาระออก แรงดันและความถี่จะเพิ่มขึ้นและปรับตัวเข้าสู่ภาวะคงที่ ซึ่งเวลาในการปรับตัวเข้าสู่ภาวะคงที่จะเพิ่มมากขึ้นถ้าภาระมากขึ้น

ผลการทดลองของระบบนี้ที่แรงดันและความถี่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลง เนื่องจากระบบที่ทำการศึกษาขึ้นนี้เป็นระบบพื้นฐาน เป็นลักษณะควบคุมแบบ P (P Control) การควบคุมจะนำเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้แล้วแล้วนำผลต่างไปตั้งควบคุมตัวแปรทางอินพุต เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตตามต้องการ แต่เวลาในการประมวลผลโปรแกรมมีการหน่วงเวลา สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านชุดตรวจจับสัญญาณแล้วผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์, สัญญาณที่ส่งออกไปจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกเพื่อควบคุมตัวแปรอินพุตและเครื่องมือกับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีค่าผิดพลาดในตัวเอง ด้วยเหตุต่างๆเหล่านี้เอง ที่ทำให้เอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลง

จากโครงงานนี้ผลเอาต์พุตที่ได้ก็ถือว่าอยู่ในวัตถุประสงค์ของการศึกษาพื้นฐานระบบแหล่งจ่ายแรงดันและความถี่คงที่ ซึ่งจากพื้นฐานเหล่านี้ทำให้เราสามารถเข้าใจและพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นได้เช่น การควบคุมแบบระบบปิดอาจมีการชดเชยระบบที่ดีขึ้น อาจใช้การควบคุมแบบ พีไอ (PI Control) หรือ การควบคุมแบบ พีดี (PD Control) หรือการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control) เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;PROJECT : CONSTANT VOLTAGE AND FREQUENCY SOURCE

```

      ORG    0003H
      LCALL STOP
      ;
      ORG    8000H
      SETB  IE.7
      SETB  IE.0
      MOV   66H,#80H
      MOV   67H,#0FBH
      ;
      MOV   A,#89H
      MOV   DPTR,#0FC03H
      MOVX  @DPTR,A
      ;
      MOV   A,#0FFH
      MOV   DPTR,#0FC01H
      MOVX  @DPTR,A
      MOV   R0,A
      ;
      MOV   A,#0FFH
      MOV   DPTR,#0FC00H
      MOVX  @DPTR,A
      MOV   R1,A
      ;
      CLR   20H.0 ;0-->STEP
      ;
J1:   CJNE  R0,#0E0H,DFC01
      SJMP  J2
      ;
DFC01: MOV   DPTR,#0FC01H
      DEC   R0
      MOV   A,R0
      MOVX  @DPTR,A
      LCALL DELAY1
      SJMP  J1
      ;
J2:   CJNE  R1,#0D0H,DFC00
      SJMP  J3
      ;
DFC00: MOV   DPTR,#0FC00H
      DEC   R1
      MOV   A,R1
      MOVX  @DPTR,A
      LCALL DELAY2
      SJMP  J2
      ;
J3:   JB    20H.0,OPERATE
      LCALL DELAY2
      SJMP  J4
      ;
OPERATE: LCALL DELAY3

```

```

J4:    MOV    P1,#0FFH
        MOV    A,P1
        MOV    R3,A
        MOV    A,#0FFH
        MOV    DPTR,#0FC02H
        MOVX   A,@DPTR
        MOV    R4,A
        ;
        CJNE  R3,#0D2H,CHK_F
        SJMP  EQU_50
        ;
CHK_F:  JC     LESS_50
        JNC   MORE_50
        ;
LESS_50: CJNE  R4,#0D1H,CHK_V_1
        SJMP  MORE_220
        ;
CHK_V_1: JC     LESS_220
        JNC   MORE_220
        ;
LESS_220: CJNE  R0,#00H,CHK_Vtm
        SJMP  INC_Vtm
        ;
CHK_Vtm: JC     ERROR1
        JNC   INC_Vtm
        ;
ERROR1:  SJMP  J3
        ;
INC_Vtm: MOV    DPTR,#0FC01H
        DEC    R0
        MOV    A,R0
        MOVX   @DPTR,A
        SJMP  J3
        ;
MORE_220: CJNE  R1,#0FFH,DEC_VfG1
        SJMP  J3
        ;
DEC_VfG1: MOV    DPTR,#0FC00H
        INC    R1
        MOV    A,R1
        MOVX   @DPTR,A
        SJMP  J3
        ;
MORE_50: CJNE  R4,#0D1H,CHK_V_3
        SJMP  MO_220
        ;
CHK_V_3: JC     LS_220
        JNC   MO_220
        ;
LS_220:  CJNE  R1,#00H,INC_VfG2
        SJMP  J3
        ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INC_vfG2:  MOV    DPTR,#0FC00H
           DEC    R1
           MOV    A,R1
           MOVX   @DPTR,A
           SJMP   J3
           ;
MO_220:    CJNE   R0,#0FFH,DEC_vtm
           LJMP   J3
           ;
DEC_vtm:   MOV    DPTR,#0FC01H
           INC    R0
           MOV    A,R0
           MOVX   @DPTR,A
           LJMP   J3
           ;
EQU_50:    CJNE   R4,#0D1H,CHK_V_2
           SETB   20H.0 ;1-->STEP
           LCALL  00A5H
           LJMP   J3
           ;
CHK_V_2:   JC     LSS_220
           JNC    MOR_220
           ;
LSS_220:   CJNE   R1,#00H,INC_vfG1
           LJMP   J3
           ;
INC_vfG1:  MOV    DPTR,#0FC00H
           DEC    R1
           MOV    A,R1
           MOVX   @DPTR,A
           LJMP   J3
           ;
MOR_220:   CJNE   R0,#0FFH,DEC_vtm2
           LJMP   J3
           ;
DEC_vtm2:  MOV    DPTR,#0FC01H
           INC    R0
           MOV    A,R0
           MOVX   @DPTR,A
           LJMP   J3
           ;
DELAY1:   MOV    R5,#02H
LOOP1:    MOV    R6,#0FFH
LOOP2:    MOV    R7,#0FFH
           DJNZ   R7,$
           DJNZ   R6,LOOP2
           DJNZ   R5,LOOP1
           RET
           ;
DELAY2:   MOV    R6,#0F0H
CYCLE:    MOV    R7,#0FFH
           DJNZ   R7,$

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                DJNZ  R6,CYCLE
                RET
                ;
DELAY3:        MOV   R6,#37H
ROUND:         MOV   R7,#0FFH
                DJNZ  R7,$
                DJNZ  R6,ROUND
                RET
                ;
STOP:          CJNE  R0,#0FFH,DE_Vtm
                SJMP  JX
                ;
DE_Vtm:        MOV   DPTR,#0FC01H
                INC   R0
                MOV   A,R0
                MOVX  @DPTR,A
                ACALL DELAY2
                SJMP  STOP
                ;
JX:            CJNE  R1,#0FFH,DE_vfg
                SJMP  FINAL
                ;
DE_vfg:        MOV   DPTR,#0FC00H
                INC   R1
                MOV   A,R1
                MOVX  @DPTR,A
                ACALL DELAY3
                SJMP  JX
                ;
FINAL:         LJMP  0036H
                ;
                RETI
                ;
                END

```

# SIEMENS

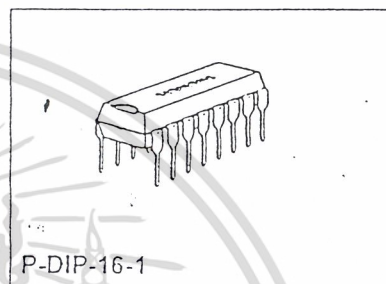
Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

## Features

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

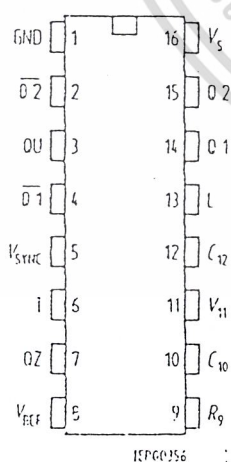


Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

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

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

## Pin Definitions and Functions



Pin Configuration  
(top view)

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

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage  $V_s$ ). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor  $C_{10}$  of which is charged by a constant current (determined by  $R_9$ ). If the ramp voltage  $V_{10}$  exceeds the control voltage  $V_{11}$  (triggering angle  $\varphi$ ), a signal is processed to the logic. Dependently on the magnitude of the control voltage  $V_{11}$ , the triggering angle  $\varphi$  can be shifted within a phase angle of  $0^\circ$  to  $180^\circ$ .

For every half wave, a positive pulse of approx.  $30 \mu s$  duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to  $180^\circ$  via a capacitor  $C_{12}$ . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between  $\varphi$  and  $180^\circ$  will result.

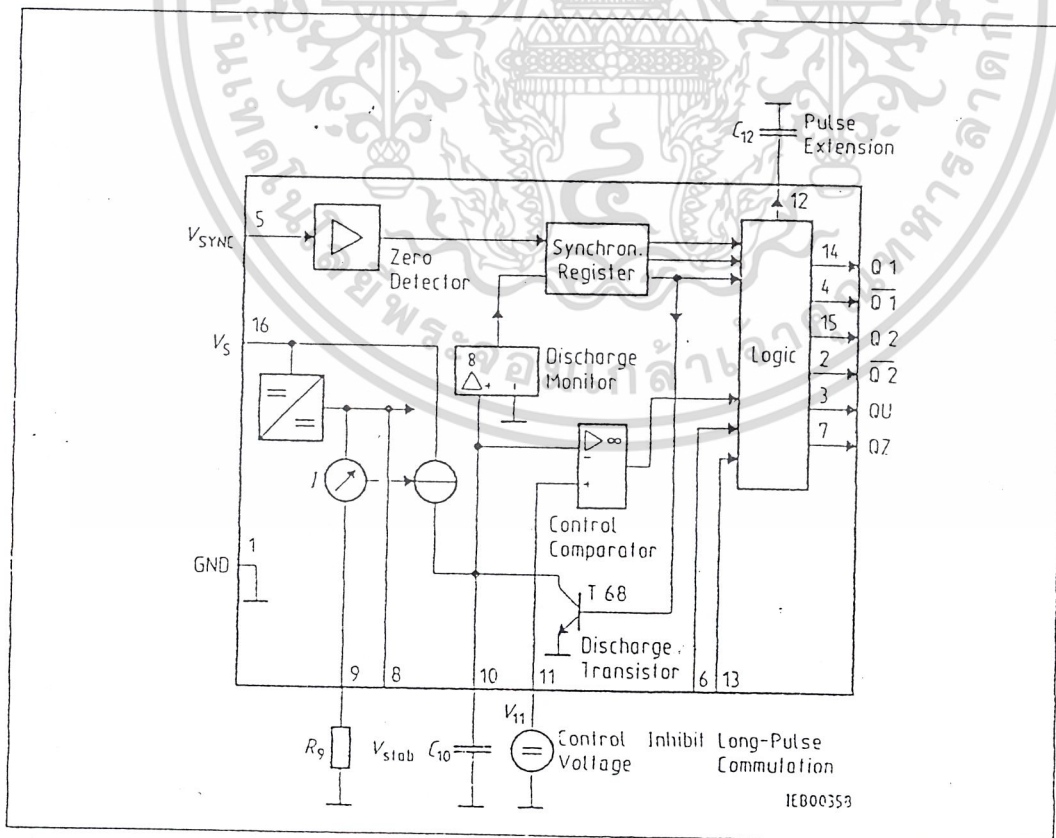
Outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of  $\varphi + 180^\circ$  which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

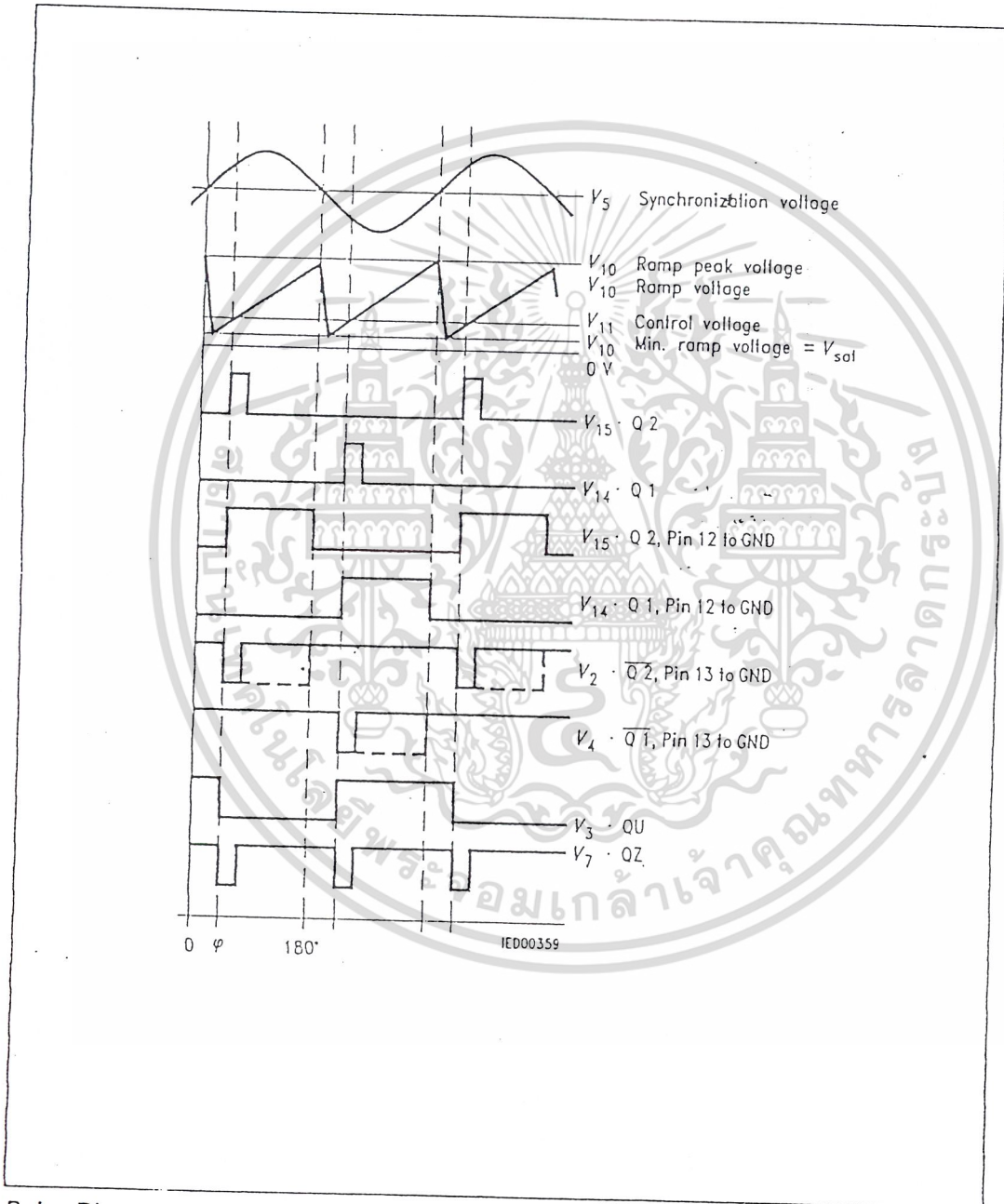
A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs Q 1, Q 2 and  $\overline{Q1}$ ,  $\overline{Q2}$ .

Pin 13 can be used to extend the outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  to full pulse length ( $180^\circ - \varphi$ ).



Block Diagram



Pulse Diagram

SIEMENS

TCA 785

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	$V_s$	-0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	$I_o$	-10	400	mA
Inhibit voltage	$V_i$	-0.5	$V_s$	V
Control voltage	$V_{11}$	-0.5	$V_s$	V
Voltage short-pulse circuit	$V_{13}$	-0.5	$V_s$	V
Synchronization input current	$I_5$	-200	$\pm 200$	$\mu A$
Output voltage at pin 14, 15	$V_o$		$V_s$	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	$I_o$		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	$V_o$		$V_s$	V
Junction temperature	$T_j$		150	C
Storage temperature	$T_{stg}$	-55	125	C
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

## Operating Range

Supply voltage	$V_s$	8	18	V
Operating frequency	$f$	10	500	Hz
Ambient temperature	$T_A$	-25	85	C

## Characteristics

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_9 = 100 \text{ k}\Omega$	$I_s$	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current $R_2$ varied	$I_{5 \text{ rms}}$	30		200	$\mu A$	1
Offset voltage	$\Delta V_s$		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	$V_{11}$	0.2		$V_{10 \text{ peak}}$	V	1
Input resistance	$R_{11}$		15		k $\Omega$	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Semiconductor Group

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

## Characteristics (cont'd)

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	$I_{10}$	10		1000	$\mu\text{A}$	
Max. ramp voltage	$V_{10}$			$1\frac{1}{2} - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	$V_{10}$	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	$R_9$	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	$t_r$		80		$\mu\text{s}$	1
Inhibit pin 6						
switch-over of pin 7						
Outputs disabled	$V_{6L}$		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	$V_{6H}$	4	3.3		V	1
Signal transition time	$t_r$	1		5	$\mu\text{s}$	1
Input current	$I_{6H}$		500	800	$\mu\text{A}$	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	$\mu\text{A}$	1
$V_6 = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-5		5	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-20		20	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		$\pm 1$		%	
Long pulse switch-over						
pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	$V_{13H}$	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	$V_{13L}$		2.5	2	V	1
Input current	$I_{13H}$			10	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	$I_{CEO}$			10	$\mu\text{A}$	2.6
$V_0 = V_s$						
Saturation voltage	$V_{sat}$	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_0 = 2 \text{ mA}$						

Semiconductor Group ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

TCA 785

## Characteristics (cont'd)

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15 H-output voltage $-I_o = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15H}$	$V_s - 1.3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_o = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	$t_p$	20	30	40	$\mu\text{s}$	1
Pulse width (short pulse) with $C_{12}$	$t_p$	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control Reference voltage Parallel connection of 10 ICs possible	$V_{REF}$	2.8	3.1	3.4	V	1
TC of reference voltage	$\alpha_{REF}$		$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	1/K	1

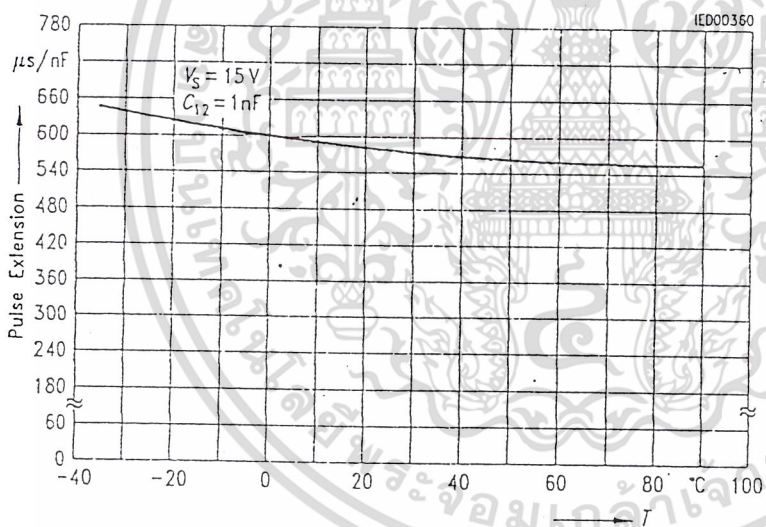
Application Hints for External Components

Ramp capacitance  $C_{10}$       min 500 pF      max  $1 \mu\text{F}^{1)}$       The minimum and maximum values of  $I_{10}$  are to be observed

Triggering point  $t_{Tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K} \quad 2)$

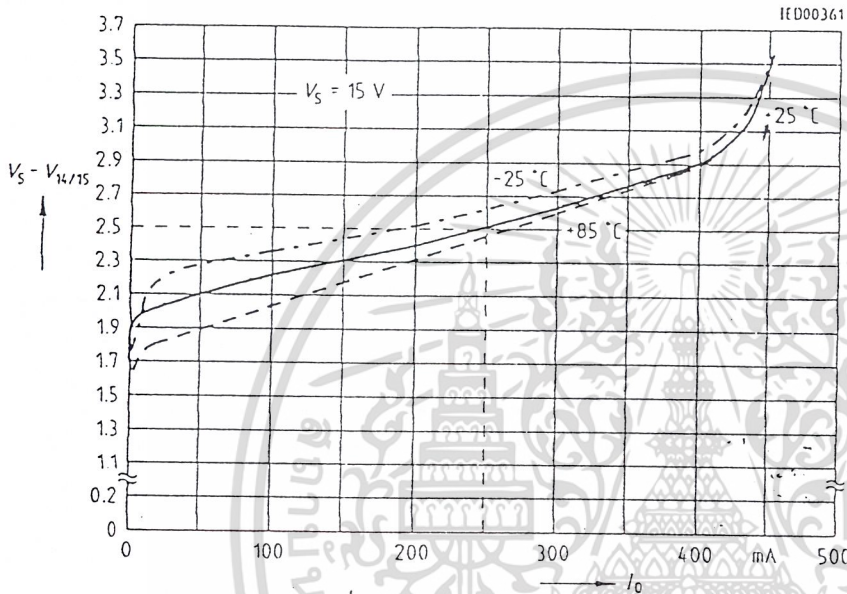
Charge current  $I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_9} \quad 2)$       Ramp voltage  $V_{10 \max} = V_S - 2 \text{ V}$        $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}} \quad 2)$

Pulse Extension versus Temperature

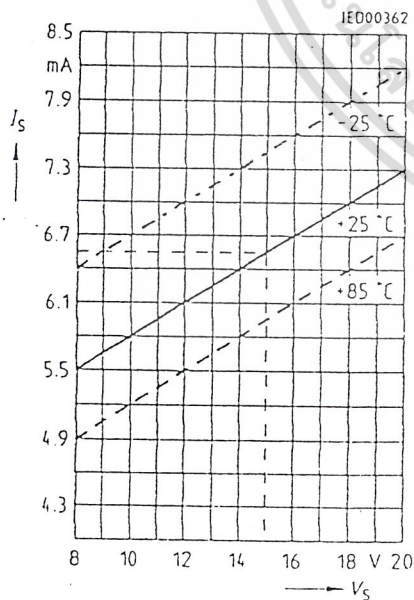


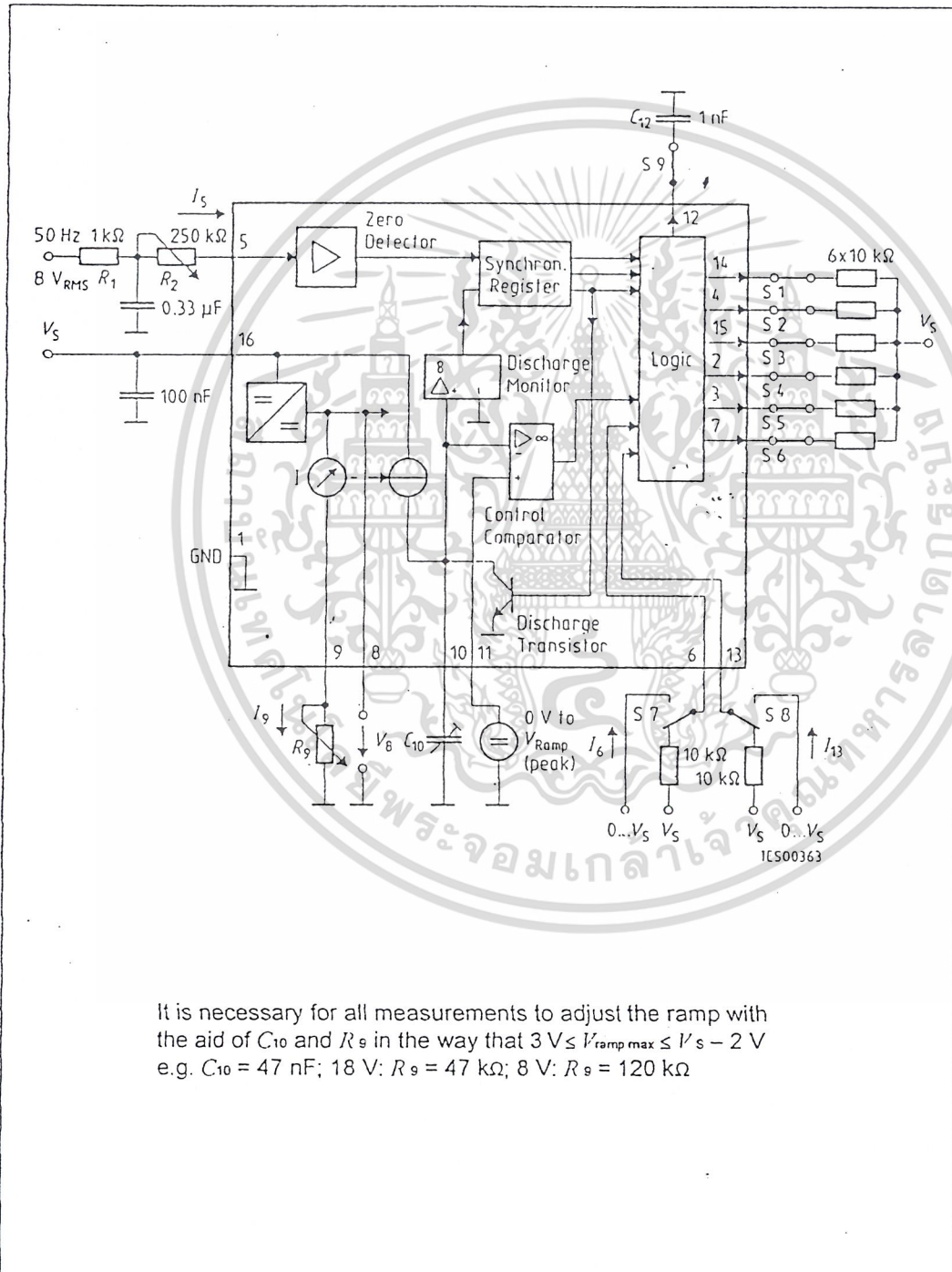
1) Attention to flyback times  
 2)  $K = 1.10 \pm 20 \%$

Output Voltage measured to +  $V_s$



Supply Current versus Supply Voltage

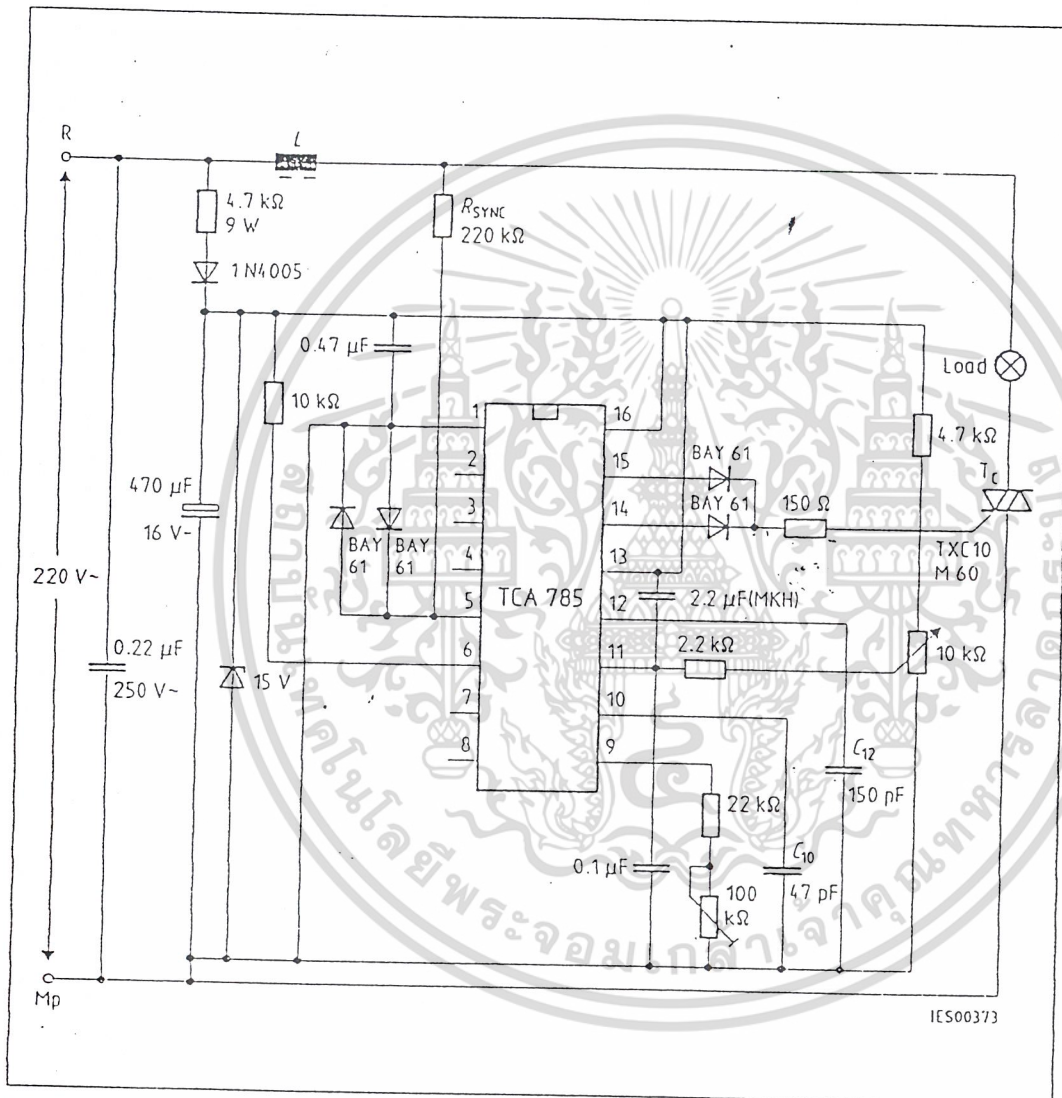




It is necessary for all measurements to adjust the ramp with the aid of  $C_{10}$  and  $R_9$  in the way that  $3 V \leq V_{ramp\ max} \leq V_s - 2 V$   
 e.g.  $C_{10} = 47\ nF$ ;  $18\ V$ :  $R_9 = 47\ k\Omega$ ;  $8\ V$ :  $R_9 = 120\ k\Omega$

Test Circuit 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Semiconductor Group  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



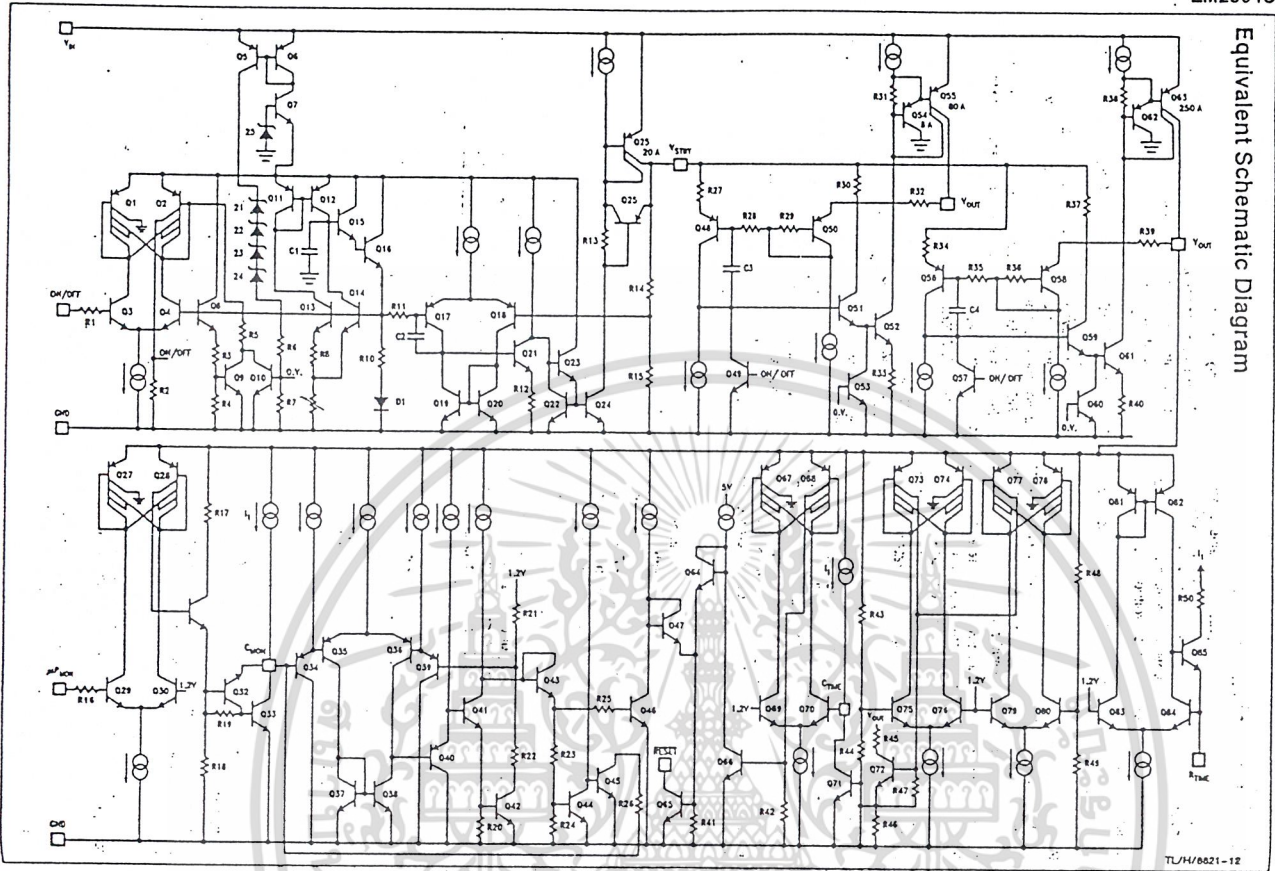
Application Examples  
 Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0 and 180 with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. The trigger pulse width is approx. 100 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 Semiconductor Group  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Equivalent Schematic Diagram



TL/H/6621-12

**National Semiconductor**

**LM78XX Series Voltage Regulators**

**General Description**

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating. Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number

of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

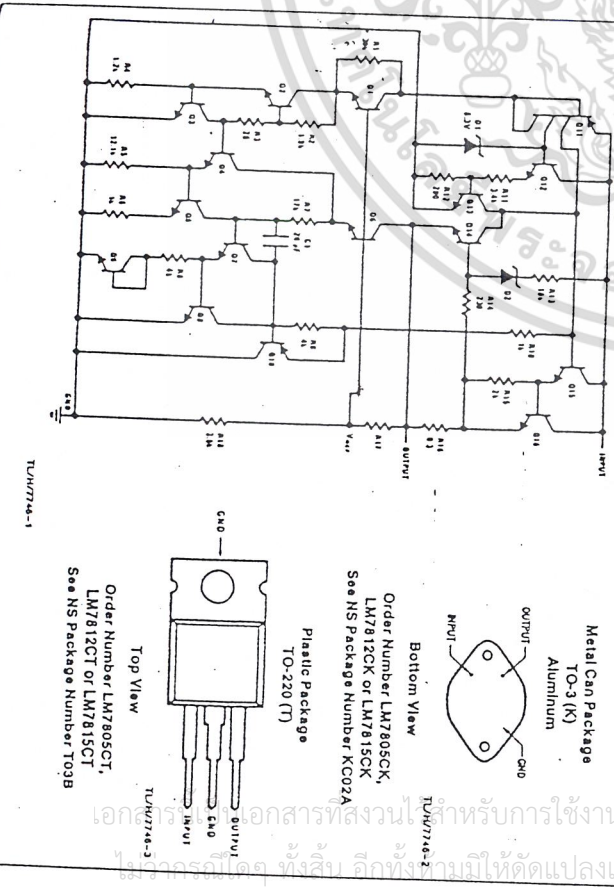
**Features**

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

**Voltage Range**

- LM7805C 5V
- LM7812C 12V
- LM7815C 15V

**Schematic and Connection Diagrams**



**Absolute Maximum Ratings**

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.  
 Input Voltage (V<sub>O</sub> = 5V, 12V and 15V) 35V  
 Internal Power Dissipation (Note 1) Internally Limited  
 Operating Temperature Range (T<sub>A</sub>) 0°C to +70°C

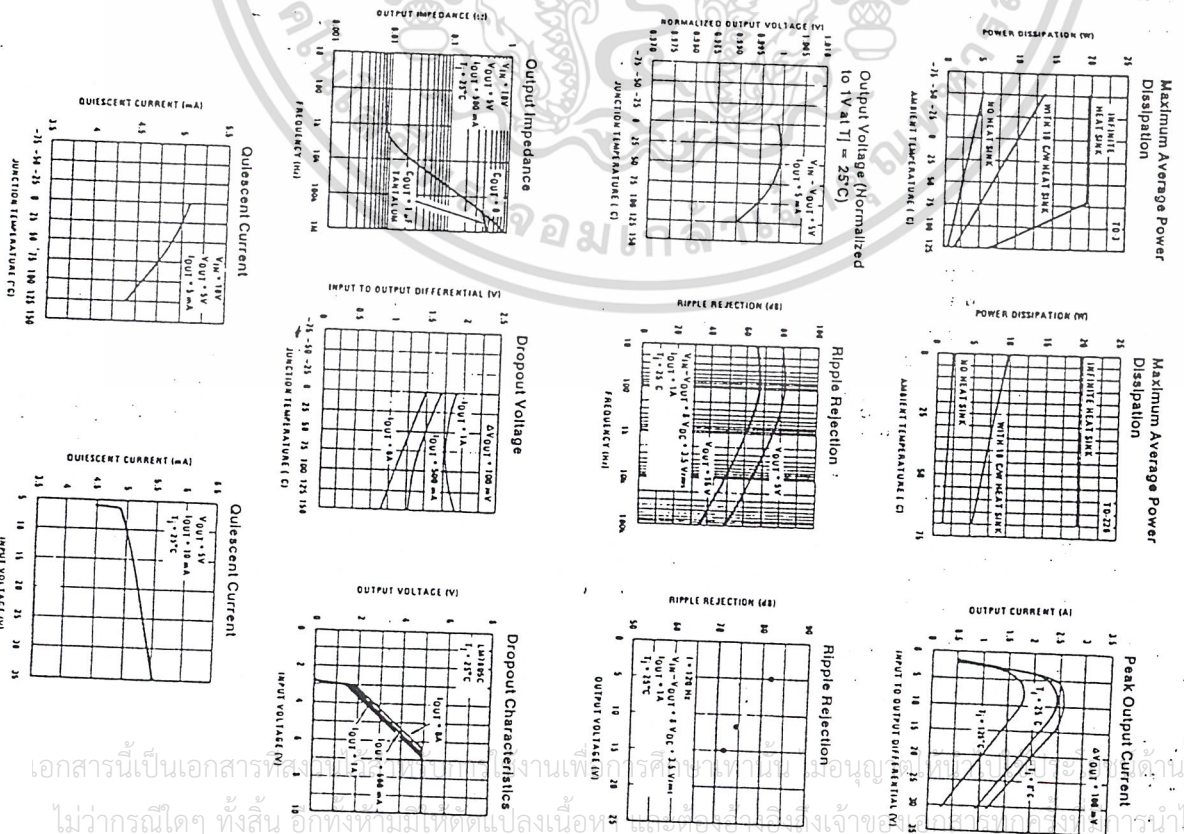
Maximum Junction Temperature (K Package) (K Package)  
 Storage Temperature Range  
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) -65°C to +175°C  
 TO-3 Package K  
 TO-220 Package T

**Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) 0°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ 125°C unless otherwise noted.**

Symbol	Parameter	Conditions	5V			12V			15V		
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Input Voltage (unless otherwise noted)											
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ I <sub>A</sub>	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6
		P <sub>O</sub> ≤ 15W, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	4.75	5.25	5.75	11.4	12.6	14.25	14.25	15.75	15.75
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	I <sub>O</sub> = 500 mA	3	50	120	4	120	170	4	150	200
		0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)
		ΔV <sub>IN</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(14.6 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(14.6 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(14.6 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)
		0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)	(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	10	50	120	12	120	150	12	150	200
		5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A 250 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 750 mA	10	50	120	12	120	150	12	150	200
I <sub>O</sub>	Quiescent Current	I <sub>O</sub> ≤ 1A	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ΔI <sub>O</sub>	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
		T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V <sub>N</sub>	Output Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz	40	75	90	40	75	90	40	75	90
		I <sub>O</sub> ≤ 500 mA, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	40	75	90	40	75	90	40	75	90
ΔV <sub>IN</sub>	Ripple Rejection	f = 120 Hz	62	80	85	55	72	75	54	70	75
		I <sub>O</sub> ≤ 500 mA 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	62	80	85	55	72	75	54	70	75
R <sub>O</sub>	Dropout Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>OUT</sub> = 1A	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
		f = 1 kHz Short-Circuit Current Peak Output Current Average I <sub>C</sub> of V <sub>OUT</sub>	2.1	1.5	1.2	2.4	2.4	2.4	1.5	1.8	1.8
V <sub>IN</sub>	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A	7.5	14.6	17.7	7.5	14.6	17.7	7.5	14.6	17.7
		(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 19)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)	(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 19)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)	(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 19)	(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)	(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)	

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KΩ) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.  
 Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of 0.22 μF and a capacitor across the output of 0.1 μF. All characteristics except voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (I<sub>A</sub> ≤ 10 mA, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in I<sub>A</sub> temperature must be taken into account separately.

**Typical Performance Characteristics**



**Design Considerations**

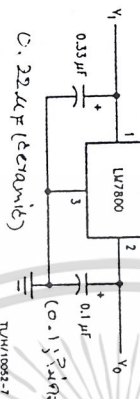
The LM7800 fixed voltage regulator series has thermal overload protection from excessive power dissipation, internal short circuit protection which limits the regulator's maximum current, and output transistor safe-area compensation for reducing the output current as the voltage across the pass transistor is increased.

Although the internal power dissipation is limited, the junction temperature must be kept below the maximum speed-fund temperature (150°C for LM7800, 125°C for LM7800C) in order to meet data sheet specifications. To calculate the maximum junction temperature or heat sink required, the following thermal resistance values should be used:

Package	Typ $\theta_{JC}$ °C/W	Max $\theta_{JC}$ °C/W	Typ $\theta_{JA}$ °C/W	Max $\theta_{JA}$ °C/W
TO-3	3.5	5.5	35	40
TO-220	3.0	5.0	40	60

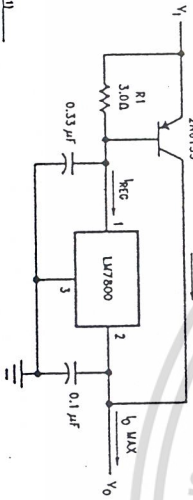
**Typical Applications**

**Fixed Output Regulator**



Note 1: To specify an output voltage, substitute voltage value for "00".  
Note 2: Bypass capacitors are recommended for optimum stability and transient response, and should be located as close as possible to the regulator.

**High Current Voltage Regulator**

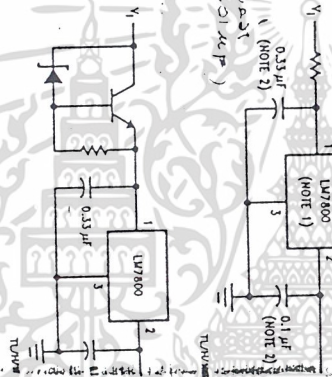


$$R1 \geq \frac{V_{OUT}}{I_{REG MAX}}$$

$$R1 \geq \frac{0.8}{I_{REG MAX} (\theta + \eta) - V_{OUT}}$$

TUW/10032-10

**High Input Voltage Circuits**



$$P_{D MAX} = \frac{T_{J MAX} - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CA}}$$

$$= \frac{T_{J MAX} - T_A}{\theta_{JA}} \text{ (without heat sink)}$$

Solving for  $T_J$ :

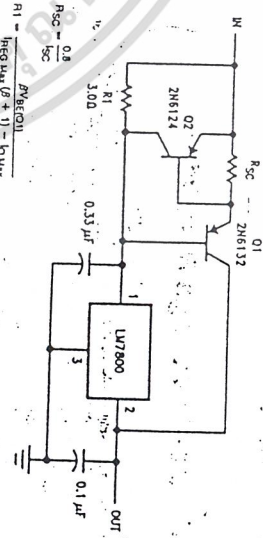
$$T_J = T_A + P_D (\theta_{JC} + \theta_{CA})$$

$$= T_A + P_D \theta_{JA} \text{ (without heat sink)}$$

- Where:
- $T_J$  = Junction Temperature
  - $T_A$  = Ambient Temperature
  - $P_D$  = Power Dissipation
  - $\theta_{JC}$  = Junction-to-Case Thermal Resistance
  - $\theta_{CA}$  = Case-to-Ambient Thermal Resistance
  - $\theta_{CS}$  = Case-to-Heat Sink Thermal Resistance
  - $\theta_{SA}$  = Heat Sink-to-Ambient Thermal Resistance
  - $\theta_{JA}$  = Junction-to-Ambient Thermal Resistance

**Typical Applications (Continued)**

**High Output Current, Short Circuit Protected**

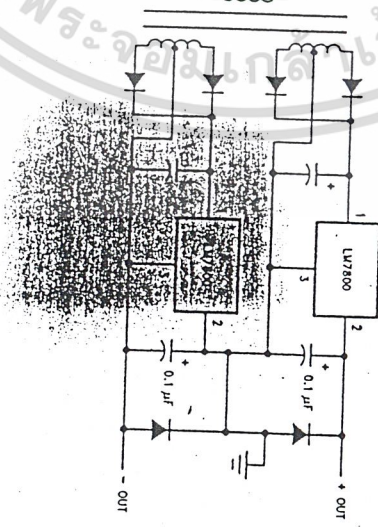


$$R1 \geq \frac{V_{OUT}}{I_{REG MAX}}$$

$$R1 \geq \frac{0.8}{I_{REG MAX} (\theta + \eta) - V_{OUT}}$$

TUW/10032-11

**Positive and Negative Regulator**



TUW/10032-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THYRISTOR MODULE

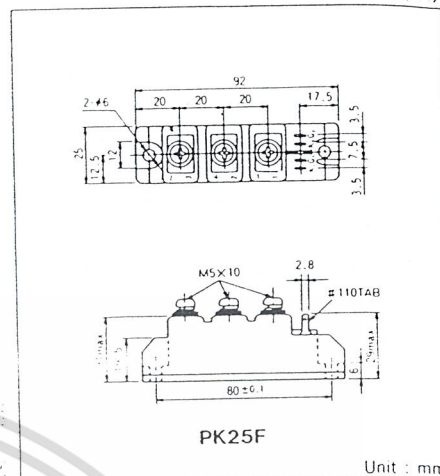
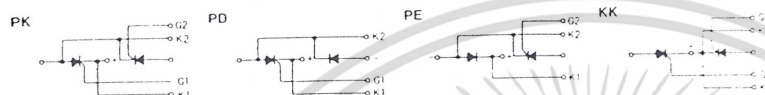
## PK(PD,PE,KK)25F

Power Thyristor/Diode Module PK25F series are designed for various rectifier circuits and power controls. For your circuit application, following internal connections and wide voltage ratings up to 1,600 V are available. High precision 25 mm (1inch) width package and electrically isolated mounting base make your mechanical design easy.

UL:E76102(M)

- $I_{T(AV)}$  25A,  $I_{T(RMS)}$  39A,  $I_{TSM}$  580A
- $di/dt$  100 A/ $\mu$ s
- $dv/dt$  500 V/ $\mu$ s

(Applications)  
 Various rectifiers  
 AC/DC motor drives  
 Heater controls  
 Light dimmers  
 Static switches



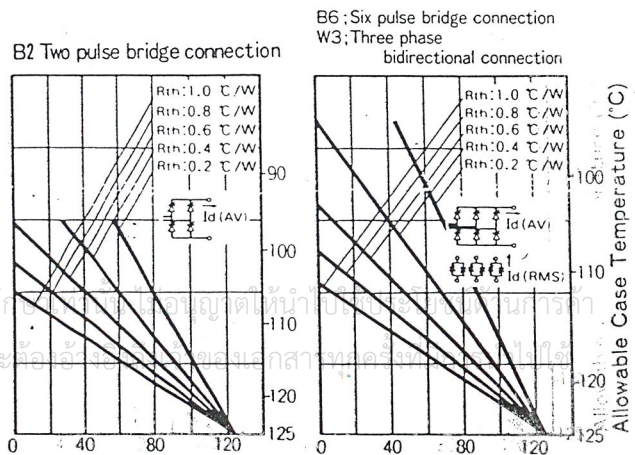
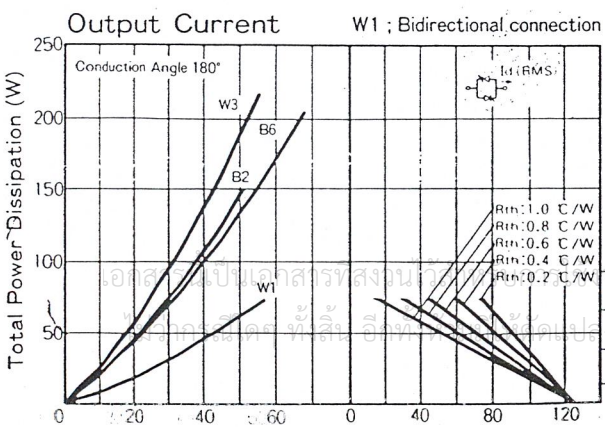
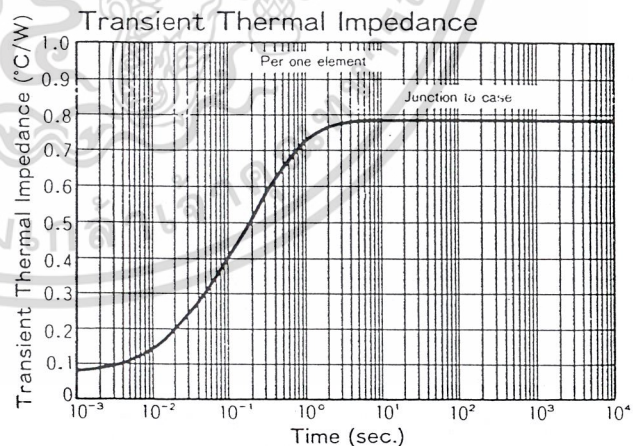
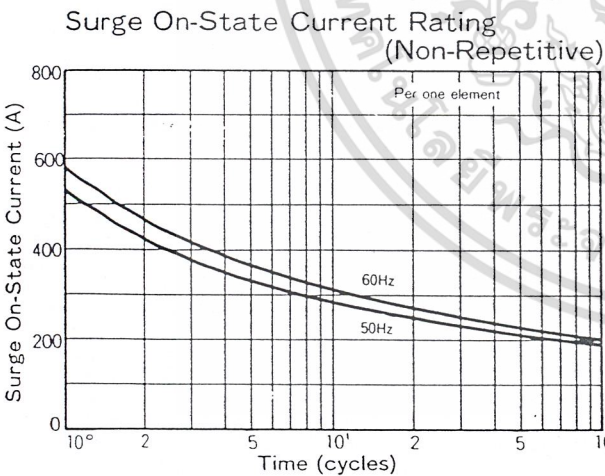
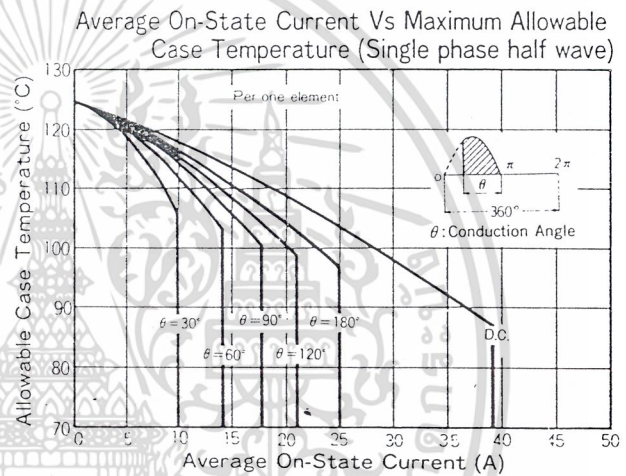
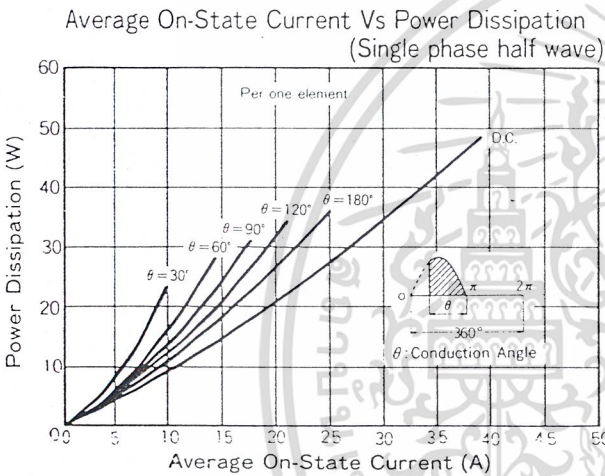
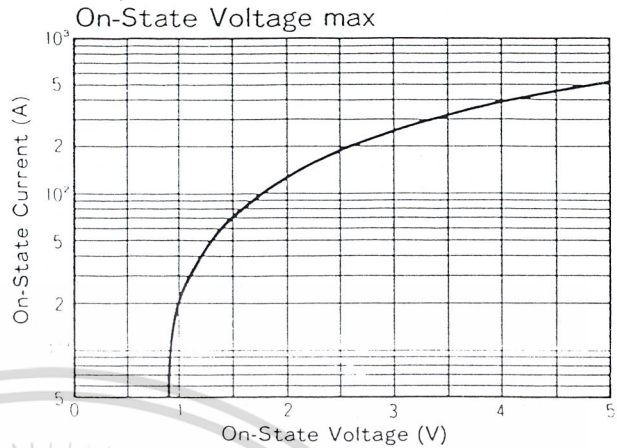
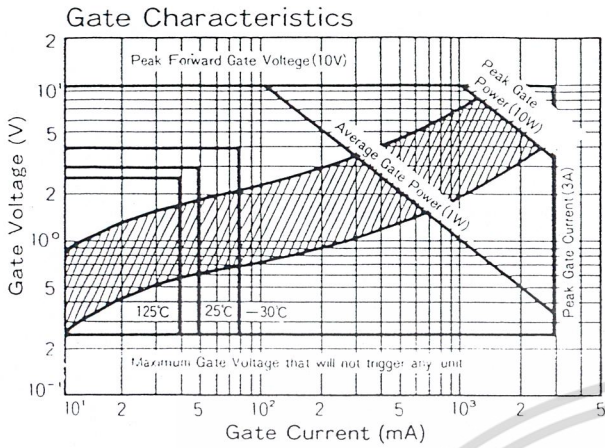
### Maximum Ratings

Symbol	Item	PK25F-40	PK25F-80	PK25F-120	PK25F-160	Unit
$V_{RRM}$	* Repetitive Peak Reverse Voltage	400	800	1200	1600	V
$V_{RSM}$	* Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	480	960	1300	1700	V
$V_{DRM}$	Repetitive Peak Off-State Voltage	400	800	1200	1600	V

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
$I_{T(AV)}$	* Average On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c : 96^\circ\text{C}$	25	A
$I_{T(RMS)}$	* R.M.S On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c : 96^\circ\text{C}$	39	A
$I_{TSM}$	* Surge On-State Current	1/2 cycle, 50/60Hz, peak value, non-repetitive	530/580	A
$I^2t$	* $I^2t$	Value for one cycle of surge current	1400	A <sup>2</sup> S
$P_{GM}$	Peak Gate Power Dissipation		10	W
$P_{G(AV)}$	Average Gate Power Dissipation		1	W
$I_{FGM}$	Peak Gate Current		3	A
$V_{FGM}$	Peak Gate Voltage(Forward)		10	V
$V_{RGM}$	Peak Gate Voltage(Reverse)		5	V
$di/dt$	Critical Rate of Rise of On-State Current	$I_G = 100\text{mA}$ , $T_j = 25^\circ\text{C}$ , $V_D = 1/2 V_{DRM}$ , $dv/dt = 0.1\text{A}/\mu\text{s}$	100	A/ $\mu$ s
$V_{ISO}$	* Isolation Breakdown Voltage(R.M.S)	A.C. 1minute	2500	V
$T_j$	* Operating Junction Temperature		-40~+125	°C
$T_{stg}$	* Storage Temperature		-40~+125	°C
Mounting Torque	(M5)	Recommended Value 25kgf·cm	22~28	kgf·cm
	Terminal (M5)	Recommended Value 25kgf·cm	22~28	
Mass			170	g

### Electrical Characteristics

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
$I_{DRM}$	Repetitive Peak Off-State Current, max.	at $V_{DRM}$ , single phase, half wave, $T_j = 125^\circ\text{C}$	10	mA
$I_{RRM}$	* Repetitive Peak Reverse Current, max.	at $V_{DRM}$ , single phase, half wave, $T_j = 125^\circ\text{C}$	10	mA
$V_{TM}$	* Peak On-State Voltage, max.	On-State Current 75A, $T_j = 25^\circ\text{C}$ Inst. measurement	1.55	V
$I_{GT}/V_{GT}$	Gate Trigger Current/Voltage, max.	$T_j = 25^\circ\text{C}$ , $I_T = 1\text{A}$ , $V_D = 6\text{V}$	50/3	mA/V
$V_{GD}$	Non-Trigger Gate, Voltage, min.	$T_j = 125^\circ\text{C}$ , $V_D = 1/2 V_{DRM}$	0.25	V
$t_{gt}$	Turn On Time, max.	$I_T = 25\text{A}$ , $I_G = 100\text{mA}$ , $T_j = 25^\circ\text{C}$ , $V_D = 1/2 V_{DRM}$ , $dv/dt = 1\text{A}/\mu\text{s}$	10	$\mu$ s
$dv/dt$	Critical Rate of Rise of On-State Voltage, min.	$T_j = 125^\circ\text{C}$ , $V_D = 2/3 V_{DRM}$ , Exponential wave.	500	V/ $\mu$ s
$I_H$	Holding Current, typ.	$T_j = 25^\circ\text{C}$	50	mA
$I_L$	Latching Current, typ.	$T_j = 25^\circ\text{C}$	100	mA
$R_{th(j-c)}$	* Thermal Impedance, max.	Junction to case	0.78	°C/W

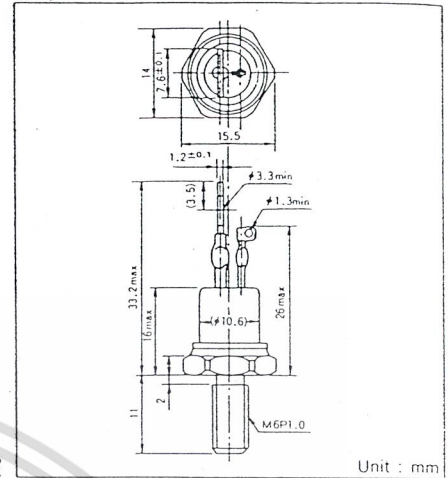


MITSUBISHI

# THYRISTOR SC16C

For general phase control applications such as speed controls, light controls and welders etc.

- General power use
- $I_T = 16A$ ,  $I_{T(RMS)} = 25A$
- High voltage up to 1200V
- High surge current of 250A
- Stud type



## Maximum Ratings

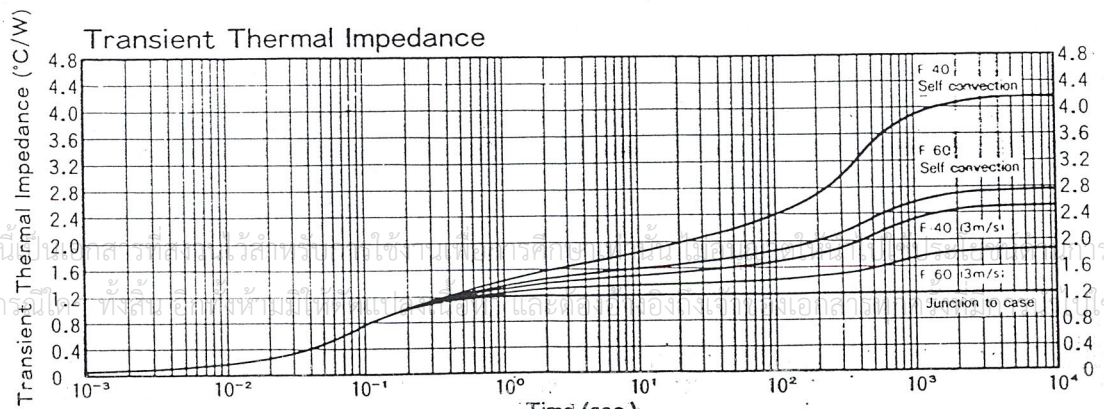
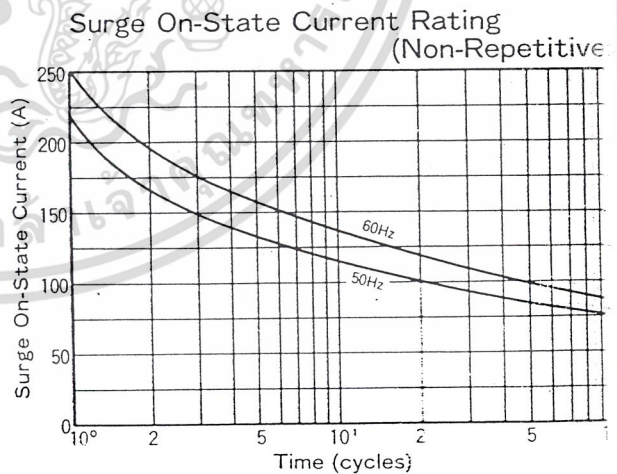
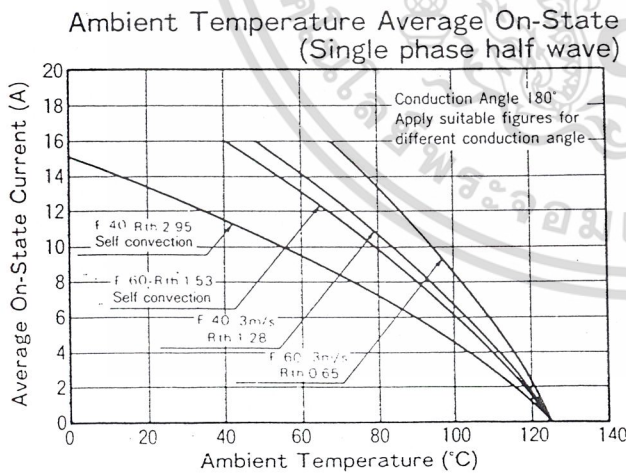
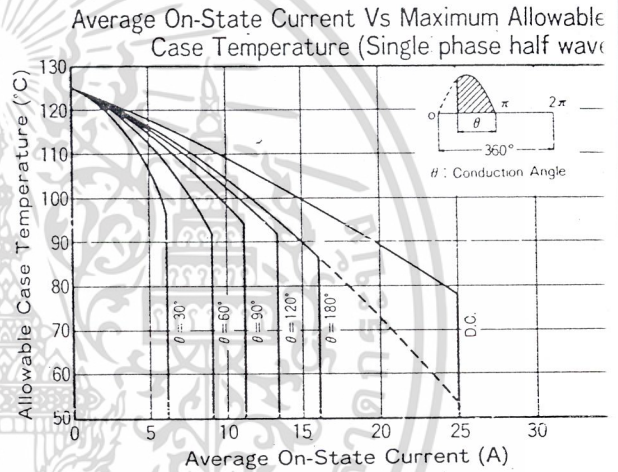
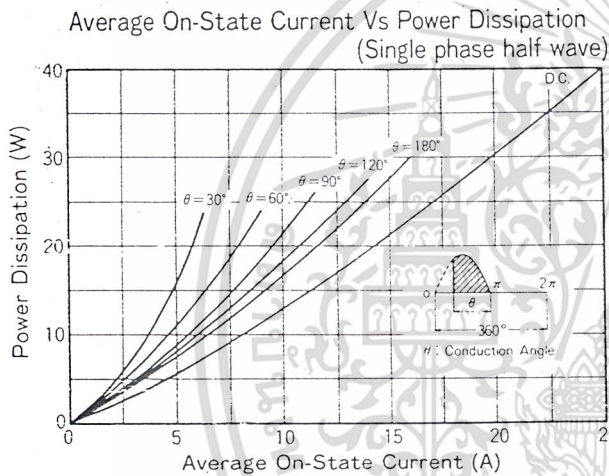
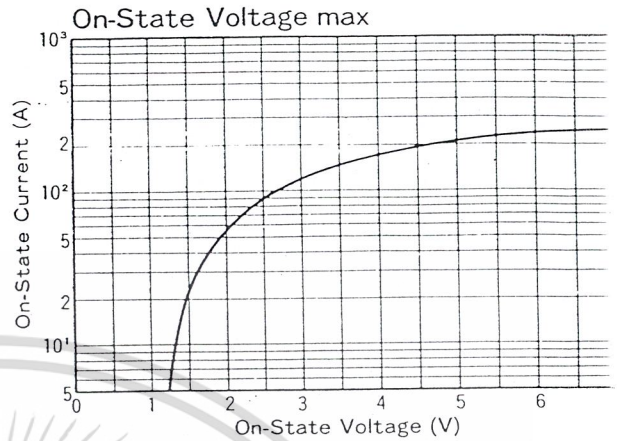
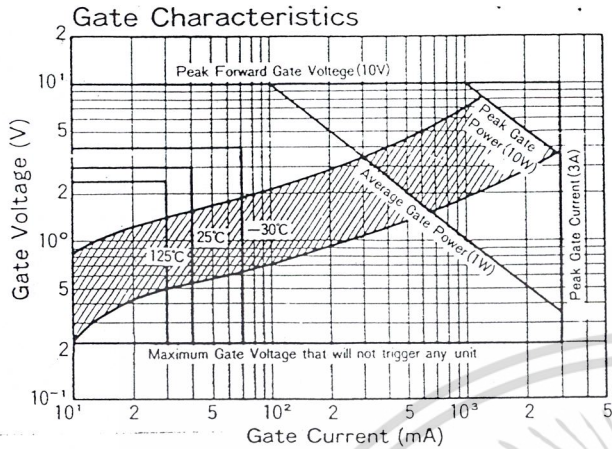
Symbol	Item	SC16C-40	SC16C-60	SC16C-80	SC16C-100	SC16C-120	Unit
$V_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Voltage	400	600	800	1000	1200	V
$V_{RSM}$	Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	480	720	960	1100	1300	V
$V_{DRM}$	Repetitive Peak Off-State Voltage	400	600	800	1000	1200	V

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
$I_{T(AV)}$	Average On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c : 88^\circ C$	16	A
$I_{T(RMS)}$	R.M.S On-State Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c : 88^\circ C$	25	A
$I_{TSM}$	Surge On-State Current	$\frac{1}{2}$ cycle, 50Hz/60Hz, peak value, non-repetitive	220/250	A
$I^2t$	$I^2t$	Value for one cycle of surge current	260	A <sup>2</sup> S
$P_{GM}$	Peak Gate Power Dissipation		10	W
$P_{G(AV)}$	Average Gate Power Dissipation		1	W
$I_{FGM}$	Peak Gate Current		3	A
$V_{FGM}$	Peak Gate Voltage (Forward)		10	V
$V_{RGM}$	Peak Gate Voltage (Reverse)		5	V
$di/dt$	Critical Rate of Rise of On-State Current	$I_G = 100mA$ , $T_j = 25^\circ C$ , $V_D = \frac{1}{2} V_{DRM}$ , $dl_G/dt = 1A/\mu s$	100	A/ $\mu s$
$T_j$	Operating Junction Temperature		-30 ~ +125	$^\circ C$
$T_{stg}$	Storage Temperature		-30 ~ +125	$^\circ C$
	Mounting Torque	Recommended Value 12kgf·cm	15	kgf·cm
	Mass	Excluding nut, washer 2.6g and wrapping material 3g	13.6	g

## Electrical Characteristics

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
$I_{DRM}$	Repetitive Peak Off-State Current, max.	at $V_{DRM}$ , single phase, half wave, $T_j = 125^\circ C$	3	mA
$I_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Current, max.	at $V_{DRM}$ , single phase, half wave, $T_j = 125^\circ C$	3	mA
$V_{TM}$	Peak On-State Voltage, max.	On-State Current 50A, $T_j = 25^\circ C$ Inst. measurement	1.9	V
$I_{GT}/V_{GT}$	Gate Trigger Current/Voltage, max.	$T_j = 25^\circ C$ , $I_T = 1A$ , $V_D = 6V$	40/3	mA/V
$V_{GD}$	Non-Trigger Gate, Voltage, min.	$T_j = 125^\circ C$ , $V_D = \frac{1}{2} V_{DRM}$	0.2	V
$t_{gt}$	Turn On Time, max	$I_T = 16A$ , $I_G = 100mA$ , $T_j = 25^\circ C$ , $V_D = \frac{1}{2} V_{DRM}$ , $dl_G/dt = 1A/\mu s$	10	$\mu s$
$dv/dt$	Critical Rate of Rise of On-State Voltage, min.	SC16C-40~60 $T_j = 125^\circ C$ , $V_D = \frac{2}{3} V_{DRM}$	100	V/ $\mu s$
		SC16C-80~120 $T_j = 125^\circ C$ , $V_D = \frac{2}{3} V_{DRM}$	200	
$I_H$	Holding Current, typ.	$T_j = 25^\circ C$	30	mA
$R_{th(j-c)}$	Thermal Impedance, max. <small>สำหรับกรณี Junction to case</small>	Junction to case	1.2	$^\circ C/W$

\* mark : Thyristor and Diode part    No mark : Thyristor part



### กิตติกรรมประกาศ

สำหรับปริญญาโทและ โครงานนี้ได้สำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ในการศึกษา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือจากทุกๆท่าน โดยมีรายนามดังนี้

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ และ ดร.วิจิตรกนิษฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและแนวความคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการ

คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและเพื่อนนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สุดท้ายขอกราบขอบคุณบิดามารดาสำหรับกำลังใจและความปรารถนาที่มีส่วนผลักดันให้โครงการนี้สำเร็จ

