



ปีการศึกษา 2539

เครื่องสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีโซลิตสเตต

Soft Starter by Solid State



โดย
นายมานพ ยิ้มรุ่งฤกษ์
นายสุพล เปรมปรีชากุล
นางสาวสุพัตรา ไกรยา
นายสุวิชา วงศ์ทองเสริม

วัน เดือน ปี..... 30 ก.ย. ๒๕๓๙
เลขทะเบียน..... ๐๒๒๒๖
เลขเรียกหนังสือ..... 139202 ม44๒๑

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาส ไพรสวรรณา

อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028222

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

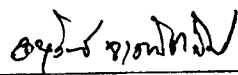
เรื่องเครื่องสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี โซลิตสเตต

ผู้จัดทำ

1. นายมานพ ยิ้มรุ่งฤกษ์
2. นายสุพล เปรมปรีชากุล
3. นางสาวสุพัตรา ไกรยา
4. นายสุวิชา วงศ์ทองเสริม



อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ประภาส ไพรสสุวรรณ)



อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีโซลิตสเตรต

นายมานพ ยิ้มรุ่งฤกษ์

นายสุพล เปรมปรีชากุล

นางสาวสุพัตรา ไกรยา

นายสุวิชา วงศ์ทองเสริม

ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างเครื่องสตาร์ทมอเตอร์ โดยวิธีโซลิตสเตรต เป็นการสตาร์ทอินดักชันมอเตอร์แบบสามเฟส อุปกรณ์โซลิตสเตรตที่ใช้เป็นอุปกรณ์สวิตชิงที่เป็นไทรสเตอร์ โดยจะใช้ไทรสเตอร์ 6 ตัว โดยแบ่งเป็นเฟสละ 2 ตัว ไทรสเตอร์ 2 ตัวในแต่ละเฟสจะต่อสลับทิศทางการไหล และใช้สัญญาณเกทที่ต่างกัน 180° เพื่อที่จะสามารถปรับศักดาไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์ได้ โดยอาศัยการปรับมุมทริกของไทรสเตอร์ หลักการที่จะใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์ก็คือ จะเริ่มต้นด้วยการป้อนศักดาไฟฟ้าค่า ๆ หนึ่งเข้าสู่ตัวมอเตอร์ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าพิกัด จากนั้นก็ค่อย ๆ เพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์ขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าพิกัด วิธีนี้จะมีข้อดี คือ สามารถลดกระแสแฉกขณะสตาร์ทได้ แต่ก็มีข้อเสีย คือ แรงบิดเริ่มแรกของมอเตอร์จะมีค่าลดลง เราจะไม่โครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นตัวควบคุมช่วงเวลาที่ใช้ในการเพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าจากค่า ๆ หนึ่งจนถึงค่าพิกัด ให้เป็นไปตามเวลาที่กำหนด

SOFT STARTER BY SOLID STATE

Manop Yimrungluak

Supol Prempreechakul

Supattra Kriya

Suwittha Wongthongserm

Assist.Prof. Prapas Prisuwana Advisor

Anuwat Jangwanitlert Advisor

1996

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to make the starter of the induction motor by using of solid state switch,ie. soft starter. The solid state switch use 6 thyristors, two thyristors for each phases. The thyristors in each phase connect in opposite direction and use out of phase of gating signal. Gating signal is controlled in order to controlling the voltage in the terminal of induction motor. The principle used in this thesis is to apply the voltage of under rating value to the terminal of induction motor. When the motor is speed up, increasing the terminal voltage due to speed increase. Until terminal voltage is it rating when the motor reaches it normal speed. This method make the motor to reduce starting current but starting torque is decreased. Increasing terminal voltage is controlled by using microcontroller MCS-

51

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	5
2.2 ทำไมโรเตอร์ถึงหมุนได้	7
2.3 สลลลป	10
2.4 แรงบิดขณะสตาร์ท	10
2.5 การวิเคราะห์วงจรมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
บทที่ 3 เอสซีอาร์	14
3.1 การทำงานของเอสซีอาร์	14
3.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์	16
3.3 ความไวในการจุดชนวน	16
3.4 คุณสมบัติของกระแสค้ำและกระแสช็อค	18
3.5 คุณสมบัติการสวิทชิง	18
3.6 ช่วงเวลาคืนตัว	19
3.7 ช่วงการหยุดนำกระแส	20
3.8 ระยะเวลาสัญญาณทริก	21
บทที่ 4 การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ	24
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกระแส และสลลป	25
4.2 การสตาร์ทมอเตอร์โดยต่อแหล่งจ่ายเข้าสู่มอเตอร์โดยตรง	25
4.3 การสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีใช้ตัวต้านทานต่อทางด้านปฐมภูมิ	26
4.4 การสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้ฮอโตทรานส์ฟอร์มเมอร์	27
4.5 การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ท-เคลตา	29
4.6 การสตาร์ทมอเตอร์โดยต่อตัวต้านทานทางด้านโรเตอร์	31
4.7 การสตาร์ทมอเตอร์ด้วยวิธีโซลิตสแตต	32

เอกสาร **บทที่ 5 การควบคุมแรงดันกระแสสลลป** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 33 ราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การควบคุมแรงดันกระแสสลับของไฟ 1 เฟส	33
5.2 การควบคุมแรงดันกระแสสลับของไฟ 3 เฟส	37
บทที่ 6 ชูคนำเข้าเอสซีอาร์	40
6.1 ชูคนำเข้าเอสซีอาร์	40
6.1.1 ชูสร้างสัญญา	40
6.1.2 สัญญาจากไอซี 555	43
6.1.3 สัญญาที่นำมาแอนด์	45
6.1.4 ส่วนขยายสัญญากระตุ้น	45
6.1.5 ส่วนแยกกราวด์ของสัญญากระตุ้น	46
บทที่ 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	53
7.1 ประวัติและการใช้ประโยชน์ของ MCS-51	53
7.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51	53
7.3 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	54
7.4 ตำแหน่งขาของ MCS-51	55
7.5 โครงสร้างหน่วยความจำ	56
7.6 รีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	58
7.7 พอร์ตของ MCS-51	59
7.8 การใช้งาน ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์	60
7.9 ลักษณะของโปรแกรมที่เขียน	61
7.10 หลักการทำงานของโปรแกรม	62
บทที่ 8 การทดลองและผลการทดลอง	72
8.1 วัตถุประสงค์	72
8.2 การทดลอง	72
บทที่ 9 สรุปผลและวิจารณ์	84
9.1 สรุปผลการทดลอง	84
9.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการค้นคว้า และทดลอง	85
9.3 แนวทางการพัฒนา	85

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องสตัดร์ทมอเตอร์แบบ โซลิตสเตต	3
รูป 2.1 แสดงภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดฟันขดลวด	5
รูป 2.2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของโรเตอร์แบบกรงกระรอก	6
รูป 2.3 ลักษณะของร่องสลิตในโรเตอร์ชนิดต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก	7
รูป 2.4 สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในโรเตอร์แบบกรงกระรอก	7
รูป 2.5 แสดงวงจรต่อตัวต้านทานของโรเตอร์แบบฟันขดลวด	8
รูป 2.6 แสดงภาพตัดของโรเตอร์แบบฟันขดลวด	8
รูป 2.7 (ก) แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กตามกฎมือขวาของเฟลมมิง	10
รูป 2.7 (ข) แสดงการเกิดกระแสเหนี่ยวนำตามกฎของเลนส์และเกิดความเร็วสัมพันธ์ระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุน	10
รูป 2.7 (ค) แสดงการเกิดแรงบิดของโรเตอร์แล้วโรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก	10
รูป 2.8 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
รูป 3.1 โครงสร้างของเอสซีอาร์	15
รูป 3.2 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแดรนต์	16
รูป 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจและกระแสของเอสซีอาร์ที่กระแสเกทต่าง ๆ	17
รูป 3.4 กราฟแสดงความไวของเกทเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ กระแสที่ต้องการสำหรับทริกจะลดต่ำลง	17
รูป 3.5 การนำกระแสของเอสซีอาร์มี 2 ระยะ คือ ช่วงหน่วง(t_d)และช่วงไต่ขึ้นช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการนำกระแสเมื่อควบคุมที่เกท(t_{on}) วัดที่จุด 50 เปอร์เซ็นต์ของกระแสเกทไปยังจุด 90 เปอร์เซ็นต์ของกระแสหลักหรือก็คือผลรวมของเวลาช่วงหน่วงกับเวลาช่วงไต่ขึ้น	19
รูป 3.6 ช่วงเวลาหยุดนำกระแส เป็นคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ชนิดมีทิศทางเดียวเท่านั้น เวลาคืนตัวของเอสซีอาร์มี 2 ระยะเช่นกันคือ ช่วงคืนตัวด้านรีเวิร์สและช่วงคืนตัวที่เกท(ฟอร์เวิร์ดบล็อกกิง)	20
รูป 3.7 ระยะเวลาสัญญาณทริก	22
รูป 4.1 แสดงการสตัดร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบใช้ตัวต้านทานต่อทางปฐมภูมิ	26
รูป 4.2 แสดงการต่อวงจรในการสตัดร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบอโตทรานส์ฟอร์เมอร์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.3	แสดงการเปรียบเทียบวงจรการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบต่อตรงกับใช้ ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์	28
รูป 4.4	แสดงการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสตาร์ท เคลตา	30
รูป 4.5	แสดงการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยต่อตัวต้านทานทางโรเตอร์	31
รูป 5.1	แสดงวงจร 1 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์	33
รูป 5.2	แสดงวงจร 1 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์ต่อโหลดตัวต้านทาน	33
รูป 5.3	แสดงลูกคลื่นแรงดัน	34
รูป 5.4	แสดงวงจร 1 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์ต่อโหลดตัวเหนี่ยวนำ	35
รูป 5.5	แสดงลูกคลื่นแรงดัน	36
รูป 5.6	แสดงวงจร 3 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์ในระบบสตาร์ท	37
รูป 5.7	แสดงลูกคลื่นแรงดันและลำดับการทำงานของไทรสเตอร์	38
รูป 6.1	บล็อกไดอะแกรมของ TCA785	40
รูป 6.2	พัลส์ไดอะแกรมของ TCA785	41
รูป 6.3	วงจรการกำเนิดสัญญาณของ TCA 785	43
รูป 6.4	แสดงการทำงานของวงจรอะสเตเบิลและรูปคลื่นของวงจรนี้	44
รูป 6.5	ความถี่ในการออสซิลเลตจะหาได้จากค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ	45
รูป 6.6	วงจรขยายสัญญาณกระตุ้น	46
รูป 6.7	หลักการการทำงานของออปโตไอโซเลเตอร์	46
รูป 6.8	แสดงวงจรที่ต่อใช้งานของออปโตไอโซเลเตอร์	47
รูป 6.9	แสดงสัญญาณที่ได้รับจากวงจร ณ จุดต่าง ๆ	47
รูป 6.10	แสดงสัญญาณพื่นเหลี่ยมที่ขา 10 ของ TCA 785	48
รูป 6.11	แสดงสัญญาณที่ขา 15 ของ TCA 785 เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อน	48
รูป 6.12	แสดงสัญญาณที่ขา 15 ของ TCA 785 เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อน	49
รูป 6.13	แสดงสัญญาณเอาท์พุทของไอซี 555	49
รูป 6.14	แสดงสัญญาณของแอนด์เกตเทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนเฟสตรงกัน	50
รูป 6.15	แสดงสัญญาณของแอนด์เกตเทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนกลับเฟสกัน	50
รูป 6.16	แสดงสัญญาณของทรานซิสเตอร์เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนเฟสตรงกัน	51
รูป 6.17	แสดงสัญญาณของทรานซิสเตอร์เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนกลับเฟส	51
รูป 6.18	แสดงวงจรที่ใช้ขับนำเอสซีอาร์โดยสมบูรณ์	52
รูป 7.1	แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 7:2	แสดงโครงสร้างหน่วยความจำโปรแกรมของ MCS-51	56
รูป 7.3	แผนภาพแสดงโครงสร้างหน่วยความจำข้อมูลของชิป MCS-51	57
รูป 7.4	แสดงหน่วยความจำข้อมูลของชิปทั้งสองส่วน	57
รูป 7.5	แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51	58
รูป 7.6	แสดงหน้าที่แต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TMOD	60
รูป 7.7	แสดงหน้าที่แต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TCON	60
รูป 7.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของศักดาไฟฟ้ากระแสตรงที่จะส่งออกพอร์ต 1 กับค่ามูทริกเกตของไทรสเตอร์	63
รูป 7.9	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด	65
รูป 7.10	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมรับค่าจากแป้นพิมพ์ขนาด 4x4	66
รูป 7.11	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงผลตัวเลขขนาด 4 หลัก	67
รูป 7.12	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแปลงเลขจากระบบบิซิตีเป็นระบบเลขฐานสอง	68
รูป 7.13	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหารเลขขนาด 24 บิตโดยตัวหารมีขนาด 8 บิต	69
รูป 7.14	วงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051	70
รูป 8.1	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 5 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 120 วินาที มุมเริ่มต้น 90 องศา ต่อวงจรแบบสตาร์	76
รูป 8.2	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 10 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 120 วินาที มุมเริ่มต้น 90 องศา ต่อวงจรแบบสตาร์	76
รูป 8.3	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 5 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา ต่อวงจรแบบสตาร์	77
รูป 8.4	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 10 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา ต่อวงจรแบบสตาร์	77
รูป 8.5	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 15 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา ต่อวงจรแบบสตาร์	78
รูป 8.6	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 60 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา ต่อวงจรแบบสตาร์	78
รูป 8.7	แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 5 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 150 องศา ต่อวงจรแบบเดลต้า	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 8.8 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 10 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 150 องศา ต่อดวงจรแบบเคลด้า	79
รูป 8.9 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 15 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 150 องศา ต่อดวงจรแบบเคลด้า	80
รูป 8.10 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 20 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 150 องศา ต่อดวงจรแบบเคลด้า	80
รูป 8.11 แสดงลูกคลื่นกระแสขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์โดยจ่ายแรงดันโดยตรง	81
รูป 8.12 แสดงลูกคลื่นกระแสขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์โดยมุมเริ่มต้น 170 องศา เวลาสตาร์ท 10 วินาที	81
รูป 8.13 แสดงลูกคลื่นกระแสขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์โดยมุมเริ่มต้น 160 องศา เวลาสตาร์ท 10 วินาที	82
รูป 8.14 แสดงลูกคลื่นกระแสขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์โดยมุมเริ่มต้น 90 องศา เวลาสตาร์ท 10 วินาที	82
รูป 8.15 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของซอฟต์แวร์สตาร์ทเตอร์	83

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 7.1 ตารางของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	54
ตาราง 8.1 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ท ที่ 20 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ	73
ตาราง 8.2 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ท ที่ 30 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ	73
ตาราง 8.3 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ท ที่ 40 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ	74
ตาราง 8.4 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ท ที่ 50 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ	74
ตาราง 8.5 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดมุมเริ่มต้นที่ 120 องศา และช่วงเวลาในการสตาร์ทต่าง ๆ	75
ตาราง 8.6 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดมุมเริ่มต้นที่ 130 องศา และช่วงเวลาในการสตาร์ทต่าง ๆ	75

บทที่ 1

บทนำ

โดยปกติแล้ว ถ้าเราสตาร์ท(start) มอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการป้อนศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัด เข้าสู่ตัวมอเตอร์แล้ว กระแสในขณะเริ่มสตาร์ทจะมีค่าสูงประมาณ 6-7 เท่าของพิกัดกระแสของ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวนั้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า

1. เพราะไม่มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้านกลับ(back emf.) เกิดขึ้น ในเวลาที่เริ่มสตาร์ท กล่าวคือในขณะที่เวลาที่เริ่มสตาร์ท มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวนั้นยังไม่มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้านกลับมา ด้าน ทำให้ศักดาไฟฟ้าทั้งหมดจากแหล่งจ่ายตกคร่อมตัวต้านทานของขดลวดซึ่งมีค่าน้อย ทำให้ กระแสที่ไหลสูง ($I = \frac{V}{r_w}$) เมื่อเวลาผ่านไปจึงเริ่มมีฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น และเปลี่ยนแปลง (เนื่อง จากกระแสที่ไหลผ่านเป็นกระแสสลับ) จึงเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำด้านกลับเกิดขึ้นมาด้าน ทำให้ กระแสไหลน้อยลง ดังนั้นวิธีแก้ไขก็คือ ต้องลดศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่มอเตอร์ในขณะเริ่มสตาร์ท เพื่อ ที่จะให้กระแสที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้มีค่าน้อย

2. เพราะโรเตอร์(rotor)หยุดนิ่ง ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับ โรเตอร์มีค่าสูง จึงเกิดกระแสสูง เหตุการณ์นี้เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อจากเหตุการณ์ในข้อแรก กล่าวคือ เมื่อมอเตอร์ได้รับศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัด สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นนี้ก็จะมีย่านมาก (เท่ากับพิกัด) เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนนี้ตัดผ่านขดลวดในโรเตอร์แบบพันขดลวด หรือแท่งลวดตัว นำในโรเตอร์แบบกรงกระรอก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และเพราะโรเตอร์นั้นมีการ ลัดวงจรอยู่จึงทำให้เกิดกระแสไหล โดยกระแสที่ไหลขึ้นกับว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่า มากหรือน้อย ซึ่งแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้จะมีย่านขึ้นกับขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนและความ เร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับโรเตอร์ ในขณะที่สตาร์ทนั้น โรเตอร์อยู่นิ่ง ทำให้ความ เร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับโรเตอร์มีค่ามาก ส่งผลให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมีค่ามาก ตาม ทำให้กระแสที่ไหลในโรเตอร์มีค่าสูงตาม และเมื่อเวลาผ่านไป โรเตอร์มีความเร็วเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์มีค่าลดลง (สนามแม่เหล็กหมุนยังมีขนาดคงที่) จึงทำให้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำลดลง ส่งผลให้กระแสมีค่าลดลงสู่ค่าปกติ

จะเห็นได้ว่า สาเหตุที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ มีกระแสในขณะสตาร์ทสูงก็เนื่องจาก แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนตัวโรเตอร์มีค่ามากในขณะที่เวลาสตาร์ทนั่นเอง ดังนั้นถ้าต้องการที่จะ ลดค่ากระแสขณะสตาร์ทจำเป็นต้องหาทางลดแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ให้ได้ ในการที่จะลดแรง เคลื่อนนั้นสามารถทำได้ โดยการลดความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับโรเตอร์

หรือลดขนาดของสนามแม่เหล็กหมุน สำหรับความเร็วสัมพัทธ์นั้นไม่สามารถลดได้ เนื่องจากความถี่ของแหล่งจ่ายไฟคงที่ทำให้ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนั้นมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องลดขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนแทน โดยขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าของศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ตามสมการ

$$E = \sqrt{2} \pi f N \phi_p K_w \quad (1.1)$$

E : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นค่าอาร์เอ็มเอส

ϕ_p : ฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดต่อขั้ว

f : ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า

N : จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส

K_w : ตัวประกอบการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

จากสมการ(1.1)จะเห็นว่า

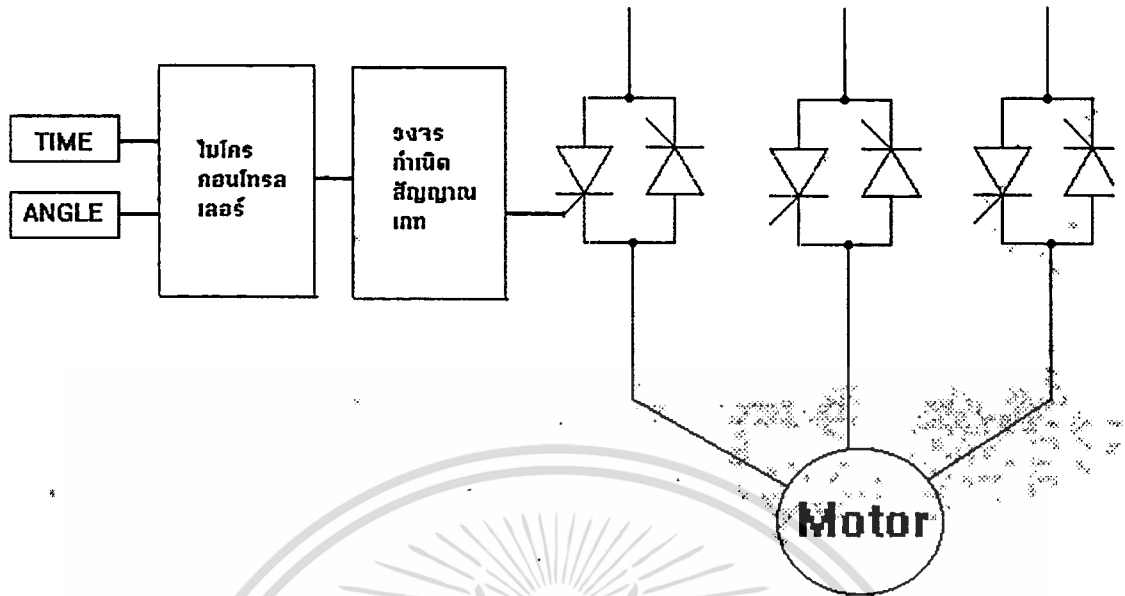
$$E \propto \phi_p$$

ดังนั้นถ้าเราต้องการที่จะลดขนาดของสนามแม่เหล็กหมุน เราก็ต้องลดศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์แทน

เมื่อเวลาผ่านไป โรเตอร์ก็มีความเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับโรเตอร์มีค่าน้อยลงและแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำน้อยลง ทำให้สามารถที่จะเพิ่มขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนได้ (โดยการเพิ่มศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวมอเตอร์) จนกระทั่งถึงค่าที่พิกัด

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถ สรุปหลักการสแตร์ทมอเตอร์ได้ว่า “เริ่มต้นด้วยการป้อนศักดาไฟฟ้าค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าพิกัดให้กับตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากนั้นก็ค่อย ๆ เพิ่มศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวมอเตอร์ตามความเร็วของ โรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อความเร็วโรเตอร์ถึงค่าพิกัด ศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ก็เท่ากับพิกัดพอดี”

ปริยญาพิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการสร้างเครื่องสแตร์ทมอเตอร์โดยอาศัยหลักการดังกล่าว



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องสแตร์มอเตอร์แบบโซลิตสเตต

จากรูปเป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องสแตร์มอเตอร์นี้ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เราจะใช้ไทรสเตอร์ทั้งหมด 6 ตัว โดยแบ่งเป็นเฟสละ 2 ตัว โดยไทรสเตอร์ 2 ตัวนี้จะต่อสลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และใช้สัญญาณเกทที่มีความต่างเฟสกัน 180°

เราจะใช้วิธีเพิ่มศักย์ไฟฟ้าจากค่า ๆ หนึ่งจนถึงค่าพิกัด โดยการลดมุมทริกจากค่า α ค่า ๆ หนึ่ง (α_0) จนถึงมุมทริกเท่ากับ 0°

การลดของมุมทริกจากค่า ๆ หนึ่งจะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยต้องป้อนค่าเวลาที่ใช้ในการสแตร์เท่ากับค่าของมุมทริกเริ่มต้นให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะได้สั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมได้ตามที่เราต้องการ

บทที่ 2

มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการการทำงานทั่วไปของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ก็คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล จึงทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์กระแสตรงนั้น พลังงานไฟฟ้าจะต่อโดยตรงกับอามเจอร์ (Amature) ที่อยู่ด้านโรเตอร์ (Rotor) ผ่านไปยังแปรงถ่าน (brushes) และคอมมิวเตเตอร์ (Comutator) นั้น และมอเตอร์เหนี่ยวนำจะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโรเตอร์ ด้วยการเหนี่ยวนำกันทางไฟฟ้า คล้าย ๆ กับหลักการของหม้อแปลง จึงเป็นที่มาของชื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ

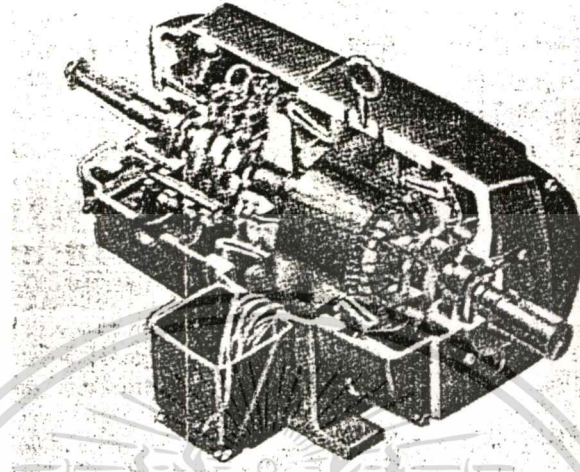
มอเตอร์เหนี่ยวนำมีทั้งแบบ 1 เฟส และหลายเฟส นิยมใช้กันมากในทางอุตสาหกรรม เพราะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

ข้อดี

1. มีโครงสร้างที่ง่าย แข็งแรง ทนทาน
2. มีราคาไม่แพง
3. มีประสิทธิภาพเพียงพอกับการใช้งาน
4. บำรุงรักษาง่าย
5. ไม่มีแปรงถ่านจึงเป็นผลให้แรงเสียดทานน้อยกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น
6. เพาเวอร์แฟคเตอร์ดีพอใช้
7. สามารถสตาร์ทได้เอง ไม่เหมือนกับมอเตอร์แบบซิงโครนัส

ข้อเสีย

1. กินกระแสขณะสตาร์ทสูง อาจจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการสตาร์ท
2. มีคุณสมบัติคล้ายกับมอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน (d.c. Shunt motor) โดยความเร็วจะขึ้นอยู่กับโหลด
3. มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทค่อนข้างน้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน
4. เมื่อมีการปรับความเร็วมอเตอร์จะทำให้เกิดประสิทธิภาพลดลง



รูปที่ 2.1 แสดงภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดฟันขดลวด

2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเหมือนกันกับ ซิงโครนัสมอเตอร์ มีช่องสล็อตสำหรับรองรับขดลวด ดังในรูปที่ 2.2 (ก) และสเตเตอร์ของขดลวด 3 เฟส ดังในรูป 2.2 (ข) ลักษณะการวางขดลวดขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กมากความเร็วรอบก็จะต่ำ ในทางกลับกันถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อยความเร็วรอบก็จะสูง เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส ให้กับขดลวด 3 ชุด ซึ่งทำมุมห่างกัน 120° จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น และสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสตามสมการ

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

N_s : ความเร็วซิงโครนัส

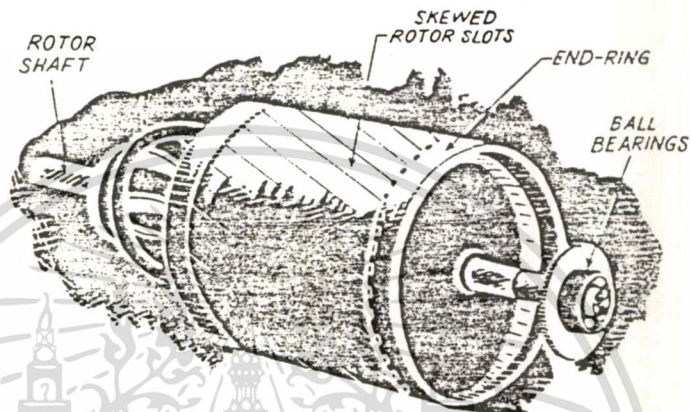
f : ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

P : จำนวนขั้วแม่เหล็ก

2. โรเตอร์ (Rotor) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ชนิดโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel-cage Rotor) โดยรูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบโรเตอร์ชนิดนี้ ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและแข็งแรงทนทาน ประกอบด้วยแกนของโรเตอร์ซึ่งมีร่องสลิตที่อยู่ในแนวขนานกัน เพื่อใส่แท่งตัวนำ โดยที่ปลายทั้งสองข้างของแกนจะมีวงแหวนสำหรับลัดวงจร



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

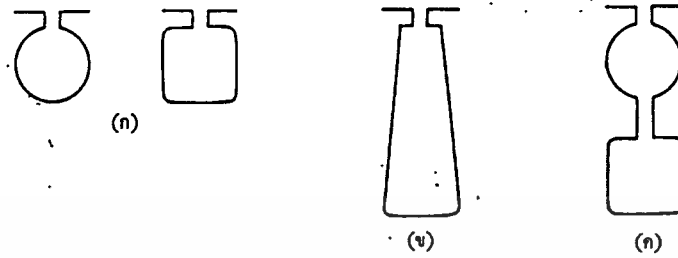
โรเตอร์แบบกรงกระรอก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้อีกเป็นประเภทต่าง ๆ

1. โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา แสดงด้วยรูป 2.3 (ก) และรูป 2.4 กราฟ A
2. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ (สลิตคด) แสดงด้วยรูป 2.3 (ข) และรูป 2.4

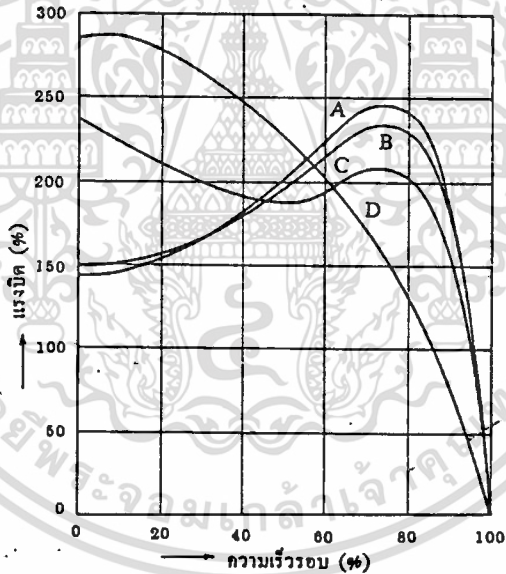
กราฟ B

3. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ (กรงกระรอกสองชั้น-แท่งตัวนำอย่างธรรมดา) แสดงด้วยรูป 2.3 (ค) และรูป 2.4 กราฟ C

4. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ (กรงกระรอกสองชั้น-แท่งตัวนำความต้านทานสูง) แสดงด้วยรูป 2.3 (ค) และรูป 2.4 กราฟ D



รูป 2.3 ลักษณะของร่องสลิตในโรเตอร์ชนิดต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก



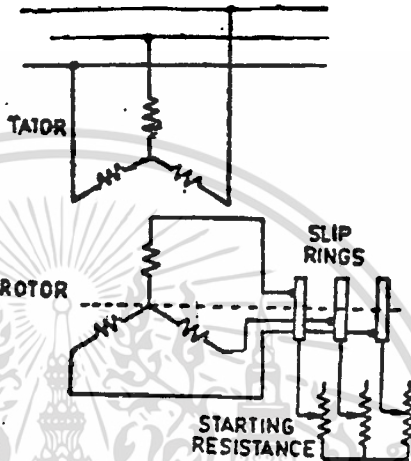
รูป 2.4 สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก

2.2 ชนิดโรเตอร์พันขดลวด (Phase-wound Rotor)

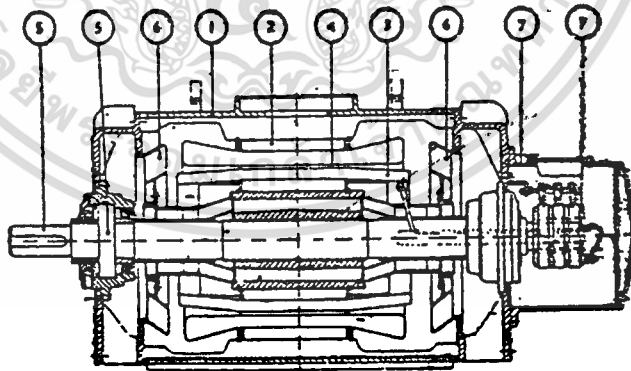
ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์ทรงกระรอก วงจรโรเตอร์ ถูกัดวงจรด้วยวงแหวนตอนปลาย และค่าความต้านทานของโรเตอร์ตายตัวปรับไม่ได้ แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์พันขดลวด การพันวงจรโรเตอร์ (หรือวงจรทุติยภูมิ) เป็นการพันขดลวดแบบสามเฟสและมีการต่อวงจรเข้าสู่วงแหวนลื่นแล้วผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานของวงจรรอเตอร์ จึงสามารถปรับคืนได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายนอก



รูป 2.5 แสดงวงจรต่อตัวต้านทานของโรเตอร์แบบพันขลวด



รูป 2.6 แสดงภาพตัดของโรเตอร์แบบพันขลวด

ในรูปที่ 2.6 มีรายละเอียดของโครงสร้างดังนี้

1. โครงรอบนอก (Frame) ทำจากเหล็กกล้าผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

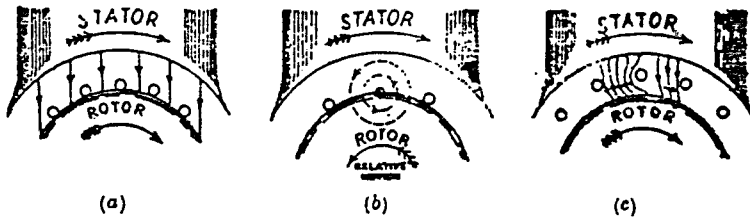
2. แกนสเตเตอร์และแกนโรเตอร์ ทำจากเหล็กผสมคุณภาพดี ความสูญเสียต่ำ เป็นแผ่นบางเคลือบมันวาวทั้งสองด้าน

3. ขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์
4. ช่องอากาศ (Air-gap)
5. เพลาและลูกปืน (Shafts and Bearings)
6. พัดลม (Fans) เพื่อระบายความร้อนของมอเตอร์
7. วงแหวนสลีป (Slip-rings)

ดังนั้นในกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์พันขดลวด ค่าความต้านทานของวงจรรโรเตอร์จะสามารถปรับค่าได้ สำหรับปรับค่าความเร็วรอบโดยการเปลี่ยนค่าของความต้านทานที่ต่ออยู่ภายนอกในขณะเดียวกันการเพิ่มค่าความต้านทานของวงจรรโรเตอร์ จะเพิ่มค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท และอัตราเร่งเป็นไปอย่างราบรื่น เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทของมอเตอร์ อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้จะมีน้ำหนักราว 120-150% มีราคาสูงขึ้นและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ และประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับโรเตอร์กรงกระรอกขนาดเดียวกัน

2.2 ทำไมโรเตอร์ถึงหมุนได้ ?

เมื่อขดลวดฝั่งสเตเตอร์ได้รับป้อนไฟ 3 เฟส แต่เฟสทำมุมกัน 120° จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส สนามแม่เหล็กจะผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์ กวาดไปรอบโรเตอร์ แล้วตัดผ่านแท่งตัวนำ จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced emf.) ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Laws) ซึ่งความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเท่ากับทางด้านแหล่งจ่ายไฟ แล้วเกิดสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ตามกฎมือขวาของ เฟลมมิง (Fleming's Right-hand rule) และตามกฎของเลนส์ (Lens's Law) ในขณะนั้นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนเกิดขึ้น ผลสุดท้ายจะเกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางสนามแม่เหล็กหมุน และโรเตอร์ก็จะพยายามหมุนตามด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส แต่จะไม่ทำความเร็วเชิงโคโรนัส เพราะโรเตอร์ต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะรักษาสภาพการหมุนต่อไป ขึ้นตอนต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูป 2.7 (ก) แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง

(ข) แสดงการเกิดกระแสเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ ตามกฎของเลนซ์ และเกิดความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุน

(ค) แสดงการเกิดแรงบิดของโรเตอร์ แล้วโรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน

2.3 สลิป (Slip)

ในทางปฏิบัติ โรเตอร์นั้นจะไม่สามารถมีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสได้ เพราะถ้าไม่มีความเร็วสัมพัทธ์เหลืออยู่ก็จะไม่เกิดกระแสใน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ก็จะไม่สามารถรักษาสภาพแรงบิดของโรเตอร์ให้หมุนอยู่ได้ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์นั้นที่เพิ่มขึ้นกับภาระทางกลของมอเตอร์ด้วย

เมื่อโรเตอร์มีความเร็วที่แตกต่างกับความเร็วซิงโครนัส จึงเกิดค่าการคลาดเคลื่อน ความเร็วของโรเตอร์ว่า “สลิป” โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้ดังนี้

$$(\% \text{Slip}) \quad S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.2)$$

N_s : ความเร็วซิงโครนัส

N_r : ความเร็วโรเตอร์

2.4 แรงบิดเริ่มต้น (Starting Torque)

เป็นแรงบิดที่เกิดทันทีทันใดขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน

กำหนดให้ T_{st} = แรงบิดเริ่มต้น

E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่โรเตอร์ต่อ 1 เฟส ขณะหยุดนิ่ง

R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส

X_2 = ค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส

$Z_2 = \sqrt{(R_2^2 + X_2^2)}$ = ค่าอิมพีแดนซ์(impedance)ของโรเตอร์ต่อ 1

เฟส

ถ้าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V) คงที่จะได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะคงที่ด้วย

$$\therefore T_{st} = k_2 \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2} = k_2 \frac{R_2}{Z_2} \text{ โดยที่ } k_2 \text{ เป็นค่าคงที่}$$

แรงบิดขณะสตาร์ทของมอเตอร์แบบโรเตอร์กรงกระรอก

ค่าความต้านทานของโรเตอร์จะไม่สามารถปรับค่าได้ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรีแอคแตนซ์ (reactance) โดยเฉพาะจะเห็นชัดเมื่อเริ่มสตาร์ท เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ แรงบิดจะมีค่าน้อยประมาณ 1/5 เท่าของแรงบิดที่ภาระเต็มพิกัด กระแสมีค่าสูงประมาณ 5-7 เท่าของกระแสที่พิกัด และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ หลังจากนั้นกระแสจะลดลง และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก็จะดีขึ้น

แรงบิดขณะสตาร์ทของมอเตอร์มีโรเตอร์พันขดลวด

ค่าความต้านทานของโรเตอร์สามารถปรับค่าได้ด้วยการใช้ รีโอสแตท (rheostat) โดยเฉพาะขณะสตาร์ทจะเพิ่มความต้านทานก่อนแล้วจะค่อย ๆ ลดความต้านทานลง เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ แรงบิดจะมีค่ามาก กระแสจะมีค่าน้อย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง หลังจากการสตาร์ทก็จะสามารถนำความต้านทานออกจากวงจรได้ แต่หากไม่นำความต้านทานออกก็จะสามารถแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ดีขึ้นได้ แต่ประสิทธิภาพก็จะลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดขณะสตาร์ทและแรงบิดสูงสุด

$$T_{st} \propto \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

$$T_{max} \propto \frac{1}{2X_2}$$

$$\therefore \frac{T_{st}}{T_{max}} = \frac{2R_2X_2}{R_2^2 + X_2^2} = \frac{2R_2/X_2}{1 + (R_2/X_2)^2} = \frac{2a}{1+a^2}$$

$$a = \frac{R_2}{X_2} = \frac{\text{ค่าความต้านทานของโรเตอร์}}{\text{คาร์รีแอคแตนซ์ของโรเตอร์ขณะหยุดนิ่ง}} \quad \text{ต่อ 1 เฟส}$$

T_{max} : แรงบิดสูงสุด

ตัวอย่าง มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต่อแบบ Y-Y , 200/200 V ต่อแบบพันขดลวดที่โรเตอร์ด้วยความต้านทาน 0.06Ω และคาร์รีแอคแตนซ์ 0.3Ω ขณะหยุดนิ่งต่อ 1 เฟส จงหาความต้านทานที่ต้องต่อเพิ่ม เมื่อต้องการแรงบิดขณะสตาร์ทมีค่าเท่ากับแรงบิดสูงสุด

T_{max} : แรงบิดสูงสุด

ตัวอย่าง มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต่อแบบ Y-Y , 200/200 V ต่อแบบพันขดลวดที่โรเตอร์ด้วยความต้านทาน 0.06Ω และค่ารีแอกแตนซ์ 0.3Ω ขณะหยุดนิ่งต่อ 1 เฟส จงหาความต้านทานที่ต้องต่อเพิ่ม เมื่อต้องการแรงบิดขณะสตาร์ทมีค่าเท่ากับแรงบิดสูงสุด

วิธีทำ
$$\frac{T_{st}}{T_{max}} = \frac{2a}{1+a^2} \quad , \text{ เมื่อ } T_{st} = T_{max}$$

$$= \frac{2a}{1+a^2} \Rightarrow a^2 - 2a + 1 = 0$$

$$(a-1)(a-1) = 0$$

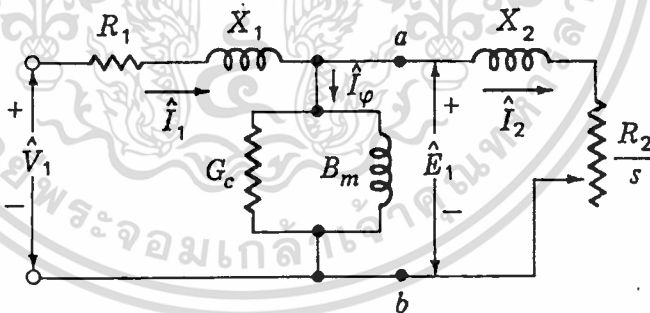
$$a = 1$$

จะได้ $a = \frac{R_2 + r}{X_2} \Rightarrow 1 = \frac{0.06 + r}{0.3}$

$$r = 0.3 - 0.06 = 0.24\Omega$$

Ans

2.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Equivalent Circuit)



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในการเขียนวงจรสมมูล เราจะเขียนเป็นแบบ 1 เฟส ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณจึงต้องทำเป็น 3 เฟส

กำหนดให้ P_g คือ กำลังงานที่ส่งผ่านช่องอากาศ

P_{w2} คือ กำลังงานสูญเสียความร้อนบนลวดทองแดงทางด้านโรเตอร์

ดังนั้น
$$P_g = 3|I_2|^2 \frac{R_2}{s}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad T_e = \frac{P}{(1-s)\omega_s} = \frac{P_g}{\omega_s}$$

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{P}$$

เมื่อ ω_s : ความเร็วเชิงมุมที่ความเร็วซิงโครนัส

f : ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

P : จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ω_r : ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

$$P_{o/p} = P_m - \text{กำลังสูญเสียทางกล}$$

$$T_{sh} = P_{o/p} / \omega_r$$

เมื่อ P_m : พลังงานทางกล(ยังไม่หักกำลังสูญเสียทางกล)

$P_{o/p}$: พลังงานที่เพลลา

T_e : แรงบิดที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ(Electromagnetic Torque)

T_{sh} : แรงบิดที่เพลลา

ในการคำนวณบางครั้งเพื่อความสะดวก จะไม่คิดค่า R_c อันเนื่องมาจากกำลังสูญเสียของแกนเหล็ก(core loss) โดยจะนำค่ากำลังสูญเสียของแกนเหล็กไปรวมกับกำลังสูญเสียจากการหมุนมอเตอร์ (rotation loss) เรียกรวมเป็น ความสูญเสียที่คงที่ (fix loss)

บทที่ 3

เอสซีอาร์

ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานสมัยก่อน ๆ นั้น มักใช้ตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ที่มีขนาดใหญ่ หรือไม่ก็ใช้หลอดไทรatron (Thyratron) ซึ่งเป็นผลทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ และที่สำคัญคือราคาแพง

ต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมาชนิดหนึ่งที่อยู่ชื่อกันว่า **ไทรสเตอร์ (Thyristor)** อุปกรณ์ชนิดนี้เมื่อนำมาใช้งานพบว่ามีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้พอที่จะแทนที่หลอดไทรatron

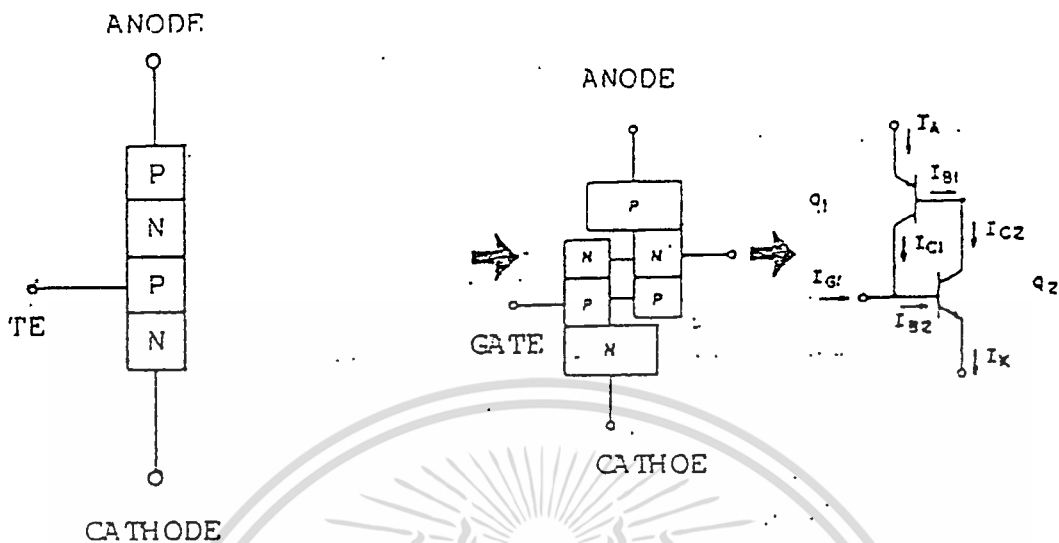
ไทรสเตอร์ไม่ได้หมายถึงอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งโดยเฉพาะแต่หมายถึงกลุ่มของอุปกรณ์พวกหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยเอสซีอาร์(SCR : Silicon Controlled Rectifier) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานในการควบคุมกำลังงานอย่างกว้างขวางที่สุด CSCR (Complementary Silicon Controlled Rectifier), Triac, SCS (Silicon Unilateral Switch) ASR (Asymmetrical Silicon Rectifier), SUS (Silicon Unilateral Switch) และ SBS (Silicon Bilateral Switch) ฯลฯ

และนอกจากอุปกรณ์ที่กล่าวถึงเหล่านี้และยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ อีกบางตัวที่สามารถนำมาใช้เป็นสวิตซ์อัตโนมัติได้ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในวงจร

ในการที่เราจะนำอุปกรณ์พวกนี้ไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ เราควรจะทำความเข้าใจและรู้จักกับคุณสมบัติ อัตราและขีดจำกัดที่สำคัญเสียก่อน เพื่อที่จะนำไปใช้ประกอบในการออกแบบวงจร

3.1 การทำงานของเอสซีอาร์

พิจารณาโครงสร้างของเอสซีอาร์เป็นทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ต่อกันดังแสดงในรูปที่ 3.1 ขาอิมิตเตอร์(emitter)ของทรานซิสเตอร์ Q1 (NPN) จะเป็นขั้วแอโนด(anode) ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์(transistor) Q2 (PNP) จะเป็นขั้วแคโทด(cathode) และขาคอลเลกเตอร์(collector)ของทรานซิสเตอร์ Q1 (PNP) จะต่อร่วมกับขาเบส(base)ของทรานซิสเตอร์ Q1 (NPN) จะต่อร่วมกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 (NPN)เป็นขั้วเกต(gate)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์ คือ ขณะที่ยังไม่มีกระแสไหลเข้าเกตสู่แคโทด แรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับแคโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าเกตสู่แคโทด แรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าเกตสู่แคโทดเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแส เรียกกันว่า ทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

ในการทำให้เอสซีอาร์หยุดการนำกระแส นั้น จะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านต่ำลงจนถึงค่าหนึ่งตามคุณสมบัติที่กำหนดมา จากรูปที่ 3.1 หากเราทำการลัดวงจรขาเกตกับขาแคโทดจะทำให้กระแสหยุดไหลได้แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นการทำงานของเอสซีอาร์จริง ๆ และจะมีกระแสจำนวนน้อยมากที่จะเบี่ยงเบนมาไหลผ่านทางที่ลัดวงจร

ตามหลักการในเอสซีอาร์โดยทั่ว ๆ ไป โครงสร้างภายในจะถูกออกแบบให้มีลักษณะซอร์ตอีมีตเตอร์ โดยจะใช้ตัวต้านทานต่อระหว่างขาเกตและขาแคโทด เพราะว่าจะทำให้เกิดกระแสเบี่ยงเบนจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ NPN ผ่านตัวต้านทานทำให้กระแสจุดชนวน (I_L) กระแสตกค้าง (I_L : latching current), และกระแสยึดมีค่ามากขึ้น

ความไวในการจุดชนวนขาเกตของเอสซีอาร์ให้ใช้ค่าความต้านทานสูง ๆ ต่อขนานหรือไม่ต่อไว้เลยก็ได้ ดังนั้นคุณสมบัติจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าความต้านทานภายนอก ซึ่งในกรณีนี้การออกแบบให้มีลักษณะซอร์ตอีมีตเตอร์จะมีผลน้อยมาก

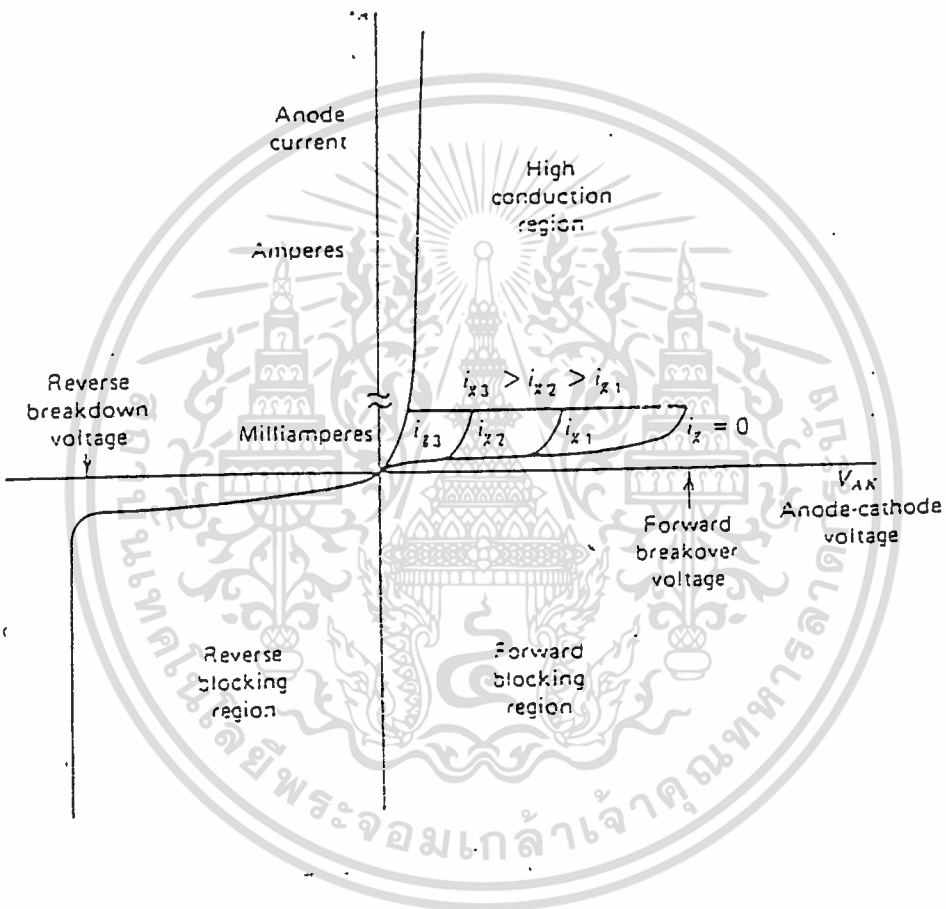
อุณหภูมิที่รอยต่อเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการทำงานและการเปลี่ยนแปลง

คุณสมบัติของเอสซีอาร์เป็นอย่างมาก

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เอสซีอาร์เกิดการนำกระแสได้ง่ายขึ้นดังนั้นสภาวะของวงจรที่ถูกกำหนดให้นำกระแสจะถูกออกแบบให้ทำงานที่จุดอุณหภูมิต่ำสุด

3.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์

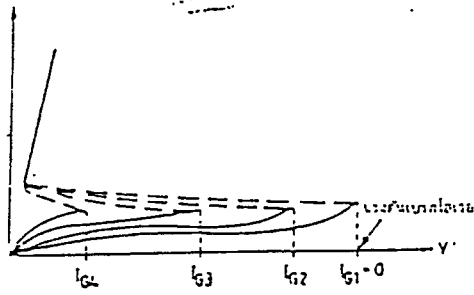
ในรูป 3.2 แสดงคุณสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแดรนต์ ระหว่างแรงดันคร่อมตัวเอสซีอาร์และกระแสที่ผ่าน



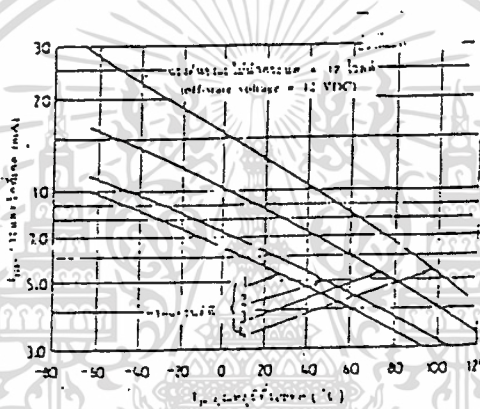
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง4ควอดแดรนต์

3.3 ความไวในการจุดชนวน

เพราะว่ากระแสรั่วไหลบริเวณรอยต่อ และอัตราขยายกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิ ขนาดของกระแสจุดชนวนเกณฑ์ที่ต้องการจริง ๆ จึงลดลง และขาเกตจะมีลักษณะเหมือนไดโอดที่มีแรงดันตกคร่อมเมื่ออุณหภูมิบริเวณรอยต่อ รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความไวของกระแสจุดชนวนกับอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เดจและกระแสของเอสซีอาร์ที่กระแสเกตต่างๆ



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความไวของเกทเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ กระแสที่ต้องการสำหรับทรานซิสเตอร์จะลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้กระแสรั่วไหลที่รอยต่อและอัตราขยายกระแสสูงขึ้น ส่วนแรงดันคร่อมเกทมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน

แต่อย่างไรก็ดี การออกแบบกระแสจุดชนวนเกทก็มีความสำคัญมากที่จะให้พอเพียงในการใช้งานที่จุดอุณหภูมิต่ำสุด

ความต้องการขานานความกว้างของพัลส์ (pulse width) จุดชนวนเกทในการทำให้เอสซีอาร์ นำกระแสเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่กระแสแอนโอดจะมีระดับถึงกระแสตกค้าง และเราจะเป็นที่ต้องรักษากระแสที่เกทจะกระทำทั้งเอสซีอาร์นำกระแส ในการใช้งานกับโหลดที่เป็นขดลวดหรือที่กระแสแอนโอดมีค่าต่ำกว่ากระแสชีก่อนการใช้งาน

การจุดชนวนเอสซีอาร์ด้วยไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่ามากกว่ากระแสรั่วไหลป้อนกลับผลที่ได้จะเป็นปกติ แต่จะไม่มีประโยชน์ถ้าสัญญาณจุดชนวนถูกค้างไว้ระหว่างที่แรงดันแอนโอดเป็นไฟลบ

ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าขาเกทของเอสซีอาร์ทำหน้าที่เหมือนกับขาเบสของทรานซิสเตอร์เมื่อใช้กระแสเกทที่สูงและเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้เกิดความสั่นเปลือง เนื่องจากบางส่วนจะสูญเสียไปเปล่า ๆ ระหว่างที่แรงดันแอนโอดเป็นโพล

3.4 คุณสมบัติของกระแสตกค้างและกระแสยึด

เมื่อกล่าวถึงสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดกระแสไหลในเอสซีอาร์อยู่ตลอดเวลาได้ ถึงแม้จะไม่มีกระแสจุดชนวนเกทในเวลานั้นก็ตาม หลักการที่จะกล่าวถึงคือกระแสตกค้างนั่นเอง การจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสจะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสยึดและกระแสที่จุดเริ่มต้นหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์เรียกว่า กระแสยึด ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ที่เกทด้วย

กระแสป้อนกลับในขาเกทของเอสซีอาร์จะต้องมากกว่ากระแสตกค้าง และกระแสยึดและการไบแอส(bias) ตรงที่เกท จะไม่มีความหมายถ้ากระแสที่ป้อนต่ำกว่าค่าเหล่านี้

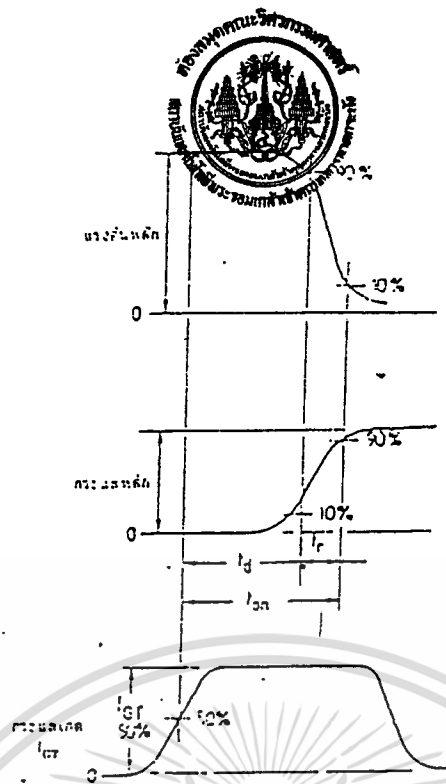
3.5 คุณสมบัติการสวิตชิง

เมื่อจุดชนวนด้วยสัญญาณจุดชนวนเกทให้เอสซีอาร์นำกระแส เวลาในการเริ่มต้นนำกระแสจะแบ่งเป็น 2 สถานะ คือ ช่วงเวลาหน่วง (t_d : delay time) และช่วงเวลายืน (T_r : rise time) ช่วงเวลายืนจะเริ่มขึ้นจากระดับแรงดัน 10 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงใน รูปที่ 3.5

ผลรวมของเวลาทั้งสองคือช่วงเวลาเริ่มต้นนำกระแส (t_{pt} : turn-on time) และ SCR หมายถึงช่วงเวลาที่เริ่มต้นจากที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ของขอบนำกระแสจุดชนวนเกทถึงระดับ 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่ตกคร่อมเอสซีอาร์

ข้อควรระวังอย่างหนึ่ง คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านตัวเอสซีอาร์ในขณะช่วงเวลานั้น เพราะวาระหว่างเวลานั้นแรงดันที่ตกคร่อมจะสูง และกระแสจะมีความเข้มข้นมาก

ทั้งนี้เนื่องจากการประจุกอย่างกะทันหัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งสูง และเป็นผลให้จุดนั้นเสียหายได้ สิ่งสำคัญคือ กำลังงานที่แพร่กระจายในขณะเริ่มนำกระแสควรจำกัดให้รักษาไว้ระดับหนึ่ง



รูปที่ 3.5 การนำกระแสของเอสซีอาร์ (turn-on time) มี 2 ระยะคือ ช่วงหน่วง (t_d) และช่วงไต่ขึ้น (t_r) ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการนำกระแสเมื่อควบคุมที่เกท (t_{gd}) วัดที่จุด 50 เปอร์เซ็นต์ของกระแสเกตไปยังจุด 90 เปอร์เซ็นต์ของกระแสหลัก หรือก็คือผลรวมของเวลาช่วงหน่วงกับเวลาช่วงไต่ขึ้น

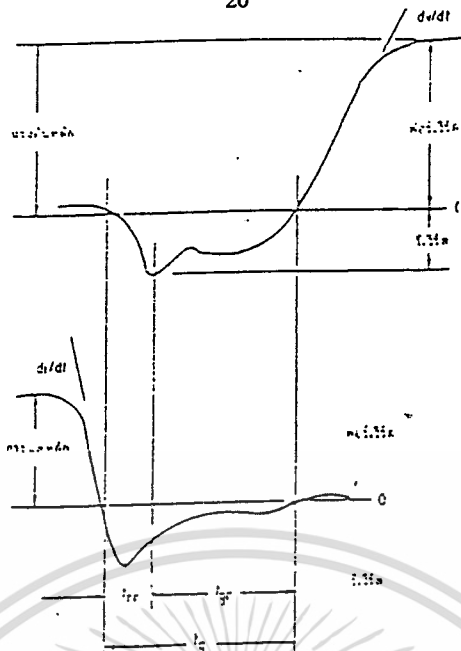
3.6 ช่วงเวลาดำเนินตัว

ช่วงเวลารีคัพเวอรี (Recovery time) หรือช่วงเวลาดำเนินตัวเป็นช่วงเวลาในการเริ่มต้นหยุดนำกระแส เป็นคุณสมบัติโดยเฉพาะของเอสซีอาร์ และอุปกรณ์กระแสผ่านทางเดียวอื่น ๆ ช่วงเวลารีคัพเวอรีของเอสซีอาร์ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงเวลาเกทรีคัพเวอรี (t_{gr} : gate recovery time) ดังรูปที่ 3.6

เมื่อกระแสไบแอสตรงในเอสซีอาร์ตกเป็นศูนย์แรงดันไบแอสกลับระหว่างแอนโอดและแคโทดของเอสซีอาร์จะทำให้เกิดกระแสไบแอสกลับไหลผ่าน และกระแสนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนกลายเป็นกระแสรั่วไหลปกติ

ช่วงเวลารีคัพเวอรีในขณะที่ป้อนไบแอสกลับนั้นจะเริ่มวัดจากจุดที่กระแสกลับเฟสไปจนถึงจุดปกติในกระแสไบแอสกลับดังรูปที่ 3.6 และในระหว่างช่วงเวลานี้แอนโอดและแคโทดจะค่อย ๆ เพิ่มประจุแต่แรงดันไบแอสกลับจะยังคงอยู่ต่อไปอีก

ช่วงเวลารีคัพเวอรีช่วงที่ 2 หรือช่วงเวลาเกทรีคัพเวอรีซึ่งเป็นเวลาที่เอสซีอาร์ค่อย ๆ เก็บประจุอย่างช้า ๆ ถึงช่วงที่กระแสเปลี่ยนเป็นการไบแอสตรง ช่วงเวลาเกทรีคัพเวอรีมักจะมีเวลามากกว่าช่วงรีคัพเวอรีในขณะที่ป้อนกลับเสมอ



รูปที่ 3.6 ช่วงเวลาหยุดนำกระแส (turn-off time) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ ชนิดมีทิศทางเดียวเท่านั้น เวลาคืนตัว (recovery time) ของเอสซีอาร์ มี 2 ระยะเช่นกันคือ ช่วงคืนตัวด้านรีเวิร์ส(reverse) และช่วงคืนตัวที่เกท (หรือฟอร์เวิร์ดบล็อกกิ้ง)

ส่วนช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสทั้งหมดจะขึ้นกับสถานะของวงจรรวมทั้งกระแสในขณะนำกระแส อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสระหว่างช่วงไบแอสตรงไบแอสกลับ ช่วงเวลาไบแอสกลับ อัตราเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่กลับมาสู่การไบแอสตรง การไบแอสเกทและอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ และการเพิ่มของกระแสขณะนำกระแสทำให้ช่วงเวลาในการเริ่มต้นหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้น ซึ่งผลกระทบเหล่านี้มีความสำคัญมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าเหล่านี้ ในการออกแบบใช้งานด้วยส่วนการไบแอสเกตด้วยไฟลอปจะช่วยลดช่วงเวลาในการเริ่มต้นหยุดนำกระแส

สำหรับการประยุกต์ใช้งานเอสซีอาร์ในการควบคุมกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ช่วงลบของรูปคลื่นจะเป็นช่วงแรงดันไบแอสกลับ จะทำให้เกิดการหยุดนำกระแสไปอย่างอัตโนมัติในช่วงความถี่ที่ใช้งานต่ำ ๆ

3.7 ช่วงการหยุดนำกระแส

การประยุกต์ใช้งานเอสซีอาร์ในการควบคุมกำลังงานที่จะใช้กันในช่วงที่มีคุณสมบัติหยุดนำกระแส

เรามักจะไม่มีปัญหาในการออกแบบให้เอสซีอาร์นำกระแสได้แน่นอนและแม่นยำ นอกนั้นหลังจากที่เรานำสัญญาณจุดชนวนออก ช่วงเวลาในการนำกระแสจะขึ้นกับเกณฑ์ที่

กำหนด ซึ่งอาจนานเท่าผลรวมของอัตราขยายเบสรวมของการสร้างทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP

ส่วนในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส นั้น อัตราขยายควรทำให้ต่ำกว่าปกติในสภานำกระแส กระแสแอโนดควรมากกว่ากระแสเบส สำหรับการใช้ในสายไฟฟ้าสลับการหยุดของกระแสจะเป็นไปโดยอัตโนมัติในช่วงลบของลูกคลื่น

อย่างไรก็ตามในการใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง กระแสแอโนดจะทำให้หยุดลงหรือเบี่ยงเบนไป และในการจะเกิดกระแสแอโนดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ช่วงเวลาจะขึ้นกับอุณหภูมิ กระแสไบแอสตรงและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ และช่วงเวลารีเซ็ตเวรีจะต้องผ่านไปก่อนที่เอสซีอาร์จะกลับมามีแรงดันกระแสตรงเพื่อที่จะนำกระแสอีกครั้งหนึ่ง

เราสามารถทำความเข้าใจกับช่วงเวลารีเซ็ตเวรีของเอสซีอาร์ได้ง่ายขึ้นโดยพิจารณาที่รอยต่อทั้ง 3 ที่เกิดขึ้น เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสในแต่ละรอยต่อจะได้รับการไบแอสตรงซึ่งทำให้บริเวณสาร P และสาร N ในแต่ละข้างจะมีโฮล(hole) และอิเล็กตรอน(electron)อยู่มาก

ถ้าต้องการให้เกิดการหยุดนำกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ จำเป็นต้องป้อนแรงดันไฟลบให้กับแอโนด เพื่อจะทำให้โฮลและอิเล็กตรอนใกล้ ๆ กับปลายของรอยต่อทั้ง 2 ด้านเกิดการแพร่กระจายและเกิดกระแสไบแอสกลับไหลผ่านเอสซีอาร์

เมื่อโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณใกล้ ๆ รอยต่อเกิดการแพร่กระจายออกไปจนหมดกระแสไบแอสกลับจะหยุดไหลหมายถึง เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปกติพร้อมที่จะนำกระแสอีกครั้ง

อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่งคือ ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนขึ้นบริเวณกลางรอยต่อ ซึ่งการรวมตัวกันของโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณกลางรอยต่อนี้จะทำให้การแพร่กระจายเกิดขึ้นต่ำและช้า ซึ่งหมายถึงช่วงเวลารีเซ็ตเวรีที่นาน

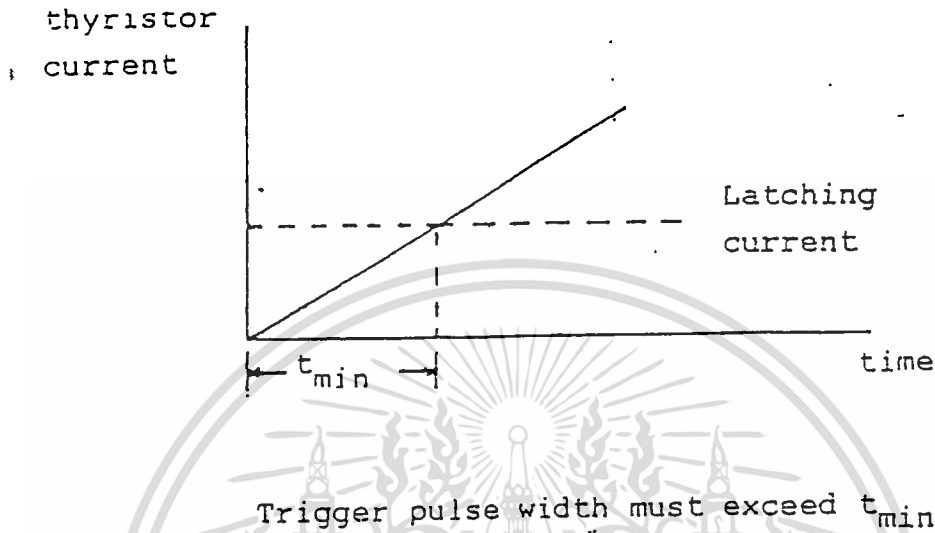
การวัดช่วงเวลารีเซ็ตเวรีของเอสซีอาร์ ควรจะป้อนกระแสไบแอสตรงเป็นเวลานานเพียงพอจนแน่ใจว่าวงจรทำงานในสภาวะคงที่แล้ว

เพื่อที่จะดูว่าการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบในวงจรคือ ขนาดกระแสไบแอสตรง, ช่วงเวลากระแสไบแอสตรง, อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา, ขนาดกระแสไบแอสกลับ, ขนาดแรงดันไบแอสกลับ, อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลา, ขนาดของแรงดันที่ใช้, ค่าความต้านทานระหว่างเกตและแคโทดและขนาดสัญญาณจุดชนวนเกินกว่าจะมีผลต่อช่วงเวลารีเซ็ตเวรีอย่างไรให้ทำการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบนั้น ๆ โดยให้ส่วนอื่น ๆ คงที่

3.8. ระยะเวลาสัญญาณทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยสัญญาณทริกนั้น สัญญาณทริกเกอร์จะต้องมี ระยะเวลา นานจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง (Latching Current) ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริก ถ้าสัญญาณทริกสิ้นสุดก่อนที่กระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสเมื่อสัญญาณทริกสิ้นสุดลง ฉะนั้นสัญญาณทริกจะต้องมีระยะเวลา นานจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้างจึงทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไปโดยสามารถนำสัญญาณทริกออก เอสซีอาร์จะยังคงนำกระแสต่อไปในรูป 3.7 แสดงเวลาน้อยที่สุด (t_{min}) ที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกไว้

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟ(inductive) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์สู่อินดักทีฟ โหลดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ฉะนั้นระยะเวลาของสัญญาณทริกจะต้องนานจนกระทั่งกระแสไหลมากกว่ากระแสค้างเอสซีอาร์จึงนำกระแสต่อไปได้

ตัวอักษรในข้อมูลของเอสซีอาร์ที่ได้มาซึ่งหลาย ๆ ผู้ผลิตก็มีความคล้ายคลึงกัน ดังนี้

$I_{T(rms)}$ หมายถึง ค่ากระแสฟอว์เวิร์ดที่คิดแบบอาร์เอ็มเอส(RMS) หรือกระแสส่วน ที่ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น

$I_{T(av)}$ หมายถึง ค่ากระแสฟอว์เวิร์ดเฉลี่ย ที่เป็นค่าที่จำกัดไว้เพื่อไม่ให้อุณหภูมิที่ รอยต่อ P-N สูงเกินไป

I_{TSM} หมายถึง ค่ากระแสฟอว์เวิร์ดสูงสุดที่เอสซีอาร์ยอมให้ผ่านได้ชั่วขณะ ซึ่งเป็นค่าที่เลือกฟิวส์(fuse) สำหรับป้องกันเอสซีอาร์ในกรณีลัดวงจร

I_{TRM} หมายถึง ค่ากระแสชั่วขณะที่ยอมให้สูงกว่า $I_T(RMS)$ และ $I_T(AV)$ สำหรับโหลดประเภทมอเตอร์

di/dt เป็นค่ากระแสสูงสุดในช่วงเวลาสวิตช์ที่ยอมให้ผ่าน โดยรอยต่อยังไม่เกิดความเสียหาย

V_{DRM} เป็นค่าแรงดันสูงสุดที่ยอมให้ตกคร่อมไทรสเตอร์ขณะไม่ทำงาน

dv/dt เป็นค่าสูงสุดของอัตราการเพิ่มของแรงดันต่อช่วงเวลาที่จะไม่ให้ไทรสเตอร์ทำงานได้เอง

I_{GT} เป็นค่าต่ำสุดของกระแสที่ให้แก่ที่สามารถทำให้ไทรสเตอร์ทำงานได้

V_{GT} เป็นค่าแรงดันจากเกตได้แคโทดที่สามารถทำให้ไทรสเตอร์ทำงานได้

I_H เป็นค่ากระแสทำงานต่ำสุดที่ไทรสเตอร์ยังทำงานอยู่ได้

$R_{\theta JC}$ เป็นค่าความต้านทานทางอุณหภูมิจากจุดต่อถึงตัวถัง

การทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสได้มีวิธีการดังนี้ คือ

1. ใช้แรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกต
ซึ่งเป็นวิธีที่เรานิยมใช้จุดชนวนให้เอสซีอาร์เปิดนำกระแสทั่ว ๆ ไป
2. ใช้แสงช่วยจุดชนวน
3. ใช้แรงดันพียงข้ามทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแส
4. ใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลาในอัตราสูงเข้าจุดชนวน
5. ใช้อุณหภูมิสูงเข้าจุดชนวน

บทที่ 4

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ

วิธีการสตาร์ทมอเตอร์ วิธีที่ง่ายที่สุดนั้น ก็คือวิธีการสตาร์ทแบบต่อตรง (DOL = Direct On Line) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้การป้อนศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัดเข้าสู่มอเตอร์โดยตรง วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ถูกที่สุด มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด เพราะไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อช่วยในการสตาร์ทแต่อย่างใด แต่วิธีนี้ไม่เหมาะที่ใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีขนาดพิกัดกำลังสูง ๆ เพราะวิธีการสตาร์ทแบบนี้ กระแสในขณะสตาร์ทจะสูงกว่าปกติถึง 5-7 เท่าของพิกัดกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีพิกัดกำลังสูง ๆ ดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟมากในช่วงเวลานี้ ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่ต่อจากแหล่งจ่ายไฟเดียวกัน ดังนั้นในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีขนาดพิกัดกำลังสูง ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องหาเทคนิควิธีการในการสตาร์ทใหม่ โดยเป็นเทคนิคที่จะลดค่ากระแสในขณะสตาร์ทให้ต่ำลง สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดพันขดลวดนั้น จำเป็นที่จะต้องลดศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์ เพราะสามารถที่จะต่อตัวต้านทานเพิ่มทางขดลวดของโรเตอร์ได้ ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของโรเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลในโรเตอร์มีค่าลดลง ส่งผลให้กระแสในขณะสตาร์ททางขดลวดสเตเตอร์มีค่าลดลง ส่วนในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอกนั้น ไม่สามารถต่อตัวต้านทานเพิ่มทางโรเตอร์ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องลดค่าศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์แทน ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการลดค่าศักดาไฟฟ้านั้นก็มีหลายวิธี จึงทำให้วิธีการที่ใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นมีหลายวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถต่อตัวต้านทานภายนอกเข้ากับโรเตอร์ได้ ทำให้ต้องใช้เทคนิคการลดค่าศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์แทน ซึ่งวิธีการลดค่าศักดาไฟฟ้าก็มีหลายวิธี ทำให้เกิดวิธีการสตาร์ทหลายวิธี ดังนี้

1. ใช้ตัวต้านทานหรือรีแอคเตอร์ต่อทางด้านปฐมภูมิ (Primary resistors (or rheostat) or reactors)
2. ใช้ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Auto-transformer)
3. ใช้การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตา (Star-Delta Switch)

วิธีการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบพันขดลวด

มีอยู่วิธีเดียวคือ ใช้วิธีการต่อตัวต้านทานทางโรเตอร์ (Rotor rheostat)

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กระแส และสลิป

จากความสัมพันธ์ที่ว่า

$$\text{กำลังสูญเสียที่โรเตอร์} = I_2^2 R = sP_g$$

$$\text{และ } P_g = T\omega_s$$

$$T = k_1 \frac{I_2^2}{s} \quad k_1 = \frac{3R_2}{\omega_s}$$

$$\text{และ } I_1 \propto I_2$$

$$T = K \frac{I_1^2}{s} \quad (4.1)$$

4.2 การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรงต่อแหล่งจ่ายเข้าสู่ตัวมอเตอร์โดยตรง (Direct On Line, DOL)

เป็นวิธีการสตาร์ทมอเตอร์ที่ง่ายที่สุด เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด เพราะไม่ต้องมีอุปกรณ์อะไรเพิ่มเติม เป็นการสตาร์ทที่ใช้การต่อสัปดาห์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเข้าสู่มอเตอร์โดยตรง เป็นวิธีที่เหมาะสมในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีพิกัดกำลังน้อย ๆ ไม่เหมาะในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีพิกัดกำลังขนาดสูง ๆ เพราะกระแสในขณะสตาร์ทจะสูงเกินไปจนส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟชุดเดียวกัน

$$\text{ในขณะสตาร์ท } s = 1 \quad T = T_{st} \quad I_1 = I_{st}$$

$$T_{st} = KI_{st}^2 \quad (4.2)$$

$$\text{ในขณะที่ย้ายกระแสเต็มพิกัด } T = T_f \quad s = s_f \quad I = I_f$$

$$T_f = K \frac{I_f^2}{s_f} \quad (4.3)$$

จากสมการ 3.2 และ 3.3

$$\frac{T_{st}}{T_f} = \left(\frac{I_{st}}{I_f} \right)^2 \cdot s_f \quad (4.4)$$

T_f : แรงบิดที่พิกัด

I_f : กระแสที่พิกัด

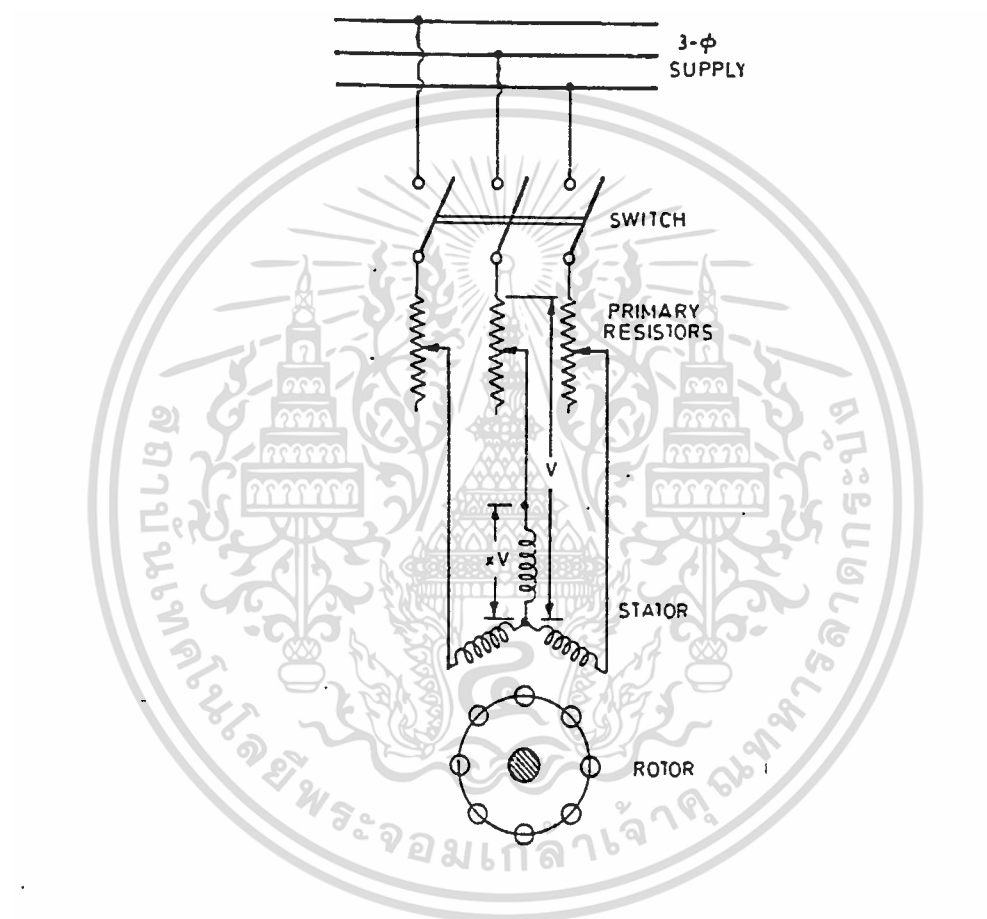
I_{st} : กระแสขณะสตาร์ท

$$\text{สมมติว่าในกรณี } I_{st} = 7I_f, s_f = 4\% = 0.04 \quad \therefore T_{st} / T_f = 7^2 \times 0.04 = 1.96$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า กระแสในขณะสตาร์ทเพิ่มเป็น 7 เท่า ในขณะที่แรงบิดในขณะเริ่มสตาร์ทเพิ่มเป็น 1.96 เท่า

4.3 การสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีใช้ตัวต้านทานต่อทางด้านปฐมภูมิ (Primary resistor)



รูปที่ 4.1 แสดงการสตาร์ทมอเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานต่อทางปฐมภูมิ

วิธีนี้เป็นการนำเอาตัวต้านทานที่ปรับค่าได้มาต่ออนุกรมกับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้มีศักดาไฟฟ้าส่วนหนึ่งตกคร่อมตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ส่งผลให้ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมมอเตอร์มีค่าลดลง กระแสในขณะเริ่มสตาร์ทก็มีค่าลดลง

สมมติว่า เมื่อใช้ตัวต้านทานแล้ว อัตราส่วนระหว่างศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมมอเตอร์ เมื่อใช้ตัวต้านทานเมื่อเทียบกับแบบสตาร์ทโดยตรง เป็น x ($x < 1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่ากระแสในแบบสตาร์ท โดยใช้ตัวต้านทานกับสตาร์ทโดยตรง

$$V_{st,R} = xV_{st,DOL}$$

และ
$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I_{st,R} = xI_{st,DOL}$$

จะพบว่ากระแสในขณะสตาร์ทก็ลดลงเหลือ x เท่า ($x < 1$)

เปรียบเทียบแรงบิดเริ่มต้นในแบบใช้ตัวต้านทานกับแบบต่อตรง

จากสมการ 4.1
$$T_{st,R} = KI_{st,R}^2$$

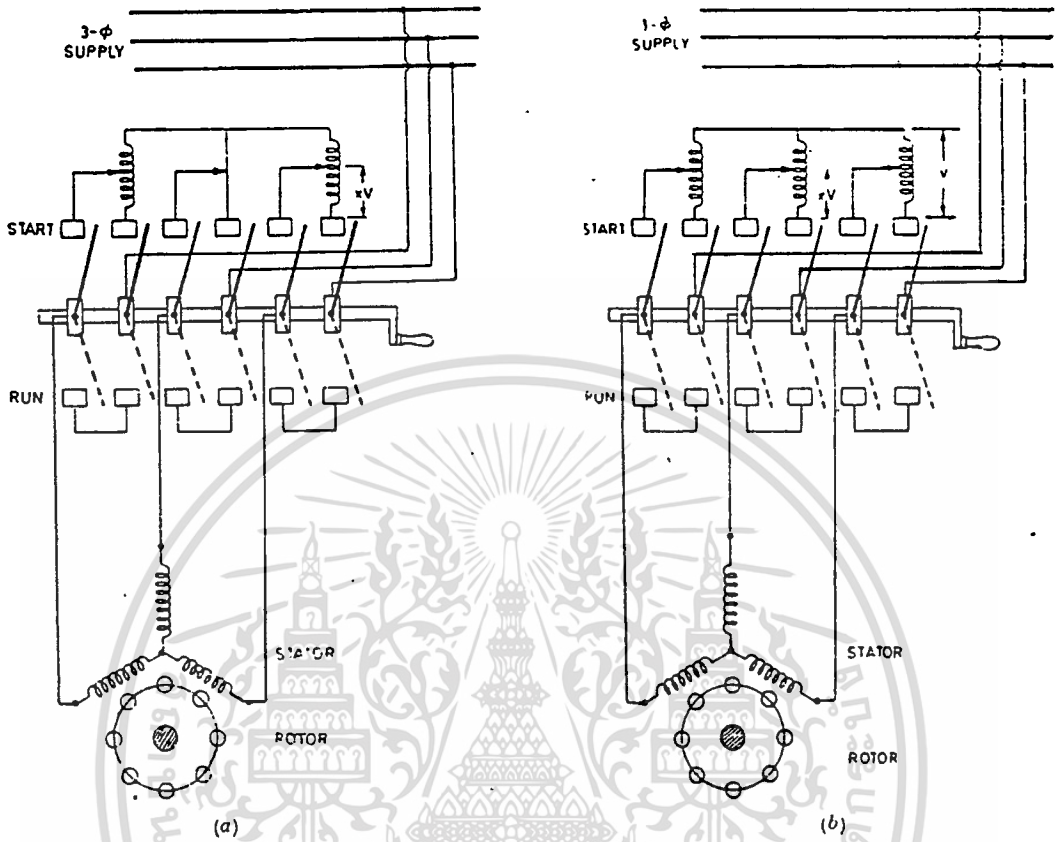
$$T_{st,DOL} , KI_{st,DOL}^2$$

$$\frac{T_{st,R}}{T_{st,DOL}} = \left(\frac{I_{st,R}}{I_{st,DOL}} \right)^2 = x^2$$

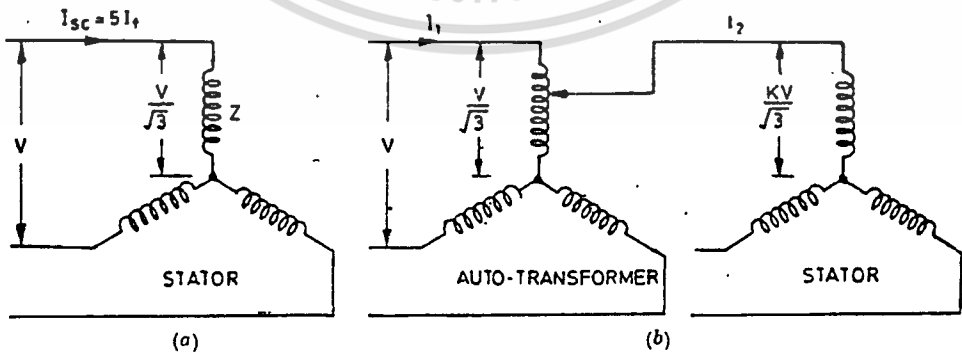
จะพบว่า แรงบิดเริ่มในขณะสตาร์ทจะลดลงเหลือ x^2 เท่า (ยิ่งน้อยลง)

4.4 การสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Auto-transformer)

วิธีการสตาร์ทแบบนี้จะใช้ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่มีแท็ป(tap) ทางขดลวดทุติยภูมิหลาย ๆ แท็ป ในการลดศักดาไฟฟ้าขณะสตาร์ท ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่ใช้นั้นอาจจะใช้ 2 ตัว โดยต่อแบบโอเพน-เดลตา (open-delta) หรือใช้ 3 ตัว ต่อแบบสตาร์ทหรือเดลตาก็ได้ มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ก็สามารถทำได้เช่น รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจรของตัวสตาร์ทแบบออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์เริ่มแรก ศักดาไฟฟ้าที่ต่ำกว่าพิกัดจะถูกจ่ายให้กับมอเตอร์ จนกระทั่งเมื่อความเร็วที่เพลของมอเตอร์ถึง 80% สวิตช์ก็จะถูกสับไปสู่อีกรวงจรลัดวงจรขดลวดโรเตอร์ โดยตัดวงจรของออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ออกไป ในขณะนี้ออเตอร์ก็จะได้รับศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัด ส่วนใหญ่การสตาร์ทแบบนี้ที่ตัวออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์จะมีแท็ปอยู่ 3 แท็ป โดยแต่ละแท็ปจะลดศักดาไฟฟ้าเหลือ 80%, 65% และ 50% ของศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่าย การต่อออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ส่วนใหญ่จะนิยมต่อแบบโอเพนเดลตา ซึ่งมีข้อดี คือ ราคาถูก แม้ว่ากระแสในช่วงสตาร์ทนั้นจะไม่สมดุล แต่ความไม่สมดุลย์นั้นมีค่าเพียง 15% เท่านั้นและเมื่อหลังจากช่วงเวลาสตาร์ทผ่านไป ความสมดุลย์ก็จะกลับคืนมา ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่ใช้นั้นไม่จำเป็นที่จะต้องมีพิกัดเท่ากับตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพราะกระแสจะผ่านตัวออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ในช่วงสตาร์ทเท่านั้น หลังจากมอเตอร์เดินตามปกติแล้ว จะไม่มีกระแสไหลผ่านตัวออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์เลย กล่าวได้ว่ากระแสจะไหลผ่านออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ในช่วงสั้น ๆ จึงทำให้สามารถที่จะใช้งานเกินพิกัดได้



รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจรในการสตาร์ทมอเตอร์แบบใช้โอโตทรานส์ฟอร์มเมอร์



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบวงจรการสตาร์ทมอเตอร์แบบตรงกับใช้โอโตทรานส์ฟอร์มเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ กระแสไลน์ และแรงบิดเริ่มต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยต่อมอเตอร์แบบสตาร์

โดยในรูป 4.3 (ก) เป็นการแสดงในกรณีที่มอเตอร์ถูกสตาร์ทแบบต่อตรง ส่วนในรูป 4.3 (ข) นั้น เป็นการสตาร์ทแบบใช้อัตราส่วนสเฟีย

เปรียบเทียบกับกระแสเริ่มต้น ทั้งสองกรณี

$$I_{st,DOL} = \frac{V}{\sqrt{3}Z}$$

กรณีการสตาร์ทโดยใช้อัตราส่วนสเฟีย

กระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์

$$I_{st,Motor} = \frac{xV}{\sqrt{3}Z}$$

กระแสที่ไหลทางขดปฐมภูมิของออโตทรานส์ฟอร์เมอร์

$$I_{st,Line} = \frac{x^2V}{\sqrt{3}Z}$$

$$\frac{I_{st,Line}}{I_{st,DOL}} = x^2$$

จากสมการสรุปได้ว่ากระแสที่ไหลเข้าสู่ตัวมอเตอร์จะลดลงเหลือ x เท่า ในขณะที่กระแสจากแหล่งจ่ายลดลงเหลือ x^2 เท่า

เปรียบเทียบกับแรงบิดเริ่มต้นทั้งสองกรณี

กรณีการสตาร์ทแบบต่อตรง

$$T_{st,DOL} = KI_{st,DOL}^2$$

กรณีการสตาร์ทโดยใช้อัตราส่วนสเฟีย

$$T_{st,Auto} = KI_{st,motor}^2$$

$$\frac{T_{st,Auto}}{T_{st,DOL}} = x^2$$

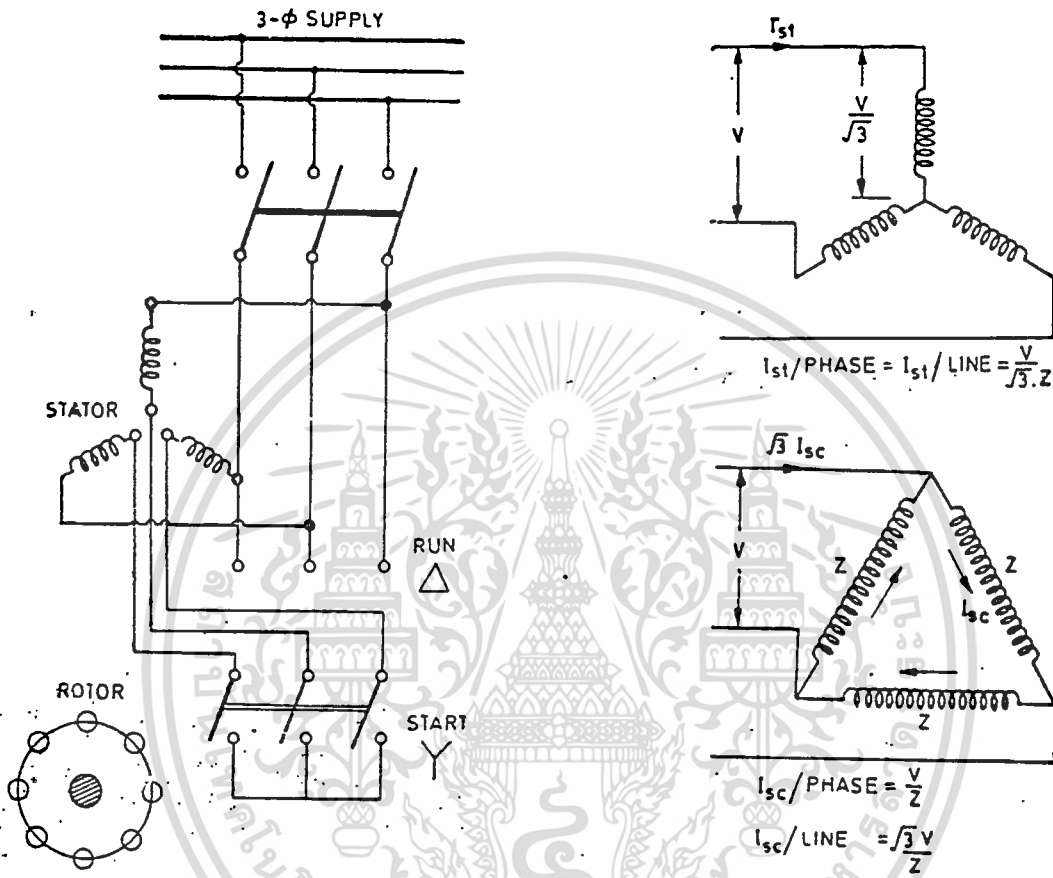
ดังนั้นแรงบิดเริ่มต้นลดลงเหลือ x^2 เท่า

4.5 การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้สตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลาเดินเครื่องปกติมีการต่อแบบเดลตาที่ขดลวดสเตเตอร์ การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตานี้จะเริ่มด้วย สับสวิทช์ให้ขดลวดสเตเตอร์ต่อแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตาร์ ทำให้ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมคอยล์(coil)ลดลง $\sqrt{3}$ เท่า เมื่อความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่งก็จะสับสวิทช์เปลี่ยนการต่อขดลวดสเตเตอร์เป็นแบบเดลตา



รูปที่ 4.4 แสดงการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลตา

เปรียบเทียบกระแสไลน์(line)ในขณะที่สตาร์ทระหว่างแบบต่อตรงกับแบบสตาร์-เดลตา

กรณีการสตาร์ทโดยตรง (ต่อแบบเดลตา)

$$I_{st,DOL,phase} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{st,DOL,Line} = \sqrt{3} \frac{V}{Z}$$

กรณีการสตาร์ทโดยต่อแบบสตาร์-เดลตา

$$I_{st,motor} = \frac{V}{\sqrt{3}Z}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{I_{st,DOL,Line}}{I_{st,motor}} = \frac{1}{3} = 33.33\%$$

กระแสจะลดลงเหลือ 33.33% ของการสตาร์ทแบบปกติ

(กระแสที่ไหลผ่านคอยล์จะลดลงเหลือ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ เท่า)

เปรียบเทียบแรงบิดเริ่มระหว่างแบบต่อตรงกับแบบสตาร์ท-เดลตา

กรณีการสตาร์ทแบบต่อตรง

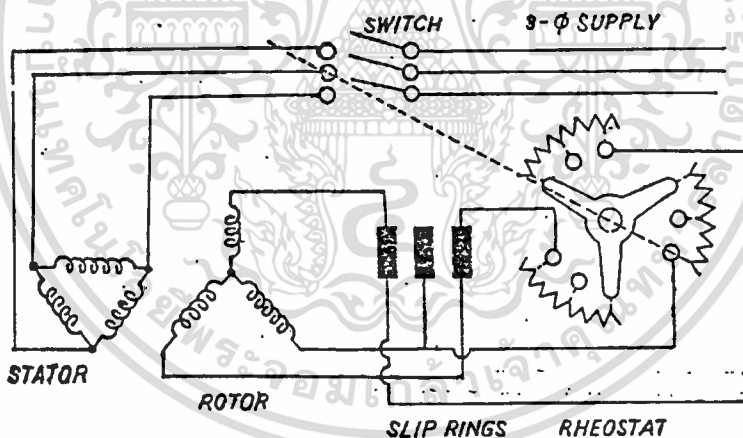
$$T_{st,DOL} = KI_{st,DOL,phase}^2$$

กรณีการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลตา

$$T_{st,Y-\Delta} = KI_{st,motor}^2$$

$$\frac{T_{st,DOL}}{T_{st,Y-\Delta}} =$$

4.6. การสตาร์ทมอเตอร์โดยการต่อตัวต้านทานทางโรเตอร์ (Rotor rheostat)



รูปที่ 4.5 แสดงการสตาร์ทมอเตอร์โดยต่อตัวต้านทานทางโรเตอร์

เป็นวิธีที่ใช้สตาร์ทมอเตอร์ชนิดพันขลวด เป็นการสตาร์ทโดยการต่อตัวต้านทานแบบปรับค่าได้เข้าไปยังขลวดที่โรเตอร์ โดยเมื่อมอเตอร์มีความเร็วเพิ่มขึ้นก็ค่อย ๆ ลดความต้านทานลง จนกระทั่งขลวดที่โรเตอร์ลัดวงจร (ความต้านทานภายนอกเท่ากับศูนย์) เมื่อความเร็วถึงพิกัด การสตาร์ทวิธีนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องลดค่าศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวมอเตอร์ ในขณะที่สตาร์ทสามารถใส่ศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทได้เลย สาเหตุที่กระแสลดลงนั้นก็เนื่องมาจากอิมพีแดนซ์ที่

ตัวโรเตอร์เพิ่มขึ้น (เนื่องจากเพิ่ม R เข้าไป) ทำให้ค่ากระแสที่โรเตอร์ลดลง ส่งผลให้ค่ากระแสที่สเตเตอร์ก็ลดลงด้วย การต่อตัวต้านทานภายนอกเข้าที่โรเตอร์นั้นจะทำให้ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ที่โรเตอร์ดีขึ้น ทำให้แรงบิดเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่มีโหลดได้ หรือสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับโหลดที่ต้องการค่าแรงบิดเริ่มต้นสูงได้

4.7. การสตาร์ทมอเตอร์ด้วยวิธีโซลิตสเตรต

วิธีนี้เป็นการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยวิธีลดศักดาไฟฟ้าเช่นเดียวกัน แต่การลดศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์จะใช้อุปกรณ์โซลิตสเตรตช่วย อุปกรณ์โซลิตสเตรตที่ว่านี้ก็คือ ไทริสเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปริมาณพาณิชย์ฉบับนี้ โดยจะใช้ไทริสเตอร์ 6 ตัว โดยแบ่งเป็นเฟสละ 2 ตัว ไทริสเตอร์แต่ละตัวนั้นจะใช้สัญญาณเกทที่มีมุมต่างกัน 180° สามารถควบคุมศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์ได้โดยการควบคุมมุมทริกที่ป้อนให้กับไทริสเตอร์ ซึ่งในการสตาร์ทนั้นจะใช้วิธีเริ่มต้นจ่ายศักดาไฟฟ้าค่า ๆ หนึ่งที่ต่ำกว่าขนาดพิกัดเข้าที่ตัวมอเตอร์ โดยป้อนมุมทริกเริ่มต้นมุมหนึ่ง จากนั้นก็ค่อย ๆ เพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์ขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยการลดมุมทริกลงเรื่อย ๆ จนมุมทริกเป็น 0° ความเร็วโรเตอร์ก็เท่าพิกัดพอดี

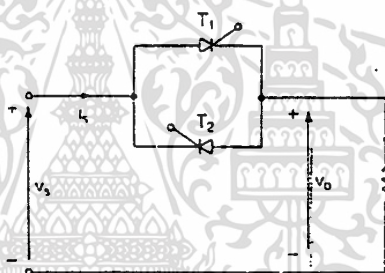
บทที่ 5

การควบคุมแรงดันกระแสสลับ

ในการควบคุมการจ่ายกำลังสู่มอเตอร์สามารถทำได้โดยการควบคุมแรงดัน อาศัยการควบคุมมุมทริก(phase control) ซึ่งเป็นลักษณะของการแบ่งจ่ายแรงดัน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ 1 เฟส และ 3 เฟส

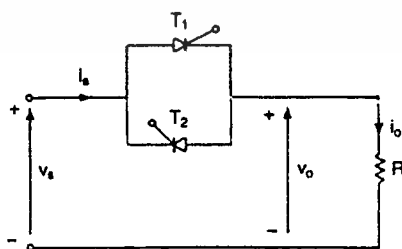
5.1 การควบคุมแรงดันกระแสสลับของไฟ 1 เฟส

ควบคุมการจ่ายแรงดันแก่โหลดโดยอาศัยการควบคุมขนาดมุมทริก การทำงานของไทรสเตอร์ทั้งสอง พิจารณาจากวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงวงจร 1 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์

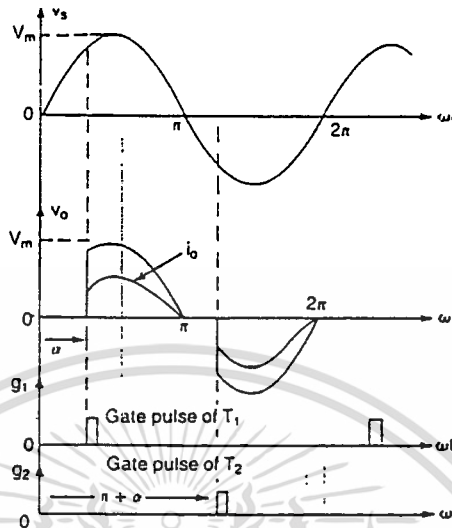
ซึ่งมุมทริกของ T_1 และ T_2 จะมีความต่างเฟสกัน 180° องศาเสมอ
กรณีโหลดความต้านทาน



(a) Circuit

รูปที่ 5.2 แสดงวงจร 1-เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์ต่อโหลดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงลูกคลื่นแรงดัน

จากรูปลูกคลื่นของแรงดันข้างต้น สามารถเขียนสมการแสดงการคำนวณหาขนาดแรงดันเอาต์พุตดังต่อไปนี้

กำหนด แรงดันอินพุต $v_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$

มุมทริกของ T_1 และ T_2 คือ

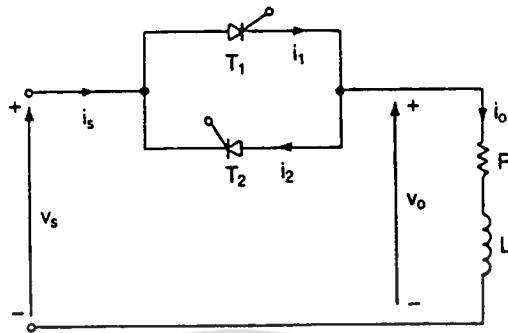
$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ว่า } I_o &= \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d[\omega t] \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้นกล่าวได้ว่า ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าของมุมทริกของทรานซิสเตอร์ทั้งสองที่มีค่าแปรเปลี่ยนจาก $0 - \pi$

กรณีโวลต์ความเหนี่ยวนำ

ในทางปฏิบัติ ส่วนของโวลต์ข้อมประกอบด้วยค่าความเหนี่ยวนำอยู่เสมอ แสดงวงจรได้

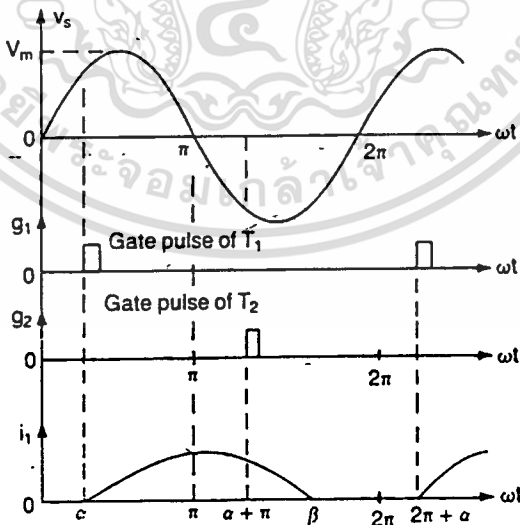
ดังรูป 5.4



(a) Circuit

รูปที่ 5.4 แสดง 1 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์ต่อโหลดตัวเหนี่ยวนำ

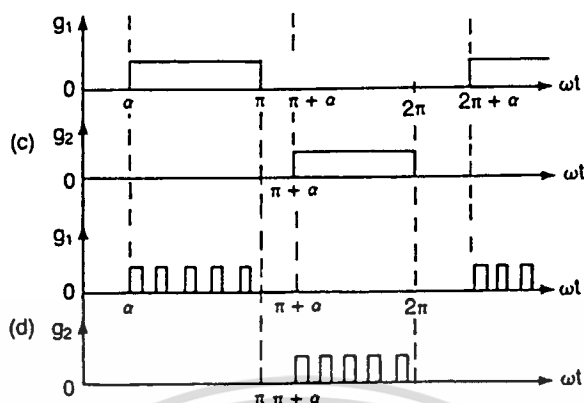
เนื่องจากมีค่าความเหนี่ยวนำประกอบอยู่ในวงจรจะเป็นผลให้กระแสในวงจรยังคงไหลต่อเนื่องในขณะที่แรงดันเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ และกระแสจะลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่มุม $\omega t = \beta$ ยังผลให้ไทรสเตอร์ T_1 คงทำงานอยู่ในขณะที่ค่าแรงดันเป็นลบจนกระทั่งที่มุม $\omega t = \beta$ จึงหยุดทำงาน ซึ่งไทรสเตอร์ T_1 จะทำงานเป็นช่วงมุม $\delta = \beta - \alpha$ ทั้งนี้ δ ขึ้นอยู่กับขนาดมุมทริกและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลด



(b) Waveforms

รูปที่ 5.5 รูปแสดงลูกคลื่นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 รูปแสดงลูกคลื่นแรงดัน

กำหนด แรงดันอินพุต $v_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$

สามารถหาขนาดกระแสไทรสเตอร์ i_1 จาก

$$L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$$

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}}{Z} V_s \left[\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)} \right] \quad (5.2)$$

ขนาดของแรงดันอาร์เอ็มเอสเอาทพุต

$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\beta - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\sin 2\beta}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

ขนาดกระแสของไทรสเตอร์(rms)

$$I_R = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_1^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{V_s}{Z} \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \left[\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)} \right]^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.4)$$

และขนาดกระแสเอาทพุตอาร์เอ็มเอส คือ ผลรวมของกระแสไทรสเตอร์ทั้งสอง

$$I_o = (I_R^2 + I_R^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5.5)$$

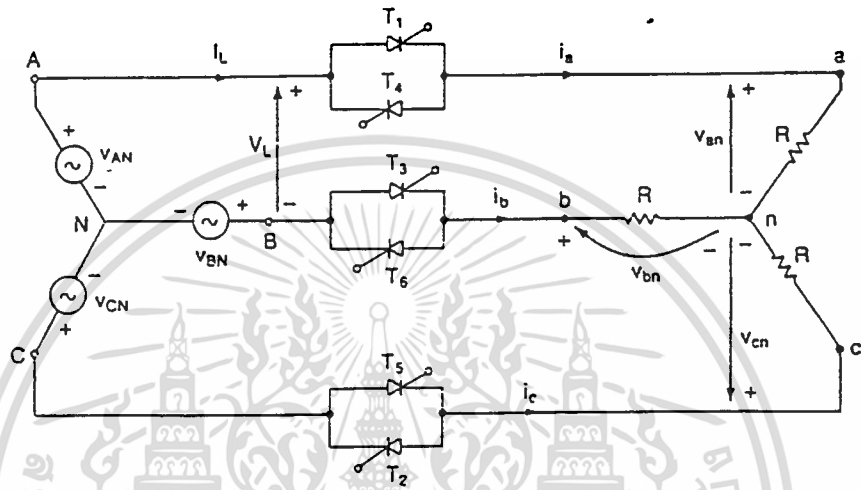
เมื่อพิจารณาจากรูปแสดงลูกคลื่นแรงดัน กล่าวได้ว่าในกรณีของโหลดตัวเหนี่ยวนำ

สัญญาณเกิดควรเป็นแบบพัลส์เทรน(pulse train) ในหตุเพราะขณะที่ไทรสเตอร์ α_2 ลูกกระแสต้นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานแต่ไม่สามารถเริ่มทำงานได้ เพราะทรานซิสเตอร์ T_1 ยังคงนำกระแสอยู่ จนกระทั่งค่ากระแสเป็น 0 T_2 จึงสามารถทำงานได้ จึงจำเป็นจะต้องมีการกระตุ้นเป็นช่วงเพื่อให้เกิดเป็นการแก้ไขในความ สามารถการกระตุ้นการทำงานได้ถูกต้อง

5.2 การควบคุมแรงดันกระแสกลับของไฟ 3 เฟส



รูปที่ 5.6 แสดงวงจร 3 เฟสฟูลเวฟคอนโทรลเลอร์ในระบบสตาร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดจะมีลำดับการทำงานที่แน่นอน T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 และ T_6 โดยจะมีการทำงานครั้งละ 2 ตัวสลับกันไป

พิจารณาได้จากรูปที่ 5.7

กำหนด ค่าแรงดันเฟส

$$v_{AN} = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$$

$$v_{BN} = \sqrt{2}V_s \sin(\omega t - 120^\circ)$$

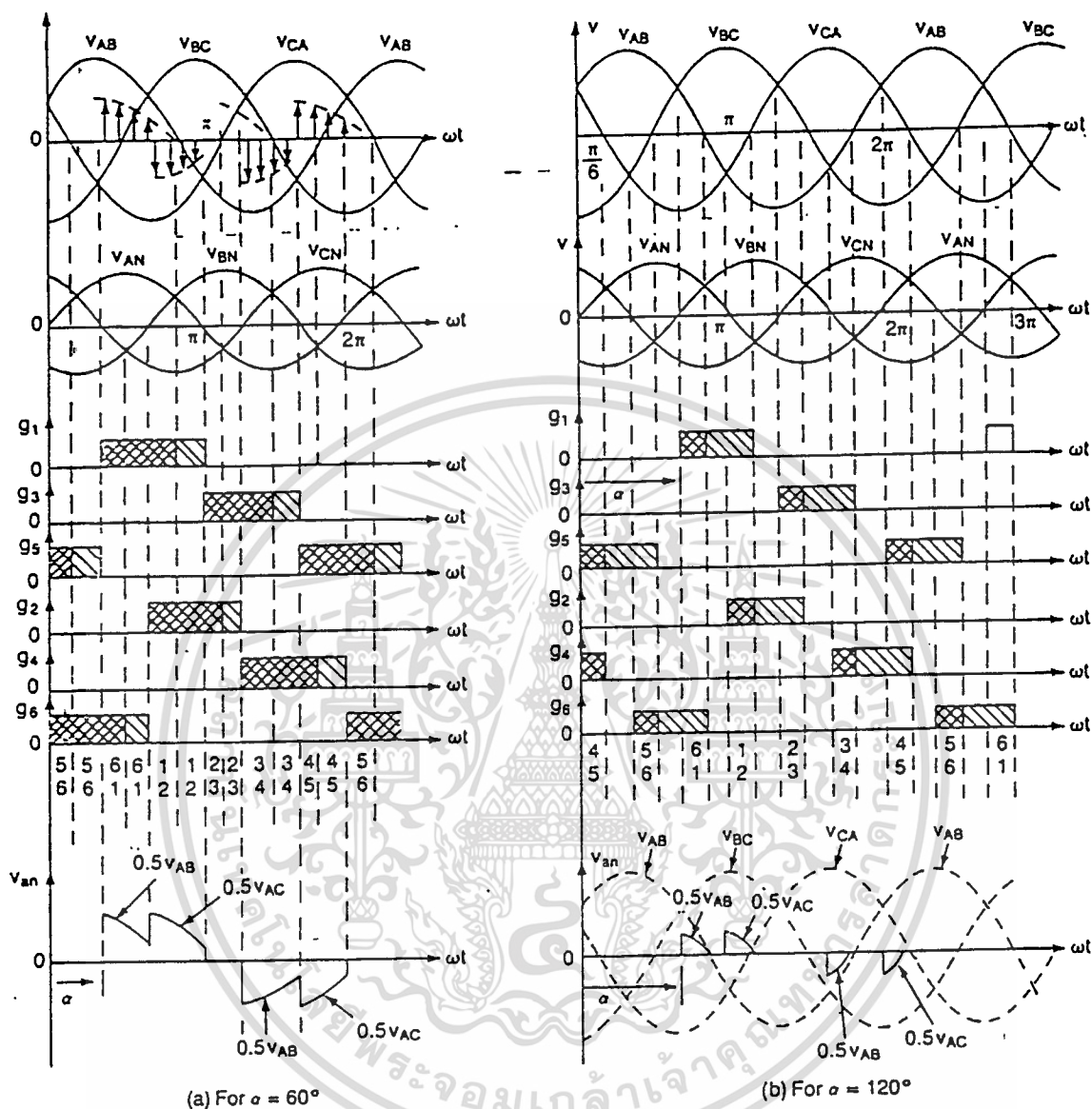
$$v_{CN} = \sqrt{2}V_s \sin(\omega t - 240^\circ)$$

ค่าแรงดันไลน์

$$v_{AN} = \sqrt{6}V_s \sin(\omega t + 30^\circ)$$

$$v_{BN} = \sqrt{6}V_s \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$v_{CN} = \sqrt{6}V_s \sin(\omega t - 210^\circ)$$



รูปที่ 5.7 แสดงลูกคลื่นแรงดันและลำดับการทำงานของไทรสเตอร์

จากรูปแสดงลูกคลื่นแรงดันเฟสเอทพุทที่ $\alpha = 60^\circ$ และ 120° สามารถแบ่งพิจารณาออกเป็นช่วงต่าง ๆ ดังนี้

$0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ ก่อนที่ T_1 จะถูกกระตุ้น จะมีไทรสเตอร์ทำงานอยู่ก่อน 2 ตัว เมื่อ T_1 ถูกกระตุ้นและเริ่มทำงานจะมีช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ที่มีไทรสเตอร์ทำงาน 3 ตัวจากนั้นไทรสเตอร์ 2 ตัวก่อนจะหยุดการทำงาน

$60^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ มีไทรสเตอร์ทำงาน 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\alpha \geq 150^\circ$ ไม่มีทรินสเตอร์ 2 ตัวใด ๆ ทำงาน ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเป็น 0 สามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตอาร์เอ็มเอส โดยแบ่งออกเป็นช่วงมุมต่าง ๆ ดังนี้

$$0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$$

$$\begin{aligned} V_o &= \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{an}^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$$

$$\begin{aligned} V_o &= \sqrt{6}V_s \left[\frac{2}{2\pi} \left\{ \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{5\pi/6-\pi/3+\alpha} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) + \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{5\pi/6-\pi/3+\alpha} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{12} - \frac{3\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$$

$$\begin{aligned} V_o &= \sqrt{6}V_s \left[\frac{2}{2\pi} \left\{ \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{\pi} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) + \int_{\pi/2-\pi/3-\alpha}^{\pi} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{5\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (5.8)$$

บทที่ 6

ชุดขั้วนำ เอส ซี อาร์

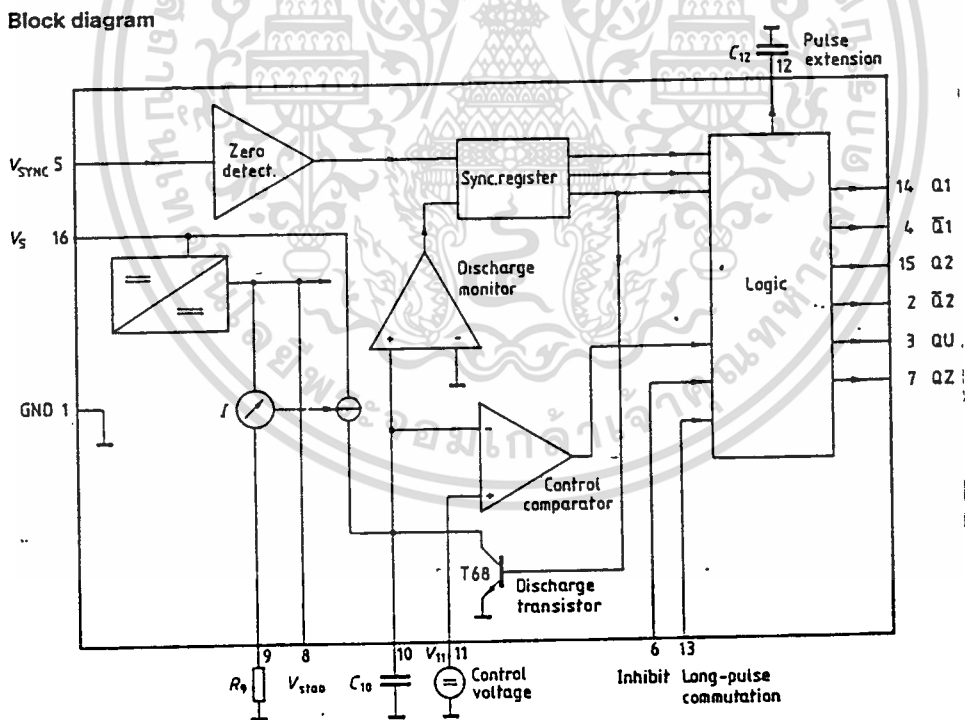
6.1 ชุดขั้วนำเอสซีอาร์ จะประกอบด้วย 5 ส่วนมีดังนี้

6.1.1 ชุดสร้างสัญญาณ

ในการสร้างสัญญาณทริกจะใช้ไอซี TCA 785 โดยมีลักษณะการทำงานดังรูปที่

6.1 และ 6.2

บล็อก และ พัลส์ ไดอะแกรม ดังรูปที่ 6.1 และ 6.2 แสดงหน้าที่หลักของ IC คือ แหล่งจ่ายที่ถูกจ่ายโดยการควบคุมแรงดันภายใน มีแรงดันอ้างอิง (U_{ref}) ประมาณ 3.1 V. ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์หลักนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน (U_s) และสามารถใช้แรงดันอยู่ในช่วงได้กว้างถึง $U_s = 8 - 18 V$.

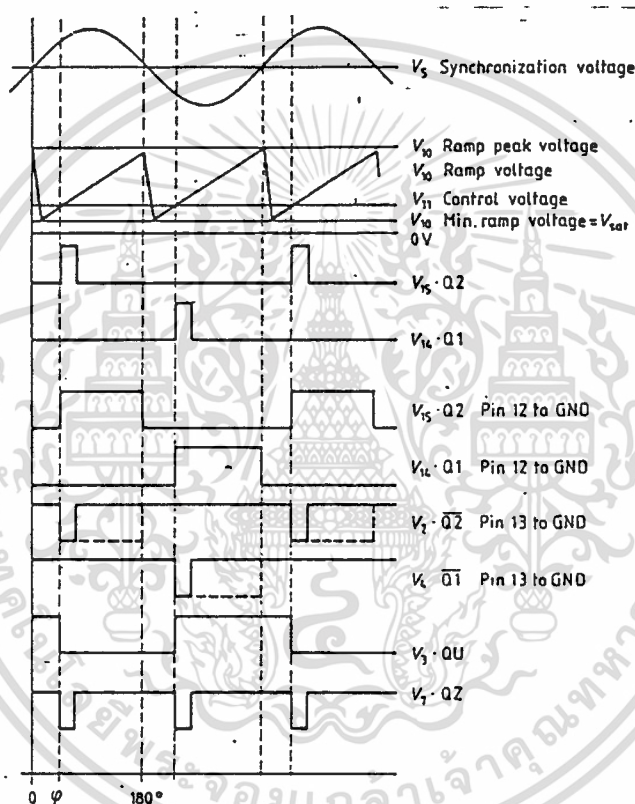


รูปที่ 6.1 บล็อกไดอะแกรมของ TCA785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วบวกที่ต่ออยู่กับขา 16 และขั้วลบต่ออยู่ที่ขา 1 (หมายถึง กราวด์(Ground))
กินกระแส 10 mA (ขณะไม่มีโหลด)

เอาท์พุทของแรงดันควบคุม (V_{ref}) ประมาณ 3.1 V. ที่ขา 8 โดยผ่านตัวต้านทานภายใน เราสามารถเพิ่มการกำจัด สัญญาณรบกวน (noise) มากขึ้นด้วย โดยการต่อ C8 ที่ขา 8 กับกราวด์ (หมายถึงแรงดันอ้างอิง) ในวงจรแปลงกระแสที่ต้องการ TCA 785 หลาย ๆ ตัว (ตามแบบอย่างของ วงจรแปลงแรงดัน 3-เฟส) สิ่งเหล่านี้จะถูกควบคุมการทำงานในสถานะเดียวกันทุกเฟส และควบคุมการแปลงกระแสสาขาต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 6.2 ฟลัสไดอะแกรมของ TCA785

สัญญาณ ซิงโครไนซ์เซชัน (U_{syn}) ได้รับจาก แรงดันไลน์ ผ่านตัวต้านทานค่าสูง ๆ U_{syn} ต่ออยู่ระหว่างขา 5 กับ กราวด์ ที่ขา 1 มีความไวสูงในการตรวจจับ ซีโรครอสซิง (Zero crossing) เพื่อทำการ ซิงโครไนซ์เซชัน และถูกส่งต่อไปยัง ซิงโครไนซ์เซชัน รีจิสเตอร์ ซึ่งควบคุมตัวกำเนิดสัญญาณเรมพ์(ramp) (สัญญาณฟันเลื่อย)

ส่วนประกอบสำคัญของแหล่งจ่ายกระแสแบบคงที่ I const ซึ่งจะถูเก็บประจุด้วยตัวเก็บประจุภายนอก (C_{10}) เป็นสัดส่วนกับเวลาผ่านขา 10 ซึ่ง C_{10} จะมีค่าอยู่ระหว่าง 500 PF ถึง 1UF เสมอ สิ่งที่ต้องจดจำก็คือว่า ขอ ทูท ฟลายแบค ไทม์ (sawtooth flyback times). จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับค่าของ C_{10} และค่าต่ำสุดและ ค่าสูงสุดของ I_{10} จะไม่เกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปกว่านี้

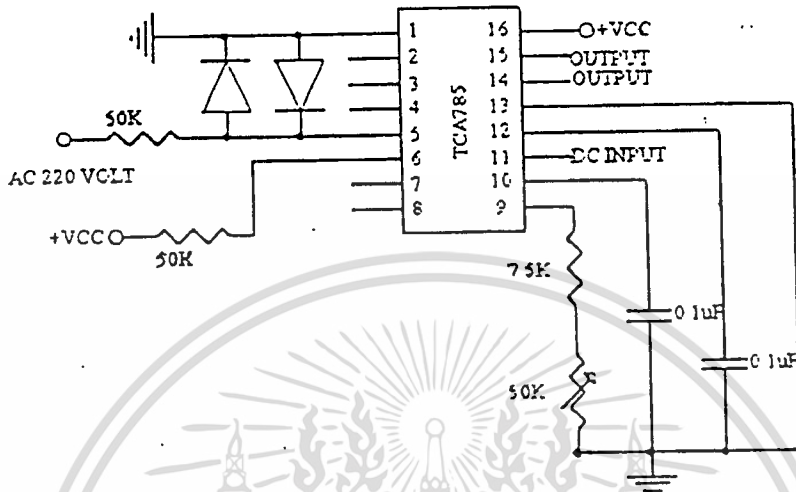
กระแส I_{const} จะถูกปรับได้โดยตัวต้านทานภายนอก R_g หรือ $R_g = 3$ ถึง 300 กิโล-โอห์ม ผ่านขา 9 R_9, C_{10} นั้นจะเป็นตัวกำหนดความชันในการขึ้นของ แรงดัน แรมพ์ U_{10} จากสภาวะปิด แรมพ์แต่ละลูกจะถูกกำหนดและจัดการด้วย แรงดันซิงซ์โครโนเซชัน ของ ซีโร ครอสซิง (Zero crossing) และสัญญาณแรมพ์จะตกลงจากยอดด้วยการ คายประจุจากแรมพ์ คาปาซิเตอร์ (Capacitor) C_{10} ผ่านทรานซิสเตอร์ คายประจุ (discharge transistor) ภายใน

วงจร ซิงโครไนซ์เซชัน รีจิสเตอร์ จะทำการส่งข้อมูลการตรวจพบแรงดันศูนย์ ไปวงจรต่อไปเพียงอย่างเดียวหลังจากที่ทีชาร์ต มอนิเตอร์ แสดงว่า C_{10} ได้ทำการคายประจุ ออกไปอย่างสมบูรณ์แล้ว

แรงดันควบคุม ดี-ซี U_{11} ได้ต่อกับขา 11 (กับ กราวด์ ที่ ขา 1) ซึ่งตัวเปรียบเทียบ การควบคุม จะทำการเปรียบเทียบ แรงดันควบคุม ดี-ซี กับ แรงดัน แรมพ์ U_{10} ต่อมาถ้า U_{10} เกินกว่าแรงดันควบคุม U_{11} ก็จะมีการปรากฏพัลส์ขึ้นที่เอาต์พุตโดยเริ่มต้นที่ มุมควบคุม ในลำดับต่อมาที่วงจร ลอจิก จะเป็นตัวกำหนดชนิดและความกว้างของพัลส์ต่าง ๆ ที่เอาต์พุต (ขั้วบวกกับกราวด์) โดยมีความมุ่งหมายเพื่อการเชื่อมต่อหลายรูปแบบ (ดูรูป สัญญาณ ในรูปที่ 6.2)

ที่เอาต์พุตหลัก Q_1 (ขา 14) และ Q_2 (ขา 15) ทำการต่อแบบอิมิตอร์โฟลโลเวอร์ ซึ่งสามารถให้กระแสได้สูงถึง 250 mA. มและจะทำงานกันคนละครั้งคลื่นโดยที่เอาต์พุตออกมาชั่วเดียวกัน Q_1 จะทำการปล่อยพัลส์ออกมาในครั้งคลื่นลบเพียงอย่างเดียว และ Q_2 จะปล่อยพัลส์ในครั้งคลื่นบวกของแรงดัน ซิงซ์

ดังนั้น เมื่อศักดาไฟฟ้าควบคุมเปลี่ยนแปลงมีพิสัย 0 ถึง 10 โวลต์ และความสูงของสัญญาณแรมพ์เป็น 10 โวลต์ พิสัยของมุมกระตุ้นก็จะเป็น 0-180 องศาด้วย สำหรับ วงจรการกำเนิดสัญญาณเป็นดังรูป 6.3



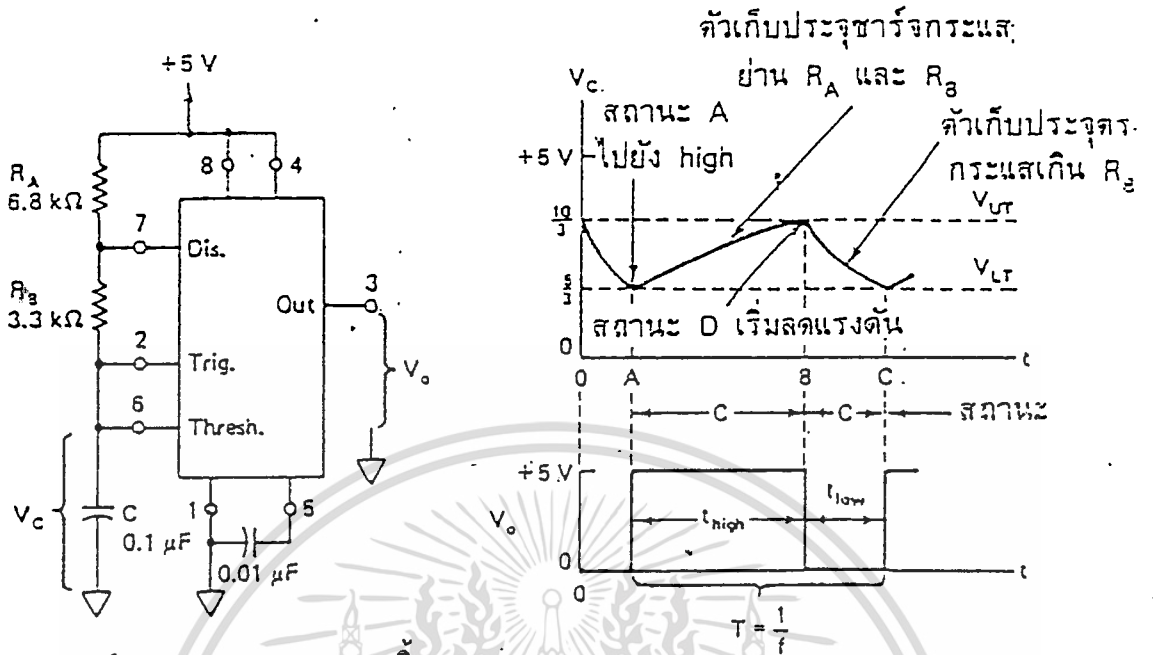
รูปที่ 6.3 วงจรการกำเนิดสัญญาณของ TCA785

6.1.2 สัญญาณจากไอซี 555

ไอซี 555 นั้นเป็นไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยงช่วงค่อนข้างกว้างมาก กล่าวคือ ตั้งแต่ +5 ถึง +18 โวลต์

ไอซี 555 มีการทำงานอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทสร้างสัญญาณตลอดเวลา หรือที่เราเรียกว่า ออสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Astable Multivibrator) และประเภทสร้างสัญญาณเพียง 1 ลูกคลื่นหรือที่เราเรียกว่า วันชอตมัลติไวเบเรเตอร์ (Oneshot Multivibrator) หรือโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Monostable Multivibrator) นั้นเอง

ในรูปที่ 6.4 แสดงการทำงานประเภท ออสเตเบิลของไอซี 555 จะเห็นได้ว่า สัญญาณแรงดันจะเปลี่ยนค่าเป็นแรงดันสูงแล้วต่ำแล้วสูงเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ไม่มีหยุด ช่วงเวลาของเอาท์พุทที่ได้จะหาได้จากค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาต่อวงจรภายนอกไอซี 555 ข้อสังเกตและไม่ควรลืมก็คือ ค่าแรงดันเอาท์พุทในขณะที่มีค่าสูงสุด (หรือมีค่าสูง) จะมีค่าน้อยกว่าค่าไฟเลี้ยง V_{cc} เสมอ และค่าแรงดันเอาท์พุทในขณะที่มีค่าต่ำสุดจะมีค่าประมาณ 0.1V.



(ก) การทำงานของวงจรอะอสเตเบิล

(ข) รูปคลื่นจากวงจร (ก)

รูปที่ 6.4 แสดงการทำงานของวงจรอะอสเตเบิลและรูปคลื่นของวงจรนี้

จากไอซี 555 จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณตลอดเวลา และจะได้รูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 3.4 ที่เวลา A ทั้งขา 2 และขา 6 จะมีค่าต่ำกว่าค่า $V_{lt} = V_{cc}/3$ ซึ่งทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ขา 3 มีค่าสูง ในขณะที่นั้นเองที่ขา 7 จะเสมือนกับถูกเปิดวงจรออก ดังนั้นตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุโดยผ่าน $R_A + R_B$ และเอาต์พุตจะมีค่าต่ำระหว่างช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คลายประจุจาก $2/3 V_{cc}$ ถึง $1/3 V_{cc}$ ดังสมการ

$$t_{low} = 0.695 R_B C \tag{6.1}$$

ดังนั้นช่วงเวลารวมทั้งหมดหรือคาบเวลา T จะเท่ากับ

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695 (R_A + 2R_B) C \tag{6.2}$$

ซึ่งเมื่อกลับเศษกลับส่วนของคาบเวลาแล้วจะได้ความถี่คือ

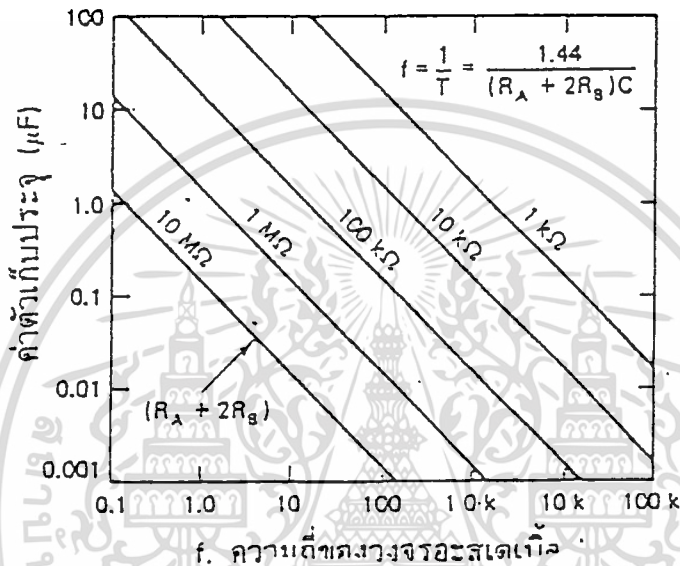
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{[(R_A + 2R_B) C]} \tag{6.3}$$

- t_{low} : ช่วงเวลาแรงดันต่ำ
- t_{high} : ช่วงเวลาแรงดันสูง
- T : คาบเวลา
- C : ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_A, R_B : ค่าความต้านทาน

เมื่อนำสมการที่ (3) มาสร้างกราฟ และมีการเปลี่ยนค่า $(R_A + 2R_B)$ ก็จะได้กราฟดังรูปที่ 2.18 อนึ่งกราฟจะมีประโยชน์มากในการช่วยออกแบบวงจรอย่างรวดเร็ว



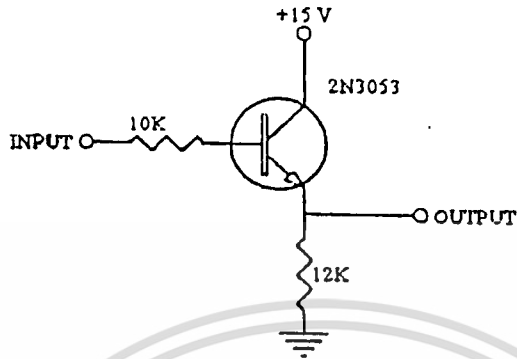
รูปที่ 6.5 ความถี่ในการออสซิลเลต(Oscillate)จะหาได้จากค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

6.1.3 สัญญาณที่นำมาแอนด์(And)

สัญญาณที่ได้จากไอซี TCA 785 และสัญญาณที่ได้จากไอซี 555 จะถูกนำมาแอนด์กัน ซึ่งในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74HC08

6.1.4 ส่วนขยายสัญญาณกระตุ้น

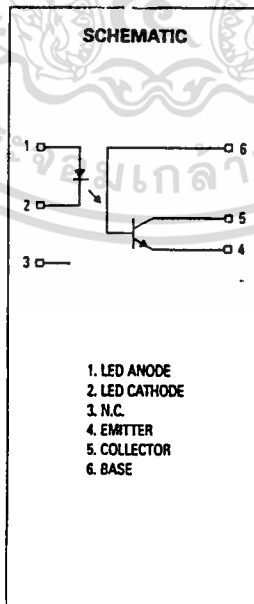
จากสัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นจะไม่เพียงพอที่จะจุดชนวนตัวเอสซีอาร์ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณก่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้ ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3053 เป็นตัวขยายสัญญาณ และวงจรจะเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 6.6 วงจรขยายสัญญาณกระตุ้น

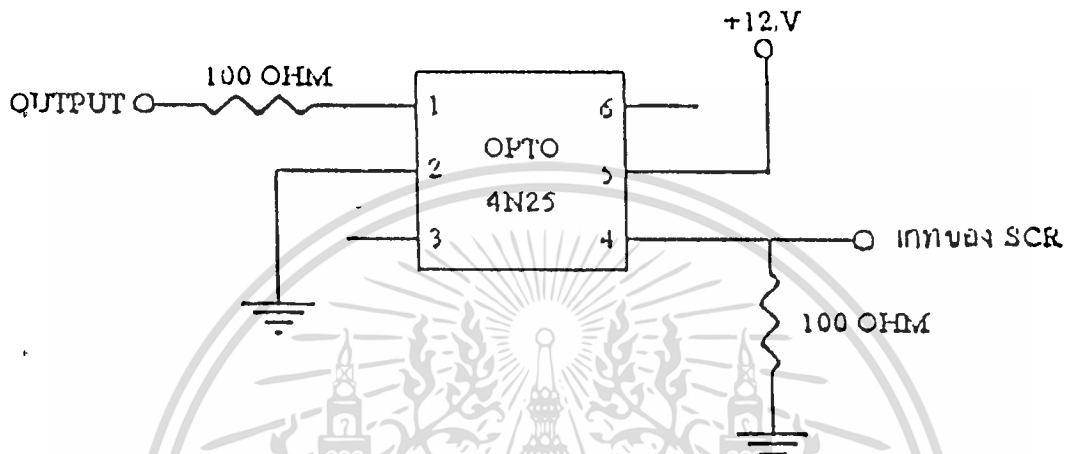
6.1.5 ส่วนแยกกราวด์ของสัญญาณกระตุ้น

สัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ไม่ควรที่จะต่อโดยตรงกับชุดวงจรกำลัง เพราะอาจทำให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเสียหายได้เมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาด ซึ่งในกรณีนี้พันรณบับนี้จะใช้ออปโตไอโซเลเตอร์(Optoisolator) เบอร์ 4N25 ซึ่งจะใช้หลักการของไดโอดเรืองแสง ทำหน้าที่แยกกราวด์ของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นกับกราวด์ของวงจรกำลังออกจากกัน

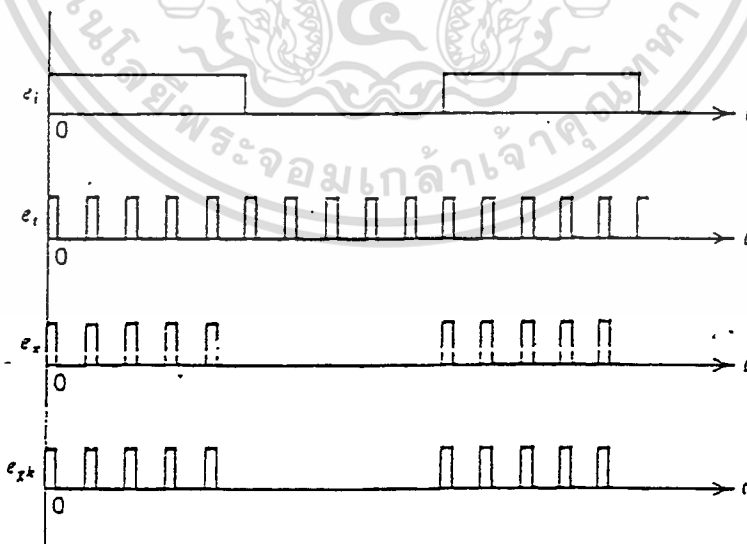


รูปที่ 6.7 หลักการทำงานของออปโต ไอโซเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

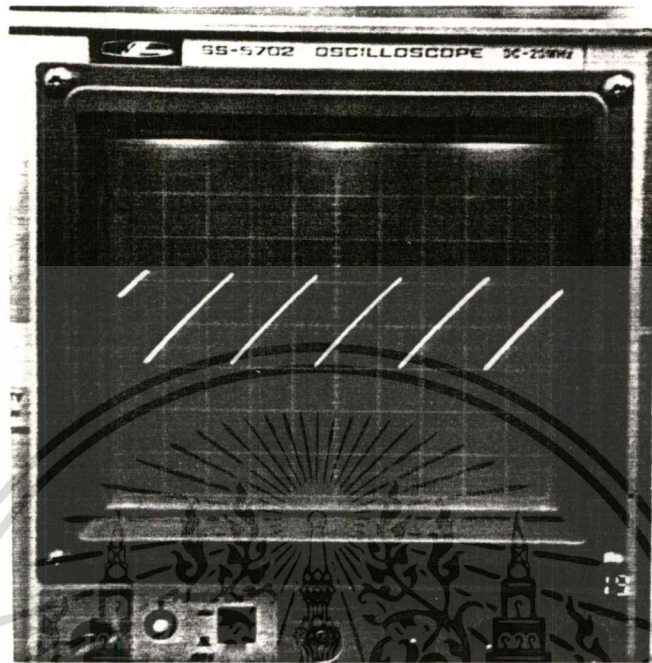


รูปที่ 6.8 แสดงวงจรที่ต่อใช้งานของออปโต ไอโซเลเตอร์



รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร ณ จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

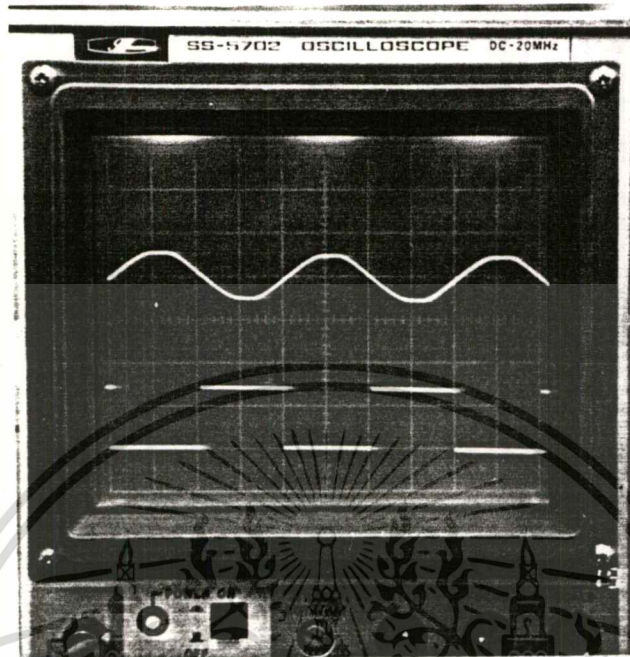


รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณฟันเลื่อย ที่ขา 10 ของ TCA785
มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div

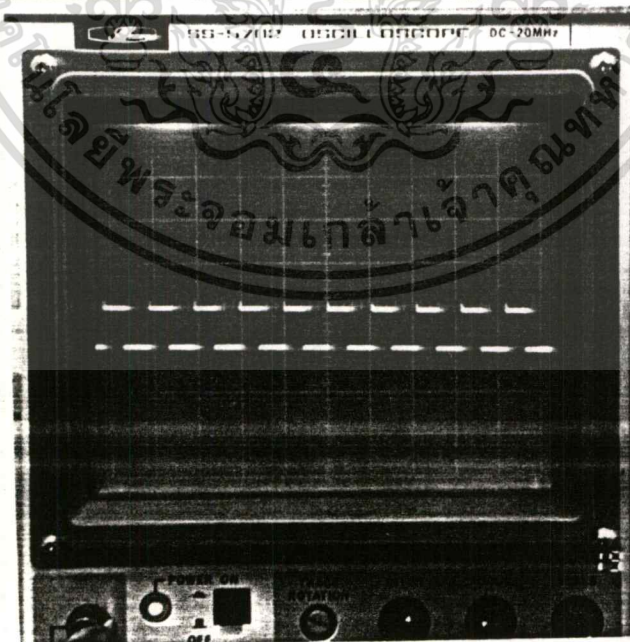


รูปที่ 6.11 แสดงสัญญาณที่ขา 15 ของ TCA785 เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อน
มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



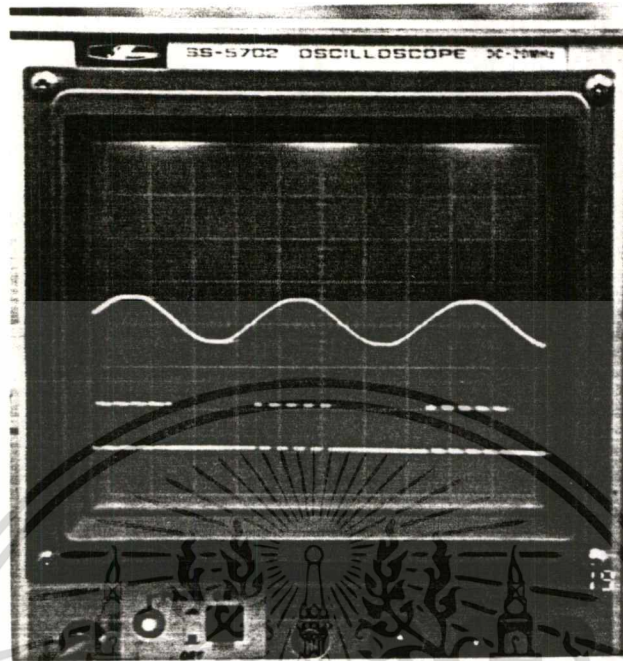
รูปที่ 6.12 แสดงสัญญาณที่ขา 14 ของ TCA785 เทียบกับสัญญาณไซน์ ที่มีอน
มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div



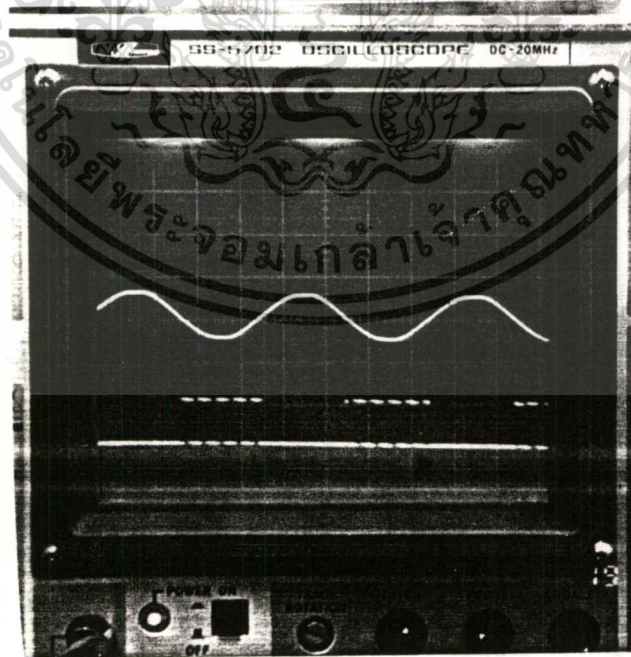
รูปที่ 6.13 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของ 555

มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

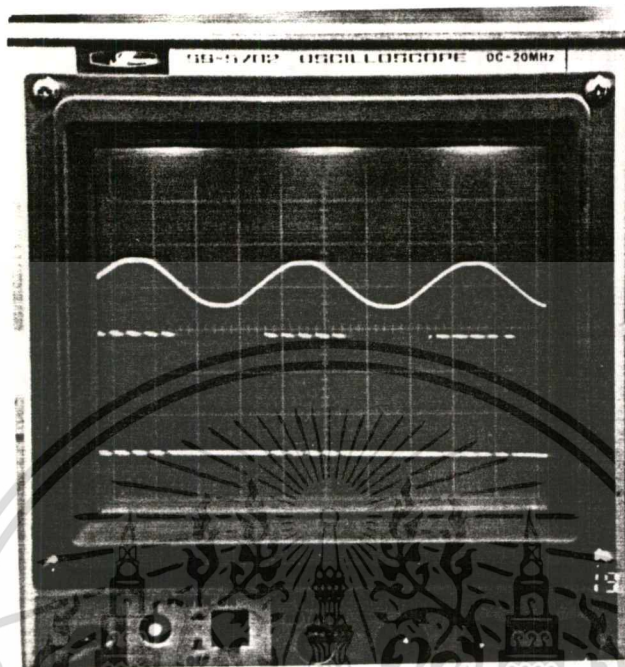


รูปที่ 6.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของแอนด์เกต เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนเฟสตรงกัน
มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div

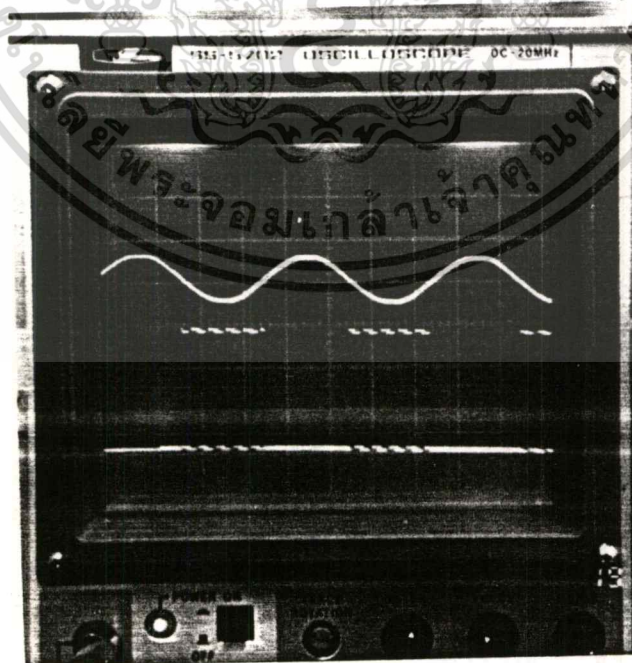


รูปที่ 6.15 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของแอนด์เกต เทียบกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนกลับเฟส
มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



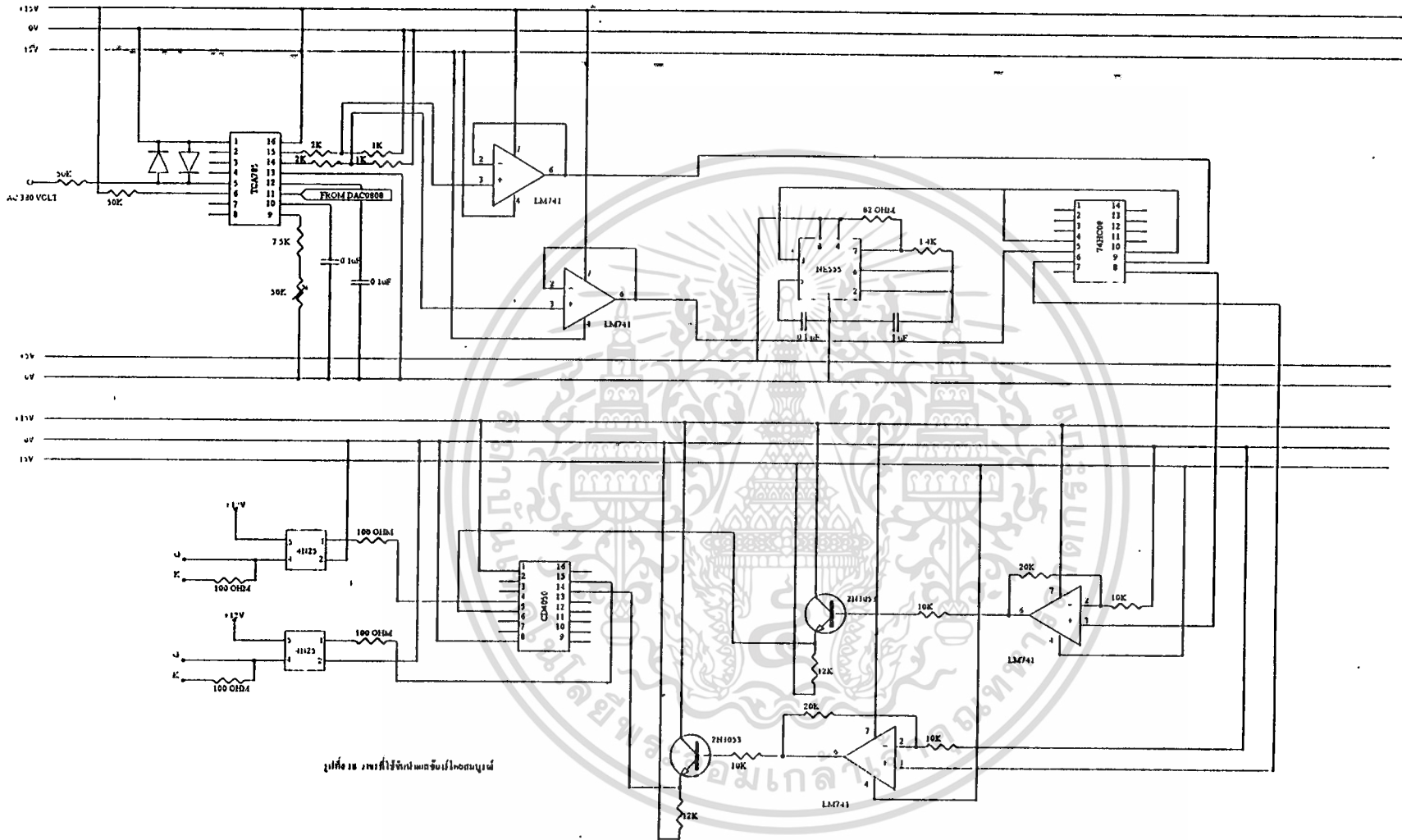
รูปที่ 6.16 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ เทียบกับสัญญาณ ไซน์ที่ป้อนเฟสตรงกัน
มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div



รูปที่ 6.17 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ เทียบกับสัญญาณ ไซน์ที่ป้อนกลับเฟส

มาตราส่วน 5 V/div 5 ms/div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 ระบบที่จับคู่พลาสมาเพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์

บทที่ 7

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

7.1 ประวัติและการใช้ประโยชน์ของ MCS-51

เมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว เทคโนโลยีได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เกิดการเปลี่ยนแนวทางการวิเคราะห์และควบคุมสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถนำมาพัฒนาและควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ได้เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของมนุษย์ เป็นส่วนหนึ่งของงานธุรกิจ, งานอุตสาหกรรม, การป้องกันการทหาร, การสื่อสารข้อมูล, การบันเทิง และ การศึกษา ซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นกำลังเป็นที่นิยมกันมาก เพราะราคาไม่แพง ใช้งานได้หลายหลากมากมายหลายตระกูล และหลายเบอร์ นับตั้งแต่บริษัทอินเทล (INTEL) ได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 มาจำหน่าย ต่อมาได้พัฒนาและปรับปรุงข้อจำกัดบางอย่างที่มีอยู่ใน MCS-48 เรื่อยมาเพื่อประยุกต์ใช้ให้ทันกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จึงได้ถูกผลิตขึ้นมา โดยมีการใช้เทคโนโลยี HMOS ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มีความจุของหน่วยความจำมากกว่าตระกูล MCS-48 ถึง 4 เท่า และยังเพิ่มความสามารถของวงจรภายในให้มากขึ้น

นอกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แล้ว ทางบริษัทอินเทล ยังได้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-96 แต่ไม่เหมาะที่นำมาใช้งานควบคุมขนาดปานกลาง ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลที่ได้รับความนิยมมากที่สุดขณะนี้ คือ MCS-51

7.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลนี้มีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ ดังแสดงในตารางที่ 7.1 ซึ่งแต่ละเบอร์ก็มีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน และมีโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน เช่น มีจำนวน ROM และ RAM ภายในแตกต่างกัน บางเบอร์มีหน่วยความจำแบบ ROM บางเบอร์ไม่มีหน่วยความจำแบบ EPROM และบางเบอร์ไม่มีหน่วยความจำแบบ ROM เลย

Table 1. The MCS[®]-51 Family of Microcontrollers

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)	DMA Channels	A/D Channels	Interrupt Sources/Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	—	4K	128	4	2		✓					6/5	
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2		✓					6/5	
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3		✓					8/6	
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓					6/5	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4K	128	4	2		✓	✓			8	8/7	✓
83C152JA	80C152JA	—	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JB	—	—	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C152JC	80C152JC	—	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
—	80C152JD	—	—	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C451	80C451	—	4K	128	7	2		✓		✓	2		6/5	✓
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2		✓					9/8	✓

ตารางที่ 7.1 ตารางของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

7.3 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เนื่องจากเบอร์พื้นฐานของตระกูล MCS-51 คือ เบอร์ 8051 ดังนั้น คุณสมบัติที่กล่าวถึงนี้ จะเป็นคุณสมบัติของ เบอร์ 8051

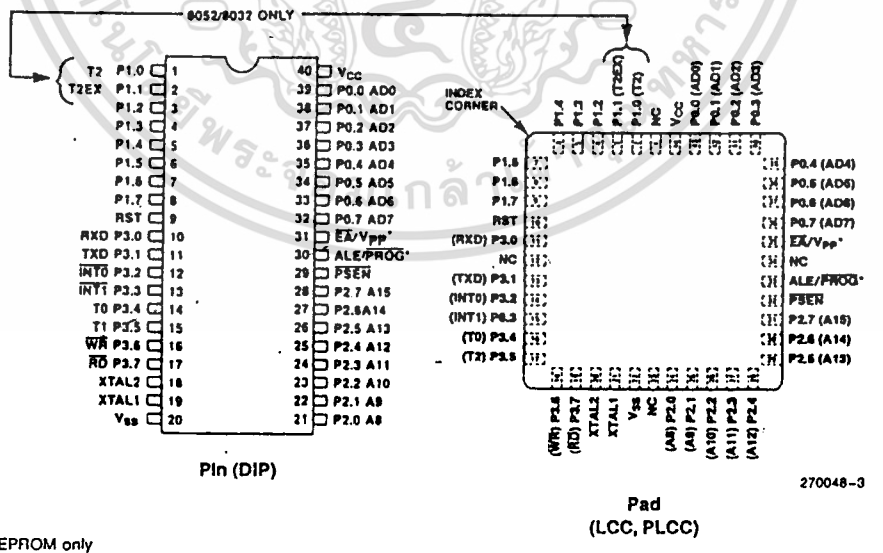
1. เป็น CPU ขนาด 8 บิต(bit) ใช้สำหรับงานควบคุม
2. สามารถประมวลผลแบบบูลีน(boolean)ได้ (ประมวลผลครั้งละ 1 บิต)
3. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์(kilobyte) (เบอร์ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 มี 8 กิโลไบต์ และเบอร์ 80C51FB มีหน่วยความจำ 16 กิโลไบต์)
4. สามารถต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกได้ถึง 64 กิโลไบต์
5. มีหน่วยความจำสำหรับข้อมูลทั่วไป (RAM) อยู่ภายในชิปจำนวน 128 ไบต์ (เบอร์ 8031, 8051) หรือ 256 ไบต์ (เบอร์ 8032, 8052)
6. สามารถต่อหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอกได้ถึง 64 กิโลไบต์
7. มีพอร์ต(port)ขนาด 8 บิตที่สามารถรับและส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิตแยกจากกัน ทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต ใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
8. จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (Interrupt) ได้ 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. มีรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเป็น ไทม์เมอร์(Timer)หรือเคาน์เตอร์(Counter)ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว (เบอร์ 8032, 8052 มีจำนวน 3 ตัว)
10. หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์ และระดับบิต เพื่อให้การออกแบบ โปรแกรมและการควบคุมทำได้ง่ายขึ้น
11. มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
12. มีแหล่งกำเนิดสัญญาณขอขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม (Interrupt Request Signal) 6 แหล่ง ซึ่งสามารถทำกระโดดไปทำงานตอบสนองขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม (Interrupt Service Routine) ได้ต่าง ๆ กัน 5 ตำแหน่ง
13. สามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมดของ Idle และ Power Down ซึ่งจะประหยัดการใช้กำลังไฟในการทำงาน
14. ใช้โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-48 (upwardly compatible) ได้

7.4 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051

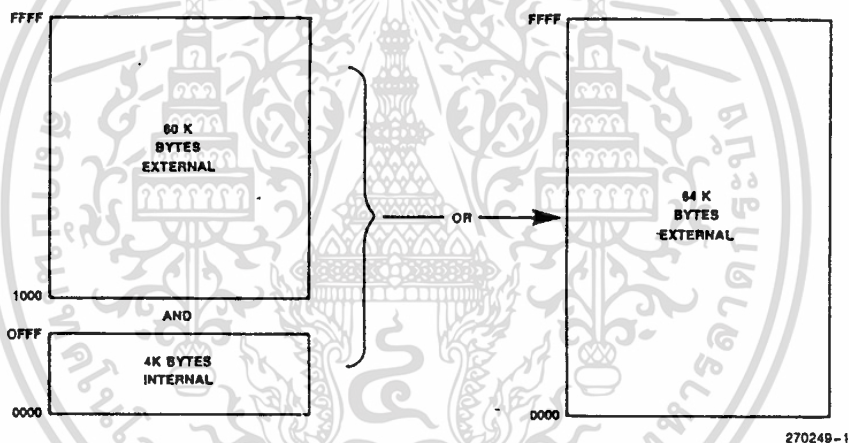
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์แบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วนคือ

1. หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

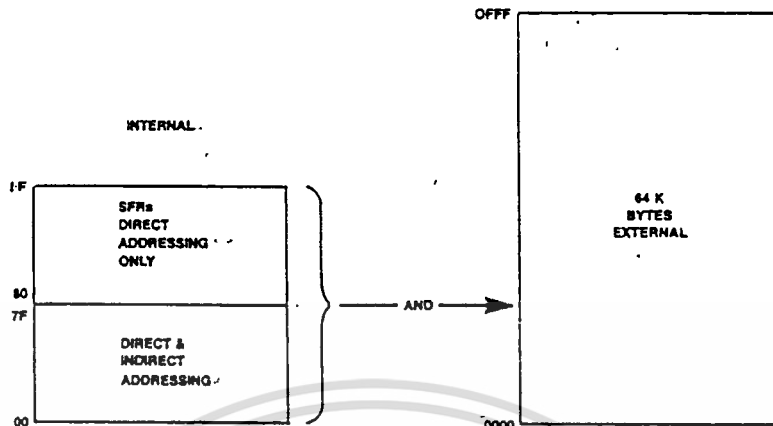
หน่วยความจำส่วนนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ในชิป และส่วนที่อยู่ภายนอกชิป ส่วนที่อยู่ในชิปมีได้ตั้งแต่ 0, 4, 8, 16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ๆ ส่วนที่อยู่ภายนอกชิปสามารถมีได้สูงถึง 64 กิโลไบต์ โดยการจะเลือกหน่วยความจำที่อยู่ในหรือภายนอกขึ้นกับการควบคุมขา \overline{EA} โดยขา $\overline{EA} = 1$ จะเลือกใช้หน่วยความจำที่อยู่ในชิป ถ้าขา $\overline{EA} = 0$ จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำที่อยู่ภายนอกชิป



รูปที่ 7.2 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำโปรแกรมของ MCS-51

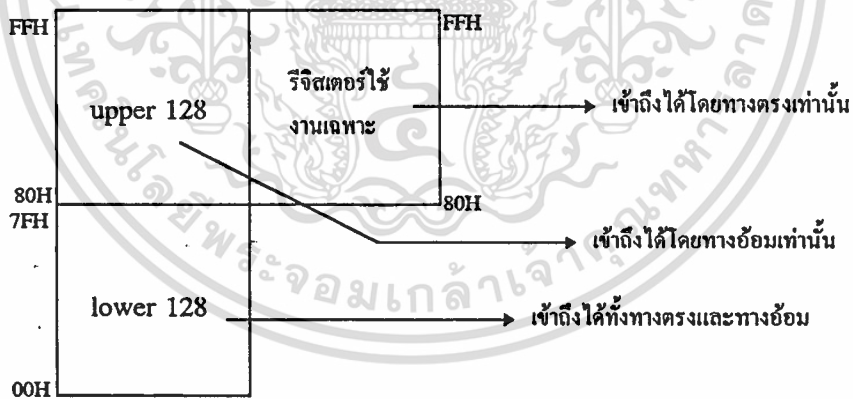
2. หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

รูปที่ 7.3 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างหน่วยความจำส่วนนี้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำภายในชิป และภายนอกชิปสำหรับหน่วยความจำภายนอกชิป สามารถมีได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ และหน่วยความจำภายในชิปยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยดังนี้



รูปที่ 7.3 แผนภาพแสดงโครงสร้างหน่วยความจำข้อมูลของชิป MCS-51

2.1 ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (Internal RAM) มีขนาด 128 ไบต์ หรือ 256 ไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น หน่วยความจำ 128 ไบต์ล่าง สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่วนหน่วยความจำ 128 ไบต์บนสามารถเข้าถึงข้อมูล โดยทางอ้อมเท่านั้น ดังแสดงในรูป 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงหน่วยความจำข้อมูลภายในชิปทั้งสองส่วน

2.2 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ(Specific Register) เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน MCS-51 มีดังแสดงในรูปดังนี้

DETAILED DIAGRAM OF SPECIAL FUNCTION REGISTERS

Direct Byte Address	Bit Address (MSB)	Bit Address (LSB)	Special Function Register Symbol
0FBH	WDT I32 SERR I2C P3HZ P2HZ P1HZ ALF	FF FE FD FC FB FA F9 F8	IOCON *80154
0F0H		F7 F6 F5 F4 F3 F2 F1 F0	0
0E0H		E7 E6 E5 E4 E3 E2 E1 E0	ACC
0D0H	CY AC F0 RS1 RS0 UV F1 P	D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0	PSW
0CDH	Not Bit Addressable		TH2 TL2 *8032/52 RCAP2 RCAP2
0CCH	Not Bit Addressable		
0CBH	Not Bit Addressable		
0CAH	Not Bit Addressable		
0C8H	TF2 EXF2 RCLK TCLK EXEN2 IR2 C/T2 CP/TL2	CF CE CD CC CB CA C9 C8	T2CON
0B8H	PCT PT2 PS P11 PX1 P10 PX0	BF - BD BC BB BA B9 B8	IP
0B0H		B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0	P3
0A8H	EA ET2 ES ET1 EX1 ET0 EX0	AF - AD AC AB AA A9 A8	IE
0A0H		A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0	P2
99H	Not Bit Addressable		SBUF
9BH	SM0 SM1 SM2 REN TB8 RB8 TI RI	9F 9E 9D 9C 9B 9A 99 98	SCON
90H		97 96 95 94 93 92 91 90	P1
8DH	Not Bit Addressable		TH1 TH0 TL1 TLO TMOD
8CH	Not Bit Addressable		
8BH	Not Bit Addressable		
8AH	Not Bit Addressable		
89H	Not Bit Addressable		
88H	TF1 TR1 TF0 TR0 IE1 IT1 IE0 ITO	8F 8E 8D 8C 8B 8A 89 88	TCON
87H	Not Bit Addressable		PCON
83H	Not Bit Addressable		DPH DPL SP PO
82H	Not Bit Addressable		
81H	Not Bit Addressable		
80H		87 86 85 84 83 82 81 80	

รูปที่ 7.5 แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์(Register)ที่ใช้งานเฉพาะในMCS-51

7.6 รีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รีจิสเตอร์ของ MCS-51 ประกอบด้วย

1. รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป มีอยู่ด้วยกัน 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วย รีจิสเตอร์ 8 ตัว คือ R₀-R₇ การเลือกกลุ่มนั้น สามารถควบคุมได้โดยควบคุมบิต RS0 และ RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไปนี้จะอยู่ในหน่วยความจำข้อมูลตำแหน่งที่ 00H-1FH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว รีจิสเตอร์ส่วนนี้จะอยู่ในตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูลตำแหน่งที่ 80H-FFH

7.7 พอร์ตของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นี้มีพอร์ตอยู่ 4 พอร์ต มีรายละเอียดดังนี้

- พอร์ต 0 เป็นพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 39 ถึง 32 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับ พอร์ตนี้ตรงกับ รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะตำแหน่งที่ 80H มีการใช้งานหลายอย่างดังนี้

1. ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการจะติดต่อกับ อาจจะเป็นตำแหน่งหน่วยความจำของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม หรือหน่วยความจำสำหรับข้อมูลก็ได้ เนื่องจาก MCS-51 สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 64 กิโลไบต์ ดังนั้นจึงต้องการตำแหน่งหน่วยความจำ 16 บิต แต่พอร์ต 0 มีขนาด 8 บิต ดังนั้นจึงต้องทำงานร่วมกับพอร์ต 2 จึงได้ตำแหน่งหน่วยความจำครบ 16 บิต โดย 8 บิตกลางจะถูกส่งออกไปยังพอร์ต 0 และ 8 บิตบนจะถูกส่งออกไปยังพอร์ต 2

2. ใช้รับ-ส่งข้อมูลกับ Data memory หรือใช้รับข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม

3. ใช้รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตโดยตรง ในกรณีที่ไม่มีการใช้หน่วยความจำของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมหรือหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

- พอร์ต 1 เป็นพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 1 ถึง 8 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับ พอร์ตนี้ตรงกับรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะตำแหน่งที่ 90 H พอร์ตนี้ใช้รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตโดยตรงอย่างเดียว

- พอร์ต 2 เป็นพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 21 ถึง 28 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับ พอร์ตนี้ตรงกับรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะตำแหน่งที่ A0H มีการใช้งานดังนี้

1. ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อ ค่าตำแหน่งนี้เป็น 8 บิตบนของค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอก

2. ใช้เป็นพอร์ตรับและส่งข้อมูลกับภายนอก

- พอร์ต 3 เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 10-17 H เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับ

7.8 การใช้งานไทม์เมอร์เคาน์เตอร์(Timer/Counter)

MCS-51 มีไทม์เมอร์อยู่ 2 ชุด คือ ไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1 (8032 จะมีไทม์เมอร์ 2 อีกชุด) ไทม์เมอร์แต่ละชุดประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตอยู่ 2 ตัว เพื่อเก็บค่าการนับไทม์เมอร์ได้สูงสุด 16 บิต ในไทม์เมอร์ 0 รีจิสเตอร์นี้ คือ TH0, TL0 ส่วนในไทม์เมอร์ คือ รีจิสเตอร์ TH1, TL1, TLX (X หมายถึง 0 หรือ 1) จะเก็บค่าการนับ 8 บิตล่างและ TH_x จะเก็บค่าการนับ 8 บิตบน ผู้ใช้จะสามารถกำหนดการทำงานในโหมดไทม์เมอร์หรือโหมดเคาน์เตอร์ได้ โดยการกำหนดใน TMOD การทำงานเป็นไทม์เมอร์ 0 หรือ 1 ทำการนับจำนวนไซเคิล(cycle)ของสัญญาณของวงจรรูาน 12 เมื่อมีการนับถึงค่าสูงสุดและยังนับต่อไป จะเกิดการโอเวอร์โฟลว์(overflow) ทำให้เกิดการเซต(Set)บิตบางบิตใน TCON เพื่อบอกสถานะโอเวอร์โฟลว์นี้ การใช้งานไทม์เมอร์ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ ก็คือ การใช้รีจิสเตอร์ TH_x และ TL_x ทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่เข้ามาทาง T0 หรือ T1 ของ MCS-51

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์

- รีจิสเตอร์ TMOD เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ตรงกับรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะตำแหน่งที่ 89H มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
------	-----	----	----	------	-----	----	----

รูปที่ 7.6 แสดงหน้าที่แต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TMOD

- รีจิสเตอร์ TCON เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ตรงกับรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะตำแหน่งที่ 88H ใช้ควบคุมการทำงานและบอกสถานะของไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

รูปที่ 7.7 แสดงหน้าที่แต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TCON

การสตาร์ทไทม์เมอร์

1. ถ้าบิต GATE ในรีจิสเตอร์ TMOD เป็น 0 ไทม์เมอร์จะเริ่มนับ เมื่อบิต TR_x ในรีจิสเตอร์ TCON ถูกเซต และจะหยุดนับเมื่อเคลียร์(clear)บิต TR_x
2. ถ้าบิต GATE ในรีจิสเตอร์ TMOD ใน 1 ไทม์เมอร์จะเริ่มนับเมื่อมีการเซตบิต TR_x ในขณะที่ขา INT_x มีสถานะเป็น 1 และจะหยุดนับเมื่อขา INT_x มีสถานะเป็น 0 หรือมีการเคลียร์บิต TR_x

โหมดการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์

เราสามารถเลือกโหมดการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ โดยควบคุมบิต M1 และ M0 ในรีจิสเตอร์ TMOD ซึ่งมีทั้งหมด 4 โหมดดังนี้

1. โหมด 0 รีจิสเตอร์ TH_x และ TL_x ทำตัวเป็นตัวนับ 13 บิต ค่าการนับ 8 บิตบน มาจาก 8 บิตของ TH_x และอีก 5 บิตล่างมาจากค่า 5 บิตล่างของรีจิสเตอร์ TL_x โดยที่ 3 บิตบนของ TL_x จะไม่ต้องสนใจเลย

2. โหมด 1 รีจิสเตอร์ TH_x และ TL_x ทำตัวเป็นตัวนับ 16 บิต จากการนับ 8 บิตบนอยู่ในรีจิสเตอร์ TH_x และค่าจากการนับ 8 บิตล่างอยู่ในรีจิสเตอร์ TL_x

3. โหมด 2 ในการนับของรีจิสเตอร์ TL_x ขนาด 8 บิต เมื่อนับถึงค่าสูงสุด คือ FFH เมื่อทำการนับต่อไปจะเกิดการโอเวอร์โฟลว์ แล้วก็จะรีโหลด(reload)เอาข้อมูลจาก TH_x เข้าไปยัง TL_x เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการนับครั้งต่อไป

4. โหมด 3 ในโหมดนี้ ไทม์เมอร์ 1 จะไม่ทำงาน TH0 และ TLO จะทำงานแยกกัน

เมื่อไทม์เมอร์เกิดโอเวอร์โฟลว์จะไปเซตบิต TF0 (TF1 ในไทม์เมอร์ 1) แล้วจะกระโดดไปสู่โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ที่ตำแหน่ง 000BH (ตำแหน่ง 001BH สำหรับไทม์เมอร์ 1)

การจะเลือกใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์นั้นขึ้นอยู่กับค่าควบคุมบิต C/T ใน TMOD โดยถ้าบิตนี้เซตจะใช้งานเป็นเคาน์เตอร์ ถ้าบิตนี้เคลียร์จะใช้งานเป็นไทม์เมอร์

7.9 ลักษณะของโปรแกรมที่เขียน

เนื่องจากการใช้ไอซี TCA 785 ในสร้างสัญญาณเกท ในไอซีตัวนี้มุมเกทขึ้นกับระดับของสัญญาณดิจิตอลที่ป้อนเข้าไปในขา 11 ในการสร้างนั้น เราควบคุมมุมทริกจาก 0-180° โดยควบคุมระดับสัญญาณดิจิตอลตั้งแต่ 0-10 โวลต์ และในการสตาร์ทมอเตอร์นั้น เราจะต้องลดมุมทริกจากค่า ๆ หนึ่งจนกระทั่งเหลือ 0° ภายในเวลาที่กำหนด เนื่องจากการลดมุมทริกสามารถทำได้โดยลดค่าระดับดิจิตอลที่ป้อนเข้าที่ขา 11 ดังนั้นการควบคุมจึงเป็นการลดระดับดิจิตอลจากค่า ๆ หนึ่ง(เป็นค่าระดับดิจิตอลที่ตรงกับมุมทริกเริ่มต้น)จนถึง 0 โวลต์ภายในเวลาที่กำหนด การควบคุมการลดค่านี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม แต่เนื่องจากเอาท์พุทของพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นระบบดิจิตอล(Digital) แต่ดิจิตอลที่ป้อนเข้าขา 11 ของ TCA 785 นั้นเป็นระบบแอนะล็อก(Analog) ดังนั้นจึงต้องใช้ดีทูเอ(D/A)ในการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นระดับสัญญาณดิจิตอลซึ่งเป็นแอนะล็อก

7.10 หลักการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 7.9 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

เมื่อเริ่มโปรแกรมาก็จะต้องมีการป้อนข้อมูลให้กับเครื่อง โดยข้อมูลที่ป้อนนี้ก็จะมี 2 ตัว คือ เวลาที่ใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์กับค่าของมุมเริ่มต้น (α_0) โปรแกรมที่เขียนนี้จะให้อิสระแก่ผู้ใช้ในการที่จะป้อนข้อมูล โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะป้อนค่าเวลาก่อนหรือป้อนค่ามุมก่อน โดยถ้าจะป้อนค่าเวลาก่อนก็ให้กดปุ่ม จากนั้นเครื่องก็จะเข้าสู่โหมดการป้อนเวลา แต่ถ้าอยากจะป้อนค่ามุมเริ่มต้นก่อน ก็ให้กดปุ่ม ก่อน จากนั้นเครื่องก็จะเข้าสู่โหมดการป้อนมุมเริ่มต้น

เมื่อเครื่องเข้าสู่การป้อนข้อมูลในโหมดการป้อนเวลา ไฟ time ก็จะติด เพื่อแสดงให้เห็นว่าอยู่ในโหมดของการป้อนเวลา เราก็เพียงแต่กดปุ่มเลข 0-9 เพื่อใส่ค่าเวลาที่ต้องการใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์ โดยเวลาที่ป้อนนั้นจะอยู่ในหน่วยวินาที หลังจากนั้นให้กดปุ่ม ก็จะเสร็จสิ้นการป้อนเวลา แต่ถ้าเราป้อนค่าเวลาผิด เราสามารถกดปุ่ม แล้วป้อนค่าใหม่ได้ การกดปุ่มอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ เครื่องก็จะไม่ยอมรับ ค่าของเวลาที่ป้อนนั้นสามารถป้อนได้ตั้งแต่ 1-9999 วินาที ถ้าป้อนค่า 0 ลงไป เครื่องก็จะฟ้องว่า ผิดพลาด โดยจะมีไฟ error แสดงให้เห็น แต่ถ้าป้อนค่าที่มากกว่า 9999 วินาทีขึ้นไป (ค่าตั้งแต่ 5 หลักขึ้นไป) เครื่องก็จะยอมรับแค่ 4 หลักเท่านั้น เช่นถ้าป้อน 10305 ลงไป เครื่องก็จะถือว่าป้อน 0305 คือ เลข 1 จะถูกตัดทิ้งไป

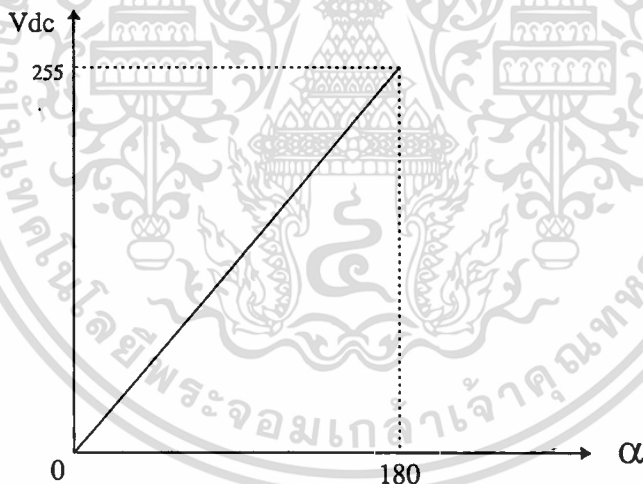
ในโหมดของการป้อนมุมเริ่มต้นนั้น หลักการก็เหมือนกับโหมดการป้อนเวลาก็คือ เมื่อเข้าสู่โหมดนี้ไฟangleก็จะติด หลังจากนั้นก็ป้อนค่ามุมเริ่มต้นเข้าไปจากนั้นก็กดปุ่ม แต่ถ้าเราป้อนค่ามุมเริ่มต้นผิด เราสามารถกดปุ่ม แล้วป้อนค่าใหม่ได้ การกดปุ่มนอกเหนือจากนี้เครื่องจะไม่ยอมรับ มุมที่ป้อนนี้มีหน่วยเป็นองศา โดยค่าของมุมที่ป้อนนี้ สามารถป้อนได้ตั้งแต่ 0° - 180° แต่ในทางปฏิบัติ ไม่ควรป้อนเกิน 170° เพราะควรเหลือเวลาอีก 10° ไว้ให้ไทรสเตอร์หยุดทำงาน (Off) เช่นเดียวกัน ถ้าป้อนค่าที่นอกเหนือจากช่วงนี้ เครื่องจะฟ้องว่าผิดพลาด โดยจะมีไฟ error แสดง

เมื่อไฟ error ติดแสดงว่ามีการผิดพลาดเกิดขึ้น โดยอาจจะเกิดจากการป้อนค่าเวลาเป็นศูนย์ หรือป้อนค่ามุมเริ่มต้นไม่อยู่ในช่วง 0° - 180° เมื่อเกิด error ขึ้นแล้ว ให้กดปุ่ม เพื่อที่เครื่องจะได้เริ่มต้นทำงานใหม่ (ต้องป้อนใหม่หมดทั้งเวลาและมุม)

เครื่องนี้จะมีโปรแกรมคอยเช็คค่า ป้อนข้อมูลครบทั้งสองค่าหรือยัง โดยถ้าป้อนข้อมูลครบทั้งสองค่าแล้ว ไฟ ready ก็จะติด แต่ถ้ายังป้อนไม่ครบ ไฟ ready ก็จะไม่ติด

การที่ไฟ ready ติดแสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทำงานแล้ว เราเพียงแค่กดปุ่ม **START** เครื่องก็เริ่มทำงานทันที ในกรณีที่เรายังไม่ได้กดปุ่ม **START** เราสามารถแก้ไขค่าของเวลา และมุมที่เราป้อนเข้าไปแล้วได้ โดยถ้าเราต้องการแก้ไขค่าของเวลา เราก็กดปุ่ม **TIME** อีกครั้งหนึ่ง เครื่องก็จะแสดงค่าเวลาเก่าที่ได้ป้อนเข้าไปแล้วมาให้ดู จากนั้นก็ให้กดปุ่ม **CLEAR** แล้วป้อนค่าเวลาเข้าไปใหม่ แล้วก็กด **ENTER** ส่วนในกรณีของการแก้ไขค่าของมุมเริ่มต้นก็เช่นเดียวกัน เราเพียงแค่กดปุ่ม **ANGLE** อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นก็กด **CLEAR** ป้อนค่ามุมเริ่มต้นใหม่ จากนั้นก็กด **ENTER**

หลังจากกดปุ่ม **START** เพื่อให้เครื่องเริ่มทำงานแล้ว ไฟ operating ก็ติด เครื่องก็จะนำค่าเวลาที่ป้อนเข้ามาแปลงเป็นฐานสิบหก จากนั้นก็นำค่าเวลาที่ได้อันนี้อยู่ในหน่วยวินาทีมาแปลงให้เป็นมิลลิวินาที (ms) โดยนำมาคูณกับ 1000 ($3E8_{16}$) ส่วนค่าของมุมเริ่มต้นที่ป้อนเข้ามานั้น นำไปเปิดค่าในตาราง เพื่อหาค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มต้นที่จะส่งออกทางพอร์ท 1 โดยค่าในตารางนั้นจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าของมุมกับค่าของศักดาไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะนำไปตามกราฟ รูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของศักดาไฟฟ้ากระแสตรงที่จะส่งออกพอร์ท 1 กับค่าของมุมทริกเกตของไทรสเตอร์ (α)

และเป็นไปตามสมการ

$$V_{dc} = \frac{225}{180} \alpha$$

V_{dc} คือ ศักดาไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องป้อนให้ขา 11 ของ TCA 785

α คือ มุมทริก

จากนั้น ก็จะนำค่าเวลาในหน่วยมิลลิวินาทีมาหารกับค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มต้นตามสมการ

$$\text{QUOTIENT} = \frac{\text{เวลา} \times 1000}{V_{dc0}}$$

QUOTIENT คือ ตัวแปรที่เก็บค่าผลหาร

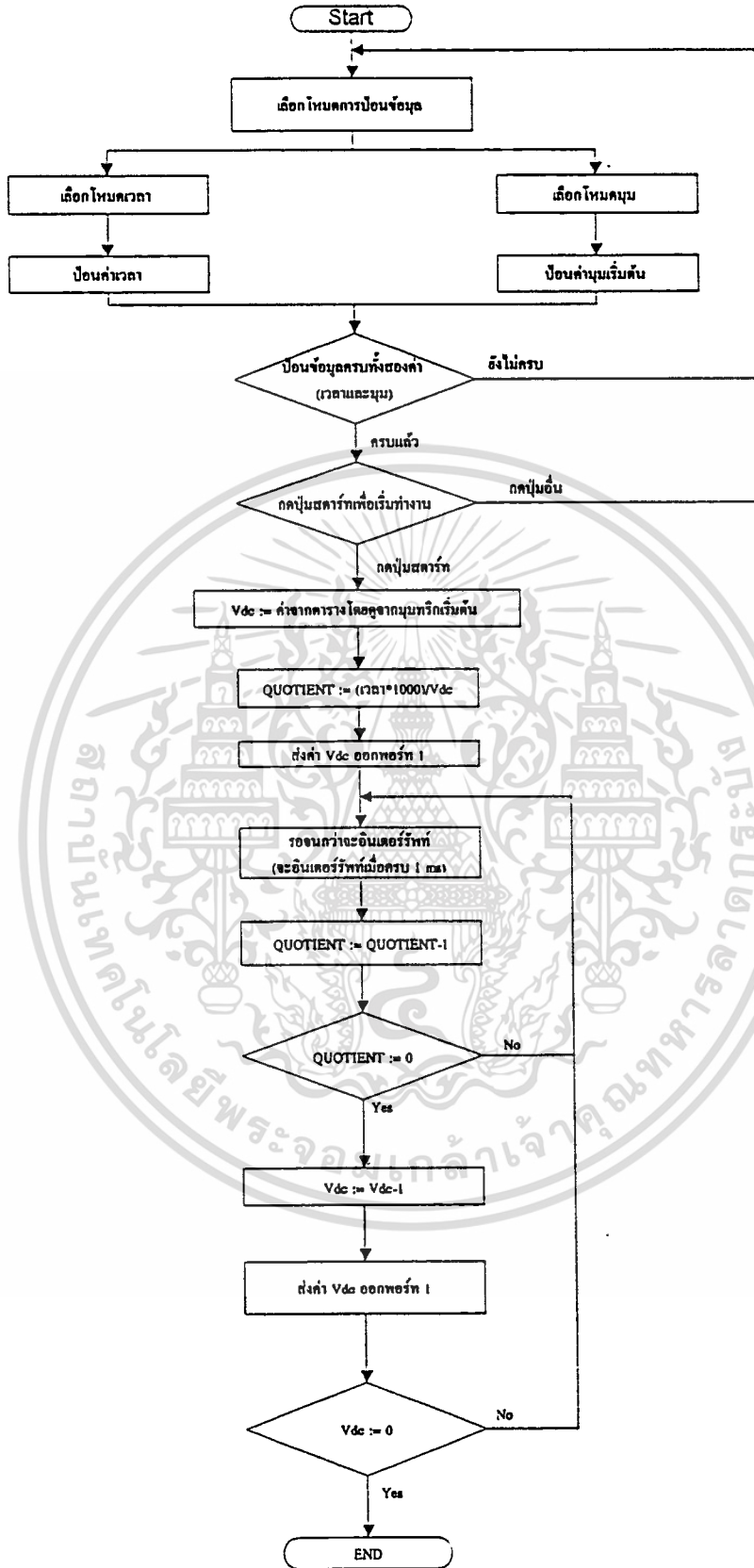
เวลา คือ เวลาที่ใช้ในการสแตร์ทมอเตอร์

V_{dc0} คือ ศักดาไฟฟ้าดีซีเริ่มต้น

ค่า QUOTIENT ที่ได้จะเป็นตัวเลขแสดงถึง ค่าของเวลาในหน่วยมิลลิวินาทีที่ใช้ในการที่จะสแตร์ทศักดาไฟฟ้ากระแสตรงลงมา 1 หน่วย จากนั้นก็จะมีการส่งค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มต้น (V_{dc0}) ออกไปที่พอร์ท 1 เพื่อไปเข้าสู่ไอซีดีทิวเอ จากนั้นก็เข้าสู่ในส่วนของโปรแกรมหน่วยเวลา ซึ่งจะมีการอินเตอร์รัพท์ทุก ๆ 1 มิลลิวินาที โดยทุกครั้งที่มีการอินเตอร์รัพท์ก็จะไปลดค่า QUOTIENT ลง 1 เมื่อ QUOTIENT ลดลงถึง 0 แล้ว ก็จะไปลดค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรงลง 1 หน่วย พร้อมกับส่งค่านั้นออกไปทางพอร์ท 1 ด้วย

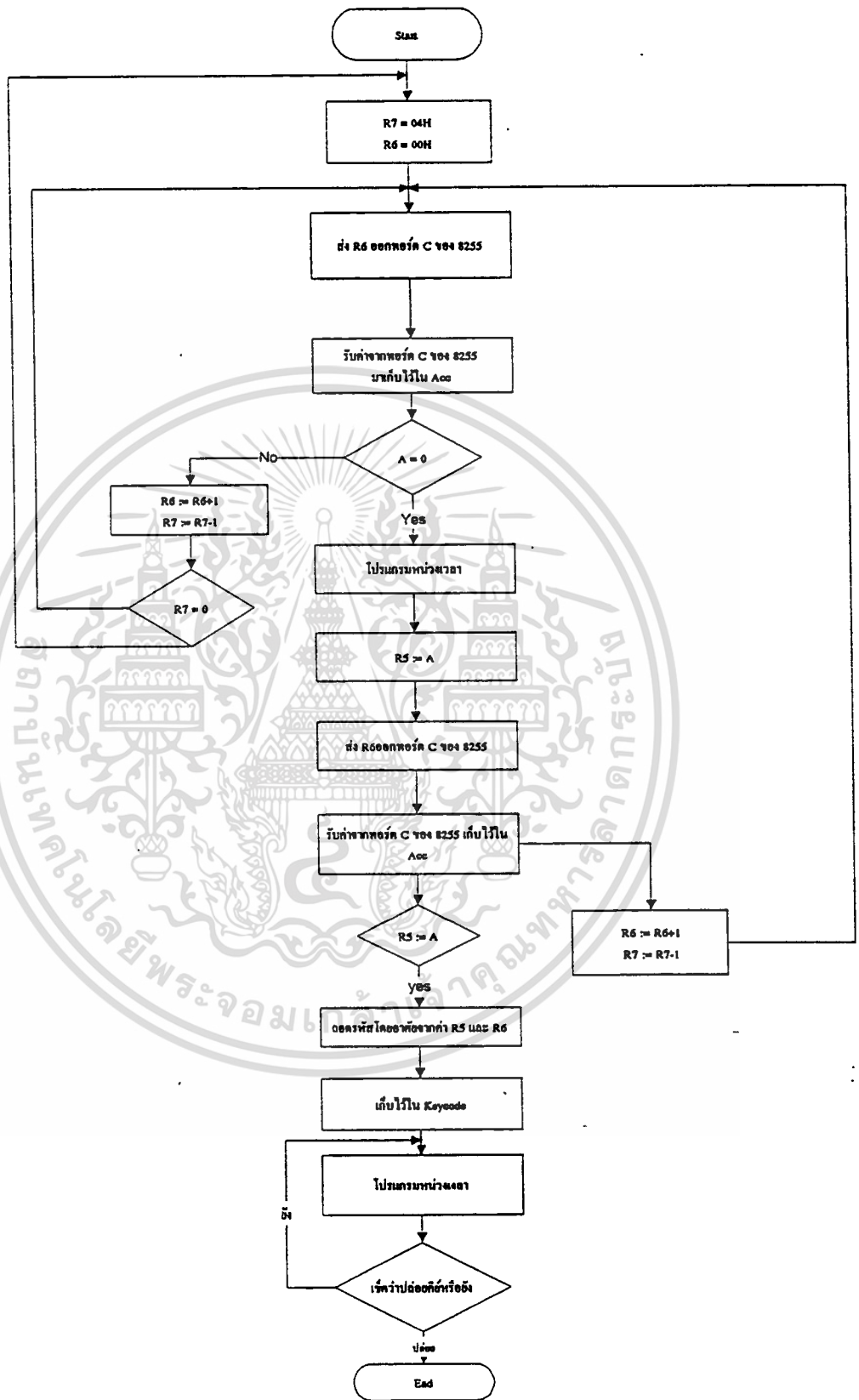
โปรแกรมจะทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรงจะลดลงจนเหลือศูนย์ โวลต์ โปรแกรมจึงสิ้นสุดการทำงาน

ในขณะที่เครื่องทำงานจะมีการแสดงค่าเวลาผ่านทางหน้าปัดด้วย โดยจะเป็นการแสดงค่าของเวลาที่เหลือในหน่วยวินาที โดยจะมีการลดค่าลง 1 ทุก ๆ 1 วินาที จนถึง 0



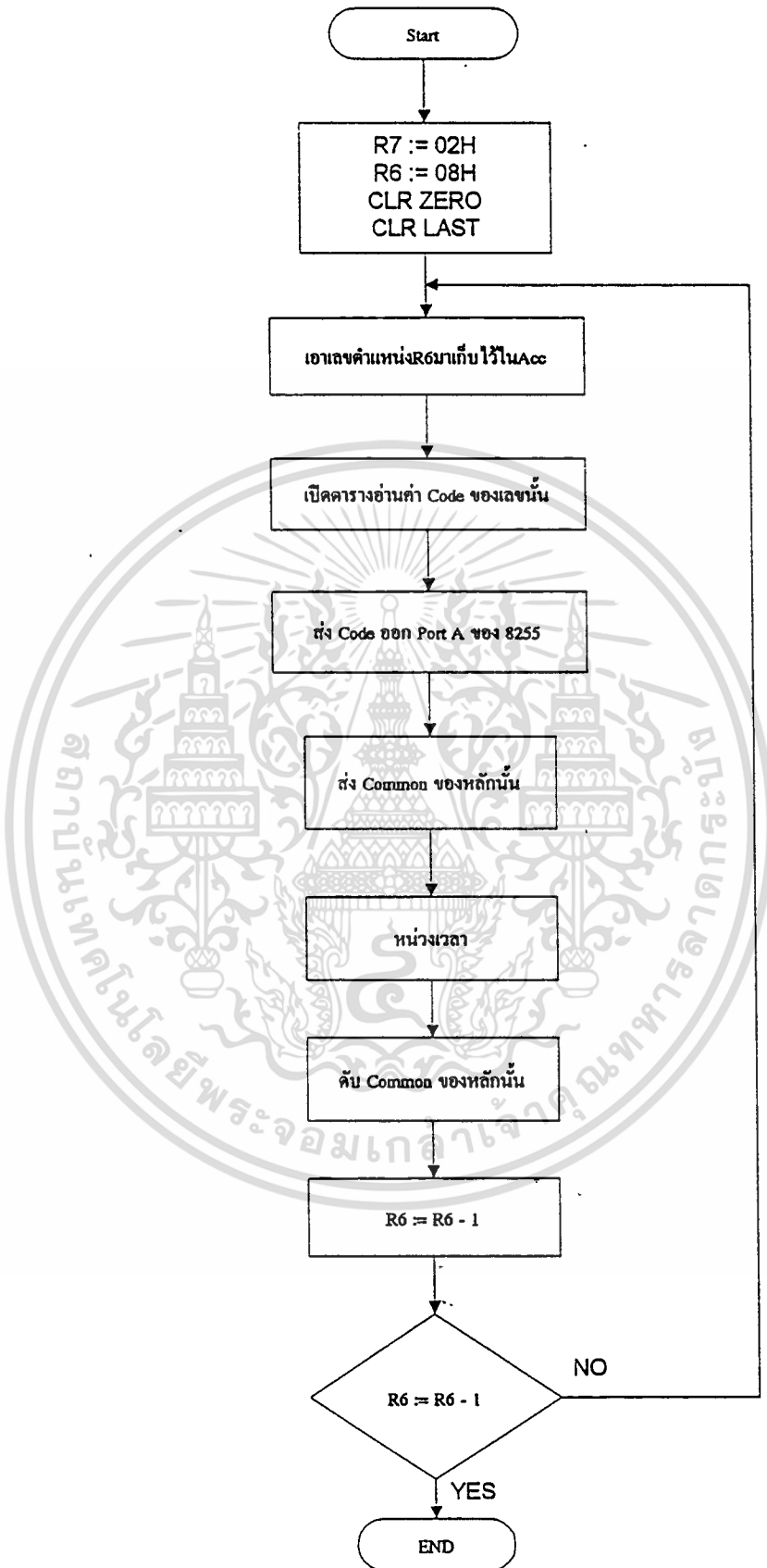
รูปที่ 7.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



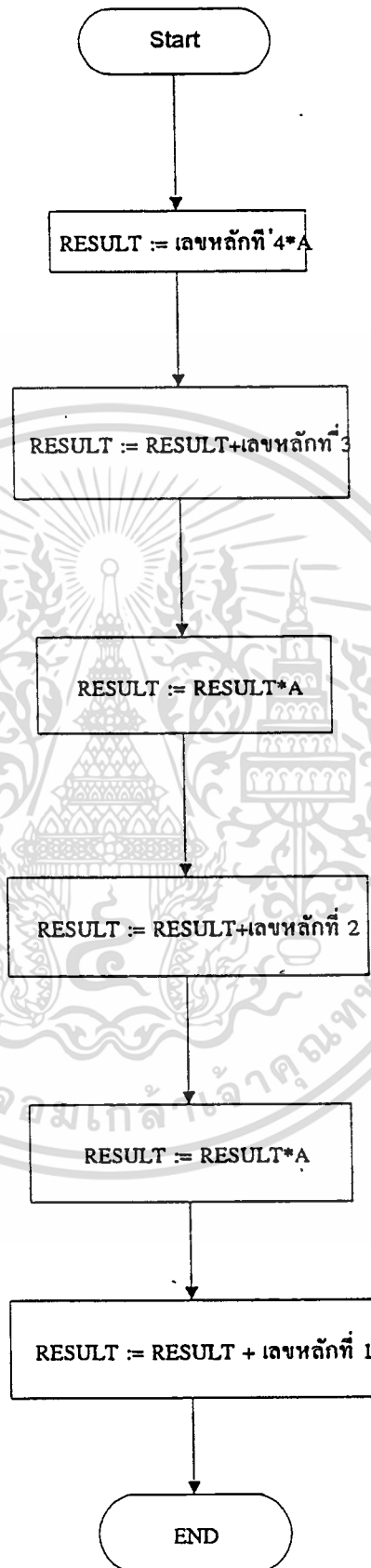
รูปที่ 7.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมรับค่าจากเป็นพืษพืษขนาด 4x4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



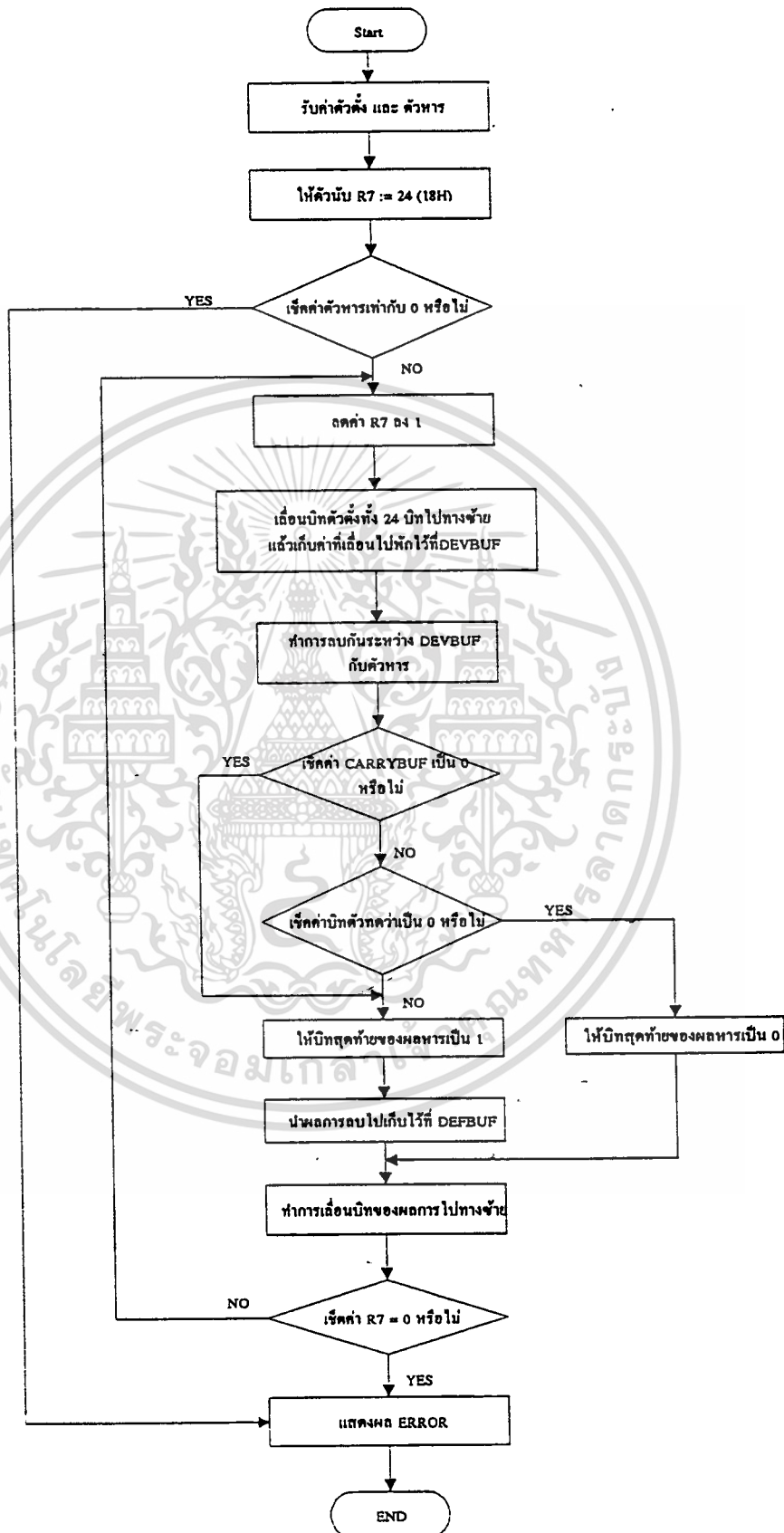
รูปที่ 7.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงผลตัวเลขขนาด-4-หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

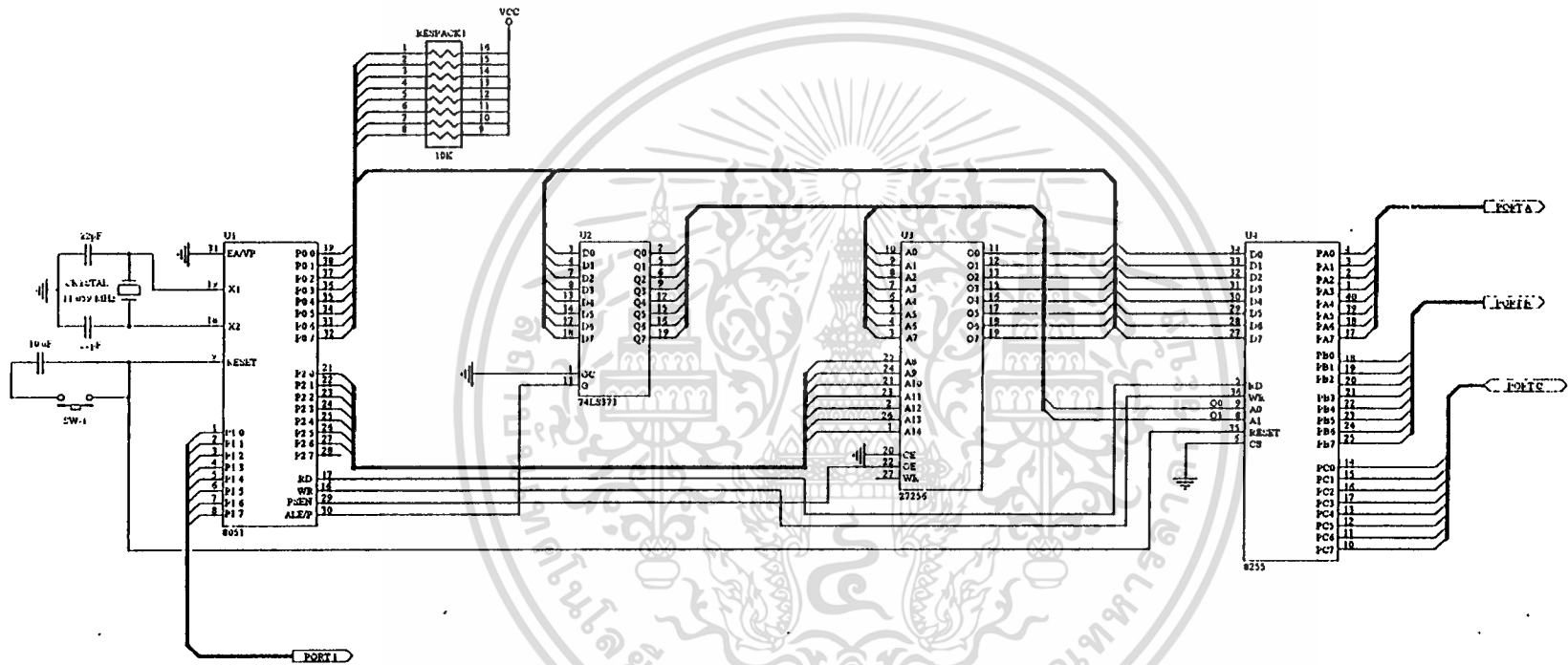


รูปที่ 7.12 แสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมแปลงเลขจากระบบบิซิจิเป็นระบบเลขฐานสิบ

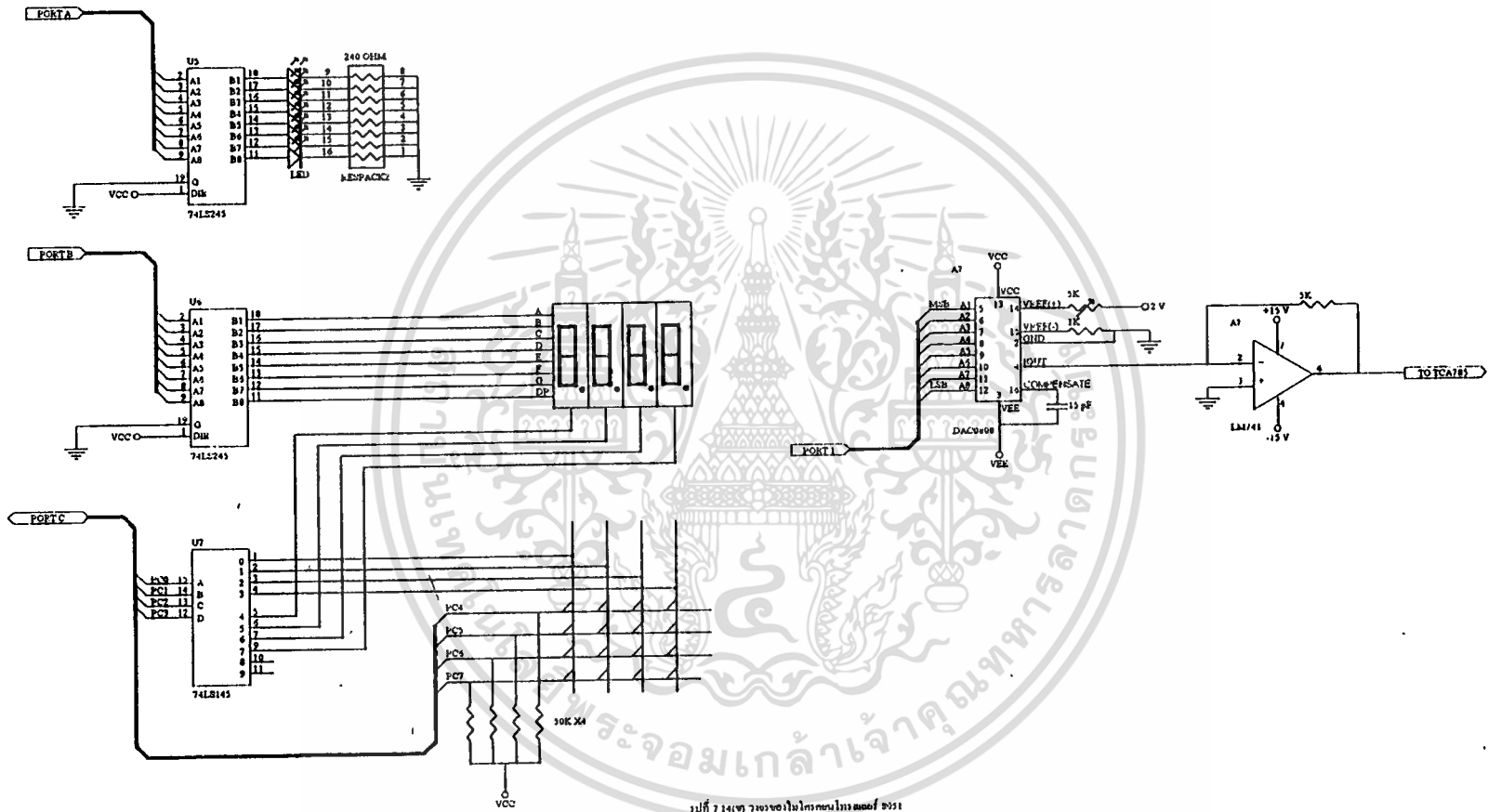
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ขึ้นสู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่ออธิบายการทำงานเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้
รูปที่ 7.13 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหารเลขขนาด 24บิตโดยตัวหารมีขนาด 8 บิต ด้านการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.14(ก) วงจรของไมโครคอมพิวเตอร์ 8085



รูปที่ 7.14 (พ) วงจรของโมดูลการควบคุมและแสดงผล

บทที่ 8

การทดลองและผลการทดลอง

8.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบขนาดกระแสระหว่างการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยตรงกับการสตาร์ท โดยการใช้วงจรซอฟต์แวร์ประกอบ

2. เพื่อตรวจสอบหาการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสในขณะสตาร์ท ณ มุมเริ่มต้น และช่วงเวลาในการสตาร์ทที่ต่างกัน

8.2 การทดลอง

การทดลองที่ 1

1. ทำการทดลองสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการจ่ายแรงดันโดยตรงที่พิกัดแรงดัน 380 โวลต์

2. บันทึกค่ากระแสสูงสุด โดยใช้แคลมป์มิเตอร์

ผลการทดลองที่ 1

วัดค่ากระแสสูงสุดเท่ากับ 37.9 แอมป์แปร์

การทดลองที่ 2

เป็นการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้วิธีซอฟต์แวร์

การทดลองที่ 2.1

1. ทำการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใช้วงจรซอฟต์แวร์ประกอบ โดยคงค่าช่วงเวลาในการสตาร์ทที่ 20 วินาที และปรับค่ามุมค่าเริ่มต้นที่ต่างกัน

2. บันทึกค่ากระแสเริ่มต้น และค่ากระแสสูงสุด โดยใช้แคลมป์มิเตอร์

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 โดยเปลี่ยนช่วงเวลาในการสตาร์ทเป็นที่ 30, 40 และ 50 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 2.1

มุมเริ่มต้น (องศา)	ช่วงเวลาในการสตาร์ท (วินาที)	กระแสสูง สุด(แอมแปร์)	กระแสเริ่ม ต้น(แอมแปร์)
170	20	11.9	0.2
160	20	10.0	0.7
150	20	9.6	2.2
140	20	9.6	0.8
130	20	10.5	6.1
120	20	12.5	9.5
110	20	16.2	10.5
100	20	21.1	21.1
90	20	26.0	26
80	20	27.8	27.8

ตารางที่ 8.1 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ทที่ 20 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ

มุมเริ่มต้น (องศา)	ช่วงเวลาในการสตาร์ท (วินาที)	กระแสสูง สุด(แอมแปร์)	กระแสเริ่ม ต้น(แอมแปร์)
170	30	9.8	0.1
160	30	9.4	0.7
150	30	9.4	4.7
140	30	8.5	4.1
130	30	9.6	7.5
120	30	12.0	13.2
110	30	16.7	16.7
100	30	18.2	18.2
90	30	26.2	26.2

ตารางที่ 8.2 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ทที่ 30 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเริ่มต้น (องศา)	ช่วงเวลาในการสตาร์ท (วินาที)	กระแสสูง สุด(แอมแปร์)	กระแสเริ่ม ต้น(แอมแปร์)
170	40	8.1	0.1
160	40	8.5	0.7
150	40	8.2	2.0
140	40	7.9	4.7
130	40	9.5	7.5
120	40	12.1	8.3
110	40	16.7	16.8
100	40	18.1	18.1
90	40	18.7	18.7

ตารางที่ 8.3 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ทที่ 40 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ

มุมเริ่มต้น (องศา)	ช่วงเวลาในการสตาร์ท (วินาที)	กระแสสูง สุด(แอมแปร์)	กระแสเริ่ม ต้น(แอมแปร์)
170	50	8.3	0.2
160	50	7.7	0.3
150	50	7.5	1.7
140	50	7.9	4.3
130	50	8.0	7.5
120	50	11.2	11.2
110	50	16.6	16.6
100	50	22.1	22.1
90	50	12.4	15.2
80	50	13.1	13.1

ตารางที่ 8.4 แสดงค่ากระแสเริ่มต้นและกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดเวลาในการสตาร์ทที่ 50 วินาทีที่มุมเริ่มต้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2.2

1. ทำการสตาร์ทมอเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการให้วงจรซอฟต์แวร์สตาร์ทประกอบ โดยคงค่ามุมเริ่มต้นที่ 120 องศา และปรับค่าช่วงเวลาในการสตาร์ทที่ต่างกัน
 2. บันทึกค่ากระแสเริ่มต้น และค่ากระแสสูงสุด โดยใช้แคลมป์มิเตอร์
 3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 โดยเปลี่ยนค่ามุมเริ่มต้นเป็นที่ 130 องศา
- ผลการทดลองที่ 2.2

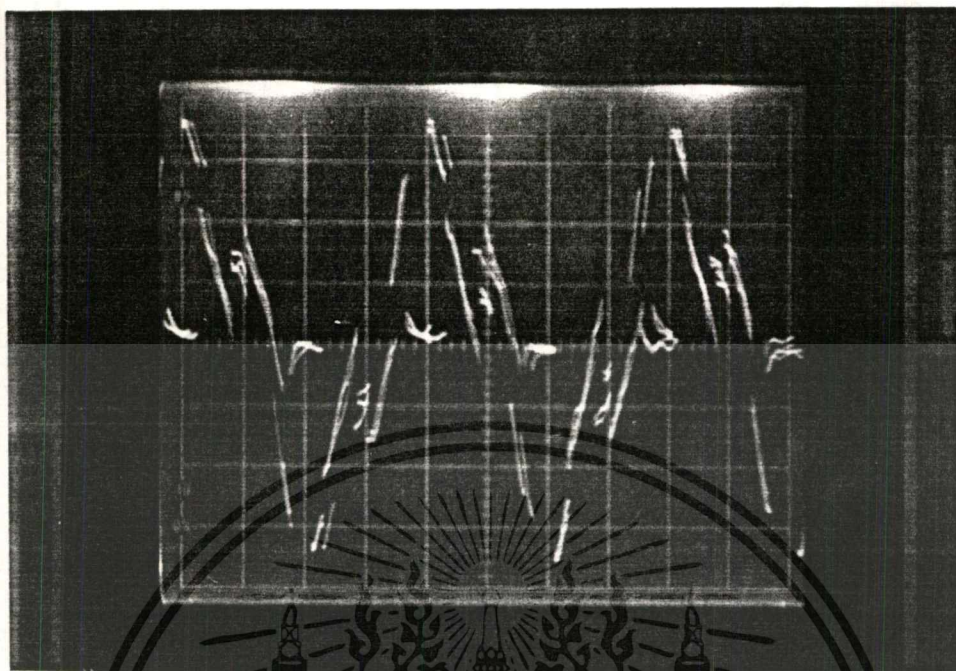
ช่วงเวลาในการสตาร์ท (วินาที)	มุมเริ่มต้น (องศา)	กระแสสูงสุด(แอมแปร์)	กระแสเริ่มต้น(แอมแปร์)
5	120	15.4	14.5
10	120	13.2	5.8
15	120	12.7	12.6
20	120	12.9	12.2
25	120	12.6	11.0
30	120	12.6	12.3
35	120	12.3	12.3
40	120	11.7	10.1
45	120	12.0	12.0
60	120	12.1	11.8

ตารางที่ 8.5 แสดงค่ากระแสเริ่มต้น และกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดมุมเริ่มต้นที่ 120 องศา และ ช่วงเวลาในการสตาร์ทต่าง ๆ

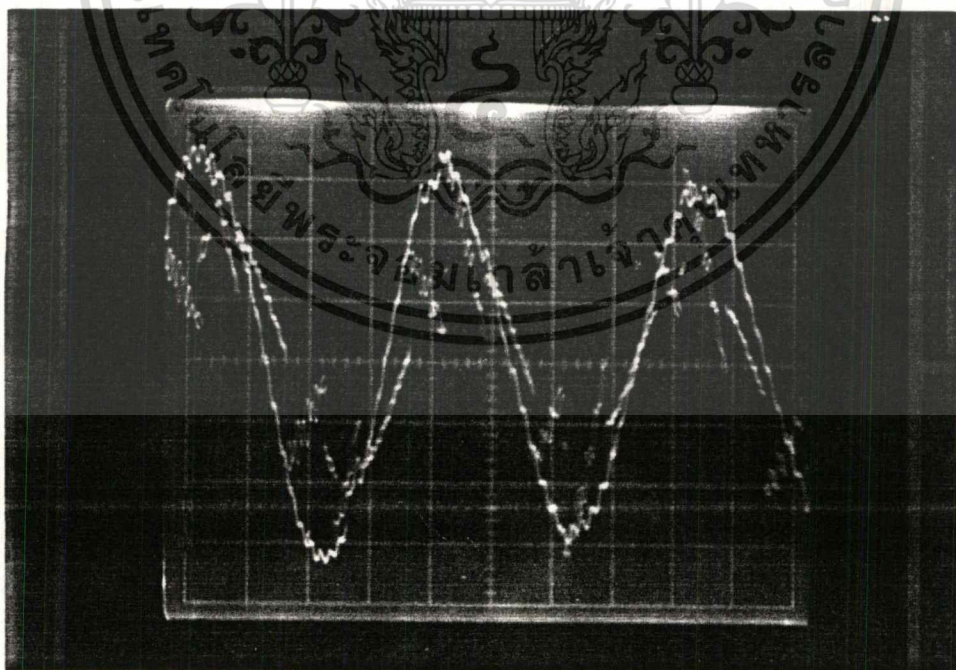
ช่วงเวลาในการสตาร์ท (วินาที)	มุมเริ่มต้น (องศา)	กระแสสูงสุด(แอมแปร์)	กระแสเริ่มต้น(แอมแปร์)
5	130	14.4	10.1
10	130	12.0	9.5
15	130	10.9	8.7
20	130	10.0	8.5
25	130	9.9	8.2
30	130	9.7	5:8

ตารางที่ 8.6 แสดงค่ากระแสเริ่มต้น และกระแสสูงสุด เมื่อกำหนดมุมเริ่มต้นที่ 130 องศา และช่วงเวลาในการสตาร์ทต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



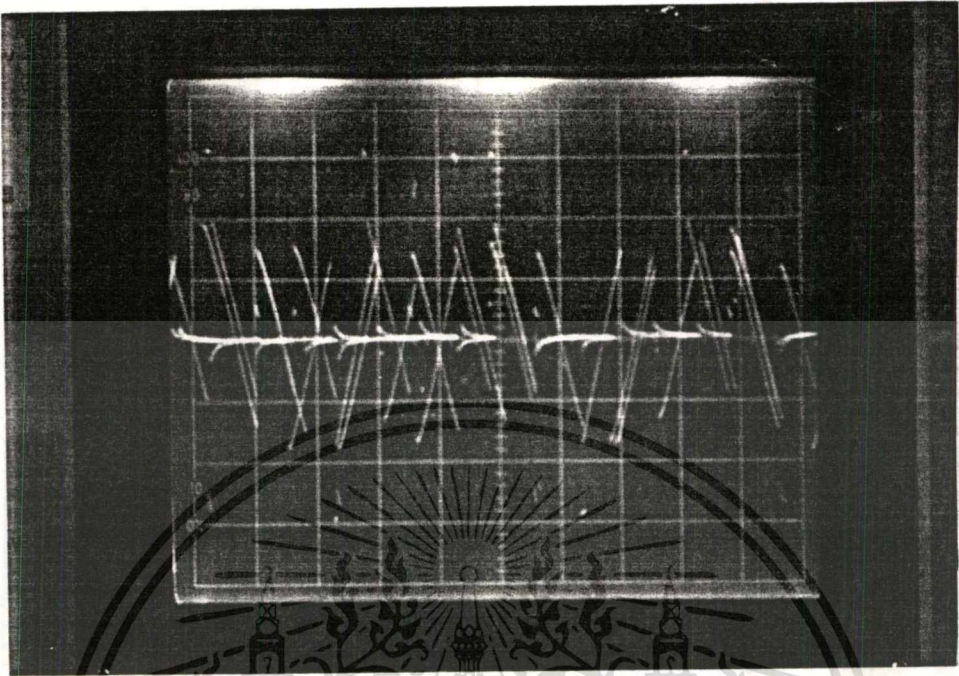
รูปที่ 8.1 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 5 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 120 วินาที มุมเริ่มต้น 90 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div ต่อวงจรแบบสตาร์



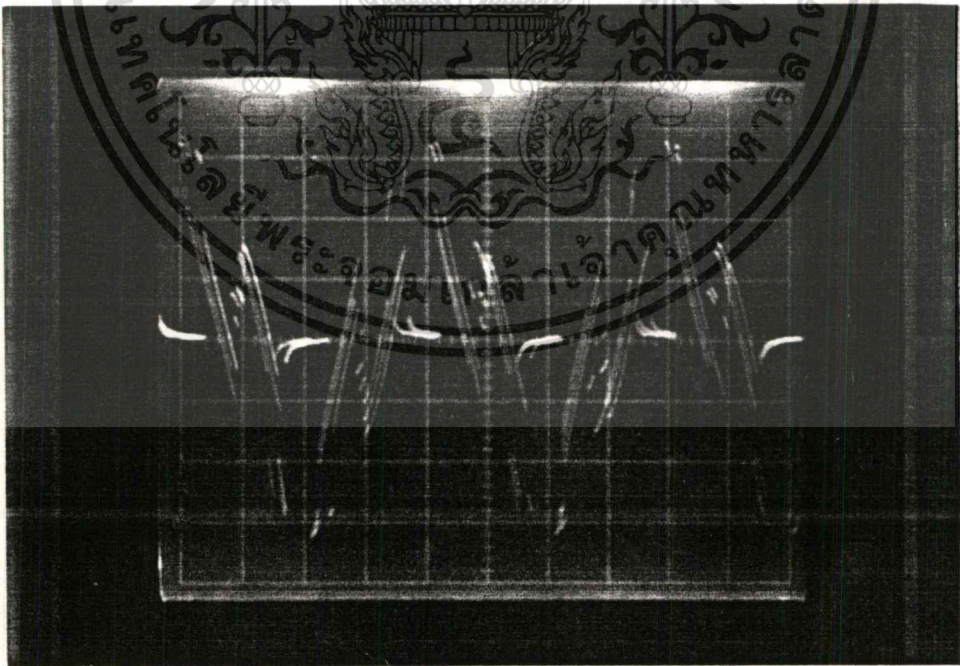
รูปที่ 8.2 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 10 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 120 วินาที มุมเริ่มต้น 90 องศา

มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div ต่อวงจรแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

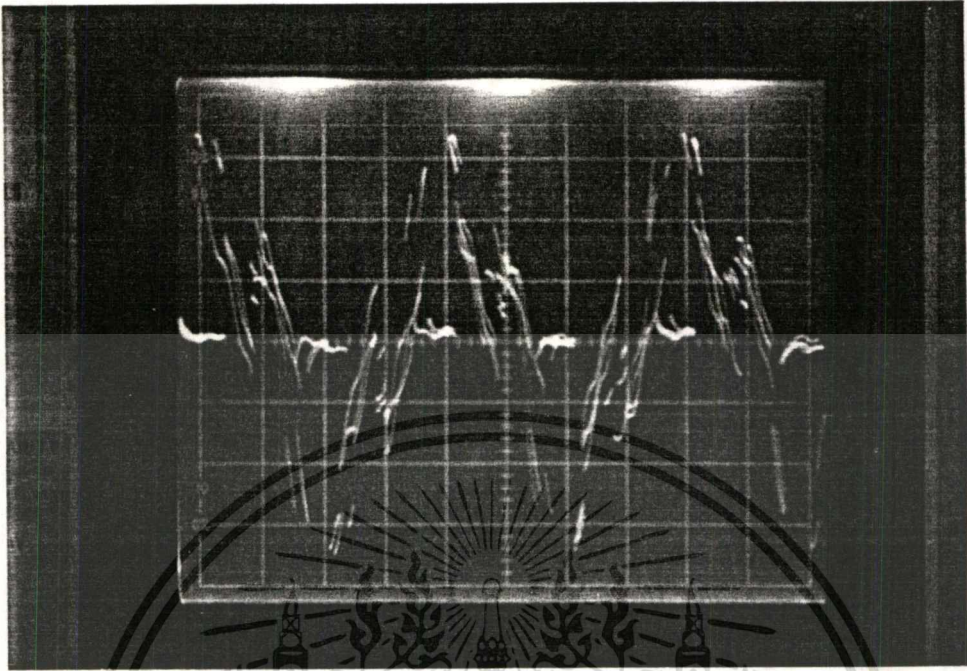


รูปที่ 8.3 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 5 เมื่อตั้งเวลาในการสตรัท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5ms/div ต่อวงจรแบบสตาร์



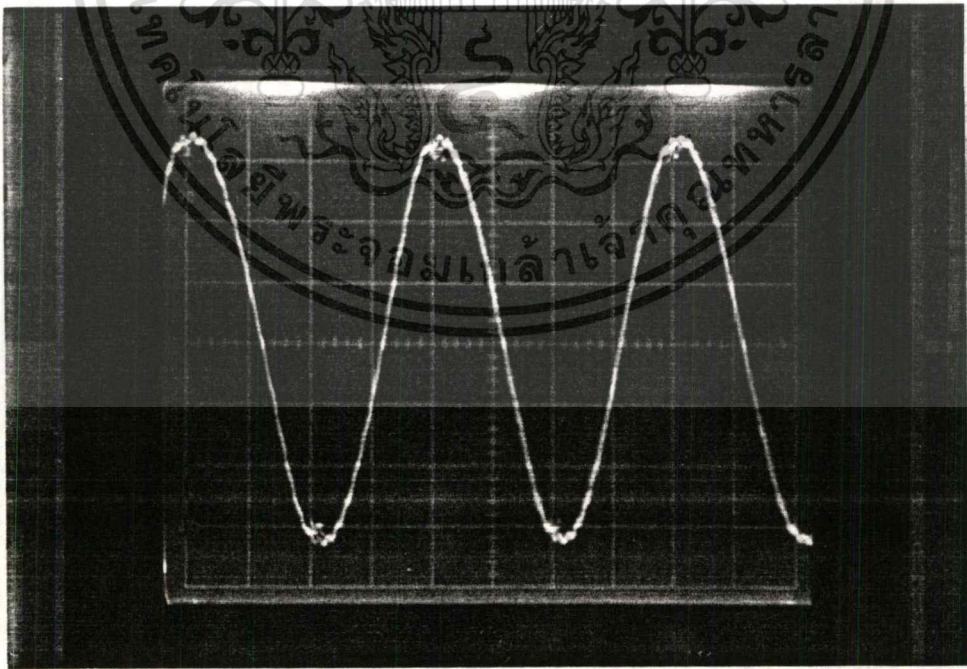
รูปที่ 8.4 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 10 เมื่อตั้งเวลาในการสตรัท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div ต่อวงจรแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.5 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 15 เมื่อตั้งเวลาในการสตรัท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา

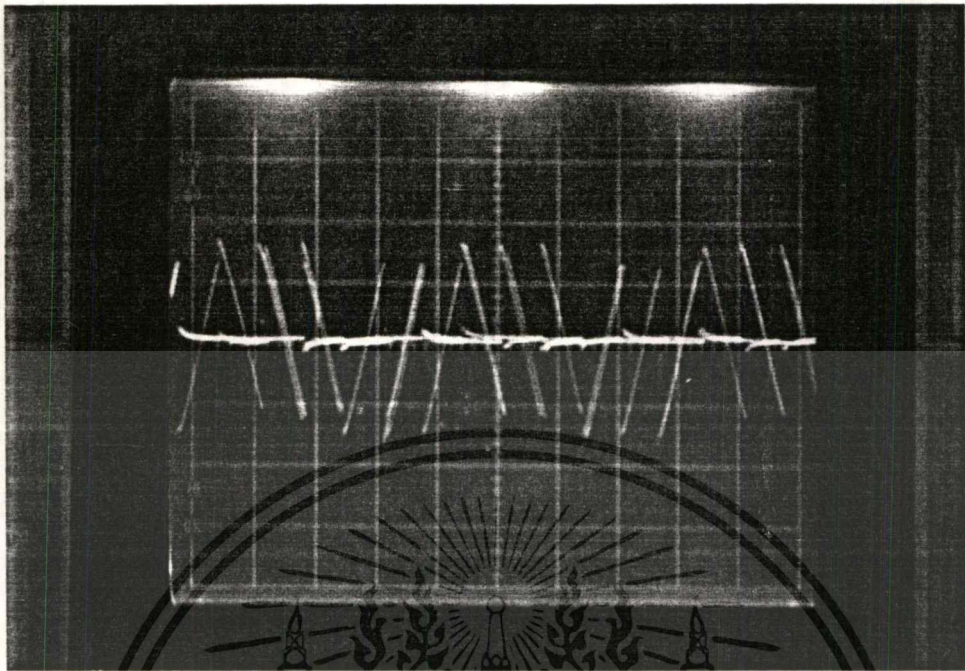
มาตราส่วน 100 V/div 5ms/div ต่อวงจรแบบสตาร์



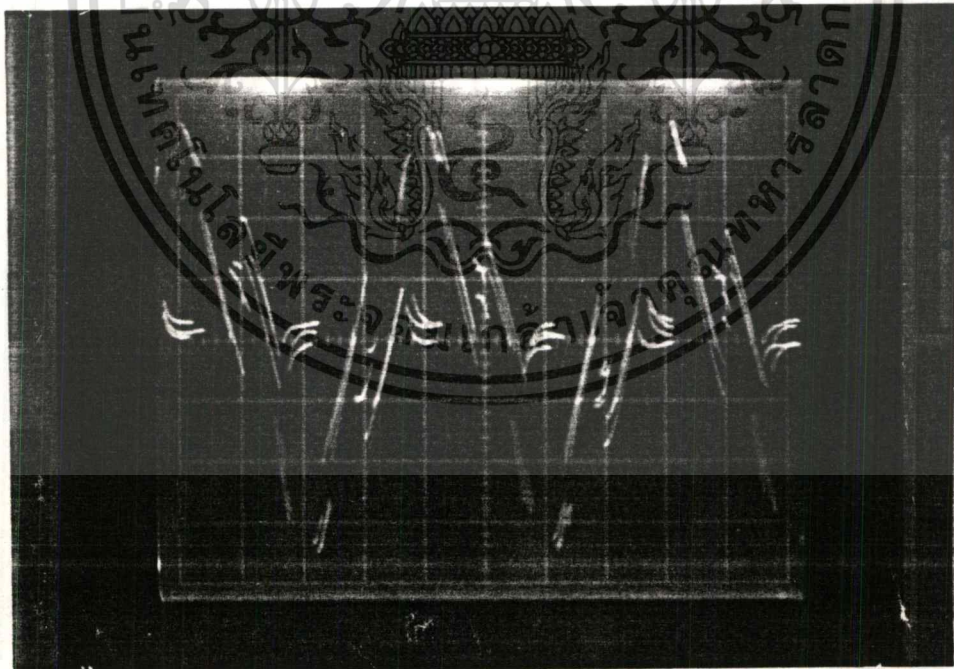
รูปที่ 8.6 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 60 เมื่อตั้งเวลาในการสตรัท 60 วินาที มุมเริ่มต้น 120 องศา

มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div ต่อวงจรแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

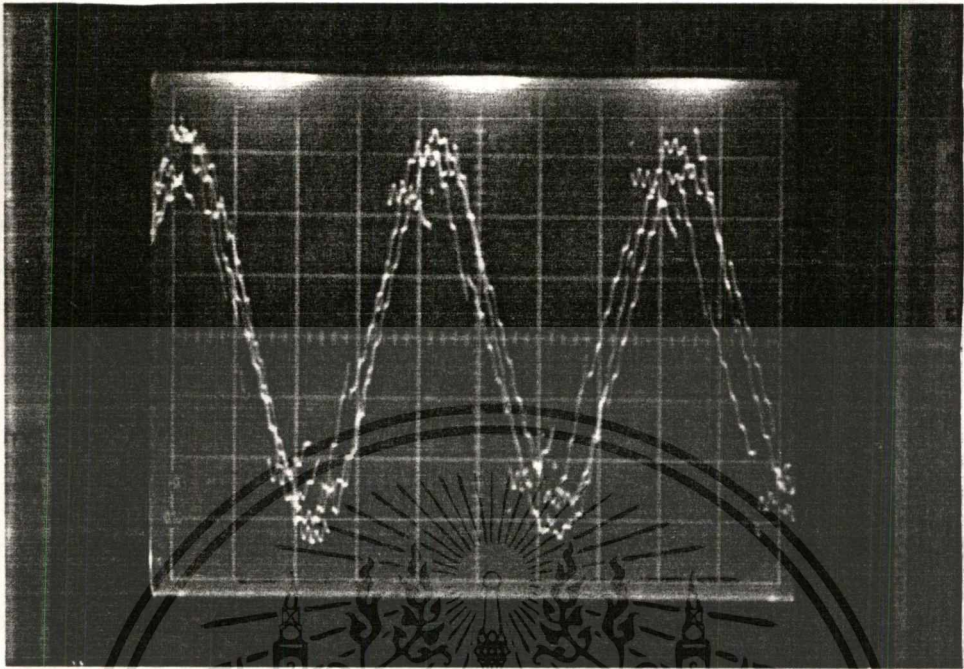


รูปที่ 8.7 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 5 เมื่อตั้งเวลาในการสตรัท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 150 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div เมื่อต่อวงจรแบบเคลด้า

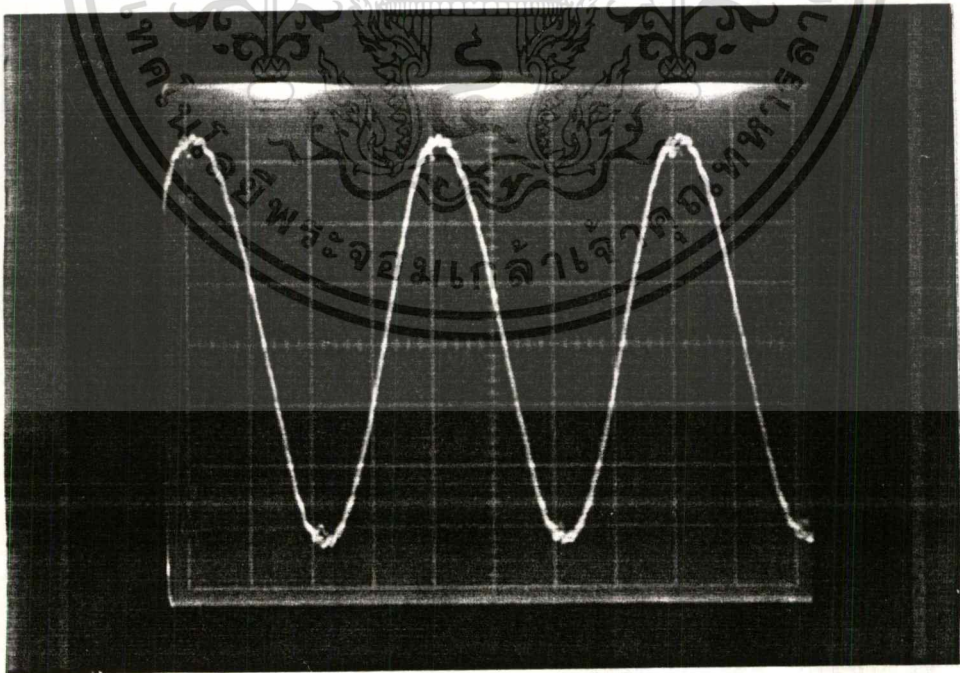


รูปที่ 8.8 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 10 เมื่อตั้งเวลาในการสตรัท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 150 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div เมื่อต่อวงจรแบบเคลด้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

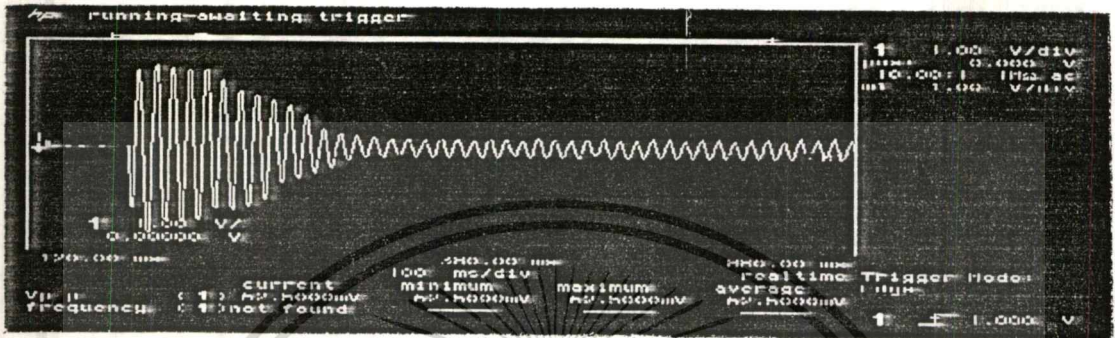


รูปที่ 8.9 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 15 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 15 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div เมื่อต่อวงจรแบบเดลต้า

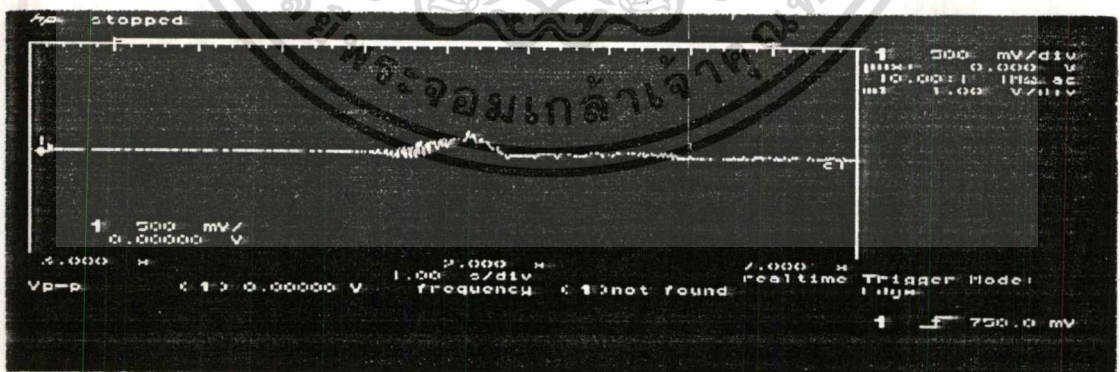


รูปที่ 8.10 แสดงลูกคลื่นแรงดันขณะวินาทีที่ 20 เมื่อตั้งเวลาในการสตาร์ท 40 วินาที มุมเริ่มต้น 15 องศา
มาตราส่วน 100 V/div 5 ms/div เมื่อต่อวงจรแบบเดลต้า

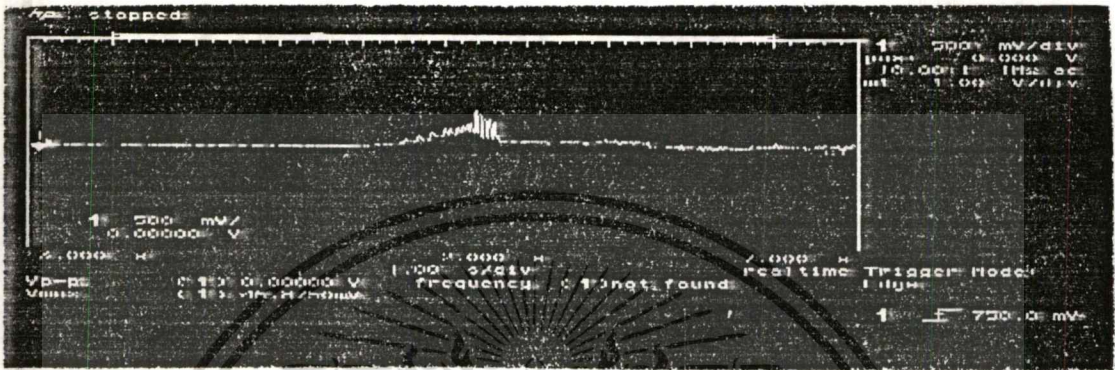
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



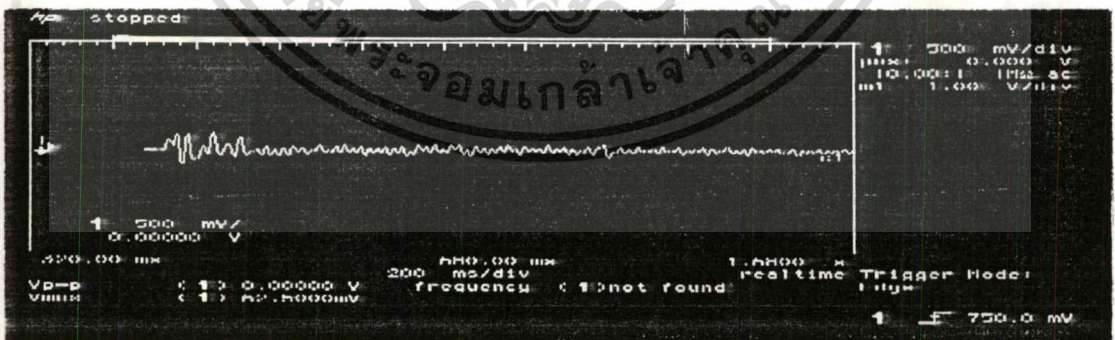
รูปที่ 8.11 แสดงลูกคลื่นกระแสขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์โดยจ่ายแรงดัน โดยตรง



รูปที่ 8.12 แสดงลูกคลื่นขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์โดยมุมเริ่มต้น 170 องศา เวลาสตาร์ท 10 วินาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

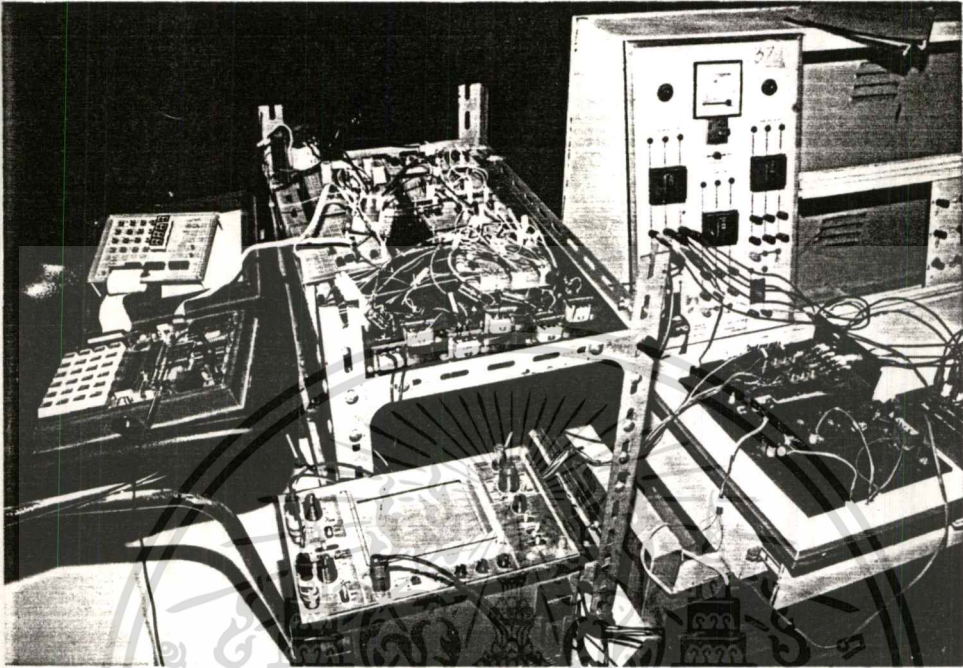


รูปที่ 8.13 แสดงลูกคลื่นขณะทำการสแตร์ทมอเตอร์ โดยมุมเริ่มต้น 160 องศา เวลาสแตร์ท 10 วินาที



รูปที่ 8.14 แสดงลูกคลื่นขณะทำการสแตร์ทมอเตอร์ โดยมุมเริ่มต้น 90 องศา เวลาสแตร์ท 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.15 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของซอฟต์แวร์เทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผลและวิจารณ์

9.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งทางด้านวงจรและการทำงานของเครื่องซอฟต์แวร์ สรุปผลได้ดังนี้

1. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่จ่ายให้แก่มอเตอร์กับเวลาขณะทำการสตาร์ทด้วยเอสซีอาร์ จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีการลดมุมทริกของเอสซีอาร์ลงเรื่อย ๆ ซึ่งมีผลทำให้กระแสขณะสตาร์ทลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการสตาร์ทโดยการป้อนแรงดันให้แก่มอเตอร์โดยตรง

2. เมื่อเรากำหนดเวลาและค่าของมุมเริ่มต้นค่าหนึ่งให้ ในขณะที่สตาร์ทนั้นกระแสจะมีค่า ๆ หนึ่ง จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ค่ากระแสจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่งจากนั้นก็ลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดก็จะมีค่าคงที่ ๆ ค่า ๆ หนึ่งซึ่งเป็นค่ากระแสปกติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในตอนเริ่มต้น สักคาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์มีค่าต่ำ ทำให้กระแสที่ได้ตอนแรกต่ำ ทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นต่ำ ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มช้ากว่าอัตราการเพิ่มของสักคาไฟฟ้า ทำให้กระแสที่ได้สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆ หนึ่ง หลังจากจุดนั้นซึ่งเป็นจุดที่แรงบิดของมอเตอร์มีค่ามากแล้ว ทำให้ความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มของสักคาไฟฟ้า ทำให้กระแสที่ได้ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเข้าสู่จุดทำงานของมัน ที่จุดนี้ความเร็วและกระแสของมอเตอร์จะมีค่าคงที่

3. เมื่อเรากำหนดเวลาให้คงที่ และเปลี่ยนค่าของมุมเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ ผลที่ได้สรุปได้ดังนี้คือ เมื่อมุมเริ่มต้นมีค่ามากขึ้น กระแสเริ่มต้นที่ได้ก็จะมีค่ามากขึ้น และค่ากระแสก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดได้เร็วกว่ากรณีที่มีมุมเริ่มต้นมีค่าน้อย ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อมุมเริ่มต้นมีค่ามากขึ้นในขณะที่มีเวลาที่มีค่าคงที่ ทำให้อัตราการเพิ่มแรงดันในกรณีที่มุมเริ่มต้นมากมีมากกว่า ทำให้แรงบิดที่ได้มีอัตราการเพิ่มเร็วกว่า ความเร็วก็เพิ่มขึ้นเร็วกว่า ทำให้ถึงจุดที่อัตราการเพิ่มความเร็วมากกว่าอัตราการเพิ่มแรงดันได้เร็วกว่า

4. สำหรับการกำหนดมุมทริกเริ่มต้นและเวลาในการสตาร์ทให้มีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับขนาดพิคคของมอเตอร์และขนาดของโหลดที่นำมาต่อกับมอเตอร์ นั่นคือ หากขนาดโหลดมีค่ามาก จำเป็นต้องกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเริ่มต้นที่ป้อนแก่มอเตอร์ให้มีขนาดสูงเพียงพอสูงเพียงพอในการสร้างแรงบิดขณะเริ่มหมุนให้มีค่ามากพอในการเอาชนะแรงบิดอันเนื่องมาจากความฝืดของโหลดได้ การที่ต้องกำหนดเปอร์เซ็นต์แรงดันให้สูงนั้นเนื่องมาจากทฤษฎีของมอเตอร์หนึ่งเขื่อนำที่ว่า แรงบิดขณะเริ่มหมุนแปรตามค่าแรงดันยกกำลังสอง

9.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการค้นคว้า และทดลอง

1. การใช้เอสซีอาร์ เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าถึง 6 ตัว ซึ่งมีความบอบบางและมีขอบเขต ในการใช้งานที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นเมื่อนำมาใช้งานจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

2. ในการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากการรับค่าจากคีย์บอร์ด และนำค่ามามาเปิดตารางแล้ว ทำการคูณเวลาด้วย 1000 และหารด้วยค่าที่เปิดตาราง จะช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนจากการหารได้เป็นอย่างดี แต่ก็ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดประมาณ 256 มิลลินาที (ms)

9.3 แนวทางการพัฒนา

1. เนื่องจากเครื่องซอฟต์แวร์ที่นี้ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ อัตราการลดของมุมทริกค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างเป็นเชิงเส้น ทำให้กระแสที่ได้ในตอนแรกมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วมีค่าลดลง ดังนั้นในการพัฒนาขั้นถัดไปควรมีตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร็ว เพราะเมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์ จะทำให้กระแสเพิ่มขึ้น แต่ความเร็วของโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสมีค่าลดลง ดังนั้นจึงควรควบคุมให้การเพิ่มขึ้นของศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่มอเตอร์ กับความเร็วของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้นให้มีความสัมพันธ์กัน

2. เนื่องจากต้องแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรควบคุม เมื่อวงจรกำลังเกิดการทำงานผิดพลาด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าว ซึ่งอาจจะใช้พัลส์ ทรานฟอร์มเมอร์ หรือ ออปโต ไอโซเลเตอร์ ก็ได้ แต่สำหรับวงจรเครื่องซอฟต์แวร์ที่นี้ ใช้ ออปโต ไอโซเลเตอร์ ทำหน้าที่ในการแยกกราวด์ ซึ่งจะต้องใช้หม้อแปลงจำนวน 6 ตัว เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ดังกล่าว จึงเกิดความสิ้นเปลือง ดังนั้นถ้าหากเปลี่ยนมาใช้เป็น สวิตชิง เพาเวอร์ซัพพลาย ก็จะทำให้เครื่องซอฟต์แวร์ที่นี้ มีราคาถูกลง และมีขนาดกระทัดรัดขึ้น

3. ในการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากการเขียนโปรแกรมฐานเวลาสำหรับการเพิ่มมุมทริกของเอสซีอาร์ โดยใช้ซิงเกิลบอร์ด 8032 นั้น พบว่าตัวกำเนิดสัญญาณความถี่ (Crystal) มีขนาด 11.059 MHz จึงทำให้การเขียนโปรแกรมสร้างฐานเวลามีค่าคลาดเคลื่อนไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งถ้าหากเปลี่ยนตัวกำเนิดสัญญาณความถี่เป็นขนาด 12 MHz จะทำให้ฐานเวลาที่มีความเที่ยงตรง

4. จากการใช้ TCA 785 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง และจะต้องใช้ถึง 3 ตัว ในแต่ละเฟส ดังนั้นถ้าหากลดการใช้ลงมาให้เหลือเพียง 1 ตัว และเพิ่มวงจร จิฟท์เฟสเข้ามาแทน จะทำให้เครื่องซอฟต์แวร์เทอร์มินัลมีราคาถูกลงยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;** SOFT START MOTOR PROGRAM **

```

0000          CPU   "8051.TBL"
0000          HOF   "INT8"
0000          ORG   0000H

E060 =        USERLED:      EQU   0E060H
E020 =        PORTA:        EQU   0E020H
E021 =        PORTB:        EQU   0E021H
E022 =        PORTC:        EQU   0E022H
E023 =        CTRL:         EQU   0E023H

0060 =        USER_STACK:  EQU   60H
000A =        TIME:         EQU   0AH
000B =        ANGLE:        EQU   0BH
000C =        ENTER:        EQU   0CH
000F =        STARTKEY:     EQU   0FH

0097 =        DECBUF:       EQU   97H
0094 =        RESULT:       EQU   94H
0092 =        ND:           EQU   92H
0090 =        ST:           EQU   90H
008F =        VALUE:        EQU   8FH
0089 =        ANGLEHEX:     EQU   89H
0087 =        TIMEHEX:      EQU   87H
0085 =        ANGLEADD:     EQU   85H
0083 =        TIMEADD:      EQU   83H
0081 =        DISPBUF:      EQU   81H
0080 =        KEYCODE:      EQU   80H

00F0 =        B:            EQU   0F0H
00E0 =        ACC:          EQU   0E0H
00D0 =        PSW:          EQU   0D0H
00D4 =        RS1:          EQU   0D4H
00D3 =        RS0:          EQU   0D3H
00A8 =        IE:           EQU   0A8H
0090 =        P1:           EQU   90H
008C =        TH0:          EQU   8CH
008A =        TLO:          EQU   8AH
0088 =        TCON:         EQU   88H
008C =        TRO:          EQU   8CH
0089 =        TMOD:         EQU   89H
0081 =        SP:           EQU   81H

002F =        LIGHT:        EQU   2FH
007F =        PONL:         EQU   7FH
007D =        ENDL:         EQU   7DH
007C =        ERROR:        EQU   7CH
007B =        OL:           EQU   7BH
007A =        RL:           EQU   7AH
0079 =        AL:           EQU   79H
0078 =        TL:           EQU   78H
002E =        STATUS:       EQU   2EH
0077 =        SaveCarry:    EQU   77H
0075 =        LAST:         EQU   75H
0074 =        SHOWENABLE:   EQU   74H
0073 =        RS:           EQU   73H
0072 =        AS:           EQU   72H
0071 =        TS:           EQU   71H
0070 =        ZERO:         EQU   70H

002D =        DEVSTATUS:    EQU   2DH
006A =        CARRYSUBT:    EQU   6AH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0069 =          CANSUBT:    EQU    69H
0068 =          CARRYDEV3: EQU    68H
002C =          DEVIDEBUF: EQU    2CH
0060 =          CARRYDEV2: EQU    60H
002B =          DEVIDEND2: EQU    2BH
0058 =          CARRYDEV1: EQU    58H
002A =          DEVIDEND1: EQU    2AH
0050 =          CARRYDEVO: EQU    50H
0029 =          DEVIDENDO: EQU    29H
0040 =          CARRYQUOT2: EQU    40H
0028 =          QUOTIENT2: EQU    28H
0038 =          CARRYQUOT1: EQU    38H
0027 =          QUOTIENT1: EQU    27H
0030 =          CARRYQUOTO: EQU    30H
0026 =          QUOTIENTO: EQU    26H

```

```

0000 020033          LJMP 0033H

```

```

0033          ORG 0033H
                ;** CONTROL 8255 **
0033 90E023          MOV DPTR,#CTRL
0036 7488          MOV A,#88H
0038 FO          MOVX @DPTR,A

```

```

0039 7590FF          SETINI: MOV P1,#0FFH
003C 758160          MOV SP,#USER STACK
003F 782E          MOV RO,#STATUS
0041 7600          MOV @RO,#00H
0043 782F          MOV RO,#LIGHT
0045 7600          MOV @RO,#00H
0047 7883          MOV RO,#TIMEADD
0049 7600          MOV @RO,#00H
004B 7884          MOV RO,#TIMEADD+1
004D 7600          MOV @RO,#00H
004F 7885          MOV RO,#ANGLEADD
0051 7600          MOV @RO,#00H
0053 7886          MOV RO,#ANGLEADD+1
0055 7600          MOV @RO,#00H
0057 7881          MOV RO,#DISPBUF
0059 7600          MOV @RO,#00H
005B 7882          MOV RO,#DISPBUF+1
005D 7600          MOV @RO,#00H
005F D27F          SETB PONL
0061 12033C          LCALL ONOFF

```

```

0064 120286          START: LCALL SCANKEY

```

```

0067 7880          MOV RO,#KEYCODE
0069 E6          MOV A,@RO

```

```

006A B40A19          CHECKTIME: CJNE A,#TIME,CHECKANGLE
006D 120200          LCALL INPUTTIME
0070 C274          CLR SHOWENABLE
0072 C278          CLR TL
0074 12033C          LCALL ONOFF
0077 D271          SETB TS
0079 7884          TIMEZERO: MOV RO,#TIMEADD+1
007B E6          MOV A,@RO
007C B4005E          CJNE A,#00H,READY
007F 18          DEC RO
0080 E6          MOV A,@RO
0081 B40059          CJNE A,#00H,READY
0084 8041          SJMP MISTAKE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0086 B40BDB CHECKANGLE: CJNE A,#ANGLE,START
0089 120243 LCALL INPUTANGLE
008C C274 CLR SHOWNABLE
008E C279 CLR AL
0090 12033C LCALL ONOFF
0093 D272 SETB AS
0095 7885 ANGLEBOUND: MOV RO,#ANGLEADD
0097 E6 MOV A,@RO
0098 C3 CLR C
0099 9481 SUBB A,#81H
009B 08 INC RO
009C E6 MOV A,@RO
009D 9401 SUBB A,#01H
009F 4002 JC ANGLEZERO
00A1 8024 SJMP MISTAKE

```

```

00A3 7886 ANGLEZERO: MOV RO,#ANGLEADD+1
00A5 E6 MOV A,@RO
00A6 B40034 CJNE A,#OOH,READY
00A9 18 DEC RO
00AA E6 MOV A,@RO
00AB B4002F CJNE A,#OOH,READY

```

```

;ANGLE = 0
00AE D27A SETB RL
00B0 12033C LCALL ONOFF
00B3 120286 YYY: LCALL SCANKEY
00B6 7880 MOV RO,#KEYCODE
00B8 E6 MOV A,@RO
00B9 B40FF7 CJNE A,#OFH,YYY
00BC C27A CLR RL
00BE 12033C LCALL ONOFF
00C1 759000 MOV P1,#OOH
00C4 0201E7 LJMP GOAL

```

```

00C7 D27C MISTAKE: SETB ERROR
00C9 12033C LCALL ONOFF
00CC 120286 ZZZ: LCALL SCANKEY
00CF 7880 MOV RO,#KEYCODE
00D1 E6 MOV A,@RO
00D2 B40EF7 CJNE A,#OEH,ZZZ
00D5 C27C CLR ERROR
00D7 12033C LCALL ONOFF
Q0DA 020039 LJMP SETINI

```

```

00DD 9277 READY: MOV SaveCarry,C
Q0DF A271 MOV C,TS
00E1 8272 ANL C,AS
00E3 9273 MOV RS,C
00E5 A277 MOV C,SaveCarry
Q0E7 307302 JNB RS,TEMP
00EA 8003 SJMP CHECKSTART
00EC 020064 TEMP: LJMP START

```

```

00EF D27A CHECKSTART: SETB RL
00F1 12033C LCALL ONOFF

```

```

00F4 120286 LCALL SCANKEY

```

```

00F7 7880 MOV RO,#KEYCODE
00F9 E6 MOV A,@RO

```

```

00FA B40F09 CHECKST: CJNE A,#STARTKEY,CHECKT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

00FD C27A          CLR RL
00FF D27B          SETB OL
01Q1 12033C       LCALL ONOFF
0104 801A          SJMP TIMEDECTOHEX
0106 B40A0A       CHECKT: CJNE A,#TIME,CHECKANG
0109 C27A          CLR RL
010B 12033C       LCALL ONOFF
010E C271          CLR TS
0110 02006A       LJMP CHECKTIME
0113 B40BD9       CHECKANG: CJNE A,#ANGLE,CHECKSTART
0116 C27A          CLR RL
0118 12033C       LCALL ONOFF
011B C272          CLR AS
011D 020086       LJMP CHECKANGLE

                    ;** CHANGE DEC TO HEX (TIME) **
0120 7883       TIMEDECTOHEX:MOV RO,#TIMEADD
0122 7997       MOV R1,#DECBUF
0124 120347       LCALL CHANGE
0127 12034E       LCALL DECTOHEX
012A 7890       MOV RO,#ST
012C 7987       MOV R1,#TIMEHEX
012E 120347       LCALL CHANGE

                    ;** CHANGE DEC TO HEX (ANGLE) **
0131 7885       MOV RO,#ANGLEADD
0133 7997       MOV R1,#DECBUF
0135 120347       LCALL CHANGE
0138 12034E       LCALL DECTOHEX
013B 7890       MOV RO,#ST
013D 7989       MOV R1,#ANGLEHEX
013F E6         MOV A,@RO
0140 F7         MOV @R1,A

                    ;** TIME*1000 SAVE IN RESULT **
0141 7887       MOV RO,#TIMEHEX
0143 7990       MOV R1,#ST
0145 120347       LCALL CHANGE
0148 7893       MOV RO,#ND+1
014A 7403       MOV A,#03H
014C F6         MOV @RO,A
014D 18         DEC RO
014E 74E8       MOV A,#0E8H
0150 F6         MOV @RO,A
0151 120396       LCALL MULTIPLY

                    ;** OPEN LOOKUP TABLE(DEVIDER) **
0154 900468     MOV DPTR,#TABLE4
0157 7889       MOV RO,#ANGLEHEX
0159 E6         MOV A,@RO
015A 93         MOVC A,@A+DPTR
015B 788F       MOV RO,#VALUE
015D F6         MOV @RO,A

                    ;** TIME*1000/DEVIDER **
015E 7894       MOV RO,#RESULT
0160 7929       MOV R1,#DEVIDENDO
0162 120347     LCALL CHANGE
0165 08         INC RO
0166 09         INC R1
0167 E6         MOV A,@RO
0168 F7         MOV @R1,A
0169 788F       MOV RO,#VALUE
016B 86F0       MOV B,@RO
016D 1203D7     LCALL DEVIDE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;** MAINPROGRAM(TIMERO) **

```
0170 C2D4      SETMOVINGTIME: CLR RS1      ;(SELECT BANK #0)
0172 C2D3                      CLR RSO
0174 7B03                      MOV R3,#03H      ;LOAD IN BANK #0
0176 7AE8                      MOV R2,#0E8H
0178 7883                      MOV R0,#TIMEADD
017A E6                        MOV A,@R0
017B 540F                      ANL A,#0FH
017D FC                        MOV R4,A
017E E6                        MOV A,@R0
017F C4                        SWAP A
0180 540F                      ANL A,#0FH
0182 FD                        MOV R5,A
0183 08                        INC R0
0184 E6                        MOV A,@R0
0185 540F                      ANL A,#0FH
0187 FE                        MOV R6,A
0188 E6                        MOV A,@R0
0189 C4                        SWAP A
018A 540F                      ANL A,#0FH
018C FF                        MOV R7,A

018D D2D4      MOVINI:      SETB RS1      ;(SELECT BANK #2)
018F C2D3                      CLR RSO
0191 AF28                      MOV R7,QUOTIENT2
0193 AE27                      MOV R6,QUOTIENT1
0195 AD26                      MOV R5,QUOTIENT0
0197 788F                      MOV R0,#VALUE
0199 E6                        MOV A,@R0
019A FC                        MOV R4,A
019B 8C90                      MOV P1,R4

019D 7A09                      MOV R2,#09H

019F E5A8      SETTIMER:  MOV A,IE
01A1 4482                      ORL A,#10000010B
01A3 F5A8                      MOV IE,A
01A5 E589                      MOV A,TMOD
01A7 54F0                      ANL A,#0F0H
01A9 4401                      ORL A,#01H
01AB F589                      MOV TMOD,A
01AD E588                      MOV A,TCON
01AF 54CA                      ANL A,#11001010B
01B1 F588                      MOV TCON,A

01B3 758CFC    STARTTIMER:  MOV TH0,#0FCH
01B6 758A67    MOV TL0,#67H
01B9 D28C      SETB TR0

01BB C2D4      MAIN:      CLR RS1      ;(SELECT BANK #0)
01BD C2D3                      CLR RSO
01BF 7881                      MOV R0,#DISPBUF
01C1 ED                        MOV A,R5
01C2 C4                        SWAP A
01C3 2C                        ADD A,R4
01C4 F6                        MOV @R0,A
01C5 08                        INC R0
01C6 EF                        MOV A,R7
01C7 C4                        SWAP A
01C8 2E                        ADD A,R6
01C9 F6                        MOV @R0,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

01CA D2D4          LOOP:  SETB RS1
01CC C2D3          CLR RS0
01CE BC0004        CJNE R4,#00H,LOOP1
01D1 C28C          CLR TR0
01D3 8012          SJMP GOAL
01D5 1202DD        LOOP1:  LCALL STATDISP
01D8 D2D4          SETB RS1 ;SELECT BANK #2
01DA C2D3          CLR RS0
01DC 900458        MOV DPTR,#TABLE3
01DF EA           MOV A,R2
01E0 93           MOVC A,@A+DPTR
01E1 90E060        MOV DPTR,#USERLED
01E4 F0           MOVX @DPTR,A

01E5 80D4          SJMP MAIN

01E7 C27B          GOAL:  CLR OL
01E9 D27D          SETB ENDL
01EB 12033C        LCALL ONOFF
01EE 90E060        MOV DPTR,#USERLED
01F1 7476          MOV A,#01110110B
01F3 F0           MOVX @DPTR,A
01F4 7881          MOV R0,#DISPBUF
01F6 7600          MOV @R0,#00H
01F8 08           INC R0
01F9 7600          MOV @R0,#00H
01FB 1202DD        LCALL STATDISP
01FE 80E7          SJMP GOAL

0200 D274          INPUTTIME: SETB SHOWNABLE
0202 D278          SETB TL
0204 12033C        LCALL ONOFF

0207 7883          MOV R0,#TIMEADD
0209 7981          MOV R1,#DISPBUF
020B 120347        LCALL CHANGE

020E 120286        LCALL SCANKEY

0211 7880          MOV R0,#KEYCODE
0213 E6           MOV A,@R0

0214 B40D09        CJNE A,#0DH,CHECKE
0217 7883          MOV R0,#TIMEADD
0219 7600          MOV @R0,#00H
021B 08           INC R0
021C 7600          MOV @R0,#00H
021E 80E0          SJMP INPUTTIME
0220 B40E02        CHECKE:  CJNE A,#0EH,CHECKF
0223 80DB          SJMP INPUTTIME
0225 B40F02        CHECKF:  CJNE A,#0FH,CHECKA
0228 80D6          SJMP INPUTTIME
022A B40A02        CHECKA:  CJNE A,#TIME,CHECKB
022D 80D1          SJMP INPUTTIME
022F B40B02        CHECKB:  CJNE A,#ANGLE,CHECKC
0232 80CC          SJMP INPUTTIME
0234 B40C02        CHECKC:  CJNE A,#ENTER,SAVETIME
0237 8009          SJMP FINISHTIME
0239 7883          SAVETIME: MOV R0,#TIMEADD
023B 7984          MOV R1,#TIMEADD+1
023D 1202CE        LCALL SHIFTDIGIT
0240 80BE          SJMP INPUTTIME
0242 22           FINISHTIME: RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

0243 D274      INPUTANGLE:  SETB SHOWENABLE
0245 D279      SETB AL
0247 12033C    LCALL ONOFF

024A 7885      MOV R0,#ANGLEADD
024C 7981      MOV R1,#DISPBUF
024E 120347    LCALL CHANGE

0251 120286    LCALL SCANKEY

0254 7880      MOV R0,#KEYCODE
0256 E6        MOV A,@R0

0257 B40D09    CJNE A,#0DH,CHECKEE
025A 7885      MOV R0,#ANGLEADD
025C 7600      MOV @R0,#00H
025E 08        INC R0
025F 7600      MOV @R0,#00H
0261 80E0      SJMP INPUTANGLE
0263 B40E02    CHECKEE:    CJNE A,#0EH,CHECKFF
0266 80DB      SJMP INPUTANGLE
0268 B40F02    CHECKFF:   CJNE A,#0FH,CHECKBB
026B 80D6      SJMP INPUTANGLE
026D B40B02    CHECKBB:   CJNE A,#ANGLE,CHECKAA
0270 80D1      SJMP INPUTANGLE
0272 B40A02    CHECKAA:   CJNE A,#TIME,CHECKCC
0275 80CC      SJMP INPUTANGLE
0277 B40C02    CHECKCC:   CJNE A,#ENTER,SAVEANGLE
027A 80C6      SJMP FINISHTIME
027C 7885      SAVEANGLE: MOV R0,#ANGLEADD
027E 7986      MOV R1,#ANGLEADD+1
0280 1202CE    LCALL SHIFTDIGIT
0283 80BE      SJMP INPUTANGLE
0285 22        FINISHANGLE: RET

0286 120327    SCANKEY:   LCALL SHOWWHAT
0289 7F04      MOV R7,#04H
028B 7E00      MOV R6,#00H
028D 90E022    MOV DPTR,#PORTC
0290 1202C4    SCAN0:    LCALL SCAN1
0293 7008      JNZ CHECK ; JUMP IF PRESS(A<>0)
0295 0E        INC R6
0296 DFF8      DJNZ R7,SCAN0
0298 80EC      SJMP SCANKEY

029A 120327    LCALL SHOWWHAT

029D FD        CHECK:     MOV R5,A ;SAVE KEY
029E 1202C4    LCALL SCAN1
02A1 6D        XRL A,R5
02A2 6005      JZ DECODE;SAME
02A4 0E        INC R6
02A5 DFE9      DJNZ R7,SCAN0
02A7 80DD      SJMP SCANKEY

02A9 7CFE      DECODE:   MOV R4,#OFFH
02AB ED        MOV A,R5
02AC 0C      DECODE1:  INC R4
02AD 13        RRC A
02AE 50FC      JNC DECODE1
02B0 EC        MOV A,R4
02B1 23        RL A
02B2 23        RL A
02B3 2E        ADD A,R6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

02B4 900438      MOV DPTR,#TABLE1
02B7 93          MOV A,@A+DPTR
02B8 7880       MOV R0,#KEYCODE
02BA F6         MOV @R0,A
02BB 120327     UNPRESS: LCALL SHOWWHAT
02BE 1202C4     LCALL SCAN1
02C1 70F8       JNZ UNPRESS
02C3 22         RET

02C4 EE        SCAN1: MOV A,R6
02C5 44F0       ORL A,#0FOH
02C7 F0        MOVX @DPTR,A
02C8 E0        MOVX A,@DPTR
02C9 C4        SWAP A
02CA 44F0       ORL A,#0FOH
02CC F4        CPL A ; PRESS <> 0, UNPRESS = 0
02CD 22        RET

02CE E7        SHIFTDIGIT: MOV A,@R1
02CF C4        SWAP A
02D0 F7        MOV @R1,A
02D1 E6        MOV A,@R0
02D2 C4        SWAP A
02D3 F6        MOV @R0,A
02D4 D7        XCHD A,@R1
02D5 7980       MOV R1,#KEYCODE
02D7 D7        XCHD A,@R1
02D8 F6        MOV @R0,A;SAVE OLD KEYCODE
02D9 540F       ANL A,#0FH
02DB F7        MOV @R1,A
02DC 22        RET

02DD C2D4       STATDISP: CLR RS1 ;SELECT BANK #1
02DF D2D3       SETB RS0
02E1 7882       MOV R0,#DISPBUF+1
02E3 7F02       MOV R7,#02H
02E5 7E04       MOV R6,#04H
02E7 C270       CLR ZERO
02E9 C275       CLR LAST
02EB E6        DISPLAY: MOV A,@R0
02EC C4        SWAP A
02ED 540F       ANL A,#0FH
02EF 1202FD     LCALL SHOW
02F2 0E        INC R6
02F3 E6        MOV A,@R0
02F4 540F       ANL A,#0FH
02F6 1202FD     LCALL SHOW
02F9 0E        INC R6
02FA 18        DEC R0
02FB DFEE       DJNZ R7,DISPLAY
02FD BE0704     SHOW: CJNE R6,#7H,CHECKZERO
0300 D275       SETB LAST
0302 8005       SJMP SHOW1
0304 7003       CHECKZERO: JNZ SHOW1
0306 30701D     JNB ZERO,FINISH
0309 D270       SHOW1: SETB ZERO
030B 900448     MOV DPTR,#TABLE2
030E 93        MOV A,@A+DPTR
030F 307502     JNB LAST,ABC
0312 4401       ORL A,#00000001B
0314 90E020     ABC: MOV DPTR,#PORTA
0317 F0        MOVX @DPTR,A ;SEND SEGMENT
0318 90E022     MOV DPTR,#PORTC
031B EE        MOV A,R6
031C F0        MOVX @DPTR,A ;SEND COMMON

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

031D 120337          LCALL DELAY

0320 90E022          MOV DPTR,#PORTC
0323 7408             MOV A,#08H
0325 F0              MOVX @DPTR,A ; OFF COMMON
0326 22              FINISH:  RET

0327 D2D3            SHOWWHAT: SETB OD3H ; (SELECT BANK #1)
0329 307405          JNB SHOWENABLE,TOA
032C 1202DD          LCALL STATDISP
032F 8003            SJMP TOB
0331 120337          TOA:    LCALL DELAY
0334 C2D3            TOB:    CLR OD3H ; (RETURN TO BANK #0)
0336 22              RET

0337 7B7F            DELAY:  MOV R3,#7FH
0339 DBFE            DELAY1: DJNZ R3,DELAY1
033B 22              RET

033C C0E0            ONOFF:  PUSH OEOH
033E 90E021          MOV DPTR,#PORTB
0341 E52F            MOV A,LIGHT
0343 F0              MOVX @DPTR,A
0344 D0E0            POP OEOH
0346 22              RET

; MOVE FROM R0 TO R1
0347 E6              CHANGE:  MOV A,@R0
0348 F7              MOV @R1,A
0349 08              INC R0
034A 09              INC R1
034B E6              MOV A,@R0
034C F7              MOV @R1,A
034D 22              RET

034E 7890            DECTOHEX: MOV R0,#ST
0350 7600            MOV @R0,#00H
0352 08              INC R0
0353 7600            MOV @R0,#00H
0355 7892            MOV R0,#ND
0357 760A            MOV @R0,#0AH
0359 08              INC R0
035A 7600            MOV @R0,#00H

035C 7898            MOV R0,#DECBUF+1
035E E6              MOV A,@R0
035F C4              SWAP A
0360 12037E          LCALL FOUETIME
0363 7898            MOV R0,#DECBUF+1
0365 E6              MOV A,@R0
0366 12037E          LCALL FOUETIME
0369 7897            MOV R0,#DECBUF
036B E6              MOV A,@R0
036C C4              SWAP A
036D 12037E          LCALL FOUETIME
0370 7897            MOV R0,#DECBUF
0372 E6              MOV A,@R0
0373 540F            ANL A,#0FH
0375 7990            MOV R1,#ST
0377 27              ADD A,@R1
0378 F7              MOV @R1,A
0379 09              INC R1
037A E4              CLR A
037B 37              ADDC A,@R1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

037C F7          MOV @R1,A
037D 22          RET

037E 540F        FOURTIME: ANL A,#0FH
0380 7990        MOV R1,#ST
0382 27          ADD A,@R1
0383 F7          MOV @R1,A
0384 09          INC R1
0385 E4          CLR A
0386 37          ADDC A,@R1
0387 F7          MOV @R1,A
0388 120396      LCALL MULTIPLY
038B 7894        MOV RO,#RESULT
038D 7990        MOV R1,#ST
038F E6          MOV A,@RO
0390 F7          MOV @R1,A
0391 08          INC RO
0392 09          INC R1
0393 E6          MOV A,@RO
0394 F7          MOV @R1,A
0395 22          RET

0396 7400        MULTIPLY: MOV A,#00H
0398 7894        MOV RO,#RESULT
039A F6          MOV @RO,A
039B 08          INC RO
039C F6          MOV @RO,A
039D 08          INC RO
039E F6          MOV @RO,A

039F 7890        MOV RO,#ST
03A1 7992        MOV R1,#ND
03A3 E6          MOV A,@RO
03A4 87F0        MOV B,@R1
03A6 A4          MUL AB
03A7 7894        MOV RO,#RESULT
03A9 F6          MOV @RO,A
03AA 08          INC RO
03AB A6F0        MOV @RO,B

03AD 7891        MOV RO,#ST+1
03AF E6          MOV A,@RO
03B0 87F0        MOV B,@R1
03B2 A4          MUL AB
03B3 7895        MOV RO,#RESULT+1
03B5 26          ADD A,@RO
03B6 F6          MOV @RO,A
03B7 08          INC RO
03B8 E5F0        MOV A,B
03BA 36          ADDC A,@RO
03BB F6          MOV @RO,A

03BC 09          INC R1

03BD 7890        MOV RO,#ST
03BF E6          MOV A,@RO
03C0 87F0        MOV B,@R1
03C2 A4          MUL AB
03C3 7895        MOV RO,#RESULT+1
03C5 26          ADD A,@RO
03C6 F6          MOV @RO,A
03C7 08          INC RO
03C8 E5F0        MOV A,B
03CA 36          ADDC A,@RO
03CB F6          MOV @RO,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Q3CC 7891          MOV RO,#ST+1
Q3CE E6            MOV A,@RO
Q3CF 87F0         MOV B,@R1
Q3D1 A4           MUL AB
Q3D2 7896         MOV RO,#RESULT+2
Q3D4 26           ADD A,@RO
Q3D5 F6           MOV @RO,A
Q3D6 22           RET

Q3D7 7F18         DEVIDE: MOV R7,#18H ; (R7 IS THE PROGRAM
COUNTER)
Q3D9 752D00       MOV DEVSTATUS,#00H
Q3DC 752C00       MOV DEVIDEBUF,#00H
Q3DF 752800       MOV QUOTIENT2,#00H
Q3E2 752700       MOV QUOTIENT1,#00H
Q3E5 752600       MOV QUOTIENT0,#00H
Q3E8 E5F0         MOV A,B
Q3EA B40002       CJNE A,#00H,ROTATE1
Q3ED 8048         SJMP ERROR1
Q3EF E52C         ROTATE1: MOV A,DEVIDEBUF
Q3F1 33           RLC A
Q3F2 9268         MOV CARRYDEV3,C
Q3F4 F52C         MOV DEVIDEBUF,A
Q3F6 E52B         MOV A,DEVIDEND2
Q3F8 33           RLC A
Q3F9 9260         MOV CARRYDEV2,C
Q3FB F52B         MOV DEVIDEND2,A
Q3FD E52A         MOV A,DEVIDEND1
Q3FF 33           RLC A
Q400 9258         MOV CARRYDEV1,C
Q402 F52A         MOV DEVIDEND1,A
Q404 E529         MOV A,DEVIDENDO
Q406 C3           CLR C
Q407 33           RLC A
Q408 9250         MOV CARRYDEVO,C
Q40A F529         MOV DEVIDENDO,A
Q40C E52C         SUBTRACT: MOV A,DEVIDEBUF
Q40E C3           CLR C
Q40F 95F0         SUBB A,B
Q411 5005         JNC SETUP

Q413 206802       CHECKCARRY: JB CARRYDEV3,SETUP
Q416 8004         SJMP ROTATE2
Q418 F52C         SETUP: MOV DEVIDEBUF,A
Q41A D269         SETB CANSUBT
Q41C E528         ROTATE2: MOV A,QUOTIENT2
Q41E 33           RLC A
Q41F F528         MOV QUOTIENT2,A
Q421 E527         MOV A,QUOTIENT1
Q423 33           RLC A
Q424 9240         MOV CARRYQUOT2,C
Q426 F527         MOV QUOTIENT1,A
Q428 E526         MOV A,QUOTIENT0
Q42A 33           RLC A
Q42B 9238         MOV CARRYQUOT1,C
Q42D F526         MOV QUOTIENT0,A
Q42F A269         MOV C,CANSUBT
Q431 9230         MOV CARRYQUOT0,C
Q433 C269         CLR CANSUBT
Q435 DFB8         DJNZ R7,ROTATE1
Q437 22           ERROR1: RET

Q438 0708090A     TABLE1: DFB 07H,08H,09H,0AH
Q43C 0405060B     DFB 04H,05H,06H,0BH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0440 0102030C	DFB 01H,02H,03H,0CH
0444 000F0E0D	DFB 00H,0FH,0EH,0DH
0448 FC60DAF2	TABLE2: DFB 0FCH,060H,0DAH,0F2H ;TABLE OF 7-
SEMENT (MINE)	
044C 66B6BEE0	DFB 066H,0B6H,0BEH,0EOH
0450 FEF6EE3E	DFB 0FEH,0F6H,0EEH,03EH
0454 9C7A9E8E	DFB 09CH,07AH,09EH,08EH
0458 3F065B4F	TABLE3: DFB 3FH,06H,5BH,4FH ;TABLE OF 7-
SEGMENT	
045C 666D7D07	DFB 66H,6DH,7DH,07H
0460 7F6F777C	DFB 7FH,6FH,77H,7CH
0464 395E7971	DFB 39H,5EH,79H,71H
0468 0002030406	TABLE4: DFB
00H,02H,03H,04H,06H,07H,09H,0AH,0BH,0DH	
0472 0E10111214	DFB
0EH,10H,11H,12H,14H,15H,17H,18H,1AH,1BH	
047C 1C1E1F2122	DFB
1CH,1EH,1FH,21H,22H,23H,25H,26H,28H,29H	
0486 2B2C2D2F30	DFB
2BH,2CH,2DH,2FH,30H,32H,33H,34H,36H,37H	
0490 393A3C3D3F	DFB
39H,3AH,3CH,3DH,3FH,40H,41H,43H,44H,46H	
049A 47494A4B4D	DFB
47H,49H,4AH,4BH,4DH,4EH,4FH,51H,52H,54H	
04A4 5556585A5B	DFB
55H,56H,58H,5AH,5BH,5CH,5EH,5FH,60H,62H	
04AE 6365666769	DFB
63H,65H,66H,67H,69H,6AH,6CH,6DH,6FH,70H	
04B8 7173747677	DFB
71H,73H,74H,76H,77H,78H,7AH,7BH,7DH,7EH	
04C2 8081828485	DFB
80H,81H,82H,84H,85H,87H,88H,89H,8BH,8CH	
04CC 8E8F919293	DFB
8EH,8FH,91H,92H,93H,95H,96H,98H,99H,9AH	
04D6 9C9D9FA0A2	DFB
9CH,9DH,9FH,0A0H,0A2H,0A3H,0A4H,0A6H,0A7H,0A9H	
04E0 AAABACADBO	DFB
0AAH,0ABH,0ACH,0ADH,0BOH,0B1H,0B3H,0B4H,0B5H,0B7H	
04EA B8BABBBCBE	DFB
0B8H,0BAH,0BBH,0BCH,0BEH,0BFH,0C1H,0C2H,0C4H,0C5H	
04F4 C6C8C9CBCC	DFB
0C6H,0C8H,0C9H,0CBH,0CCH,0CDH,0CFH,0DOH,0D2H,0D3H	
04FE D5D6D7D9DA	DFB
0D5H,0D6H,0D7H,0D9H,0DAH,0DCH,0DDH,0DEH,0EOH,0E1H	
0508 E3E4E6E7E8	DFB
0E3H,0E4H,0E6H,0E7H,0E8H,0EAH,0EBH,0EDH,0EEH,0EFH	
0512 F1F3F4F5F7	DFB
0F1H,0F3H,0F4H,0F5H,0F7H,0F8H,0F9H,0FBH,0FCH,0FEH,0FFH	
000B	ORG 000BH
000B 021000	LJMP 1000H
1000	ORG 1000H
1000 121509	TSTART: LCALL RELOAD ; 2 CYCLES
1003 COD0	PUSH PSW
1005 COE0	PUSH ACC
1007 D2D4	SETB RS1 ; SELECT BANK #2
1009 C2D3	CLR RS0
100B BF0014	LOOPIN: CJNE R7,#00H,DECREMENT1
100E BE0011	CJNE R6,#00H,DECREMENT1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1011 BD010E      CJNE R5,#01H,DECREMENT1
1014 1C          DEC R4
1015 8C90       MOV P1,R4
1017 121500     LCALL AAAAA
101A AF28       MOV R7,QUOTIENT2
101C AE27       MOV R6,QUOTIENT1
101E AD26       MOV R5,QUOTIENT0
1020 8000       SJMP DECREMENT1

1022 C3          DECREMENT1: CLR C
1023 ED          MOV A,R5
1024 9401       SUBB A,#01H
1026 FD          MOV R5,A
1027 EE          MOV A,R6
1028 9400       SUBB A,#00H
102A FE          MOV R6,A
102B EF          MOV A,R7
102C 9400       SUBB A,#00H
102E FF          MOV R7,A

102F C2D3       CLR R50 ; (SELECT BANK #0)
1031 C2D4       CLR R51
1033 BB0028     DEC1:  CJNE R3,#00H,DEC2
1036 BA0125     CJNE R2,#01H,DEC2
1039 7B03       MOV R3,#03H
103B 7AE8       MOV R2,#0E8H

103D BC0012     DECBCD: CJNE R4,#00H,ONE
1040 7C09       MOV R4,#09H
1042 BD0010     CJNE R5,#00H,TEN
1045 7D09       MOV R5,#09H
1047 BE000E     CJNE R6,#00H,HUNDRED
104A 7E09       MOV R6,#09H
104C BF000C     CJNE R7,#00H,THOUSAND
104F 0201E7     LJMP GOAL

1052 1C          ONE:  DEC R4
1053 8009       SJMP DEC2
1055 1D          TEN:   DEC R5
1056 8006       SJMP DEC2
1058 1E          HUNDRED: DEC R6
1059 8003       SJMP DEC2
105B 1F          THOUSAND: DEC R7
105C 8000       SJMP DEC2

105E C3          DEC2:  CLR C
105F EA          MOV A,R2
1060 9401       SUBB A,#01H
1062 FA          MOV R2,A
1063 EB          MOV A,R3
1064 9400       SUBB A,#00H
1066 FB          MOV R3,A

1067 DOE0       POP ACC
1069 DOD0       POP PSW

106B 32         RETI

1500             ORG 1500H

1500 BA0004     AAAAA: CJNE R2,#00H,BBBB
1503 7A09       MOV R2,#09H
1505 8001       SJMP CCCC
1507 1A          BBBB: DEC R2
1508 22         CCCC: RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1509 00	RELOAD:	NOP	; 1 CYCLE
150A 00		NOP	; 1 CYCLE
150B C28C		CLR TRO	; 1 CYCLE
150D 758CFC		MOV TH0,#0FCH	; 2 CYCLES
1510 758A70		MOV TLO,#070H	; 2 CYCLES
1513 D28C		SETB TRO	; 1 CYCLE
1515 22		RET	
0000		END	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1500	AAAA	0314	ABC	00E0	ACC
0079	AL	000B	ANGLE	0085	ANGLEADD
0095	ANGLEBOUND	0089	ANGLEHEX	00A3	ANGLEZERO
0072	AS	00F0	B	1507	BBBB
0069	CANSUBT	0050	CARRYDEVO	0058	CARRYDEV1
0060	CARRYDEV2	0068	CARRYDEV3	0030	CARRYQUOT0
0038	CARRYQUOT1	0040	CARRYQUOT2	006A	CARRYSUBT
1508	CCCC	0347	CHANGE	029D	CHECK
022A	CHECKA	0272	CHECKAA	0113	CHECKANG
0086	CHECKANGLE	022F	CHECKB	026D	CHECKBB
0234	CHECKC	0413	CHECKCARRY	0277	CHECKCC
0220	CHECKE	0263	CHECKEE	0225	CHECKF
0268	CHECKFF	00FA	CHECKST	00EF	CHECKSTART
0106	CHECKT	006A	CHECKTIME	0304	CHECKZERO
E023	CTRL	1033	DEC1	105E	DEC2
103D	DECB CD	0097	DECBUF	02A9	DECODE
02AC	DECODE1	1022	DECREMENT1	034E	DECTOHEX
0337	DELAY	0339	DELAY1	03D7	DEVIDE
002C	DEVIDEBUF	0029	DEVIDENDO	002A	DEVIDEND1
002B	DEVIDEND2	002D	DEVSTATUS	0081	DISPBUF
02EB	DISPLAY	007D	ENL	000C	ENTER
007C	ERROR	0437	ERROR1	0326	FINISH
0285	FINISHANGLE	0242	FINISHTIME	037E	FOURTIME
01E7	GOAL	1058	HUNDRED	00A8	IE
0243	INPUTANGLE	0200	INPUTTIME	0080	KEYCODE
0075	LAST	002F	LIGHT	01CA	LOOP
01D5	LOOP1	100B	LOOPIN	01BB	MAIN
00C7	MISTAKE	018D	MOVINI	0396	MULTIPLY
Q092	ND	007B	OL	1052	ONE
033C	ONOFF	0090	P1	007F	PONL
E020	PORTA	E021	PORTB	E022	PORTC
00D0	PSW	0026	QUOTIENT0	0027	QUOTIENT1
0028	QUOTIENT2	00DD	READY	1509	RELOAD
0094	RESULT	007A	RL	03EF	ROTATE1
041C	ROTATE2	0073	RS	00D3	RS0
00D4	RS1	027C	SAVEANGLE	0077	SAVECARRY
0239	SAVETIME	0290	SCANO	02C4	SCAN1
0286	SCANKEY	0039	SETINI	0170	SETMOVINGTIME
019F	SETTIMER	0418	SETUP	02CE	SHIFTDIGIT
02FD	SHOW	0309	SHOW1	0074	SHOWENABLE
0327	SHOWWHAT	0081	SP	0090	ST
0064	START	000F	STARTKEY	01B3	STARTTIMER
02DD	STATDISP	002E	STATUS	040C	SUBTRACT
0438	TABLE1	0448	TABLE2	0458	TABLE3
0468	TABLE4	0088	TCON	00EC	TEMP
1055	TEN	008C	THO	105B	THOUSAND
000A	TIME	0083	TIMEADD	0120	TIMEDECTOHEX
0087	TIMEHEX	0079	TIMEZERO	0078	TL
008A	TLO	0089	TMOD	0331	TOA
0334	TOB	008C	TRO	0071	TS
1000	TSTART	02BB	UNPRESS	E060	USERLED
0060	USER_STACK	008F	VALUE	00B3	YYY
0070	ZERO	00CC	ZZZ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

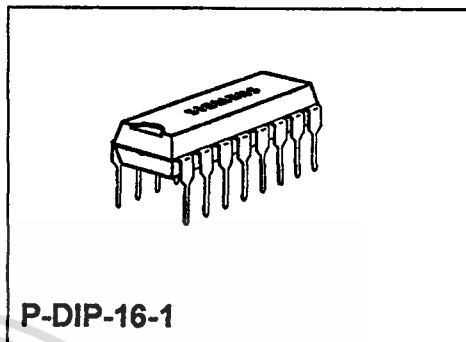
Phase Control IC

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



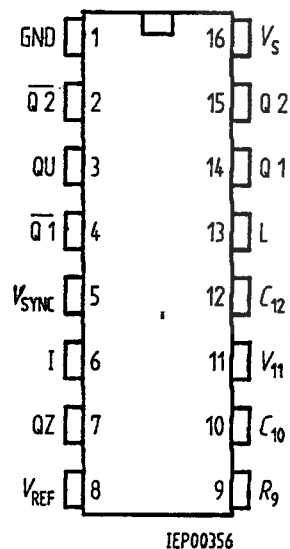
Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

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	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q2}$	Output 2 inverted
3	QU	Output U
4	$\overline{Q2}$	Output 1 inverted
5	V_{SYNC}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	QZ	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V_S	Supply voltage



Pin Configuration (top view)

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 φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0 to 180.

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

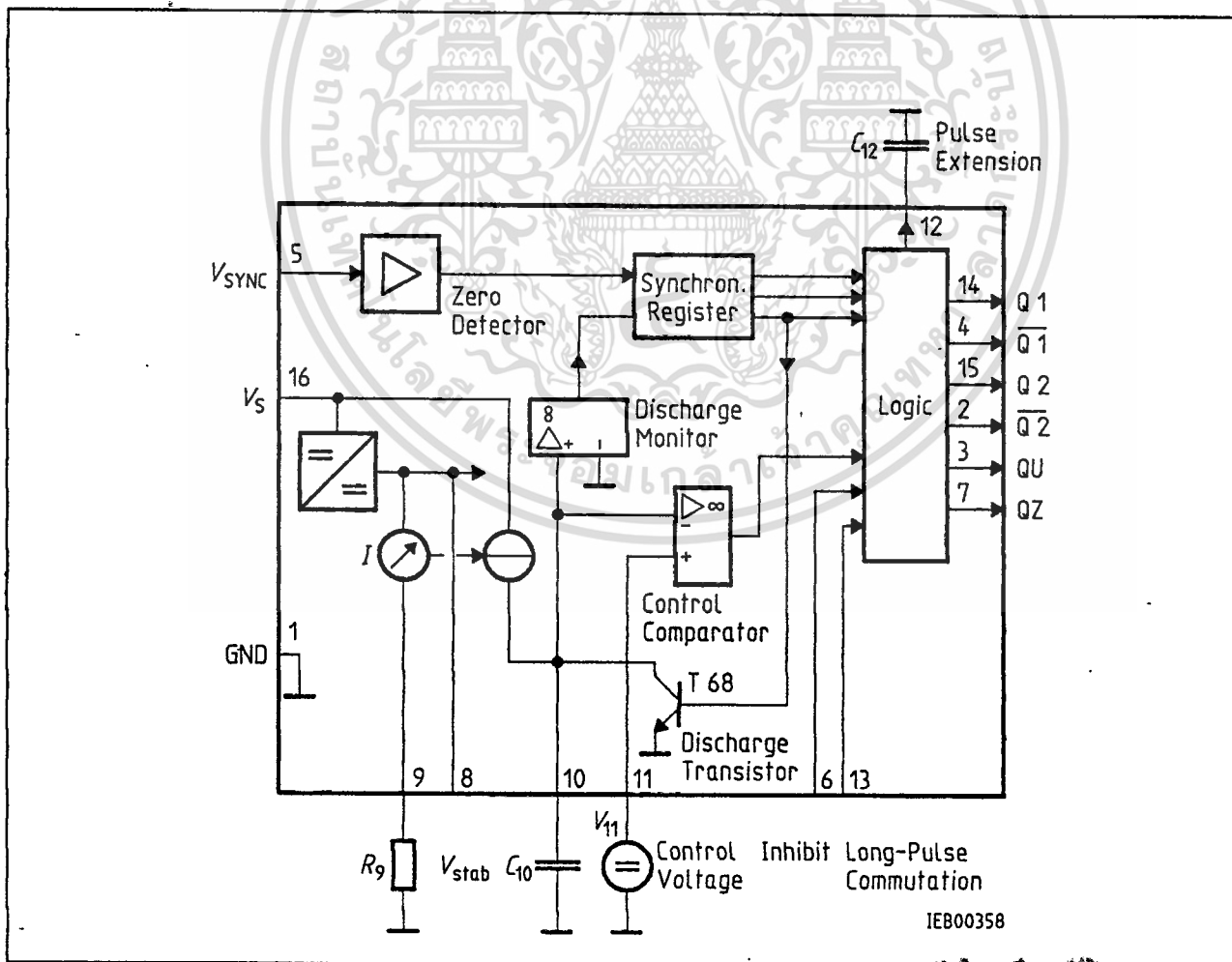
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of $\varphi + 180$ 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).

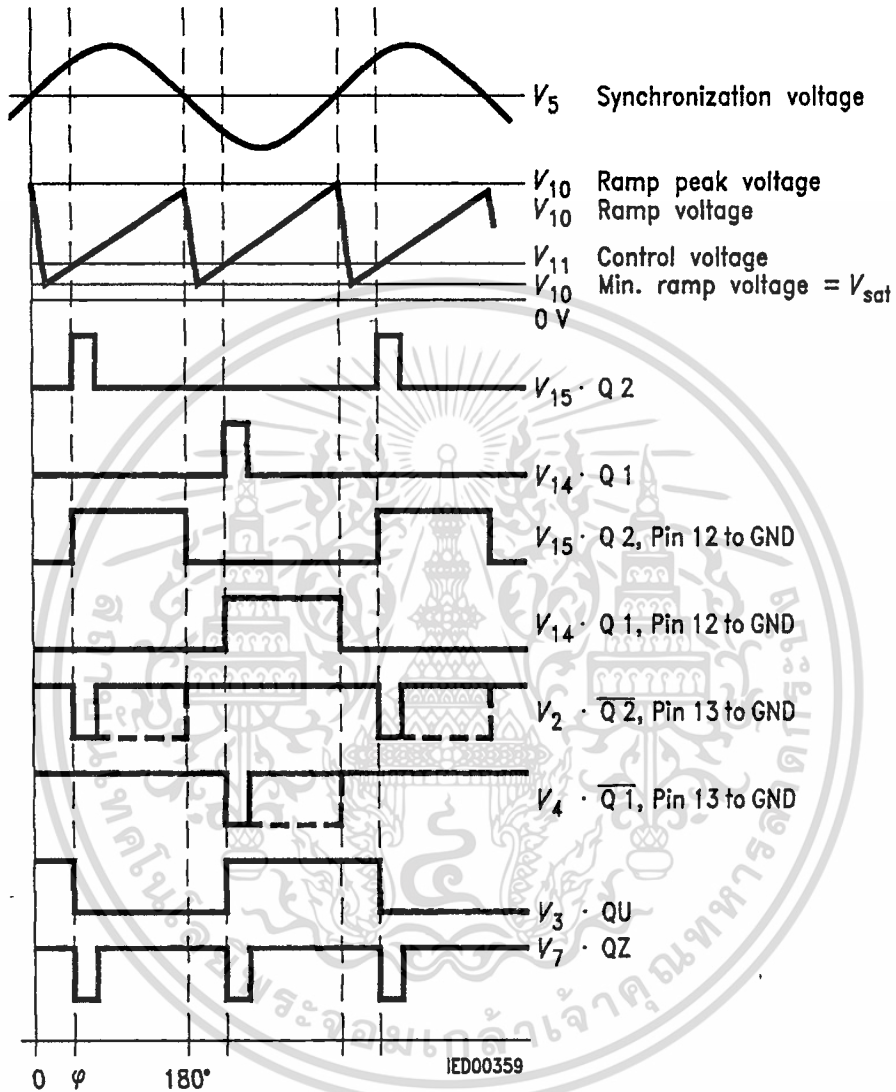
The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$.

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



Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Semiconductor Group อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 2 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pulse Diagram

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_a	- 10	400	mA
Inhibit voltage	V_6	- 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	V_5	- 200	± 200	μA
Output voltage at pin 14, 15	V_Q		V_s	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_a		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_Q		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	$I_{5 rms}$	30		200	μA	1
Offset voltage	ΔV_5		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	V_{11}	0.2		$V_{10, peak}$	V	1
Input resistance	R_{11}		15		$k\Omega$	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Characteristics (cont'd)

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	I_{10}	10		1000	μA	
Max. ramp voltage	V_{10}			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	V_{10}	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	R_9	3		300	k Ω	1
Sawtooth return time	t_r		80		μs	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	μs	1
Input current	I_{8H}		500	800	μA	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	μA	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, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		± 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	μA	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CEO}			10	μA	2.6
$V_0 = V_s$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_0 = 2 \text{ mA}$						

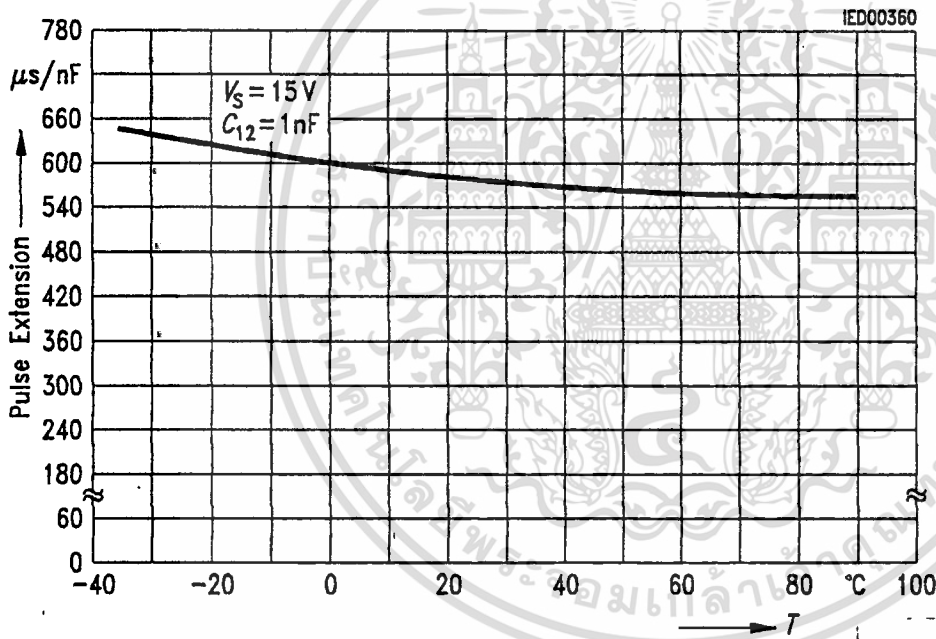
Characteristics (cont'd) $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ C} \leq T_A \leq 85 \text{ C}; f = 50 \text{ Hz}$

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

Application Hints for External Components

		min		max	
Ramp capacitance	C_{10}	500 pF		$1 \mu\text{F}^{1)}$	The minimum and maximum values of I_{10} are to be observed
Triggering point	$t_{Tr} =$	$\frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$		2)	
Charge current	$I_{10} =$	$\frac{V_{REF} \times K}{R_9}$		2)	Ramp voltage $V_{10 \max} = V_S - 2 \text{ V}$ $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ 2)

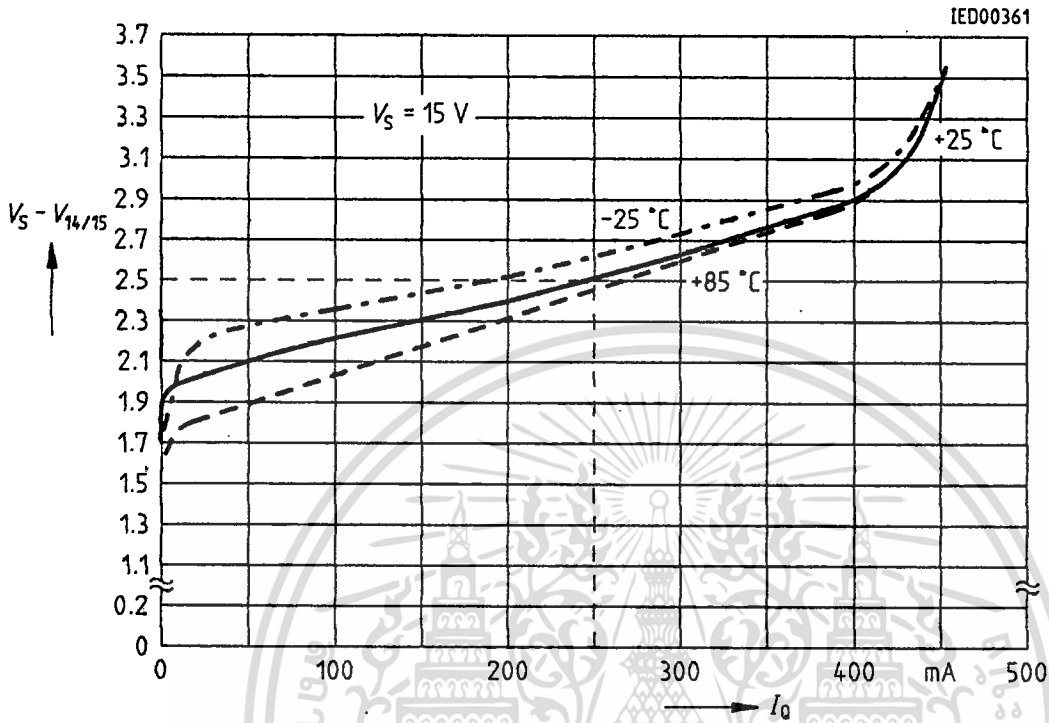
Pulse Extension versus Temperature



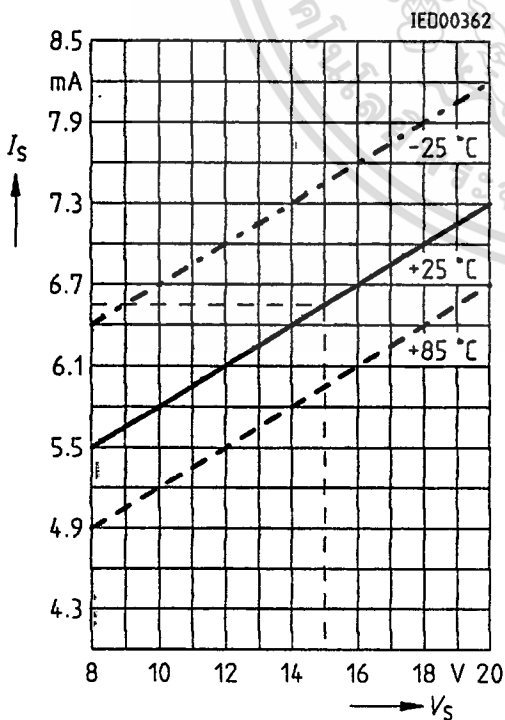
1) Attention to flyback times

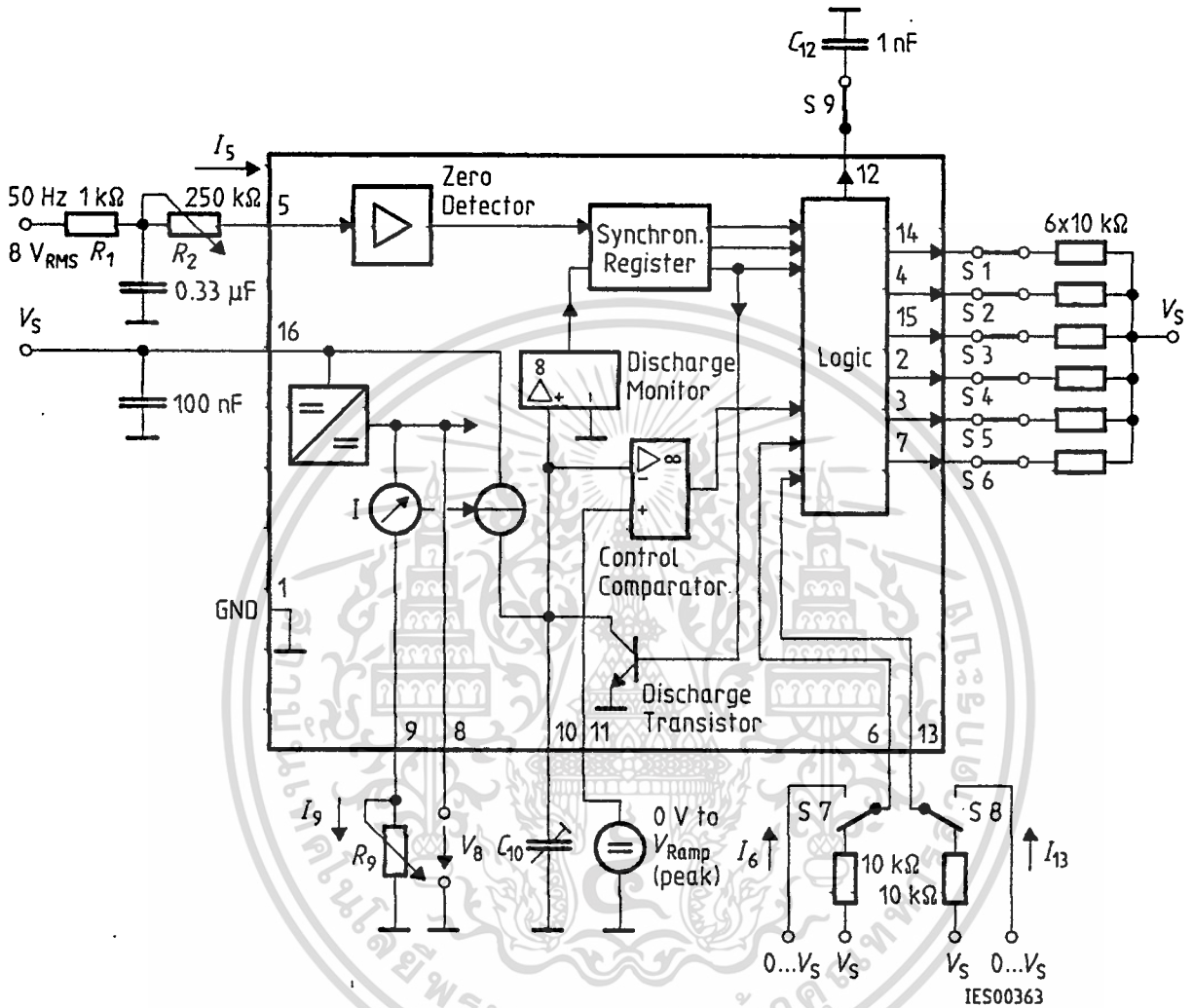
2) $K = 1.10 \pm 20\%$

Output Voltage measured to + V_S



Supply Current versus Supply Voltage



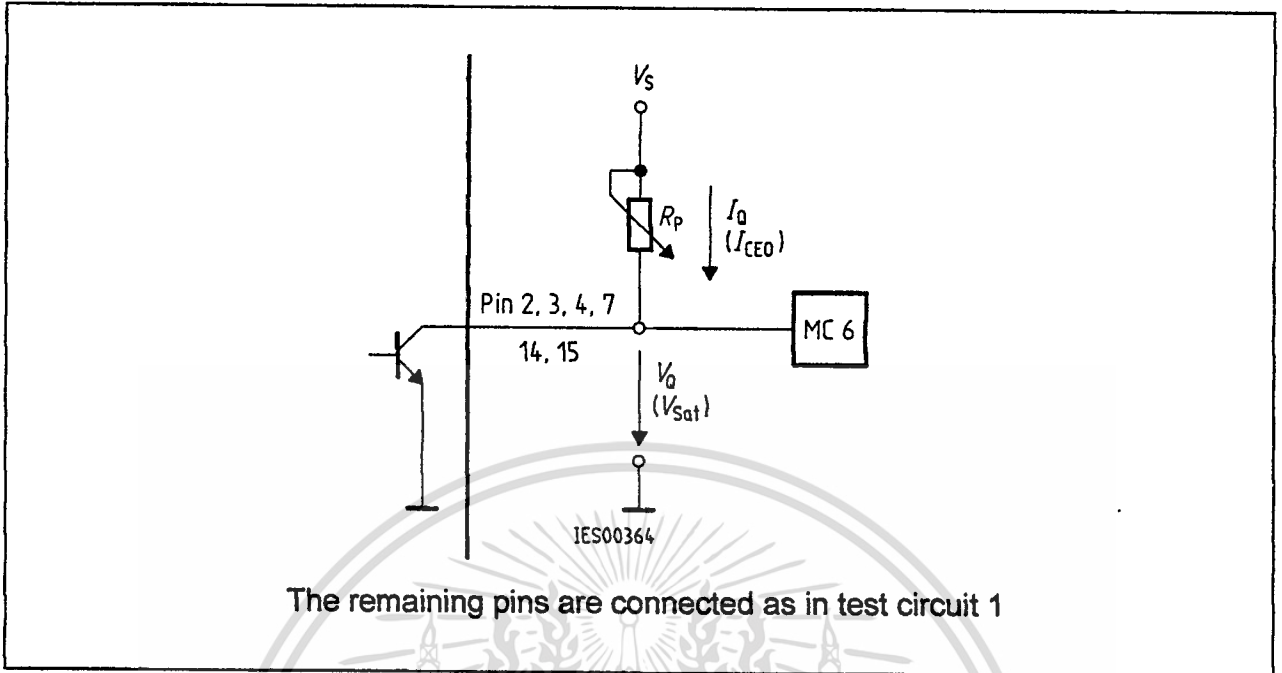


It is necessary for all measurements to adjust the ramp with the aid of C_{10} and R_9 in the way that $3\text{ V} \leq V_{\text{ramp max}} \leq V_S - 2\text{ V}$
 e.g. $C_{10} = 47\text{ nF}$; 18 V : $R_9 = 47\text{ k}\Omega$; 8 V : $R_9 = 120\text{ k}\Omega$

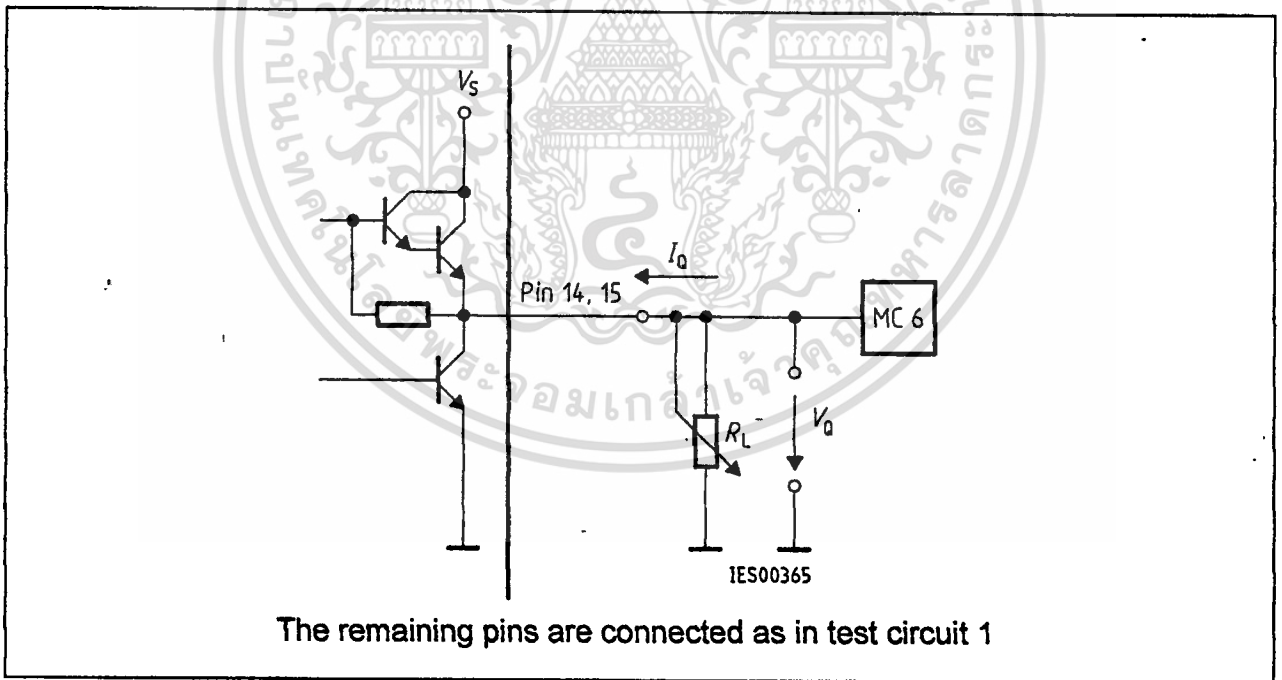
Test Circuit 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

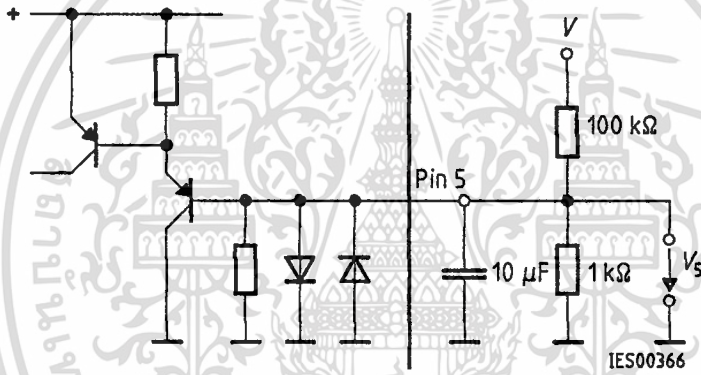
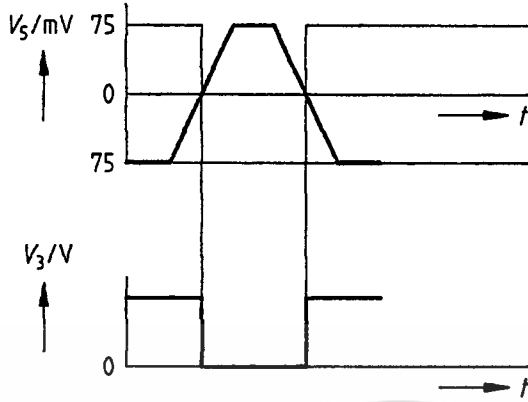
Semiconductor Group อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 9 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Test Circuit 2

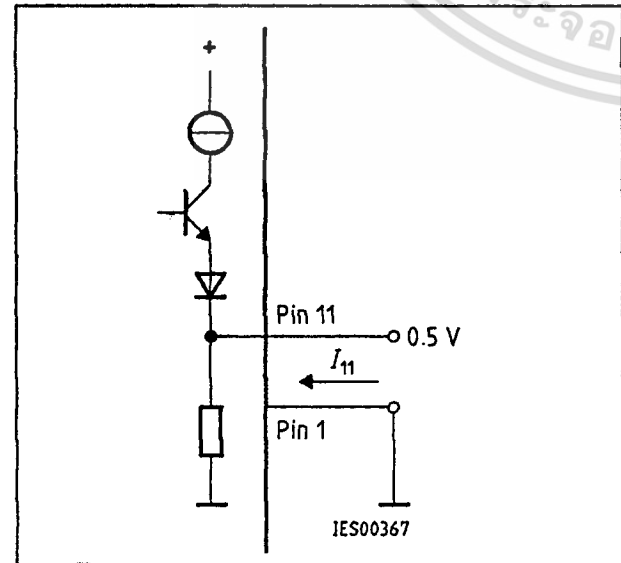


Test Circuit 3

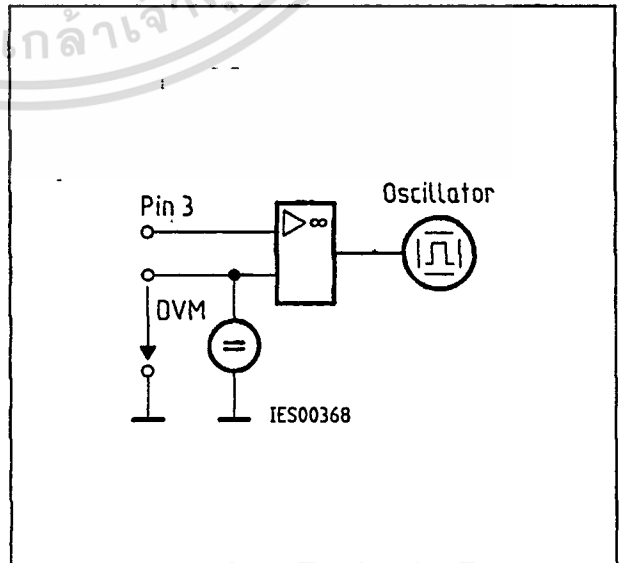


Remaining pins are connected as in test circuit 1
The $10\text{ }\mu\text{F}$ capacitor at pin 5 serves only for test purposes

Test Circuit 4

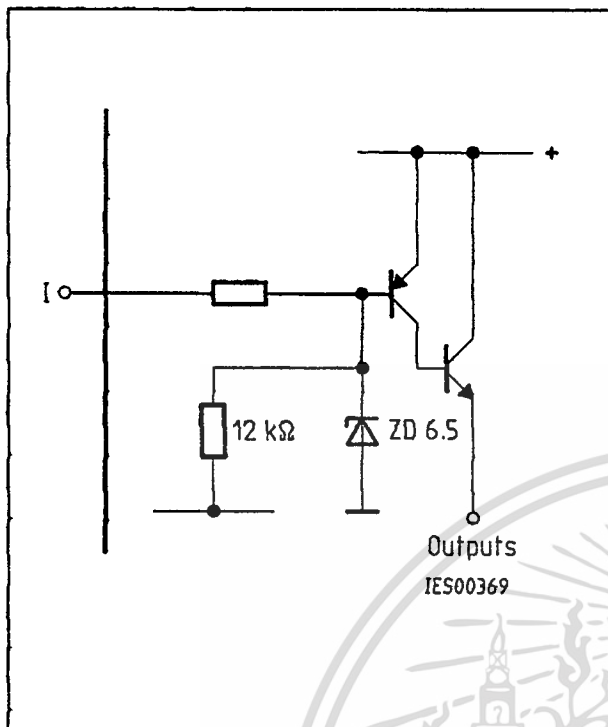


Test Circuit 5

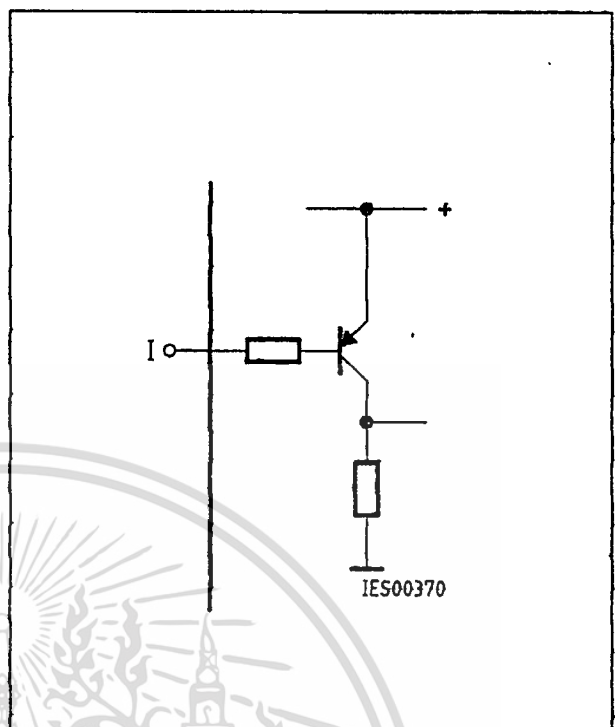


Test Circuit 6

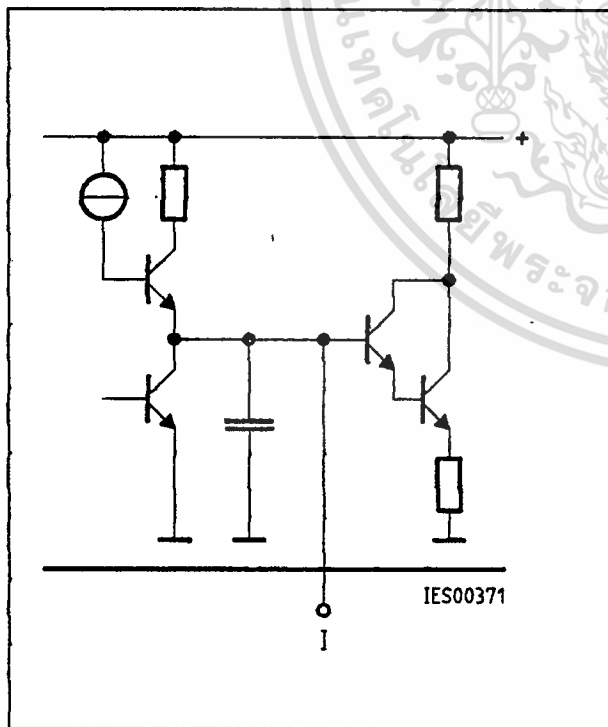
เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ... อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



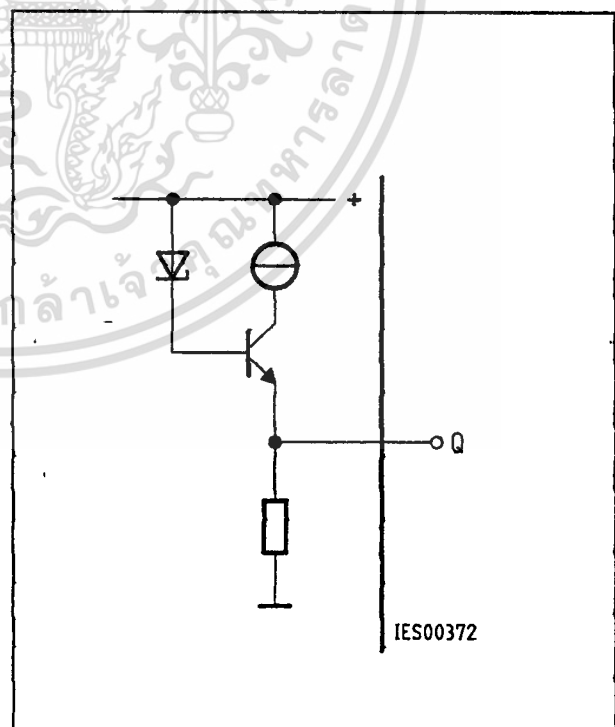
Inhibit 6



Long Pulse 13



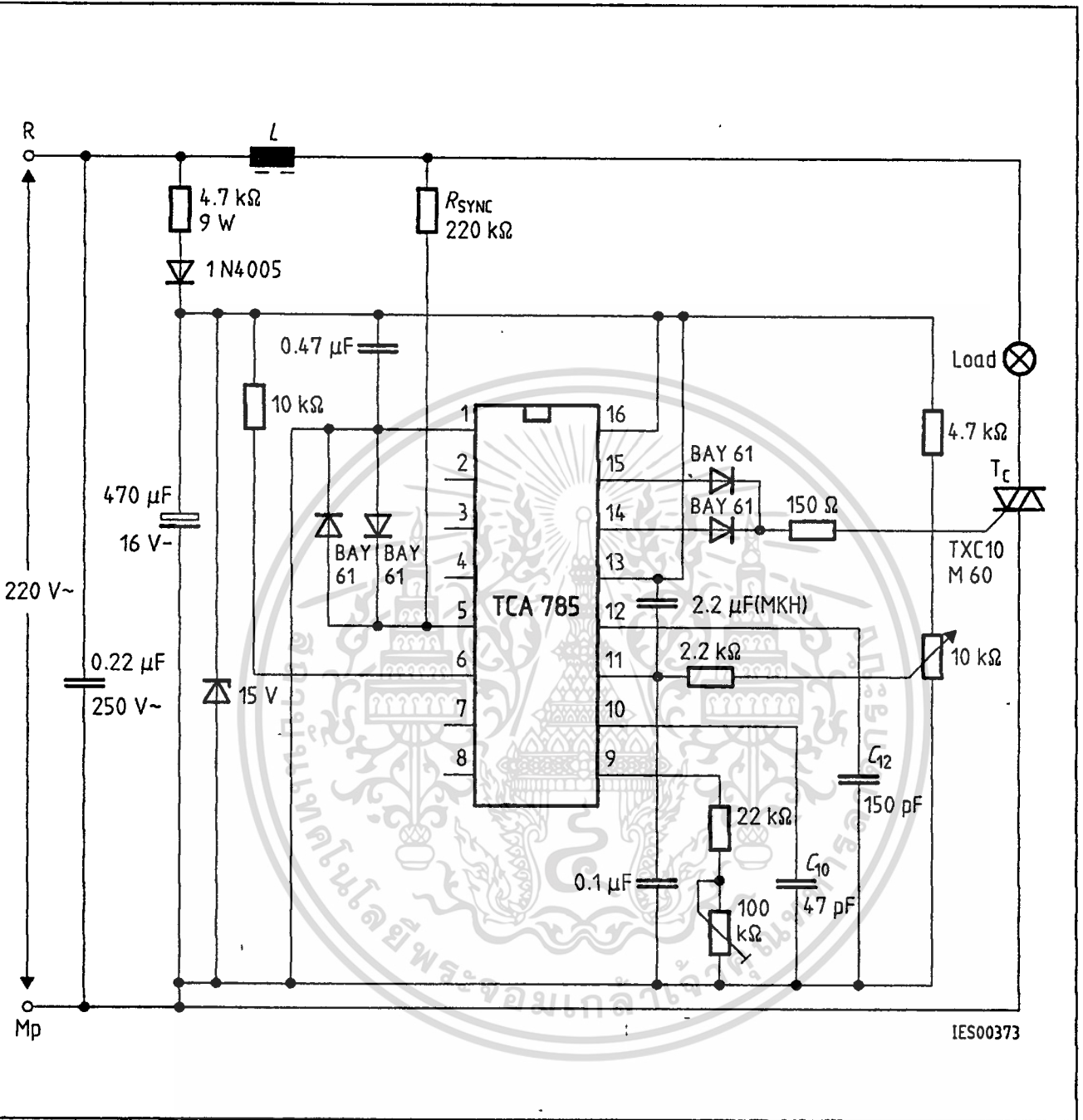
Pulse Extension 12



Reference Voltage 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

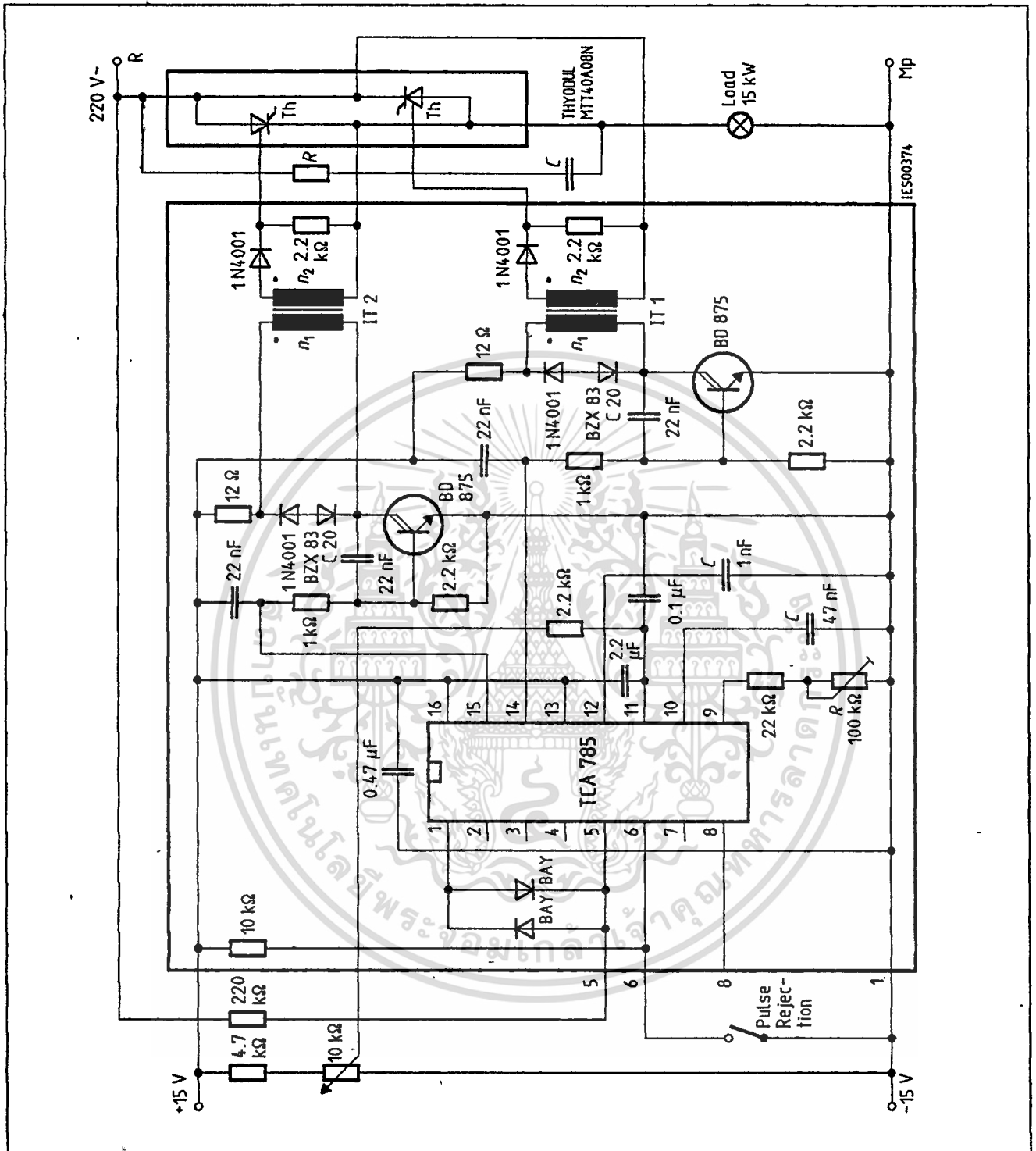
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

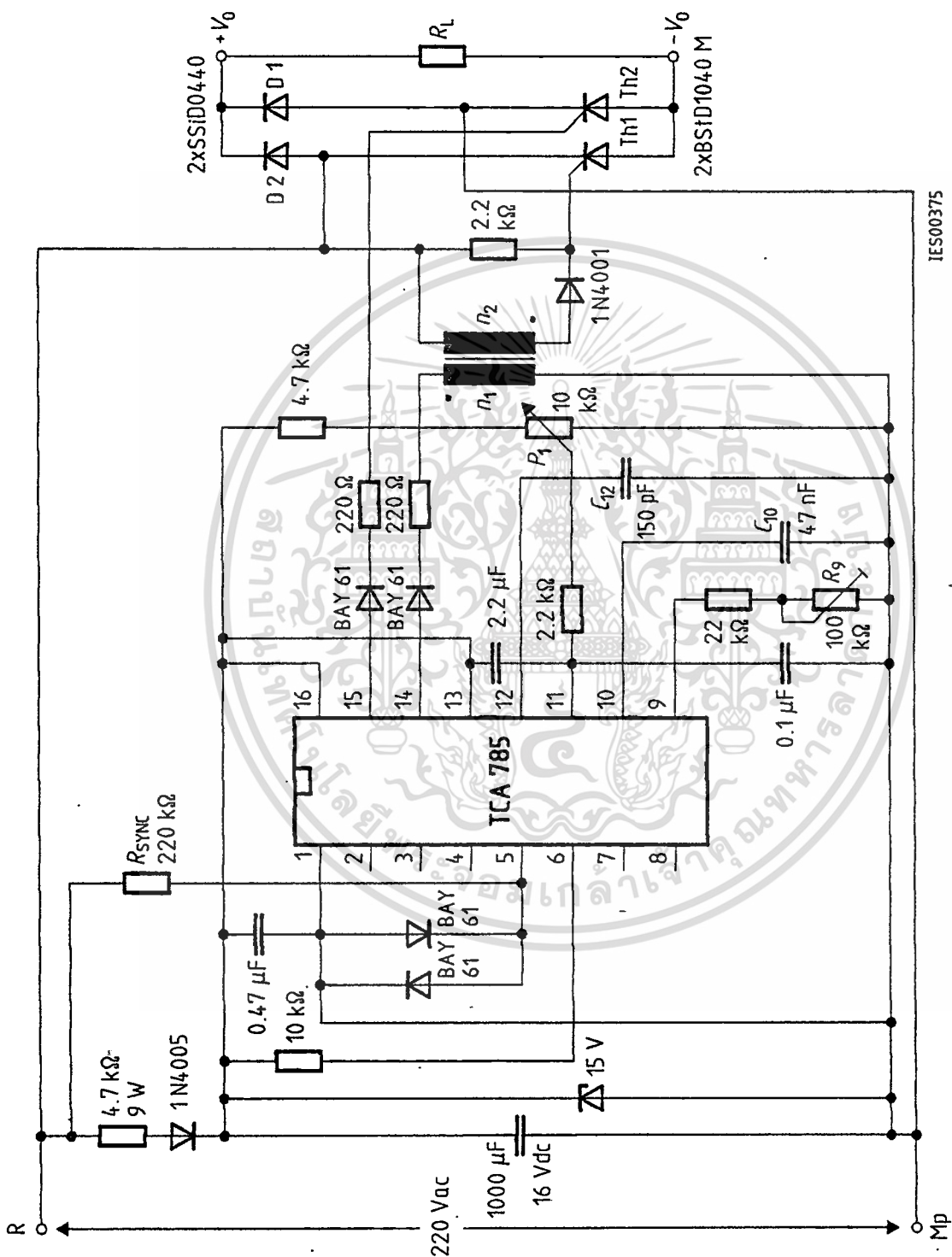
A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0 and 180 with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC 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.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Fully Controlled AC Power Controller
Circuit for Two High-Power Thyristors**

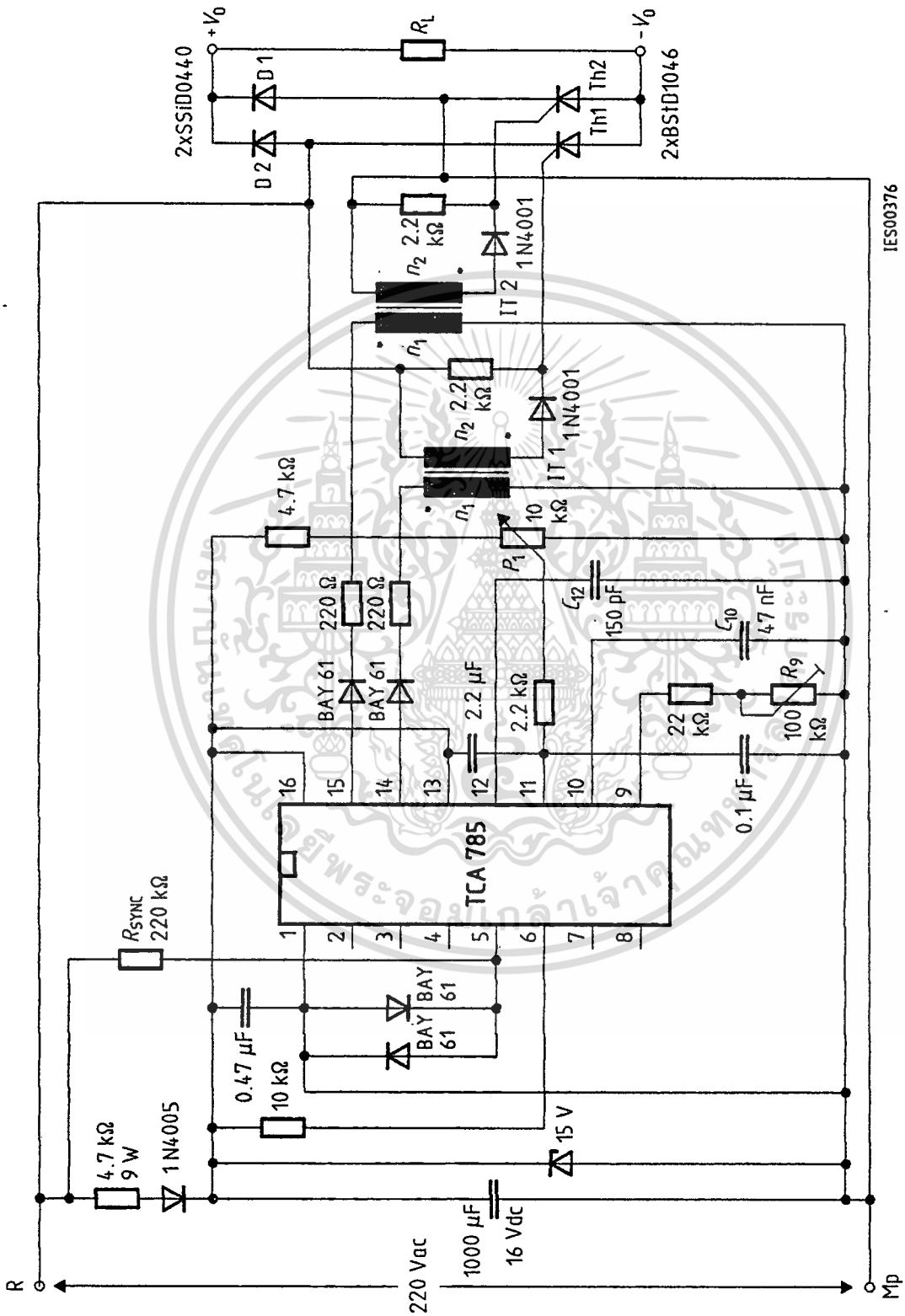
Shown is the possibility to trigger two antiparalleled thyristors with one IC TCA 785. The trigger pulse can be shifted continuously within a phase angle between 0 and 180 by means of a potentiometer. During the negative line half-wave the trigger pulse of pin 14 is fed to the relevant thyristor via a trigger pulse transformer. During the positive line half-wave, the gate of the second thyristor is triggered by a trigger pulse transformer at pin 15.



IES00375

Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Trigger Pulse Transformer and Direct Control for Low-Power Thyristors

ไมวากรณใดๆ หงสน อักทงหามมิเห็ดดแปลงเนือหา และตองอั่งองถึงแจ้ของเอกสารทุกครั่งที่ม่การนำไปใช้





IES00376

Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors

ไม่มีกรีนเน็ต | พังสน์ ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

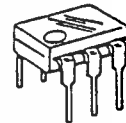
6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

These devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Convenient Plastic Dual-in-Line Package
- Most Economical Optoisolator
- High Input-Output Isolation Guaranteed — 7500 Volts Peak
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- UL Recognized, File Number E54915 
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/ 683 VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

4N25
4N25A
4N26
4N27
4N28

**6-PIN DIP
 OPTOISOLATORS
 TRANSISTOR OUTPUT**



**CASE 730A-02,
 PLASTIC**

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

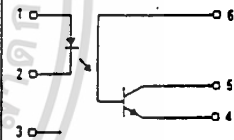
Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C)	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C
OUTPUT TRANSISTOR			
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C)	P_D	150	mW
		1.76	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	V _{ac}
Total Device Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	250 2.94	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_{sol}	260	°C

(1) 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.

SCHEMATIC



1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

6

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
INPUT LED						
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.15	Volts	
			$T_A = -55^\circ\text{C}$	1.3	—	
			$T_A = 100^\circ\text{C}$	1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA	
Capacitance ($V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	18	—	pF	
OUTPUT TRANSISTOR						
Collector-Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$)	4N25,25A,26,27 4N28	I_{CEO}	—	1	50	nA
	All Devices	I_{CEO}	—	1	100	μA
($V_{CE} = 10\text{ V}, T_A = 100^\circ\text{C}$)						
Collector-Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)	I_{CBO}	—	0.2	—	nA	
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts	
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts	
Emitter-Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\ \mu\text{A}$)	$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts	
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}, V_{CE} = 5\text{ V}$)	h_{FE}	—	500	—	—	
Collector-Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}, V_{CE} = 0$)	C_{CE}	—	7	—	pF	
Collector-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}, V_{CB} = 0$)	C_{CB}	—	19	—	pF	
Emitter-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}, V_{EB} = 0$)	C_{EB}	—	9	—	pF	
COUPLED						
Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}, V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_C	2 1	7 5	—	mA	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}, I_F = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts	
Turn-On Time ($I_C = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\ \Omega$)	t_{on}	—	2.8	—	μs	
Turn-Off Time ($I_C = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\ \Omega$)	t_{off}	—	4.5	—	μs	
Rise Time ($I_C = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\ \Omega$)	t_r	—	1.2	—	μs	
Fall Time ($I_C = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\ \Omega$)	t_f	—	1.3	—	μs	
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}, t = 1\text{ sec}$)	V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)	
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$)	R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω	
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C_{ISO}	—	0.2	—	pF	

TYPICAL CHARACTERISTICS

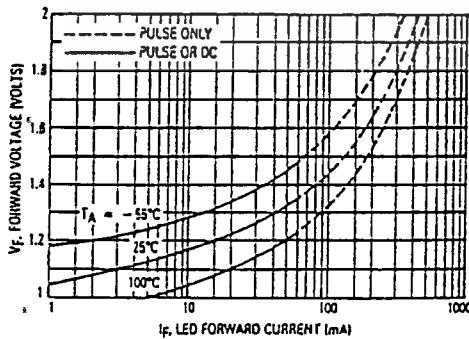


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

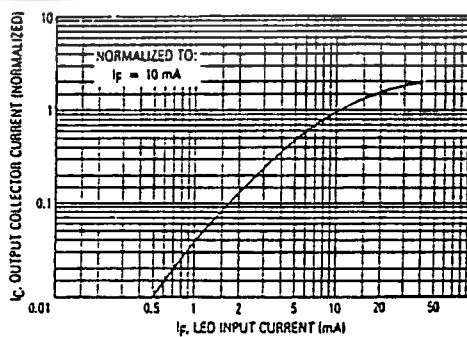


Figure 2. Output Current versus Input Current

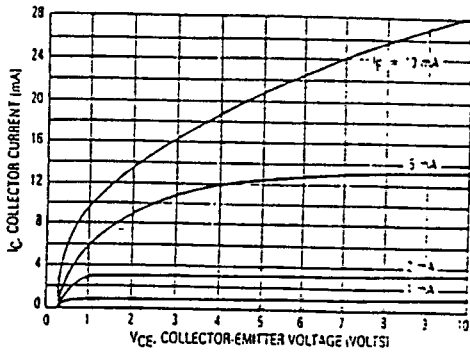


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

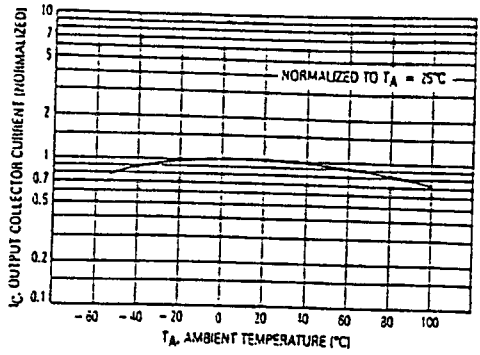


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

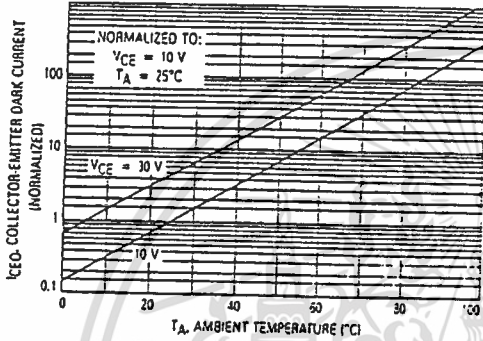


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

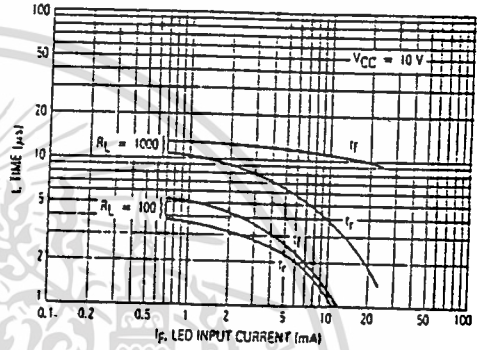


Figure 6. Rise and Fall Times

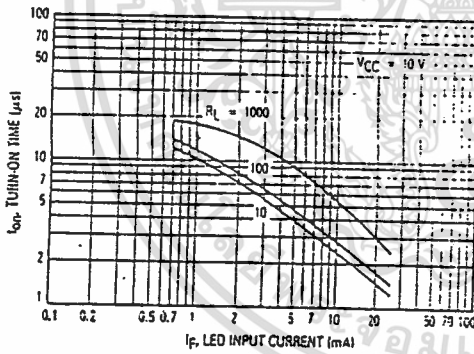


Figure 7. Turn-On Switching Times

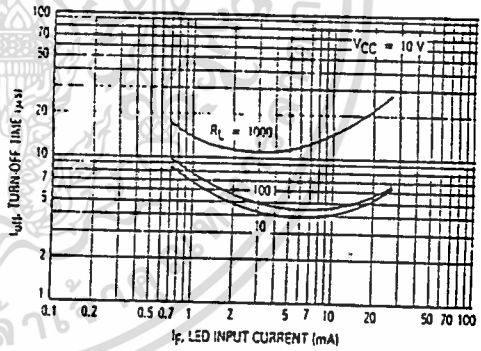


Figure 8. Turn-Off Switching Times

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงที่มา

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

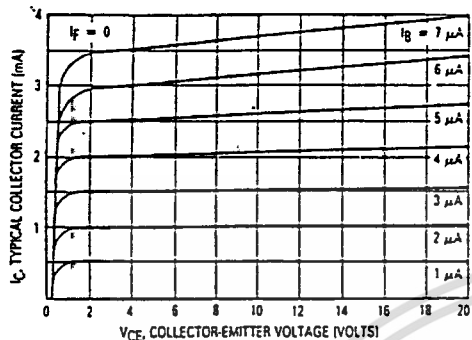


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

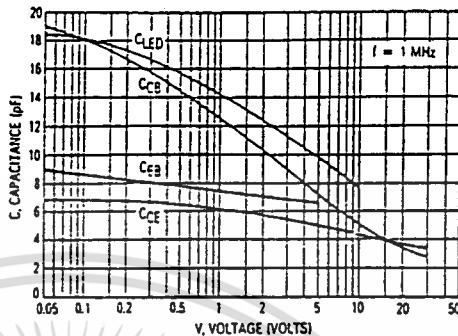


Figure 10. Capacitances versus Voltage

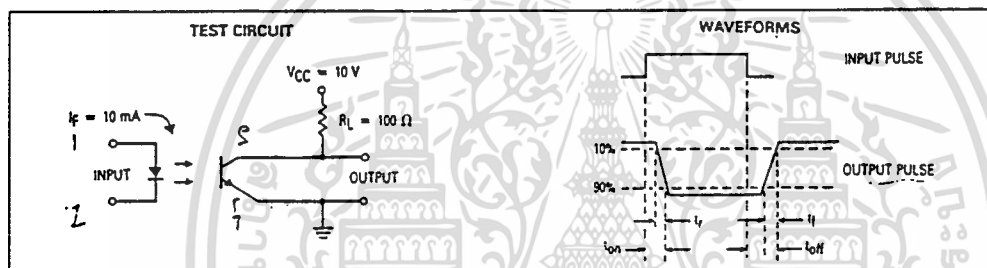
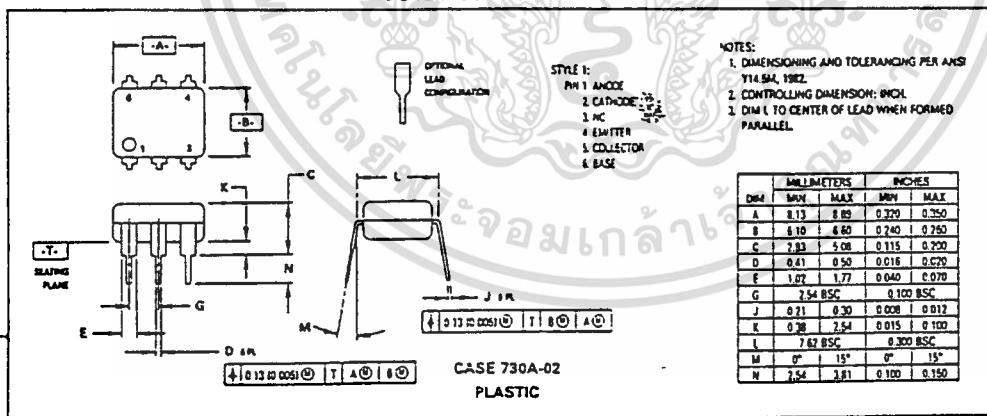


Figure 11. Switching Times



6

MCS[®]-51 INSTRUCTION SET

Table 10. 8051 Instruction Set Summary

Interrupt Response Time: Refer to Hardware Description Chapter.

Instructions that Affect Flag Settings(1)

Instruction	Flag			Instruction	Flag		
	C	OV	AC		C	OV	AC
ADD	X	X	X	CLR C	O		
ADDC	X	X	X	CPL C	X		
SUBB	X	X	X	ANL C,bit	X		
MUL	O	X		ANL C,/bit	X		
DIV	O	X		ORL C,bit	X		
DA	X			ORL C,bit	X		
RRC	X			MOV C,bit	X		
RLC	X			CJNE	X		
SETB C	1						

(1)Note that operations on SFR byte address 208 or bit addresses 209-215 (i.e., the PSW or bits in the PSW) will also affect flag settings.

Note on instruction set and addressing modes:

- Rn — Register R7–R0 of the currently selected Register Bank.
- direct — 8-bit internal data location's address. This could be an Internal Data RAM location (0–127) or a SFR [i.e., I/O port, control register, status register, etc. (128–255)].
- @Ri — 8-bit internal data RAM location (0–255) addressed indirectly through register R1 or R0.
- # data — 8-bit constant included in instruction.
- # data 16 — 16-bit constant included in instruction.
- addr 16 — 16-bit destination address. Used by LCALL & LJMP. A branch can be anywhere within the 64K-byte Program Memory address space.
- addr 11 — 11-bit destination address. Used by ACALL & AJMP. The branch will be within the same 2K-byte page of program memory as the first byte of the following instruction.
- rel — Signed (two's complement) 8-bit offset byte. Used by SJMP and all conditional jumps. Range is –128 to +127 bytes relative to first byte of the following instruction.
- bit — Direct Addressed bit in Internal Data RAM or Special Function Register.

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
ARITHMETIC OPERATIONS			
ADD A,Rn	Add register to Accumulator	1	12
ADD A,direct	Add direct byte to Accumulator	2	12
ADD A,@Ri	Add indirect RAM to Accumulator	1	12
ADD A,# data	Add immediate data to Accumulator	2	12
ADDC A,Rn	Add register to Accumulator with Carry	1	12
ADDC A,direct	Add direct byte to Accumulator with Carry	2	12
ADDC A,@Ri	Add indirect RAM to Accumulator with Carry	1	12
ADDC A,# data	Add immediate data to Acc with Carry	2	12
SUBB A,Rn	Subtract Register from Acc with borrow	1	12
SUBB A,direct	Subtract direct byte from Acc with borrow	2	12
SUBB A,@Ri	Subtract indirect RAM from ACC with borrow	1	12
SUBB A,# data	Subtract immediate data from Acc with borrow	2	12
INC A	Increment Accumulator	1	12
INC Rn	Increment register	1	12
INC direct	Increment direct byte	2	12
INC @Ri	Increment direct RAM	1	12
DEC A	Decrement Accumulator	1	12
DEC Rn	Decrement Register	1	12
DEC direct	Decrement direct byte	2	12
DEC @Ri	Decrement indirect RAM	1	12

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation 1980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Table 10. 8051 Instruction Set Summary (Continued)

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
DATA TRANSFER (Continued)			
MOV @Ri,direct	Move direct byte to indirect RAM	2	24
MOV @Ri,#data	Move immediate data to indirect RAM	2	12
MOV DPTR,#data16	Load Data Pointer with a 16-bit constant	3	24
MOVC A,@A+DPTR	Move Code byte relative to DPTR to Acc	1	24
MOVC A,@A+PC	Move Code byte relative to PC to Acc	1	24
MOVX A,@Ri	Move External RAM (8-bit addr) to Acc	1	24
MOVX A,@DPTR	Move External RAM (16-bit addr) to Acc	1	24
MOVX @Ri,A	Move Acc to External RAM (8-bit addr)	1	24
MOVX @DPTR,A	Move Acc to External RAM (16-bit addr)	1	24
PUSH direct	Push direct byte onto stack	2	24
POP direct	Pop direct byte from stack	2	24
XCH A,Rn	Exchange register with Accumulator	1	12
XCH A,direct	Exchange direct byte with Accumulator	2	12
XCH A,@Ri	Exchange indirect RAM with Accumulator	1	12
XCHD A,@Ri	Exchange low-order Digit indirect RAM with Acc	1	12

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
BOOLEAN VARIABLE MANIPULATION			
CLR C	Clear Carry	1	12
CLR bit	Clear direct bit	2	12
SETB C	Set Carry	1	12
SETB bit	Set direct bit	2	12
CPL C	Complement Carry	1	12
CPL bit	Complement direct bit	2	12
ANL C,bit	AND direct bit to CARRY	2	24
ANL C,/bit	AND complement of direct bit to Carry	2	24
ORL C,bit	OR direct bit to Carry	2	24
ORL C,/bit	OR complement of direct bit to Carry	2	24
MOV C,bit	Move direct bit to Carry	2	12
MOV bit,C	Move Carry to direct bit	2	24
JC rel	Jump if Carry is set	2	24
JNC rel	Jump if Carry not set	2	24
JB bit,rel	Jump if direct Bit is set	3	24
JNB bit,rel	Jump if direct Bit is Not set	3	24
JBC bit,rel	Jump if direct Bit is set & clear bit	3	24
PROGRAM BRANCHING			
ACALL addr11	Absolute Subroutine Call	2	24
LCALL addr16	Long Subroutine Call	3	24
RET	Return from Subroutine	1	24
RETI	Return from interrupt	1	24
AJMP addr11	Absolute Jump	2	24
LJMP addr16	Long Jump	3	24
SJMP rel	Short Jump (relative addr)	2	24

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation 1980

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 10. 8051 Instruction Set Summary (Continued)

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
ARITHMETIC OPERATIONS (Continued)			
INC DPTR	Increment Data Pointer	1	24
MUL AB	Multiply A & B	1	48
DIV AB	Divide A by B	1	48
DA A	Decimal Adjust Accumulator	1	12
LOGICAL OPERATIONS			
ANL A,Rn	AND Register to Accumulator	1	12
ANL A,direct	AND direct byte to Accumulator	2	12
ANL A,@Ri	AND indirect RAM to Accumulator	1	12
ANL A,#data	AND immediate data to Accumulator	2	12
ANL direct,A	AND Accumulator to direct byte	2	12
ANL direct,#data	AND immediate data to direct byte	3	24
ORL A,Rn	OR register to Accumulator	1	12
ORL A,direct	OR direct byte to Accumulator	2	12
ORL A,@Ri	OR indirect RAM to Accumulator	1	12
ORL A,#data	OR immediate data to Accumulator	2	12
ORL direct,A	OR Accumulator to direct byte	2	12
ORL direct,#data	OR immediate data to direct byte	3	24
XRL A,Rn	Exclusive-OR register to Accumulator	1	12
XRL A,direct	Exclusive-OR direct byte to Accumulator	2	12
XRL A,@Ri	Exclusive-OR indirect RAM to Accumulator	1	12
XRL A,#data	Exclusive-OR immediate data to Accumulator	2	12
XRL direct,A	Exclusive-OR Accumulator to direct byte	2	12
XRL direct,#data	Exclusive-OR immediate data to direct byte	3	24
CLR A	Clear Accumulator	1	12
CPL A	Complement Accumulator	1	12

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
LOGICAL OPERATIONS (Continued)			
RL A	Rotate Accumulator Left	1	12
RLC A	Rotate Accumulator Left through the Carry	1	12
RR A	Rotate Accumulator Right	1	12
RRC A	Rotate Accumulator Right through the Carry	1	12
SWAP A	Swap nibbles within the Accumulator	1	12
DATA TRANSFER			
MOV A,Rn	Move register to Accumulator	1	12
MOV A,direct	Move direct byte to Accumulator	2	12
MOV A,@Ri	Move indirect RAM to Accumulator	1	12
MOV A,#data	Move immediate data to Accumulator	2	12
MOV Rn,A	Move Accumulator to register	1	12
MOV Rn,direct	Move direct byte to register	2	24
MOV Rn,#data	Move immediate data to register	2	12
MOV direct,A	Move Accumulator to direct byte	2	12
MOV direct,Rn	Move register to direct byte	2	24
MOV direct,direct	Move direct byte to direct	3	24
MOV direct,@Ri	Move indirect RAM to direct byte	2	24
MOV direct,#data	Move immediate data to direct byte	3	24
MOV @Ri,A	Move Accumulator to indirect RAM	1	12

All mnemonics copyrighted ©Intel Corporation 1980

Table 10. 8051 Instruction Set Summary (Continued)

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
PROGRAM BRANCHING (Continued)			
JMP @A + DPTR	Jump indirect relative to the DPTR	1	24
JZ rel	Jump if Accumulator is Zero	2	24
JNZ rel	Jump if Accumulator is Not Zero	2	24
CJNE A, direct, rel	Compare direct byte to Acc and Jump if Not Equal	3	24
CJNE A, # data, rel	Compare immediate to Acc and Jump if Not Equal	3	24

Mnemonic	Description	Byte	Oscillator Period
PROGRAM BRANCHING (Continued)			
CJNE Rn, # data, rel	Compare immediate to register and Jump if Not Equal	3	24
CJNE @Ri, # data, rel	Compare immediate to indirect and Jump if Not Equal	3	24
DJNZ Rn, rel	Decrement register and Jump if Not Zero	2	24
DJNZ direct, rel	Decrement direct byte and Jump if Not Zero	3	24
NOP	No Operation	1	12

All mnemonics copyrighted © Intel Corporation 1980

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ศศ. ประภาส ไพรสุวรรณ และ อ. อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ ที่
กรุณาให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ชิ้น
อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- [1] A.E.Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. and Stephen D. Umans, "Electric Machinery," McGraw-Hill, 1983
- [2] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics," Fust Wayne, Indiana : Prentice-Hall Inc, 1993
- [3] B.L. Theraja and AK. Theraja, "A Text Book of Electrical Texhnology," Nirja Construction & Development, New Delhi, 1994
- [4] อุดมศักดิ์ ชัยยีน, "Power Electronics I," 2528
- [5] มงคล เดชนครินทร์ และชาติ ศรีไพพรรณ, "อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน," 2532
- [6] ประเมษฐ์ ประยานันท์ และ ปิยพงศ์ เผ่าวิช, "คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51," ซีเอ็ดยูเคชั่น
- [7] สุเจตน์ จันทรัมย์, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051"

