

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล

3 PHASE INDUCTION MOTOR SOFT STARTER



นายอดิเรก โภธิบุตร
นายอาณัติ ลิขิตวัฒน์ชัย
นายเอกชัย ชูสง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 49881

b.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางผู้สืบทอดไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่..... 2547
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล
3 PHASE INDUCTION MOTOR SOFT STARTER

โดย



นายอดิเรก โภชิบุตร
นายอานัติ ลิขิตวัฒน์ชัย
นายเอกชัย ชูสง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ
อ.เฉลิมชาติ มานพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล

3 PHASE INDUCTION MOTOR SOFT STARTER

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|---------------|---------------|--------------|----------|
| 1. นายอดิเรก | โพธิบุตร | รหัสประจำตัว | 42010420 |
| 2. นายอาทิตย์ | ลิขิตวัฒน์ชัย | รหัสประจำตัว | 42010440 |
| 3. นายเอกชัย | ชูสง | รหัสประจำตัว | 42010450 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.เอศติมชาติ มานพ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล

นายอดิเรก โปธิบุคร 42010420
 นายอาทิตย์ ลิขิตวัฒน์ชัย 42010440
 นายเอกชัย ชูสง 42010450
 ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 อ.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอชุดสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบนิ่มนวล (3 phase induction motor soft starter) โดยใช้หลักการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ โดยอุปกรณ์โซลิตสเตรท (SCR) เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน การทำงานของชุดสตาร์ทอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟสแบบนิ่มนวลเป็นไปอย่างอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) สามารถตั้งค่าเวลาในการสตาร์ท และตั้งค่าแรงดันที่จ่าย โดยการกำหนดมุมทริกของ SCR ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ความเร็ววิกฤต ผลการทำงานของชุดสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบนิ่มนวลนี้สามารถลดกระแสแฉะขณะสตาร์ทได้ ช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ และป้องกันการบิดตัวของแกนเพลานินโพลอินนินเซียซึ่งมีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Phase Induction Motor Soft Starter

Adirek Potibut

Arnat Likhitwathanachai

Eakachai Choosong

Assist.Prof.Dr.Vijit Kinnaret Advisor

Chalermchart Manop Advisor

ABSTRACT

This project proposes the three phase induction motor soft starter on the basis of stator voltage control using SCRs as switching devices. Soft start operation is automatically controlled by MCS-51. The starting time and initial voltage can be set by defining SCR firing. As a consequence, the motor speed increases gradually to rated speed. The proposed soft starter can reduce starting current resulting in prolonged motor lifetime and eccentric motor shaft prevention for higher load inertia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ อาจารย์เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้อง Store พี่ ๆ ปริญญาโท ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



อติเรก โพธิบุตร
อาณัติ ลิขิตวัฒน์ชัย
เอกชัย ชูสง

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงการงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.2 ทำไมโรเตอร์ถึงหมุนได้	7
2.3 สลิป (Slip)	8
2.4 แรงบิดเริ่มต้น (Starting Torque)	9
2.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Equivalent Circuit)	10
2.6 คลื่น mmf ภายใน Machine	11
บทที่ 3 เอสซีอาร์	15
3.1 การทำงานของเอสซีอาร์	15
3.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์	16
3.3 ความไวในการจุดชนวน	17
3.4 คุณสมบัติกระแสค้ำและกระแสช็อค	18
3.5 คุณสมบัติการสวิทชิง	18
3.6 ช่วงเวลาหยุดนำกระแส	19
3.7 คุณสมบัติของ di/dt	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

	3.8 คุณสมบัติของ dv/dt	20
	3.9 ระยะเวลาสัญญาณทริก	23
บทที่	4 การสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	24
	4.1 การสาร์ทแบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง	25
	4.2 การสาร์ทแบบใช้ขดลวดบางส่วน	26
	4.3 การสาร์ทแบบสาร์ท-เคลด้า	29
	4.4 การสาร์ททโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต	31
	4.5 การสาร์ททโดยใช้ตัวต้านทาน	32
	4.6 การสาร์ทมอเตอร์โดยใช้ตัวรีแอกเตอร์	33
	4.7 การสาร์ททโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	34
บทที่	5 การควบคุมแรงดันที่สเตรเตอร์	37
	5.1 การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส	37
	5.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ	37
	5.2.1 การควบคุมแบบบรานซ์	38
	5.2.2 การควบคุมแบบไลน์	38
	5.3 การควบคุมแบบไลน์	38
	5.4 การต่อโหลดแบบสตาร์ (Star Connection)	39
บทที่	6 หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และการเชื่อมต่อกับ 8255	44
	6.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	44
	6.2 ลักษณะพื้นฐานของ 8051	44
	6.3 หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051	45
	6.4 หน่วยความจำโปรแกรมภายใน	45
	6.5 หน่วยความจำข้อมูลของ 8051	45
	6.6 หน่วยความจำข้อมูลภายใน	46
	6.7 รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ	47
	6.8 หน่วยความจำข้อมูลภายนอกของ 8051	50
	6.9 ลักษณะสมบัติของหน่วยความจำ RAM แบบสแตติก	50
	6.10 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

	6.11 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต	53
	6.12 พอร์ตแบบขนานของ 8051	53
	6.13 โครงสร้างการทำงานของพอร์ต 8051	53
	6.13.1 การใช้งานพอร์ตเป็นการอินพุต	54
	6.13.2 การใช้งานพอร์ตเป็นการเอาต์พุต	54
	6.14 ลักษณะพื้นฐานของ 8255	55
	6.15 การจำแนกกลุ่มของพอร์ต 8255	55
	6.16 รูปแบบคำสั่งเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255	56
	6.17 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8051	56
บทที่	7 วงจรจุดชนวนและ ชุดขับเอสซีอาร์	58
	7.1 พื้นฐานวงจรถูกชนวน ไทริสเตอร์	58
	7.2 วงจรจุดชนวน ไทริสเตอร์ที่ได้รับการประยุกต์	60
	7.3 ชุดขับเอสซีอาร์	61
	7.3.1 ชุดสร้างสัญญาณ	62
	7.3.2 ส่วนสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง	64
	7.3.3 การนำสัญญาณมาแอนด์ (And)	67
	7.3.4 ส่วนขยายสัญญาณ	67
	7.3.5 ส่วนแยกกราวด์	68
บทที่	8 ผลการทดลอง	69
บทที่	9 สรุปผลและวิจารณ์	81
	9.1 สรุปผลการทดลอง	81
	9.2 ข้อเสนอแนะ	81
	9.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง	82
ภาคผนวก		
บรรณานุกรม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2-1	แสดงภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดพันขลวด	4
รูปที่ 2-2	แสดงส่วนต่างๆ ของโรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
รูปที่ 2-3	ลักษณะของร่องสล๊อตในโรเตอร์ชนิดต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก	6
รูปที่ 2-4	สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก	6
รูปที่ 2-5	รูป a แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง รูป b แสดงการเกิดกระแสเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ ตามกฎของเลนซ์ และเกิดความเร็วสัมพันธ์ระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุน รูป c แสดงการเกิดแรงบิดของโรเตอร์ แล้วโรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน	8
รูปที่ 2-6	แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	10
รูปที่ 2-7	ลักษณะของ mmf ซึ่งเกิดจากขลวด 1 ชุด, N-รอบ ด้านทั้งสองของขลวดห่างกัน 180°	11
รูปที่ 2-8	คลื่น mmf ที่เกิดจากขลวด 1 เฟส ขลวดจำนวน 3 เฟสถูกจัดวางเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขั้ว และด้านทั้งสองของขลวดแต่ละชุดห่างกัน 180°	13
รูปที่ 3-1	โครงสร้างของเอสซีอาร์	15
รูปที่ 3-2	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์	16
รูปที่ 3-3	กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแดรนต์	17
รูปที่ 3-4	ช่วงเวลาเทิร์นออนของไทรสเตอร์	18
รูปที่ 3-5	วงจร R,C สนับเบอร์	20
รูปที่ 3-6	สถานะต่างๆ ในช่วงการเทิร์นออฟ	21
รูปที่ 3-7	การเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด I	22
รูปที่ 3-8	วิธีการเพิ่มค่า dv/dt ของไทรสเตอร์	22
รูปที่ 3-9	แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริก	23
รูปที่ 4-1	การจำแนกวิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	24
รูปที่ 4-2	วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	25
รูปที่ 4-3	มีการแบ่งชุดขลวดเพื่อการสตาร์ท	26
รูปที่ 4-4	การต่อชุดขลวดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนกระทั่งทำงานในภาวะปกติ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4-5	กราฟลักษณะสมบัติของการสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน	28
รูปที่ 4-6	ไดอะแกรมของวงจรสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, ทอร์ก และความเร็ว	28
รูปที่ 4-7	การสตาร์ทโดยต่อแบบ $Y - \Delta$	29
รูปที่ 4-8	วงจรมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ $Y - \Delta$	30
รูปที่ 4-9	ความสัมพันธ์ของกระแสมอเตอร์และทอร์กที่มอเตอร์สร้างได้กับความเร็วรอบเมื่อสตาร์ทแบบ $Y - \Delta$	31
รูปที่ 4-10	การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต	31
รูปที่ 4-11	ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็ว เมื่อสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต	32
รูปที่ 4-12	การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน	32
รูปที่ 4-13	ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็ว เมื่อสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน	33
รูปที่ 4-14	การสตาร์ทแบบใช้รีเลย์	33
รูปที่ 4-15	การต่อ SCR สำหรับการสตาร์ทแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	34
รูปที่ 5-1	แสดงลักษณะการต่อวงจรควบคุมโหลด 3 เฟส แบบต่างๆ	37
รูปที่ 5-2	โหลดต่อแบบสตาร์ท และสัญญาณจุดชนวนเกด $\alpha = 90^\circ$	40
รูปที่ 5-3	รูปคลื่นกระแสและแรงดันของวงจรรูปที่ 5-2	41
รูปที่ 6-1	แผนภาพเวลาแสดงลำดับเหตุการณ์การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM	50
รูปที่ 6-2	แผนภาพเวลาแสดงลำดับเหตุการณ์การเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM	51
รูปที่ 6-3	แผนภาพเวลาแสดงการติดต่อกับหน่วยความจำ RAM ของ 8051	52
รูปที่ 6-4	โครงสร้างของแต่ละบิตภายในพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของ 8051	54
รูปที่ 7-1	คุณสมบัติของสัญญาณจุดชนวน ไทริสเตอร์	58
รูปที่ 7-2	วงจรทริก ไทริสเตอร์ ด้วยแรงดันกระแสตรง	59
รูปที่ 7-3	สัญญาณทริก ไทริสเตอร์แบบต่างๆ	60
รูปที่ 7-4	รูปสัญญาณกระแสที่ใช้ทริก ไทริสเตอร์ในอุคมคคิ	60
รูปที่ 7-5	แสดงการใช้ pulse transformer ในการแยกวงจร	60
รูปที่ 7-6	Block Diagram ของชุดขับเอสซีอาร์	61
รูปที่ 7-7	Block Diagram ของ TCA785	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 7-8	แสดง Pulse Diagram ของ TCA 785	63
รูปที่ 7-9	แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณ TCA 785	64
รูปที่ 7-10	แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง	65
รูปที่ 7-11	แสดงรูปคลื่นจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง	66
รูปที่ 7-12	แสดงความถี่ในการ Oscilate จะหาได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ	67
รูปที่ 7-13	แสดงไอซี CD4081B	67
รูปที่ 7-14	แสดงวงจรขยายสัญญาณ	68
รูปที่ 7-15	แสดงวงจรที่ต่อใช้งาน Pulse Transformer	68
รูปที่ 8-1	แสดงการวัดกระแสและแรงดันของ โหลดความต้านทาน	69
รูปที่ 8-2	แรงดันเฟส ของ โหลด R ที่มีมุมจลนนวน 90° สเกล 1 ช่องเท่ากับ 200 โวลต์	70
รูปที่ 8-3	แรงดันเฟสของ โหลด R ที่มีมุมจลนนวน 70° สเกล 1 ช่องเท่ากับ 200 โวลต์	71
รูปที่ 8-4	แรงดันเฟสของ โหลด R ที่มีมุมจลนนวน 45° สเกล 1 ช่องเท่ากับ 200 โวลต์	71
รูปที่ 8-5	รูปบนแสดงแรงดันเฟสของ โหลด R ที่มีมุมจลนนวน 27° สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์ รูปล่างแสดงกระแสเฟสของ โหลด R ที่มีมุมจลนนวน 27° สเกล 1 ช่องเท่ากับ 5 แอมป์	71
รูปที่ 8-6	แสดงการวัดกระแสและแรงดันของ โหลดมอเตอร์เห็นยวน้ำ	72
รูปที่ 8-7	รูปบนแสดงกระแสเฟสของ โหลด Motor ที่ 60% Voltage สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของ โหลด Motor ที่ 60% Voltage สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์	72
รูปที่ 8-8	รูปบนแสดงกระแสเฟสของ โหลด Motor ที่ 80% Voltage สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของ โหลด Motor ที่ 80% Voltage สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์	73
รูปที่ 8-9	รูปบนแสดงกระแสเฟสของ โหลด Motor ที่ 90% Voltage สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของ โหลด Motor ที่ 90% Voltage สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 8-10	รูปบนแสดงกระแสเฟสของโหลด Motor ที่ 90% Voltage มีภาระ load 0.63 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของโหลด Motor ที่ 90% Voltage มีภาระ load 0.63 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์	74
รูปที่ 8-11	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Direct On Line ขณะไม่มีโหลด สเกล 1 ช่องเท่ากับ 5 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Direct On Line ขณะไม่มีโหลด สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	75
รูปที่ 8-12	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Direct On Line ขณะมีโหลด 1.5 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 5 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Direct On Line ขณะมีโหลด 1.5 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	75
รูปที่ 8-13	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 0% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 0% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	76
รูปที่ 8-14	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	76
รูปที่ 8-15	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 70% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 70% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	77
รูปที่ 8-16	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	77

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 8-17	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	78
รูปที่ 8-18	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	79
รูปที่ 8-19	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 0.63 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 0.63 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	79
รูปที่ 8-20	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.1N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.1N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	80
รูปที่ 8-21	รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.5N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์ รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.5 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์	80

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบของไทรสเตอร์สองชนิด	20
ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสแตร์ทมอเตอร์แบบต่าง ๆ	36
ตารางที่ 5-1 แสดงมุมที่ SCR แต่ละตัวทำงาน	39
ตารางที่ 6-1 รีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ (Special Function Register หรือ SFR)	47
ตารางที่ 6-2 บิตต่างๆ ภายในรีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word)	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนกำลัง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (Induction motor) เพราะมีขนาดเล็กและราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่การบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย แต่ก็มีข้อเสียที่มักเกิดขึ้นกับเครื่องจักรขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แรงบิด (Torque) และกระแส (Current) จะสูงมาก ทำให้เครื่องจักรเคลื่อนที่ด้วยอาการกระชากอย่างแรง เป็นผลให้อายุการใช้งานของมอเตอร์และชุดส่งกำลังสั้นลง นอกจากนี้การใช้กระแสขณะสตาร์ทสูงนั้น ยังส่งผลข้างเคียงต่อระบบไฟฟ้าภายในโรงงานอีก เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage drop)

ซอฟต์แวร์ เป็นเทคโนโลยีในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทดแทนวิธีการสตาร์ทแบบดั้งเดิมอันได้แก่ การสตาร์ทโดยตรง (direct on line start) และการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (star-delta start) โดยอาศัยหลักการควบคุมไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำแทนหน้าสัมผัสกลไก จึงสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสที่ไฟฟ้าป้อนเข้าสู่มอเตอร์

อีกทั้งเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ถูกพัฒนาให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นและมีขนาดเล็กกลง จึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของซอฟต์แวร์ ทำให้กระบวนการสตาร์ทมอเตอร์มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในการควบคุมเครื่องจักร
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการสร้างชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล และวิธีควบคุมการทำงานของชุดสตาร์ท
- 1.2.3 เพื่อเป็นการนำเสนอชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล ที่มีการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและนำเสนอการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาใช้งานในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมีการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) โดยการป้อนเวลาในการสตาร์ทและเปอร์เซ็นต์แรงดันเริ่มต้นในการสตาร์ทผ่านคีย์บอร์ด และมีการแสดงผลที่แอลซีดี (LCD)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้สามารถนำความรู้จากทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบนิ่มนวล รวมทั้งนำเอาเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสาร์ทดังกล่าว และสามารถที่จะนำชุดสาร์ทไปใช้ในการสาร์ทมอเตอร์และผลของการสาร์ทเป็นไปอย่างมีนัย

1.5 เนื้อหาของปริญาพนธ์

บทที่ 2 เป็นการอธิบายมอเตอร์เหนี่ยวนำ ว่ามีชนิดใดบ้าง และมีโครงสร้างอย่างไร

บทที่ 3 เป็นการอธิบายทฤษฎีของเอสซีอาร์(SCR) ว่ามีโครงสร้างอย่างไรและทำงานอย่างไร

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีต่าง ๆ ในการสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำว่าแตกต่างกันอย่างไร แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียอย่างไร

บทที่ 5 อธิบายเกี่ยวกับการควบคุมแรงดันที่สเตเตอร์ (Stator Voltage Control)

บทที่ 6 เป็นเนื้อหาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

บทที่ 7 เป็นการอธิบายการออกแบบวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์และชุดขับเอสซีอาร์

บทที่ 8 เป็นผลของการทดสอบชุดสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบมีนัยกับโหลดชนิดต่าง ๆ และแสดงผลของการสาร์ทที่เวลาในการสาร์ทและเปอร์เซ็นต์แรงดัน ต่าง ๆ

บทที่ 9 เป็นบทที่สรุปผลของโครงการที่ทำมาทั้งหมด และเสนอแนะข้อคิดเห็นในการที่จะพัฒนาชุดสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบมีนัยต่อไป

ภาคผนวก

ผนวก ก กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้การควบคุมชุดสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบมีนัย

ผนวก ข แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบมีนัย

บทที่ 2

มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการงานทั่วไปของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ก็คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล จึงทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์กระแสตรงนั้น พลังงานไฟฟ้าจะต่อโดยตรงกับอามเจอร์ (Amature) ที่อยู่ด้านโรเตอร์ (Rotor) ผ่านไปยังแปรงถ่าน (brushes) และคอมมิวเตเตอร์ (Comutator) นั้น และมอเตอร์เหนี่ยวนำจะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโรเตอร์ ด้วยการเหนี่ยวนำกันทางไฟฟ้า คล้ายๆ กับหลักการของหม้อแปลง จึงเป็นที่มาของชื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีทั้งแบบ 1 เฟส และหลายเฟส นิยมใช้กันมากในทางอุตสาหกรรม เพราะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

ข้อดี

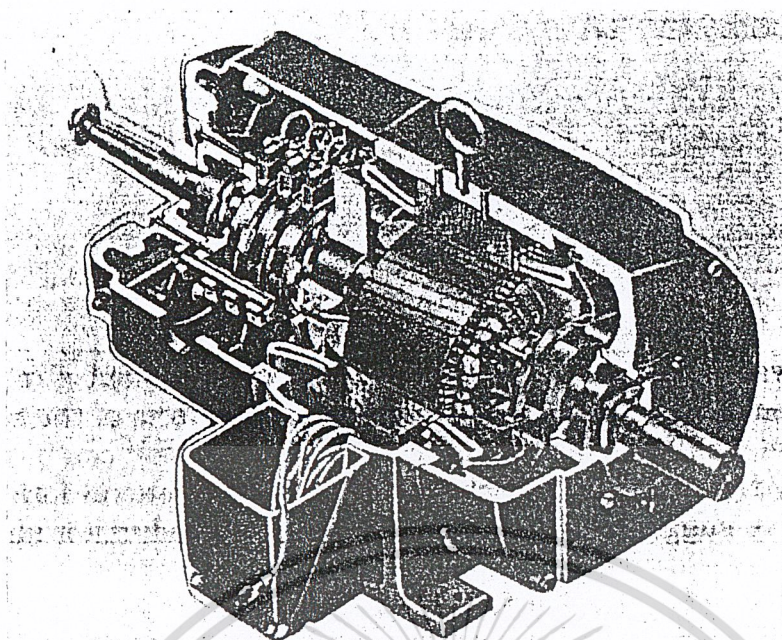
1. มีโครงสร้างที่ง่าย แข็งแรง ทนทาน หรือกล่าวได้ว่าเกือบไม่มีการชำรุด โดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก (Squirrel-cage Type)
2. มีราคาไม่แพง
3. มีประสิทธิภาพเพียงพอกับการใช้งาน
4. บำรุงรักษาง่าย
5. ไม่มีแปรงถ่านจึงเป็นผลให้แรงเสียดทานน้อยกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น
6. เพาเวอร์แฟกเตอร์ดีพอใช้
7. สามารถสตาร์ทตัวเอง ไม่เหมือนกับมอเตอร์แบบซิงโครนัส

ข้อเสีย

1. กินกระแสขณะสตาร์ทสูง อาจจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการสตาร์ท
2. มีคุณสมบัติคล้ายกับมอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน (D.C. Shunt motor) โดยความเร็วจะขึ้น

อยู่กับโหลด

3. มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทค่อนข้างน้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน
4. เมื่อมีการปรับความเร็วมอเตอร์จะทำให้เกิดประสิทธิภาพลดลง



รูปที่ 2-1 แสดงภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดพันขดลวด

2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเหมือนกันกับ ซิงโครนัสมอเตอร์ มีขั้ววงสล็อตสำหรับรองรับขดลวด และสเตเตอร์ของขดลวด 3 เฟส ดังในรูป 2-3 ลักษณะการวางขดลวดขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก ความเร็วรอบก็จะต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อย ความเร็วรอบก็จะสูง เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสให้กับขดลวด 3 ชุดซึ่งทำมุมห่างกัน 120 องศา จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น และสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสตามสมการ

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2-1)$$

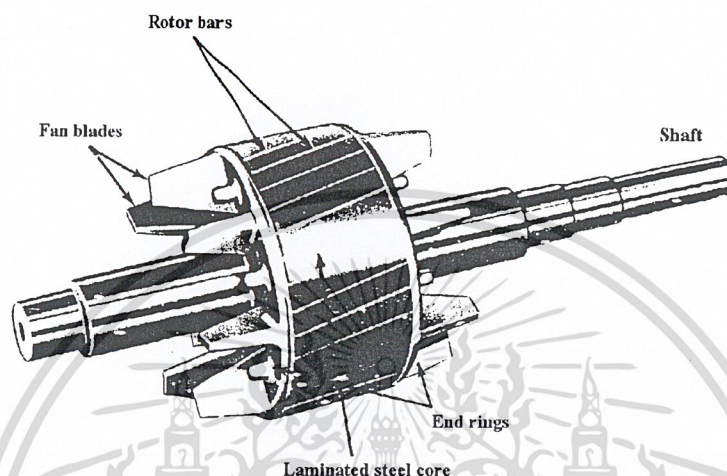
N_s : ความเร็วซิงโครนัส

f : ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

P : จำนวนขั้วแม่เหล็ก

2. โรเตอร์ (Rotor) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

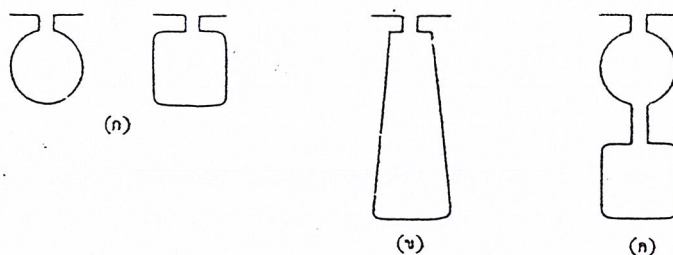
2.1 ชนิดโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel-cage Rotor) โดยรูปที่ 2-2 แสดงส่วนประกอบโรเตอร์ชนิดนี้ ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและแข็งแรงทนทาน ประกอบด้วยแกนของโรเตอร์ซึ่งมีร่องสลักที่อยู่บนแกนขนานกัน เพื่อใส่แท่งตัวนำ โดยที่ปลายทั้งสองข้างของแกนจะมีวงแหวนที่สำหรับลัดวงจร



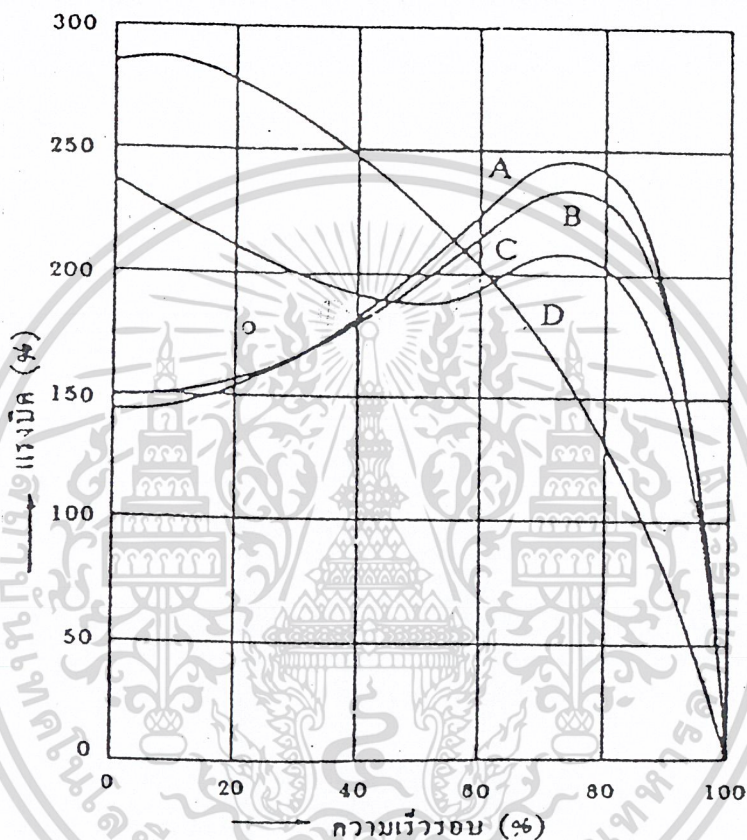
รูปที่ 2-2 แสดงส่วนต่างๆ ของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

โรเตอร์แบบกรงกระรอก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้อีกเป็นประเภทต่างๆ

1. โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา แสดงด้วยรูป 2-3 (ก) และรูป 2-4 กราฟ A
2. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ (สลักสลัก) 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 ลักษณะของร่องสลอตในโรเตอร์ชนิดต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก



รูป 2-4 สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก

2.2 ชนิด โรเตอร์พันขดลวด (Phase-wound Rotor)

ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์ทรงกระรอก วงจรโรเตอร์ถูกตัดวงจรด้วยวงแหวนคอนเพลกซ์ และค่าความต้านทานของโรเตอร์ตายตัวปรับไม่ได้ แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดพันขดลวด การพันวงจรโรเตอร์ (หรือวงจรทุติยภูมิ) เป็นการพันขดลวดแบบ 3 เฟสและมีการต่อวงจรเข้าสู่วงแหวนลื่นแล้วผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ความต้านทานภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์ จึงสามารถปรับขึ้นได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายนอก

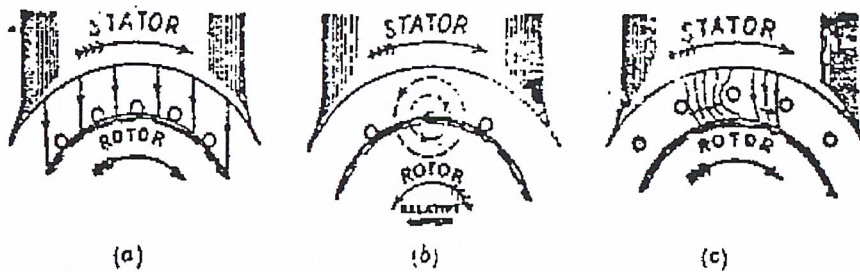
ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. โครงรอบนอก (Frame) ทำจากเหล็กกล้าผสม
2. แกนสเตเตอร์และแกน โรเตอร์ ทำจากเหล็กผสมคุณภาพดี ความสูญเสียต่ำ เป็นแผ่นบางเคลือบมันวาวทั้งสองด้าน
3. ขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์
4. ช่องอากาศ (Air-gap)
5. เพลาและลูกปืน (Shafts and bearings)
6. พัดลม (Fans) เพื่อระบายความร้อนของมอเตอร์
7. วงแหวนสลลิป (Slip-rings)

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

2.2 ทำไมโรเตอร์ถึงหมุนได้

เมื่อขดลวดฝั่งสเตเตอร์ได้รับป้อนไฟ 3 เฟส แต่เฟสทำมุมกัน 120 องศา จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส สนามแม่เหล็กจะผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์ กวาดไปรอบโรเตอร์แล้วตัดผ่านแท่งตัวนำ จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce emf) ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Laws) ซึ่งความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเท่ากับทางด้านแหล่งจ่ายไฟ แล้วเกิดสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง (Fleming's Right-hand rule) และตามกฎของเลนซ์ (Lens's Laws) ในขณะนั้นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนเกิดขึ้น ผลสุดท้ายจะเกิดแรงบิดขึ้น ที่โรเตอร์ในทิศทางสนามแม่เหล็กหมุน และโรเตอร์ก็จะพยายามหมุนตามด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส แต่จะไม่เท่าความเร็วเชิงโคโรนัส เพราะโรเตอร์ต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะรักษาสภาพการหมุนต่อไป ขั้นตอนต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 รูป a แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง
รูป b แสดงการเกิดกระแสเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ ตามกฎของเลนซ์ และเกิดความเร็ว
สัมพันธ์ระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุน
รูป c แสดงการเกิดแรงบิดของโรเตอร์ แล้วโรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับสนามแม่
เหล็กหมุน

2.3 สลิป (Slip)

ในทางปฏิบัติ โรเตอร์นั้นจะไม่สามารถมีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสได้ เพราะถ้าไม่มี
ความเร็วสัมพันธ์เหลืออยู่ก็จะไม่เกิดกระแสในไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ก็จะไม่สามารถรักษาสภาพแรงบิดของโร
เตอร์ให้หมุนอยู่ได้ ซึ่งความเร็วของ โรเตอร์นั้นที่ขึ้นกับภาระทางกลของมอเตอร์ด้วย

เมื่อโรเตอร์มีความเร็วที่แตกต่างกับซิงโครนัส จึงเกิดการคลาดเคลื่อน ความเร็วของโรเตอร์
เรียกว่า “สลิป” โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 (\% \text{Slip}) \quad S &= \frac{N_s - N_r}{N_s} \\
 N_s &= \text{ความเร็วซิงโครนัส} \\
 N_r &= \text{ความเร็วโรเตอร์}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แรงบิดเริ่มต้น (Starting Torque)

เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นทันทีทันใดขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน

กำหนดให้ T_{st}	=	แรงบิดเริ่มต้น
E_2	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่โรเตอร์ต่อ 1 เฟสขณะหยุดนิ่ง
R_2	=	ค่าความต้านทานของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส
X_2	=	ค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส
Z_2	=	$\sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ = ค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส

ถ้าแหล่งจ่ายแรงดัน ไฟฟ้า (V) คงที่จะได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะคงที่
ด้วย

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

แรงบิดขณะสตาร์ทของมอเตอร์แบบโรเตอร์แบบกรงกระรอก

ค่าความต้านทานของโรเตอร์จะไม่สามารถปรับค่าได้ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์ (reactance) โดยเฉพาะจะเห็นชัดเมื่อเริ่มสตาร์ท เพราะฉะนั้น ขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ แรงบิดจะมีค่าน้อย ประมาณ 1/5 เท่าของแรงบิดที่ภาระเต็มพิกัด กระแสมีค่าสูงประมาณ 5-7 เท่าของกระแสที่พิกัด และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ หลังจากนั้นกระแสจะลดลง และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก็จะดีขึ้น

แรงบิดขณะสตาร์ทของมอเตอร์มีโรเตอร์พันขดลวด

ค่าความต้านทานของโรเตอร์สามารถปรับได้โดยการใช้รีโอสแตท (rheostat) โดยเฉพาะขณะสตาร์ทนั้นจะเพิ่มความต้านทานก่อนแล้วค่อยๆ ลดความต้านทานลง เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ แรงบิดจะมีค่ามาก กระแสจะมีค่าน้อย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง หลังจากการสตาร์ทก็จะสามารถนำความต้านทานออกจากวงจรได้ แต่หากไม่นำความต้านทานออกจะสามารถแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ดีขึ้นได้ แต่ประสิทธิภาพก็จะลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดขณะสตาร์ทและแรงบิดสูงสุด

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

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

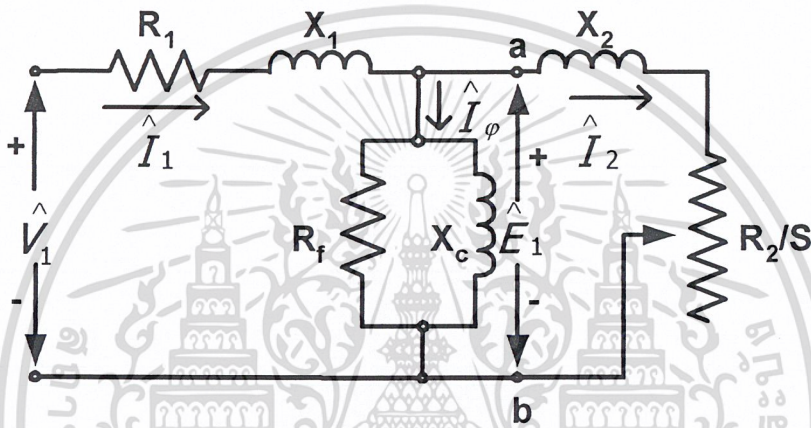
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

T_{max} : แรงบิดสูงสุด

2.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Equivalent Circuit)



รูปที่ 2-6 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในการเขียนวงจรสมมูลย์เราจะเขียนเป็นแบบ 1 เฟส ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณจึงต้องทำเป็น 3

เฟส

กำหนดให้

P_g คือ กำลังงานที่ส่งผ่านช่องอากาศ

$P_{w,2}$ คือ กำลังงานสูญเสียความร้อนบนลวดทองแดงทางค้ำ โรเตอร์

ดังนั้น

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

ดังนั้น

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

เมื่อ

ω_s : ความเร็วเชิงมุมที่ความเร็วเชิง โครนัส

f : ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

P : จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

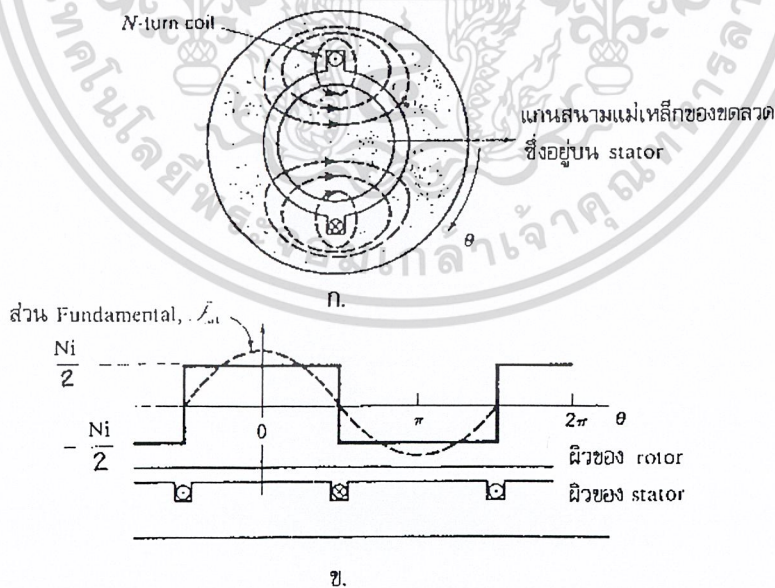
	ω_r :	ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์
	$P_{op} = P_m$ -	กำลังสูญเสียทางกล
	$T_{sh} = P_{op} / \omega_r$	
เมื่อ	P_m :	พลังงานทางกล (ยังไม่หักกำลังสูญเสียทางกล)
	P_{op} :	พลังงานที่เพลลา
	T_e :	แรงบิดที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Electromagnetic Torque)
	T_{sh} :	แรงบิดที่เพลลา

ในการคำนวณบางครั้งเพื่อความสะดวก จะไม่คิดค่า R_c อันเนื่องมาจากกำลังสูญเสียของแกนเหล็ก (core loss) โดยจะนำค่ากำลังสูญเสียของแกนเหล็กไปรวมกับกำลังสูญเสียจากการหมุนของมอเตอร์ (rotation loss) เรียกรวมเป็นความสูญเสียคงที่ (fix loss)

2.6 คลื่น mmf ภายใน Machine

ขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์มีหลายชุด และถูกจัดเรียงอยู่รอบช่องอากาศ โดยที่ขดลวดแต่ละชุดถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กมีจำนวนขั้วตามต้องการ

การศึกษาสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดหลายชุด ทำได้โดยการพิจารณาขดลวดชุดเดียวซึ่งมีจำนวน N -รอบ และด้านทั้งสองของขดลวดห่างกัน 180° ซึ่งเรียกว่า full-pitch-coil เช่นที่แสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 ลักษณะของ mmf ซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด, N -รอบ ด้านทั้งสองของขดลวดห่างกัน 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดให้โรเตอร์มีลักษณะทรงกระบอกสม่ำเสมอคังรูปที่ 2-7 ก็เพื่อให้ความง่ายในการศึกษาลักษณะของคลื่น mmf ที่เกิดขึ้น

ทิศทางของสนามแม่เหล็กเป็นไปตามกฎมือขวา และเนื่องจากค่า permeability ของส่วนที่เป็นโลหะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอากาศ ดังนั้นจึงสมมติได้ว่า reluctance ภายในวงจรแม่เหล็กจะมีค่าเฉพาะใน ช่องอากาศ

เนื่องจากโครงสร้างของ Stator สมมาตร สนามแม่เหล็กในช่องอากาศมีมุม θ ภายใต้วงหนึ่งจะมีขนาดเท่ากับมุม $\pi + \theta$ ซึ่งภายใต้วงตรงกันข้าม โดยสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งทั้งสองมีทิศทางตรงกันข้ามกัน

mmf โดยรอบเส้นทางปิด ซึ่งแสดงด้วยเส้นฟลักซ์คังรูปที่ 2-7 (ก) มีค่าเท่ากับ Ni และจากสมมติฐานที่กำหนดให้ reluctance ในส่วนที่เป็นโลหะมีค่าต่ำ ดังนั้นเทอม $\int H \cdot dl$ ในส่วนที่เป็นโลหะจึงมีค่าเกือบเป็นศูนย์

ดังนั้น mmf-drop ที่เกิดขึ้นภายในวงจรแม่เหล็ก จึงมีเฉพาะในช่องอากาศเท่านั้น

ในการออกแบบเครื่องจักรกล ไฟฟ้ากระแสสลับ ขดลวดจะถูกออกแบบการจัดวางอย่างเหมาะสมเพื่อให้ mmf ที่เกิดมีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal มากที่สุด

เมื่อพิจารณาคลื่น mmf เช่นที่แสดงในรูปที่ 2-7 (ข) ซึ่งเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม และเมื่อวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ ก็จะพบว่าประกอบด้วยส่วน fundamental และส่วนฮาร์โมนิกคือ

ส่วน fundamental, F_{a1} จากการวิเคราะห์, มีค่า

$$F_{a1} = \frac{4}{\pi} \frac{N}{2} i \cos \theta$$

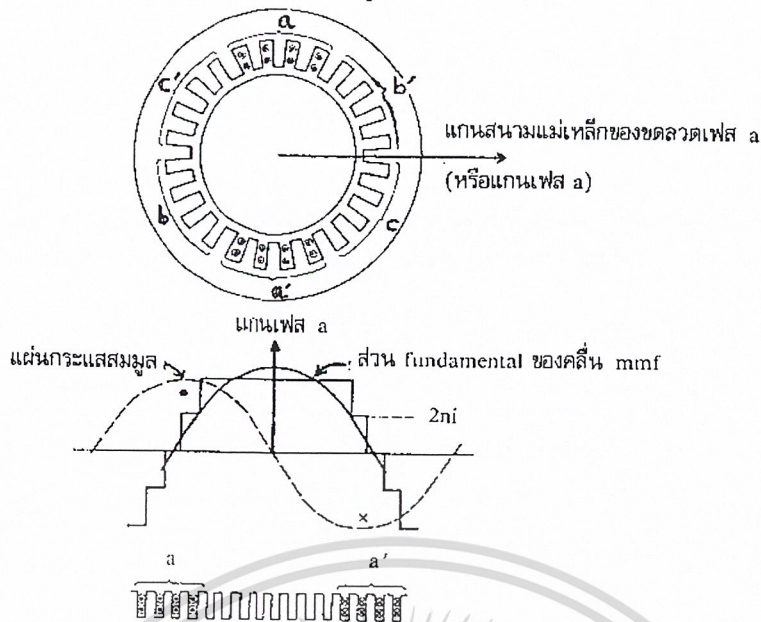
โดยที่ θ เป็นมุมที่วัดจากแกนของขดลวด

ซึ่งส่วน fundamental นี้เป็นคลื่น ที่มีขนาด $F_{1,peak}$

$$F_{1,peak} = \frac{4}{\pi} \frac{Ni}{2}$$

อยู่ในแนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวด

การศึกษาผลที่เกิดจากขดลวดที่วางอยู่ในหลายช่อง เช่นรูปที่ 2-8 ซึ่งเป็นเครื่องจักรกล ไฟฟ้าชนิด 2-ขั้ว, 3 เฟส เป็นดังนี้



รูปที่ 2-8 คลื่น mmf ที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส ขดลวดจำนวน 3 เฟสถูกจัดวางเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขั้ว และด้านทั้งสองของขดลวดแต่ละชุดห่างกัน 180°

ขดลวดแต่ละเฟสมีคุณลักษณะเหมือนกัน และถูกจัดวางเพื่อให้แนวแกนแม่เหล็กที่เกิดจากแต่ละเฟสทำมุมกัน 120° ในรูปที่ 2-7 ขดลวดถูกจัดวางเป็น 2 ชั้น ขดลวดแต่ละชุดมีจำนวน n -รอบ , กระแส i ไหลผ่านซึ่งทำให้เกิดคลื่น mmf ที่มีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal มากขึ้นกว่ารูปที่ 1 ส่วน fundamental ของคลื่น mmf ในกรณีที่ขดลวดถูกออกแบบจัดวางให้เกิดสนามแม่เหล็ก P-ขั้ว โดยที่มีขดลวดจำนวน $N\phi$ รอบ ต่ออนุกรมกัน ในแต่ละเฟสคือ

$$F_{a1} = \frac{4}{\pi} K_w \frac{N_\phi}{P} I_a \cos \theta$$

โดยเทอม $4/\pi$ มาจากการใช้อนุกรมฟูรีเยร์วิเคราะห์คลื่น mmf ลักษณะสามเหลี่ยมที่เกิดจากด้านของขดลวดที่วางห่างกัน 180°

K_w : winding factor มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางขดลวด

ดังนั้น $K_w, N\phi$ คือจำนวนรอบประสิทธิผลที่ต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟส ซึ่งทำให้เกิดส่วน fundamental ของคลื่น mmf

i_a คือกระแสในเฟส a ส่วน fundamental ของคลื่น mmf นี้ จะเท่ากับ mmf ที่เกิดจากแผ่นกระแสสมมูลที่มีลักษณะการจัดวางแบบ Sinusoidal เช่นที่แสดงในรูปที่ 2-8 คลื่น mmf ที่กล่าวมามีลักษณะเป็น Standing Wave จะกระจายอยู่ในช่องอากาศแบบ Cosine ขนาดสูงสุดของส่วน fundamental, F_{max} คือ

$$F_{\max} = \frac{4}{\pi} K_w \frac{N\phi}{P} I_m$$

โดยที่ I_{\max} คือขนาดสูงสุดของกระแส i_a , ซึ่ง $i_a = I_{\max} \cos\omega t$ และ F_{\max} อยู่ในแนวสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส a

ด้วยหลักการเดียวกันขดลวดที่พันอยู่บนโรเตอร์ก็จะถูกออกแบบจัดวางเพื่อให้คลื่น mmf ที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal ให้มากที่สุด เพื่อเป็นการลดส่วนฮาร์โมนิก ซึ่งขดลวดในแต่ละช่องอาจมีจำนวนรอบที่ต่างกัน เช่นขดลวดที่อยู่ใกล้บริเวณ pole face จะมีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดชุดอื่นๆ ที่อยู่ในช่องอื่น



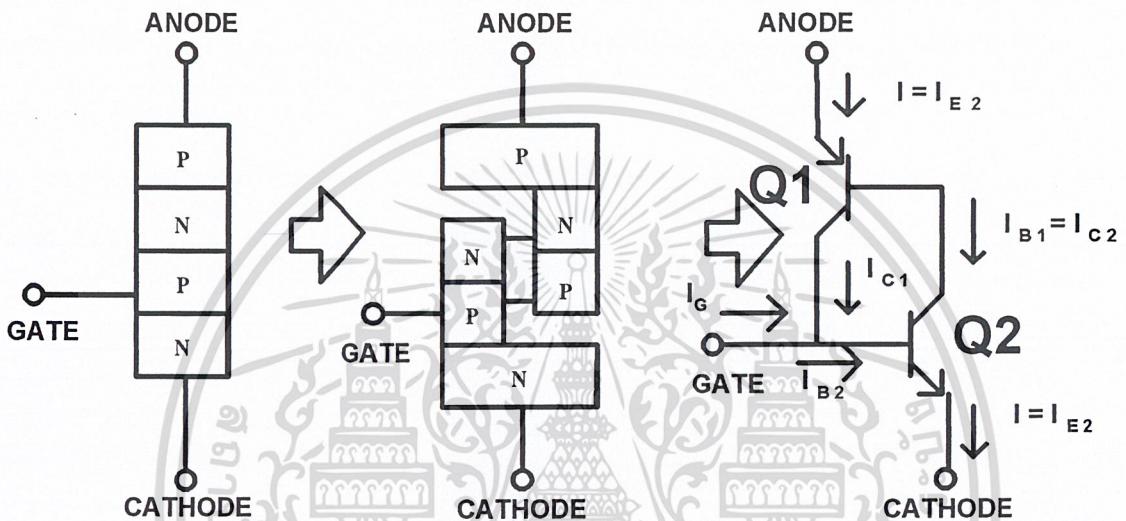
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เอสซีอาร์ (SCR)

3.1 การทำงานของเอสซีอาร์

พิจารณาโครงสร้างของเอสซีอาร์เป็นทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN คู่กันดังแสดงในรูปที่ 3-1 ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) ของทรานซิสเตอร์ Q1 (PNP) จะเป็นขั้วแอโนด (Anode) ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q2 จะเป็นขั้วแคโทด (Cathode) และขาคอลเลคเตอร์ (Collector) ของทรานซิสเตอร์ Q1 จะต่อร่วมกับขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นขั้วเกต (Gate)



รูปที่ 3-1 โครงสร้างของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์ คือ ขณะที่ยังไม่มีกระแสไหลเข้าเกตขั้วแคโทด แรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับแคโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าเกตขั้วแคโทด แรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าเกตขั้วแคโทดเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแส เรียกว่า ทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

ในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสนั้น จะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านต่ำจนถึงค่าหนึ่งตามคุณสมบัติที่กำหนดมา จากรูปที่ 3-1 หากเราทำการตัดวงจรขาเกตกับขาแคโทดจะทำให้กระแสหยุดไหลได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นการทำงานของเอสซีอาร์จริงๆ และมีกระแสจำนวนน้อยมากที่จะเบี่ยงเบนมาไหลผ่านทางที่ลัดวงจร

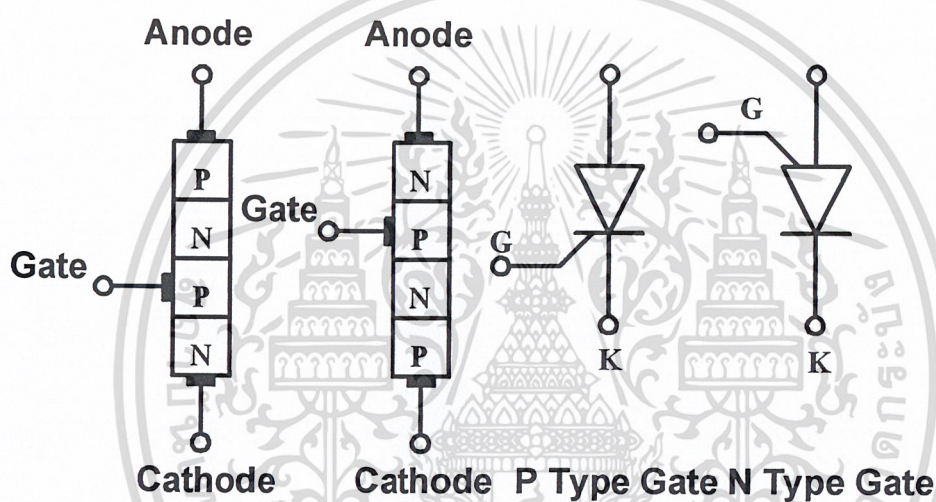
ตามหลักการในเอสซีอาร์โดยทั่วไป โครงสร้างภายในจะถูกออกแบบให้มีลักษณะซอร์คิอิมิตเตอร์ โดยจะใช้ตัวต้านทานต่อระหว่างขาเกตและขาแคโทด เพราะจะทำให้เกิดกระแสเบี่ยงเบนจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ NPN ผ่านตัวต้านทานทำให้กระแสจุดชนวน (I_g) กระแสค้ำ (I_L : latching current), กระแสยึดมีค่ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวในการจุชขนาดของเอสซีอาร์ให้ใช้ค่าความต้านทานสูงๆ ค่อยนานหรือไม่ค่อยได้ เลขก็ได้ ดังนั้นคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าความต้านทานภายนอก ซึ่งในกรณีนี้การออกแบบให้มีลักษณะซอร์ตอิมิตเตอร์จะมีผลน้อยมาก

อุณหภูมิที่รอกคือเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการทำงานต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเอสซีอาร์เป็นอย่างมาก

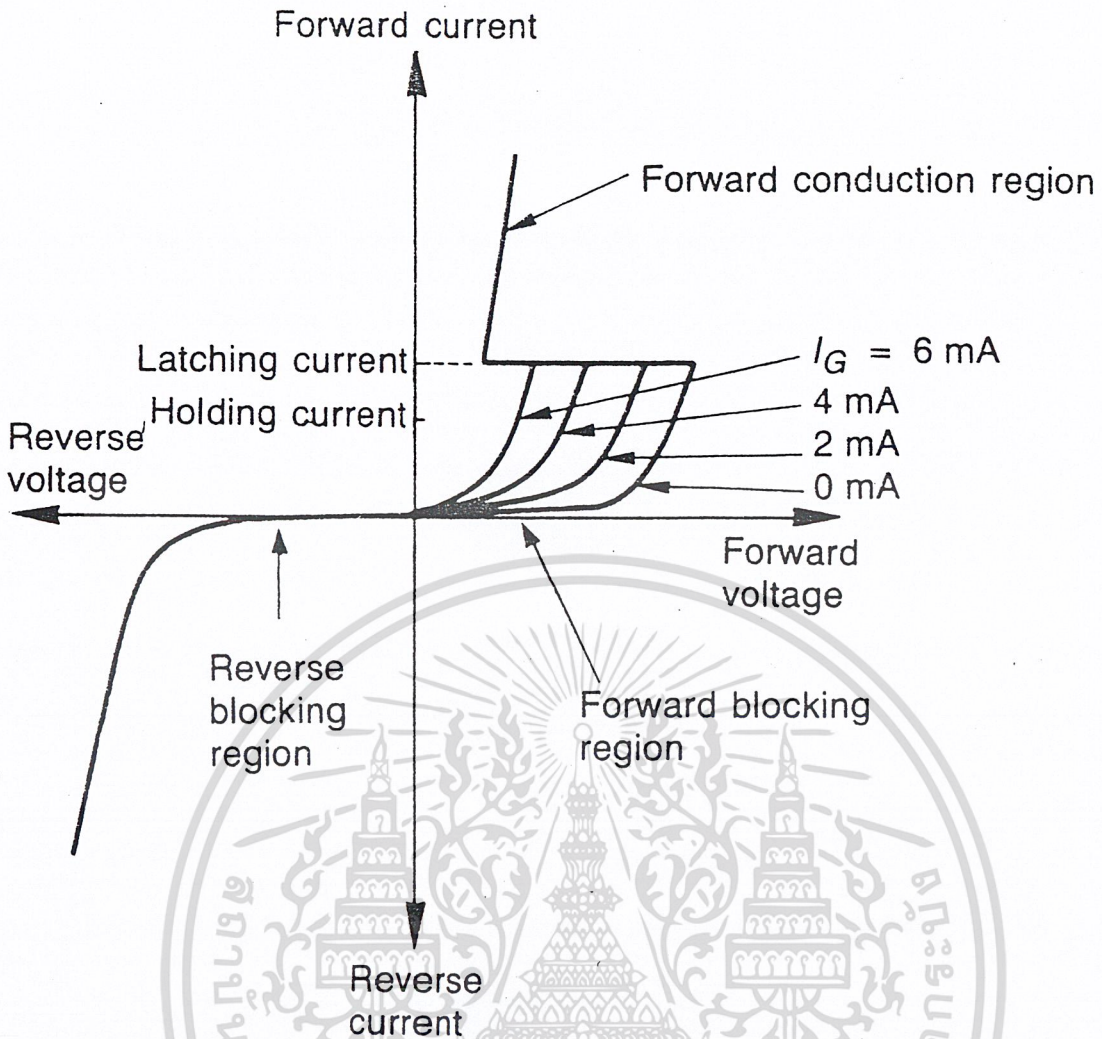
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เอสซีอาร์เกิดการนำกระแสได้ง่ายขึ้นดังนั้นสภาวะของวงจรที่ถูกกำหนดให้นำกระแสจะถูกรอกแบบให้ทำงานที่จุดอุณหภูมิต่ำสุด



รูปที่ 3-2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

3.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์

ในรูปที่ 3-3 แสดงคุณสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดเรนต์ ระหว่างแรงดันคร่อมตัวเอสซีอาร์และกระแสที่ผ่าน



รูปที่ 3-3 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแดรนต์

3.3 ความไวในการจุดชนวน

เพราะว่ากระแสรั่วไหลบริเวณรอยต่อ และอัตราขยายกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิ ขนาดของกระแสจุดชนวนเกณฑ์ที่ต้องการจริงๆ จึงลดลง และเกทจะมีลักษณะเหมือน ไดโอดที่มีแรงดันตกคร่อมเมื่ออุณหภูมิบริเวณรอยต่อ

อย่างไรก็ดี การออกแบบกระแสจุดชนวนก็มีความสำคัญมากที่จะให้พอเพียงในการใช้งานที่จุดอุณหภูมิต่ำสุด ความต้องการขนาดความกว้างของพัลส์ (Pulse width) จุดชนวนเกทในการทำให้เอสซีอาร์ นำกระแสแน่นอนขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่กระแสแอนโอดจะมีระดับถึงกระแสค้าง และเราจำเป็นต้องรักษาระแสที่เกทจนกระทั่งเอสซีอาร์นำกระแส ในการใช้งานกับโหลดที่เป็นขดลวดหรือที่กระแสแอนโอดมีค่าต่ำกว่ากระแสยี่ก่อนใช้งาน

การจุดชนวนเอสซีอาร์ด้วยไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่ามากกว่ากระแสรั่วไหลป้อนกลับที่ได้จะเป็นปกติ แต่จะไม่มีประโยชน์ถ้าสัญญาณจุดชนวนถูกค้างไว้ระหว่างที่แรงดันแอนโอดไหล

3.4 คุณสมบัติกระแสตกค้างและกระแสยึด

เมื่อกำลังถึงสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดกระแสไหลในเอสซีอาร์อยู่ตลอดเวลาได้ ถึงแม้จะไม่มีกระแสจุดชนวนเกณฑ์ในเวลานั้นก็ตาม หลักการที่จะกล่าวถึงคือกระแสตกค้างนั่นเอง การจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสจะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสยึดและกระแสที่จุดเริ่มต้นหยุดนำกระแสเรียกว่า กระแสยึด ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ที่เกาต์ด้วย

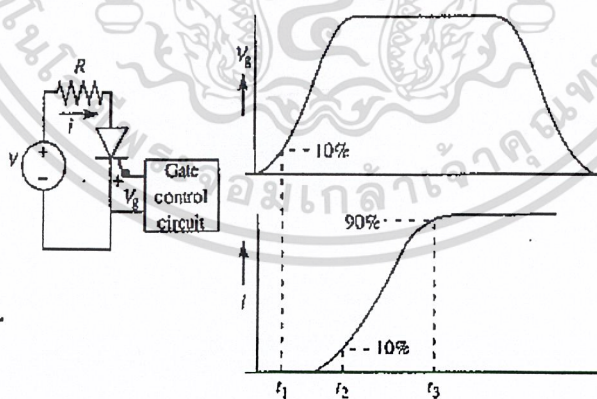
กระแสป้อนกลับในขาเกาต์ของเอสซีอาร์จะต้องมากกว่ากระแสตกค้าง และกระแสยึดและการไปแอส ตรงที่ขาเกาต์จะไม่มีควมหมายถ้ากระแสที่ป้อนต่ำกว่าค่าเหล่านี้

3.5 คุณสมบัติการสวิตชิง

เมื่อจุดชนวนเกณฑ์ด้วยสัญญาณจุดชนวนเกณฑ์ให้เอสซีอาร์นำกระแส เวลาในการเริ่มต้นนำกระแสจะแบ่งเป็น 2 สถานะ คือช่วงเวลานิ่ง (T_d : delay time) และช่วงเวลาที่ขึ้น (T_r : rise time) ช่วงเวลาที่ขึ้นจะเริ่มต้นจากระดับแรงดัน 10 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

ผลรวมของเวลาทั้งสองคือช่วงเวลาเริ่มต้นนำกระแส (t_{pt} : turn-on time) และ SCR หมายถึงช่วงเวลาที่เริ่มต้นจากระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ของขอบนำกระแสจุดชนวนเกณฑ์ถึงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์

ข้อควรระวังอย่างหนึ่ง คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านตัวเอสซีอาร์ในช่วงเวลาขณะนั้น เพราะวาระหว่างเวลานั้นแรงดันที่ตกคร่อมจะสูง และกระแสจะมีความเข้มข้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากการประจุกระแทกกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งสูง และจะเป็นผลให้จุดนั้นเสียหายได้ สิ่งสำคัญคือ กำลังงานที่แพร่กระจายในขณะที่เริ่มนำกระแสควรจำกัดให้รักษาไว้ระดับหนึ่ง



รูปที่ 3-4 ช่วงเวลาที่รีนออนของไทรสเตอร์

3.6 ช่วงเวลาหยุดนำกระแส

การประยุกต์ใช้งานเอสซีอาร์ในการควบคุมกำลังงานที่จะใช้กันในช่วงที่เอสซีอาร์มีคุณสมบัติหยุดนำกระแส เรามักจะไม่มีปัญหาในการออกแบบให้เอสซีอาร์นำกระแสได้อย่างแน่นอนและแม่นยำ นอกนั้นหลังจากที่เรานำสัญญาณจุดชนวนออก ช่วงเวลานำกระแสจะขึ้นกับเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งนานเท่าผลรวมของอัตราขยายเบสร่วมของทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP

ส่วนในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสสั้นอัตราขยายควรต่ำกว่าปกติในสภาพนำกระแส กระแสแอโนดควรมากกว่ากระแสเบสสำหรับการใช้ในไฟฟ้ากระแสสลับ การหยุดของกระแสจะเป็นไปโดยอัตโนมัติในช่วงลบของลูกคลื่น

อย่างไรก็ตามในการใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง กระแสแอโนดจะทำให้หยุดลงหรือเบี่ยงเบนไป และในการจะเกิดกระแสแอโนดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระแสไบเอสตรงและอุปกรณ์อื่นๆ และช่วงเวลารีเซ็ตเฟวอร์รี่จะต้องผ่านไปก่อนที่เอสซีอาร์จะกลับมามีแรงดันกระแสตรงเพื่อที่จะนำกระแสอีกครั้งหนึ่ง

เราสามารถทำความเข้าใจกับช่วงเวลารีเซ็ตเฟวอร์รี่ของเอสซีอาร์ได้ง่ายขึ้นโดยพิจารณารอยต่อทั้ง 3 ที่เกิดขึ้น เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสในแต่ละรอยต่อจะได้รับการไบเอสตรงซึ่งทำให้บริเวณสาร P และสาร N ในแต่ละข้างจะมีโฮล (Hole) และอิเล็กตรอน (Electron) อยู่มาก

ถ้าต้องการให้หยุดนำกระแสในช่วงเวลาสั้นๆ จำเป็นต้องป้อนแรงดันไฟลบให้กับแอโนด เพื่อจะทำให้โฮลและอิเล็กตรอนใกล้ ๆ กับปลายรอยต่อทั้งสองด้านเกิดการแพร่กระจายและเกิดกระแสไบเอสกลับไหลผ่านเอสซีอาร์

เมื่อโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณใกล้ๆ รอยต่อเกิดการแพร่กระจายออกไปจนหมดกระแสไบเอสกลับจะหยุดไหลหมายถึง เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปกติพร้อมจะนำกระแสอีกครั้ง

อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่งคือ ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนขึ้นบริเวณกลางรอยต่อ ซึ่งการรวมตัวกันระหว่างโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณกลางรอยต่อนี้เองทำให้การแพร่กระจายเกิดขึ้นต่ำและช้า ซึ่งหมายถึงช่วงเวลารีเซ็ตเฟวอร์รี่ที่นาน

การวัดช่วงเวลารีเซ็ตเฟวอร์รี่ของเอสซีอาร์ ควรจะป้อนกระแสไบเอสตรงเป็นเวลานานเพียงพอจนแน่ใจว่าวงจรทำงานในสภาวะคงที่แล้ว เพื่อที่จะดูว่าการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบในวงจรคือขนาดกระแสไบเอสตรง, ช่วงเวลากระแสไบเอสตรง, อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา, ขนาดกระแสไบเอสกลับ, ขนาดแรงดันไบเอสกลับ, อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลา, ขนาดของแรงดันที่ใช้, ค่าความต้านทานระหว่างเกตและแคโทดและขนาดสัญญาณจุดชนวนเกตว่าจะมีผลต่อช่วงเวลารีเซ็ตเฟวอร์รี่อย่างไรให้ทำการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบนั้นๆ โดยให้ส่วนอื่นๆ คงที่

3.7 คุณสมบัติของ di/dt

เมื่อทริกให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส กระแสในช่วงเริ่มแรกจะไหลผ่านเนื้อที่ตัดขวางของทรานซิสเตอร์ เฉพาะบริเวณที่มีขั้วเกตต่ออยู่เท่านั้น ในลักษณะเป็นจุด จากนั้นกระแสจะไหลแผ่กระจายออกจนเต็มเนื้อ

ที่ตัดหน้าขวงคังกล่าว ดังนั้นถ้ากระแสมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินไปแล้วทำให้เกิดการชำรุดเสียหายขึ้นในบริเวณเนื้อที่หน้าคัทที่อยู่ใกล้ขั้วเกท อันเนื่องมาจากความร้อนสะสมที่มีปริมาณสูงเกินกำหนด นอกจากนี้แล้วในขณะที่แรงดันแอม โนคยังมีระดับที่ไม่ต่ำพอนั้นเมื่อ i มีค่ามากแล้ว การสูญเสีย $\int V_{Th} idt$ ที่เกิดขึ้นภายในตัวไทรสเตอร์มีค่ามากด้วย การสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะการเทิร์นออนนี้เรียกว่า *สวิทชิงลอส* ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องจำกัดค่า di/dt ให้มีในค่าช่วงคังแสดงในตาราง โดยการทำให้ขั้วเกทมีลักษณะ โครงสร้างในรูปวงแหวนแทนลักษณะที่เป็นจุดเพื่อให้กระแสไหลแผ่กระจายเต็มเนื้อที่หน้าคัทขวงในเวลาทีรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้แล้วยังอาจต่อรีแอกเตอร์ค่าต่ำๆแทรกในวงจรเมนเป็นต้น

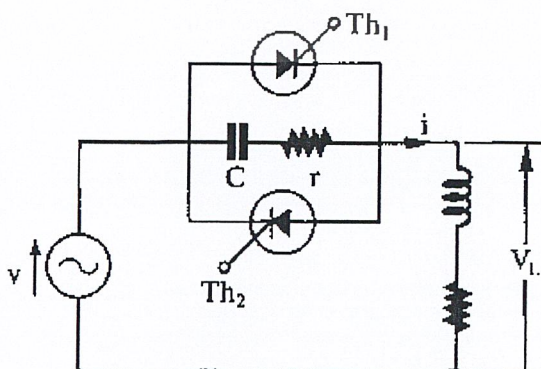
	ไทรสเตอร์ทั่วไป	ไทรสเตอร์ใช้กับความถี่สูง
$t_{on} [\mu S]$	10~20	3
$dv/dt [V/\mu S]$	25~50	100~200
$di/dt [A/\mu S]$	10~50	100~200

ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบของไทรสเตอร์สองชนิด

3.8 คุณสมบัติของ dv/dt

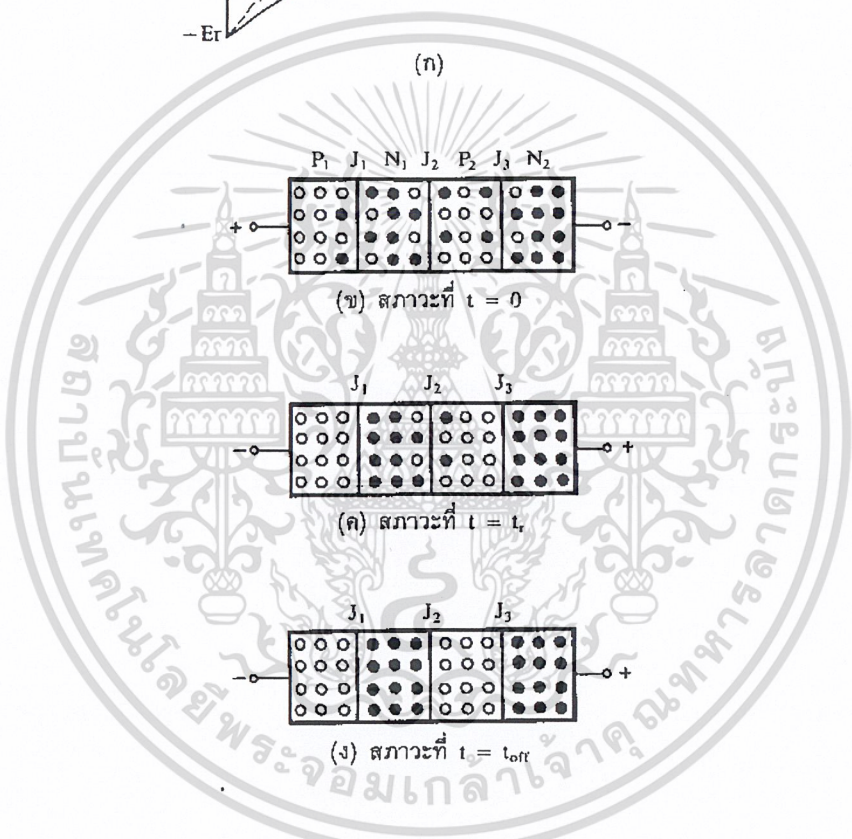
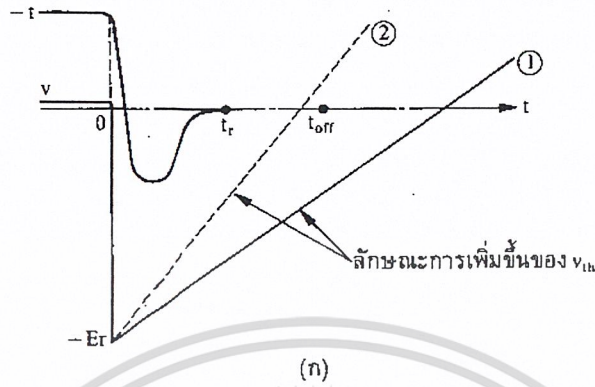
กำหนดโวลเตจคร่อมไทรสเตอร์ในสภาวะ OFF เป็น v การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน dv/dt เมื่อค่ามากเกินไปแล้วจะมีกระแสไหลซาร์จคาพาซิเตอร์ซึ่งฟอรัมตัวขึ้นในบริเวณชั้นว่างเปล่าที่ผิวรอยต่อ J_2 ทำให้ค่า V_{Bo} มีค่าต่ำลงจนเกิดการเบรคโอเวอร์และเป็นสาเหตุให้เกิดการทริกและเทิร์นออนที่ผิดพลาดขึ้น

ในกรณีควบคุมแรงดันขณะไหลคเป็นอินคักทีฟโดยอาศัยการต่อไทรสเตอร์ 2 ตัวในลักษณะคร่อมขนานกลับทิศทางกันดังรูปที่ 3-5 ซึ่งเป็นวงจรใช้ปรับแรงดันไหลค 1 เฟส โดยการควบคุมมุมทริก α ของไทรสเตอร์ ไทรสเตอร์ทั้งสองนี้จะต่อในลักษณะคร่อมขนานกลับทิศทางกัน (back to back connection)



รูปที่ 3-5 วงจร R,C สลับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



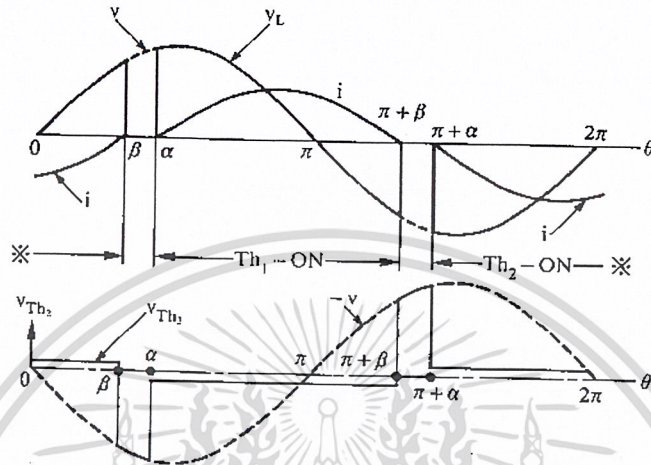
รูปที่ 3-6 สถานะต่างๆในช่วงการเทิร์นออฟ

ในกรณีโพลดเป็นอินดักทีฟนั้น ไทริสเตอร์จะไม่สามารถหยุดนำกระแสที่มุม $\theta = \pi$ ได้ แต่จะนำกระแสเลจจากตำแหน่ง π ไปเป็นมุม β เส้นโค้งแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสโพลด i ได้แสดงดังรูปที่ 3-7

เนื่องจากไทริสเตอร์ Th_1 นำกระแสในช่วงมุม θ จาก $\alpha \sim \pi + \beta$ แรงดันตกคร่อม Th_1 ในทิศทางฟอร์เวิร์ดนี้จะเป็นแรงดันรีเวิร์สตกคร่อม Th_2 ในช่วงนี้ เมื่อไทริสเตอร์ Th_1 หยุดนำกระแสที่มุม $\theta = \pi + \beta$ จะมีแรงดันชัฟฟลาย $-v$ ปรากฏตกคร่อม Th_2 ในทิศทางฟอร์เวิร์ดทันที ดังนั้นไทริสเตอร์ Th_2 ก่อน

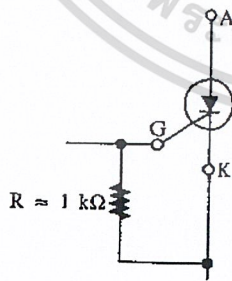
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สัญญาณเกตจะเข้ามาที่มุม $\pi + \beta$ ได้ ถ้า dv/dt ซึ่งคร่อมไทรสเตอร์ในขณะนั้นมีค่ามากเกินกว่าที่ไทรสเตอร์จะทนได้ ดังนั้นเพื่อจำกัด dv/dt ซึ่งปรากฏคร่อมไทรสเตอร์ให้มีค่าในย่านในตารางที่ 3-1 ในทางปฏิบัติจะใช้ตัวต้านทาน R และคาปาซิเตอร์ C ต่อคร่อมไทรสเตอร์ในลักษณะดังรูปที่ 3-5 วงจร R,C ที่ใช้นี้เรียกว่า วงจร snubber

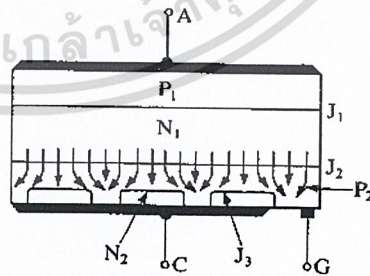


รูปที่ 3-7 การเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด i

นอกจากนั้นแล้วยังอาจใช้วิธีการเพิ่มค่า dv/dt ของตัวไทรสเตอร์ให้สูงขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ได้แสดงในรูปที่ 3-8(ก) และ (ข) รูป (ก) เป็นกรณีที่ใช้กับไทรสเตอร์ขนาดกระแสต่ำๆ ส่วนรูป (ข) จะใช้กับไทรสเตอร์กระแสสูงๆซึ่งแบบนี้มีชื่อว่า ซีดเซอร์กิติมิตเตอร์



(ก) การไบพาสด้วย R



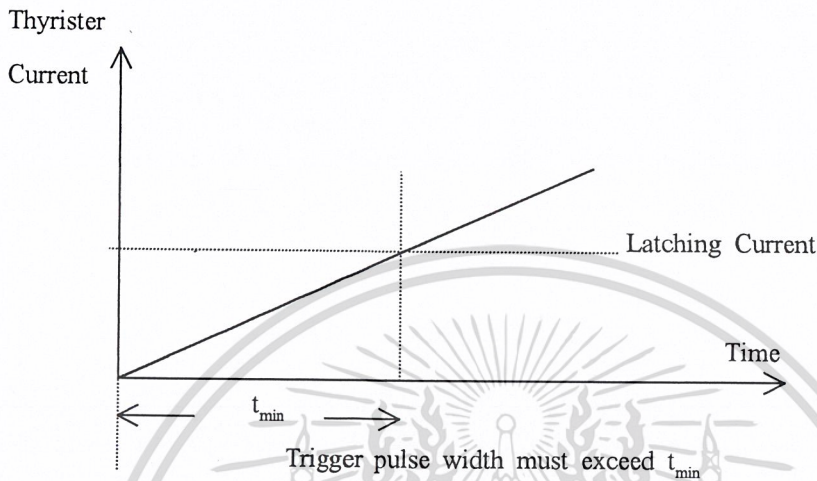
(ข) โครงสร้างของซีดเซอร์กิติมิตเตอร์

รูปที่ 3-8 วิธีการเพิ่มค่า dv/dt ของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 ระยะเวลาสัญญาณทริก

ในการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยสัญญาณทริกนั้น สัญญาณทริกเกอร์จะต้องมี ระยะเวลา นานจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง (Latching Current) ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริก

ถ้าสัญญาณทริกสิ้นสุดก่อนที่กระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำ กระแสเมื่อสัญญาณทริกสิ้นสุดลง ดังนั้นสัญญาณทริกต้องมีระยะเวลานานจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซี อาร์มากกว่ากระแสค้างจึงทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไปโดยสามารถนำสัญญาณทริกออก เอสซีอาร์จะ คงนำกระแสต่อไปในรูปที่ 3-9 แสดงเวลาน้อยที่สุด (t_{min}) ที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกไว้

ในกรณีโหลดอินดักทีฟ (Inductive) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์สู่อินดักทีฟโหลดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะเวลาของสัญญาณทริกจะต้องนานจนกระทั่งกระแสไหลมากกว่ากระแสค้างเอสซีอาร์จึง นำกระแสต่อไปได้

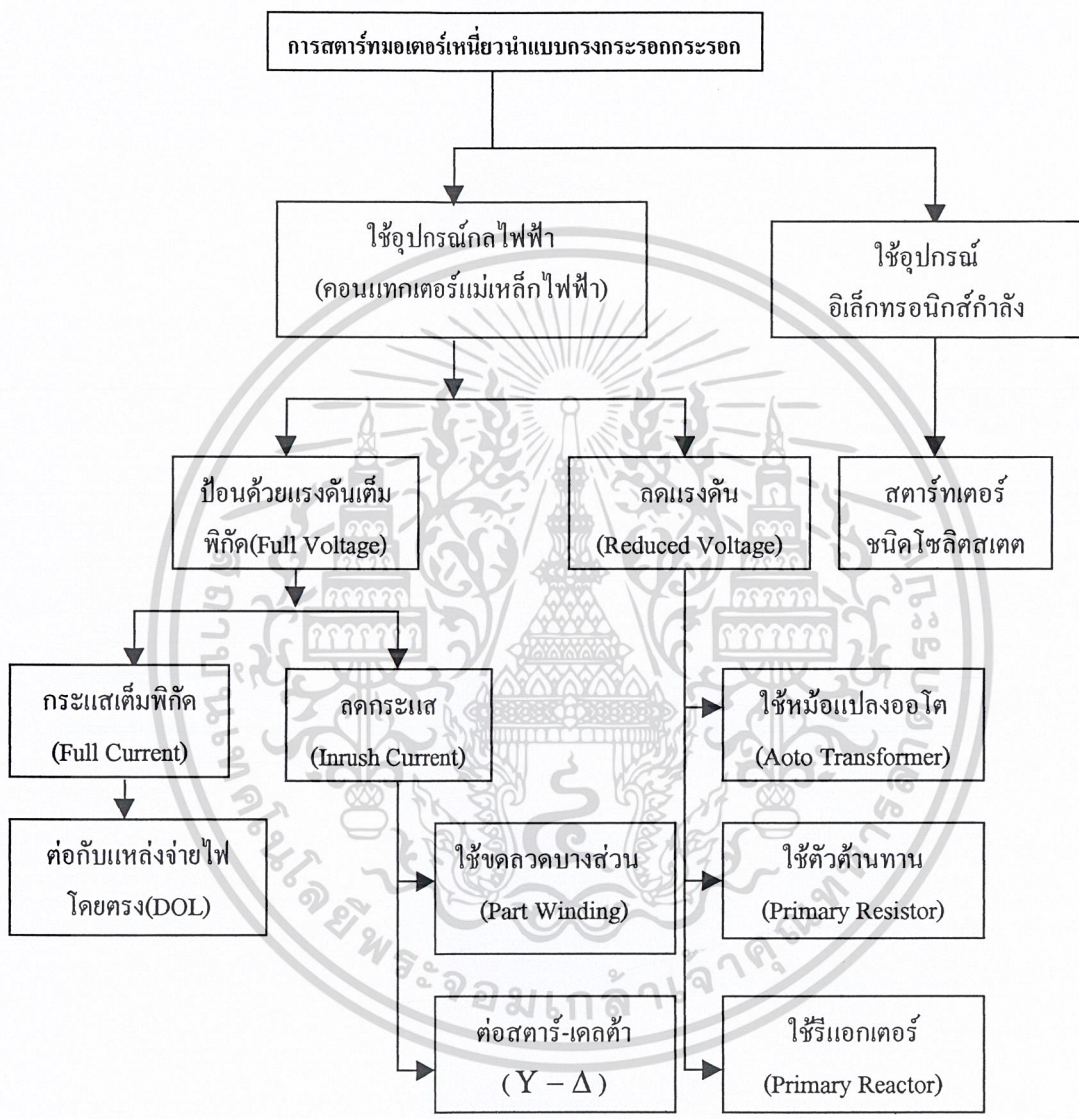
การทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสมีวิธีการดังนี้ คือ

1. ใช้แรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกต
2. ใช้แสงจุดชนวน
3. ใช้แรงดันทั้งขั้วทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแส
4. ใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลาในอัตราสูงเข้าจุดชนวน
5. ใช้อุณหภูมิสูงเข้าจุดชนวน

บทที่ 4

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

เราสามารถสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ ต้องการ เช่นต้องการลดกระแสเริ่มเดินเครื่องหรือต้องการลดทอร์กเริ่มเดินเครื่อง หรือทั้งสองอย่าง เพื่อลด ผลกระทบต่างๆที่เกิดกับระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ทางกลวิธีสตาร์ทสามารถแบ่งออก ได้ดังแสดงดังรูปที่4-1



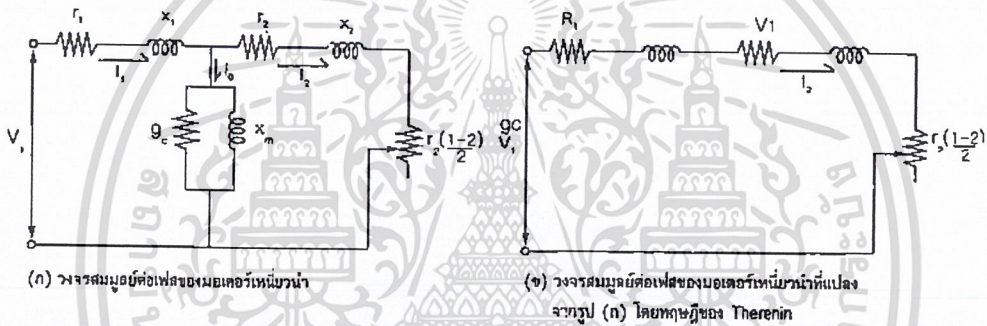
รูปที่ 4-1 การจำแนกวิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองแบบใหญ่ ๆ คือ ใช้สตาร์ทเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์กลไฟฟ้าจำพวกคอนแทกเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับตัดต่อวงจรระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายซึ่งเป็นสตาร์ทเตอร์ที่ใช้กันแพร่หลายมานานแล้ว ส่วนสตาร์ทเตอร์อีกแบบที่กำลังได้รับความนิยมในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีข้อดีหลายประการคือ สตาร์ทเตอร์ที่ใช้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น SCR หรือ Triac เป็นตัวควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ในระหว่างเริ่มเดินเครื่อง เนื่องจากแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ในช่วงเริ่มเครื่องจะมีค่าต่ำกว่าการเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าแรงดันพิกัดเสมอจึงจัดเป็นสภาวะที่ต่อประเภทลดแรงดันชนิดหนึ่งสำหรับสภาวะที่ใช้อุปกรณ์กลไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบใหญ่ ๆ คือแบบป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัด การสภาวะแบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันเต็มพิกัด และแบบลดแรงดัน การสภาวะแบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันต่ำกว่าพิกัดในระหว่างการสภาวะ ซึ่งทำได้โดยใช้หม้อแปลงออโตลดแรงดันก่อนที่จะป้อนให้มอเตอร์ หรือใช้อิมพีแดนซ์ (ตัวต้านทานหรือตัวรีแอกเตอร์) ต่ออนุกรมกับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เพื่อให้เกิดแรงดันตกในตัวอิมพีแดนซ์นั้น ๆ อันจะมีผลทำให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา

4.1 การสภาวะที่แบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง

การสภาวะที่ด้วยวิธีการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง (DOL) นี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าพิกัด กระแสเริ่มสภาวะหรือเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าสูง ดังจะแสดงให้เห็นจริงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-2 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 4-2

$$I_2 = \frac{V_{1a}}{\sqrt{(R_1 + r_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \tag{4-1}$$

$$P_{out} = T\omega_r = 3I_2^2 r_2 \frac{(1-s)}{s}$$

$$T = \frac{3(1-s)}{\omega_r} \frac{V_{1a}^2}{(R_1 + r_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s}$$

$$T = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2}{(R_1 + r_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s} \tag{4-2}$$

ถ้าให้

- I_N = กระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์
- I_{st} = กระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัด
- I'_{st} = กระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันต่ำกว่าพิกัด
- T_N = ทอร์กที่โหลดเต็มพิกัดที่มอเตอร์สร้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_{st} = ทอร์คเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัด

T'_{st} = เริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันต่ำกว่าพิกัด

จากสมการที่ (1) จะได้ว่า

$$I_N = \frac{V_{1a}}{\sqrt{(R_1 + r_2/s_N)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

$$I_{st} = \frac{V_{1a}}{\sqrt{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

$$\frac{I_{st}}{I_N} = \sqrt{\frac{(R_1 + r_2/s_N)^2 + (X_1 + X_2)^2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

มีค่าประมาณ 0.03-0.08 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของมอเตอร์ทำให้ I_{st}/I_N มีค่าประมาณ 4-8 เท่าจากสมการที่ (4-2) จะได้ว่า

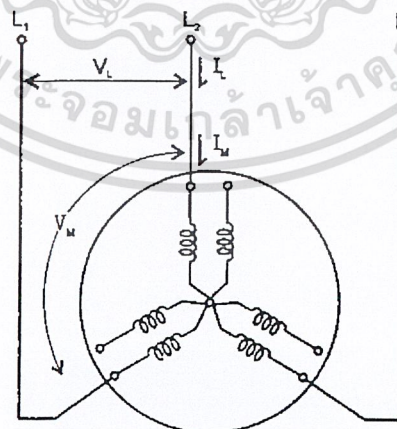
$$T_N = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2}{(R_1 + r_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s_N}$$

$$T_{st} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} r_2$$

ดังนั้น $\frac{T_{st}}{T_N} = s_N \frac{(R_1 + r_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$

T_{st}/T_N จะมีค่าประมาณ 1-3 เท่า

4.2 การสตาร์ทแบบใช้ขดลวดบางส่วน

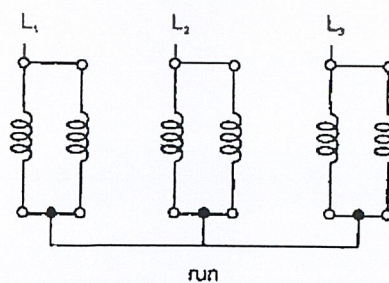
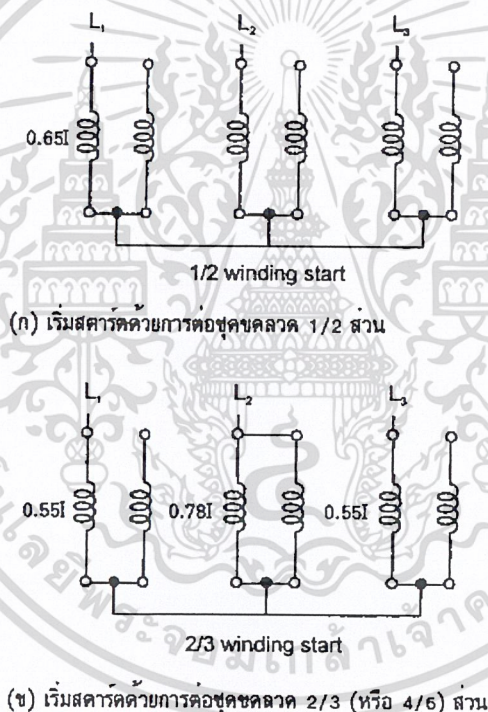


$V_M = V_L$ ชุดขดลวดแบ่งออกเป็นสองส่วน
 $I_M = I_L$ และแต่ละส่วนต่อแบบ Y

รูปที่ 4-3 มีการแบ่งชุดขดลวดเพื่อการสตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสตาร์ทด้วยวิธีใช้ชุดขดลวดบางส่วน (Part winding) จะใช้ได้กับมอเตอร์ที่มีชุดขดลวดสเตเตอร์มากกว่า 1 ส่วน ในรูปที่ 4-3 ชุดขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนต่อกันแบบสตาร์ท ในการสตาร์ทจะต่อชุดขดลวดส่วนแรกเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง หลังจากนั้นจึงค่อยต่อชุดขดลวดที่เหลือเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรงต่อไป การสตาร์ทแบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าที่กัณฑ์แต่กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าต่ำกว่าการสตาร์ทแบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง เพราะจังหวะสตาร์ทไม่ได้ต่อชุดขดลวดเข้ากับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดแต่ต่อเข้าไปทีละส่วน ขนาดของกระแสเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของชุดขดลวดส่วนแรกที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า รูปที่ 4-4(ก) แสดงการเริ่มสตาร์ทด้วยการต่อชุดขดลวด 1/2 ส่วนเข้ากับระบบไฟฟ้า กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 0.65-0.7 เท่าของกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อสตาร์ทแบบ DOL ที่ไม่เป็น 0.5 เท่า ทั้ง ๆ ที่ต่อชุดขดลวดเข้าไปเพียงครึ่งหนึ่ง เพราะค่ารีแอกแตนซ์รั่ว (Leakage reactance) มีค่าแตกต่างจากการต่อชุดขดลวดเข้าไปทีเดียวทั้งหมด สำหรับทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 0.45-0.5 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL

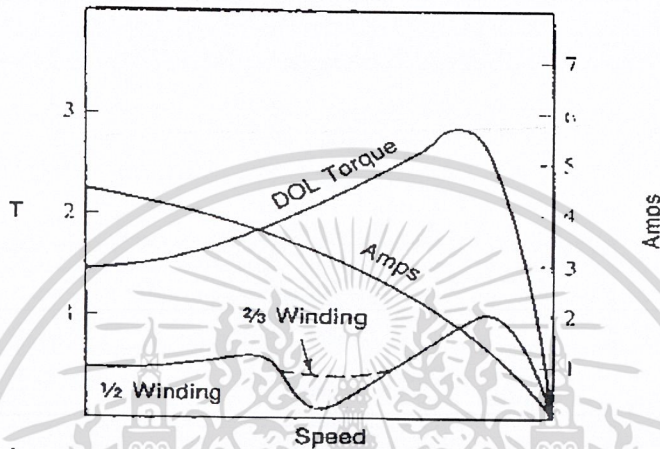


(ค) การต่อชุดขดลวดในภาวะทำงานตามปกติ

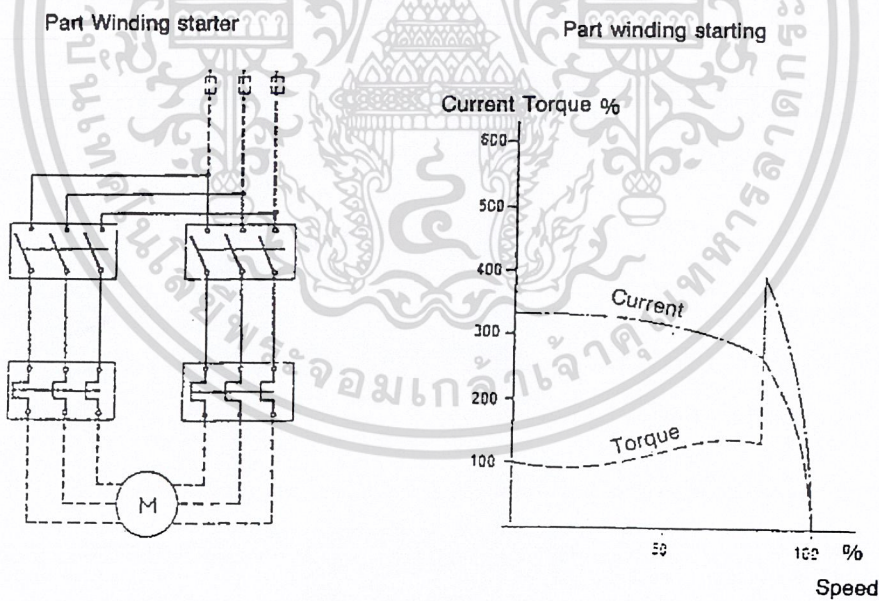
รูปที่ 4-4 การต่อชุดขดลวดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนกระทั่งทำงานในภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4-4 แสดงการต่อชุดขดลวด 2/3 ส่วน (4 ชุดจาก 6 ชุด) เข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ การต่อแบบนี้กระแสเริ่มเดินเครื่องจะไม่สมดุล โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.63 เท่าของการเริ่มสตาร์ทแบบ DOL ในขณะที่ทอร์กเริ่มเดินเครื่องก็มีค่าประมาณ 0.45-0.5 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL คือประมาณใกล้เคียงกับการสตาร์ทด้วยการต่อชุดขดลวดเพียง 1/2 ส่วนอย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากระแสเริ่มเดินเครื่องจะไม่สมดุลอันอาจจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า และทอร์กเริ่มเดินเครื่องก็ไม่ได้แตกต่างกัน แต่การสตาร์ทโดยการต่อชุดขดลวดเข้าไป 2/3 เท่าส่วนตรงที่ทอร์กในช่วงเร่งรอบที่ความเร็วประมาณครึ่งหนึ่งของความเร็วซิงโครนัส (N_s) จะไม่ตกลงมาก (ดูรูปที่ 4-5 ประกอบ)

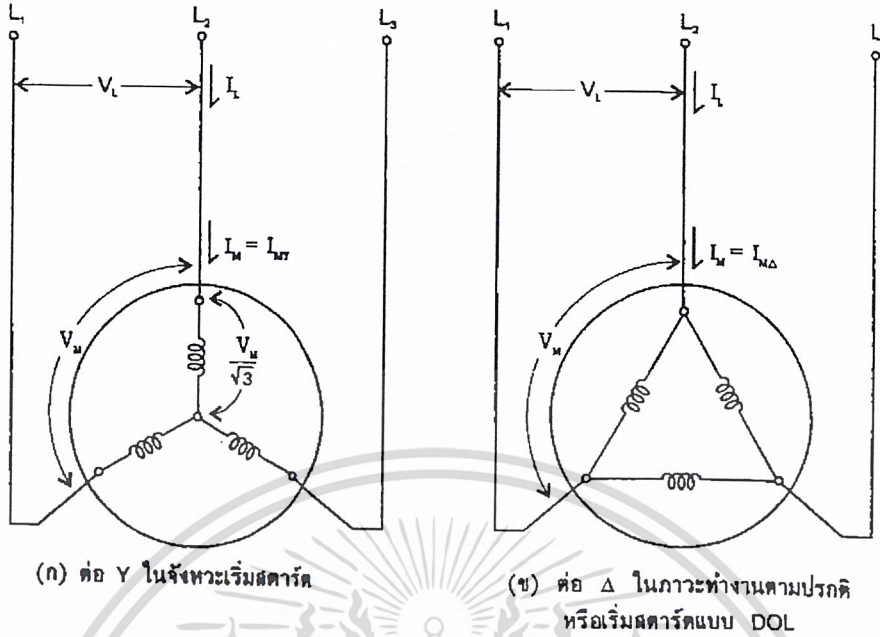


รูปที่ 4-5 กราฟลักษณะสมบัติของการสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน



รูปที่ 4-6 ไลอะแกรมของวงจรสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, ทอร์ก และความเร็ว

4.3 การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า

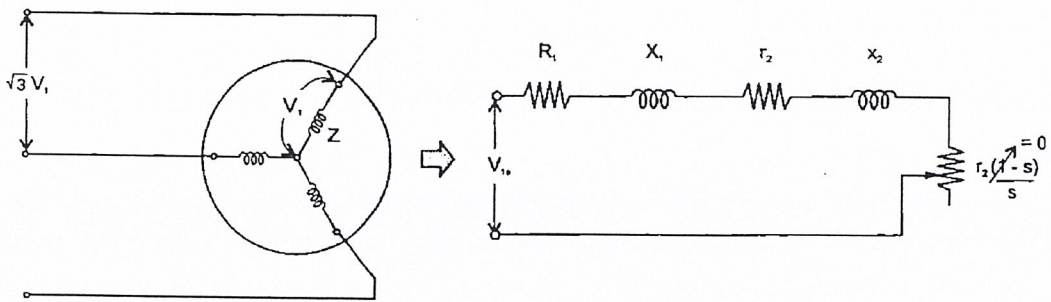


รูปที่ 4-7 การสตาร์ทโดยต่อแบบ Y - Δ

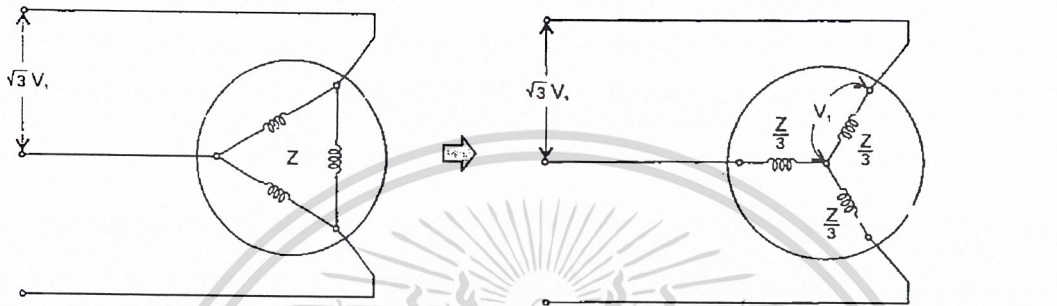
การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้านี้ มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าที่คิด อย่างไรก็ตามเนื่องจากจังหวะเริ่มสตาร์ท ชูขดลวดแต่ละขดของมอเตอร์ถูกจับต่อแบบสตาร์ท ทำให้ชูขดลวดแต่ละขดหรือแต่ละเฟสได้รับแรงดันเพียง $V_m / \sqrt{3}$ เท่านั้น ถ้าให้อิมพีแดนซ์ของชูขดลวดแต่ละเฟส ในจังหวะเริ่มสตาร์ท มีค่า Z_{st} จะได้กระแสเริ่มเดินเครื่องต่อชูขดลวดแบบสตาร์ทเป็น $I_{stY} = \frac{V_m}{\sqrt{3}Z_{st}}$ ในจังหวะเริ่มสตาร์ทถ้าให้ชูขดลวดของมอเตอร์แบบเดลต้า (Δ) แล้วต่อมอเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง คือ สตาร์ทแบบ DOL ชูขดลวดแต่ละขดจะได้รับแรงดัน V_m ดังนั้นกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ไหลในชูขดลวดแต่ละขดจะมีขนาด V_m / Z_{st} แต่การต่อชูขดลวดแบบเดลต้ากระแสสายจะเป็น 3 เท่าของกระแสเฟสหรือกระแสที่ไหลในชูขดลวด ดังนั้นกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อชูขดลวดแบบเดลต้าจะเป็น

$I_{st\Delta} = \frac{\sqrt{3}V_m}{\sqrt{3}Z_{st}}$ ดังนั้น $\frac{I_{stY}}{I_{st\Delta}} = \frac{1}{3}$ นั่นคือกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อสตาร์ทโดยต่อแบบสตาร์ท-เดลต้าจะมีขนาดเพียง 1/3 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL

ถ้าหรับทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อชูขดลวดแบบสตาร์ทจะมีค่าเพียง 1/3 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL เท่านั้น ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้



(ก) วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบดาว



(ข) วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบเดลตา

รูปที่ 4-8 วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ Y - Δ

จากรูปที่ 4-8 และสมการที่ (4-2) จะได้

$$T_{sY} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

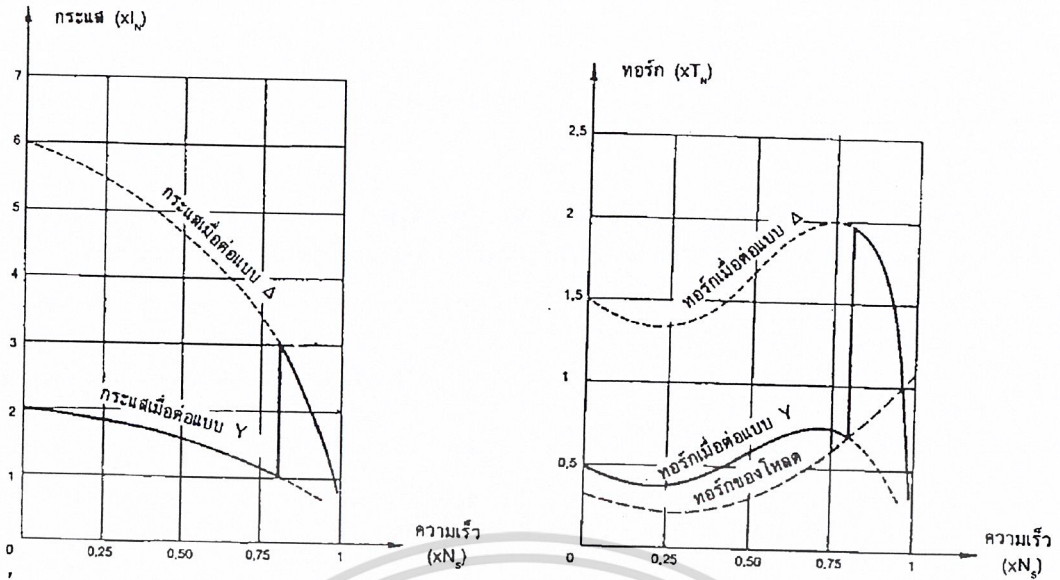
และ

$$T_{s\Delta} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2 \left(\frac{r_2}{3}\right)}{\left(\frac{R_1}{3} + \frac{r_2}{3}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{3} + \frac{X_2}{3}\right)^2}$$

$$= \frac{3}{\omega_s} \frac{3V_{1a}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

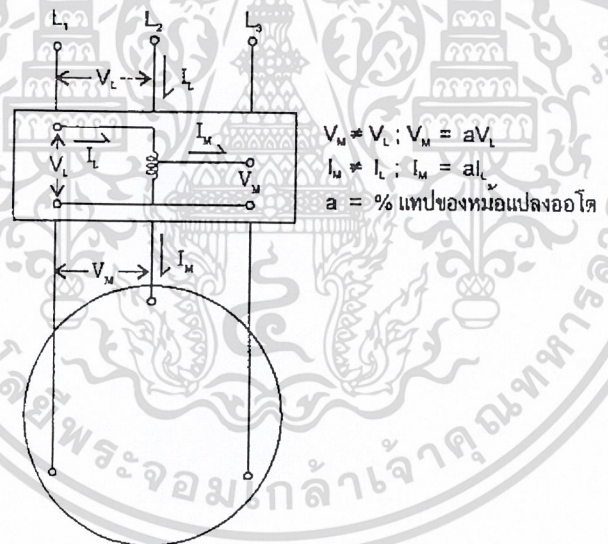
ดังนั้น

$$\frac{T_{sY}}{T_{s\Delta}} = \frac{1}{3}$$



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของกระแสมอเตอร์และทอร์กที่มอเตอร์สร้างได้กับความเร็วยกเมื่อสตาร์ทแบบ Y - Δ

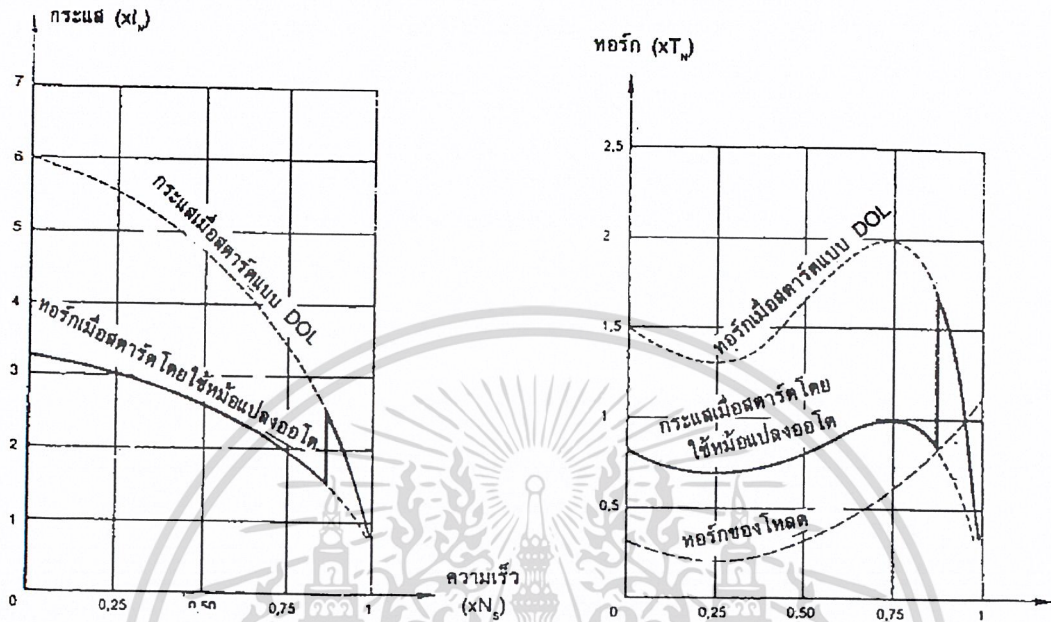
4.4 การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต



รูปที่ 4-10 การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต

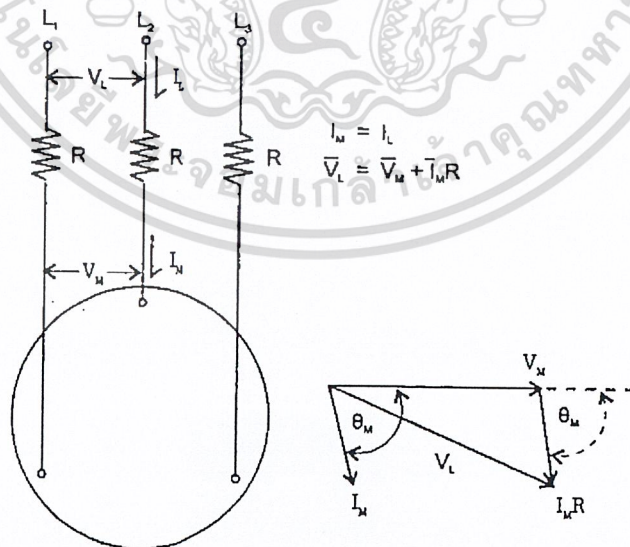
การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต แรงดันที่มอเตอร์ได้รับในจังหวะเริ่มสตาร์ทจะต่ำกว่าค่าพิกัดซึ่งขึ้นอยู่กับเทปของหม้อแปลงออโตที่เลือกต่อใช้งานแรงดันที่ 80% , 65% หรือ 50% เนื่องจากกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์แปร โดยตรงกับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ ดังนั้นเมื่อเลือกต่อที่เทป 80% กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีขนาดเพียง 80% ของกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อแบบ DOL แต่กระแสเริ่มเดินเครื่องที่ดึงจากแหล่งจ่ายไฟจะขึ้นอยู่กับอัตราทดของหม้อแปลงออโตด้วย ซึ่งจะทำให้กระแสเริ่มเดินเครื่องจากแหล่งจ่ายไฟลดลงหรือเพียง $0.8 \times 0.8 = 0.64$ หรือ 64% เท่านั้น เนื่องจากทอร์กแปรตามแรงดัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกกำลังสอง ดังนั้นถ้าเลือกค่าที่แทบ 80% ทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีขนาดเพียง 64% ของทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อแบบ DOL การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโตนี้จึงสามารถเลือกขนาดกระแสเริ่มเดินเครื่อง และทอร์กเริ่มเดินเครื่องที่เหมาะสมกับความต้องการได้ โดยการเลือกแทบของหม้อแปลงออโตซึ่งปกติจะมีให้เลือก 2-3 แทบ



รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็ว เมื่อสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต

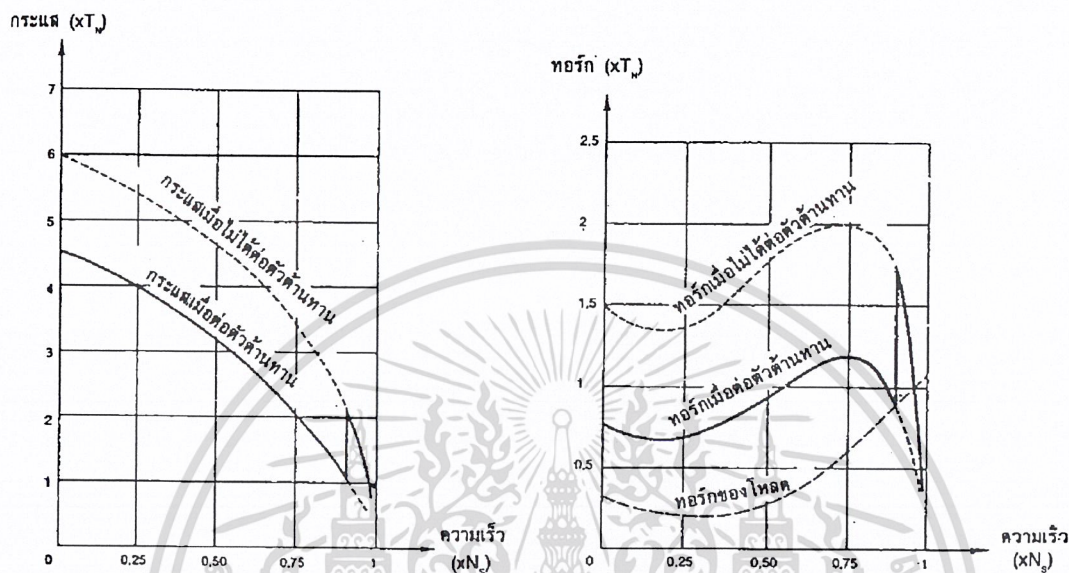
4.5 การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน



รูปที่ 4-12 การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน

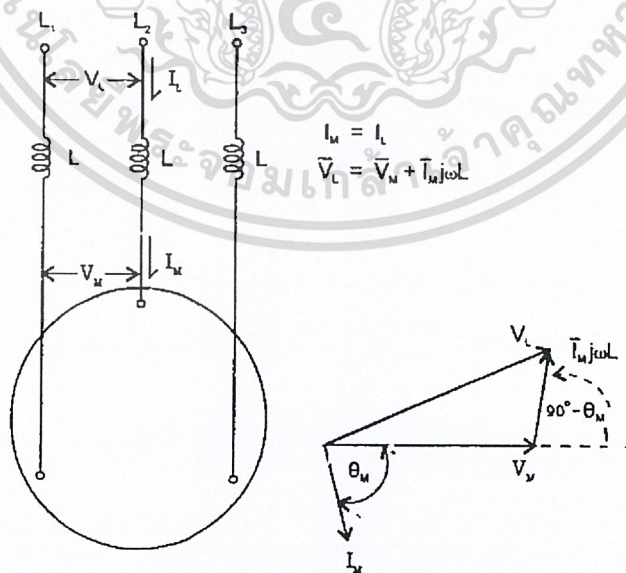
การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทานนี้จะใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์ เมื่อเริ่มสตาร์ทจะมีกระแสเริ่มเดินเครื่องผ่านตัวต้านทานทำให้เกิดแรงดันตกบนตัวต้านทาน ส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของเอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ป้อนมากับแหล่งจ่ายไฟค่าความต้านทานของตัวต้านทานจะต้องเลือกให้พอเหมาะเพื่อให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าเป็นไปตามที่ต้องการเช่นเป็น 80%, 65% หรือ 50% ของค่าที่กัศกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟและกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ไหลเข้ามอเตอร์จะมีค่าเท่ากันและแปร โดยตรงกับขนาดแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ ส่วนทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะแปร โดยตรงตรงกับแรงดันที่ขั้ว ยกกำลังสอง



รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็ว เมื่อสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน

4.6 การสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้ตัวรีแอคเตอร์

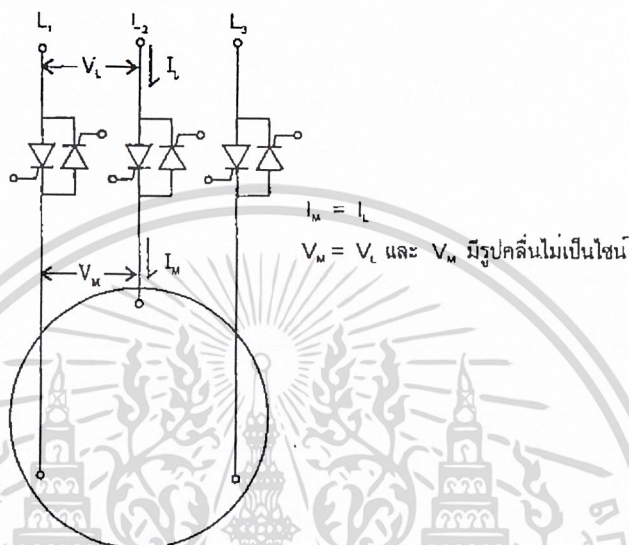


รูปที่ 4-14 การสตาร์ทแบบใช้รีแอคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้ตัวรีแอกเตอร์นี้นิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ หรือมอเตอร์แรงดันสูง โดยการใช้ตัวรีแอกเตอร์ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ เมื่อสตาร์ทจะมีกระแสเริ่มเดินเครื่องไหลผ่านตัวรีแอกเตอร์ทำให้เกิดแรงดันตกบนตัวรีแอกเตอร์ส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงดันที่ป้อนจากแหล่งจ่ายไฟ ผลลัพธ์จะคล้าย ๆ กับการสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทานแต่มีข้อดีคือมีการสูญเสียต่ำกว่า

4.7 การสตาร์ทโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



รูปที่ 4-15 การต่อ SCR สำหรับการสตาร์ทแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

สตาร์ทเตอร์ตามที่ยกมาเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4-15 จะใช้ SCR จำนวนหกตัว เฟสละสองตัว โดยต่อกลับหัวกลับหาง โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดให้กระแสไหลผ่านเข้ามอเตอร์ โดยการหน่วงมุมจุดชนวนของ SCR แต่ละตัว จะสามารถควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของ SCR แต่ละตัวที่จะจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ได้ จึงสามารถควบคุมแรงดันเฉลี่ยที่ขั้วมอเตอร์ได้ และจากการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานจึงมีความยืดหยุ่นสูงในการปรับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์อย่างไม่มีขีดจำกัด คือปรับได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่าพิกัด ได้อย่างต่อเนื่อง

ซอฟต์แวร์สตาร์ทเตอร์ เป็นเทคโนโลยีสตาร์ทเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยอาศัยหลักการควบคุมไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำแทนหน้าสัมผัสกลไก จึงสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ โดยควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ขบวนการสตาร์ทมอเตอร์มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง อีกทั้งให้คุณสมบัติข้อได้เปรียบอีกหลายประการ ได้แก่

- Soft start

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ถูกควบคุมให้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แทนการป้อนโดยตรงอย่างต่อเนื่อง แทนการป้อนโดยตรงอย่างเต็มที่ เป็นผลให้มอเตอร์เริ่มหมุนอย่างนุ่มนวล ขจัด

ปัญหาการออกตัวอย่างกระชาก ซึ่งเป็นการป้องกันการสีกหรือของระบบขับเคลื่อนกำลัง และการเสียหายของวัสดุในระบบขบวนการผลิตสินค้า

- **Current limit**

ซอฟต์แวร์สามารถจำกัดระดับกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์ให้อยู่ในค่าที่ตั้งไว้ (2.5-5 เท่าของกระแสฟลักมอเตอร์) การควบคุมกระแสสตาร์ทไม่ให้สูงเกินไป ช่วยลดปัญหาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak demand) , แรงดันไฟตก (Voltage drop) ในระบบ และลดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า, สายเคเบิล รวมถึงถนอมอายุการใช้งานของมอเตอร์ไปในตัวอีกด้วย

- **Power saving mode**

ลดแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ในภาวะวิ่งตัวเปล่าหรือทำงานเบา ๆ ได้ หนึ่ง การลดค่ากระแสขณะทำงานเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อนในขดลวดและสายเคเบิล ส่วนการลดระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นการลดความสูญเสียในแกนเหล็กของมอเตอร์ด้วย

- **Soft stop**

การหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ โดยตัดการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ทันทีทันใด มีผลกระทบต่อวัสดุที่อยู่ในขบวนการผลิต อาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น โดยเฉพาะในระบบขับเคลื่อนของเหลวการหยุดทันทีทันใดทำให้เกิดลูกคลื่นกระแทกขึ้นภายในท่อส่ง เราสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้ โดยอาศัยลักษณะการหยุดมอเตอร์แบบ Soft stop ในขณะที่ได้รับสัญญาณให้หยุดมอเตอร์ ซอฟต์แวร์จะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ค่อย ๆ ลดลงจนถึงศูนย์ภายในเวลาที่ตั้งไว้ มอเตอร์จะลดความเร็วลงและหยุดอย่างนุ่มนวลการกระชากและลูกคลื่นกระแทกจึงไม่เกิดขึ้น

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกมีหลายวิธี การสตาร์ทด้วยวิธีที่เหมาะสมจะช่วยให้มอเตอร์และระบบทางกลตลอดจนระบบไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัย ตลอดจนเสียค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ต่ำสุด เช่น ค่าบำรุงรักษา การที่จะเลือกว่าสตาร์ทวิธีไหน เราต้องคำนึงทั้งเรื่องทอร์กที่มอเตอร์สร้างขึ้นมาในระหว่างเร่งรอบความเร็ว และกระแสเริ่มเดินเครื่องที่มอเตอร์ดึงมาจากระบบไฟฟ้า

คุณลักษณะ	วิธีการสตาร์ท					
	DOL	Part winding	Star-delta	Auto transformer	Resistor	Solid state
กระแสเริ่มเดินเครื่อง	100%	65%	33%	64%,42%,25%	70%	0-100%
	(4-8In)	(2.6-5.2In)	(1.3-2.6In)	(1-5.1In)	(2.8-5.6In)	(0-8In)
ทอร์กเริ่มเดินเครื่อง	100%	50%	33%	64%,42%,25%	49%	ปรับได้ 5-50%
	(0.6-1.5Tn)	(0.3-0.75Tn)	(0.2-0.5Tn)	(0.15-0.96Tn)	(0.3-0.75Tn)	(0.03-0.75Tn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนสายไฟ (เส้น)	3	6	6	3	3	3หรือ6
ขนาดทางกายภาพ	เล็กสุด	เล็กกว่า	ปานกลาง	ใหญ่	ปานกลาง	เล็ก
การเกิดกระแสเสิร์จ	มากที่สุด	มี	มี	มี	มี	มีน้อยมาก
การเปลี่ยนจังหวะ	ไม่มี	แบบปิด	แบบเปิดหรือปิด	แบบปิด	แบบปิด	ไม่มี
ช่วงเวลาสตาร์ท(Sec)	2 ถึง 3		3 ถึง 7	7 ถึง 12	7 ถึง 12	ปรับแต่งได้
การควบคุม	เปิด/ปิด	เปิด/ปิด	เปิด/ปิด	ได้สูงสุด 3 แอป	เปิด/ปิด	ปรับแต่งได้
ข้อดี	1.ราคาถูก 2.ให้ทอร์คเริ่มเดินเครื่องสูง		1.ค่อนข้างจะถูก	1.อัตราส่วน T/I สูง 2.สามารถเลือกค่าได้ 3.ไม่ขาดจังหวะ	1.สามารถเลือกค่าได้ 2.ไม่ขาดจังหวะ	1.ปรับแต่งค่าต่างๆได้อย่างละเอียด
ข้อเสีย	1.กระแสเริ่มเดินเครื่องสูง	1.กระแสอาจไม่สมดุล 2.อาจเริ่มรอบได้ช้าหรือเร่งรอบไม่ขึ้น	1.ทอร์คเริ่มเดินเครื่องต่ำ 2.ปรับค่าไม่ได้ 3.ต้องใช้มอเตอร์มีขั้วต่อสาย 6 ขั้ว	1.ต้องใช้หม้อแปลงอโตราคาแพง	1.ลดกระแสเริ่มเดินเครื่องน้อย 2.ต้องใช้ตัวต้านทาน	1.ราคาแพง

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสตาร์ทมอเตอร์แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

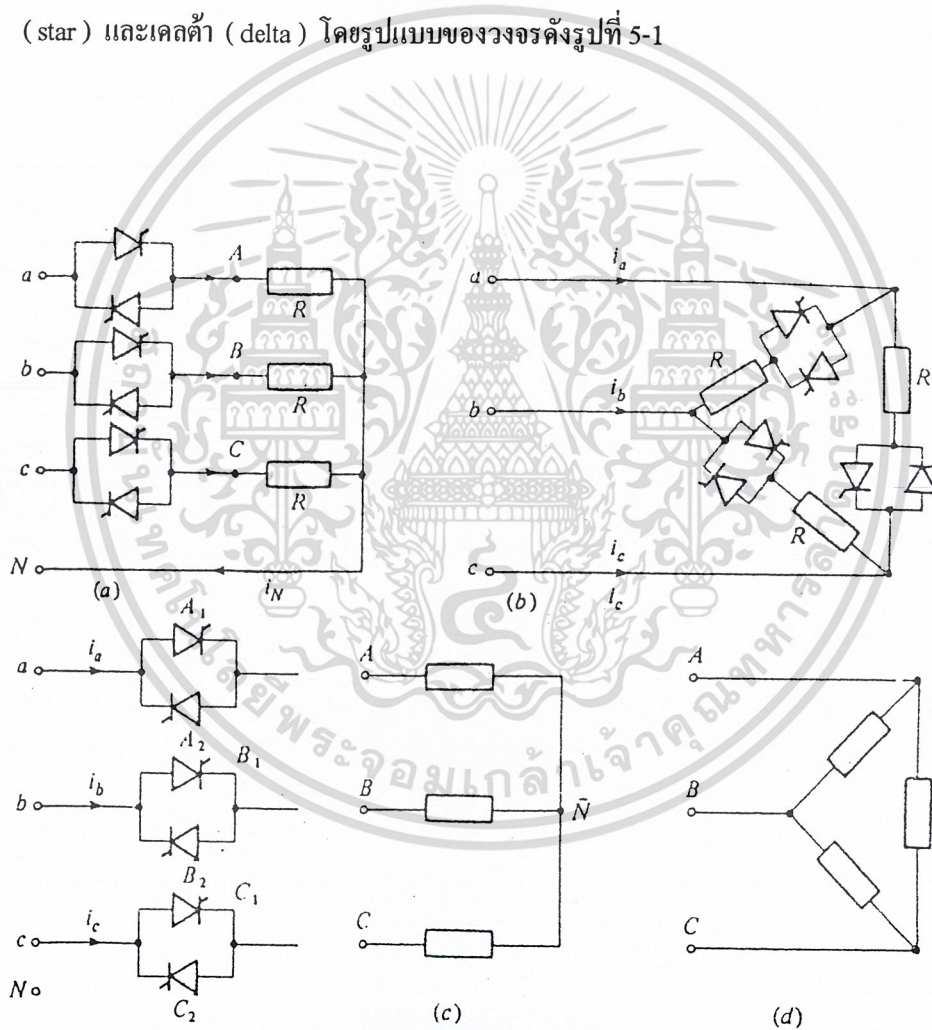
การควบคุมแรงดันที่สเตเตอร์ (STATOR VOLTAGE CONTROL)

5.1 การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส

การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส แบ่งได้ 2 แบบ

1. การควบคุมแบบไลน์ (Line Controller)
2. การควบคุมแบบบรานช์ (Branch Controller)

ซึ่งการควบคุมทั้ง 2 แบบนี้ สามารถต่อเป็นการควบคุมภาระทางไฟฟ้าแบบสตาร์ (star) และเดลต้า (delta) โดยรูปแบบของวงจรดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 แสดงลักษณะการต่อวงจรควบคุมโหลด 3 เฟส แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ

5.2.1 การควบคุมแบบบรานซ์

- ข้อดี**
1. มีช่วงการควบคุมกว้างคือตั้งแต่มุมโหนดถึง 180 องศา ซึ่งเหมือนกับการควบคุมแบบเฟสเดียว
 2. สำหรับการต่อแบบเคลตาสามารถลดพิคคของเอสซีอาร์ลงได้ เพราะกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์มีค่าน้อยกว่าแบบไลน์และการต่อแบบนี้ยังให้ดิสทอร์ชันแฟคเตอร์ (Distortion Factor) สูงสุดเมื่อเทียบกับการต่อแบบอื่นด้วย

- ข้อเสีย**
1. สำหรับการต่อแบบเคลตา การต่อจะไม่สะดวกเพราะต้องใช้สายออกจากมอเตอร์ถึง 6 เส้น เมื่อนำมาต่อกับเอสซีอาร์และยังถ้าในกรณีที่มอเตอร์อยู่ห่างจากแผงควบคุมมากจะทำให้สิ้นเปลืองสาย และการเดินสายทำได้ลำบาก
 2. สำหรับการต่อแบบสตาร์ จะทำให้เกิดฮาร์โมนิกกระแสสูงสุด และกระแสที่ไหลในนิวตรอนสูงสุดด้วย

5.2.2 การควบคุมแบบไลน์

- ข้อดี**
1. การต่อใช้งานจะสะดวก เพราะใช้สายที่ต่อออกจากตัวมอเตอร์เพียง 3 เส้นเพื่อมาต่อกับ เอสซีอาร์ซึ่งถ้ามีมอเตอร์ที่มีการต่อสายออกมา 3 เส้นอยู่แล้ว สามารถใช้การควบคุมแบบนี้ได้เลย

- ข้อเสีย**
1. มีช่วงการควบคุมแคบกว่าแบบบรานซ์ คือตั้งแต่มุมโหนดถึง 150 องศา
 2. มีรูปคลื่นแรงดันที่ได้ผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์ มากกว่าการควบคุมแบบบรานซ์ที่ต่อแบบ เคลตา จะได้ดิสทอร์ชันแฟคเตอร์ต่ำกว่า แต่จะสูงกว่าการควบคุมแบบ บรานซ์ที่ต่อแบบ สตาร์

เนื่องจากการควบคุมแบบไลน์ มีการต่อใช้งานที่สะดวก ถึงแม้ว่าดิสทอร์ชันแฟคเตอร์จะไม่สูงเท่ากับการควบคุมแบบบรานซ์ที่มีการต่อแบบเคลตา แต่ก็มีฮาร์โมนิกกระแสต่ำกว่าการควบคุมแบบบรานซ์ที่มีการต่อแบบสตาร์ และยังเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอยู่ทั่วไปด้วย เหตุผลเหล่านี้ทำให้ในโครงการนี้จะเลือกใช้การควบคุมแบบไลน์มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์

5.3 การควบคุมแบบไลน์

การควบคุมแบบไลน์มีวงจรการต่อคั้งรูปสตาร์และเคลตา ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกันจึงขอกล่าวถึงการต่อแบบสตาร์ จากวงจรการต่อ จะไม่มีการต่อสายนิวตรอลจากแหล่งจ่ายเข้ากับโหนด ดังนั้นจะต้องมีเอสซีอาร์ทำงานพร้อมกันอย่างน้อยที่สุด 2 ตัว จึงจะมีกระแสไหลผ่านได้เพราะฉะนั้นสัญญาณทริกขาเกตจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขนี้ ดังนั้นสัญญาณพัลส์ทริก จะต้องมีความกว้างอย่างน้อยที่สุดเท่ากับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\pi/3$ rad และซีควเอนซ์ (Sequence) ของสัญญาณพัลส์ทริกที่จะไป ทริกเอสซีอาร์ในแต่ละเฟส จะต้องมีซีควเอนซ์ตรงกับแหล่งจ่าย ในที่นี้เราจะกล่าวถึงการต่อแบบสตาร์

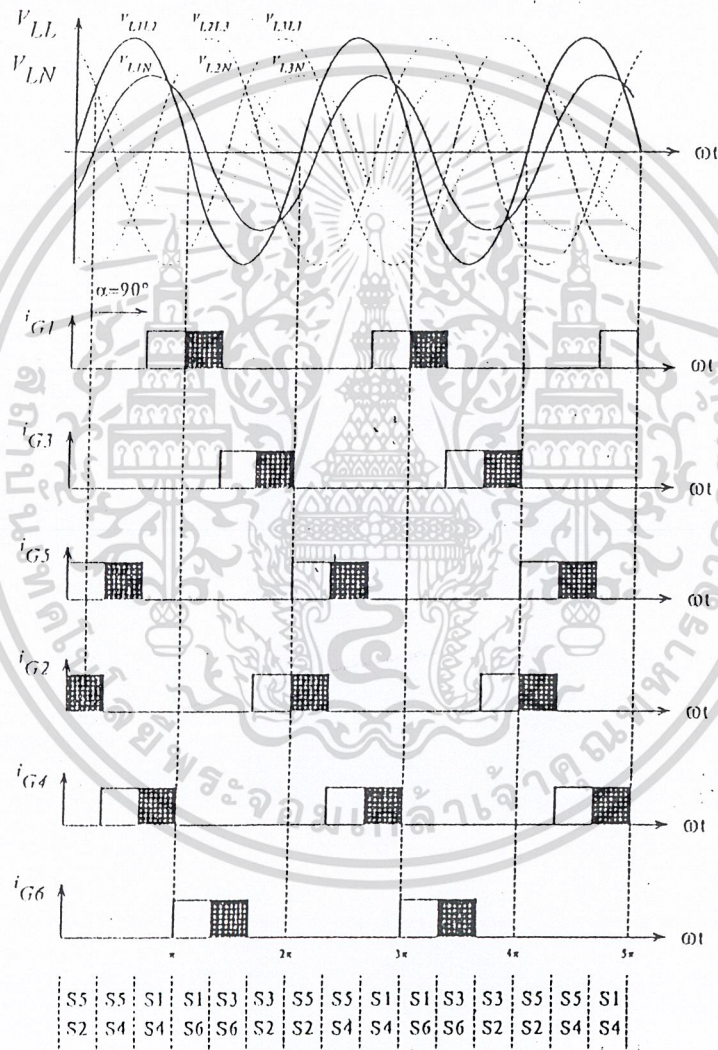
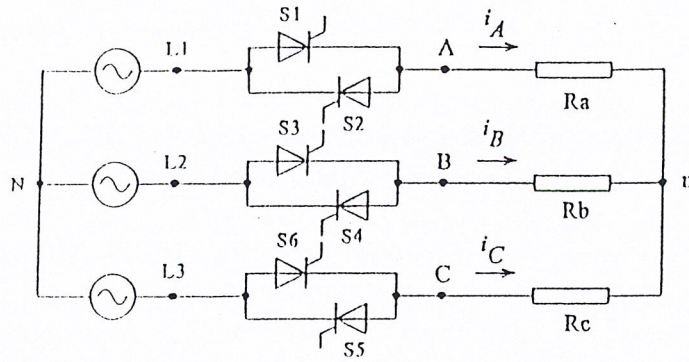
5.4 การต่อโหลดแบบสตาร์ (Star Connection)

การต่อโหลดแบบสตาร์ดังรูปที่ 5-1 กระแสจะไหลผ่านโหลดได้เมื่อเอสซีอาร์ถูกจุดชนวนเกตหรือนำกระแสอย่างน้อยสองตัว และกระแสจะไหลผ่านระหว่างเฟสหรือไหลในสองสาย (Line) ถ้าดับของมุมจุดชนวนเกตมีมุมเริ่มต้น $\alpha = 0^\circ$ เกิดขึ้นที่ $\omega t = 30^\circ$ เอสซีอาร์ลำดับต่อไปจะต้องมีมุมจุดชนวนเกตคล้อยจอกับแหล่งจ่ายแรงดันดังตารางที่ 1 แสดงช่วงที่เอสซีอาร์นำกระแสเมื่อ $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 90^\circ$

เอสซีอาร์	ช่วงนำกระแส $\alpha = 30^\circ$	ช่วงนำกระแส $\alpha = 90^\circ$
S1	$60^\circ-180^\circ$	$120^\circ-240^\circ$
S3	$120^\circ-300^\circ$	$180^\circ-300^\circ$
S5	$180^\circ-420^\circ$	$240^\circ-360^\circ$
S2	$240^\circ-360^\circ$	$300^\circ-420^\circ$
S4	$300^\circ-420^\circ$	$0^\circ-120^\circ$
S6	$0^\circ-120^\circ$	$60^\circ-180^\circ$

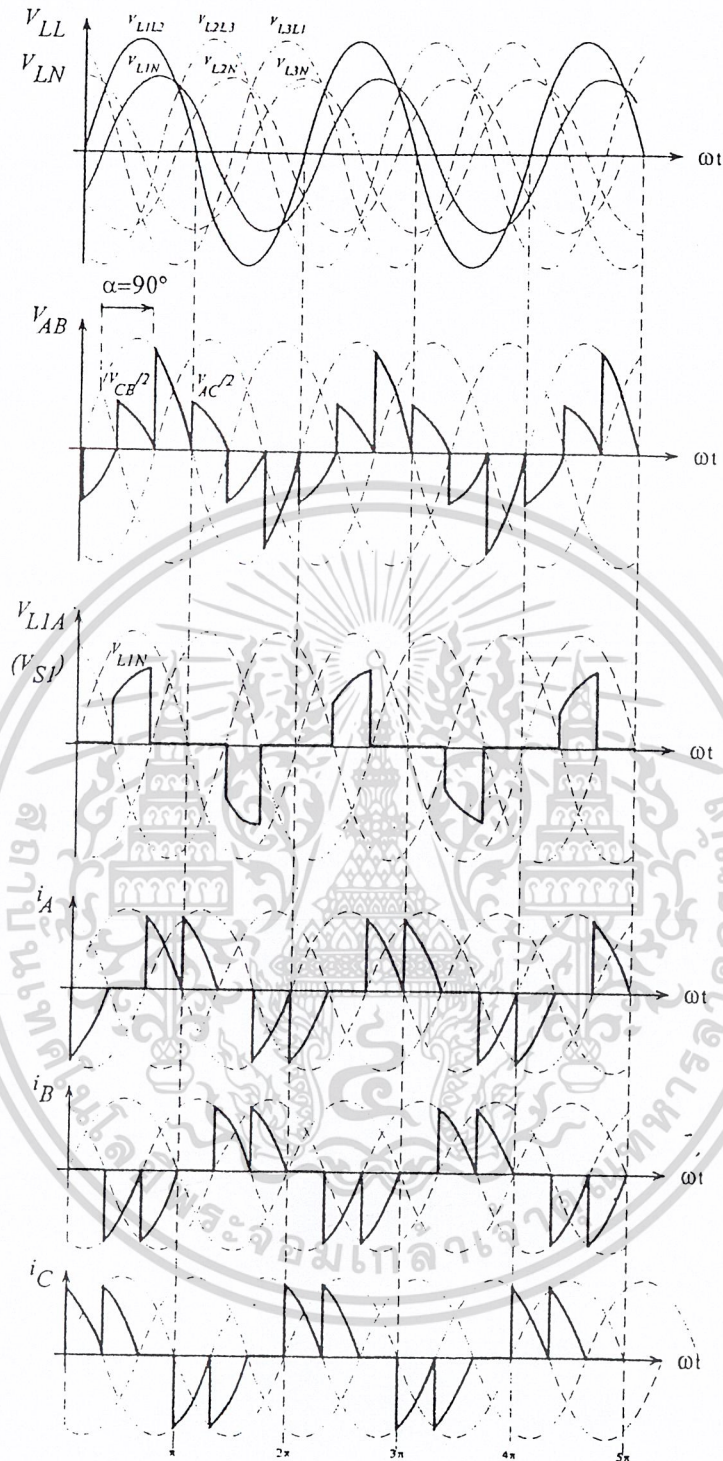
ตารางที่ 5-1 แสดงมุมที่ SCR แต่ละตัวทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 โหลดต่อแบบสตาร์ และสัญญาณจุดชนวนเกต $\alpha = 90^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-3 รูปคลื่นกระแสและแรงดันของวงจรรูปที่ 5-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5-3 เอสซีอาร์ S1 ถูกจุดขนวนเกดที่ $\omega t = 120^\circ (\alpha + 30^\circ)$ นำกระแสพร้อมกัน S4 กระแสไหลจากเฟส L1 ไปยังเฟส L2 จนถึง $\omega t = 180^\circ$ เอสซีอาร์ S4 หยุดนำกระแส ขณะเดียวกัน เอสซีอาร์ S6 ถูกจุดขนวนเกดให้นำกระแสพอดี กระแสจะไหลจาก เฟส L1 ไปยัง L3 ที่ $\omega t = 240^\circ$ เอสซีอาร์ S1 จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S3 จะถูกจุดขนวนเกดให้นำกระแส กระแสไหลจากเฟส L2 ไปยัง L3 จนถึง $\omega t = 300^\circ$ เอสซีอาร์ S6 จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S2 ถูกจุดขนวนเกดให้นำกระแสพอดี กระแสจะไหลจากเฟส L2 ไปยัง L1 จนถึง $\omega t = 360^\circ$ เอสซีอาร์ S3 จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S5 ถูกจุดขนวนเกด กระแสจะไหลจากเฟส L3 ไปยัง L1 จนถึง $\omega t = 420^\circ$ เอสซีอาร์ S2 จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S4 ถูกจุดขนวนเกด กระแสจะไหลจากเฟส L3 ไปยัง L2 จนถึง $\omega t = 120^\circ (480^\circ)$ เอสซีอาร์ S1 จะถูกจุดขนวนเกดต่อไป และจะเป็นลำดับอย่างนี้เรื่อยๆไป

สัญญาณจุดขนวนเกดที่ $\alpha > 90^\circ$ เอสซีอาร์จะถูกจุดขนวนเกดเพียงตัวเดียวทำให้ไม่มีกระแสไหลบในวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มสัญญาณจุดขนวนเกดบริเวณที่แสงสีค่าไว้ จึงทำให้เอสซีอาร์นำกระแสพร้อมกันสองตัวและกระแสไหลครบในวงจร ถ้ามุมขนวนเกด $\alpha = 30^\circ$ จะมีบางช่วงเอสซีอาร์จะนำกระแสพร้อมกันได้ 3 ตัว

แรงดันเอาต์พุตกับ โหลดตัวต้านทาน คำนวณได้จากสมการ

$$[0 < \alpha < 60^\circ]$$

$$\begin{aligned} V_{o\alpha} &= \left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2}V_{L1N}^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right)^{1/2} \\ &= \sqrt{6}V_s \left(\frac{2}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi/3} (1/3) \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\pi/4}^{\alpha+\pi/2} (1/4) \sin^2 \omega t d\omega t + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \int_{\alpha+\pi/3}^{2\pi/3} (1/3) \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\pi/2}^{\alpha+\pi/2} (1/4) \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\alpha+2\pi/3}^{\pi} (1/3) \sin^2 \omega t d\omega t \right] \right)^{1/2} \\ &= \sqrt{6}V_s \left(\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right) \right)^{1/2} \end{aligned}$$

$$[60^\circ < \alpha < 90^\circ]$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[90^\circ < \alpha < 150^\circ]$$

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

หลักการงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และการเชื่อมต่อกับ 8255

6.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่น ซึ่งมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดหรือจำนวนของหน่วยทำงานภายในที่แตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมในการประยุกต์ต่างๆ ตามความต้องการ โดยที่ทั้งลักษณะที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตไอซีวงจรรวมความจุสูงมาก (LSI) แบบ HMOS หรือ CHMOS ซึ่งมีลักษณะที่สูงมากขึ้น และสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาก

6.2 ลักษณะพื้นฐานของ 8051

หน่วยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ภายในตระกูล MCS-51 นี้ ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำ โปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบ EPROM (เบอร์ 8751) หรือแบบ ROM (เบอร์ 8051)
- หน่วยความจำแบบ RAM ภายในจำนวน 128 ไบต์
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวน 2 วงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
- วงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์หกแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

โดยมากแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มักจะมีรูปร่างของไอซีเป็นแบบ DIP ขนาด 14 ขา ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ชื่อขาค้างกับในแต่ละขา อย่างไรก็ตามจะมีบางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาสัญญาณ ที่อาจมีหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งอย่าง ซึ่งไม่สามารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้ การกำหนดว่าจะทำงานในลักษณะใดก็ขึ้นอยู่กับการทำงานเชื่อมต่อดวงจรเข้ากับขาสัญญาณ และ โปรแกรมควบคุมของระบบนั้น

6.3 หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 เป็นบริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล และคำสั่งใช้งานต่างๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหาย โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรมมีลักษณะเช่นเดียวกับหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ในไอซี หน่วยความจำประเภทต่างๆ เช่น หน่วยความจำแบบ ROM (Read Only Memory) หรือ EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) เป็นต้น

8051 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำ ROM หรือ EPROM ที่อยู่ภายในตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำมาทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำโปรแกรมของระบบ

6.4 หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ในตระกูล 8051 นี้ มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน ดังนี้

8051 และ 8052 มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ ตามลำดับ ประกอบอยู่ในไอซี และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในวงจรทางอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตมาก เนื่องจากจะมีผลทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยลดลงได้มาก

8751 มีหน่วยความจำแบบ EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ในไอซี ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในนี้สามารถให้แสงอัลตราไวโอเลตลบ และนำกลับไปบรรจุโปรแกรมใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง

8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ในตัวไอซีเลย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำภายนอกเสมอ ซึ่งมีผลทำให้ต้องเสียความสามารถบางประการเกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ไป เนื่องจากต้องนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุม เกี่ยวกับการจัดการติดต่อหน่วยความจำภายนอกแทน

6.5 หน่วยความจำข้อมูลของ 8051

หน่วยความจำข้อมูลมีหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูล หรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผลโปรแกรมไว้เป็นการชั่วคราว เป็นหน่วยความจำ RAM แบบสแตติก พื้นที่หน่วยความจำข้อมูลของ 8051 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถมีได้สูงสุดได้ไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทออกเป็นสองลักษณะตามตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Data Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำ RAM มาเพิ่มเติมเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับการนำไอซี EPROM มาใช้งานเป็นหน่วยความจำโปรแกรมนั่นเอง

6.6 หน่วยความจำข้อมูลภายใน

หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 มีจำนวนทั้งหมด 256 ไบต์ โดยจำแนกออกได้เป็นสองลักษณะ คือ พื้นที่เฉพาะสำหรับตัวประมวลผลกลางใช้งานเท่านั้น ซึ่งเรามักจะเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า รีจิสเตอร์ (Register) และพื้นที่ใช้งานทั่วไปสำหรับโปรแกรมใช้งานที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา

การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 จำแนกออกเป็นสองส่วนดังนี้

(1) หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์แรก

บริเวณนี้จะมีตำแหน่งแอดเดรสอยู่ในช่วง 00H-7FH ซึ่งยังได้มีการจำแนกย่อยออกเป็นอีกเป็นสามส่วนตามประเภทของการใช้งาน ดังนี้

บริเวณแอดเดรส 00H-1FH จำนวน 32 ไบต์ จำแนกออกเป็นกลุ่ม (หรือแบงก์) ข้อมูลจำนวน 8 ไบต์ รวมกลุ่มทั้งหมดสี่กลุ่ม พื้นที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มจะถูกใช้งานในฐานะของรีจิสเตอร์ ใช้งานทั่วไป ซึ่งมีชื่อเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 โดยทั่วไปมักจะมีการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่ของแบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วยความจำข้อมูลภายในปกติด้วยการอ้างถึงหมายเลขของแอดเดรสต่างๆ โดยตรง

บริเวณแอดเดรส 20H-2FH จำนวน 16 กิโลไบต์ บริเวณพื้นที่เป็นส่วนสำหรับผู้ใช้ซึ่งจะมีความพิเศษต่างไปจากหน่วยความจำส่วนอื่นๆ เนื่องจากผู้ใช้จะสามารถอ้างถึงหน่วยความจำบริเวณนี้ได้ทั้งในลักษณะของไบต์ข้อมูลเช่นปกติ หรืออาจจะเป็นบิตข้อมูลได้โดยตรง (ซึ่งถือเป็นการใช้งาน 8051 อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากว่า 8051 ได้รับการออกแบบมาสำหรับงานควบคุมเป็นพื้นฐานอยู่แล้ว ซึ่งส่วนมากจะเป็นการนำเข้าข้อมูลก็มักจะเป็นเพียงการอ่านค่าสถานะลอจิกของเส้นสัญญาณ หรือกรณีการส่งออกข้อมูลก็จะเป็นการกำหนดสถานะลอจิกให้กับวงจรภายนอกผ่านทางบิตใดบิตหนึ่งอยู่แล้ว ก็จะมีพื้นที่ตัวแปรแบบบิตให้ใช้งานได้มากถึง 128 บิต โดยตำแหน่งแรกของบิตจะเป็นบิตซึ่งเริ่มต้นนับจากบิตน้อยสำคัญที่สุด (LSB) ของแอดเดรส 20H เรื่อยไปจนกระทั่งถึงบิตที่ 127 ซึ่งเป็นบิตน้อยสำคัญสูงสุด (MSB) ของแอดเดรส 2FH

บริเวณแอดเดรส 20H-7FH เป็นบริเวณที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยอิสระ โดยสามารถอ้างถึงได้เฉพาะในลักษณะของไบต์ข้อมูลตามปกติเท่านั้น

(2) หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์ถัดไป

พื้นที่บริเวณตั้งแต่ 80H-FFH เป็นบริเวณของหน่วยความจำข้อมูลภายในสำหรับการใช้งานเพิ่มมากขึ้นกว่าเบอร์อื่นๆ เช่น 8031 หรือ 8751 อีก 128 ไบต์ โดยจะอยู่บริเวณช่วงแอดเดรส 80H ถึง FFH เช่นกัน ซึ่งแม้ว่าจะเป็นพื้นที่ที่มีหมายเลขแอดเดรสเดียวกับส่วนของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ แต่ในความเป็นจริง

แล้วจะเป็นพื้นที่หน่วยความจำอีกบริเวณหนึ่ง ซึ่งมีการซ้อนทับกันให้อยู่ในบริเวณแอดเดรสส่วนนี้ ซึ่งหากว่าผู้ใช้งานต้องการจะเก็บข้อมูลในพื้นที่บริเวณนี้ก็จะต้องใช้การอ้างถึงหน่วยความจำแบบโดยอ้อม (Indirect Addressing) เท่านั้น

6.7 รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการควบคุมหน้าที่ และการทำงานของอุปกรณ์ หรือพอร์คของ 8051 ทั้งหมด โดยมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณแอดเดรส 80H-FFH การใช้งานรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้สามารถทำได้ทั้งการระบุชื่อของรีจิสเตอร์ หรือตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นของรีจิสเตอร์นั้นก็ได้

ชื่อรีจิสเตอร์	คำจำกัดความ	ความสามารถในการอ้างถึงแบบบิต
ACC	Accumulator	ได้
B	B Register	ได้
PSW	Program Stack Word	ได้
SP	Stack Pointer	ได้
DPTR	Data Pointer (DPH & DPL)	ได้
P0	Port 0	ได้
P1	Port 1	ได้
P2	Port 2	ได้
P3	Port 3	ได้
IP	Interrupt Priority	ได้
IE	Interrupt Enable	ได้
TMOD	Timer / counter mode	ไม่ได้
TCON	Timer / counter control	ได้
TH0	Timer / counter 0 (high)	ไม่ได้
TL0	Timer / counter 0 (low)	ไม่ได้
TH1	Timer / counter 1 (high)	ไม่ได้
TL1	Timer / counter 0 (low)	ไม่ได้
SCON	Serial Control	ไม่ได้
SBUF	Serial Data Buffer	ไม่ได้
PCON	Power Control	ไม่ได้

ตารางที่ 6-1 รีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ (Special Function Register หรือ SFR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการจัดพื้นที่หน่วยความจำสำหรับรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้ โดยมีข้อสังเกตว่ารีจิสเตอร์ที่อยู่ในตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นจำนวนทวิคูณของค่า 8 จะสามารถอ้างถึงในระดับบิตได้ด้วย (นั่นคือแอดเดรส 80H, 88H, 90H, 98H, A0H, A8H, B0H, B8H, D0H, E0H และ F0H)

แอกคิวมูลเตอร (Accumulator) หรือ ACC เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่จะส่งให้กับหน่วยทำงานภายในซีพียู และเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานนั้น การทำงานของรีจิสเตอร์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตัวแอกคิวมูลเตอรของโปรเซสเซอร์ทั่วไป การใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ A

รีจิสเตอร์ บี (B Register) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำคำสั่งการคูณ และหารตัวเลข ในกรณีที่ไม่ใช่การคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์ ก็สามารถนำไปใช้งานเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ทั่วไปได้

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งจะต้องไปทำงานในลำดับถัดไป การใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ PC

สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำหน้าที่เก็บตำแหน่งของตัวชี้ หรือพอยน์เตอร์ของบริเวณสแต็กสำหรับเก็บข้อมูลแอกคิวมูลเตอร รีจิสเตอร์ต่างๆ รวมทั้งข้อมูลจากโปรแกรม โดยปกติแล้วเมื่อทำการเริ่มต้นระบบใหม่หลังจากการเริ่มจ่ายไฟฟ้า หรือมีการรีเซตเกิดขึ้น ค่าภายในสแต็กพอยน์เตอร์จะมีค่า 07H ซึ่งเป็นตำแหน่งแอดเดรสภายในบริเวณเนื้อที่ 128 ไบต์แรกของหน่วยความจำข้อมูลภายใน การใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ SP

ตัวชี้ข้อมูล หรือดาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งเรียกว่า รีจิสเตอร์ SPTR และสามารถใช้งานแยกออกเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตสองตัว คือ รีจิสเตอร์ DPH และ DPL เพื่อเก็บค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำที่จะต้องใช้งานภายในโปรแกรม หรืออาจจะเป็นแอดเดรสของอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งกำหนดให้ติดต่อกันโดยใช้ตำแหน่งของหน่วยความจำนั้นภายในโปรแกรม

โปรแกรมสเตตัสเวิร์ค (PSW) รีจิสเตอร์นี้ทำหน้าที่บอกถึงแฟล็กสถานะการทำงานต่างๆ รวมทั้งบิตสำหรับการกำหนดเลือกเบงก์ของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานด้วย ดังแสดงเป็นแผนภาพในรูปที่ 6-6

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ต (Port Register) รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตโดยตรง ซึ่งแต่ละตัวจะเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถใช้งานได้ทั้งในลักษณะของการอินพุต หรือการเอาต์พุตได้ การดำเนินการใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ตทั้งสี่นี้จะมีผลทำให้จะมีผลทำให้ข้อมูลที่ตำแหน่งของพอร์ตเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน นอกจากนี้พอร์ต P0 และ P2 ยังสามารถนำมาใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม หรือหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ โดยพอร์ต P2 จะเป็นค่าของแอดเดรส 8 บิตบนของหน่วยความจำ ส่วนพอร์ต P0 ไปใช้เป็นบัสนำสำหรับการรับหรือส่งข้อมูลกับหน่วยอุปกรณ์ภายนอก สำหรับพอร์ต P3 นั้น นอกเหนือจากจะใช้ในสถานะของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตเช่นปกติแล้ว ยังนำมาใช้ในสถานะบัสนำควบคุมเกี่ยวกับสัญญาณอินเวอร์ตได้อีกด้วย

รีจิสเตอร์ SBUF เป็นบัฟเฟอร์ขนาด 8 บิต สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทั้งการรับและส่งข้อมูล ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วบัฟเฟอร์นี้มีอยู่ด้วยกันสองชุด และแยกออกจากกันอย่างชัดเจน สำหรับการส่งและการรับ โดยซีพียูจะทำการจัดการเลือกบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมให้โดยอัตโนมัติ

รีจิสเตอร์ *PCON* เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมหน้าที่การทำงานในสามลักษณะ ซึ่งได้แก่ การควบคุมการทำงานของโปรเซสเซอร์ (บิต IDL และ PD) การกำหนดอัตราวิถุของอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (บิต SMOD) และแฟล็กสถานะสำหรับการใช้งานทั่วไป (บิต GR0 และ GR1)

- บิต PD (Power Down) เป็นการกำหนดให้ลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนของโปรเซสเซอร์ภายในลง โดยยังคงมีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายในผ่านทางขาสัญญาณ RST วิธีการนี้มักนำมาใช้ในกรณีที่มีการตรวจสอบการไม่มีกำลังไฟฟ้า โดยวงจรตรวจสอบภายนอกจะต้องมีการอินเทอร์รัปต์เข้ามาเพื่อทำการเก็บข้อมูลที่กำลังประมวลผลอยู่ก่อน และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้เป็นปกติแล้ว จึงค่อยนำข้อมูลนั้นมาประมวลผลต่อไป
- บิต IDL (Idle Mode) เป็นการกำหนดให้โปรเซสเซอร์หยุดการทำงานชั่วคราว (Sleep) และจะกลับมาอยู่ในสภาพปกติอีกครั้งเมื่อทำการรีเซตทางฮาร์ดแวร์ หรือมีการอินเทอร์รัปต์อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น การทำงานในลักษณะนี้สามารถเกิดขึ้นได้ก็เนื่องจากว่า สถานะการหยุดทำงานชั่วคราวนั้น เป็นเพียงการห้ามไม่ให้มีสัญญาณนาฬิกาจ่ายให้ส่วนของโปรเซสเซอร์เท่านั้น ส่วนของวงจรอินเทอร์รัปต์พอร์ตอนุกรม และวงจรนับ/จับเวลา ยังคงมีสัญญาณนาฬิกาอยู่เป็นปกติ

รีจิสเตอร์ *IP, IE, TMOD, SCON* เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่กำหนดการควบคุม และการทำงานของอินเทอร์รัปต์ต่างๆ ของ 8051

ชื่อบิต: PSW ตำแหน่ง: D0h ค่าบิตเริ่มต้น: 0000 0111

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	.	P
----	----	----	-----	-----	----	---	---

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
CY	PSW.7	Carry Flag
AC	PSW.6	Auxiliary Carry Flag
F0	PSW.5	Flag 0
RS1	PSW.4	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 1
RS0	PSW.3	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 0
OV	PSW.2	Overflow Flag
.	PSW.1	
P	PSW.0	Parity Flag

ตารางที่ 6-2 บิตต่างๆ ภายในรีจิสเตอร์ *PSW (Program Status Word)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

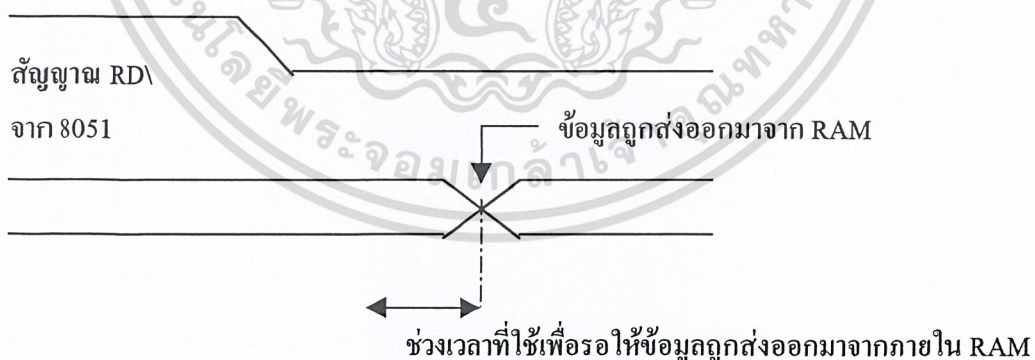
6.8 หน่วยความจำข้อมูลภายนอกของ 8051

การใช้หน่วยความจำข้อมูลภายนอกเป็นวิธีการแก้ปัญหาอย่างหนึ่ง ในกรณีที่มีความต้องการหน่วยความจำสำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราว หรือตัวแปรของโปรแกรมมากเกินไปกว่าขนาดของหน่วยความจำข้อมูลภายใน ซึ่งมีขนาดเพียง 128 หรือ 256 ไบต์เท่านั้น บางครั้งการใช้หน่วยความจำข้อมูลภายนอกยังเหมาะสมกับงานประยุกต์บางอย่างที่จำเป็น ต้องมีการเก็บสำรองข้อมูลบางอย่างไว้ไม่ให้สูญหาย แม้ว่าจะไม่

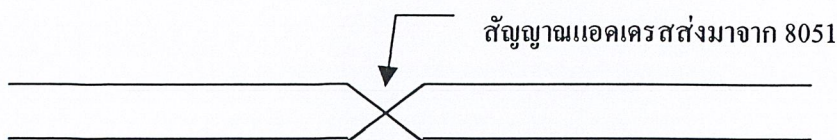
มีการจ่ายไฟให้กับระบบก็สามารถทำได้โดยการใช้ไอซีหน่วยความจำ RAM พร้อมแบตเตอรี่สำรองประเภทลิเทียมหรือนิเกิลแคดเมียมเป็นตัวเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้แทน อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าสาเหตุการนำไอซีหน่วยความจำภายนอกมาใช้งานจะเป็นอะไรจะมีผลทำให้พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตข้อมูลของ 8051 ถูกนำไปใช้เพื่อให้เกิดต่อกับหน่วยความจำเหล่านี้แทน ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีการใช้วงจรประกอบอื่นๆ เพื่อชดเชยความสามารถเหล่านั้นของ 8051 แทน

6.9 ลักษณะสมบัติของหน่วยความจำ RAM แบบสแตติก

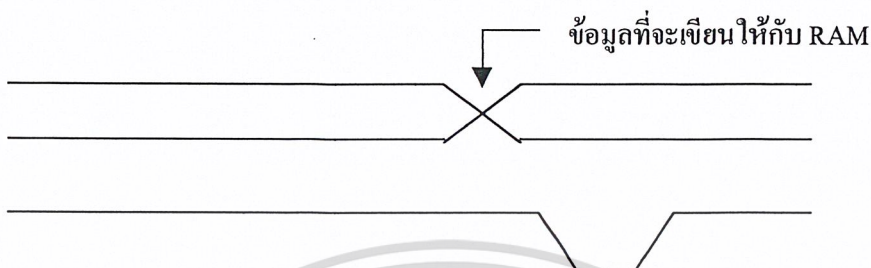
กระบวนการนำข้อมูลเข้าไปจัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำ RAM แบบสแตติก จะเรียกว่า การเขียนไปยังหน่วยความจำ และเมื่อมีการนำข้อมูลที่จัดเก็บไว้นั้นออกมาก็จะเรียกว่า การอ่านจากหน่วยความจำ ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะต้องกระทำภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้เช่นกัน สำหรับลักษณะสมบัติของหน่วยความจำ RAM มีความคล้ายคลึงกับหน่วยความจำ EPROM มาก รวมทั้งประเภทของสัญญาณคิดต่อ คือ บัสแอสแตตัส บัสข้อมูล และกลุ่มสัญญาณควบคุมทั้งหมดเพียงแต่มีการเพิ่มสัญญาณ WR เพื่อระบุถึงการนำข้อมูลจากบัสข้อมูลลงเก็บไปยังหน่วยความจำตำแหน่งที่ได้ระบุแอสแตตัสมาเท่านั้น



รูปที่ 6-1 แผนภาพเวลาแสดงลำดับเหตุการณ์การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM



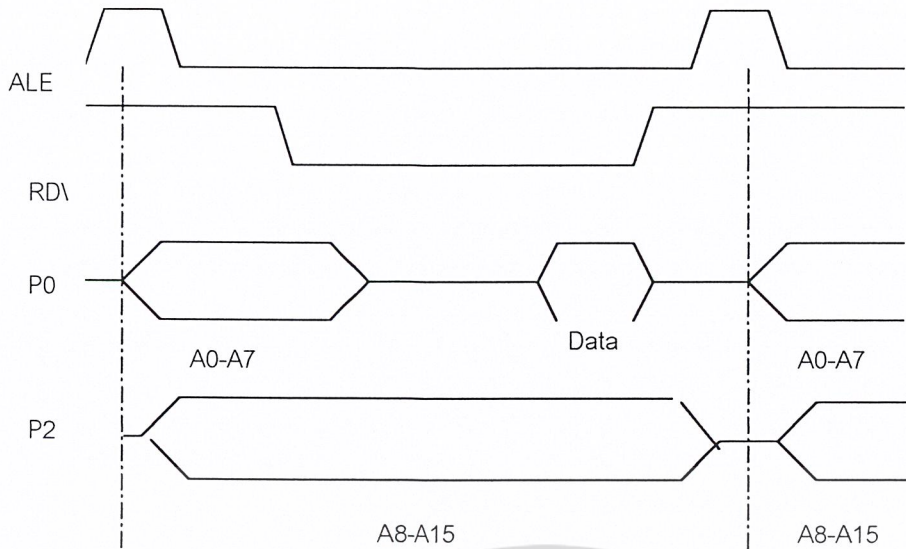
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



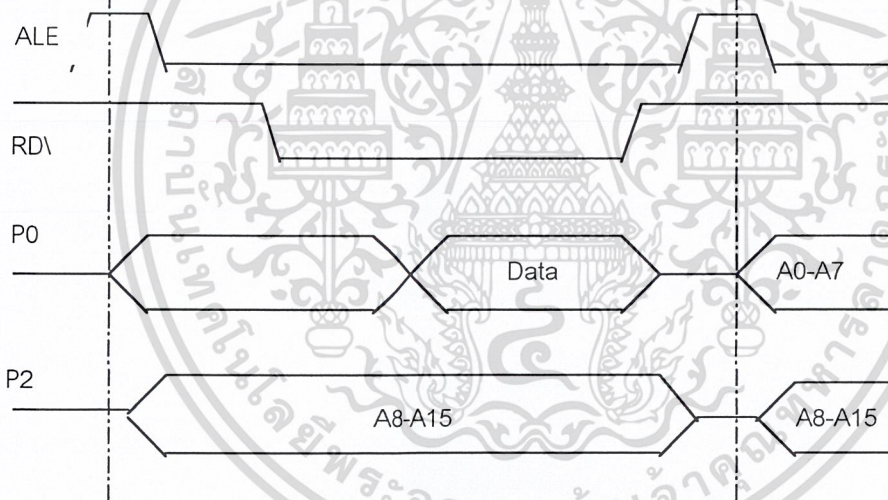
รูปที่ 6-2 แผนภาพเวลาแสดงลำดับเหตุการณ์การเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM

6.10 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำ RAM เข้ากับระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จะใช้วิธีการเหมือนกับหน่วยความจำ EPROM มีหลักการทำงานตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา ไอซี 74LS373 ทำหน้าที่ในการ ค้างหรือแลตช์ค่าแอดเดรสให้กับอินพุตของหน่วยความจำ RAM ซึ่งมีอยู่เพียงตัวเดียวสำหรับขาสัญญาณ OE (หรือ RD) จะต่อเข้ากับขาสัญญาณ RD และขาสัญญาณ WR ของ 8051 ในที่นี้เนื่องจากว่าภายในวงจรนี้มีไอซีหน่วยความจำเพียงตัวเดียว จึงได้ทำการต่อสัญญาณ CS กับสัญญาณกราวด์โดยตรง เพื่อทำการเลือกให้ไอซีทำงานตลอดเวลา



(a) วัฏจักรของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM



(b) วัฏจักรการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำ RAM

รูปที่ 6-3 แผนภาพเวลาแสดงการติดต่อกับหน่วยความจำ RAM ของ 8051

ในรูปที่ 6-3 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพเวลาของสัญญาณที่เกี่ยวข้องดังนี้ เมื่อเริ่มการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะมีการส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) ของตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการออกมายังพอร์ต 0 ในราวก่อนช่วงเวลาของขาตลงของสัญญาณ ALE ซึ่งจะนำไปใช้ในการควบคุมไอซีแลตซ์เพื่อทำการค้างค่าแอดเดรสไบต์ค่านี้ไว้ ดังนั้นในเวลาต่อมาพอร์ต 0 ก็จะว่าง และพร้อมที่จะนำไปใช้ในฐานะบัสข้อมูล ส่วนค่าของแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) ก็จะถูกส่งออกมาทางพอร์ต 2 ราวช่วงเวลาประมาณกึ่งกลางระหว่างที่สัญญาณ ALE เป็นระดับลอจิกสูง เมื่อ 8051 ทำการขับสัญญาณ RD หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WR ให้เป็นระดับลอจิกต่ำก็จะมีผลทำให้เกิดการส่งและรับข้อมูลระหว่างหน่วยความจำ RAM กับบัสข้อมูลขึ้นได้

6.11 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

พอร์ต หมายถึง แอแดปเตอร์หนึ่งที่ได้รับกำหนดไว้เพื่อการโอนย้ายข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก การกำหนดประเภทของการติดต่อขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของข้อมูลเมื่อพิจารณาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก ดังนั้นการนำเข้าข้อมูลจากวงจรมานอกจึงเรียกว่า การอินพุต และในกรณีตรงกันข้ามเพื่อส่งออกข้อมูลก็จะเรียกว่า การเอาต์พุต

เมื่อพิจารณาถึงการส่งข้อมูลภายในพอร์ตจะสามารถแยกประเภทของพอร์ตออกได้เป็นสองลักษณะ คือ พอร์ตแบบขนาน ซึ่งทำการส่งจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดออกมา หรือนำเข้าไปพร้อมกันในคราวเดียว และพอร์ตแบบอนุกรมซึ่งทำการ โอนย้ายข้อมูลคราวละบิตๆ จนครบจำนวน

6.12 พอร์ตแบบขนานของ 8051

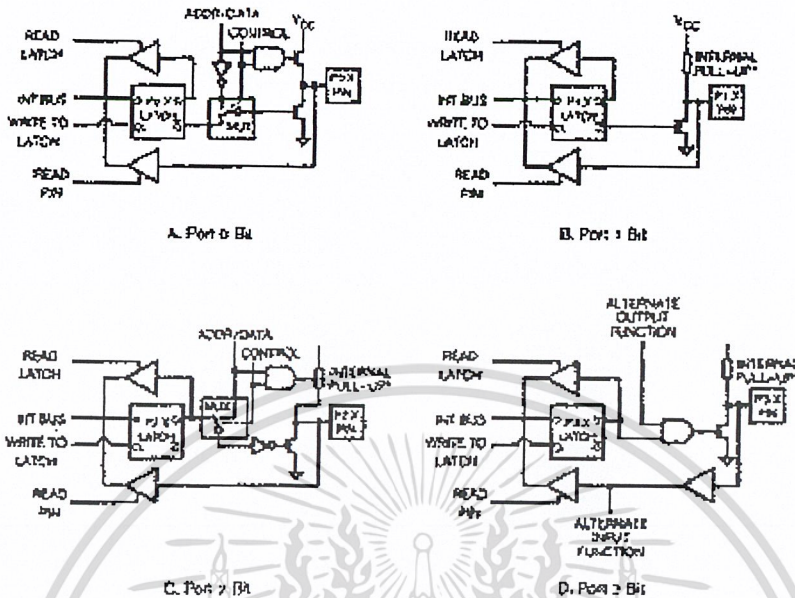
8051 มีโครงสร้างของพอร์ตที่สามารถใช้งานแบบขนานได้จำนวนทั้งหมดสี่พอร์ต เรียกชื่อเรียงตามลำดับว่า พอร์ต 0, 1, 2 และ 3 และเป็นพอร์ตขนาน 8 บิตทั้งหมด การใช้งานพอร์ตสามารถทำได้ทั้งในลักษณะของเส้นสัญญาณเดี่ยวๆ หรือกลุ่มของสัญญาณได้ นอกจากนี้พอร์ต 0, 2 และ 3 ยังสามารถนำไปใช้งานอื่นๆ ที่ไม่ใช่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตได้ โดยพอร์ต 0 จะทำหน้าที่มีลatching ระหว่างบัสแอดเดรสไบต์ต่ำ และบัสข้อมูล สำหรับการติดต่อกับวงจรประกอบร่วมกับข้อมูลบัสแอดเดรสไบต์สูงซึ่งจะส่งออกมาทางพอร์ต 2 สำหรับพอร์ต 3 นั้น นอกเหนือไปจากความสามารถเช่นพอร์ตปกติแล้ว สามารถนำไปเป็นขาสัญญาณของการอินเทอร์รัปต์ต่างๆ ซึ่งรวมทั้งการสร้างสัญญาณการสร้างสัญญาณควบคุม RD\ และ WR\ เพื่อทำหน้าที่อ่าน หรือเขียนข้อมูลหน่วยความจำข้อมูลภายนอกด้วย การใช้งานพอร์ตลักษณะงานแบบอื่นๆ ที่ไม่ใช่พอร์ตแบบอินพุต/เอาต์พุตนี้จะดำเนินการ โดย 8051 เองโดยอัตโนมัติ

6.13 โครงสร้างการทำงานของพอร์ต 8051

จากลักษณะโครงสร้างของแต่ละบิตภายในพอร์ตของ 8051 ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 6-4 นั้น จะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันตามลักษณะโครงสร้าง ที่เรียกว่า Quasi-bidirectional port ยกเว้นพอร์ต 0 ซึ่งเพียงแต่ไม่มีตัวต้านทานทำหน้าที่ Pull-up สัญญาณไว้ภายในเท่านั้น วงจรประกอบอื่นภายในยังมีฟลิปฟลอปเฉพาะของพอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะมีโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์เพิ่มเติมขึ้น เพื่อควบคุมให้เอาต์พุตนี้ต่อเข้ากับส่วนของทรานซิสเตอร์ในระหว่างที่ไม่ได้มีการทำงานในลักษณะของบัสแอดเดรสหรือบัสข้อมูลด้วย สำหรับบัพเฟอร์จำนวนสองตัวของทุกบิตในพอร์ตนั้นมีการทำงานแยกกัน โดยอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวที่อยู่ทางด้านบนจะยอมให้สัญญาณผ่านได้ก็ต่อเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลที่ค้างไว้ ส่วนอีกตัวหนึ่งซึ่งอยู่ทางด้านล่างจะถูกใช้งานเฉพาะ เมื่อ ได้มีการอ่านสถานะของขาสัญญาณเท่านั้น



รูปที่ 6-4 โครงสร้างของแต่ละบิตภายในพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของ 8051

6.13.1 การใช้งานพอร์ตเป็นการอินพุต

การใช้งานพอร์ตเป็นการอินพุตข้อมูลจะต้องเริ่มด้วยการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมาทางบิตของพอร์ตนั้นก่อนเป็นลำดับแรก เพื่อหยุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ทำให้ขาสัญญาณของบิตถูกค่อเข้ากับตัวต้านทาน ซึ่งทำหน้าที่ Pull-up ภายใน ซึ่งมีผลทำให้บิตนั้นๆ ของพอร์ต 1, 2 และ 3 เป็นสถานะของลอจิกสูง ตัวต้านทานนี้มีค่าประมาณ 50 กิโลโอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก และทำให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถขับสัญญาณของพอร์ตนี้นี้เป็นลอจิกต่ำได้ง่าย สำหรับของพอร์ต 0 นั้น แม้ว่าจะมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกันกับบิตของพอร์ตอื่นๆ แต่เนื่องจากการที่ไม่มีตัวต้านทานทำหน้าที่ Pull-up ภายในไว้ ทำให้เมื่อทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน ก็จะเป็นผลให้ขาสัญญาณนี้อยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูงแทน

6.13.2 การใช้งานพอร์ตเป็นการเอาต์พุต

เมื่อมีการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 ให้กับแต่ละบิตของพอร์ตทุกพอร์ต ข้อมูลนี้จะถูกส่งให้กับฟลิปฟล็อปซึ่งจะค้างค่านีไว้ และมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นทำงาน ดังนั้นขาสัญญาณก็จะมีสถานะลอจิกเป็นลอจิกต่ำด้วย

ส่วนการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมานั้น ในกรณีที่เป็นการทำงานในแต่ละบิตของพอร์ต 1 หรือ 2 หรือ 3 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน มีผลทำให้ขา

ของสัญญาณเป็นลอจิกสูงด้วยตัวต้านทานที่ Pull-up อยู่ภายในนั้น แต่สำหรับการทำงานในแต่ละบิตทางพอร์ต 0 นั้นจะมีผลที่แตกต่างออกไป โดยขาสัญญาณจะเป็นสภาวะอิมพีแดนซ์สูง เนื่องจากไม่มีตัวต้านทานภายในเชื่อมต่ออยู่นั่นเอง ดังนั้นในการใช้งานพอร์ต 0 เป็นการเอาต์พุตข้อมูล จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานภายนอก Pull-up สัญญาณไว้กับลอจิกสูงแทน

ความสามารถอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของ 8051 เป็นวิธีการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตซึ่งมีได้สองวิธี คือ การอ่านค่าลอจิกที่ขาสัญญาณ (Port pin) และการอ่านค่าลอจิกของการแลตซ์ที่พอร์ต วิธีการอ่านค่าจากพอร์ตทั้งสองแบบนี้จะช่วยให้ระบบทำงานได้ด้วยความสะดวกมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากว่าพอร์ตถูกนำไปต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์และ NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อกับกราวด์ของระบบ เมื่อมีการส่งค่า 1 ออกไปจะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ในขณะที่ถ้าซีพียูมีการอ่านค่าลอจิกจากขาสัญญาณของพอร์ตนี้ก็จะได้ค่าลอจิกต่ำ เนื่องจากมองเห็นค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์แทน ดังนั้นในกรณีเช่นนี้หากว่าเป็นการอ่านค่าจากลอจิกของการแลตซ์ ก็จะได้รับค่าระดับลอจิกสูง ซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้องสภาพที่เป็นจริง

6.14 ลักษณะพื้นฐานของ 8255

ไอซีเบอร์ 8255 ได้รับการออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่เป็นพอร์ตสำหรับการรับ/ส่งข้อมูลแบบขนานระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ความอ่อนตัวในการนำไปใช้งานของ 8255 ได้แก่ การที่สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของพอร์ต ให้เป็นการเอาต์พุตหรืออินพุตได้สะดวกเพียงการส่งข้อมูลควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนที่จะเริ่มต้นใช้งานเท่านั้น ความสามารถเช่นนี้เรียกว่า Programmable คือ สามารถโปรแกรมการทำงานได้ ทำให้ได้รับความนิยมนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

8255 ประกอบด้วยบล็อกของหน่วยการทำงานหลายส่วนอยู่ภายในบล็อกทางด้านขวามือจำนวน 4 บล็อก เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกโดยตรงผ่านทางเส้นสัญญาณที่ระบุชื่อว่า PA0-PA7, PB0-PB7 กลุ่มของสัญญาณเหล่านี้จะจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ พอร์ต A (PA) พอร์ต B (PB) และพอร์ต C (PC) สำหรับบล็อกถัดเข้ามาบริเวณส่วนกลางที่มีชื่อว่า GROUP A CONTROL และ GROUP B CONTROL ทำหน้าที่กำหนดการทำงานของพอร์ตทั้งสาม บล็อกทั้งสองนี้เชื่อมต่อกับบล็อกอื่นๆ ผ่านทางบัสข้อมูลภายใน 8255 เอง สำหรับบล็อกการทำงานทางด้านซ้ายที่มีชื่อว่า Data Bus Buffer และ Read/Write Control Logic ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างระบบบัสของไมโครคอนโทรลเลอร์กับ 8255 เพื่อรับหรือส่งข้อมูลระหว่างกันตามระดับลอจิกของขาสัญญาณ RD\ และ WR\ ตามลำดับ

6.15 การจำแนกกลุ่มของพอร์ต 8255

ในบรรดาพอร์ตทั้งสามของ 8255 คือ พอร์ต A พอร์ต B และพอร์ต C โดยพื้นฐานนั้นล้วนเป็นพอร์ตแบบขนานที่ประกอบด้วยสัญญาณ 8 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นจะแทนบิตของข้อมูลพอร์ต ซึ่งอาจจะกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอีกลักษณะว่าเป็นพอร์ตแบบ 8 บิต นอกจากนี้ยังสามารถอ้างถึงแต่ละบิตของเส้นสัญญาณพอร์ตนี้ได้ โดยอิสระ อย่างไรก็ตาม 8255 ได้จัดกลุ่มของพอร์ตเหล่านี้ออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่ม A และกลุ่ม B เพื่อประโยชน์ในการทำงานกำหนดรูปแบบการทำงานของพอร์ต ดังตารางต่อไปนี้

ชื่อกลุ่ม	ลักษณะ
Group A	พอร์ต A จำนวน 8 บิต (ทุกบิตของพอร์ต) พอร์ต C จำนวน 4 บิต (เฉพาะ 4 บิตบนของพอร์ต)
Group B	พอร์ต B จำนวน 8 บิต (ทุกบิตของพอร์ต) พอร์ต C จำนวน 4 บิต (เฉพาะ 4 บิตล่างของพอร์ต)

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่า จำนวนเส้นสัญญาณทั้งหมดของพอร์ต C (PC0-PC7) ได้ถูกแยกออกเป็นกลุ่ม คือ กลุ่มของ 4 บิตล่าง (Lower nibble) จาก PC0-PC3 และกลุ่มของ 4 บิตบน (Upper nibble) จาก PC4-PC7 ดังนั้น Group A และ Group B ของ 8255 จึงมีจำนวนบิตในแต่ละกลุ่มเป็นจำนวนถึง 12 บิต

6.16 รูปแบบคำสั่งเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255

การกำหนดให้พอร์ตทั้งสามของ 8255 ทำงานในลักษณะต่างๆ กัน หรือที่เรียกว่า โหมดการทำงาน (Mode) จะเริ่มด้วยการส่งค่าข้อมูลไบต์หนึ่งให้กับบริจิสเตอร์ควบคุมการทำงานภายใน 8255 ข้อมูลนี้จะเรียกว่าไบต์ข้อมูลควบคุม (Control Word) โดยแต่ละบิตของข้อมูลนี้จะมีความหมายที่ระบุถึงความต้องการต่างๆ ไป การส่งข้อมูลไบต์นี้จะต้องเริ่มต้นเป็นลำดับแรกก่อนที่จะได้มีการดำเนินการใดกับ 8255 ทั้งสิ้น

การเลือกให้พอร์ตใดทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเพียงแต่กำหนดค่าข้อมูล 1 ให้กับบิตที่เกี่ยวข้องกับพอร์ตนั้น หรือกรณีตรงข้ามสำหรับการเอาต์พุตก็เพียงการกำหนดค่าข้อมูล 0 เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การกำหนดให้ไบต์ข้อมูลควบคุมนี้มีผลอย่างถูกต้อง ก็จะต้องทำการกำหนดให้บิต D7 มีค่าเป็น 1 เสมอ

6.17 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8051

8255 จะมีขาสัญญาณแอดเดรสจำนวน 2 เส้น คือ A0 และ A1 ทำให้ตำแหน่งของแอดเดรสที่จะอ้างถึงได้มีค่าเป็น 4 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตำแหน่งจะมีความหมายถึงการระบุบริจิสเตอร์ หรือพอร์ตภายใน 8255 ดังตารางต่อไปนี้

A1	A0	ชื่อของรีจิสเตอร์
0	0	พอร์ต A
0	1	พอร์ต B
1	0	พอร์ต C
1	1	รีจิสเตอร์ควบคุม

เมื่อพิจารณาค่าของแอดเดรสเหล่านี้ร่วมกับระดับลอจิกของขาสัญญาณ RD\ และ WR\ จะเป็นการอ่านหรือเขียนข้อมูลทางขาสัญญาณ D0-D7 ให้กับรีจิสเตอร์นั้นตามลำดับดังตารางต่อไปนี้

RD\	WD\	A1	A0	ความหมาย
0	1	0	0	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต A
1	0	0	0	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต A
0	1	0	1	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต B
1	0	0	1	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต B
0	1	1	0	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต C
1	0	1	0	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต C
0	1	1	1	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม
1	0	1	1	เป็นสถานะที่ไม่ถูกต้อง

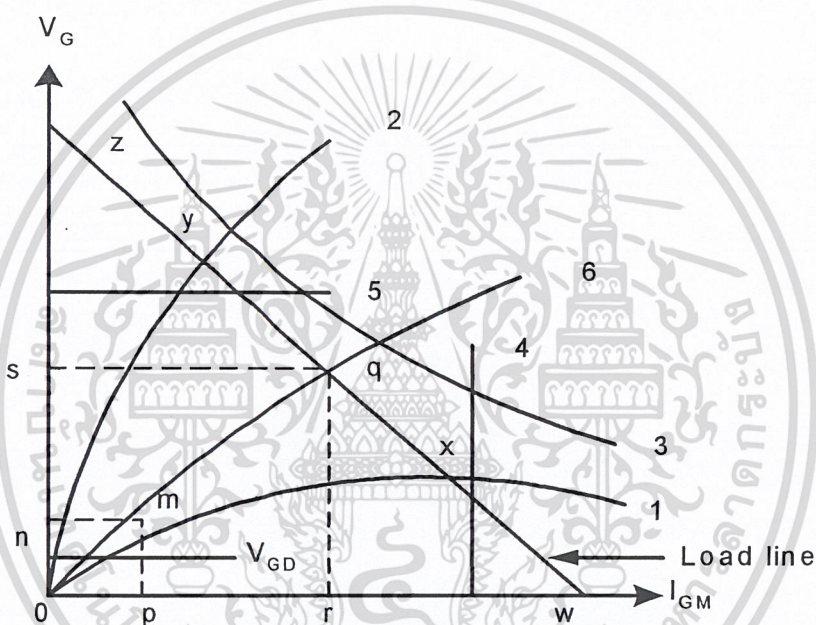
ดังนั้น โดยทั่วไปจึงมักจะกำหนดให้แอดเดรสของ 8255 ทั้งสี่ตำแหน่งนี้ อยู่ในแอดเดรสช่วงใดช่วงหนึ่งของระบบ เช่น 10h, 11h, 12h และ 13h โดยขาสัญญาณแอดเดรสที่นอกเหนือไปจาก A0 และ A1 นำมาเข้ายังตัวถอดรหัสแอดเดรส เพื่อสร้างสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (CS\) ในช่วงแอดเดรสที่ต้องการ ขาสัญญาณควบคุมอื่นๆ คือ RD\ และ WR\ มักจะเชื่อมต่อกับขาสัญญาณชื่อเดียวกันของ 8051 ได้โดยตรง ทำให้แอดเดรสพอร์ตของ 8255 อยู่ในพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลของ 8051 สำหรับขาสัญญาณ RESET ของ 8255 ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการรีเซต หรือเริ่มสภาวะการทำงานใหม่เมื่อระดับของขาสัญญาณเป็นลอจิกสูง ดังนั้นหากว่าจะใช้สัญญาณการรีเซตเดียวกับของ 8051 เพื่อที่จะรีเซต 8255 ด้วยก็สามารถทำได้โดยตรง ส่วนขาสัญญาณ D0-D7 ก็สามารถนำไปเชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับบัสของ 8051 ได้เช่นกัน

บทที่ 7

วงจรจุดชนวนและ ชุดขับเอสซีอาร์

7.1 พื้นฐานวงจรจุดชนวนไทริสเตอร์

การจุดชนวนให้ไทริสเตอร์ทำงานนั้นทำได้โดยการป้อนแรงดัน (V_G) และกระแส (I_G) จากวงจรจุดชนวน แต่จากข้อมูลของไทริสเตอร์นั้นพบว่าช่วงของแรงดันและกระแสนั้นอยู่ในช่วงที่กว้างมาก ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานจะเลือก แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อไทริสเตอร์ ดังรูปที่ 7-1 แสดงคุณสมบัติของสัญญาณจุดชนวน

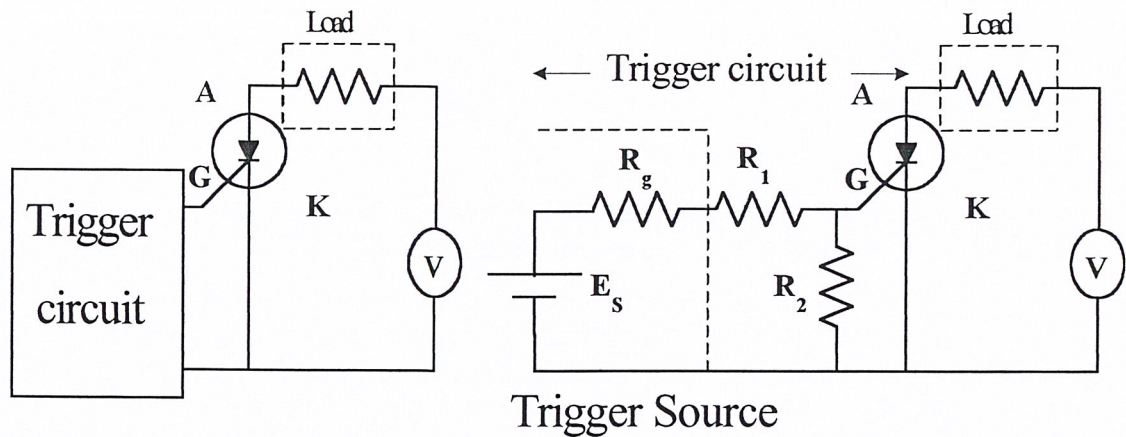


รูปที่ 7-1 คุณสมบัติของสัญญาณจุดชนวน ไทริสเตอร์

คุณสมบัติของสัญญาณจุดชนวนให้ไทริสเตอร์ทำงานได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต้องอยู่ในพื้นที่ภายในเส้นกราฟ 1,2,3 และ 4 กับพื้นที่สี่เหลี่ยม mnop

เส้นกราฟ 3 เป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{GM}) ที่ยอมให้เกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณเกต V_{GD} คือ ค่าแรงดันเกตต่ำที่ทำให้สามารถทริกได้ หากค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่านี้จะไม่สามารถทริกได้เพื่อเป็นการป้องกันการทริกของไทริสเตอร์อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน ส่วนสัญญาณเกตในพื้นที่สี่เหลี่ยม mnop เป็นพื้นที่ที่ควรหลีกเลี่ยงเนื่องจากอาจไม่สามารถทริกได้ หรือเกิดทริกเนื่องจากสัญญาณรบกวน ในการพิจารณาเลือกสัญญาณทริกนั้นต้องแน่ใจว่า load line (wxyz) ต้องอยู่เหนือพื้นที่ mnop นี้ โดยการเลือก load line นั้นควร ใกล้เคียงกับเส้นกราฟ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-2 วงจรทริกไทรสเตอร์ ด้วยแรงดันกระแสตรง

การออกแบบวงจรทริกไทรสเตอร์นั้นทำได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 7-1 และ รูปที่ 7-2 ในรูปที่ 7-1 นั้นเส้นกราฟ 6 แสดงความสัมพันธ์ V-I ระหว่าง เกต และ แคโทด ซึ่งเหมือนกับช่วงนำกระแสของไดโอดชนิดซีลิกอน จุดตัดระหว่าง load line และเส้นกราฟ 6 ที่จุด q ทำให้ได้แรงดัน และกระแส ที่จุด operate และจากรูปที่ 7-2 กระแสลัดวงจรสูงสุดของวงจรซึ่งคือค่าของ i_{ov} ในรูปที่ 7-1 นั้นเองหาได้จาก

$$I_s = E_s \frac{1}{(R_s + R_1)}$$

ความต้านทาน R_2 ทำหน้าที่ป้องกันแหล่งจ่าย และ gate-to-cathode junction เนื่องจากกระแสลัดวงจร ค่าของ i_{ov} เป็นค่าของแรงดันสูงสุดของแหล่งจ่าย (E_s) ความต้านทาน R_1 ที่ใช้ในกรณีที่แรงดันของแหล่งจ่าย (E_s) มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันสูงสุดที่ใช้ทริกไทรสเตอร์ได้

เมื่อความต้านทาน R_2 ต่อขนานกับ gate-to-cathode junction จะได้ว่า

$$V_{GM} \geq E_s \frac{R_2}{R_s + R_1 + R_2}$$

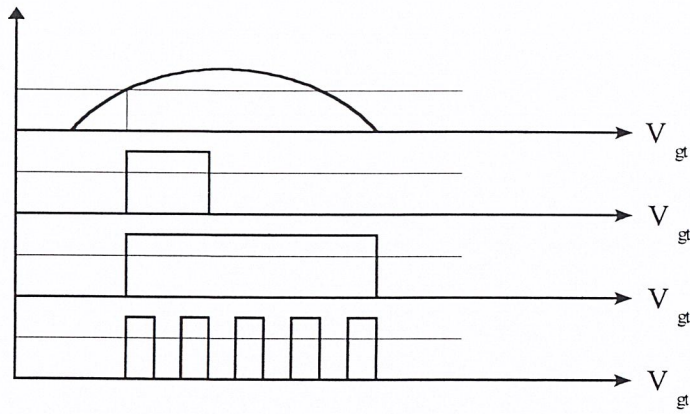
$$E_s = V_G + (R_s + R_1) \left(I_G + \frac{V_G}{R_2} \right)$$

จากวงจรทริกไทรสเตอร์ข้างต้น สัญญาณที่ใช้เป็นแรงดันกระแสตรง ในกรณีที่สัญญาณที่ใช้เป็น single pulse และ pulse train สำหรับ single pulse แรงดันสูงสุด ($V_{G,peak}$) และกระแสสูงสุด ($I_{G,peak}$) ควรจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนความกว้างของสัญญาณต้องมีค่าเพียงพอให้กระแสอาโนดถึงค่า Latching current ของไทรสเตอร์

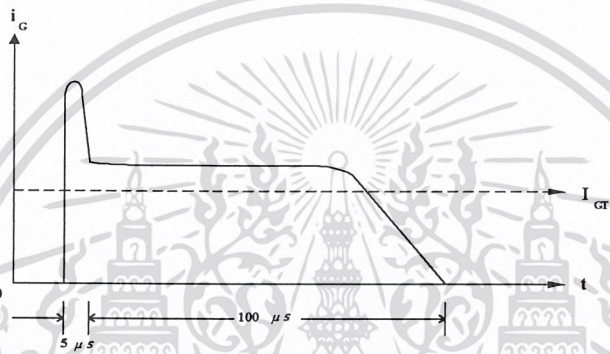
สำหรับในกรณีที่โหลดเป็น inductance จำเป็นที่ต้องใช้สัญญาณทริกเป็นแบบ pulse train เนื่องจากกระแสอาโนดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งจะใช้เวลาานกว่ากรณีที่ เป็น โหลด resistance ค่าของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P_G) ควรจะน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{GM}) หาได้จากสมการ

$$P_{GM} = P_G(peak) \times duty\ ratio = P_G(peak) \times pulsewidth \times frequency\ of\ pulses$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



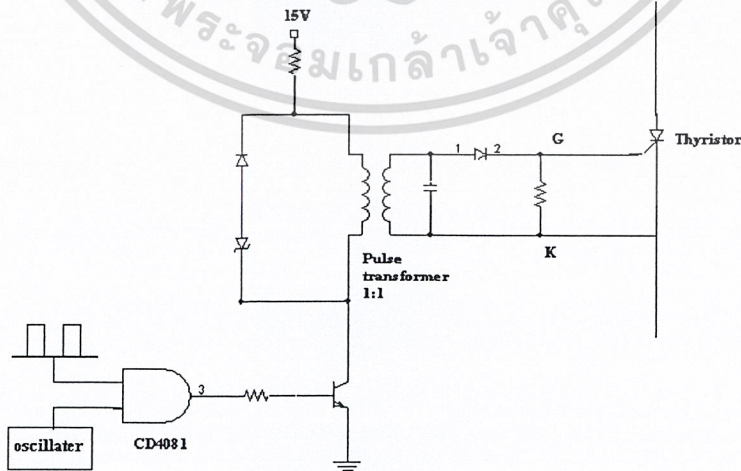
รูปที่ 7-3 สัญญาณทริกไทรสเตอร์แบบต่างๆ



รูปที่ 7-4 รูปสัญญาณกระแสที่ใช้ทริกไทรสเตอร์ในอุดมคติ

7.2 วงจรจุดชนวนไทรสเตอร์ที่ได้รับการประยุกต์

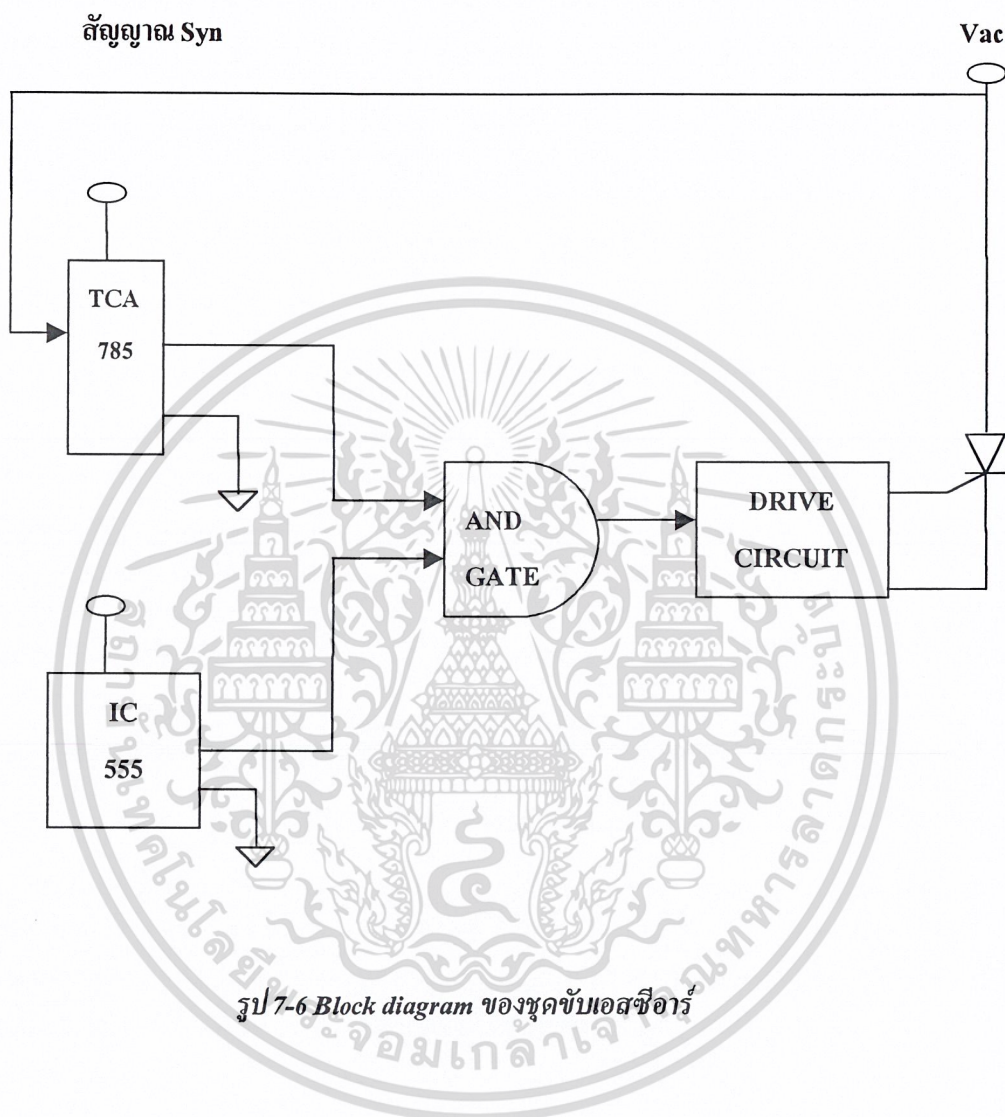
ในการใช้งานจริงของวงจรจุดชนวน หรือวงจรควบคุม และวงจรกำลังนั้นจำเป็นต้องมีการแยก ระหว่างสองวงจรมีออกจากกัน เพื่อป้องกันภาวะผิดปกติของวงจรกำลังส่งผลกระทบต่อความเสี ยหายกับวงจรควบคุมได้ โดยการใช้ optocoupler หรือ pulse transformer ดังรูปที่ 7-5



รูปที่ 7-5 แสดงการใช้ pulse transformer ในการแยกวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ชุดขับเอสซีอาร์

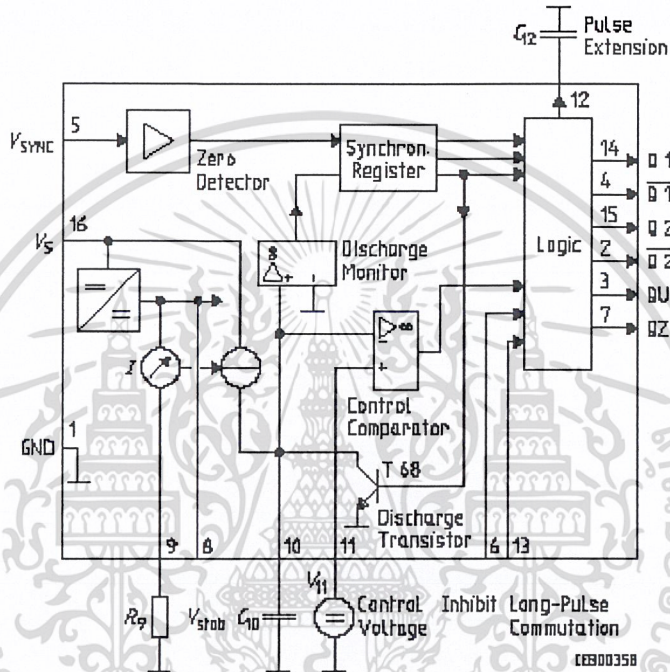


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีส่วนประกอบดังนี้

7.3.1 ชุดสร้างสัญญาณ

ในการสร้างสัญญาณทริกจะใช้สัญญาณควบคุมเฟสเบอร์ TCA 785 โดยมีบล็อกไดอะแกรมและพัลส์ไดอะแกรมดังนี้



รูป 7-7 Block Diagram ของ TCA785

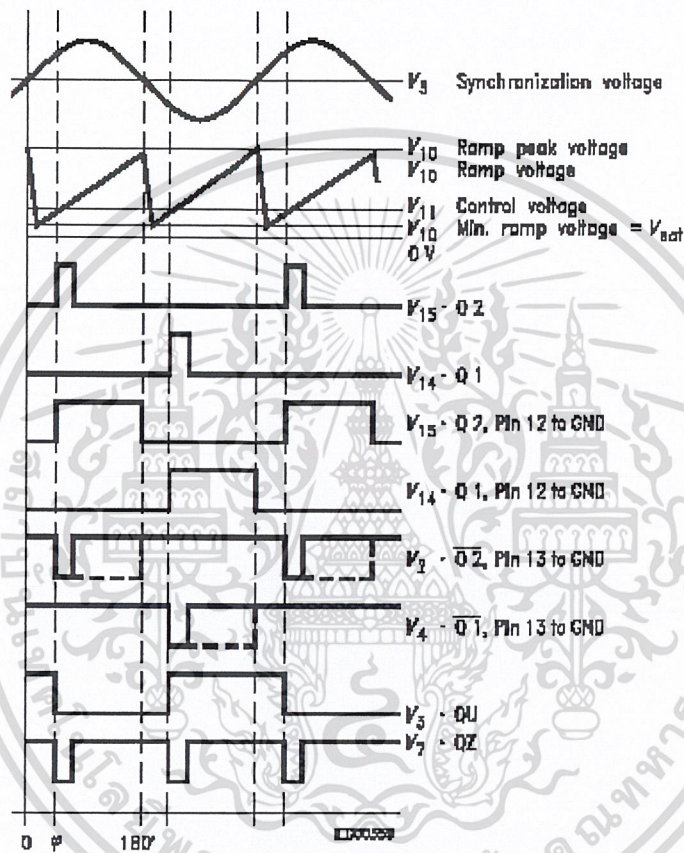
แหล่งจ่ายที่ถูกจ่ายโดยการควบคุมแรงดันภายใน มีแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ประมาณ 3.1 Volt ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์หลักนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน (V_s) และสามารถใช้งานได้ในช่วง

$$V_s = 8-18 \text{ Volt}$$

ขั้วบวกจะต่ออยู่กับขา 16 และต่อกราวด์ที่ขา 1 กินกระแส 250 mA (ขณะไม่มีโหลด)

เอาต์พุตของแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ประมาณ 3.1 Volt ที่ขา 8 โดยผ่านตัวต้านทานภายใน เราสามารถเพิ่มการกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) มากขึ้นด้วยโดยการต่อ C8 ที่ขา 8 กับกราวด์(หมายถึงแรงดันอ้างอิง)

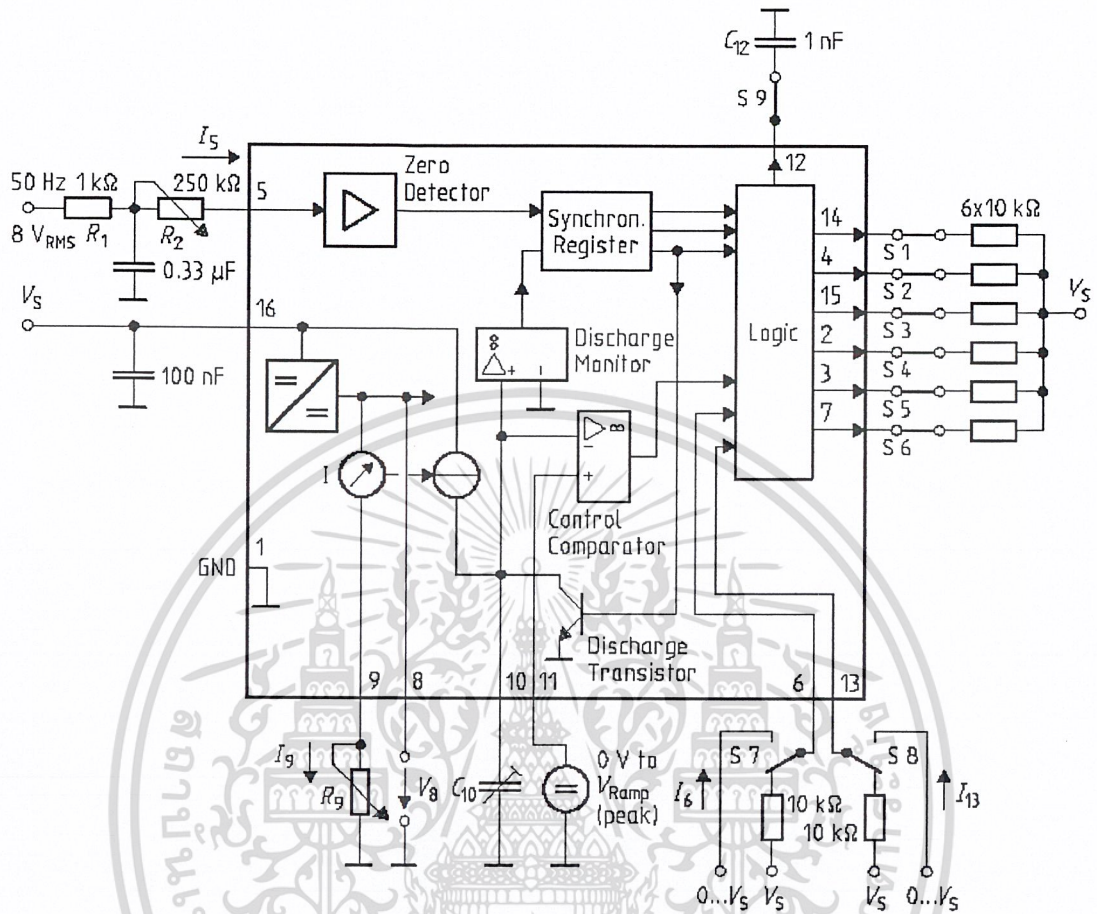
สัญญาณซิงโครไนซ์เซชัน V_{syn} ได้รับความถี่ผ่านตัวต้านทานค่าสูง ๆ V_{syn} ต่ออยู่ระหว่างขา 5 กับกราวด์ที่ขา 1 มีความไวสูงในการตรวจจับ ซิงโครลอสซิ่ง (Zero crossing) เพื่อทำการซิงโครไนซ์เซชัน และถูกส่งไปยังซิงโครไนซ์เซชันรีจิสเตอร์ เพื่อควบคุมให้สัญญาณรูปฟันเลื่อยมีความถี่และมุมเฟสสอดคล้องกับแรงดันไลน์ โดยสัญญาณรูปฟันเลื่อยสร้างจากแหล่งจ่ายกระแสแบบคงที่ซึ่งถูกเก็บประจุด้วยตัวเก็บประจุภายนอกต่ออยู่ที่ขา 10 ความชันของสัญญาณรูปฟันเลื่อยขึ้นอยู่กับความต้านทานภายนอก R9



รูปที่ 7-8 แสดง Pulse Diagram ของ TCA 785

แรงดันควบคุม DC ต่อเข้าที่ขา 11 ซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบการควบคุม จะทำการเปรียบเทียบแรงดันควบคุม DC กับแรงดันแรมพ์ V10 ต่อมาถ้าแรงดัน V10 เกินกว่าแรงดันควบคุม V11 ก็จะทำให้ปรากฏพัลส์ขึ้นที่เอาต์พุต Q1 (ขา14) และ Q2 (ขา15) สลับกันมาครั้งละครั้ง โดย Q1 กำเนิดพัลส์ในครึ่งคลื่นบวกของแรงดันไลน์ ส่วน Q2 กำเนิดพัลส์ในครึ่งคลื่นลบ โดยพัลส์ที่ได้จะมีมุมเริ่มต้นขึ้นอยู่กับการควบคุม

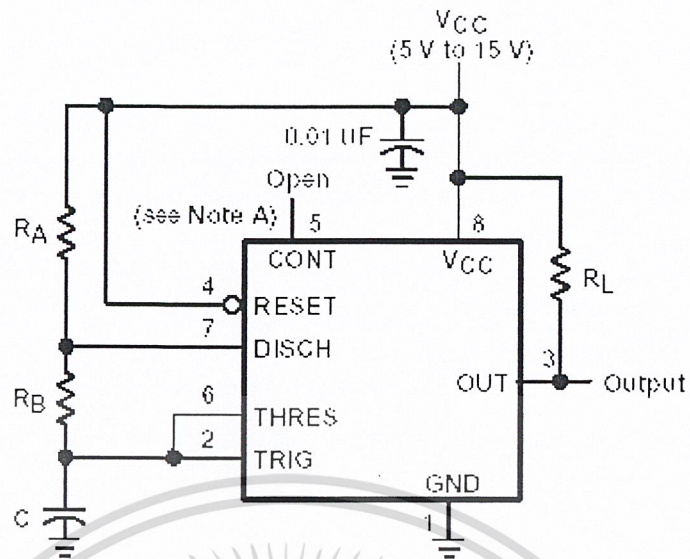
แรงดันควบคุมที่ใช้มีพิสัยจาก 0 ถึง 10 Volt และพิสัยของมุมทริกจาก 0 ถึง 180 องศา สำหรับวงจรสร้างสัญญาณคูดังรูป



รูปที่ 7-9 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณ TCA 785

7.3.2 ส่วนสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง

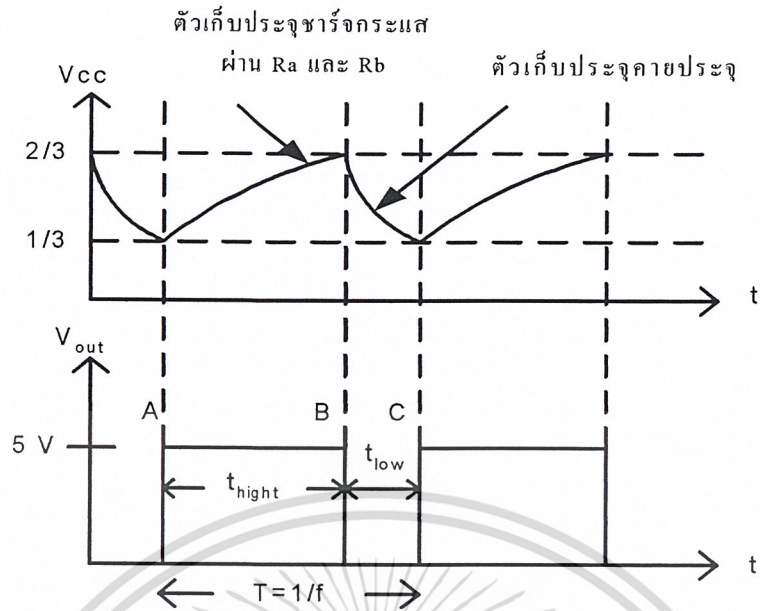
ในกรณีที่โหลดคนอินคัลทิฟ สัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์ธรรมดา ไม่สามารถกระตุ้นให้เอสซีอาร์ทำงานนำกระแสได้ เนื่องจากสัญญาณกระตุ้นในช่วงลบหมดลงก่อนที่เอสซีอาร์ที่ทำงานในครึ่งบวกจะหยุดนำกระแส ดังนั้น เอสซีอาร์ที่ทำงานในครึ่งลบจึงไม่นำกระแส จึงต้องใช้สัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 7-10 แสดงวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

ในที่นี้ใช้ ไอซี 555 เป็นไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยงช่วงค่อนข้างกว้างมาก กล่าวคือ ตั้งแต่ +5 ถึง +18 Volt มีการทำงานอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทสร้างสัญญาณตลอดเวลาหรือที่เราเรียกว่า อะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) และประเภทสร้างสัญญาณเพียงหนึ่งลูกคลื่นหรืออย่างที่เราเรียกว่า วันชอตมัลติไวเบรเตอร์ (Oneshot Multivibrator) หรือ โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator)

ในรูปเป็นการแสดงการทำงานประเภทอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ของไอซี 555 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันจะเปลี่ยนค่าเป็นแรงดันสูงแล้วต่ำแล้วสูงเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ไม่มีหยุด ช่วงเวลาของเอาต์พุตที่ได้จะหาได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาต่อวงจรภายนอกไอซี 555 ข้อสังเกตคือแรงดันเอาต์พุตสูงสุด (V_{peak}) จะมีค่าน้อยกว่าค่าไฟเลี้ยง (V_{cc}) เสมอ และค่าแรงดันเอาต์พุตในขณะที่มีค่าต่ำสุดจะมีค่าประมาณ 0.1 Volt



รูปที่ 7-11 แสดงรูปคลื่นจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

ไอซี 555 จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณคลอเคลก และจะได้รูปสัญญาณดังรูป ที่เวลา A ทั้งขา 2 และขา 6 จะมีค่าต่ำกว่า $V_{LT} = V_{CC}/3$ ซึ่งทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ขา 3 มีค่าสูงในขณะนั้นเองที่ขา 7 จะเสมือนถูกเปิดวงจรออกคั้งนั้นตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุโดยผ่าน $R_A + R_B$ และเอาต์พุตจะมีค่าต่ำระหว่างช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คลายประจุจาก $2/3 V_{CC}$ ถึง $1/3 V_{CC}$ ดังสมการ

$$t_{low} = 0.695 R_B C$$

ดังนั้นช่วงเวลารวมทั้งหมดหรือคาบเวลา T จะเท่ากับ

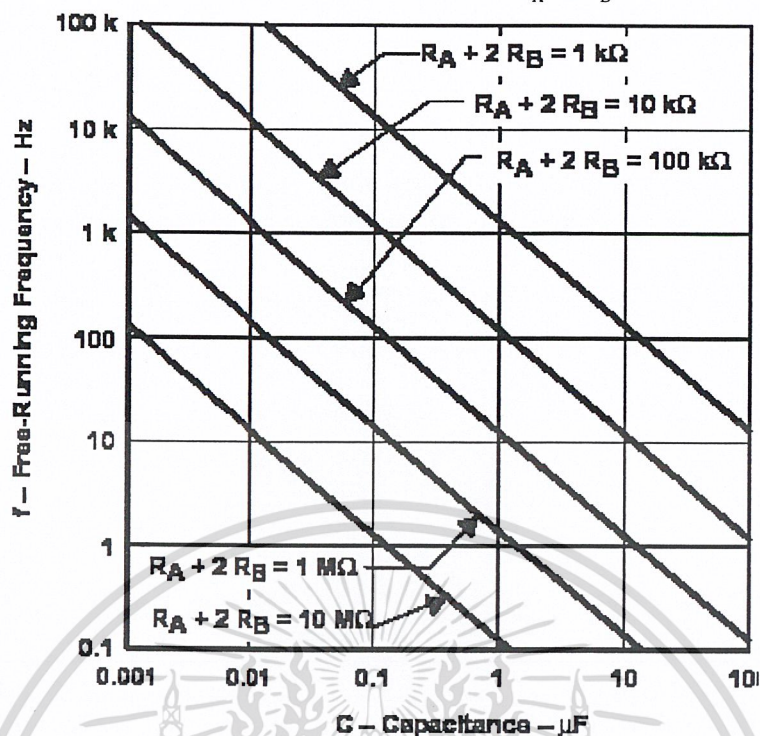
$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695 (R_A + 2R_B) C$$

ซึ่งเมื่อกลับเศษส่วนของคาบเวลาแล้วจะได้ความถี่คือ

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

- t_{low} : ช่วงเวลาแรงคั้นต่ำ
- t_{high} : ช่วงเวลาแรงคั้นสูง
- T : คาบเวลา
- C : ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า
- $R_A R_B$: ค่าความต้านทาน

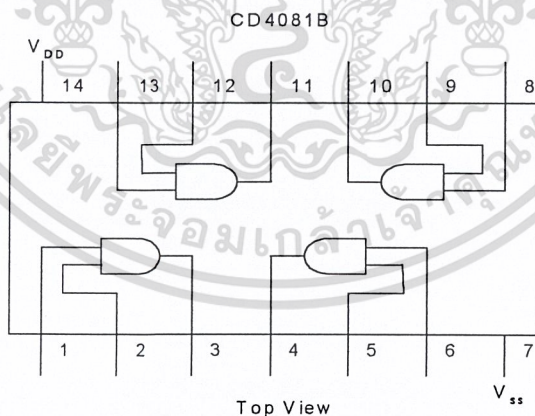
จากสมการนำมาสร้างกราฟ และมีการเปลี่ยนค่า $(R_A + 2R_B)$ ก็จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 7-12 แสดงความถี่ในการ Oscilate จะทำได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ

7.3.3 การนำสัญญาณมาแอนด์ (And)

สัญญาณที่ได้จากไอซี TCA 785 และสัญญาณที่ได้จากไอซี 555 จะถูกนำมาแอนด์กัน ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ CD4081B

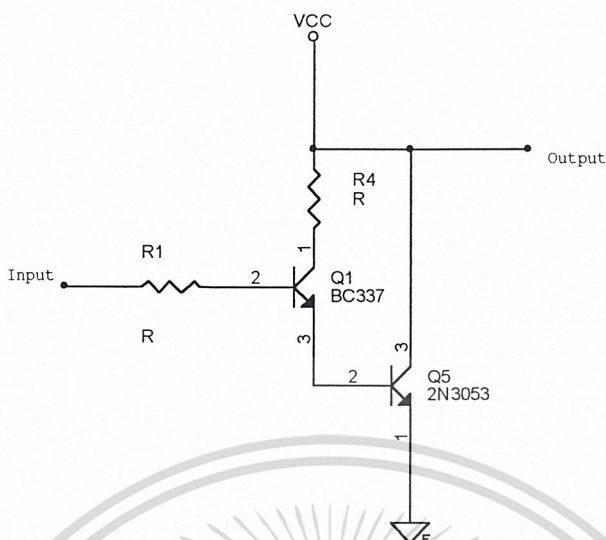


รูปที่ 7-13 แสดงไอซี CD4081B

7.3.3 ส่วนขยายสัญญาณ

สำหรับพลัสที่ได้มาจากวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นจะไม่เพียงพอที่จะจุดชนวนเอสซีอาร์ ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณก่อน โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาต่อแบบ Darlington เพื่อขยายสัญญาณ ดังรูป

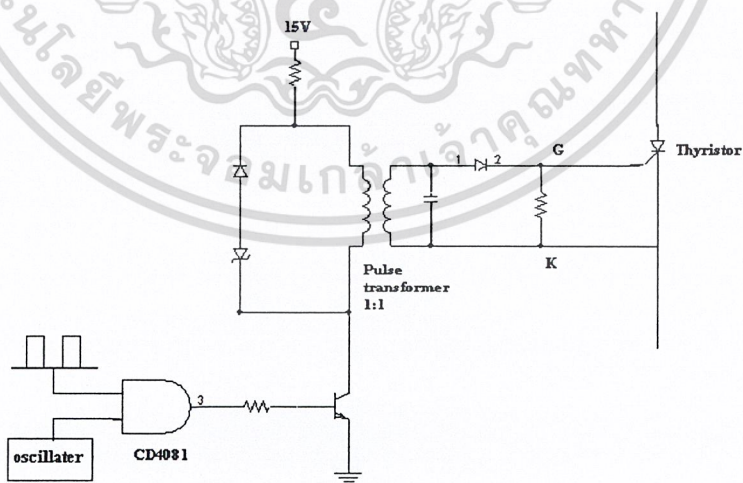
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-14 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

7.3.4 ส่วนแยกกราวด์

สัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ไม่ควรที่จะต่อโดยตรงกับวงจรกำลัง เพราะอาจทำให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุกเสียหายได้เมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาด ในที่นี่เราใช้ Pulse Transformer ทำหน้าที่แยกกราวด์ (Isolate) ของวงจรสร้างสัญญาณกระตุกกับวงจรกำลังออกจากกัน ในที่นี่ใช้ Pulse transformer เบอร์ SKPT25 ต่อคั้งรูป



รูปที่ 7-15 แสดงวงจรที่ต่อใช้งาน Pulse Transformer

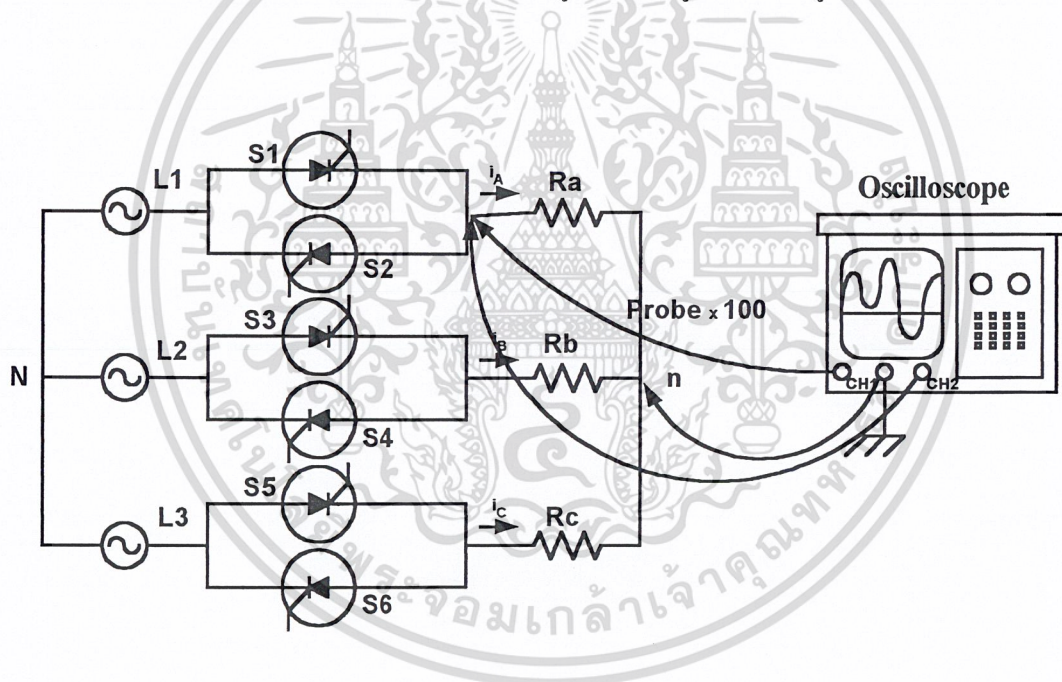
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

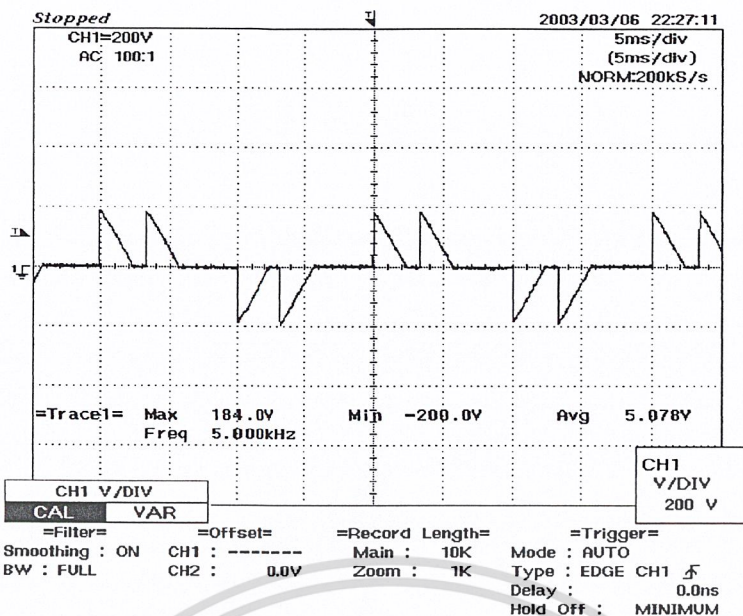
ผลการทดลอง

การสตาร์ทอินคักชันมอเตอร์ 3 เฟสแบบนิ่มนวล ใช้วิธีการปรับระดับของสัญญาณ Control Voltage (ขา 11 ของ TCA785) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์(MCS-51)ควบคุมแรงดันคัตซีให้ตัดกับสัญญาณ Ramp (ขา 10 ของ TCA785) เพื่อเป็นการปรับมุมจุดชนวนทำให้ SCR สามารถนำกระแสที่มุมต่างๆได้ โดยกำหนดให้ความสูงของ Ramp มีค่าเท่ากับ 0 – 100 % จุดสูงสุดของสัญญาณ Ramp จะเป็น 0 % ที่จุดนี้ SCR จะไม่สามารถนำกระแสได้ ส่วนจุดต่ำสุดจะมีค่าเป็น 100% ที่จุดนี้จะทำให้แรงดันที่จ่ายโหลดมีค่าสูงสุด และการป้อนค่าที่คีย์บอร์ด เป็นเปอร์เซ็นต์แรงดัน และเวลาในการสตาร์ท

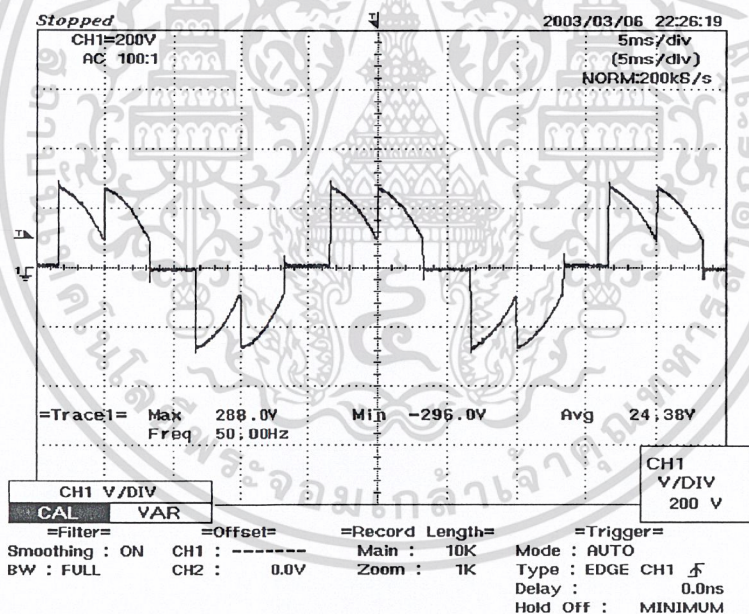
เมื่อเรานำชุดสตาร์ทมาทดสอบ โดยการต่อเข้ากับโหลดความต้านทานดังรูปที่ 8-1แล้วทำการวัดกระแสและแรงดันที่ขั้วของโหลดเทียบกับนิวทรอล ได้รูปกราฟดังรูปที่ 8-2 ถึง รูปที่ 8-5



รูปที่ 8-1 แสดงการวัดกระแสและแรงดันของโหลดความต้านทาน

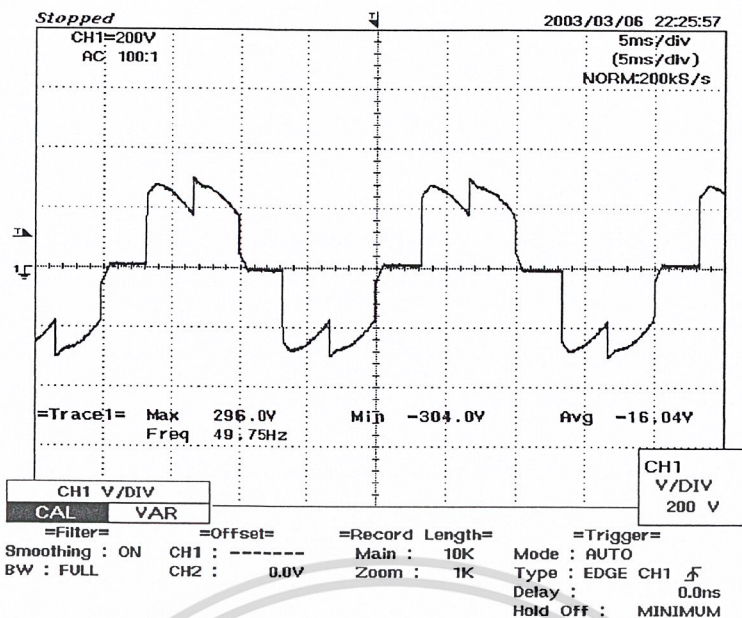


รูปที่ 8-2 แรงดันเฟส ของโหลด R ที่มุมจุดชนวน 90°
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 200 โวลต์

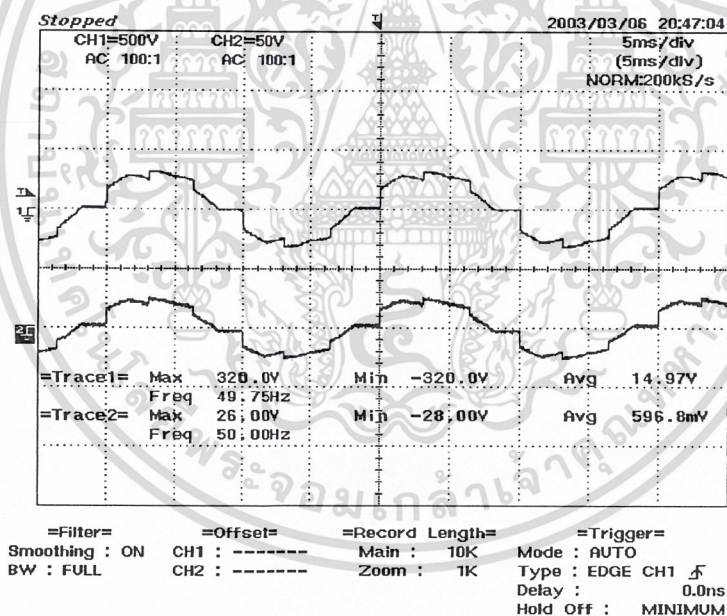


รูปที่ 8-3 แรงดันเฟสของโหลด R ที่มุมจุดชนวน 70°
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 200 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



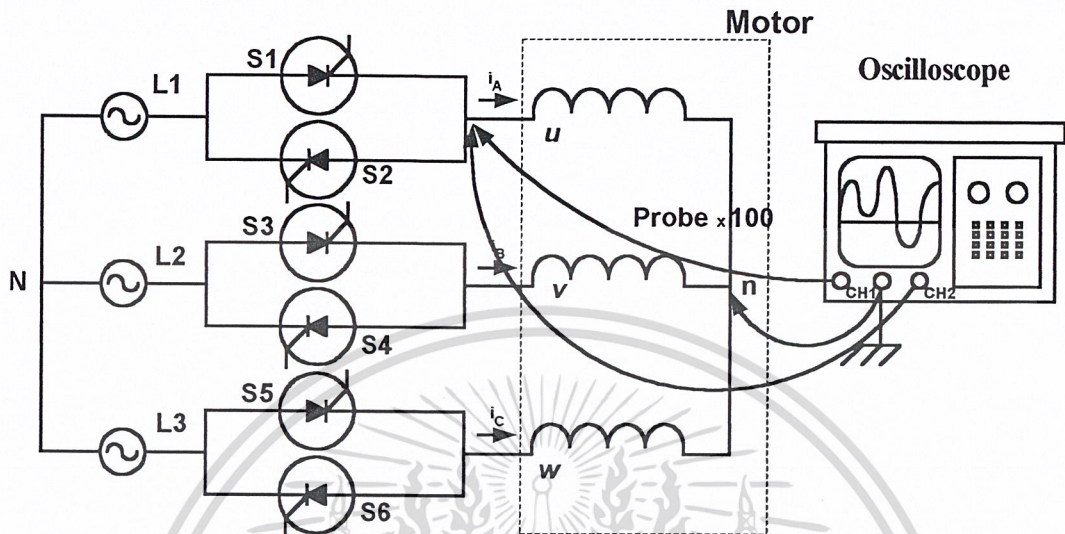
รูปที่ 8-4 แรงดันเฟสของโหลด R ที่มุมจุดชนวน 45°
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 200 โวลต์



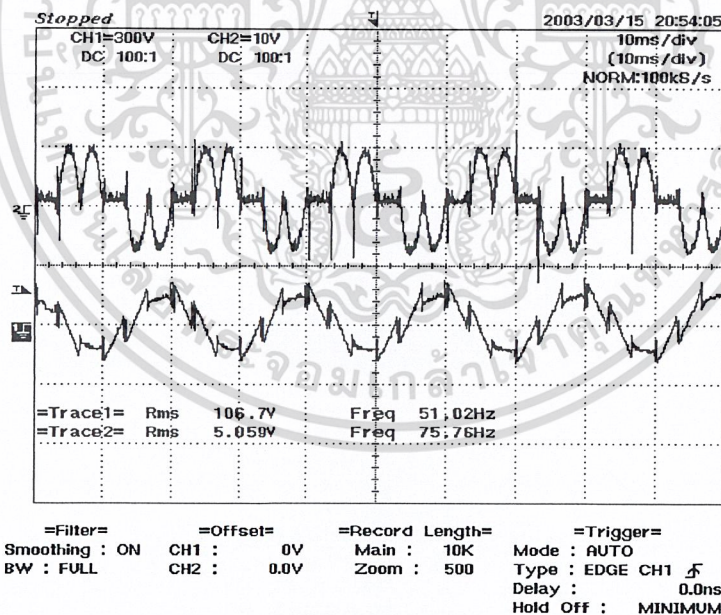
รูปที่ 8-5 รูปบนแสดงแรงดันเฟสของโหลด R ที่มุมจุดชนวน 27°
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์
รูปล่างแสดงกระแสเฟสของโหลด R ที่มุมจุดชนวน 27°
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 5 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำชุดคาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนี้มวนมาทำการทดสอบกับมอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้น เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส Δ/Y 220 / 380 V, 4.32 / 2.5 A , 1 kW , $\cos \theta = 0.82$ ต่อดังรูป 8-6 และรูปที่ 8-7 ถึง 8-10 แสดงรูปกระแสและแรงดันที่เปอร์เซ็นต์แรงดันต่างๆ



รูปที่ 8-6 แสดงการวัดกระแสและแรงดันของโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ



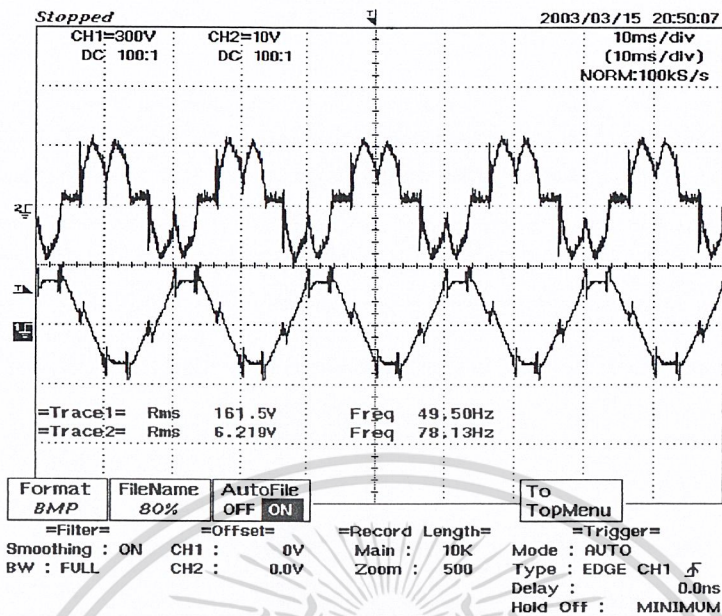
รูปที่ 8-7 รูปบนแสดงกระแสเฟสของโหลด Motor ที่ 60% Voltage

สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์

รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของโหลด Motor ที่ 60% Voltage

สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

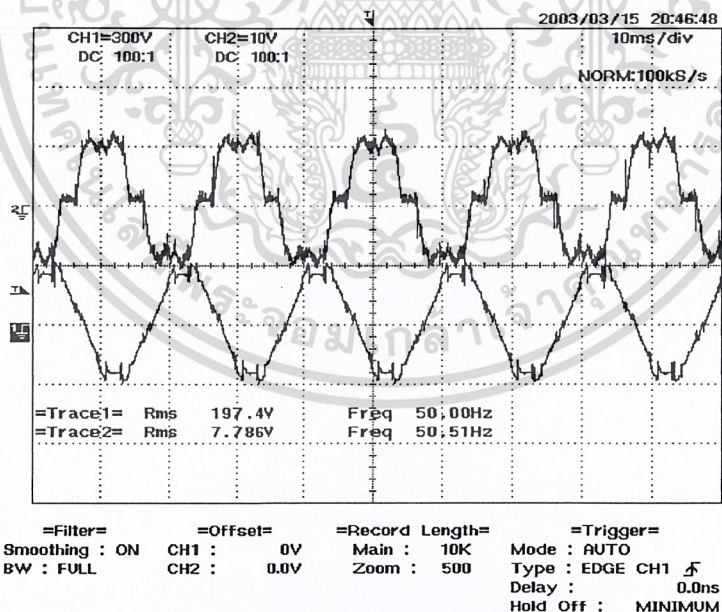


รูปที่ 8-8 รูปบนแสดงกระแสเฟสของโหลด Motor ที่ 80% Voltage

สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์

รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของโหลด Motor ที่ 80% Voltage

สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์



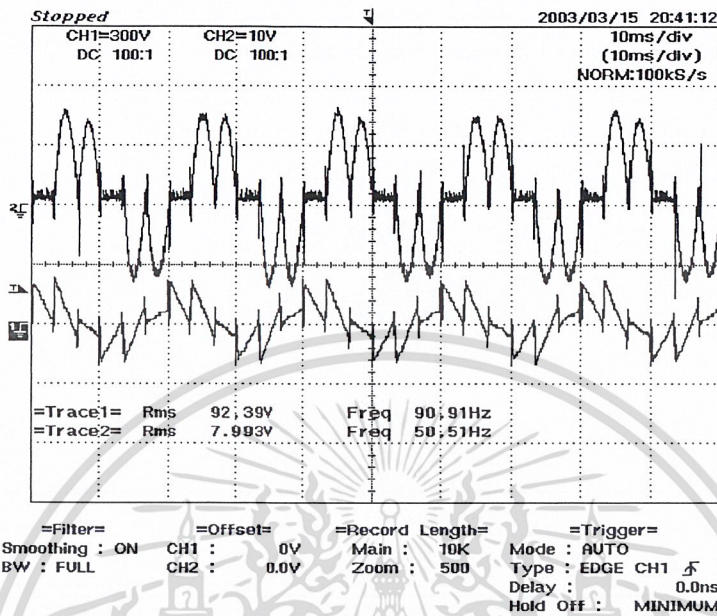
รูปที่ 8-9 รูปบนแสดงกระแสเฟสของโหลด Motor ที่ 90% Voltage

สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์

รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของโหลด Motor ที่ 90% Voltage

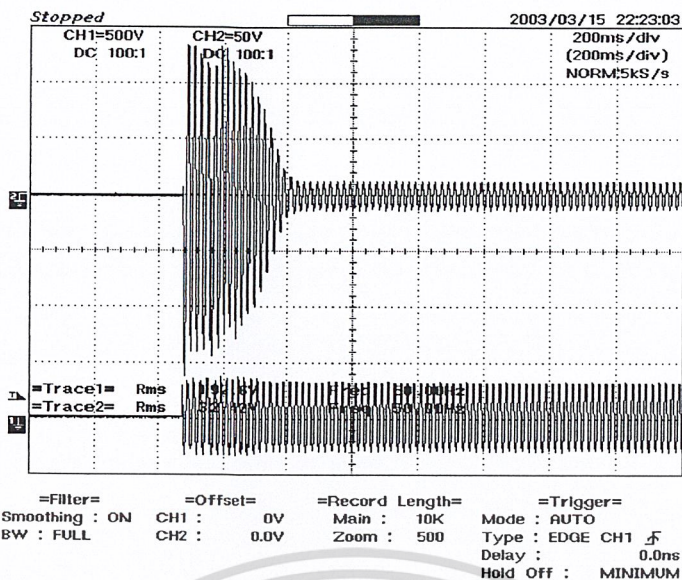
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

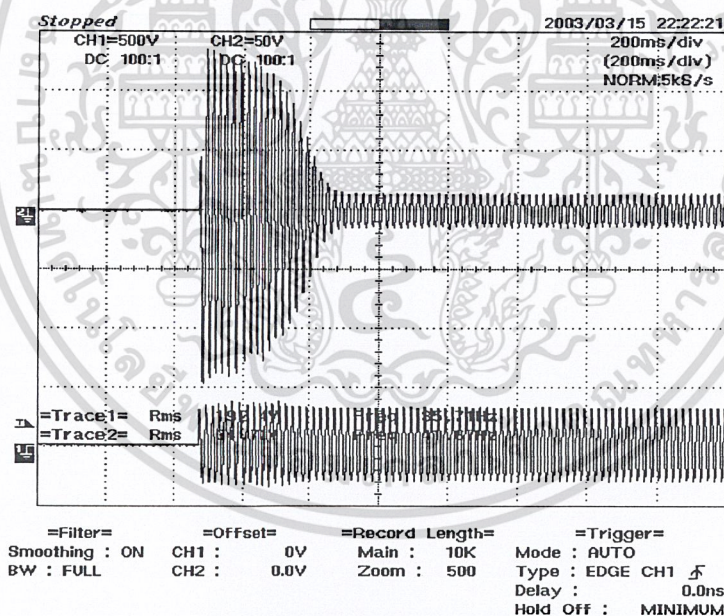


รูปที่ 8-10 รูปบนแสดงกระแสเฟสของโหลด Motor ที่ 90% Voltage มีภาระ load 0.63 N-m
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 1 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสของโหลด Motor ที่ 90% Voltage มีภาระ load 0.63 N-m
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 300 โวลต์

รูปที่ 8-11 และ รูปที่ 8-12 เป็นการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct On Line จะเห็นได้ว่ากระแสขณะสตาร์ทจะมีค่าสูงมากและค่อยลดลงจนถึงสภาวะคงตัว และกระแสขณะสตาร์ทแบบมีโหลดจะสูงกว่าแบบไม่มีโหลด

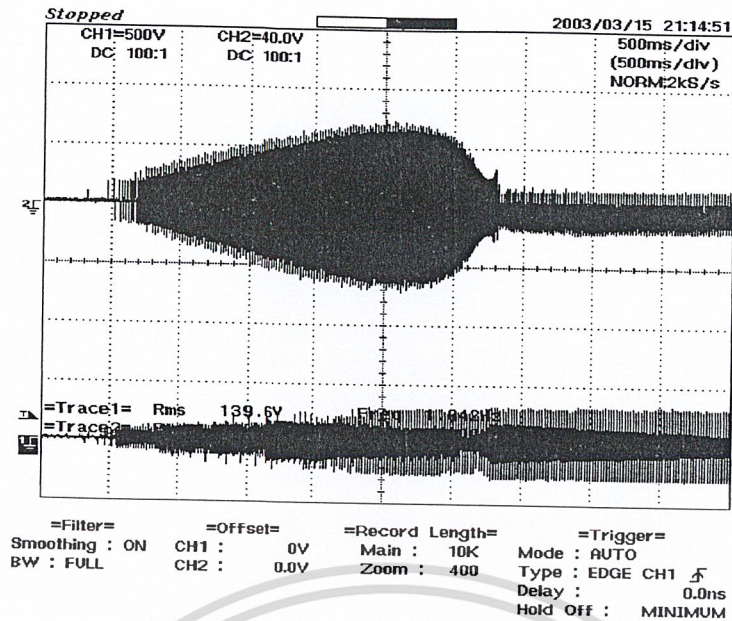


รูปที่ 8-11 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี *Direct On Line* ขณะไม่มีโหลด
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 5 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี *Direct On Line* ขณะไม่มีโหลด
สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

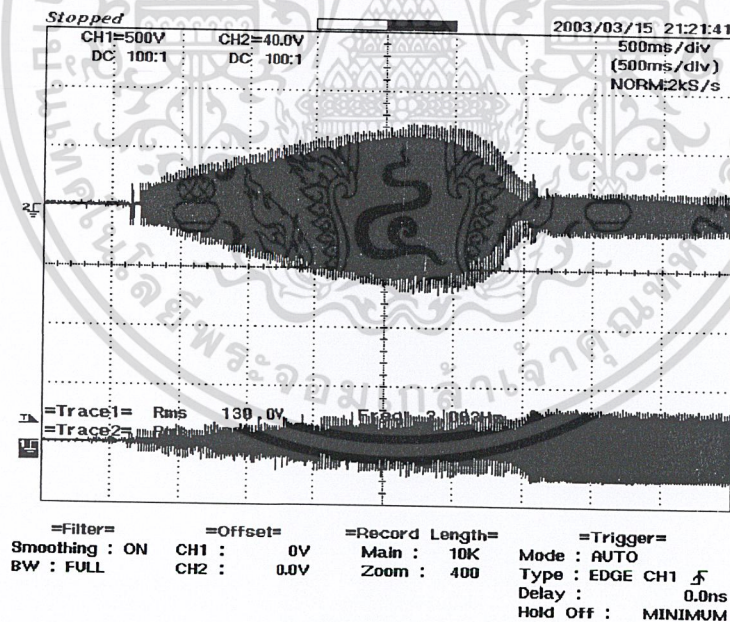


รูปที่ 8-12 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี *Direct On Line* ขณะมีโหลด
1.5 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 5 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี *Direct On Line* ขณะมีโหลด
1.5 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

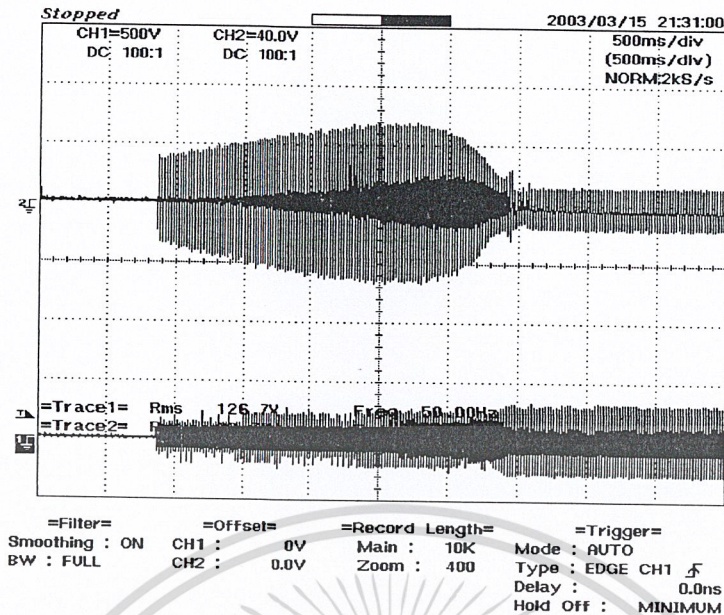


รูปที่ 8-13 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 0% Voltage
เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 0% Voltage
เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

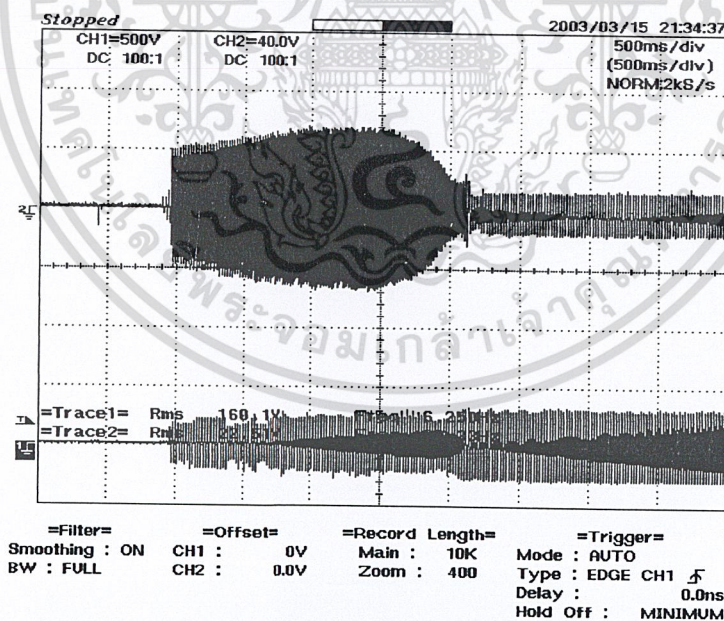


รูปที่ 8-14 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage
เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage
เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



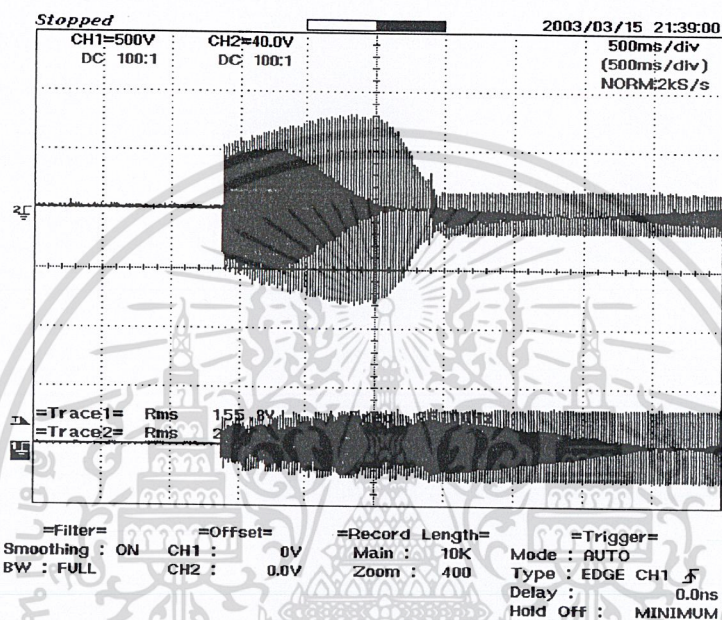
รูปที่ 8-15 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 70% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 70% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์



รูปที่ 8-16 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

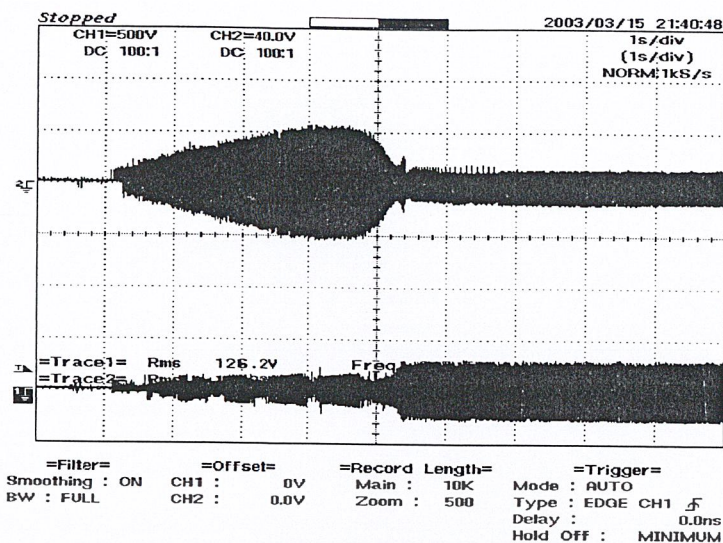
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8-13 ถึง รูปที่ 8-16 เป็นการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Soft Start ที่เปอร์เซ็นต์แรงดันต่าง ๆ กัน และเวลาในการสตาร์ทเท่ากับ 10 วินาที จากรูปกราฟกระแสจะเห็นว่ากระแสจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และจะลดลงเมื่อการสตาร์ทช่วงเวลาเข้าใกล้ค่าเวลาที่ตั้งไว้ จากนั้นก็เข้าสู่พักกระแสของมอเตอร์ตามเวลาที่ได้ตั้งไว้ ส่วนแรงดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันเริ่มต้นที่เราตั้งเอาไว้จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์แรงดัน



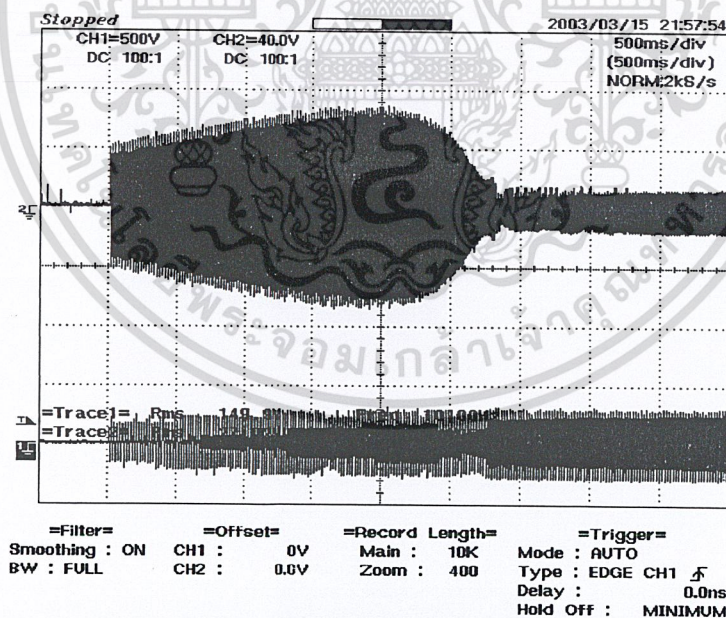
รูปที่ 8-17 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที สเตจ 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที สเตจ 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

จากรูปที่ 8-16 และ รูปที่ 8-17 เมื่อเปรียบเทียบกระแสจะเห็นว่า กระแสสตาร์ทที่ใช้เวลา 5 วินาที จะได้กระแสที่มากกว่า กระแสสตาร์ทที่ใช้เวลา 10 วินาที เมื่อเปอร์เซ็นต์แรงดันเท่ากัน



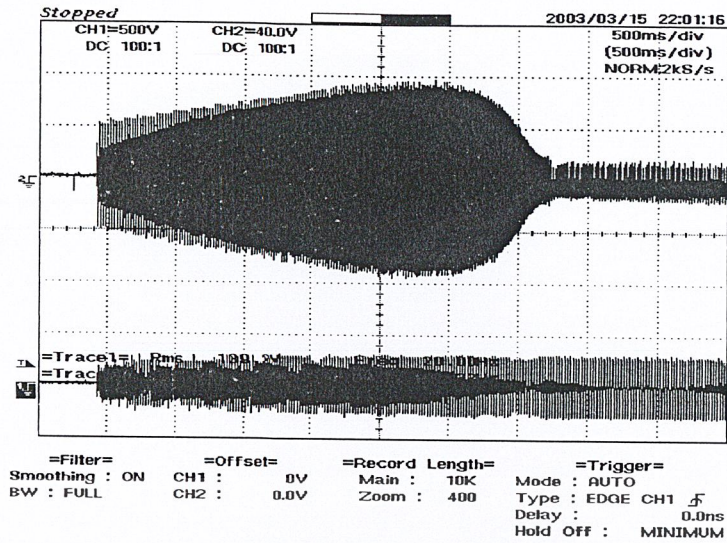
รูปที่ 8-18 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 10% Voltage เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

จากรูปที่ 8-14 และ รูปที่ 8-18 เมื่อเปรียบเทียบกระแสจะเห็นได้ว่า กระแสสตาร์ทที่ใช้เวลา 10 วินาทีจะได้กระแสที่มากกว่ากระแสสตาร์ทที่ใช้เวลา 20 วินาทีเมื่อเปอร์เซ็นต์แรงดันเท่ากันขณะไม่มีโหลด

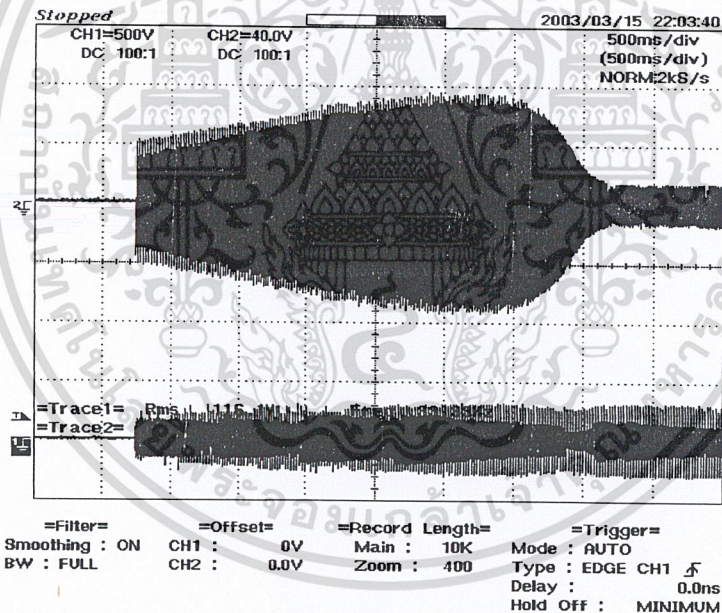


รูปที่ 8-19 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 0.63 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 0.63 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-20 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.1N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.1N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์



รูปที่ 8-21 รูปบนแสดงกระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.5N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 4 แอมป์
รูปล่างแสดงแรงดันเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธี Soft Start ที่ 90% Voltage เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที มีโหลด 1.5 N-m สเกล 1 ช่องเท่ากับ 500 โวลต์

จากรูปที่ 8-19, รูปที่ 8-20 และ รูปที่ 8-11 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 8-16 จะเห็นได้ว่ากระแสสตาร์ทเมื่อมีโหลดจะสูงกว่ากระแสสตาร์ทเมื่อไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผลและวิจารณ์

9.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสตาร์ทอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส โดยชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบ นิ่มนวล (3 Phase Induction Motor Soft Starter) จะพบว่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะค่อยๆเพิ่มขึ้น จากที่ได้ตั้งค่าไว้ จนถึงแรงดันที่พิกัด และความเร็วรอบจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงพิกัด และกระแสจะค่อยๆเพิ่มจนถึงกระแสสูงสุดและจากนั้นจะค่อยๆลดลงเข้าสู่สภาวะคงตัว เมื่อเทียบกับการสตาร์ทอินดักชันมอเตอร์โดยตรง

ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับค่าเปอร์เซ็นต์แรงดัน และตั้งค่าเวลาในการสตาร์ท ถ้าเราตั้งค่าเวลาในการสตาร์ทมอเตอร์ให้ช้า กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์ก็จะมีค่าน้อย ถ้าเราตั้งค่าเวลาในการสตาร์ทมอเตอร์ให้เร็ว กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์ก็จะมีค่าที่มาก

ในการสตาร์ทมอเตอร์ในเวลาที่มีโหลดนั้น กระแสในการสตาร์ทก็จะมีค่ามากกว่าการสตาร์ทมอเตอร์ในเวลาที่ไม่มีการโหลด เพราะจะมีค่าแรงบิดของโหลดเข้ามา ทำให้ค่าแรงบิดเริ่มต้นของมอเตอร์ต้องมีค่ามากกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์ถึงจะหมุน เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรผันโดยตรงกับแรงบิด เมื่อแรงบิดมากกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นกระแสก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

ข้อดีของการสตาร์ทมอเตอร์แบบนี้มีนวลนี้ คือจะลดกระแสขณะสตาร์ทซึ่งทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์

9.2 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างสัญญาณจุดชนวนของ SCR นั้นในที่นี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างสัญญาณแรงดันกระแสตรงไปตัด Ramp ที่ขา 10 ของ TCA 785 แล้ว TCA 785 จึงสร้างพัลส์เข้าสู่วงจรขับเคลื่อนไปจุดชนวนเอสซีอาร์ให้นำกระแส ซึ่ง TCA 785 จะเกิดการชำรุดได้ง่าย และมีราคาสูง เราจึงควรใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างพัลส์ไปจุดชนวนเอสซีอาร์โดยตรงเลย ทำให้เราประหยัดค่าใช้จ่าย และวงจรก็มีขนาดเล็กด้วย

ในโครงการนี้เราควบคุมเฉพาะแรงดัน ซึ่งเมื่อเราลดแรงดันความเร็วรอบก็จะลดลงด้วย ซึ่งไม่ได้ไปควบคุมแรงบิดและกระแส ดังนั้นเราควรที่จะควบคุมแรงบิดและกระแสด้วย

การจะทำให้วงจรมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นควรมีชุด Feed Back เพื่อส่งค่ากลับเข้ามาที่ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปใช้ในการประมวลผลอีกรอบ

การเลือกการใช้งานที่พิกัดโหลดต่างๆ ควรคำนึงถึงค่าพิกัดของกระแสเอสซีอาร์และของมอเตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

เรื่องแรงดันแต่ละเฟสที่เข้าสู่มอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น อาจจะไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นเพราะหม้อแปลงที่ใช้ในการแยกกราวด์ในส่วนของสัญญาณเข้า TCA 785 ซิฟเฟสไม่เท่ากันทำให้มุมในการจุดชนวนเอสซีอาร์ผิดพลาด ส่งผลให้แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) เกิดผลเสียต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สำหรับเรื่องซอฟต์แวร์ ไม่สามารถทราบขนาดโหลดที่จะนำไปกำหนดค่าแรงดันและเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสมได้ อีกทั้งเราไม่สามารถวัดแรงบิดขณะสาร์ทจนถึงพิกัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล

```

; This is a Systronix generated Main file
; Put your include statements in this file
; *****
; *****
; *****
; Microcontroller MCS-51
; Project :soft starter
; Assembler:rad 51
; File:soft_start
; *****
; *****
; *****
; EXTERNAL RAM
VOLTAGE_1 EQU 0B000H
TIME_1 EQU 0B001H
VOLTAGE_2 EQU 0B002H
TIME_2 EQU 0B003H
; 8255
CONTROL EQU 8003H
PORT_A EQU 8000H
PORT_B EQU 8001H
PORT_C EQU 8002H
; LCD MODULE
LCD_EN BIT P3.3
LCD_RS BIT P3.4
; IC SCAN KEYBOARD
PRESS BIT P1.4
OUT_EN BIT P3.1
; STACK POINTER
STACK EQU 12H
; *****
; *****
; *****
ORG 0000H
MOV SP,#STACK
ACALL INIT_8255
ACALL INIT_LCD
MOV A,#20
MOV DPTR,#VOLTAGE_1
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#TIME_1
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#VOLTAGE_2
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#TIME_2
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#00
MOV R7,#00
MOV R5,#00
MOV R6,#00
MOV 7CH,#00
MAIN_1: ACALL SUB_MAIN
TT:
CJNE R2,#06H,MAIN_1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL LCD_OFF ;WRITE
STATUS:
ACALL LCD_CLR
MOV DPTR,#TEXT_12
ACALL WRITE_LCD
;*****
*****
*
CJNE R7,#00H,SHOW_NEXT
;NOW STOP
ACALL SET_ADD40
MOV DPTR,#TEXT_13
ACALL WRITE_LCD
ACALL LCD_BLINK
RR: MOV 70H,#0FFH
ACALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
CJNE A,#0AH,QQ ;RUN
SJMP WW
QQ: CJNE A,#0CH,WW
;FUNCTION
MOV R2,#01
SJMP TT
WW: ACALL LCD_OFF
ACALL LCD_CLR
MOV DPTR,#TEXT_14
ACALL WRITE_LCD
MOV DPTR,#TEXT_15
ACALL SET_ADD40
ACALL WRITE_LCD
ACALL LCD_BLINK
QA: MOV 70H,#0FFH
ACALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
CJNE A,#0EH,QP
AJMP JUMP_AF
QP: CJNE A,#0EH,QA
AJMP TT
EE: CJNE A,#0EH,RR ;ESC
DEC R2
AJMP TT
;*****
*****
***
SHOW_NEXT: CJNE
R7,#01H,SHOW_NEXT1 ;NOW RUN 100%
ACALL SET_ADD40
MOV DPTR,#TEXT_11
ACALL WRITE_LCD
ACALL FUN_SHOW
ACALL LCD_BLINK
PP: MOV 70H,#0FFH
ACALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
CJNE A,#0BH,UU
;DECREASE
AJMP LOOP_ONE
UU: CJNE A,#0CH,II
;FUNCTION
MOV R2,#01
AJMP TT
II: CJNE A,#0DH,OO ;STOP
ACALL LCD_OFF
ACALL LCD_CLR
MOV DPTR,#TEXT_16

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL WRITE_LCD
MOV DPTR,#TEXT_17
ACALL SET_ADD40
ACALL WRITE_LCD
ACALL LCD_BLINK
QPP:  MOV 70H,#0FFH
ACALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
CJNE A,#0DH,QO
AJMP JUMP_AH
QO:   CJNE A,#0EH,QPP
AJMP TT
OO:   CJNE A,#0EH,PP ;ESC
DEC R2
AJMP TT
;*****
;*****
*
SHOW_NEXT1: CJNE R7,#02H,TTT
ACALL SET_ADD40
MOV DPTR,#TEXT_11
ACALL WRITE_LCD
ACALL FUN_SHOW
ACALL LCD_BLINK
GG:   MOV 70H,#0FFH
ACALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
CJNE A,#0AH,AA
;INCREASE
AJMP LOOP_FC
AA:   CJNE A,#0BH,SS
;DECREASE
AJMP LOOP_ONE
SS:   CJNE A,#0CH,DD
;FUNCTION
MOV R2,#01
TTT:  AJMP TT
DD:   CJNE A,#0DH,FF ;STOP
DE:
ACALL LCD_OFF
ACALL LCD_CLR
MOV DPTR,#TEXT_16
ACALL WRITE_LCD
MOV DPTR,#TEXT_17
ACALL SET_ADD40
ACALL WRITE_LCD
ACALL LCD_BLINK
QI:   MOV 70H,#0FFH
ACALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
CJNE A,#0DH,QU
ACALL LCD_OFF
ACALL LCD_CLR
MOV DPTR,#TEXT_5
ACALL WRITE_LCD
MOV DPTR,#TEXT_4
ACALL SET_ADD40
ACALL WRITE_LCD
ACALL LCD_BLINK
AJMP STOP_XX
QU:   CJNE A,#0EH,QI
AJMP TT
FF:   CJNE A,#0EH,GG

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DEC R2
AJMP TT

;*****
*****
*****

JUMP_AF:
    ACALL LCD_OFF      ;RUN
    ACALL LCD_CLR
;
    MOV DPTR,#TEXT_3
    ACALL WRITE_LCD
    MOV DPTR,#TEXT_4
    ACALL SET_ADD40
    ACALL WRITE_LCD
    ACALL LCD_BLINK
    ACALL LOAD_START
    MOV A,72H
    ACALL BEGIN_START
    LOOP_AZ:
    MOV R7,#00
    MOV 7CH,#00
    AJMP TT
    ACALL BEGIN_START
    JUMP_AL: ACALL STOP_DELAY
    CJNE R7,#00H,JUMP_AH
    SJMP LOOP_AZ

MOV R7,#01
MOV R6,#00
MOV 7CH,#20
AJMP TT

;*****
*****
*****

LOOP_FC:  MOV A,7CH
;PRESS ONE FOR INCREASE

ACALL FUN_SAME1
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                CJNE A,7DH,LOOP_AN
LOOP_AC:  MOV DPTR,#PORT_A      MOV A,7CH
                                CJNE A,#00,LOOP_QE
                                MOV R7,#00
                                AJMP TT
                                LOOP_QE:
                                MOV R7,#02
                                AJMP TT
                                LOOP_AN:  INC A
                                SJMP LOOP_AB

                                *****
                                *****
LOOP_QW:  MOV R7,#02
                                *****
                                AJMP TT
                                *****
LOOP_AX:  DEC A
                                FUN_SAME1:  CJNE A,#00H,QQJ
                                MOV A,#00
                                SJMP QQJ
;*****
;*****
;*****
LOOP_ONE: MOV A,7CH
;FOR DECREASE
                                QQL:
                                MOV B,#5
                                MUL AB
                                QQJ:
                                MOV DPTR,#PERCENTAGE
                                MOVC A,@A+DPTR
                                PUSH ACC
                                INC 7CH
                                MOV A,7CH
                                MOV B,#5
                                MUL AB
                                MOV DPTR,#PERCENTAGE
                                MOVC A,@A+DPTR
                                MOV 7DH,A
                                MOV DPTR,#PORT_A
                                MOVX @DPTR,A
                                MOV DPTR,#PORT_B
                                MOVX @DPTR,A
                                MOV DPTR,#PORT_C
                                MOVX @DPTR,A
                                ACALL DELAY_83ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

POP ACC
RET
FUN_SAME2: MOV A,7CH
MOV B,#5
MUL AB
MOV DPTR,#PERCENTAGE
MOVC A,@A+DPTR
PUSH ACC
DEC 7CH
MOV A,7CH
MOV B,#5
MUL AB
MOV DPTR,#PERCENTAGE
MOVC A,@A+DPTR
MOV 7DH,A
POP ACC
RET
FUN_SHOW: MOV A,7CH
MOV B,#5
MUL AB
MOV B,#100
DIV AB
SETB LCD_RS
CJNE A,#00,FUN_SHOW1
MOV P0,#20H
ACALL LCD_CLK
QR:
MOV A,B
MOV B,#10
DIV AB
ADD A,#30H
MOV P0,A
ACALL LCD_CLK
MOV A,B
ADD A,#30H
MOV P0,A
ACALL LCD_CLK
MOV P0,#25H
ACALL LCD_CLK
CLR LCD_RS
RET
FUN_SHOW1: ADD A,#30H
MOV P0,A
ACALL LCD_CLK
SJMP QR
;*****
;*****
;*****
; INITIAL 8255
;*****
;*****
INIT_8255: MOV DPTR,#CONTROL
MOV A,#80H
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_A
MOV A,#0FFH
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_B
MOVX @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#PORT_C
MOVX @DPTR,A
RET
ACALL LCD_CLK
MOV P0,#0000001B ;CLEAR
LCD
;*****
ACALL LCD_CLK
;*****
;*****
MOV P0,#0000110B ;ENTRY
; INITIAL LCD MODULE
MODE ,INCREASE ADDRESS
;*****
ACALL LCD_CLK
;*****
;*****
MOV P0,#0000001B ;CLEAR
INIT_LCD: MOV P0,#00H
LCD
SETB LCD_RS
ACALL LCD_CLK
SETB LCD_EN
MOV 70H,#20
RET
ACALL DELAY ;DELAY
TIME 20ms
CLR LCD_RS
;*****
;COMMAND
MOV P0,#00111000B
LCD_OFF: MOV P0,#00001000B
;FUNCTION SET
ACALL LCD_CLK
ACALL LCD_CLK
RET
MOV 70H,#05
ACALL DELAY ;DELAY
LCD_CLR: MOV P0,#0000001B
TIME 5ms
ACALL LCD_CLK
RET
MOV P0,#00111000B
ACALL LCD_CLK
LCD_ON: MOV P0,#00001100B
MOV 70H,#05
ACALL LCD_CLK
ACALL DELAY ;DELAY
RET
TIME 5ms
LCD_ENT: MOV P0,#00000110B
MOV P0,#00001000B ;OFF
ACALL LCD_CLK
LCD
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

NOP
DJNZ R4,$
POP ACC
DJNZ R3,DELAY_11
CJNE A,#0AH,LOOP_RE
MOV R7,#00H
RET
LOOP_RE: DEC A
        SJMP DELAY_13
;*****
;*****
DELAY_X2: MOV A,78H
DELAY_21: MOV R3,79H
DELAY_22: MOV R4,#10
;CORRECT
DELAY_23: MOV DPTR,#PORT_A
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#PORT_B
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#PORT_C
        MOVX @DPTR,A
        PUSH ACC
        MOV 7BH,#20
        DELAY_35: LCALL SCAN_KEY_2
        CJNE R7,#01,DELAY_34
        POP ACC
        MOV R6,#01H
        MOV 7AH,A
        RET
DELAY_24: MOV 7BH,#18
NOP
DJNZ 7BH,$
POP ACC
DJNZ R4,DELAY_23
DJNZ R3,DELAY_22
CJNE A,#0AH,DELAY_27
MOV R7,#00
RET
DELAY_27: DEC A
        SJMP DELAY_21
;*****
;*****
DELAY_X3: MOV A,78H
DELAY_31: MOV R3,79H
DELAY_32: MOV R4,#10
;CORRECT
DELAY_33: MOV DPTR,#PORT_A
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#PORT_B
        MOVX @DPTR,A
        MOV DPTR,#PORT_C
        MOVX @DPTR,A
        PUSH ACC
        MOV 7BH,#20
        DELAY_35: LCALL SCAN_KEY_2
        CJNE R7,#01,DELAY_34
        POP ACC
        MOV R6,#01H
        MOV 7AH,A
        RET
DELAY_34: NOP
NOP
NOP
NOP
DJNZ 7BH,DELAY_35
POP ACC
DJNZ R4,DELAY_33

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ R3,DELAY_32                                     ;*****
CJNE A,#0AH,DELAY_37                                *****
MOV R7,#00                                         DELAY_XX2: MOV A,#00H
RET                                                DELAY_YY:  MOV R3,79H

DELAY_37: DEC A
SJMP DELAY_31

;*****
*****
DELAY_XX1: MOV A,#00H
DELAY_WW:  MOV R3,79H
DELAY_FG:  MOV R4,#43
;CORRECT
MOV DPTR,#PORT_A
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_B
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_C
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_C
MOVX @DPTR,A
NOP
DJNZ R4,$
DJNZ R3,DELAY_FG
INC A
CJNE A,78H,DELAY_WW
MOV A,#0AEH
MOV DPTR,#PORT_A
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_B
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_C
MOVX @DPTR,A
RET

;*****
*****
DELAY_YY:  MOV R3,79H
DELAY_XX2: MOV A,#00H
MOV DPTR,#PORT_C
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_B
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_A
MOVX @DPTR,A
NOP
NOP
NOP
NOP
NOP
DJNZ R4,DELAY_UU
DJNZ R3,DELAY_EG
INC A
CJNE A,78H,DELAY_YY
DO1:  MOV A,#0AEH
MOV DPTR,#PORT_A
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_B
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORT_C
MOVX @DPTR,A
RET
;*****
*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DELAY_XX3: MOV A,#00H
DELAY_PP:  MOV R3,79H
DELAY_OO:  MOV R4,#40
;CORRECT
DELAY_SS:  MOV DPTR,#PORT_A
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_B
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_C
            MOVX @DPTR,A
            MOV R5,#47
            NOP
            NOP
DELAY_AA:  NOP
            NOP
            NOP
            DJNZ R5,DELAY_AA
            DJNZ R4,DELAY_SS
            DJNZ R3,DELAY_OO
            INC A
            CJNE A,78H,DELAY_PP
            MOV A,#0AEH
            MOV DPTR,#PORT_A
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_B
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_C
            MOVX @DPTR,A
            MOV R7,#00
            MOV 7CH,#00
            AJMP TT
STOP_XX1:
            MOV B,#05
            MUL AB
            ADD A,#15
            MOV DPTR,#PERCENTAGE
            MOVC A,@A+DPTR
STOP_XX3:
            MOV DPTR,#PORT_A
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_B
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_C
            MOVX @DPTR,A
            ACALL DELAY_83ms
            CJNE A,#93H,STOP_XX2
            MOV A,#0AEH
            MOV DPTR,#PORT_A
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_B
            MOVX @DPTR,A
            MOV DPTR,#PORT_C
            MOVX @DPTR,A
            MOV R7,#00
            MOV 7CH,#00
            AJMP TT
STOP_XX2:  INC A
            SJMP STOP_XX3

STOP_XX:   ACALL STOP_DELAY5
            MOV R7,#00
            MOV 7CH,#00
            AJMP TT
STOP_DELAY: MOV A,7AH
STOP_DELAY4:
            MOV R3,#10H
STOP_DELAY3: MOV R4,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

SUB_MAIN_5: CJNE                                     ;*****
R2,#05H,SUB_MAIN_END                               ;*****
                                                    ;*****

        ACALL SUB_SUB_5                             ; R0=1  LCD SHOW
        RET                                         'FUNCTION/RUNNING
                                                    ;*****
                                                    ;*****

SUB_MAIN_END: RET                                  ;*****

                                                    SUB_SUB_1: ACALL LCD_OFF
;*****
                                                    ACALL LCD_CLR
;*****
                                                    ACALL SET_ADD00
;*****
                                                    MOV DPTR,#TAB_2
; R0=0  LCD SHOW 'SOFT STARTER'                   ;WRITE 'FUNCTION/RUNNING'
;*****
                                                    ACALL WRITE_LCD
;*****
                                                    ACALL SET_ADD40
;*****
                                                    MOV DPTR,#TAB_3
                                                    ACALL WRITE_LCD
SUB_SUB: ACALL LCD_OFF                             ACALL LCD_BLINK
        ACALL LCD_CLR                               JUMP_1:  MOV 70H,#0FFH
        MOV DPTR,#TAB                              ACALL DELAY
        ACALL WRITE_LCD                             LCALL SCAN_KEY_1
;WRITE 'SOFT STARTER'                             CJNE A,#0AH,JUMP           ;JUMP
        ACALL SET_ADD40                             IF NOT PRESS RUN
        MOV DPTR,#TAB_1                             MOV R2,#06H
        ACALL WRITE_LCD                             RET
        ACALL LCD_BLINK                             JUMP:   CJNE A,#0CH,JUMP_2
LOOP_BB: MOV 70H,#0FFH                             ;JUMP IF NOT PRESS FUNCTION
        ACALL DELAY                                 INC R2
        LCALL SCAN_KEY_1                             RET
;SCAN KEY BOARD FOR PRESS ENTER                   JUMP_2:  CJNE A,#0EH,JUMP_1
        CJNE A,#0DH,LOOP_BB                         ;JUMP IF NOT PRESS ESC
        INC R2                                       DEC R2
        RET                                         RET

```

```

;*****
*****
*****
; R0=2 LCD SHOW '%V START' AND
RECIEVE SET UP FROM KEY BOARD
;*****
*****
*****

```

```

SUB_SUB_2: MOV R0,#71H
MOV DPTR,#TAB_4
ACALL ROUTINE_XX
MOV DPTR,#VOLTAGE_1
ACALL SHOW_DATA
RET

```

```

;*****
*****
*****
; R=3 LCD SHOW 'TIME AT START'
;*****
*****
*****

```

```

SUB_SUB_3: MOV R0,#72H
MOV DPTR,#TAB_5
ACALL ROUTINE_XX1
MOV DPTR,#TIME_1
ACALL SHOW_DATA_1
RET

```

```

;*****
*****
*****
; R2=4 LCD SHOW '%V AT STOP'

```

```

;*****
*****
*****

```

```

SUB_SUB_4: MOV R0,#73H
MOV DPTR,#TAB_6
ACALL ROUTINE_XX
MOV DPTR,#VOLTAGE_2
ACALL SHOW_DATA
RET

```

```

;*****
*****
*****

```

```

; R2=5 LCD SHOW 'TIME AT STOP'
;*****
*****
*****

```

```

SUB_SUB_5 MOV R0,#74H
MOV DPTR,#TAB_7
ACALL ROUTINE_XX1
MOV DPTR,#TIME_2
ACALL SHOW_DATA_1
RET

```

```

;*****
*****
*****

```

```

; ROUTINE
ROUTINE_XX: ACALL LCD_OFF
;FOR VOLTAGE
ACALL LCD_CLR
ACALL SET_ADD40
ACALL WRITE_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL SET_ADD00                                SJMP LOOP_END
MOV DPTR,#TXX      ;WRITE ##
ACALL WRITE_LCD                                LOOP_END: CLR LCD_RS
ACALL LCD_BLINK                                LCALL SPECIAL_PRESS
RET                                             LCALL KEY_CHECK_1
ROUTINE_XX1: ACALL LCD_OFF                      SJMP LOOP_YY
;FOR TIME                                     LOOP_XX: MOV R3,#00H
ACALL LCD_CLR                                  MOV R4,#00H
ACALL SET_ADD40                                LCALL KEY_CHECK_1
ACALL WRITE_LCD                                LOOP_YY: RET
ACALL SET_ADD00
MOV DPTR,#TXX_1                                ;*****
ACALL WRITE_LCD                                *****
ACALL LCD_BLINK                                ***
RET
;*****
*****
*****
SHOW_DATA: MOV 75H,DPL                          SHOW_DATA_1: MOV 75H,DPL
;FOR VOLTAGE                                  ;FOR TIME
MOV 76H,DPH                                    MOV 76H,DPH
CJNE R5,#00H,LOOP_XX                          CJNE R5,#00H,LOOP_WWW
CLR A                                          CLR A
MOVX A,@DPTR                                  MOVX A,@DPTR
MOV @R0,A                                     MOV @R0,A
MOV B,#10                                    MOV B,#10
DIV AB                                        DIV AB
ADD A,#30H                                    ADD A,#30H
SETB LCD_RS                                  SETB LCD_RS
MOV P0,A                                     MOV P0,A
ACALL LCD_CLK                                ACALL LCD_CLK
MOV P0,#30H                                  MOV P0,A
ACALL LCD_CLK                                ACALL LCD_CLK
SJMP LOOP_RRR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C A,@A+DPTR
LOOP_RRR: CLR LCD_RS
          LCALL SPECIAL_PRESS          MOV 76H,A          ;MOV DPH
          LCALL KEY_CHECK              TO 76H
          SJMP LOOP_UUU                POP ACC
LOOP_WWW: MOV R3,#00H                 MOV DPTR,#TAB_%VDPL
          MOV R4,#00H                 MOV C A,@A+DPTR
          LCALL KEY_CHECK
LOOP_UUU  RET                          MOV 75H,A
                                          MOV DPTR,#TIME_1
;*****
***** SET UP TIME TO ACC
*****
; BEGIN SUBROUTINE FOR START
INDUCTION MOTOR
;*****
***** MOV 72H,A
***** MOV DPL,75H
***** MOV DPH,76H
***** MOV C A,@A+DPTR
***** MOV 79H,A          ;TIME TO
***** DELAY FROM LOOK UP TABLE
LOAD_START: MOV DPTR,#VOLTAGE_1      RET
          MOV X A,@DPTR          ;MOV
EXTERNAL RAM TO ACC
          MOV R0,#71H
          MOV @R0,A          ;DATA
BUFFER FOR %VOLTAGE
LOAD_STOP: MOV DPTR,#VOLTAGE_2
          MOV DPTR,#PERCENTAGE      MOV X A,@DPTR
          MOV C A,@A+DPTR          MOV R0,#73H
          MOV 78H,A          ;INITIAL  MOV @R0,A
VOLTAGE
          MOV A,@R0
          MOV B,#10
          DIV AB
          PUSH ACC
          MOV DPTR,#TAB_%VDPH      PUSH ACC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#TAB_%VDPH
MOVC A,@A+DPTR
MOV 76H,A
POP ACC
MOV DPTR,#TAB_%VDPL
MOVC A,@A+DPTR
MOV 75H,A
MOV DPTR,#TIME_2
MOVX A,@DPTR
MOV 74H,A
MOV DPL,75H
MOV DPH,76H
MOVC A,@A+DPTR
MOV 79H,A
RET
;*****
*****
SKIP_2: CJNE @R0,#10,SKIP_3
CLR C
CJNE A,#05,$+3
JNC SKIP_12
CJNE R7,#00H,STOP_10
ACALL DELAY_X1
RET
;*****
*****
STOP_10: ACALL DELAY_XX1
RET
SKIP_12: CLR C
CJNE A,#41,S3
S3: JNC SKIP_13
CJNE R7,#00H,STOP_12
ACALL DELAY_X2
RET
STOP_12: ACALL DELAY_XX2
RET
STOP_01: ACALL DELAY_XX1
RET
SKIP_11: CLR C
CJNE A,#42,$+3
JNC SKIP_11
CJNE R7,#00H,STOP_03
ACALL DELAY_X2
RET
STOP_03: ACALL DELAY_XX2
RET
SKIP_11: CJNE R7,#00H,STOP_02
ACALL DELAY_X3
RET
STOP_02: ACALL DELAY_XX3
RET
;*****
*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SKIP_3:  CJNE @R0,#20,SKIP_4                RET
        CLR C                                SKIP_16: CLR C
        CJNE A,#04,S4                        CJNE A,#38,S7
S4:      JNC SKIP_14                          S7:      JNC SKIP_17
        CJNE R7,#00H,STOP_21                 CJNE R7,#00H,STOP_32
        ACALL DELAY_X1                       ACALL DELAY_X2
        RET                                   RET
STOP_21: ACALL DELAY_XX1                     STOP_32: ACALL DELAY_XX2
        RET                                   RET
SKIP_14: CLR C                                SKIP_17: CJNE R7,#00H,STOP_33
        CJNE A,#39,S5                        ACALL DELAY_X3
S5:      JNC SKIP_15                          RET
        CJNE R7,#00H,STOP_22                 STOP_33: ACALL DELAY_XX3
        ACALL DELAY_X2                       RET
        RET
STOP_22:                                     ;*****
        ACALL DELAY_XX2                       ;*****
        RET
SKIP_15: CJNE R7,#00H,STOP_23                 SKIP_5:  CJNE @R0,#40,SKIP_6
        ACALL DELAY_X3                       CLR C
        RET                                   CJNE A,#04,S8
STOP_23: ACALL DELAY_XX3                     S8:      JNC SKIP_18
        RET                                   CJNE R7,#00H,STOP_41
                                                ACALL DELAY_X1
                                                RET
;*****
;*****
SKIP_4:  CJNE @R0,#30,SKIP_5                 STOP_41: ACALL DELAY_XX1
        CLR C                                RET
        CJNE A,#04,S6                        SKIP_18: CLR C
S6:      JNC SKIP_16                          CJNE A,#37,S9
        CJNE R7,#00H,STOP_31                 S9:      JNC SKIP_19
        ACALL DELAY_X1                       CJNE R7,#00H,STOP_42
        RET                                   ACALL DELAY_X2
STOP_31: ACALL DELAY_XX1                     RET
                                                STOP_42: ACALL DELAY_XX2
                                                RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SKIP_19:  CJNE R7,#00H,STOP_43
          ACALL DELAY_X3
          RET
STOP_43:  ACALL DELAY_XX3
          RET
;*****
*****
SKIP_6:   CJNE @R0,#50,SKIP_7
          CLR C
          CJNE A,#04,S10
S10:     JNC SKIP_20
          CJNE R7,#00H,STOP_51
          ACALL DELAY_X1
          SJMP STOP_5END
STOP_51:  ACALL DELAY_XX1
STOP_5END: RET
SKIP_20:  CLR C
          CJNE A,#36,S11
S11:     JNC SKIP_21
          CJNE R7,#00H,STOP_52
          ACALL DELAY_X2
          RET
STOP_52:  ACALL DELAY_XX2
          RET
SKIP_21:  CJNE R7,#00H,STOP_53
          ACALL DELAY_X3
          RET
STOP_53:  ACALL DELAY_XX3
          RET
;*****
*****
SKIP_7:   CJNE @R0,#60,SKIP_8
          CLR C
          CJNE A,#04,S12
S12:     JNC SKIP_22
          CJNE R7,#00H,STOP_61
          ACALL DELAY_X1
          RET
STOP_61:  ACALL DELAY_XX1
          RET
SKIP_22:  CLR C
          CJNE A,#34,S13
S13:     JNC SKIP_23
          CJNE R7,#00H,STOP_62
          ACALL DELAY_X2
          RET
STOP_62:  ACALL DELAY_XX2
          RET
SKIP_23:  CJNE R7,#00H,STOP_63
          ACALL DELAY_X3
          RET
STOP_63:  ACALL DELAY_XX3
          RET
;*****
*****
SKIP_8:   CJNE @R0,#70,SKIP_9
          CLR C
          CJNE A,#04,S14
S14:     JNC SKIP_24
          CJNE R7,#00H,STOP_71
          ACALL DELAY_X1
          RET
STOP_71:  ACALL DELAY_XX1
          RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SKIP_24: CLR C                                RET
        CJNE A,#33,S15                        STOP_83: ACALL DELAY_XX3
S15:    JNC SKIP_25                            RET
        CJNE R7,#00H,STOP_72                  ;*****
        ACALL DELAY_X2                        *****
        RET                                    SKIP_10: CJNE @R0,#90,SKIP_END
STOP_72: ACALL DELAY_XX2                       CLR C
        RET                                    CJNE A,#03,S18
SKIP_25: CJNE R7,#00H,STOP_73                  S18:    JNC SKIPP_28
        ACALL DELAY_X3                        CJNE R7,#00H,STOP_91
        RET                                    ACALL DELAY_X1
STOP_73: ACALL DELAY_XX3                       RET
        RET                                    STOP_91: ACALL DELAY_XX1
;*****                                       RET
*****                                       SKIPP_28: CLR C
SKIP_9:  CJNE @R0,#80,SKIP_10                  CJNE A,#30,$+3
        CLR C                                    JNC SKIP_28
        CJNE A,#04,S16                          CJNE R7,#00H,STOP_93
S16:    JNC SKIP_26                            ACALL DELAY_X2
        CJNE R7,#00H,STOP_81                    RET
        ACALL DELAY_X1                          STOP_93: ACALL DELAY_XX2
        RET                                    RET
STOP_81: ACALL DELAY_XX1                       SKIP_28: CJNE R7,#00H,STOP_92
        RET                                    ACALL DELAY_X3
SKIP_26: CLR C                                    RET
        CJNE A,#32,S17                          STOP_92: ACALL DELAY_XX3
S17:    JNC SKIP_27                            SKIP_END: RET
        CJNE R7,#00H,STOP_82                    ;*****
        ACALL DELAY_X2                        *****
        RET                                    *****
STOP_82: ACALL DELAY_XX2                       ; WRITE LCD MODULE
        RET                                    WRITE_LCD: SETB LCD_RS
SKIP_27: CJNE R7,#00H,STOP_83                  CLR A
        ACALL DELAY_X3                        MOV C,A,@A+DPTR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE A,#0DH,REPEAT
SJMP WRITE_END
REPEAT:    MOV P0,A
           ACALL LCD_CLK
           INC DPTR
           SJMP WRITE_LCD
WRITE_END: CLR LCD_RS
           RET
WRITE_LCD_1: SETB LCD_RS
;SHOW NUMBER FOR SET UP TIME
           SETB ACC.5
           SETB ACC.4
           MOV P0,A
           ACALL LCD_CLK
           CLR LCD_RS
           INC R3
           CLR ACC.5
           CLR ACC.4
JUMP_5:    CJNE R3,#01H,JUMP_10
           MOV @R0,#00H
           MOV @R0,A
           CLR A
           RET
JUMP_10:   CJNE R3,#02H,JUMP_4
           MOV R1,#00H
           LCALL CHECK_NUMBER
           LCALL CHECK_ERROR
           CJNE R1,#00H,JUMP_4
           LCALL SPECIAL_PRESS
JUMP_4:    MOV R1,#00
           RET
WRITE_LCD_2: SETB LCD_RS
;FOR VOLTAGE
           SETB ACC.5
           SETB ACC.4
           MOV P0,A
           LCALL LCD_CLK
           MOV P0,#30H
           LCALL LCD_CLK
           CLR LCD_RS
           CLR ACC.5
           CLR ACC.4
           MOV B,#10D
           MUL AB
           MOV @R0,A
           MOV 70H,#0FFH
           LCALL DELAY
           LCALL SPECIAL_PRESS
           RET
;*****
;*****
;*****
CHECK_NUMBER: PUSH ACC
           MOV B,#10
           CLR A
           MOV A,@R0
           MUL AB
           MOV @R0,A
           POP ACC
           ADD A,@R0
           RET
;*****
;*****
;*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHECK_ERROR:  CJNE A,#00,CHECK_3          MOV A,P1
              SJMP CHECK_1                ANL A,#0FH
CHECK_3:      CLR C                        MOV DPTR,#KEY
              CJNE A,#61,S19              MOV C A,@A+DPTR
S19:         JNC CHECK_1                    ;LOOK UP TABLE FOR PRESS KEY
              MOV @R0,A                    SETB OUT_EN
              RET                          RET
CHECK_1:      MOV P0,#3AH
              SETB LCD_RS                  SCAN_KEY_2:  SETB PSW.3
              LCALL LCD_CLK                ;TOTAL 38us
              CLR LCD_RS                    MOV R1,#02
              LCALL SET_ADD40              SETB OUT_EN
              MOV DPTR,#TEXT_2            SCAN_KEY_21: MOV P1,#0FFH
              LCALL WRITE_LCD              JNB P1.4,SCAN_SS
CHECK_2:      LCALL SPECIAL_PRESS          CLR OUT_EN
              CJNE A,#0FH,CHECK_2          MOV A,P1
              MOV R6,#01H                  ANL A,#0FH
              RET                          MOV DPTR,#KEY
                                              MOV C A,@A+DPTR
                                              SETB OUT_EN
;*****
;*****
;*****
; SCAN KEY BOARD
SCAN_KEY:     MOV P1,#0FFH                SCAN_SS:    MOV R2,#04
;CHECK FOR PRESS ANY KEY                  NOP
              JNB P1.4,SCAN_KEY            DJNZ R2,$
              RET                          SCAN_KK:    DJNZ R1,SCAN_KEY_21
                                              CLR PSW.3
SCAN_KEY_1:   SETB OUT_EN                  RET
              MOV P1,#0FFH                ;SET P1 IS
INPUT PORT
              JNB P1.4,SCAN_KEY_1          SPECIAL_PRESS: MOV 70H,#0FFH
              CLR OUT_EN                  LCALL DELAY
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL SCAN_KEY_1
MOV R4,#01H
CJNE A,#0DH,STEP_1 ;NOT
PRESS ENTER
RET
STEP_1: CJNE A,#0EH,STEP_2
;NOT PRESS ESC
RET
STEP_2: CJNE
A,#0FH,SPECIAL_PRESS ;NOT PRESS
CLEAR
RET
GOTO_3: CJNE A,#01H,GOTO_4
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 1
SJMP KEY_CHECK
GOTO_4: CJNE A,#02H,GOTO_5
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 2
SJMP KEY_CHECK
GOTO_5: CJNE A,#03H,GOTO_6
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 3
SJMP KEY_CHECK
;*****
;*****
;*****
; CHECK WHAT DOES PRESS ANY
BOTTOM
;*****
;*****
;*****
KEY_CHECK: CJNE R4,#01H,SKIP
;FOR TIME
SJMP GOTO_1
SKIP: MOV 70H,#0FFH
LCALL DELAY
LCALL SCAN_KEY_1
GOTO_6: CJNE A,#04H,GOTO_7
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 4
SJMP KEY_CHECK
GOTO_7: CJNE A,#05H,GOTO_8
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 5
SJMP KEY_CHECK
GOTO_8: CJNE A,#06H,GOTO_9
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 6
SJMP KEY_CHECK
GOTO_1: CJNE A,#00H,GOTO_3
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 0
SJMP KEY_CHECK
GOTO_9: CJNE A,#07H,GOTO_10
LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 7
SJMP KEY_CHECK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPH,76H
GOTO_10:  CJNE A,#08H,GOTO_11
          LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 8
          SJMP KEY_CHECK

GOTO_11:  CJNE A,#09H,GOTO_12
          LCALL WRITE_LCD_1
;PRESS NUMBER 9
          SJMP KEY_CHECK

GOTO_12:  CJNE A,#0AH,GOTO_13
          SJMP KEY_CHECK
;PRESS RUN
          ESC

GOTO_13:  CJNE A,#0BH,GOTO_14
          SJMP KEY_CHECK
;PRESS STOP

GOTO_14:  CJNE A,#0CH,GOTO_15
          SJMP KEY_CHECK
;PRESS FUNCTION

GOTO_15:  CJNE A,#0DH,GOTO_16
          CJNE @R0,#00H,GOTO_18
          LCALL CHECK_1
          LJMP KEY_CHECK

GOTO_16:  CJNE A,#0EH,GOTO_17
          MOV R5,#00H
          MOV R3,#00H
          MOV R4,#00H
          DEC R2
          ;PRESS
          ENTER

GOTO_17:  CJNE A,#0FH,GOTO
          MOV R5,#01H
          ;PRESS CLEAR
          MOV R3,#00H
          RET

GOTO:     LJMP KEY_CHECK

;*****
;*****
;*****
KEY_CHECK_1:  CJNE R4,#01H,SKIP_1
              SJMP GOTOX_1

GOTO_18:  MOV R5,#00
          MOV DPL,75H

SKIP_1:   MOV 70H,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

GOTOX_15:    CJNE A,#0DH,GOTOX_16
              MOV R5,#00H
              MOV DPL,75H
              MOV DPH,76H
              MOV A,@R0
              MOVX @DPTR,A
              INC R2                ;PRESS
ENTER
              RET
              TAB_1:  DB 'TARTER ',0DH
                      ;ADDRESS 40H
              TAB_2:  DB '(FUNC/RU',0DH
                      ;ADDRESS 00H
              TAB_3:  DB 'NNING) ',0DH
                      ;ADDRESS 40H
              TAB_4:  DB '%V START',0DH
                      ;ADDRESS 40H

GOTOX_16:    CJNE A,#0EH,GOTOX_17
              MOV R5,#00H
              DEC R2                ;PRESS
ESC
              RET
              TAB_5:  DB 'START(s)',0DH      ; "
              TAB_6:  DB '%V STOP ',0DH     ; "
              TAB_7:  DB 'STOP (s)',0DH     ; "

GOTOX_17:    CJNE A,#0FH,GOTOX
              MOV R5,#01H
              ;PRESS CLEAR
              RET
              ;*****
              ;*****
              ;*****
              ; LOOK UP TABLE FOR SCAN KEY
GOTOX:      LJMP KEY_CHECK_1
              BOARD
              KEY:   DB
              0AH,03H,02H,01H,0BH,06H,05H,04H,0CH,0
              9H,08H,07H,0DH,0EH,00H,0FH
              ; TABLE FOR DISPLAY
              ;*****
              ;*****
              ;*****
              ;*****

TAB:        DB ' SOFT S',0DH
;ADDERSS 00H
TXX:       DB '## ',0DH
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAB_%VDPL: DB	
00H,3DH,7AH,0B7H,0F4H,31H,6EH,0ABH,0E8H,25H	ORG 1C7AH
	TAB_T20%: DB 00D,66,132,197
	DB
ORG 1C00H	26,33,39,46,53,59,66,72,79,86,92,99,105,112,118,125,132,138,145,151
TAB_T0%: DB 00D,61D,122D,183D,244D	DB
DB	DB
30D,37D,43D,49D,55D,61D,67D,73D,79D,85D,91D,98D,104D,110D,116D	158,164,171,178,184,191,197,204,211,217,224,230,237,243,250
DB	DB
122D,128D,134D,140D,146D,152D,159D,165D,171D,177D,183D,189D,195D	26,26,27,28,28,29,30,30,31,32,32,33,34,34,35,36,36,37,38,38,39,39
DB	
201D,207D,213D,220D,226D,232D,238D,244D,250D	ORG 1CB7H
DB	TAB_T30%: DB 00,69,138,207
DB	DB
26D,26D,27D,27D,28D,29D,29D,30D,30D,31D,32D,32D,33D,34D,34D,35D	28,34,41,48,55,62,69,76,83,90,97,103,110,117,124,131,138,145,152,159
DB 35D,36D,37D	DB
ORG 1C3DH	166,172,179,186,193,200,207,214,221,228,234,241,248,255
TAB_T10%: DB 00D,63D,127D,190D,253D	DB
DB	26,27,28,28,29,30,30,31,32,32,33,34,34,35,36,37,37,38,39,39,40,41,41
32D,38D,44D,51D,57D,63D,70D,76D,82D,89D,95D,101D,108D,114D,120D,127D	
DB	ORG 1CF4H
133D,139D,146D,152D,158D,165D,171D,177D,184D,190D,196D,203D,209D,215D	TAB_T40%: DB 00,71,142,213
DB	DB
DB	28,35,43,50,57,64,71,78,85,92,99,106,113,121,128,135,142,149,156,163
222D,228D,234D,241D,247D,253D	DB
DB	DB
26D,27D,27D,28D,28D,29D,30D,30D,31D,32D,32D,33D,34D,34D,35D,35D,36D	170,177,184,191,199,206,213,220,227,234,241,248,255
DB 37,37,38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB	DB
26,27,28,28,29,30,30,31,32,33,33,34,35,35,36, 37,38,38,39,40,40,41,42,43	186,194,202,209,217,225,233,240,248
ORG 1D31H	DB
TAB_T50%: DB 00,73,146,219	26,26,27,28,29,29,30,31,32,33,33,34,35,36,36, 37,38,39,40,40,41,42,43,43
DB	DB 44,45,46,47
29,36,44,51,58,66,73,80,88,95,102,109,117,12 4,131,139,146,153,161,168,175	ORG 1DE8H
DB	TAB_T80%: DB 00,80,160,240
182,190,197,204,212,219,226,234,241,248,255	DB
DB	32,40,48,56,64,72,80,88,96,104,112,120,128,1 36,144,152,160,168,176,184
26,27,28,28,29,30,31,31,32,33,34,34,35,36,36, 37,38,39,39,40,41,42,42,43,44	DB 192,200,208,216,224,232,240,248
ORG 1D6EH	DB
TAB_T60%: DB 00,75,150,226	26,26,27,28,29,30,30,31,32,33,34,34,35,36,37, 38,38,39,40,41,42,42,43,44
DB	DB 45,46,46,47,48
30,38,45,53,60,68,75,83,90,98,105,113,120,12 8,135,143,150,158,165,173,180	ORG 1E25H
DB	TAB_T90%: DB 00,86,172
188,195,203,211,218,226,233,241,248	DB
DB	26,34,43,52,60,69,78,86,95,103,112,121,129,1 38,147,155,164,172,181,190
26,26,27,28,29,29,30,31,32,32,33,34,35,35,36, 37,38,38,39,40,41,41,42,43,44	DB 198,207,216,224,233,241,250
DB 44,45	DB
ORG 1DABH	26,27,28,28,29,30,31,32,33,34,34,35,36,37,38, 39,40,41,41,42,43,44,45,46
TAB_T70%: DB 00,78,155,233	DB 47,47,48,49,50,51,52
DB	END
31,39,47,54,62,70,78,85,93,101,109,116,124,1 32,140,147,155,163,171,178	



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

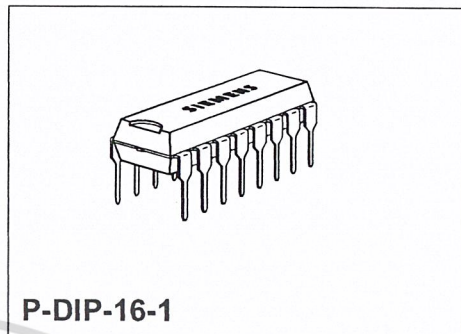
Phase Control IC

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



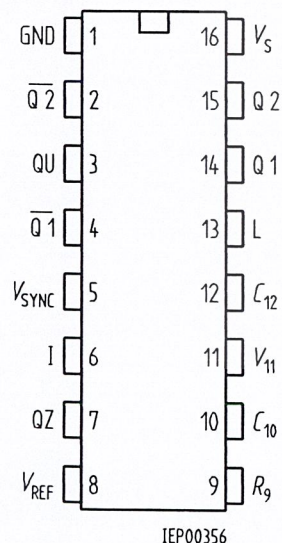
Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

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. $30 \mu s$ 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.

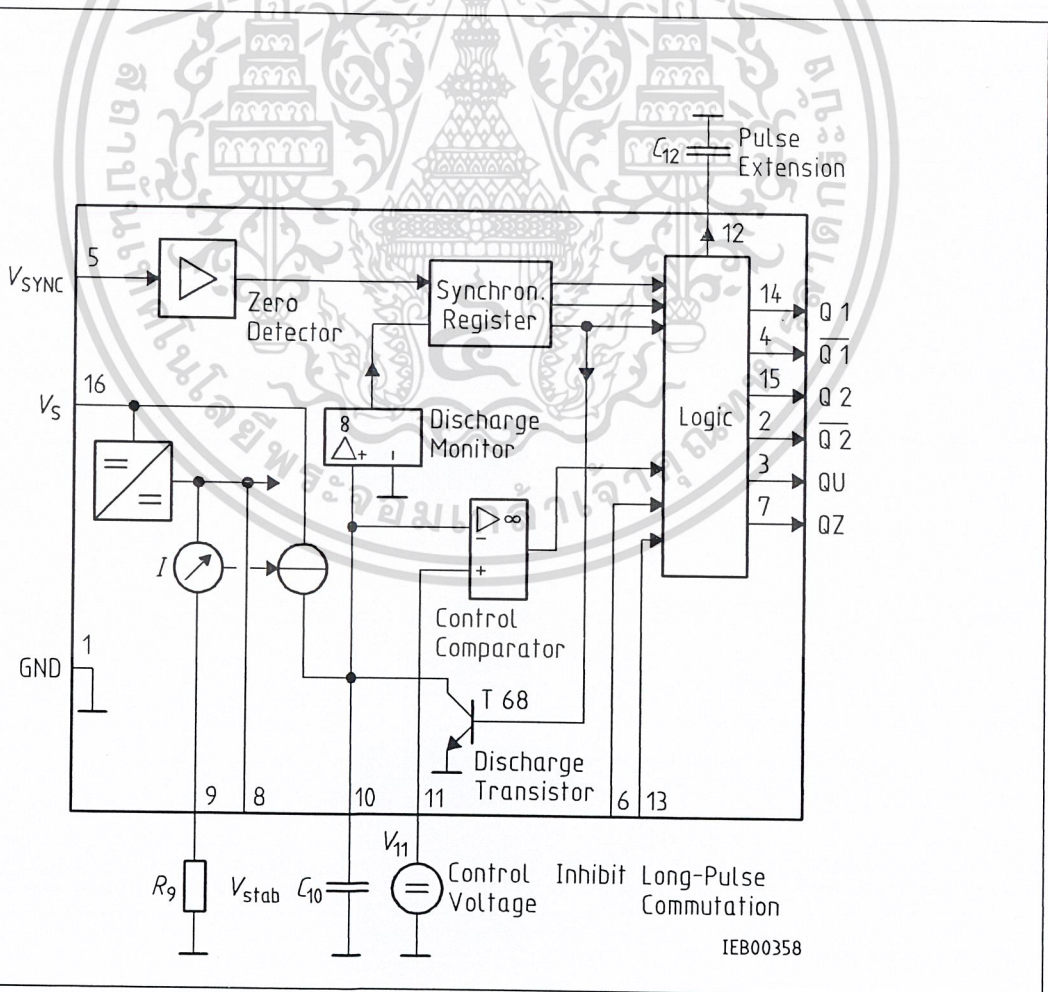
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

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

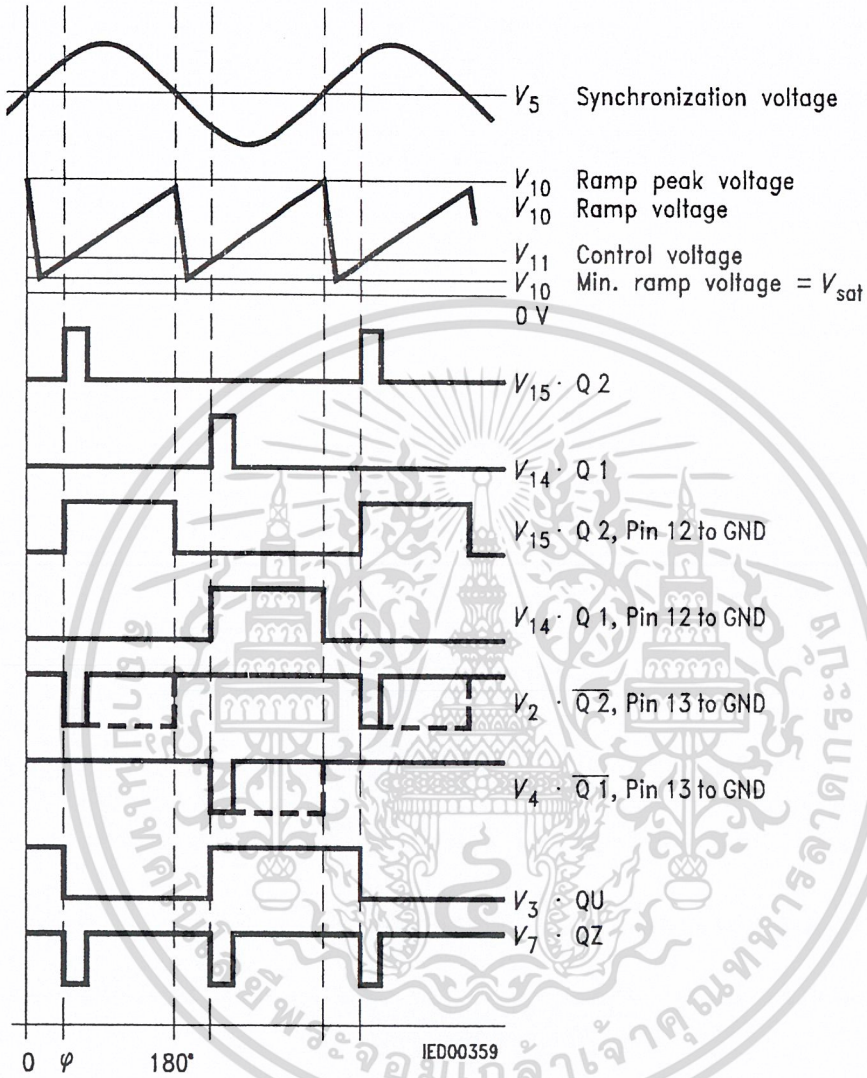
A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs 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 ($180^\circ - \varphi$).



Block Diagram



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_Q	- 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_Q		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_Q		V_s	V
Junction temperature	T_j		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{stg}	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

Operating Range

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

Characteristics

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 V$ $C_{10} = 47 nF$; $R_9 = 100 k\Omega$	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

Characteristics (cont'd)

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	I_{10}	10		1000	□A	
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□	1
Sawtooth return time	t_f		80		□s	1
Inhibit pin 6						
switch-over of pin 7						
Outputs disabled	V_{6L}		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	V_{6H}	4	3.3		V	1
Signal transition time	t_r	1		5	□s	1
Input current	I_{6H}		500	800	□A	1
$V_6 = 8\text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	□A	1
$V_6 = 1.7\text{ V}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-5		5	□	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 12\text{ V}$; $C_{10} = 47\text{ nF}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-20		20	□	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 8\text{ V to }18\text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_s = \text{const.}$	□ $V_{10 \text{ max}}$		∕		□	
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	□A	1
$V_{13} = 8\text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	□A	1
$V_{13} = 1.7\text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CEO}			10	□A	2.6
$V_Q = V_s$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2\text{ mA}$						

THYRISTOR MODULE

PK(PD,PE)25FG

UL;E76102 (M)

Power Thyristor/Diode Module PK25FG series are designed for various rectifier circuits and power controls. For your circuit application, following internal connections and wide voltage ratings up to 1600V are available. and electrically isolated mounting base make your mechanical design easy.

● $I_{T(AV)}$ 25A, $I_{T(RMS)}$ 39A, I_{TSM} 700A

● di/dt 100A/ μ s

● dv/dt 1000V/ μ s

(Applications)

Various rectifiers

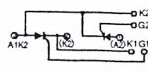
AC/DC motor drives

Heater controls

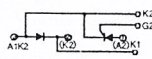
Light dimmers

Static switches

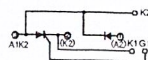
Internal Configurations



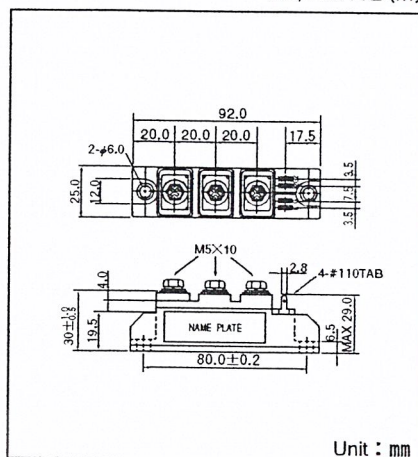
PK



PE



PD



Maximum Ratings

($T_j=25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

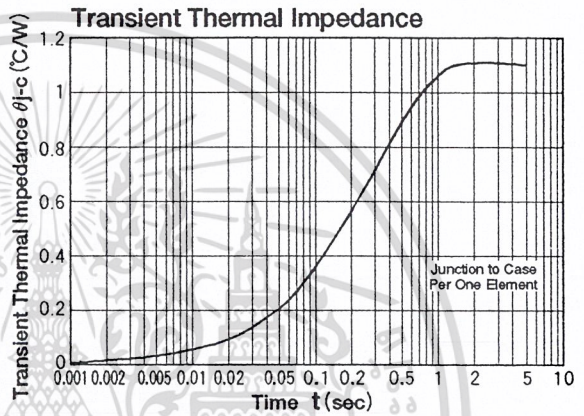
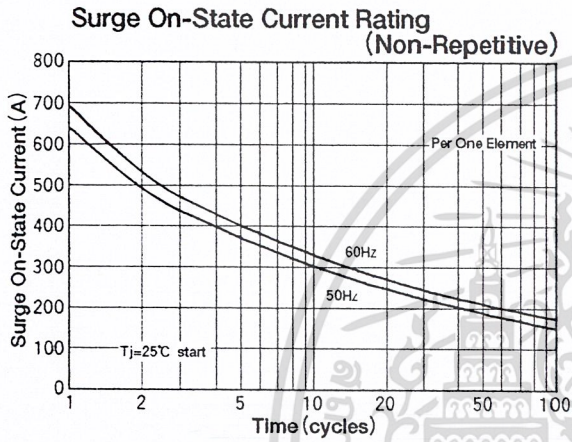
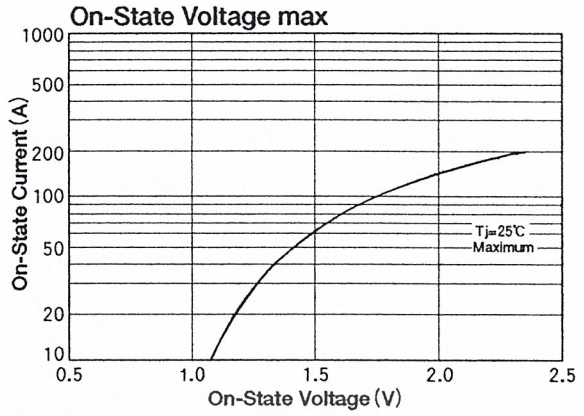
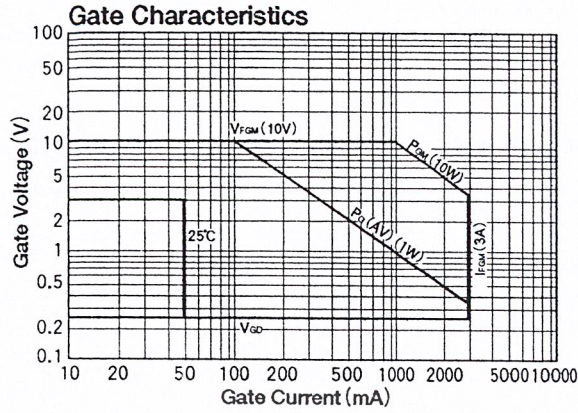
Symbol	Item	Ratings				Unit
		PK25FG40 PD25FG40 PE25FG40	PK25FG80 PD25FG80 PE25FG80	PK25FG120 PD25FG120 PE25FG120	PK25FG160 PD25FG160 PE25FG160	
V_{RRM}	* Repetitive Peak Reverse Voltage	400	800	1200	1600	V
V_{RSM}	* Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	480	960	1300	1700	V
V_{DRM}	Repetitive Peak off-state Voltage	400	800	1200	1600	V

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit	
$I_{T(AV)}$	* Average On-state Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c=81^\circ\text{C}$	25	A	
$I_{T(RMS)}$	* R.M.S. On-state Current	Single phase, half wave, 180° conduction, $T_c=81^\circ\text{C}$	39	A	
I_{TSM}	* Surge On-state Current	$\frac{1}{2}$ Cycle, 50/60Hz, Peak Value, non-repetitive	640/700	A	
I^2t	* I^2t	Value for one cycle surge current	2870	A^2S	
P_{GM}	Peak Gate Power Dissipation		10	W	
$P_{G(AV)}$	Average Gate Power Dissipation		1	W	
I_{FGM}	Peak Gate Current		3	A	
V_{FGM}	Peak Gate Voltage (Forward)		10	V	
V_{RGM}	Peak Gate Voltage (Reverse)		5	V	
di/dt	Critical Rate of Rise of On-state Current	$I_G=100\text{mA}$, $V_D=\frac{1}{2}V_{DRM}$, $di/dt=0.1\text{A}/\mu\text{s}$	100	$\text{A}/\mu\text{s}$	
V_{iso}	* Isolation Breakdown Voltage (R.M.S.)	A.C. 1minute	2500	V	
T_j	* Operating Junction Temperature		-40 to +125	$^\circ\text{C}$	
T_{stg}	* Storage Temperature		-40 to +125	$^\circ\text{C}$	
	Mounting Torque	Mounting (M5)	Recommended Value 1.5-2.5 (15-25)	2.7 (28)	N·m (kgf·cm)
		Terminal (M5)	Recommended Value 1.5-2.5 (15-25)	2.7 (28)	
	Mass	Typical Value	170	g	

Electrical Characteristics

Symbol	Item	Conditions	Ratings	Unit
I_{DRM}	Repetitive Peak off-state Current, max	$T_j=125^\circ\text{C}$, $V_D=V_{DRM}$	5	mA
I_{RRM}	* Repetitive Peak Reverse Current, max	$T_j=125^\circ\text{C}$, $V_D=V_{DRM}$	5	mA
V_{TM}	* On-state Voltage, max	$I_T=75\text{A}$	1.6	V
I_{GT}	Gate Trigger Current, max	$V_D=6\text{V}$, $I_T=1\text{A}$	50	mA
V_{GT}	Gate Trigger Voltage, max	$V_D=6\text{V}$, $I_T=1\text{A}$	3	V
V_{GD}	Gate Non-Trigger Voltage, min	$T_j=125^\circ\text{C}$, $V_D=\frac{1}{2}V_{DRM}$	0.25	V
dv/dt	Critical Rate of Rise of off-state Voltage, min	$T_j=125^\circ\text{C}$, $V_D=\frac{2}{3}V_{DRM}$	1000	$\text{V}/\mu\text{s}$
$R_{th(j-c)}$	* Thermal Impedance, max	Junction to case	1.1	$^\circ\text{C}/\text{W}$

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



14.2 Pulse Transformers

Range of preferred types

Pulse Transformers

SKPT 14 to SKPT 27

Absolute Maximum Ratings		
Symbol	Conditions	Values
V_{ww}	Crest working voltage	400 ... 650 V
V_{isol}	A.C. rms; 1 minute, see table below ¹⁾	2,5 ... 5 kV
T_{op}	Operating Temperature	- 40 ... + 85 °C
T_{stg}	Storage Temperature	- 50 ... + 90 °C

SKPT 25a3

Characteristics ²⁾

Types	N_p/N_s	$\int Vdt$	R_p	R_s	L_p	L_{ss}	C_{ps}	I_M	t_r	R_L	V_{ww}	V_{isol}	Winding
• New Type	s	μVs	Ω	Ω	mH	μH	pF	mA	μs	Ω	V	kV	conf
SKPT 14b2,5	1:1:1	250	0,86	0,86	1,8	85	10	150	2	80	500	4	B
SKPT 14k2,5	1:1:1	250	0,86	0,86	1,8	85	10	150	2	80	500	4	C
SKPT 14c2,5	2:1	250	1,6	0,86	7,5	400	12	150	2,5	80	500	4	D
SKPT 14a3	1:1	350	1,25	1,25	2,8	135	12	150	2,5	80	500	4	A
SKPT 14i3	1:1	350	1,25	1,25	2,8	135	12	150	2,5	80	500	4	D
SKPT 14g3	2:1:1	330	3,5	1,6	11	148	10	150	5	80	500	4	B
SKPT 14c3,5	2:1	350	3,5	2,4	13,5	82	9	150	2,5	80	500	4	D
SKPT 14i5	1:1	500	2,7	2,7	5,5	75	10	150	2,5	80	500	4	D
SKPT 14k6	1:1:1	600	2,8	2,8	9	290	10	150	2,5	80	500	4	C
SKPT 25j2	1:2:2	200	0,8	1,6	0,9/1,6	30/60	7	250	1,5	47	500	5	H
SKPT 25a3	1:1	300	0,55	0,55	2	45	8	250	1,5	47	500	4	A
SKPT 25b3	1:1:1	300	0,55	0,55	2	48	9	250	1,5	47	500	4	B
SKPT 25e3	3:1:1	300	1,7	0,55	15	300	10	250	1,5	47	500	4	B
SKPT 25h3	1:1:1:1	300	0,55	0,55	2	48	9	250	1,5	47	500	4	C
SKPT 25k3/650	1:1:1	300	0,55	0,55	2	38	9	250	1,5	47	650	4	F
SKPT 25m3	1:1	300	0,55	0,55	1,8	105	7	250	1,5	47	1000	6	G
SKPT 25n3	3:1	300	1,7	0,55	15	870	7	250	1,5	47	1000	6	G
SKPT 25p3/650	3:1:1	300	1,7	0,55	15	300	10	250	1,5	47	650	4	F
SKPT 25a4	1:1	400	0,6	0,6	4	50	10	250	2	47	500	4	A
SKPT 25b4	1:1:1	400	0,6	0,6	4	52	10	250	2	47	500	4	B
SKPT 25g4	2:1:1	400	2,3	1,1	9/15	260/490	7	250	1,5	47	500	5	H
SKPT 25a5	1:1	500	1	1	5,5	85	11	100 250	1,1 3	100 47	500	4	A

continued on next page

¹⁾ Material used is according to UL94-V0. Isolation test and pin distance according to IEC 60664-1(1992); (VDE 0110-1:1997-4)

²⁾ Explanations see Chapter A, Section 14.2

14.2 Pulse Transformers (continued)

Types • New Type	N_p/N_s s	$\int Vdt$ μVs	R_p Ω	R_s Ω	L_p mH	L_{ss} μH	C_{ps} pF	I_M mA	t_r μs	R_L Ω	V_{ww} V	V_{isol} kV	Winding conf
SKPT 25b5	1:1:1	500	1	1	5,5	89	12	100 250	1,1 3	100 47	500	4	B
SKPT 25m5	1:1	500	1	1	5,5	170	7	250	1,5	47	1000	6	G
SKPT 25o5	2:1	500	2,1	1	32	830	7,5	250	1,5	47	1000	5	G
SKPT 25b8	1:1:1	800	1,6	1,6	14	220	14	25 250	1 6	470 47	500	4	B
SKPT 25b10	1:1:1	1000	1,8	1,8	18	260	13	25 250	1 6	470 47	500	4	B
SKPT 26a3	1:1	300	0,55	0,55	2	45	8	250	1,5	47	500	4	A
SKPT 26b3	1:1:1	300	0,55	0,55	2	48	8	250	1,5	47	500	4	B
SKPT 26e3	3:1:1	300	1,7	0,55	15	300	10	250	1,5	47	500	4	B
SKPT 26b10	1:1:1	1000	1,8	1,8	18	260	15	25 250	1 6	470 47	500	4	B
SKPT 21a3	1:1	270	0,6	0,6	3,5	3,5	55	800	0,8	15	650	4	A
SKPT 21b3	1:1:1	270	0,6	0,6	3,5	3,5	55	800	0,8	15	440	2,5	B
SKPT 21b3/650	1:1:1	270	0,6	0,5/0,7	3,5	2,7/3,2	30	800	0,8	15	650	4	B
SKPT 21c3	2:1	275	1,0	0,6	6,5	10	50	800	0,8	15	650	4	A
SKPT 21d3	3:1	270	1,5	0,6	30	20	65	800	0,8	15	650	4	A
SKPT 21e3	3:1:1	270	1,5	0,6	30	20	65	800	0,8	15	440	2,5	B
SKPT 21b4	1:1:1	370	0,7	0,7	6	3,5	65	800	0,8	15	440	2,5	B
SKPT 21b4/650	1:1:1	370	0,7	0,6/0,8	6	4,3/7	65	800	0,8	15	650	4	B
SKPT 21a5	1:1	450	1,0	1,0	10	10	65	800	0,8	15	650	4	A
SKPT 21b5	1:1:1	450	1,0	1,0	10	4,5	65	800	0,8	15	440	2,5	B
SKPT 21b5/650	1:1:1	450	1,0	1,0	10	10	65	800	0,8	15	650	4	B
SKPT 22e3/650	3:1:1	280	1,2	0,5	35	10	40	800	0,8	47	650	4	B
SKPT 27a3	1:1	300	0,3	0,3	2	3	76	1200	1	10	650	4	A
SKPT 27b3	1:1:1	300	0,3	0,3	2	3	95	1200	1	10	500	3	B
SKPT 27b3/650	1:1:1	300	0,3	0,2/0,4	2	3	65	1200	1	10	650	4	B
SKPT 27d3,5	3:1	350	0,6	0,3	20	22	100	2500	1	4,7	650	4	A
SKPT 27e3,5	3:1:1	350	0,6	0,3	20	25	110	2500	1	4,7	650	4	B
SKPT 27b4/1300	1:1:1	450	0,1	0,1	0,55	7,5	8,5	2000	0,5	10	1300	6	B
SKPT 27a5	1:1	500	0,4	0,4	5	5	105	2000	1	10	650	4	A

continued on next page

¹⁾ Material used is according to UL94-V0. Isolation test and pin distance according to IEC 60664-1(1992); (VDE 0110-1:1997-4)

²⁾ Explanations see Chapter A, Section 14.2

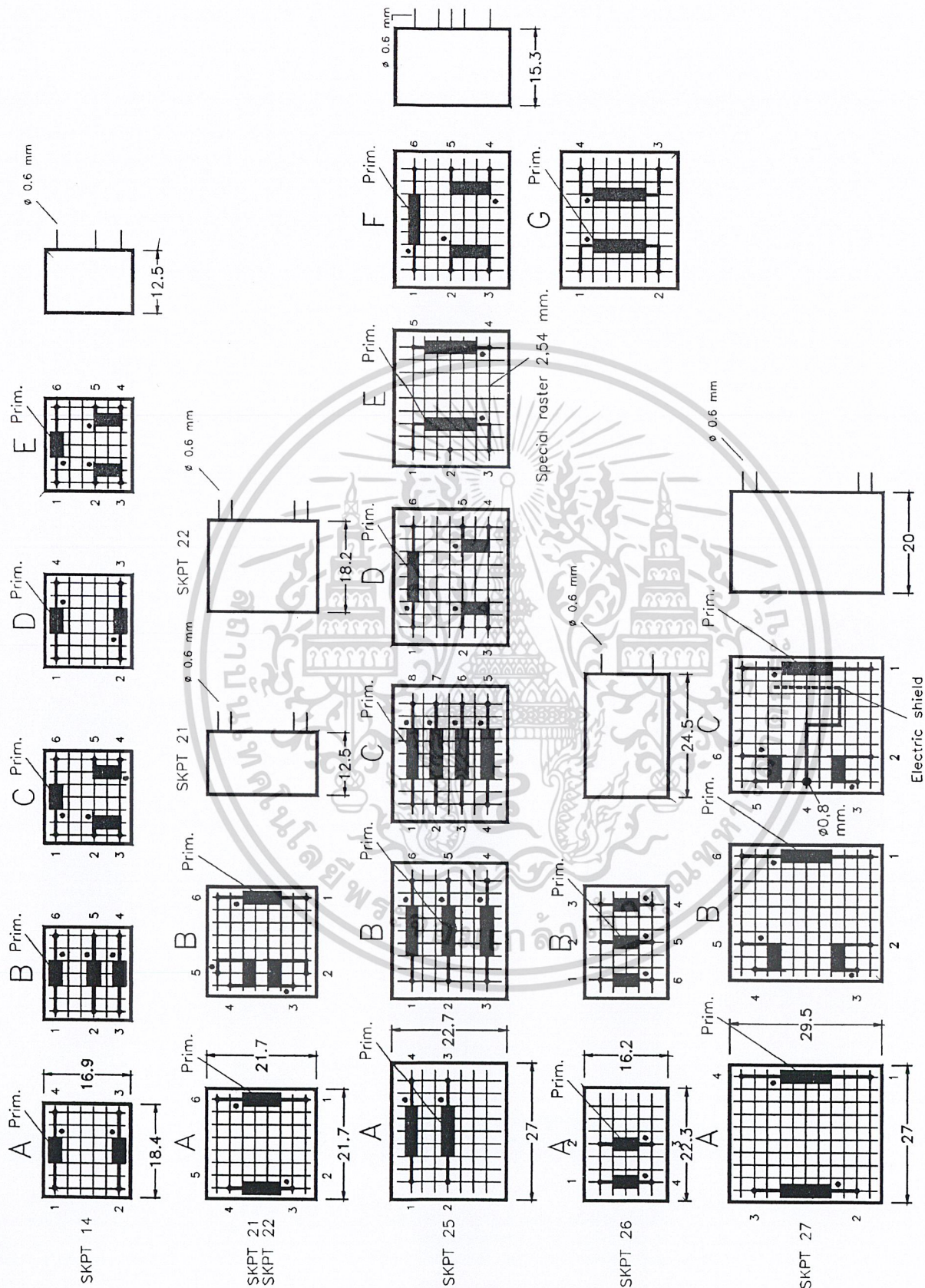
14.2 Pulse Transformers (continued)

Types	N_p/N_s	$\int V dt$	R_p	R_s	L_p	L_{ss}	C_{ps}	I_M	t_r	R_L	V_{ww}	V_{isol}	Winding
• New Type	s	μVs	Ω	Ω	mH	μH	pF	mA	μs	Ω	V	kV	conf
SKPT 27b5	1:1:1	500	0,4	0,4	5	5	117	2000	1	10	500	3	B
SKPT 27b5/650	1:1:1	500	0,4	0,3/0,5	5	5	100	2000	1	10	650	4	B
SKPT 27a10	1:1	1000	0,3	0,3	2,5	5	83	2000	1	10	650	4	A
SKPT 27b10	1:1:1	1000	0,3	0,3	2,5	5	97	2000	1	10	500	3	B
SKPT 27b10/650	1:1:1	1000	0,3	0,2/0,4	2,5	5	84	2000	1	10	650	4	B
SKPT 27b10ES	1:1:1	1000	0,3	0,3	2,5	5	97	2000	1	10	650	4	C
SKPT 27c10	2:1	1000	0,5	0,3	10	15	110	2000	1	10	650	4	A
SKPT HVb3	1:1:1	300	0,3	0,3	3	75	8,5	1000	1	50	3200	12	A
SKPT 25a3/s	1:1	300	0,55	0,55	2	12	20	250	0,8	47	440	3	A
SKPT 25b3/s	1:1:1	300	0,55	0,55	2	12	20	250	0,8	47	440	3	B
SKPT 25e3/s	3:1:1	300	1,8	0,8	15	80	28	250	0,8	47	440	3	B
SKPT 25h3/s	1:1:1:1	300	0,55	0,55	2	12	20	250	0,8	47	440	3	C
SKPT 25a4/s	1:1	400	0,8	0,9	4	17	28	250	0,8	47	440	3	A
SKPT 909	1:1	400	0,8	0,9	4	17	28	600	1	5	900	3	E
SKPT 25b4/s	1:1:1	400	0,8	0,9	4	17	28	250	0,8	47	500	3	B
SKPT 25b4/hs	1:1:1	400	0,8	0,9	1,8	15	28	250	0,8	400	700	4	D
SKPT 25a5/s	1:1	500	1	1,1	5,5	22	28	100 250	0,8 1	100 47	500	3	A
SKPT 25b5/s	1:1:1	500	1,1	1,2	5,5	25	30	100 250	0,8 1	100 47	500	3	B
SKPT 25b6/N	1:1:1	650	1,13	1,2	4,6	20	37	250	1	47	600	4	B
SKPT 25b8/s	1:1:1	800	1,8	2,1	14	40	35	25 250	0,8 1,5	470 47	500	3	B
SKPT 25b10/s	1:1:1	1000	2,2	2,4	18	50	40	25 250	0,8 1,5	470 47	500	3	B
SKPT 25b20/s	1:1:1	2000	6	6	55	100	45	250	3	47	500	3	B

¹⁾ Material used is according to UL94-V0. Isolation test and pin distance according to IEC 60664-1(1992); (VDE 0110-1:1997-4)

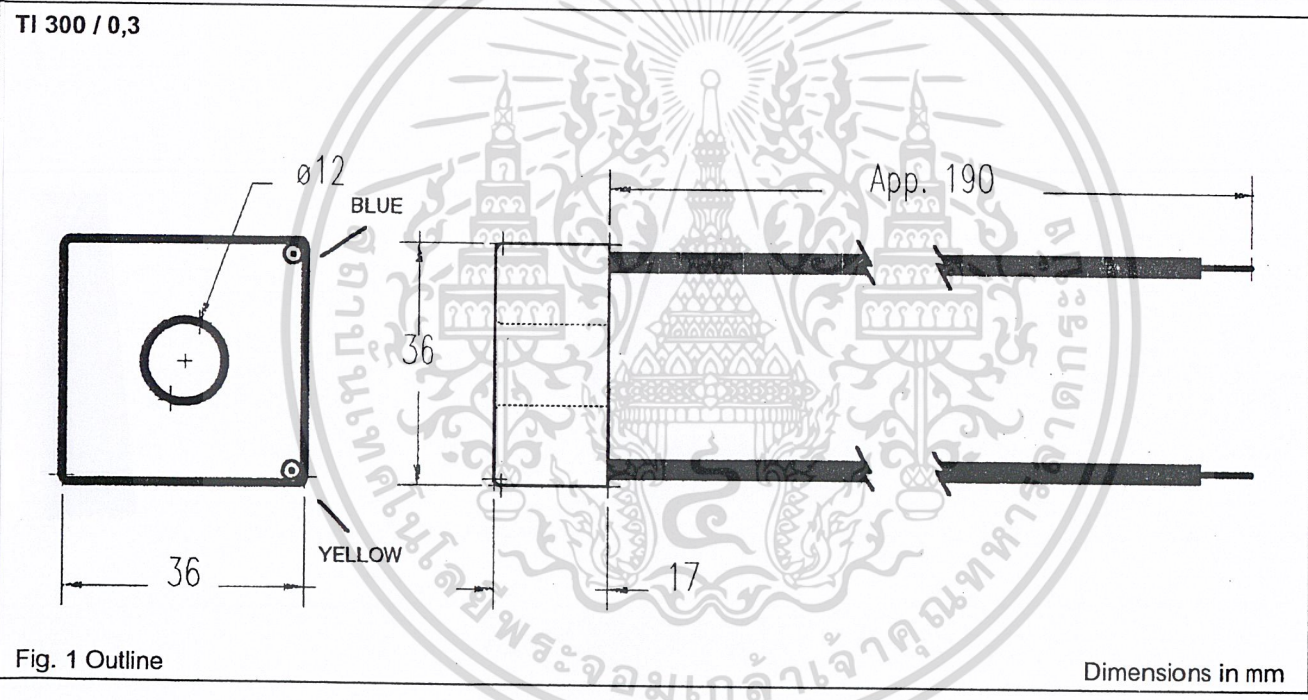
²⁾ Explanations see Chapter A, Section 14.2

Winding Configurations and Dimensions in mm 2,5 mm grid



Current Transformer
TI 300/0,3
300 A / 0,3 A

Absolute Maximum Ratings		
Symbol	Term	Values
I_1	Max. primary current	300 A
I_2	Max. secondary current	0,3 A
	Precision class sec. current	0,5 %
$\frac{n_s}{n_p}$	Transformer current ratio	1000 : 1
P_{out}	Max. Power output (50/60 Hz)	2 VA
f_{op}	Operating frequency	50 / 60 Hz
R_2	Load resistance ¹⁾	> 22,2 Ω



CD4071BC • CD4081BC

Quad 2-Input OR Buffered B Series Gate • Quad 2-Input AND Buffered B Series Gate

General Description

The CD4071BC and CD4081BC quad gates are monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuits constructed with N- and P-channel enhancement mode transistors. They have equal source and sink current capabilities and conform to standard B series output drive. The devices also have buffered outputs which improve transfer characteristics by providing very high gain. All inputs protected against static discharge with diodes to V_{DD} and V_{SS} .

Features

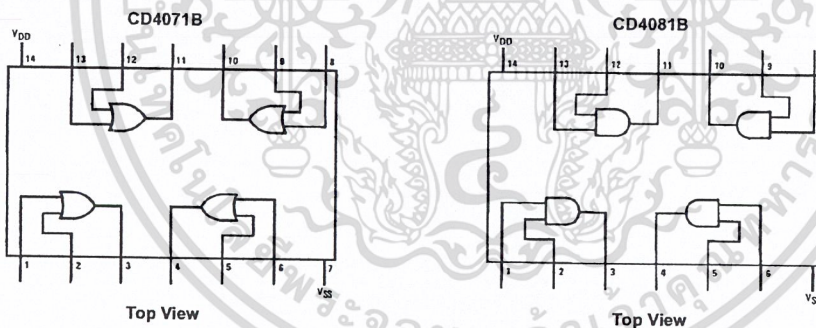
- Low power TTL compatibility:
Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- 5V–10V–15V parametric ratings
- Symmetrical output characteristics
- Maximum input leakage 1 μ A at 15V over full temperature range

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4071BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4071BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4081BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4081BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

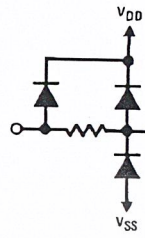
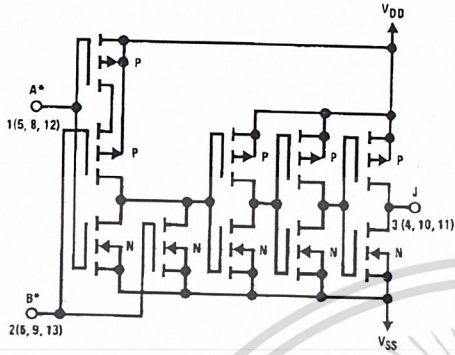
Devices are also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagrams



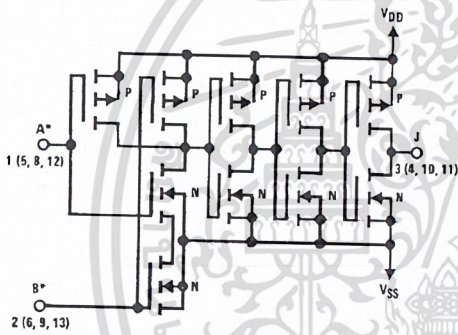
Schematic Diagrams

CD4071B



1/4 of device shown
 $J = A + B$
 Logical "1" = HIGH
 Logical "0" = LOW
 *All inputs protected by standard CMOS protection circuit.

CD4081B



1/4 of device shown
 $J = A \cdot B$
 Logical "1" = HIGH
 Logical "0" = LOW
 All inputs protected by standard CMOS protection circuit.

Absolute Maximum Ratings^(Note 1)

(Note 2)

Voltage at Any Pin	-0.5V to $V_{DD} + 0.5V$
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
V_{DD} Range	-0.5 V_{DC} to +18 V_{DC}
Storage Temperature (T_S)	-65°C to +150°C
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions

Operating Range (V_{DD})	3 V_{DC} to 15 V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4071BC, CD4081BC	-55°C to +125°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: All voltages measured with respect to V_{SS} unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2)

CD4071BC/CD4081BC

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C		+125°C		Units	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min		Max
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		0.25		0.004	0.25	7.5	μA	
		$V_{DD} = 10V$		0.5		0.005	0.5	15		
		$V_{DD} = 15V$		1.0		0.006	1.0	30		
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05	0.05	V	
		$V_{DD} = 10V$	$ I_{OL} < 1\mu A$		0.05		0	0.05		0.05
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05	0.05		
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5	4.95		V	
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10	9.95			
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15	14.95			
V_{IL}	LOW Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		1.5		2	1.5	1.5	V	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$		3.0		4	3.0	3.0		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		4.0		6	4.0	4.0		
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$	3.5		3.5	3	3.5		V	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.0V$	7.0		7.0	6	7.0			
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	11.0		11.0	9	11.0			
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36	mA	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36	mA	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		-10^{-5}	-0.1	-1.0	μA	
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		10^{-5}	0.1	1.0		

Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

AC Electrical Characteristics (Note 4)

CD4071BC $T_A = 25^\circ C$, Input t_r ; $t_f = 20$ ns, $C_L = 50$ pF, $R_L = 200$ k Ω , Typical temperature coefficient is 0.3%/°C

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max	Units
t_{PHL}	Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5V$	100	250	ns
		$V_{DD} = 10V$	40	100	
		$V_{DD} = 15V$	30	70	
t_{PLH}	Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5V$	90	250	ns
		$V_{DD} = 10V$	40	100	
		$V_{DD} = 15V$	30	70	
t_{THL}, t_{TLH}	Transition Time	$V_{DD} = 5V$	90	200	ns
		$V_{DD} = 10V$	50	100	
		$V_{DD} = 15V$	40	80	
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input	5	7.5	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacity	Any Gate	18		pF

Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

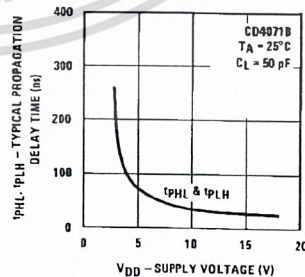
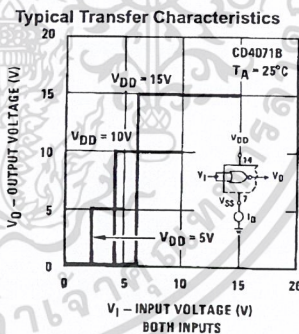
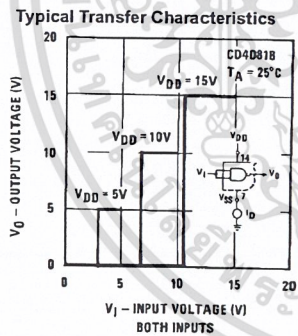
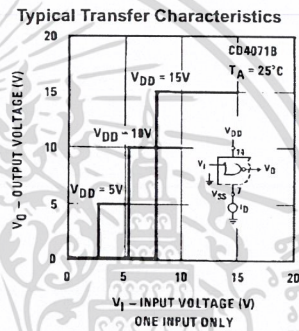
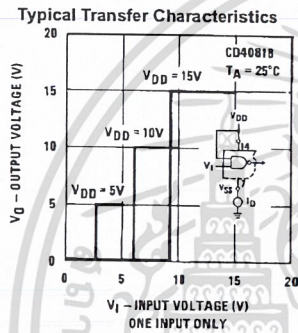
AC Electrical Characteristics (Note 5)

CD4081BC $T_A = 25^\circ\text{C}$, Input $t_r = 20\text{ ns}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}\Omega$, Typical temperature coefficient is $0.3\%/^\circ\text{C}$

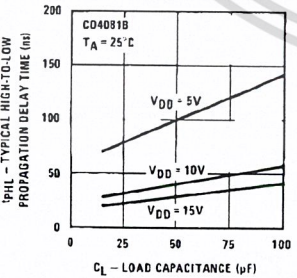
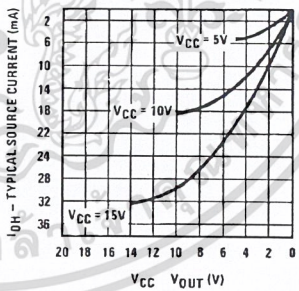
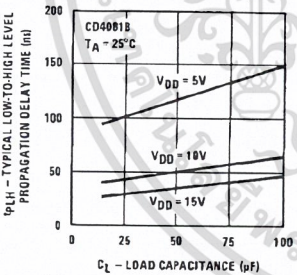
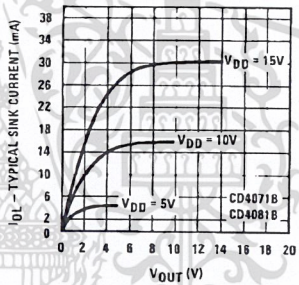
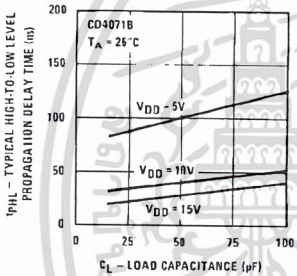
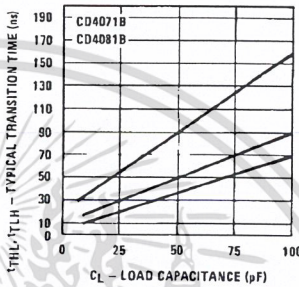
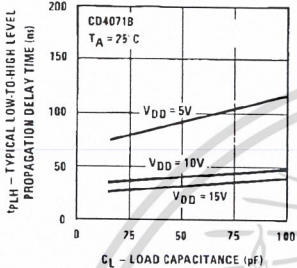
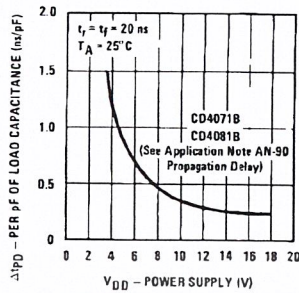
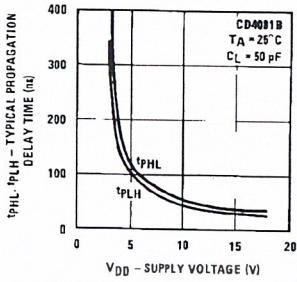
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max	Units
t_{PHL}	Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$	100 40 30	250 100 70	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$	120 50 35	250 100 70	ns
t_{THL}, t_{TLH}	Transition Time	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$	90 50 40	200 100 80	ns
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input	5	7.5	pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacity	Any Gate	18		pF

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Typical Performance Characteristics



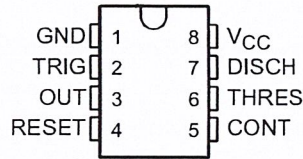
Typical Performance Characteristics (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Timing From Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source up to 200 mA
- Designed To Be Interchangeable With Signetics NE555, SA555, and SE555

NE555 . . . D, P, PS, OR PW PACKAGE
SA555 . . . D OR P PACKAGE
SE555 . . . D, JG, OR P PACKAGE
(TOP VIEW)



description

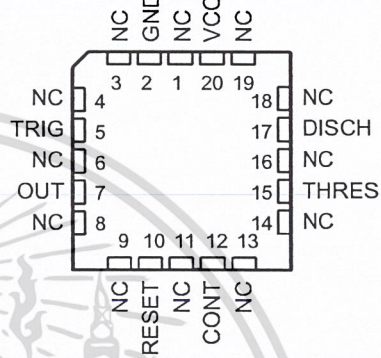
These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or monostable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the astable mode of operation, the frequency and duty cycle can be controlled independently with two external resistors and a single external capacitor.

The threshold and trigger levels normally are two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control-voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set and the output goes high. If the trigger input is above the trigger level and the threshold input is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset (RESET) input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When RESET goes low, the flip-flop is reset and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between discharge (DISCH) and ground.

The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 mA. Operation is specified for supplies of 5 V to 15 V. With a 5-V supply, output levels are compatible with TTL inputs.

The NE555 is characterized for operation from 0°C to 70°C. The SA555 is characterized for operation from -40°C to 85°C. The SE555 is characterized for operation over the full military range of -55°C to 125°C.

SE555 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGE					
	V _{THRES} MAX V _{CC} = 15 V	SMALL OUTLINE (D, PS)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	PLASTIC THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	11.2 V	NE555D NE555PS	—	—	NE555P	NE555PW
-40°C to 85°C	11.2 V	SA555D	—	—	SA555P	—
-55°C to 125°C	10.6 V	SE555D	SE555FK	SE555JG	SE555P	—

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., NE555DR). The PS and PW packages are only available taped and reeled.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

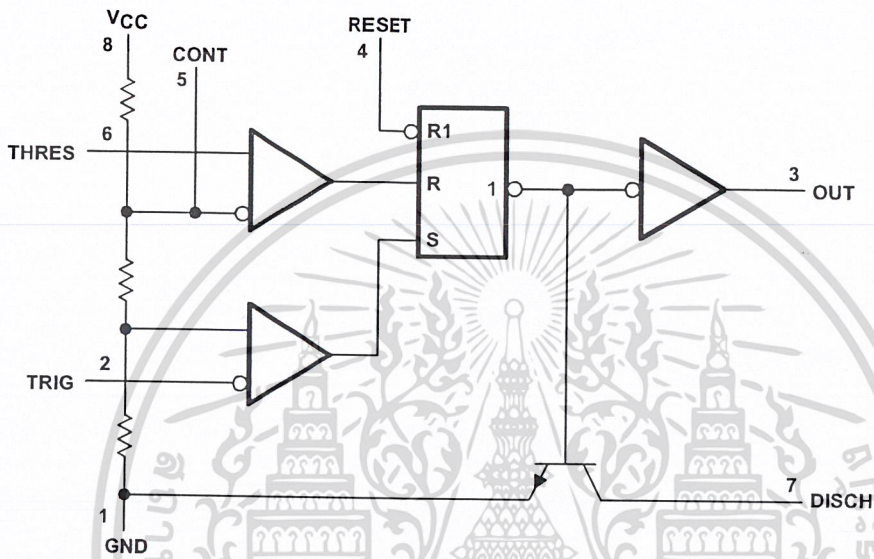
SLFS022C – SEPTEMBER 1973 – REVISED FEBRUARY 2002

FUNCTION TABLE

RESET	TRIGGER VOLTAGE†	THRESHOLD VOLTAGE†	OUTPUT	DISCHARGE SWITCH
Low	Irrelevant	Irrelevant	Low	On
High	$<1/3 V_{DD}$	Irrelevant	High	Off
High	$>1/3 V_{DD}$	$>2/3 V_{DD}$	Low	On
High	$>1/3 V_{DD}$	$<2/3 V_{DD}$	As previously established	

† Voltage levels shown are nominal.

functional block diagram



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: RESET can override TRIG, which can override THRES.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	18 V
Input voltage (CONT, RESET, THRES, and TRIG)	V_{CC}
Output current	± 225 mA
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2):	
D package	97°C/W
P package	85°C/W
PS package	95°C/W
PW package	149°C/W
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, P, PS, or PW package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package	300°C
Storage temperature range, T_{Stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to GND.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
FK	1375 mW	11.0 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
JG (SE555)	1050 mW	8.4 mW/°C	672 mW	546 mW	210 mW

recommended operating conditions			MIN	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	SA555, NE555	4.5	16	V
		SE555	4.5	18	
V_I	Input voltage (CONT, RESET, THRES, and TRIG)			V_{CC}	V
I_O	Output current			± 200	mA
T_A	Operating free-air temperature	NE555	0	70	°C
		SA555	-40	85	
		SE555	-55	125	



NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

electrical characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS		SE555			NE555 SA555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
THRES voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9.4	10	10.6	8.8	10	11.2	V
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		2.7	3.3	4	2.4	3.3	4.2	
THRES current (see Note 3)			30	250		30	250	nA	
TRIG voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$		4.8	5	5.2	4.5	5	5.6	V
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	3		6				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		1.45	1.67	1.9	1.1	1.67	2.2	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1.9				
TRIG current	TRIG at 0 V		0.5	0.9		0.5	2	μA	
RESET voltage level			0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	V
	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$				1.1				
RESET current	RESET at V_{CC}		0.1	0.4		0.1	0.4	mA	
	RESET at 0 V		-0.4	-1		-0.4	-1.5		
DISCH switch off-state current			20	100		20	100	nA	
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9.6	10	10.4	9	10	11	V
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.6		10.4				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	2.9		3.8				
Low-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{ mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.2				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 50\text{ mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75		
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 100\text{ mA}$		2	2.2		2	2.5		
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			2.7				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5			
	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 3.5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.35				
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	0.1	0.2		0.1	0.35			
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 8\text{ mA}$		0.15	0.25		0.15	0.4			
High-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$		13	13.3		12.75	13.3	V	
		$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	12						
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -200\text{ mA}$		12.5			12.5			
	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	3	3.3		2.75	3.3		
Supply current	Output low, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$	10	12		10	15	mA	
		$V_{CC} = 5\text{ V}$	3	5		3	6		
	Output high, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9	10		9	13		
		$V_{CC} = 5\text{ V}$	2	4		2	5		

NOTE 3: This parameter influences the maximum value of the timing resistors R_A and R_B in the circuit of Figure 12. For example, when $V_{CC} = 5\text{ V}$, the maximum value is $R = R_A + R_B = 3.4\text{ M}\Omega$, and for $V_{CC} = 15\text{ V}$, the maximum value is $10\text{ M}\Omega$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

operating characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}$ and 15 V

PARAMETER		TEST CONDITIONS†	SE555			NE555 SA555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Initial error of timing interval‡	Each timer, monostable§	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5%	1.5%*		1%	3%		
	Each timer, astable¶		1.5%		2.25%				
Temperature coefficient of timing interval	Each timer, monostable§	$T_A = \text{MIN to MAX}$	30	100*		50		ppm/°C	
	Each timer, astable¶		90		150				
Supply-voltage sensitivity of timing interval	Each timer, monostable§	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.05	0.2*		0.1	0.5	%V	
	Each timer, astable¶		0.15		0.3				
Output-pulse rise time		$C_L = 15\text{ pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	100	200*		100	300	ns	
Output-pulse fall time		$C_L = 15\text{ pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	100	200*		100	300	ns	

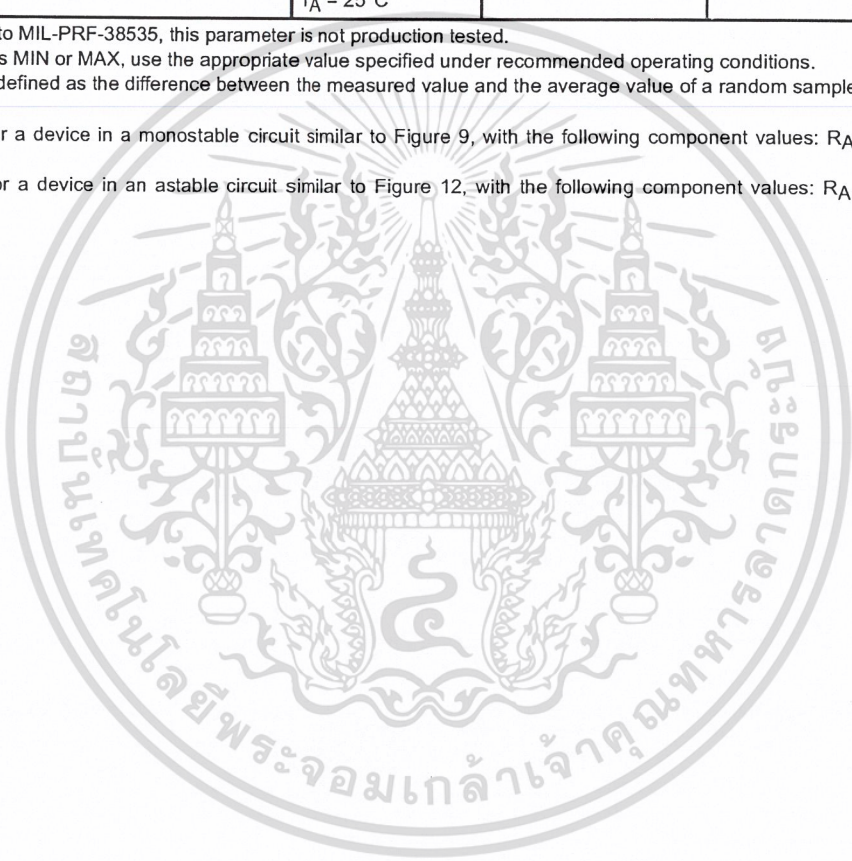
* On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ Timing interval error is defined as the difference between the measured value and the average value of a random sample from each process run.

§ Values specified are for a device in a monostable circuit similar to Figure 9, with the following component values: $R_A = 2\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$, $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$.

¶ Values specified are for a device in an astable circuit similar to Figure 12, with the following component values: $R_A = 1\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$, $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$.



บรรณานุกรม

- [1] Muhammad H.Rashid, “Power Electronics ,circuits,devices and applications” ,second edition Prentice hall International editions
- [2] Joseph Vithayathil “Power Electronics, principles and applications” , International edition Mc-Graw Hill
- [3] Mohan,Underland,Robbins,“Power Electronics,converters,applications and design”,socond edition WILEY
- [4] A.E Fitzgerald,Charles,Kingley,Jr.,Stephan D.Umans, “Electric Machinery”,fifth edition Mc-graw Hill
- [5] “Power Electronics handbook”,edior-in chief Muhannad H.Rashid



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้