

ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลสำหรับมอเตอร์หลายตัวแบบโปรแกรมได้

A PROGRAMMABLE SOFT STARTER FOR MULTI-INDUCTION MOTORS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

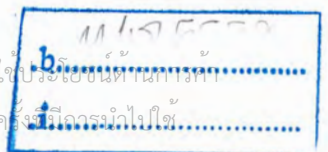
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 55621

วัน,เดือน,ปี 20 พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ในการเผยแพร่ทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้



ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลสำหรับมอเตอร์หลายตัวแบบโปรแกรมได้
A PROGRAMMABLE SOFT STARTER FOR MULTI-INDUCTION MOTORS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลสำหรับมอเตอร์หลายตัวแบบโปรแกรมได้

A Programmable Soft Starter for Multi-Induction Motors

ผู้จัดทำ

1. ว่าที่ ร.ต. คณิศ สิริชัยทวีกุล รหัสประจำตัว 44015097
2. นาย กฤติน ศรีจันทร์ทรากุล รหัสประจำตัว 44015139
3. นาย เพทาย เมืองมา รหัสประจำตัว 44015159
4. ว่าที่ ร.ต. มงคลเลิศ ตุกาญจนะ รหัสประจำตัว 44015163



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมนวลสำหรับมอเตอร์หลายตัวแบบโปรแกรมได้

ว่าที่ ร.ต. เฉลิมศักดิ์	สิทธิชัยทวีกุล	44015097
นาย กฤติน	ศรีจันทร์รากุล	44015139
นาย เพทาย	เมืองมา	44015159
ว่าที่ ร.ต. มงคลเลิศ	สุกาญจนะ	44015163
รศ.ดร. วิจิตร	กิณเรศ	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.ชัยทัต	มณีอินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความสามารถของชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมนวลที่โปรแกรมได้ให้สามารถช่วยสตาร์ทมอเตอร์ได้หลายตัว สำหรับการทดลองนี้ใช้ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โดยในการสับเปลี่ยนการสตาร์ทมอเตอร์แต่ละตัวจะใช้การควบคุมระบบโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง นอกจากนี้ยังใช้โปรแกรม ASSEMBY เขียนเพื่อให้ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมนวลสามารถตั้งค่าในการทำงานได้

จากผลการศึกษาพบว่าชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมนวลที่สร้างขึ้นสามารถใช้สตาร์ทมอเตอร์ได้ถึง 5 ตัว และการใช้ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมนวลที่สร้างขึ้นยังใช้กระแสไฟฟ้าสตาร์ทน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสตาร์ทแบบป้อนแรงดันโดยตรง นอกจากนี้ยังช่วยลดขนาดของอุปกรณ์ป้องกันขนาดสายไฟของมอเตอร์และยังช่วยแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกในขณะทำการสตาร์ท

สุดท้ายนี้การใช้ชุดสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมนวลที่สร้างขึ้นมีข้อดีคือสามารถตั้งเวลาในการสตาร์ทและหยุดมอเตอร์ พร้อมกับกำหนดเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการสตาร์ทได้

A PROGRAMMABLE SOFT STARTER FOR MULTI-INDUCTION MOTORS

Khane	Sittichaitaweekul	
Kritthin	Srijantrakul	
Peatai	Muangma	
Mongkollert	Sukanjana	
Assoc.Pro.Dr.Vijit	Kinnaret	Advisor
Mr. Chaitouch	Manee-in	Advisor

ABSTRACT

The main objective of this work is to increase the ability of a programmable soft starter to start the multi-induction motors. For this experiment, the type of soft start induction motor is a three phase. The start motor changing of each motor is controlled by microcontroller(MCS-51) and power electronic equipment. In addition, the assembly program is used to program the system comissiming.

From the results showed that the improved soft starter can use to start for five motors. In addition, the start current that use in the improved soft starter system is less than direct on line. Moreover, the size of safety apparatuses and motor wire were reduced and the falling voltage problem, while the motor is beginning started, was corrected by using the improved soft starter.

Finally, the good advantage of this work is that it has the setup system to set the starting and stopping time and it can limit the percent of voltage for starting

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสิ้นด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลงได้ คือ รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ และ อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้อง Store พี่ๆ ปรินญาโท ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำและช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้



สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.2 การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกระชอก	15
2.3 การควบคุมแรงดันที่สเตรเตอร์	30
2.4 การทำงานของเอสซีอาร์	36
2.5 พื้นฐานวงจรถนนวนไทรสเตอร์	37
บทที่ 3 การออกแบบวงจร	41
3.1 โครงสร้างของระบบ	41
3.2 ชุดจับสัญญาณแรงดันสามเฟส	42
3.3 ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์	43
3.4 ชุดสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง	44
3.5 ชุดรวมสัญญาณ	46
3.6 ชุดแยกกราวด์	47
3.7 ชุดควบคุมแมกเนติกคอนแทคเตอร์	48
3.8 ชุดทริกแมกเนติกคอนแทคเตอร์	49
3.9 วงจรแมกเนติกคอนแทคเตอร์	50

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 4 การทดลอง	51
4.1 การสสารที่แบบป้อนแรงคั้นโดยตรง	51
4.2 การสสารที่แบบนึ่งนวล	52
บทที่ 5 สรุปผล	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง	62
5.3 ข้อเสนอแนะ	63

ภาคผนวก

บรรณานุกรม



สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสแตนท์มอเตอร์แบบต่างๆ	20
ตารางที่ 2.2 แสดงมุมที่เอสซีอาร์แต่ละตัวทำงาน	39
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการสแตนท์มอเตอร์แบบต่างๆ	61
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการหยุดมอเตอร์แบบต่างๆ	61



สารบัญญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2.1	มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดฟันขดลวด	4
รูปที่ 2.2	ส่วนต่างๆ ของโรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
รูปที่ 2.3	ลักษณะของร่องสล๊อคในมอเตอร์ชนิดต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก	6
รูปที่ 2.4	สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก	6
รูปที่ 2.5	รูป(a) การเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง รูป(b) การเกิดกระแสเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ตามกฎของเลนซ์ และเกิดความเร็วสัมพันธ์ระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุน รูป(c) การเกิดแรงบิดของโรเตอร์ แล้วโรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก	8
รูปที่ 2.6	วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	10
รูปที่ 2.7	ลักษณะของ mmf ซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด, N-รอบ และด้านทั้งสองด้านของขดลวดห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.8	คลื่น mmf ที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส	13
รูปที่ 2.9	การจำแนกวิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	15
รูปที่ 2.10	วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	16
รูปที่ 2.11	การแบ่งชุดขดลวดเพื่อการสตาร์ท	18
รูปที่ 2.12	การต่อชุดขดลวดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนกระทั่งทำงานในภาวะปกติ	19
รูปที่ 2.13	ลักษณะสมบัติของการสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน	20
รูปที่ 2.14	ไดอะแกรมของวงจรสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วนและความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, ทอร์กและความเร็ว	20
รูปที่ 2.15	การสตาร์ทโดยต่อแบบ $Y - \Delta$	21
รูปที่ 2.16	วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ $Y - \Delta$	22
รูปที่ 2.17	ความสัมพันธ์ของกระแสมอเตอร์และทอร์กที่มอเตอร์สร้างได้กับความเร็วยุติเมื่อสตาร์ท	23
รูปที่ 2.18	การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต	23
รูปที่ 2.19	ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็วยุติเมื่อสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต	24
รูปที่ 2.20	การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน	25

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็วเมื่อสตาร์ท โดยใช้ตัวต้านทาน	26
รูปที่ 2.22 การสตาร์ท โดยใช้ตัวรีแอกเตอร์	26
รูปที่ 2.23 การต่อเอสซีอาร์สำหรับการสตาร์ทแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	27
รูปที่ 2.24 ลักษณะการต่อวงจรควบคุม โหลด 3 เฟสแบบต่างๆ	30
รูปที่ 2.25 โหลดต่อแบบสตาร์ทและสัญญาณจุดชนวนเกต $\alpha = 90^\circ$	33
รูปที่ 2.26 กระแสและแรงดันของวงจรรูปที่ 2.25	34
รูปที่ 2.27 โครงสร้างของเอสซีอาร์	36
รูปที่ 2.28 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์	37
รูปที่ 2.29 คุณสมบัติของสัญญาณจุดสัญญาณชนวน ไทริสเตอร์	38
รูปที่ 2.30 วงจรทริกไทริสเตอร์ด้วยแรงดันกระแสตรง	39
รูปที่ 2.31 สัญญาณทริกไทริสเตอร์แบบต่างๆ	40
รูปที่ 2.32 สัญญาณกระแสที่ใช้ทริกไทริสเตอร์ในอุคมคติ	40
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ	41
รูปที่ 3.2 ชุดจับสัญญาณแรงดันสามเฟส	42
รูปที่ 3.3 ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์	43
รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง	44
รูปที่ 3.5 คลื่นจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง	45
รูปที่ 3.6 ความถี่ในการ Oscilate จะหาได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ	46
รูปที่ 3.7 ชุดรวมสัญญาณ	46
รูปที่ 3.8 ชุดแยกกราวนด์	47
รูปที่ 3.9 ชุดควบคุมแมกเนติกคอนเทคเตอร์	48
รูปที่ 3.10 ชุดทริกแมกเนติกคอนเทคเตอร์	49
รูปที่ 3.11 วงจรแมกเนติกคอนเทคเตอร์	50
รูปที่ 4.1 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีป้อนแรงดันไฟโดยตรง	51
รูปที่ 4.2 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยไม่ใช้วิธีหยุดแบบนี้มีนวล	51
รูปที่ 4.3 การวัดกระแสและแรงดันของโหลดมอเตอร์หนึ่งขั้วนำ	52
รูปที่ 4.4 รูปบนแรงดันเฟสของโหลดมอเตอร์ที่ 10%แรงดันที่พิกัด รูปล่างกระแสเฟสของโหลดมอเตอร์ที่ 10%แรงดันที่พิกัด	52

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.5	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 10%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที	53
รูปที่ 4.6	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 10%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที	53
รูปที่ 4.7	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 10%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 15 วินาที	54
รูปที่ 4.8	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 10%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที	54
รูปที่ 4.9	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 50%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที	55
รูปที่ 4.10	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 50%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที	55
รูปที่ 4.11	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 50%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 15 วินาที	56
รูปที่ 4.12	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 50%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที	56
รูปที่ 4.13	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 50%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 25 วินาที	57
รูปที่ 4.14	กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีขนาดที่ 50%แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 30 วินาที	57
รูปที่ 4.15	กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนี้มีขนาด ที่เวลาในการหยุด 10 วินาที	58
รูปที่ 4.16	กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนี้มีขนาด ที่เวลาในการหยุด 20 วินาที	58
รูปที่ 4.17	กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนี้มีขนาด ที่เวลาในการหยุด 30 วินาที	59
รูปที่ 4.18	กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนี้มีขนาด ที่เวลาในการหยุด 40 วินาที	59

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.19 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนี้มนวล ที่เวลาในการหยุด 50 วินาที	60
รูปที่ 4.20 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนี้มนวล ที่เวลาในการหยุด 60 วินาที	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ(Induction motor) เพราะมีขนาดเล็กและมีราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่การบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย แต่ก็มีข้อเสียที่มักเกิดขึ้นกับเครื่องจักรขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แรงบิด(Torque) และกระแส(Current) สูงมากทำให้เครื่องจักรเคลื่อนที่ด้วยการกระชากอย่างแรงเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์และชุดส่งกำลังสั้นลง นอกจากนี้การที่จะใช้กระแสขณะสูงขึ้นนั้น ยังส่งผลข้างเคียงต่อระบบไฟฟ้าในโรงงานอีก เช่นระดับแรงดันไฟฟ้าตก(Voltage drop)

ซอฟต์แวร์ที่เป็นเทคโนโลยีในวงจรสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำทดแทนวิธีการสตาร์ทแบบดั้งเดิมอันได้แก่การสตาร์ทโดยตรง(Direct on line start) และการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า(Star-Delta Start) โดยอาศัยหลักการควบคุมไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำแทนหน้าสัมผัสกลไกจึงสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์

อีกทั้งเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของซอฟต์แวร์ก็ทำให้ขบวนการสตาร์ทมอเตอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังสามารถออกแบบให้ไปช่วยลำดับการสตาร์ทมอเตอร์ได้จำนวนเพิ่มขึ้นแม้จะมีซอฟต์แวร์เพียงตัว(จากเดิมซอฟต์แวร์ต้องใช้ TGA 785 ในการช่วยสร้างสัญญาณทริกตัวเอสซีอาร์ แต่ในโครงการนี้จะให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณทริกขึ้นมาเอง)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในการควบคุมเครื่องจักร
- 2) เพื่อศึกษาการสร้างเครื่องควบคุมกระแสในการสตาร์ท(ในรายงานฉบับนี้จะขอก่อเป็นชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนี้มีมวลแทนเครื่องควบคุมกระแสในการสตาร์ท) และวิธีควบคุมการทำงานของชุดสตาร์ท
- 3) เพื่อเป็นการนำเสนอชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนี้มีมวล ที่มีการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 4) เพื่อเป็นการนำเสนอชุดควบคุมลำดับการสตาร์ทมอเตอร์ ที่มีชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนี้มีมวลเพียงเครื่องเดียว ช่วยสตาร์ทมอเตอร์ได้หลายตัว

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการเป็นการศึกษาและนำเสนอการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้งานในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (พิกัดมอเตอร์แต่ละตัวไม่เกิน 5 kw) และมีการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถสร้างสัญญาณพัลส์ได้เอง โดยไม่ต้องใช้ TCA 785 สร้างสัญญาณพัลส์เหมือนแต่ก่อนพร้อมยังให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมลำดับการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสจำนวน 5 ตัว โดยจะใช้แมกเนติกคอนแทกเตอร์ช่วยในการลำดับการสตาร์ทมอเตอร์แต่ละตัว ส่วนการป้อนระยะเวลาในการสตาร์ทและควบคุมการสตาร์ทจะผ่านทางคีย์บอร์ดกับสวิทช์และมีการแสดงผลที่แอลซีดี(LCD)

1.4 วิธีการดำเนินการ

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสตาร์ทมอเตอร์อย่างมีนวลประกอบไปด้วย เรื่องเอสซีอาร์(SCR) ส่วนประกอบของมอเตอร์ วิธีการสตาร์ทมอเตอร์แบบต่างๆ และการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จากนั้นก็นำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมดนำไปออกแบบวงจรสตาร์ทมอเตอร์อย่างมีนวล (A Programmable Soft Start For Multi-Induction Motors) โดยใช้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน ดังในบทที่ 3 ส่วนในบทที่ 4 จะเป็นการกล่าวถึงผลการทดลองในแต่ละแบบ ซึ่งแสดงถึงผลการทำงานทั้งหมด และเป็นการทดสอบระบบรวมทั้งหมด ในบทที่ 5 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายจะเป็นการสรุปการทำงาน ข้อเสนอแนะและปัญหาที่เกิดขึ้นภายในการทดลอง

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการการทำงานทั่วไปของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ก็คือการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์กระแสตรงนั้นพลังงานไฟฟ้าจะต่อโดยตรงกับอามเจอร์ (Amature) ที่อยู่ด้านโรเตอร์ (Rotor) ผ่านไปยังแปรงถ่าน (Brushes) และคอมมิวเตเตอร์ (Comatator) นั้น มอเตอร์เหนี่ยวนำจะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโรเตอร์ ด้วยการเหนี่ยวนำกันทางไฟฟ้าคล้ายๆ กับหลักการของหม้อแปลง จึงเป็นที่มาของชื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ

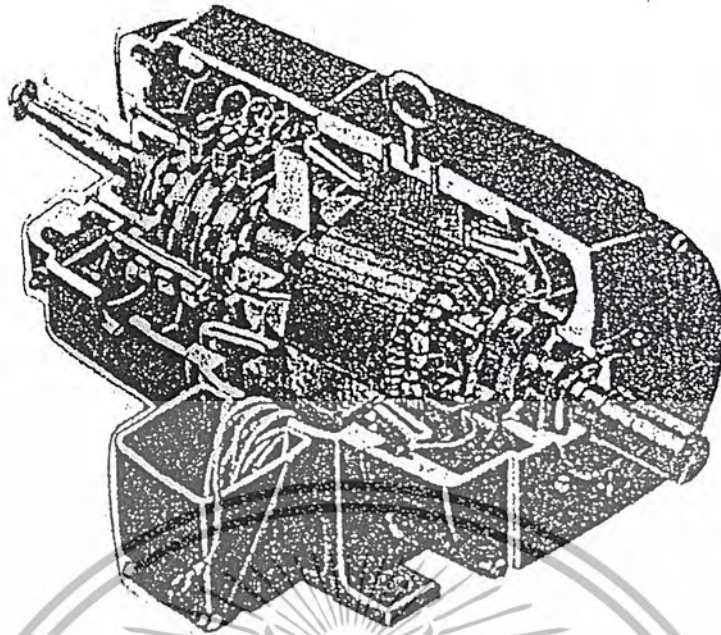
มอเตอร์เหนี่ยวนำมีทั้งแบบ 1 เฟส และหลายเฟสนิยมใช้กันมากในทางอุตสาหกรรม เพราะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

ข้อดี

1. มีโครงสร้างที่ง่ายและแข็งแรงทนทานหรือกล่าวได้ว่าเกือบไม่มีการชำรุด โดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก (Squirrel - cage Type)
2. ไม่มีราคาแพง
3. มีประสิทธิภาพเพียงพอกับการใช้งาน
4. บำรุงรักษาง่าย
5. ไม่มีแปรงถ่านจึงเป็นผลให้แรงเสียดทานน้อยกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น
6. เพาเวอร์แฟกเตอร์ประมาณ 0.75-0.85
7. สามารถสตาร์ทได้เองไม่เหมือนมอเตอร์แบบซิงโครนัส

ข้อเสีย

1. กินกระแสขณะสตาร์ทสูงอาจจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการสตาร์ท
2. มีคุณสมบัติคล้ายกับมอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน (DC Shunt motor) โดยความเร็วจะขึ้นอยู่กับโหลด
3. มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทค่อนข้างดีน้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน
4. เมื่อมีการปรับความเร็วมอเตอร์จะทำให้เกิดประสิทธิภาพลดลง



รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดฟันขดลวด

2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1 สเตเตอร์(Stator)

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์ มีช่วงสลิตสำหรับรองรับขดลวดและสเตเตอร์ของขดลวด 3 เฟสดังรูป 2.3 ลักษณะการวางขดลวดขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กมากความเร็วรอบก็จะต่ำ ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อยความเร็วรอบก็จะสูง เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส ให้กับขดลวด 3 ชุด ซึ่งทำมุมห่างกัน 120° จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น และสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสตามสมการ

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

N_s : ความเร็วซิงโครนัส

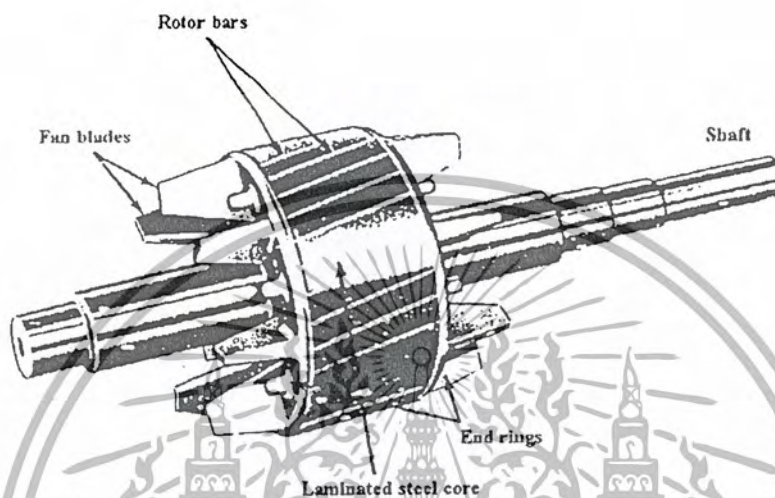
f : ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

p : จำนวนขั้วแม่เหล็ก

2. โรเตอร์(Rotor) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดดังนี้

-ชนิดโรเตอร์กรงกระรอก(Squirrel - cage Rotor)

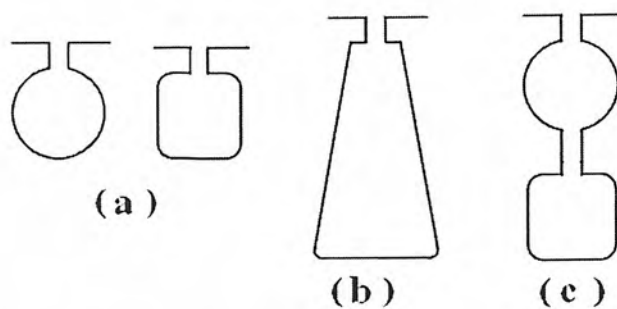
โดยรูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบโรเตอร์ชนิดนี้ ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและแข็งแรงทนทาน ประกอบด้วยแกนของโรเตอร์ซึ่งมีร่องสลิตที่อยู่ในแนวขนานกัน เพื่อใส่แท่งตัวนำ โดยที่ปลายทั้ง 2 ข้างของแกนจะมีวงแหวนที่สำหรับลัดวงจร



รูปที่ 2.2 ส่วนต่างๆ ของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

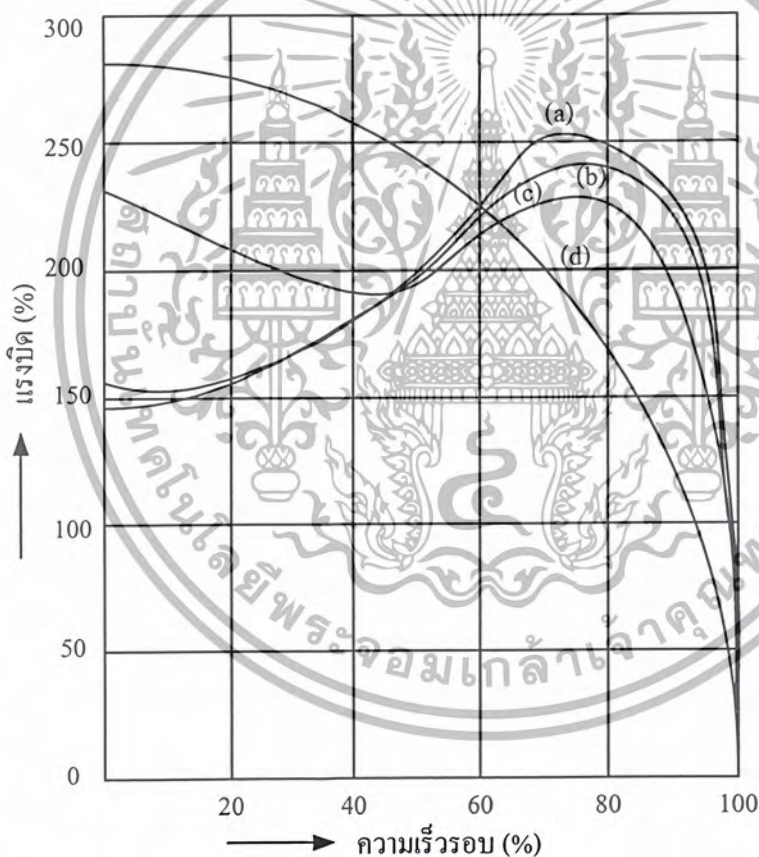
โรเตอร์แบบกรงกระรอกซึ่งสามารถแบ่งออกได้อีกเป็นประเภทต่างๆ

1. โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดาแสดงด้วยรูป 2.3(a) และรูป 2.4 กราฟ(a)
2. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษสลิตลึกแสดงด้วยรูป 2.3(b) และรูป 2.4 กราฟ(b)
3. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ(กรงกระรอก 2 ชั้น - แท่งตัวนำอย่างธรรมดา) แสดงด้วยรูป 2.3(c) และรูป 2.4 กราฟ(c)
4. โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ(กรงกระรอก 2 ชั้น - แท่งตัวนำความต้านทานสูง)แสดงด้วยรูป 2.3(c) และรูป 2.4 กราฟ(d)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของร่องสลัดในมอเตอร์ชนิดต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก

- (a) โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา
 (b) โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ สลัดลึก
 (c) โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ



รูปที่ 2.4 สมบัติความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

- (a) โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา
 (b) โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษสลัดลึก
 (c) โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษกรงกระรอก 2 ชั้น – แต่งตัวนำอย่างธรรมดา
 (d) โรเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษกรงกระรอก 2 ชั้น – แต่งตัวนำความต้านทานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ชนิดโรเตอร์พันขดลวด(Phase - wound Rotor)

ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์กรงกระรอก วงจรโรเตอร์ถูกตัดวงจรด้วยวงแหวนตอนปลาย และค่าความต้านทานของโรเตอร์ตายตัวปรับไม่ได้ แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดพันขดลวด การพันวงจรโรเตอร์(หรือวงจรทุติยภูมิ) เป็นการพันขดลวดแบบ 3 เฟสและมีการต่อวงจรเข้าสู่วงแหวนลื่นแล้วผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ความต้านทานภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์ จึงสามารถปรับคืนได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายนอก

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. โครงรอบนอก(Frame)
2. แกนสเตเตอร์และแกน โรเตอร์ทำจากเหล็กผสมคุณภาพดี ความสูญเสียต่ำเป็นแผ่นบางเคลือบมันวาวทั้งสองด้าน
3. ขดลวดสเตเตอร์และขดโรเตอร์
4. ช่องอากาศ(Air - gap)
5. เพลาและลูกปืน(Shafts and bearings)
6. พัดลม(Fans) เพื่อระบายความร้อนของมอเตอร์
7. วงแหวนสลิป(Slip - rings)

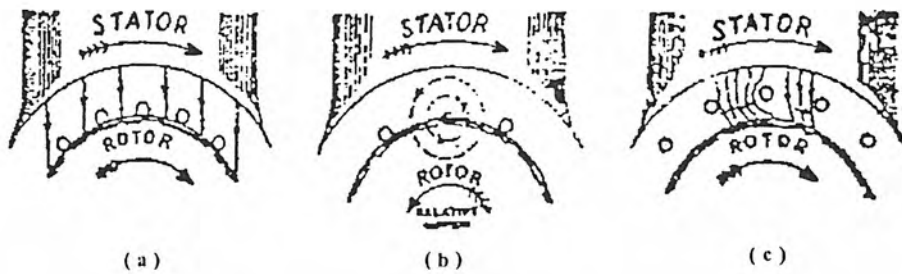
ดังนั้นในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์พันขดลวดค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์จะสามารถปรับค่าได้ สำหรับค่าความเร็วรอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่อยู่ภายนอกในขณะที่เดียวกันการเพิ่มค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์ จะเพิ่มค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท และอัตราเร่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทของมอเตอร์ อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้จะมีน้ำหนักราว 120-150% มีราคาสูงและค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ โรเตอร์กรงกระรอกขนาดเดียวกัน

2.1.2 ทำไมโรเตอร์ถึงหมุนได้

เมื่อขดลวดฝั่งสเตเตอร์ได้รับป้อนไฟ 3 เฟสแต่ละเฟสทำมุมกัน 120° จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วเชิง โครนัส สนามแม่เหล็กจะผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์กวาดไปรอบโรเตอร์แล้วตัดผ่านแท่งตัวนำจึงทำให้เกิดแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Induce Emf) ตามกฎของฟาราเดย์(Faraday's Laws) ซึ่งความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเท่ากับทางด้านแหล่งจ่ายไฟ แล้วเกิดสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ตามกฎมือขวาของเฟรมมิ่ง(Fleming's right - hand rule) และตามกฎของเลนซ์(Lens's Laws) ในขณะนั้นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนเกิดขึ้น ผลสุดท้ายจะเกิดแรงบิดขึ้น ที่โรเตอร์ในทิศทางสนามแม่เหล็กหมุน และโรเตอร์ก็จะพยายามหมุนด้วยความเร็วเชิง โครนัส แต่จะไม่เท่าความเร็วเชิง โครนัสเพราะ โรเตอร์ต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะรักษา

สภาพการหมุนต่อไป ขึ้นตอนต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- รูปที่ 2.5 (a) การเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง
 (b) การเกิดกระแสเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ตามกฎของเลนซ์ และเกิด
 ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุน
 (c) การเกิดแรงบิดของโรเตอร์ แล้วโรเตอร์หมุนทิศทางเดียวกับ
 สนามแม่เหล็ก

2.1.3 สลิป(Slip)

ในทางปฏิบัติ โรเตอร์นั้นจะไม่สามารถมีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสได้ เพราะถ้าไม่มีความเร็วสัมพัทธ์เหลืออยู่ก็จะไม่เกิดกระแสในไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ก็จะไม่สามารถรักษาสภาพแรงบิดของโรเตอร์ให้หมุนอยู่ได้ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์นั้นที่จะขึ้นกับภาระทางกลของมอเตอร์ด้วย

เมื่อโรเตอร์มีความเร็วเท่ากับซิงโครนัส จึงเกิดค่าการคลาดเคลื่อนความเร็วของโรเตอร์เรียกว่า “สลิป” โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$(\% \text{ Slip}) \quad S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2-2)$$

N_s = ความเร็วซิงโครนัส

N_r = ความเร็วโรเตอร์

2.1.4 แรงบิดเริ่มต้น(Starting Torque)

เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นทันทีทันใดในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน

กำหนดให้

$$T_{ST} = \text{แรงบิดเริ่มต้น}$$

$$E_2 = \text{แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่โรเตอร์ต่อ 1 เฟสขณะหยุดนิ่ง}$$

$$R_2 = \text{ค่าความต้านทานของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส}$$

$$X_2 = \text{ค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส}$$

$$Z_2 = \sqrt{(R_2^2 + X_2^2)}$$

= ค่าอิมพีแดนซ์(impedance) ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส

ถ้าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า(V) คงที่จะได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็ก(ϕ) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ น่าจะคงที่ด้วย

$$T_{ST} = k_2 \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2} \quad (2-3)$$

$$= k_2 \frac{R_2}{X_2^2}$$

โดยที่ k_2 เป็นค่าคงที่

แรงบิดขณะสตาร์ทของมอเตอร์แบบโรเตอร์แบบกรงกระรอก

ค่าความต้านทานของโรเตอร์จะไม่สามารถปรับค่าได้ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์ (reactance) โดยเฉพาะจะเห็นชัดเมื่อเริ่มสตาร์ท เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แรงบิดจะมีค่าน้อย ประมาณ 1/5 เท่าของแรงบิดที่ภาวะเต็มพิกัด กระแสมีค่าสูงประมาณ 5-7 เท่าของการเสที่พิกัด และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ หลังจากนั้นกระแสจะลดลง และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ก็จะดีขึ้น

แรงบิดขณะสตาร์ทของมอเตอร์มีโรเตอร์พันขดลวด

ค่าความต้านทานของโรเตอร์สามารถปรับได้โดยการใช้รีโอสแตท(rheostat) โดยเฉพาะขณะสตาร์ทนั้นจะเพิ่มความต้านทานก่อนแล้วค่อยๆ ลดความต้านทานลง เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แรงบิดจะมีค่ามาก กระแสจะมีค่าน้อย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงหลังจากการสตาร์ทก็สามารถนำค่าความต้านทานออกจากรวงจรได้ แต่หากไม่นำความต้านทานออกจะสามารถแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ดีขึ้นได้ แต่ประสิทธิภาพก็จะลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดขณะสตาร์ทและแรงบิดสูงสุด

$$T_{st} \propto \frac{R_2^2}{R_2^2 + X_2^2} \quad (2-5)$$

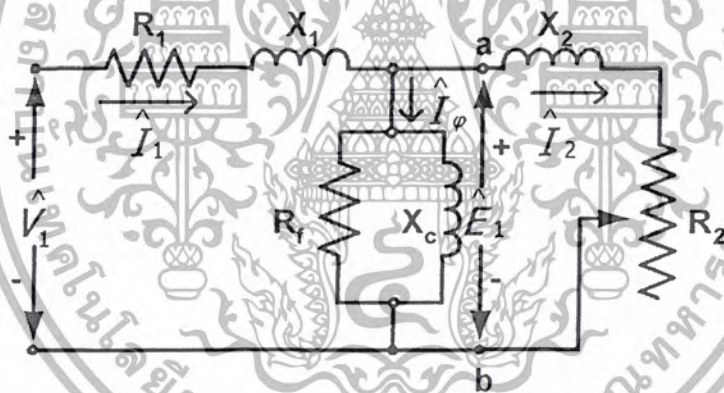
$$T_{max} \propto \frac{1}{2X_2} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_{st}}{T_{max}} &= \frac{2R_2X_2}{R_2^2 + X_2^2} \\ &= \frac{2R_2/X_2}{1 + (R_2/X_2)^2} \\ &= \frac{2a}{1+a^2} \end{aligned} \quad (2-7)$$

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

T_{max} : แรงบิดสูงสุด

2.1.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Equivalent Circuit)



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในการเขียนวงจรสมมูลจะเขียนแบบเฟส 1 ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณจึงต้องทำเป็น 3 เฟส

กำหนดให้ P_g = คือกำลังงานที่ส่งผ่านช่องอากาศ
 $P_{w,2}$ = คือกำลังงานสูญเสียความร้อนบนลวดทองแดงทางด้าน โรเตอร์

$$\text{ดังนั้น} \quad P_g = 3|I_2|^2 \frac{R_2}{S} \quad (2-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น
$$T_c = \frac{P}{(1-s)\omega_s} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2-9)$$

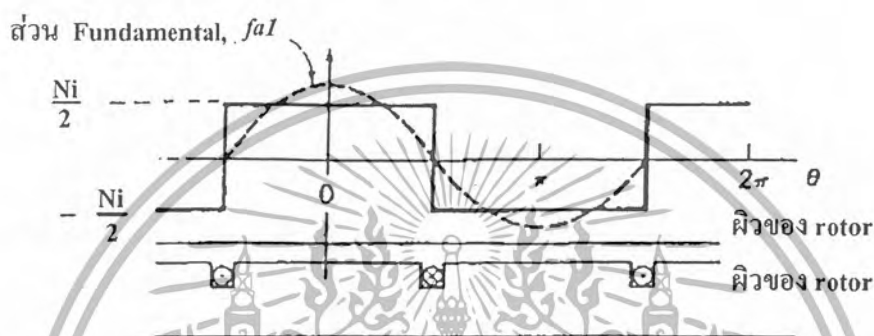
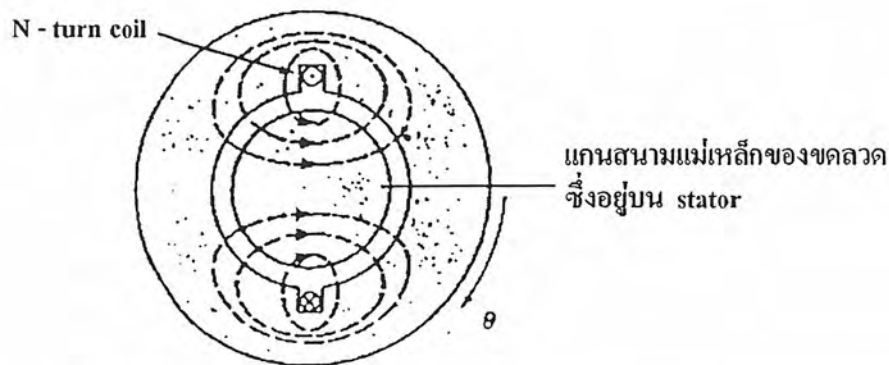
เมื่อ ω_s : ความเร็วเชิงมุมที่ความเร็วซิงโครนัส
 f : ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ
 P : จำนวนจิวแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
 ω_r : ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์
 $P_{o/p} = P_m$ - กำลังสูญเสียทางกล (2-10)
 $T_{sh} = P_{o/p} / \omega_r$ (2-11)

เมื่อ P_m : พลังงานทางกล(ที่ยังไม่หักกำลังสูญเสียทางกล)
 $P_{o/p}$: พลังงานที่เพลลา
 T_c : แรงบิดที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ(Electromagnetic Torque)
 T_{sh} : แรงบิดที่เพลลา

ในการคำนวณบางครั้งจะ ไม่คิดค่า R_c อันเนื่องมาจากการสูญเสียของแกนเหล็ก(core loss) โดยจะนำค่ากำลังสูญเสียของแกนเหล็กไปรวมกับกำลังการสูญเสียจากการหมุนของมอเตอร์(rotation loss) เรียกรวมเป็นความสูญเสียคงที่(fix loss)

2.1.6 ถัดนี้ mmf ภายใน Machine

ขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์มีหลายชุด และถูกจัดเรียงอยู่รอบช่องอากาศ โดยที่ขดลวดแต่ละชุดถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กมีจำนวนจิวตามต้องการ การศึกษาสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดหลายชุด ทำได้โดยการพิจารณาขดลวดชุดเดียวซึ่งมีจำนวน N รอบ และด้านทั้งสองด้านของขดลวดห่างกัน 180° ไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า full-pitch coil เช่นที่แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของ mmf ซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด, N รอบ และด้านทั้งสองด้านของขดลวด ห่างกัน 180° ไฟฟ้า

การกำหนดให้โรเตอร์มีลักษณะทรงกระบอกสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.7 ก็เพื่อให้ความง่ายในการศึกษาลักษณะของคลื่น mmf ที่เกิดขึ้น

ทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไปตามกฎมือขวา และเนื่องจากค่า permeability ของส่วนที่เป็นโลหะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอากาศ ดังนั้นจึงสมมุติได้ว่า reluctance ภายในวงจรแม่เหล็กจะมีค่าเฉพาะในช่องอากาศ

เนื่องจากโครงสร้างของสเตเตอร์สมมาตร สนามแม่เหล็กในช่องอากาศมีมุม θ ภายใต้วงหนึ่งจะมีขนาดเท่ากับมุม $\pi + \theta$ ซึ่งภายใต้ช่วงตรงกันข้ามโดยสนามแม่เหล็กที่มีตำแหน่งทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกัน

mmf โดยรอบเส้นทางปิดซึ่งแสดงด้วยเส้นพ्लักซ์ดังรูปที่ 2.7 มีค่าเท่ากับ Ni และจากสมมุติฐานที่กำหนดให้กำหนดให้ reluctance ในส่วนที่เป็นโลหะมีค่าต่ำ ดังนั้นเทอม $\int H \cdot dl$ ในส่วนที่เป็นโลหะจึงมีค่าเกือบเป็นศูนย์

ดังนั้น mmf-drop ที่เกิดขึ้นภายในวงจรแม่เหล็กจึงมีเฉพาะในช่องแม่เหล็กเท่านั้น

ในการออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ ขดลวดจะถูกออกแบบการจัดวางอย่างเหมาะสมเพื่อให้ mmf ที่เกิดมีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal มากที่สุด

เมื่อพิจารณาคลื่น mmf เช่นที่แสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม และเมื่อวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ ก็จะพบว่าประกอบด้วยส่วน fundamental และส่วนฮาร์โมนิกคือ

ส่วน fundamental, F_{a1} จากกรวิเคราะห์ มีค่า

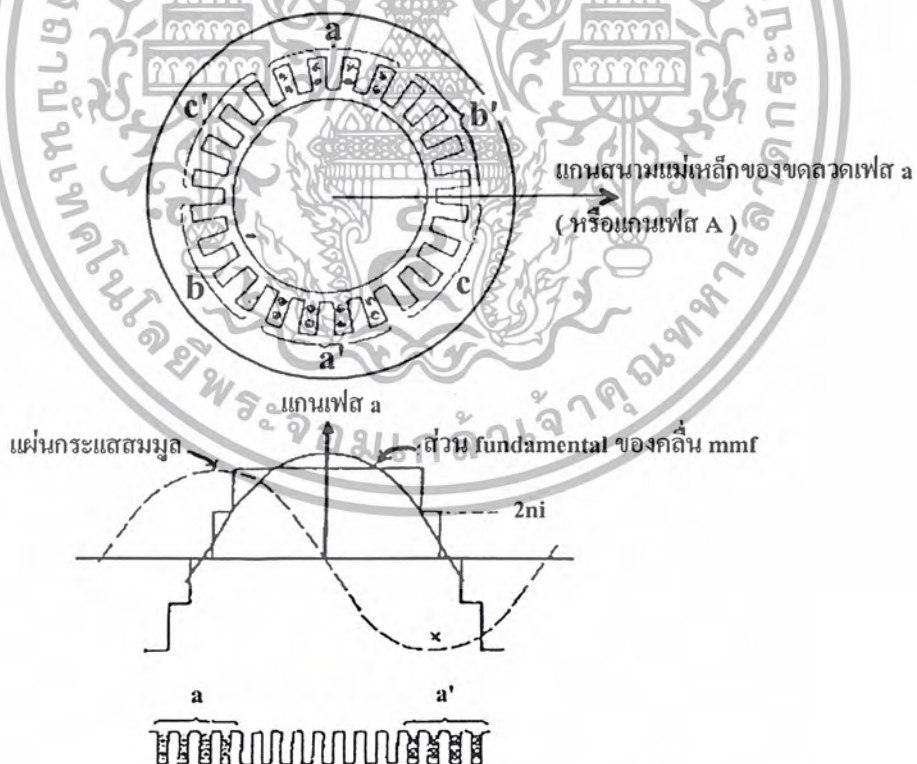
$$F_{a1} = \frac{4 N i}{\pi 2} \cos \theta \quad (2-12)$$

โดยที่ θ เป็นมุมที่วัดจากด้านของขดลวด

ซึ่งส่วน fundamental นี้เป็นคลื่นที่มีขนาด $F_{1'peak}$ อยู่ในแนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวด

$$F_{1'peak} = \frac{4 N i}{\pi 2} \quad (2-13)$$

การศึกษาผลที่เกิดจากขดลวดที่วางอยู่ในหลายช่อง เช่นรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด 2 ขั้ว 3 เฟส เป็นดังนี้



รูปที่ 2.8 คลื่น mmf ที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดจำนวน 3 เฟสถูกจัดวางเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขั้ว และด้านทั้งสองของขดลวดแต่ละชุดห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้าขดลวดแต่ละเฟสมีคุณลักษณะเหมือนกัน และถูกจัดวางเพื่อให้แนวแกนแม่เหล็กที่เกิดจากแต่ละเฟสทำมุมเท่ากับ 120 องศาทางไฟฟ้า ในรูปที่ 2.7 ขดลวดถูกจัดวางเป็น 2 ชั้น ขดลวดแต่ละชุดมีจำนวน n รอบ กระแส i ไหลผ่านซึ่งทำให้เกิดคลื่น mmf ที่มีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal มากขึ้นกว่ารูปที่ 2.7 ส่วน fundamental ของคลื่น mmf ในกรณีที่ขดลวดถูกออกแบบจัดวางให้เกิดสนามแม่เหล็ก P ขั้ว โดยที่มีขดลวดจำนวน N_ϕ รอบต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟสคือ

$$F_{a1} = \frac{4}{\pi} K_w \frac{N_\phi}{P} I_a \cos \theta \quad (2-14)$$

โดยเทอม $4/\pi$ มาจากการใช้สูตรฟูรีเยร์วิเคราะห์คลื่น mmf ลักษณะสามเหลี่ยมที่เกิดจากด้านของขดลวดที่วางห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า

โดยที่ K_w : winding factor มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางขดลวด ดังนั้น K_w, N_ϕ คือจำนวนรอบประสิทธิผลที่มีต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟส ซึ่งทำให้เกิดส่วน fundamental ของคลื่น mmf

i_a คือกระแสในเฟส a ส่วน fundamental ของคลื่น mmf นี้จะเท่ากับ mmf ที่เกิดจากค่ากระแสสมมูลที่มีลักษณะการจัดวางแบบ sinusoidal เช่นที่แสดงในรูปที่ 2.8 คลื่น mmf ที่กล่าวมามีลักษณะเป็น Standing Wave จะกระจายอยู่ในช่องอากาศแบบ Cosine ขนาดสูงสุดของส่วน fundamental, F_{\max} คือ

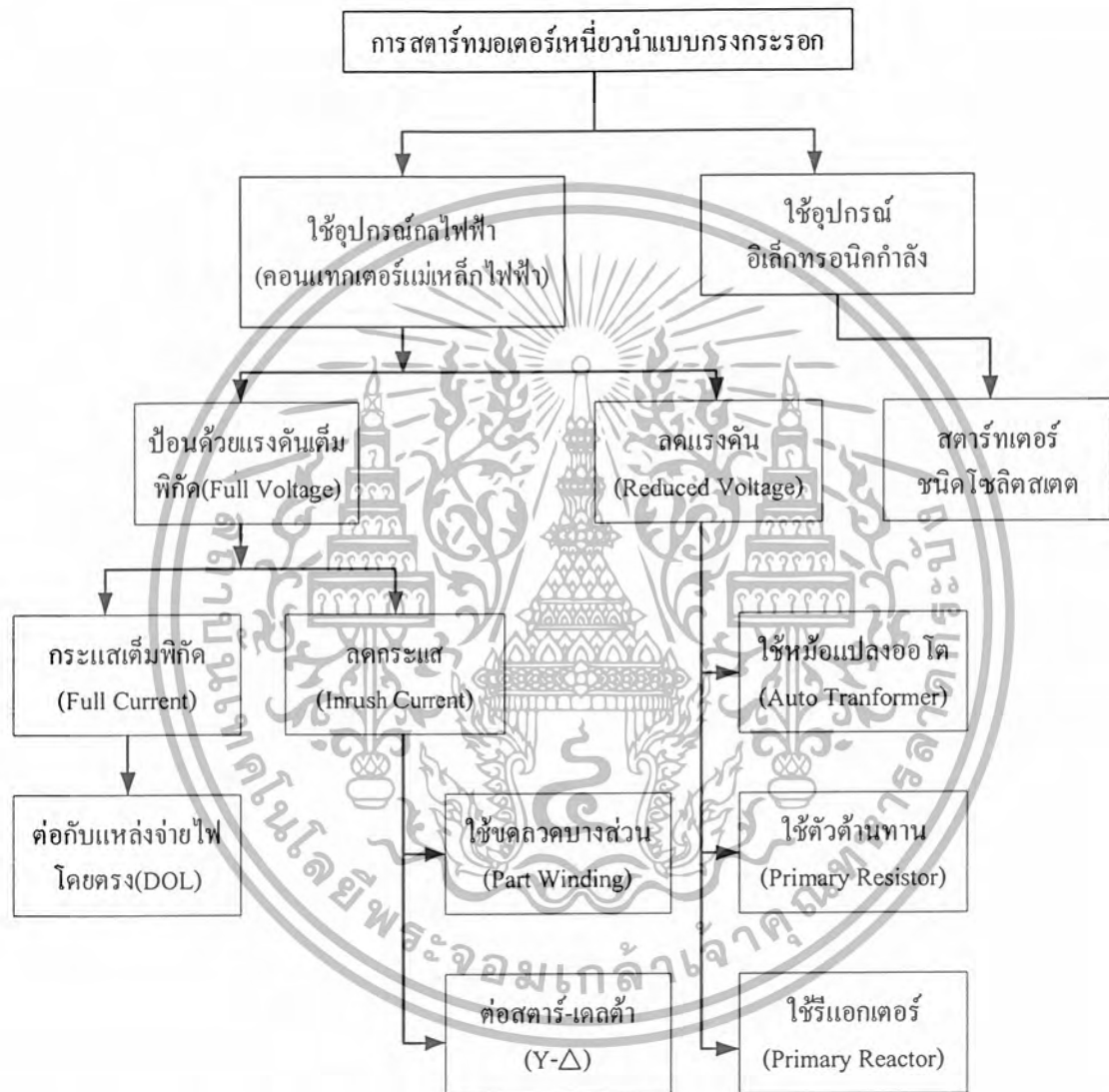
$$F_{\max} = \frac{4}{\pi} K_w \frac{N_\phi}{P} I_m \quad (2-15)$$

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

ด้วยหลักการเดียวกันขดลวดที่พันอยู่บนโรเตอร์ก็จะถูกออกแบบจัดวางเพื่อให้คลื่น mmf ที่เกิดมีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal ให้มากที่สุดเพื่อเป็นการลดส่วนฮาร์โมนิก ซึ่งขดลวดในแต่ละช่องอาจมีจำนวนรอบที่ต่างกัน ซึ่งขดลวดที่อยู่ใกล้กับบริเวณ pole face จะมีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดชุดอื่นๆ ที่อยู่

2.2 การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

เราสามารถสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ต้องการ เช่น ต้องการลดกระแสเริ่มเดินเครื่องหรือต้องการลดทอร์คเริ่มเดินเครื่องหรือทั้งสองอย่าง เพื่อลดผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางกลวิธีสตาร์ทที่สามารถแบ่งออกได้ดังแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การจำแนกวิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

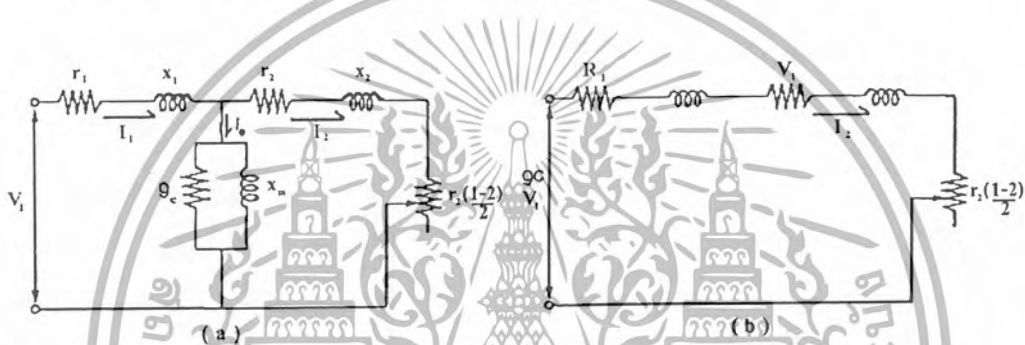
ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ ใช้สตาร์ทเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์กลไฟฟ้าจำพวกคอนแทกเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับตัดต่อวงจรระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายซึ่งเป็นสตาร์ทเตอร์ที่ใช้กันแพร่หลายมานานแล้ว ส่วนสตาร์ทเตอร์อีกแบบที่กำลังได้รับความนิยมในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีข้อดีหลายประการคือ สตาร์ทเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น เอสซีอาร์หรือ ไทแอก(Triac) เป็นตัวควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ในระหว่างเริ่มเดินเครื่อง เนื่องจากแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ในช่วงเริ่มเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันพิกัดเสมอ จึงจัดเป็นสตาตร์เตอร์ประเภทแรงดันชนิดหนึ่งสำหรับสตาตร์เตอร์ที่ใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบใหญ่ๆ คือแบบป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัดการสตาตร์เตอร์แบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันเต็มพิกัด และแบบลดแรงดัน การสตาตร์เตอร์แบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันต่ำกว่าพิกัดในระหว่างสตาตร์ ซึ่งทำได้โดยใช้หม้อแปลงลด โดลดแรงดันก่อนที่จะป้อนให้มอเตอร์หรือใช้อิมพีแดนซ์(ตัวต้านทานหรือตัวรีแอกเตอร์) ต่ออนุกรมกับขดลวดสเตเตอร์ เพื่อให้เกิดแรงดันตกในตัวอิมพีแดนซ์นั้นๆ อันจะมีผลทำให้แรงดันที่เข้าของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา

2.2.1 การสตาตร์เตอร์แบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง

การสตาตร์เตอร์ด้วยวิธีการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง(DOL) มอเตอร์จะได้รับแรงดันเต็มพิกัด กระแสเริ่มสตาตร์หรือเริ่มเดินเครื่องและทอร์คเดินเครื่องจะมีค่าสูง ดังจะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 (a) วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (b) วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แปลงจากรูป(a) โดยทฤษฎีของเทวินิน

จากรูปที่ 2.10

$$I_2 = \frac{V_{1a}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \tag{2-16}$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= T\omega_r \\ &= 3I_2^2 r_2 \frac{(1-s)}{s} \\ T &= \frac{3(1-s)}{\omega_r} \frac{V_{1a}^2}{\left(R_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s} \\ T &= \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2}{\left(R_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{r_2}{s} \end{aligned} \tag{2-17}$$

ถ้าให้

- I_N = กระแสโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์
- I_{st} = กระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงพิกัดเต็มที่
- I'_{st} = กระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงคั่นต่ำกว่าพิกัด
- T_N = ทอร์กที่โหลดเต็มพิกัดที่มอเตอร์สร้างได้
- T_{st} = ทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงพิกัดเต็มที่
- T'_{st} = ทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงคั่นต่ำกว่าพิกัด

จากสมการที่ (2-16) จะได้

$$\begin{aligned}
 I_N &= \frac{V_{1a}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{r_2}{s_N}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \\
 I_{st} &= \frac{V_{1a}}{\sqrt{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \\
 \frac{I_{st}}{I_N} &= \frac{\sqrt{\left(R_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}}{\sqrt{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \quad (2-18)
 \end{aligned}$$

มีค่าประมาณ 0.03 ~ 0.08 ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของมอเตอร์ทำให้ I_{st}/I_N มีค่าประมาณ 4-8 เท่าจากสมการที่(2-17) จะได้

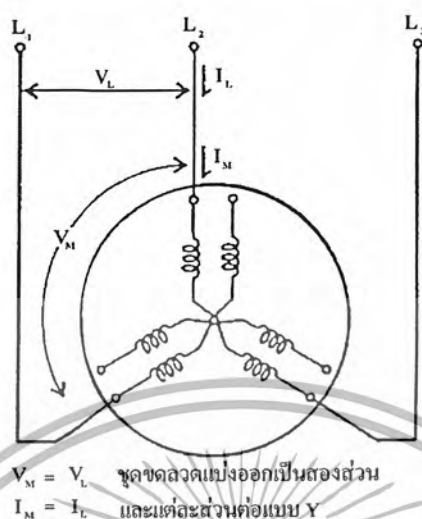
$$\begin{aligned}
 T_N &= \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2 \frac{r_2}{s_N}}{\left(R_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \\
 T_{st} &= \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \\
 \frac{T_{st}}{T_N} &= S_N \frac{\left(R_1 + \frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (2-19)
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

T_{st}/T_N จะมีค่าประมาณ 1-3 เท่า

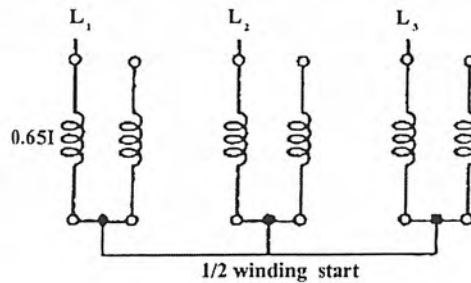
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การสตาร์ทแบบใช้ขดลวดบางส่วน

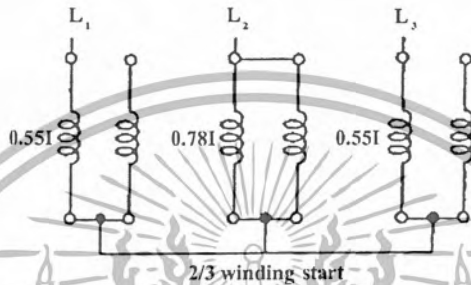


รูปที่ 2.11 การแบ่งขดลวดเพื่อการสตาร์ท

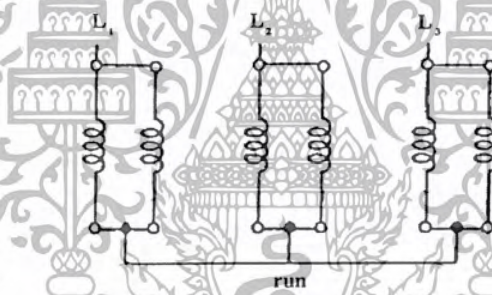
การสตาร์ทด้วยวิธีใช้ขดลวดบางส่วน (Part winding) ใช้ได้กับชุดมอเตอร์ที่มีขดลวดสเตเตอร์มากกว่า 1 ส่วน ในรูปที่ 2.11 ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนแต่ละส่วนต่อกันแบบสตาร์ท ในการสตาร์ทจะต่อขดลวดแรกเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง หลังจากนั้นจึงค่อยต่อขดลวดที่เหลือเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรงต่อไป การสตาร์ทแบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าพิกัดแต่กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าต่ำกว่าการสตาร์ทแบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรงเพราะจังหวะสตาร์ทไม่ได้ต่อขดลวดเข้ากับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมด แต่ต่อเข้าไปที่ละส่วนขนาดของกระแสเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของขดลวดส่วนแรก que ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า รูปที่ 2.12(a) แสดงการเริ่มสตาร์ทด้วยการต่อขดลวด 1/2 ส่วนเข้ากับระบบไฟฟ้า กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 0.65 - 0.7 เท่าของกระแสเริ่มเดินเครื่อง เพราะค่ารีแอคแตนซ์รั่ว (Leakage reactance) มีค่าแตกต่างจากการต่อขดลวดเข้าไปทีเดียวทั้งหมด สำหรับทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 0.45 - 0.5 เท่าของการสตาร์ทแบบจ่ายไฟโดยตรง



(a)



(b)



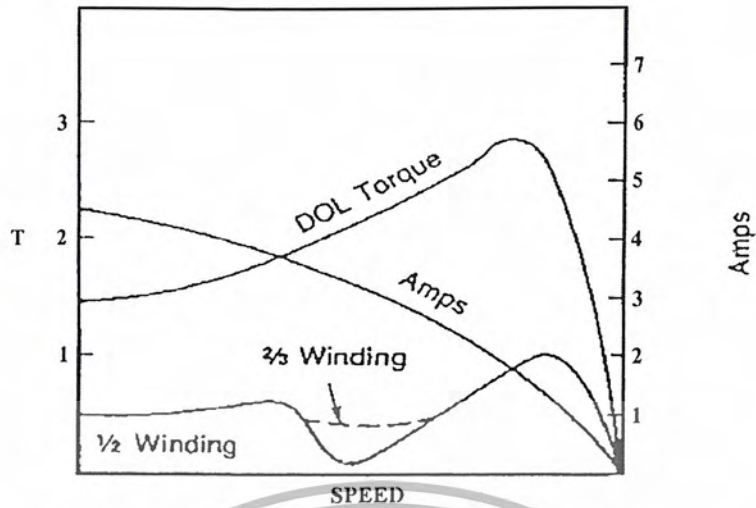
(c)

รูปที่ 2.12 การต่อชุดขดลวดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนกระทั่งทำงานในภาวะปกติ

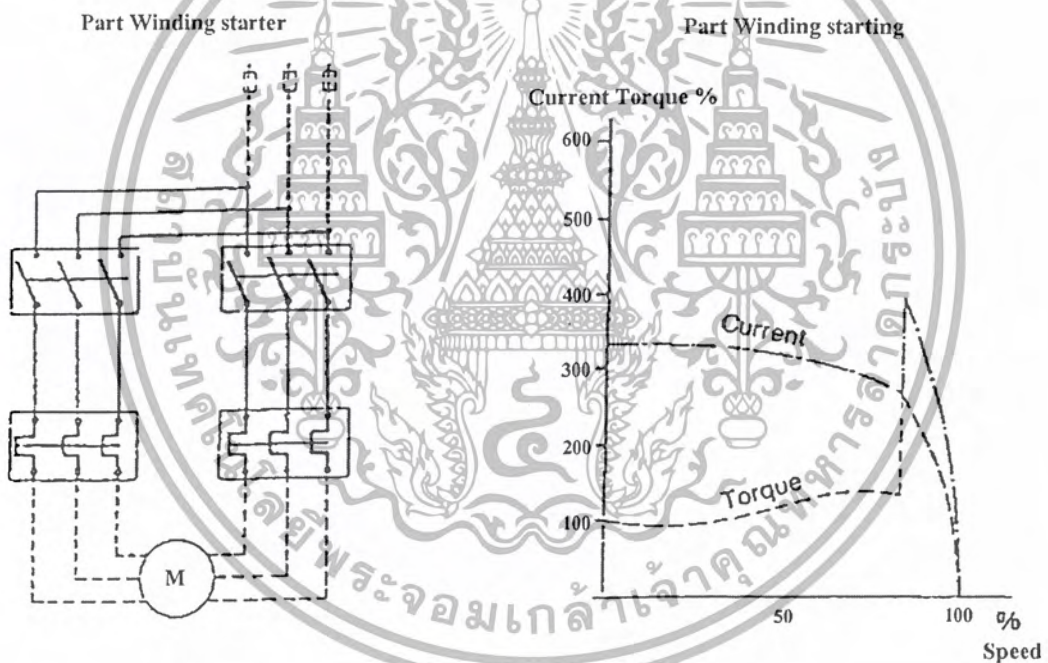
- เริ่มสตาร์ทด้วยการต่อชุดขดลวด 1/2 ส่วน
- เริ่มสตาร์ทด้วยการต่อชุดขดลวด 2/3 (หรือ 4/6) ส่วน
- การต่อชุดขดลวดในภาวะทำงานตามปกติ

ในรูปที่ 2.12 แสดงการต่อชุดขดลวด 2/3 ส่วน (4 ชุดจาก 6 ชุด) เข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ การต่อแบบนี้กระแสเริ่มเดินเครื่องจะไม่สมดุลโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.63 เท่าของการเริ่มสตาร์ทแบบจ่ายไฟโดยตรงคือประมาณใกล้เคียงกับการสตาร์ทด้วยการต่อขดลวดเพียง 1/2 ส่วน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากระแสเริ่มเดินเครื่องจะไม่สมดุลอันอาจจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า และทอร์กเริ่มเดินเครื่องก็ไม่ได้แตกต่างกันแต่การสตาร์ทโดยการต่อชุดขดลวดเข้าไป 2/3 ส่วนเท่ากันตรงที่ทอร์กในช่วงเร่งรอบที่ความเร็วประมาณครึ่งหนึ่งของความเร็วซิงโครนัสจะไม่ตกลงมา (ดูรูปที่ 2.13 ประกอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



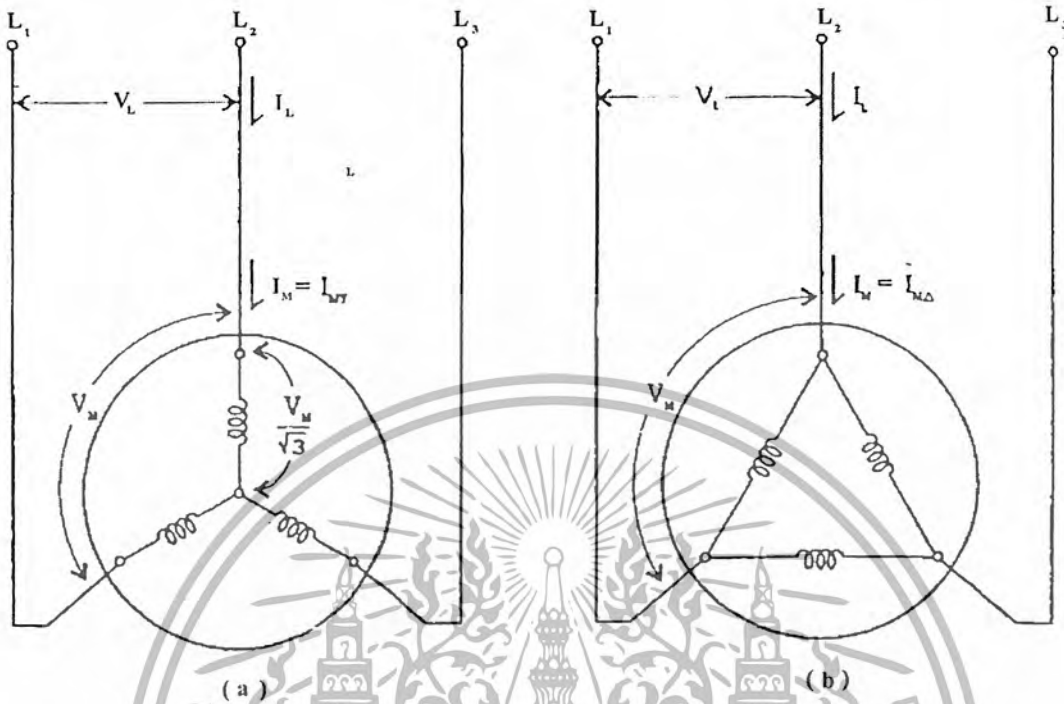
รูปที่ 2.13 ลักษณะสมบัติของการสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน



รูปที่ 2.14 ไลอะแกรมของวงจรสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วนและ
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, ทอร์กและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า

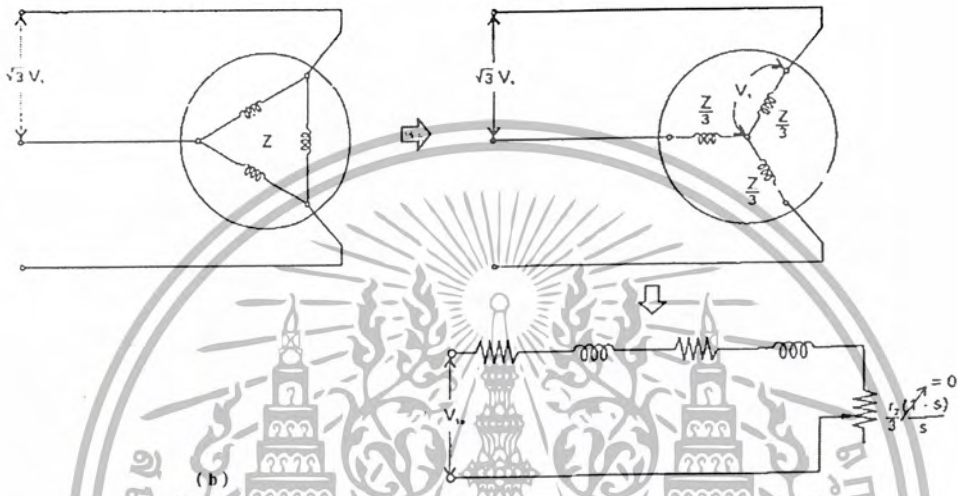
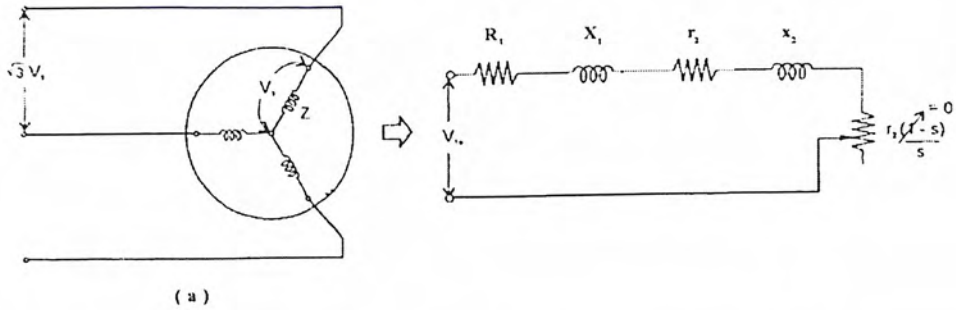


รูปที่ 2.15 (a) การสตาร์ทโดยต่อแบบ Y
(b) การสตาร์ทโดยต่อแบบ Δ

การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้านี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าพิกัด อย่างไรก็ตามเนื่องจากจังหวะเริ่มสตาร์ทชุดขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ถูกจับต่อแบบสตาร์ทำให้ชุดขดลวดแต่ละชุดหรือแต่ละเฟสได้รับแรงดันเพียง $V_m/\sqrt{3}$ เท่านั้น ถ้าให้อิมพีแดนซ์ของชุดขดลวดแต่ละเฟสในจังหวะเริ่มสตาร์ทที่มีค่า Z_{st} จะได้รับกระแสเริ่มเดินเครื่องต่อชุดขดลวดเป็น $I_{stY} = \frac{V_m/\sqrt{3}}{\sqrt{3}Z_{st}}$ ในจังหวะเริ่มสตาร์ท ถ้าให้ชุดขดลวดของมอเตอร์แบบเดลต้า (Δ) แล้วต่อมอเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง คือสตาร์ทแบบจ่ายไฟโดยตรง ชุดขดลวดแต่ละชุดจะได้รับแรงดัน V_m ดังนั้นกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ใหญ่ในชุดขดลวดแต่ละชุดจะมีขนาด V_m/Z_{st} แต่การต่อชุดขดลวดแบบเดลต้ากระแสสายจะเป็น 3 เท่าของกระแสเฟสหรือกระแสที่ใหญ่ในชุดขดลวด ดังนั้นกระแสเริ่มเดินเครื่องต่อชุดขดลวดแบบเดลต้าจะเป็น $I_{st\Delta} = \frac{\sqrt{3}V_m}{\sqrt{3}Z_{st}}$ ดังนั้น $I_{stY}/I_{st\Delta} = 1/3$ นั่นคือกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อสตาร์ทโดยต่อแบบสตาร์-เดลต้า จะมีขนาดเพียง 1/3 เท่าของการสตาร์ทแบบจ่ายไฟโดยตรง

สำหรับทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อชุดขดลวดแบบสตาร์จะมีค่าเพียง 1/3 เท่าของการสตาร์ทแบบจ่ายไฟโดยตรงซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 (a) วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ Y
 (b) วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ Δ

จากรูปที่ 2.16 และสมการที่(2-17) จะ ได้

$$T_{stY} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \tag{2-20}$$

และ

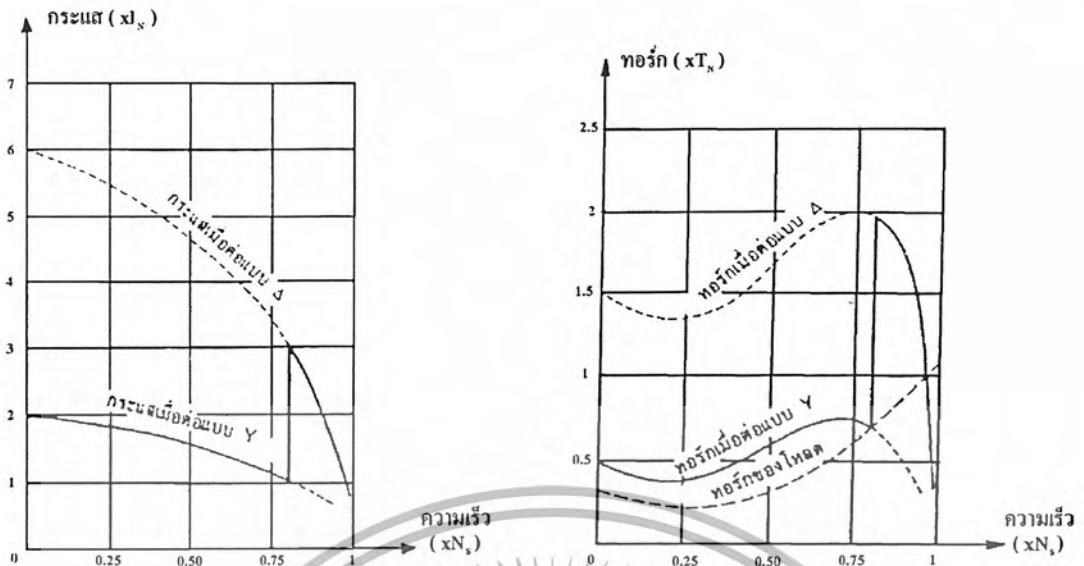
$$T_{st\Delta} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2 \left(\frac{r_2}{3}\right)}{\left(\frac{R_1}{3} + \frac{r_2}{3}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{3} + \frac{X_2}{3}\right)^2}$$

$$= \frac{3}{\omega_s} \frac{3V_{1a}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \tag{2-21}$$

ดังนั้น

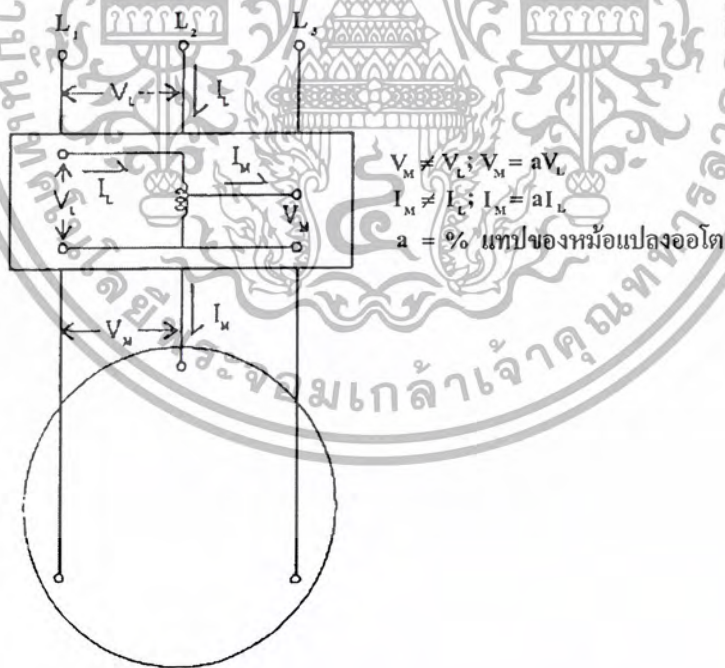
$$\frac{T_{stY}}{T_{st\Delta}} = \frac{1}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของกระแสมอเตอร์และทอร์กที่มอเตอร์สร้างได้กับความเร็รรอบเมื่อสตาร์ท

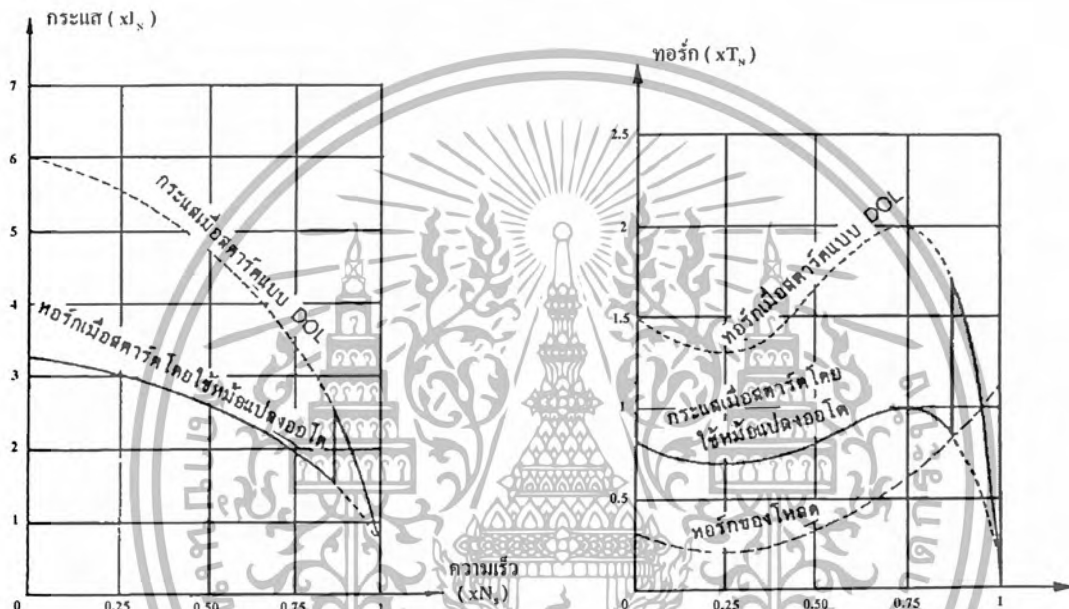
2.2.4 การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต



รูปที่ 2.18 การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงแบบออโต

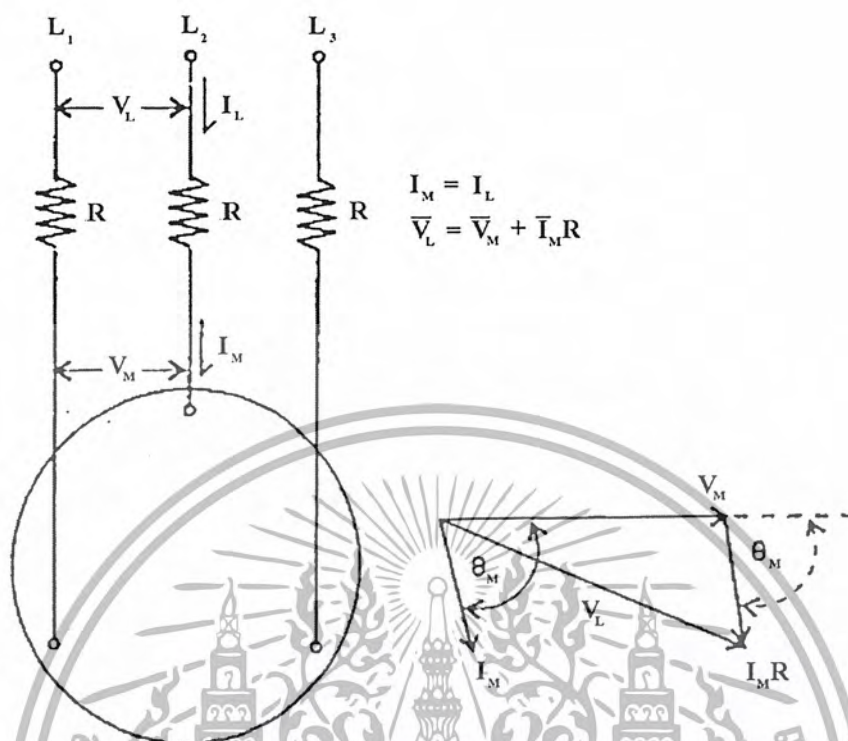
แรงดันที่มอเตอร์ได้รับในจังหวะเริ่มสตาร์ทจะต่ำกว่าค่าพิกัดซึ่งขึ้นอยู่กับแทปของหม้อแปลงออโตที่เลือกต่อใช้งานแรงดันที่ 80%, 65% หรือ 50% เนื่องจากกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์แปรผันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตรงกับแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ ดังนั้นเมื่อเลือกต่อที่แทป 80% กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีขนาดเพียง 80% ของกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อแบบจ่ายไฟตรง แต่กระแสเริ่มเดินเครื่องที่ดึงจากแหล่งจ่ายไฟจะขึ้นอยู่กับอัตราทดของหม้อแปลงออดโตด้วย ซึ่งทำให้กระแสเริ่มเดินเครื่องจากแหล่งจ่ายไฟลดลงเหลือเพียง $0.8 \times 0.8 = 0.64$ หรือ 64% เท่านั้น เนื่องจากทอร์กแปรตามแรงดันยกกำลังสอง ดังนั้นถ้าเลือกต่อที่แทป 80% ทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีขนาดเพียง 64% ของทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อแบบจ่ายไฟตรง การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงแบบออดโตนี้จึงสามารถเลือกขนาดกระแสเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่องที่เหมาะสมกับความต้องการได้โดยการเลือกแทปของหม้อแปลงออดโต ซึ่งปกติจะมีให้เลือก 2-3 แทป



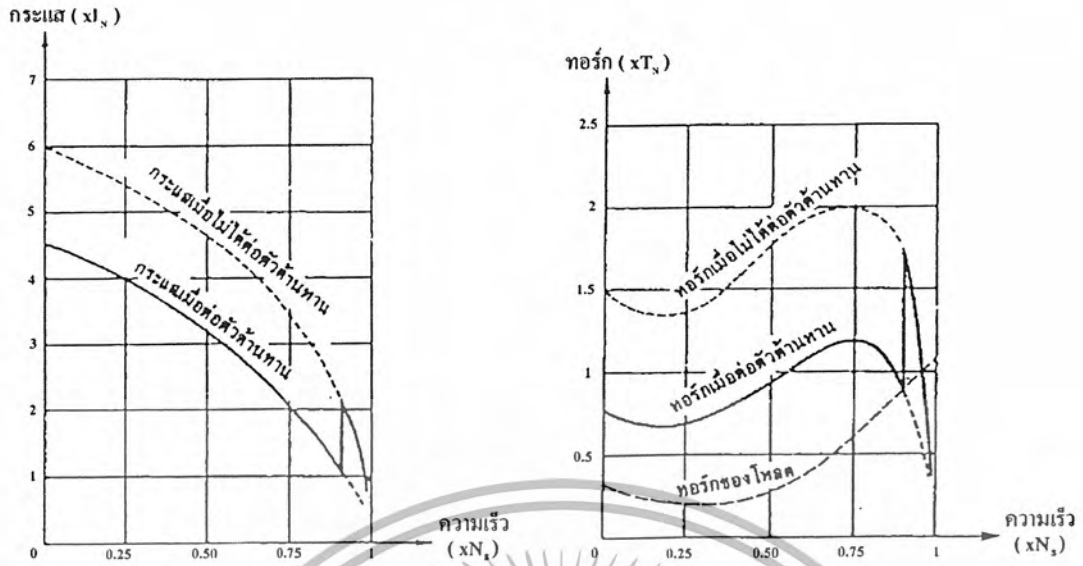
รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็วเมื่อสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออดโต

2.2.5 การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน



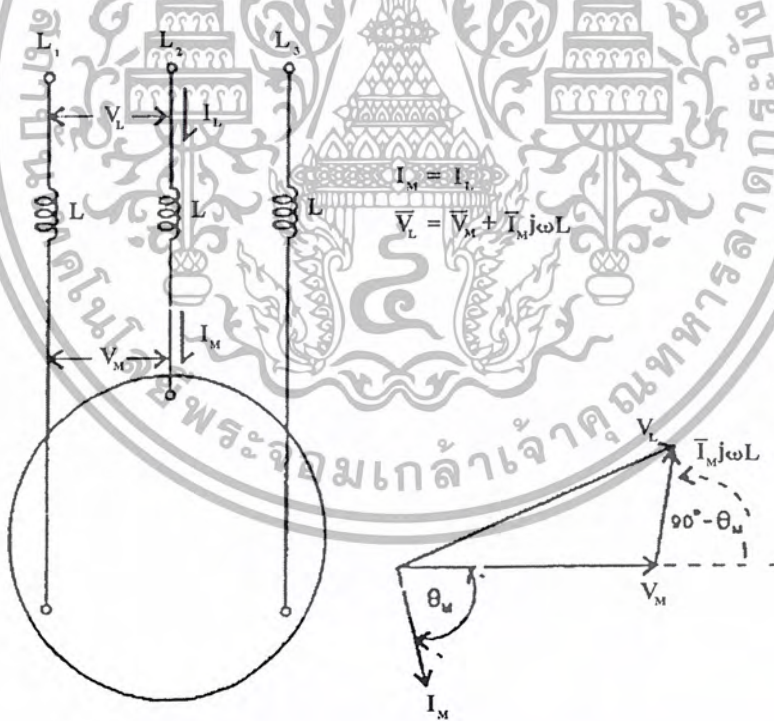
รูปที่ 2.20 การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน

การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทานนี้จะใช้ตัวต้านทานคืออนุกรมกับมอเตอร์ เมื่อเริ่มสตาร์ทจะมีกระแสเริ่มเดินเครื่องผ่านตัวต้านทานทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมบนตัวต้านทานส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ป้อนมาจากแหล่งจ่ายไฟ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานจะต้องเลือกให้พอเหมาะ เพื่อให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าเป็นไปตามที่ต้องการ เช่นเป็น 80%, 65% หรือ 50% ของค่าพิกัดกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ใหญ่จากแหล่งจ่ายไฟและกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ใหญ่เข้ามอเตอร์จะมีค่าเท่ากันและแปรผันโดยตรงกับขนาดแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ ส่วนทอร์กเริ่มเดินเครื่อง จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำยกกำลัง 2



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็วเมื่อสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน

2.2.6 การสตาร์ทโดยใช้ตัวรีแอคเตอร์



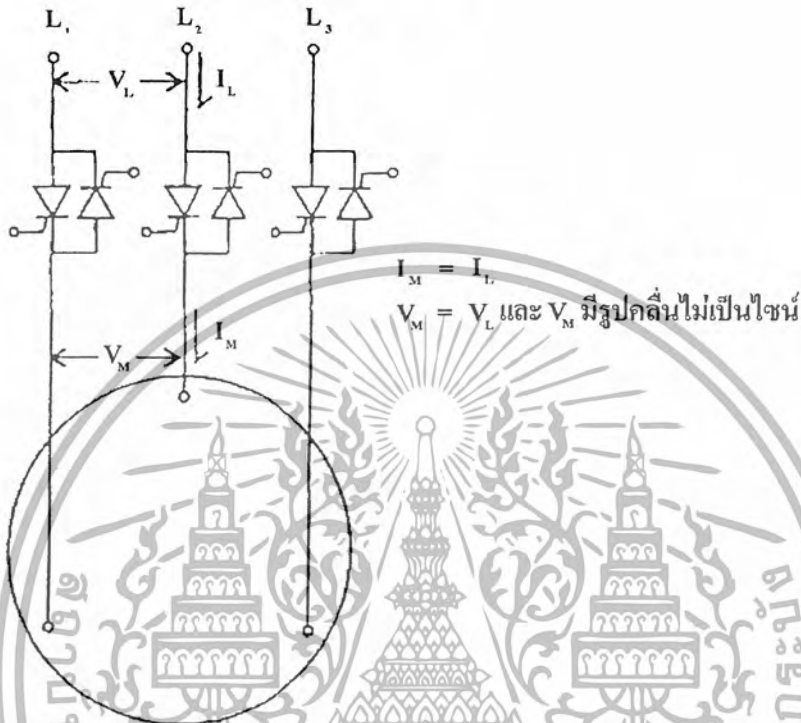
รูปที่ 2.22 การสตาร์ทโดยใช้ตัวรีแอคเตอร์

การสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้ตัวรีแอคเตอร์นี้ นิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่หรือมอเตอร์แรงดันสูง โดยการใช้ตัวรีแอคเตอร์ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ เมื่อสตาร์ทจะมีกระแสเริ่มเดินเครื่องไหลผ่านตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีแอกเตอร์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมบนตัวรีแอกเตอร์ ส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงดันที่ป้อนจากแหล่งจ่ายไฟ ผลลัพธ์จะคล้ายกับการสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทานแต่มีข้อดีคือ มีการสูญเสียต่ำกว่า

2.2.7 การสตาร์ทโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



รูปที่ 2.23 การต่อเอสซีอาร์สำหรับการสตาร์ทแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การสตาร์ทมอเตอร์ตามที่ยกมาเป็นตัวอย่างในรูปที่ 2.23 จะใช้เอสซีอาร์จำนวน 6 ตัว เฟสละ 2 ตัว โดยต่อกลับหัวกลับหางทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิด - ปิด ให้กระแสไหลผ่านเข้ามอเตอร์ โดยการหน่วงมุมจุดชนวนของเอสซีอาร์แต่ละตัวจะสามารถควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของเอสซีอาร์แต่ละตัวที่จ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ได้ จึงสามารถควบคุมแรงดันเฉลี่ยที่ขั้วมอเตอร์ได้ และจากการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานจึงมีความยืดหยุ่นสูงในการปรับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์อย่างไม่มีขีดจำกัดคือปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0 ถึงค่าพิกัดได้อย่างต่อเนื่อง

Soft starter

เป็นเทคโนโลยีการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยอาศัยหลักการควบคุมไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำทันทวนหน้าสัมผัสกลไกจึงสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ โดยควบคุมการทำงาน ด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้กระบวนการการสตาร์ทมอเตอร์มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง อีกทั้งให้คุณสมบัติและข้อได้เปรียบอีกหลายประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soft start

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ถูกควบคุมให้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แทนการป้อนโดยตรงอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้มอเตอร์เริ่มหมุนอย่างนุ่มนวลขจัดปัญหาการออกตัวอย่างกระชาก ซึ่งเป็นการป้องกันการสึกหรอของระบบขับเคลื่อนกำลังและการเสียหายของวัสดุในระบบขบวนการผลิตสินค้า

Current limit

ซอฟต์แวร์สามารถจำกัดระดับกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์ให้อยู่ในค่าที่ตั้งไว้ (2.5 - 5 เท่าของกระแสปกติมอเตอร์) การควบคุมกระแสไฟฟ้าไม่ให้สูงเกินไปช่วยลดปัญหาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak demand), แรงดันไฟตก (Voltage drop) ในระบบและลดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า, สายเคเบิลรวมถึงถนนอายุการใช้งานของมอเตอร์ไปในตัวอีกด้วย

Power saving mode

ลดแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ในภาวะวิ่งตัวเปล่าหรือทำงานเบาๆ ได้อันช่วยลดค่ากระแสขณะทำงานเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อนในขดลวดและสายเคเบิล ส่วนการลดระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นการลดความสูญเสียในแกนเหล็กของมอเตอร์ด้วย

Soft stop

การหยุดเดินเครื่องมอเตอร์โดยตัดการจ่ายไฟให้มอเตอร์ทันทีทันใด มีผลกระทบต่อวัสดุที่อยู่ในขบวนการผลิตอาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น โดยเฉพาะในระบบการขับเคลื่อนของเหลว การหยุดทันทีทันใดทำให้เกิดลูกคลื่นกระแทกภายในท่อส่ง เราสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้ โดยอาศัยลักษณะการหยุดมอเตอร์แบบซอฟต์สตอป ในขณะที่ได้รับสัญญาณให้หยุดมอเตอร์ ซอฟต์สตอปจะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ค่อยๆ ลดลงจนถึง 0 ภายในเวลาที่ตั้งไว้มอเตอร์จะลดความเร็วลง และหยุดอย่างนุ่มนวลการกระชากและลูกคลื่นกระแทกจึงไม่เกิดขึ้น

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกมีหลายวิธี การสตาร์ทด้วยวิธีที่เหมาะสม จะช่วยให้มอเตอร์และระบบทางกลตลอดจนระบบไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ตลอดจนเสียค่าใช้จ่ายต่างๆ ต่ำสุด เช่น ค่าบำรุงรักษา การที่จะเลือกว่าสตาร์ทวิธีไหน เราต้องคำนึงถึงเรื่องทอร์กที่มอเตอร์สร้างขึ้นมาในระหว่างเร่งความเร็วรอบ และกระแสเริ่มเดินเครื่องที่มอเตอร์ดึงจากระบบไฟฟ้า

คุณลักษณะ	วิธีการสตาร์ท					
	DOL	Part winding	Star- delta	Auto Transformer	Resistor	Solid State
กระแสเริ่มเดินเครื่อง	100% (4-8In)	65% (2.6-5.2In)	33% (1.3-2.6In)	64%,42%,25% (1-5.1In)	70% (2.8-5.6In)	0-100% (0-8In)
ทอร์คเริ่มเดินเครื่อง	100% (0.6-1.5Tn)	50% (0.3-0.75Tn)	33% (0.2-0.5Tn)	64%,42%,25% (0.15-0.96Tn)	49% (0.3-0.75Tn)	5-50% (0.03-0.75Tn)
สายไฟ	3	6	6	3	3	3หรือ6
ขนาดทางกายภาพ	เล็กสุด	เล็กกว่า	ปานกลาง	ใหญ่	ปานกลาง	เล็ก
การเกิดกระแสเสิร์จ	มากที่สุด	มี	มี	มี	มี	มีเล็กน้อย
การเปลี่ยนจังหวะ	ไม่มี	แบบปิด	แบบเปิดหรือปิด	แบบปิด	แบบปิด	ไม่มี
ช่วงเวลาสตาร์ท(Sec)	2ถึง3		3ถึง7	7ถึง12	7ถึง12	ปรับแต่งได้
การควบคุม	เปิด/ปิด	เปิด/ปิด	เปิด/ปิด	ได้สูงสุด 3แทป	เปิด/ปิด	ปรับแต่งได้
ข้อดี	1.ราคาถูก 2.ให้ทอร์คเริ่มเดินเครื่องสูง		1. ลอนข้างจะถูกลง	1. อัตราส่วน T/In สูง 2. สามารถเลือกค่าได้ 3. ไม่ขาดจังหวะ	1.สามารถเลือกค่าได้ 2.ไม่ขาดจังหวะ	ปรับแต่งค่าต่างๆได้อย่างละเอียด
ข้อเสีย	1. กระแสเริ่มเดินเครื่องสูง	1.กระแสอาจไม่สมดุล 2.อาจเริ่มรอบได้ช้าหรือเร่งรอบไม่ขึ้น	1. ทอร์คเริ่มเดินเครื่องต่ำ 2.ปรับค่าไม่ได้ 3.ต้องใช้มอเตอร์มีขั้วต่อสาย 6	1. ต้องใช้หม้อแปลงออโตราคาแพง	1.ลดกระแสเริ่มเดินเครื่องน้อย 2. ต้องใช้ตัวต้านทาน	1. ราคาแพง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสตาร์ทมอเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

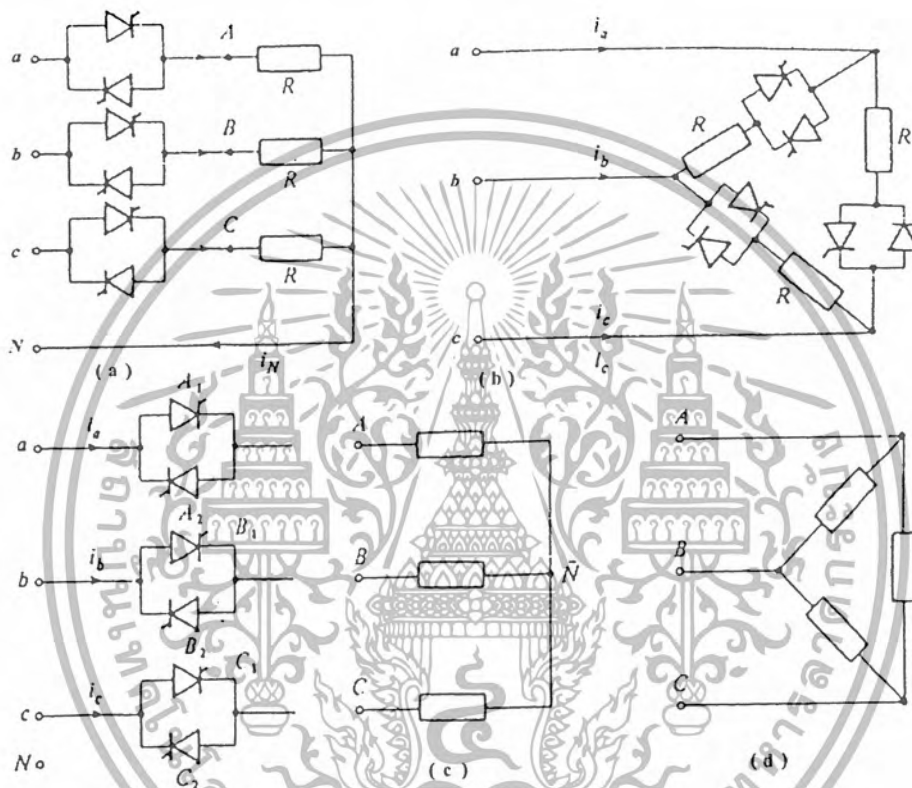
2.3 การควบคุมแรงดันที่สเตเตอร์(STATOR VOLTAGE CONTROL)

2.3.1 การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส

การควบคุมแรงดันแบบสามเฟสแบ่งได้ 2 แบบ

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

ซึ่งการควบคุมทั้งสองแบบนี้ สามารถต่อเป็นการควบคุมภาระทางไฟฟ้าแบบสตาร์ (Star) และเดลต้า(Delta) โดยรูปแบบของวงจรดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ลักษณะการต่อวงจรควบคุมโหลด 3 เฟสแบบต่างๆ

- (a) การต่อวงจรแบบสตาร์
- (b) การต่อวงจรแบบเดลต้า
- (c) การโหลดวงจรแบบสตาร์
- (d) การโหลดวงจรแบบเดลต้า

2.3.2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ

การควบคุมแบบบรานซ์

ข้อดี 1. มีช่วงการควบคุมกว้างคือตั้งแต่มุมโหลดถึง 180° ซึ่งเหมือนกับการควบคุมแบบเฟสเดียว

2. สำหรับการต่อแบบเคลด้าสามารถลดพิคคของเอสซีอาร์ลงได้ เพราะกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์มีค่าน้อยกว่าแบบไลน์ และการต่อแบบนี้ยังทำให้ดิสทอร์ชันแฟกเตอร์(Distortion Factor) สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการต่อแบบอื่น

ข้อเสีย 1. สำหรับการต่อแบบเคลด้า การต่อจะไม่สะดวกเพราะต้องใช้สายออกจากมอเตอร์ถึง 6 เส้นเมื่อนำมาต่อกับเอสซีอาร์ และยิ่งถ้าในกรณีที่มอเตอร์อยู่ห่างจากแผงควบคุมมากจะทำให้สิ้นเปลืองสายและการเดินสายทำได้ลำบาก

2. การต่อแบบสตาร์ จะทำให้เกิดฮาร์โมนิกกระแสสูงสุด และกระแสที่ไหลในนิวตรอนสูงสุดด้วย

การควบคุมแบบไลน์

ข้อดี 1. การต่อใช้งานจะสะดวกเพราะใช้สายที่ต่อออกจากมอเตอร์เพียง 3 เส้นเพื่อมาต่อกับเอสซีอาร์ ซึ่งที่มีมอเตอร์ที่มีการต่อสายออกมา 3 เส้นอยู่แล้วสามารถใช้ในการควบคุมแบบนี้ได้เลย

ข้อเสีย 1. มีช่วงการควบคุมแคบกว่าแบบบรานซ์ คือ ตั้งแต่มุมโหลดถึง 150°

2. มีรูปคลื่นแรงดันที่ได้ผลิตขึ้นจากรูปคลื่นไซน์ มากกว่าการควบคุมแบบบรานซ์ที่ต่อแบบเคลด้าจะใช้ดิสทอร์ชันแฟกเตอร์ต่ำกว่า แต่จะสูงกว่าการควบคุมแบบบรานซ์ที่ต่อแบบสตาร์

เนื่องจากการควบคุมแบบไลน์ มีการต่อใช้งานที่สะดวกถึงแม้ดิสทอร์ชันแฟกเตอร์จะไม่สูงเท่ากับการควบคุมแบบบรานซ์ที่มีการต่อแบบเคลด้า แต่ก็มีฮาร์โมนิกกระแสต่ำกว่าการควบคุมแบบบรานซ์ที่มีการต่อแบบสตาร์และยังเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอยู่ทั่วไปด้วย เหตุผลเหล่านี้ทำให้ในโครงการนี้เลือกใช้ในการควบคุมแบบไลน์มาใช้ในการวิเคราะห์ศึกษา

2.3.3 การควบคุมแบบไลน์

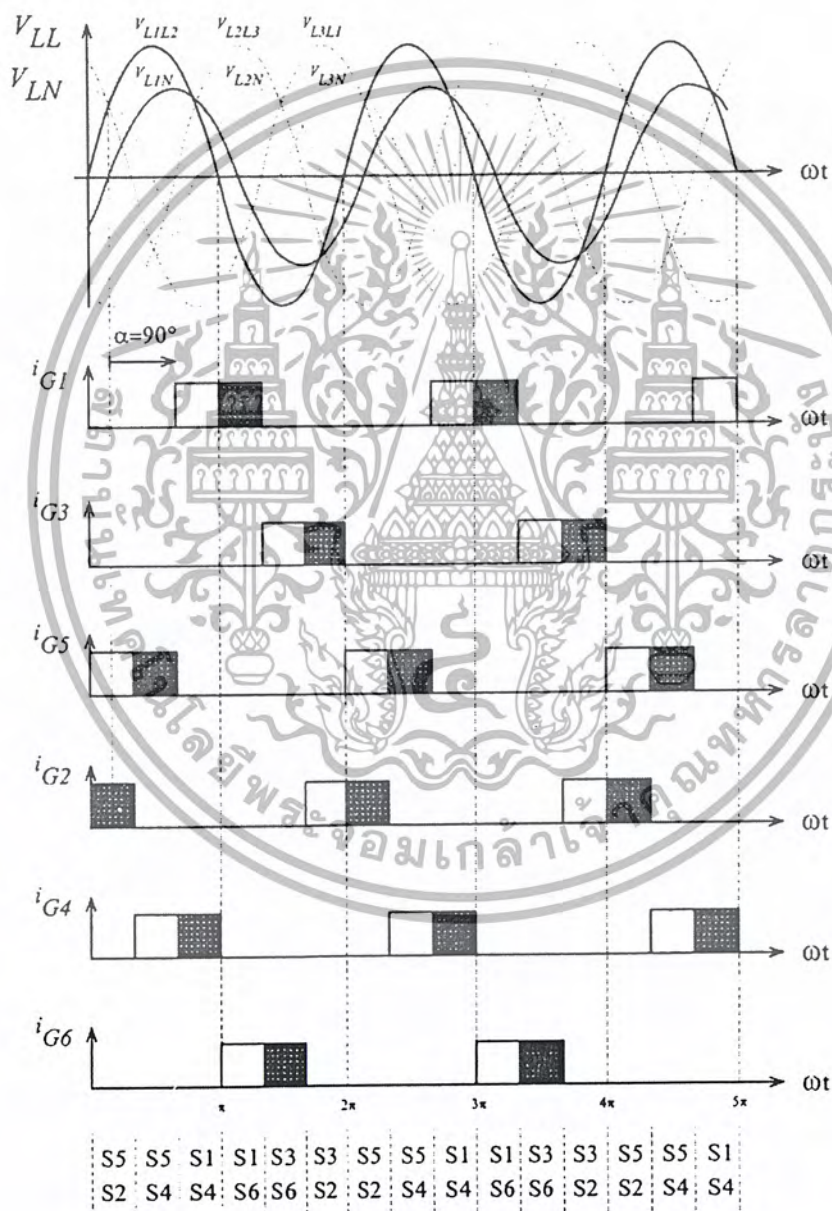
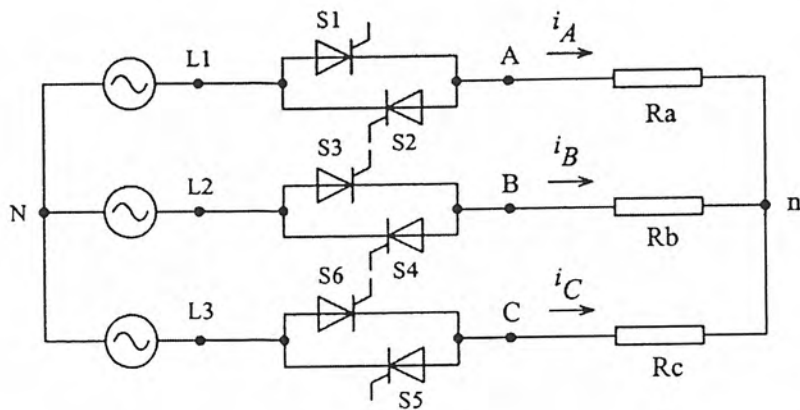
การควบคุมแบบไลน์มีวงจรการต่อจตุรรูปสตาร์และเดลต้า ซึ่งมีหลักการการทำงานเหมือนกันจึงขอกล่าวถึงการต่อแบบสตาร์ จากวงจรการต่อจะไม่มีการต่อสายนิวตรอลจากแหล่งจ่ายเข้ากับโหลด ดังนั้นจะต้องมีเอสซีอาร์ทำงานพร้อมกันอย่างน้อยที่สุด 2 ตัวจึงจะมีกระแสไหลผ่านได้ เพราะฉะนั้นสัญญาณทริกขาเกิดจะต้องสอดคล้องกับเฟสของไฟ ดังนั้นสัญญาณพัลส์ทริกจะต้องมีความกว้างอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ $\pi/3rad$ และซีควเอนซ์(Sequence) ของสัญญาณพัลส์ทริกที่จะไปทริกเอสซีอาร์ในแต่ละเฟส จะต้องมียูนิควเอนซ์ตรงกับแหล่งจ่าย ในที่นี้เราจะกล่าวถึงการต่อแบบสตาร์

2.3.4 การต่อโหลดแบบสตาร์(Star Connection)

การต่อโหลดแบบสตาร์ดังรูปที่ 2.25 กระแสจะไหลผ่านโหลดได้เมื่อเอสซีอาร์ถูกจุดจนวนเกิดหรือนำกระแสอย่างน้อย 2 ตัวและกระแสจะไหลผ่านระหว่างเฟสหรือโหลดในสองสาย(Line) ลำดับของมุมจุดจนวนเกิดมีมุมเริ่มต้น $\alpha = 0^\circ$ เกิดขึ้นที่ $\omega t = 30^\circ$ เอสซีอาร์ลำดับต่อไปจะต้องมีมุมจุดจนวนเกิดคล้อยจอกับแหล่งจ่ายแรงดันดังตารางที่ 2.2 แสดงช่วงที่เอสซีอาร์นำกระแสเมื่อ $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 90^\circ$

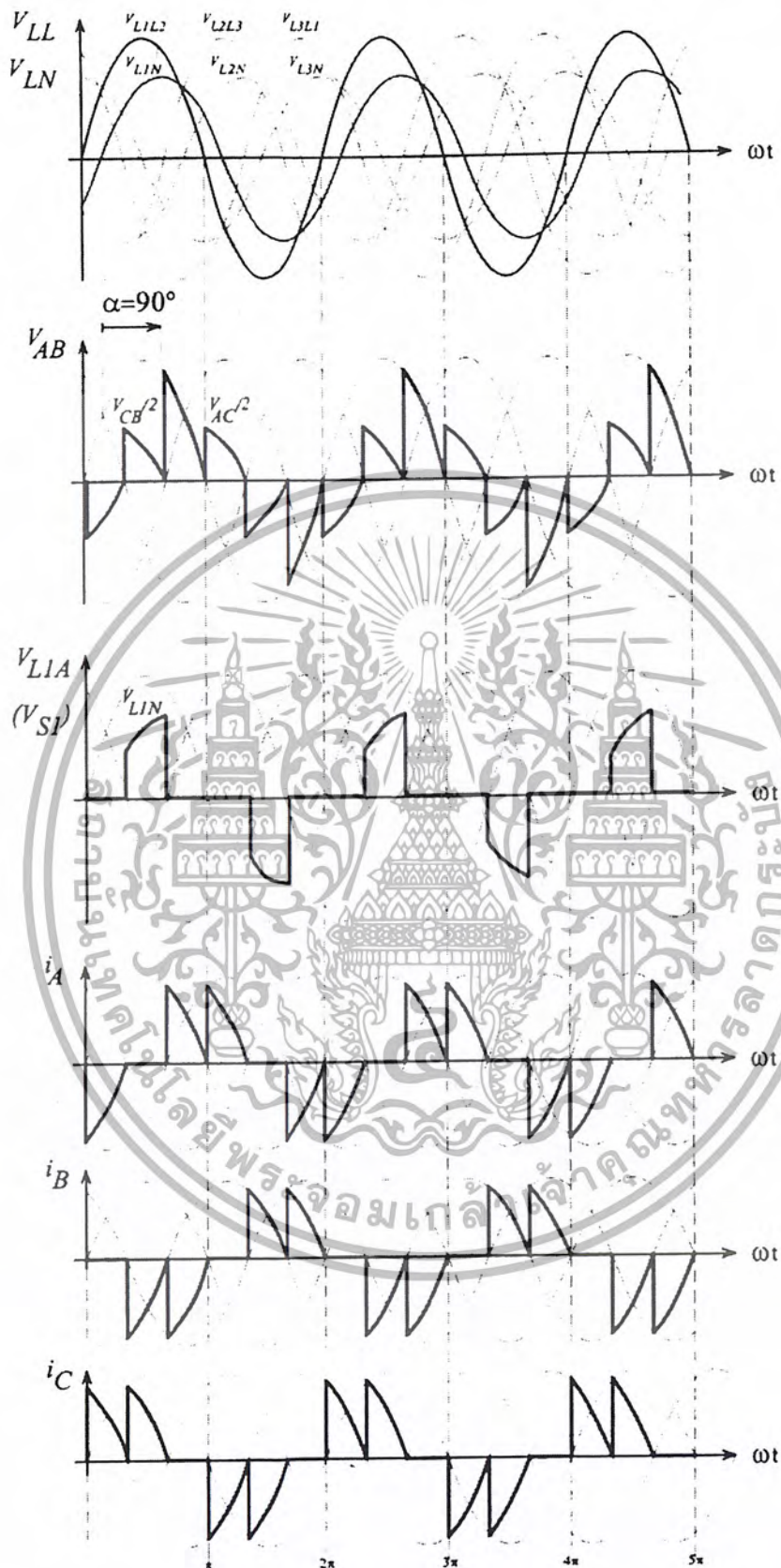
เอสซีอาร์	ช่วงนำกระแส $\alpha = 30^\circ$	ช่วงนำกระแส $\alpha = 90^\circ$
S1	$60^\circ - 180^\circ$	$120^\circ - 240^\circ$
S3	$120^\circ - 300^\circ$	$180^\circ - 300^\circ$
S5	$180^\circ - 420^\circ$	$240^\circ - 360^\circ$
S2	$240^\circ - 360^\circ$	$300^\circ - 420^\circ$
S4	$300^\circ - 420^\circ$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

ตารางที่ 2.2 แสดงมุมที่เอสซีอาร์แต่ละตัวทำงาน



รูปที่ 2.25 โหลดต่อแบบสตาร์และสัญญาณจุดชนวนเกต $\alpha = 90^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 สัญญาณกระแสและแรงดันของวงจรรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.26 เอสซีอาร์ S1 ถูกจุดขนวนเกดที่ $\omega t = 120^\circ(\alpha + 30^\circ)$ นำกระแสพร้อมกัน S4 กระแสไหลจากเฟส L1 ไปยัง L2 จนถึง $\omega t = 180^\circ$ เอสซีอาร์ S4 หุคนำกระแส ขณะเดียวกัน เอสซีอาร์ S6 ถูกจุดขนวนเกดให้นำกระแสพอดิ กระแสจะไหลจากเฟส L1 ไปยัง L3 ที่ $\omega t = 240^\circ$ เอสซีอาร์ S1 จะ หุคนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S3 ถูกจุดขนวนเกดให้นำกระแส กระแสไหลจากเฟส L2 ไปยัง L3 จนถึง $\omega t = 300^\circ$ เอสซีอาร์ S6 จะหุคนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S2 ถูกจุดขนวนเกดให้นำกระแสพอดิ กระแสจะไหลจากเฟส L2 ไปยัง L1 จนถึง $\omega t = 360^\circ$ เอสซีอาร์ S3 จะหุคนำกระแส ขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S5 ถูกจุดขนวนเกดกระแสจะไหลจากเฟส L3 ไปยัง L1 จนถึง $\omega t = 420^\circ$ เอสซีอาร์ S2 จะหุคนำกระแสขณะเดียวกันเอสซีอาร์ S4 ถูกจุดขนวนเกดกระแสจะไหลจากเฟส L3 ไปยัง L2 จนถึง $\omega t = 120^\circ(480^\circ)$ เอสซีอาร์ S1 จะถูกจุดขนวนเกดต่อไป และจะเป็นลำดับอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆ

สัณญาณจุดขนวนเกดที่ $\alpha > 90^\circ$ เอสซีอาร์จะถูกจุดขนวนเกดเพียงตัวเดียวทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มสัณญาณจุดขนวนเกดบริเสณที่แรงงาตีค่าไว้จึงทำให้เอสซีอาร์ นำกระแสพร้อมกัน 2 ตัวและกระแสไหลครบในวงจร ถ้ามุมจุดขนวนเกด $\alpha = 30^\circ$ จะมีบางช่วง เอสซีอาร์จะนำกระแสพร้อมกันได้ 3 ตัว

แรงดันเอาต์พุตกับโหลดตัวด้านทานคำนวณได้จากสมการ

กรณี $[0 < \alpha < 60^\circ]$

$$\begin{aligned}
 V_{o\alpha} &= \left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2}V_{LN}^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right)^{1/2} \\
 &= \sqrt{6}V_s \left(\frac{2}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi/3} (1/3) \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\alpha+\pi/2}^{\pi/4} (1/4) \sin^2 \omega t d\omega t \right. \right. \\
 &\quad + \int_{\alpha+\pi/3}^{2\pi/3} (1/3) \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\pi/2}^{\alpha+\pi/2} (1/4) \sin^2 \omega t d\omega t + \\
 &\quad \left. \left. + \int_{\alpha+2\pi/3}^{\pi} (1/3) \sin^2 \omega t d\omega t \right] \right)^{1/2} \\
 &= \sqrt{6}V_s \left(\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right) \right)^{1/2} \quad (2-22)
 \end{aligned}$$

กรณี $[60^\circ < \alpha < 90^\circ]$

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

$$= \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{12} - \frac{3\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2} \quad (2-23)$$

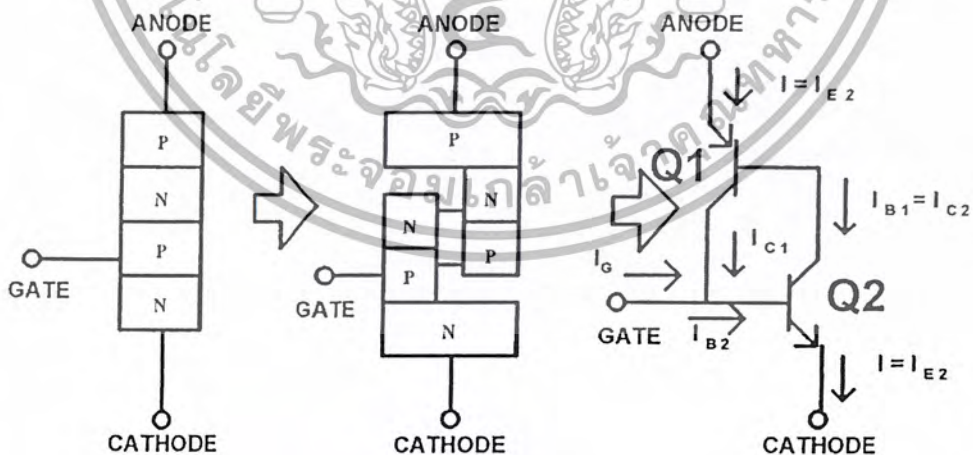
กรณี $[90^\circ < \alpha < 150^\circ]$

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

$$= \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{5\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{3\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2} \quad (2-24)$$

2.4 การทำงานของเอสซีอาร์

พิจารณาโครงสร้างของเอสซีอาร์เป็นทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ต่อกันแสดงในรูปที่ 2.27 ขา อิมิตเตอร์(Emitter) ของทรานซิสเตอร์ Q1(PNP) จะเป็นขั้วแอโนด(Anode) ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q2 จะเป็นขั้วแคโทด(Cathode) และขาคอลเลกเตอร์(Collector) ของทรานซิสเตอร์ Q1 จะต่อร่วมกับขาเบส(Base) ของทรานซิสเตอร์ Q2 เป็นขั้วเกต(Gate)



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเอสซีอาร์คือ ขณะที่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าเกิดคู่แคโทดแรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับแคโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตามเอสซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าสู่เกิดแคโทดแรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าเกิดคู่แคโทดเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแสเรียกว่าทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

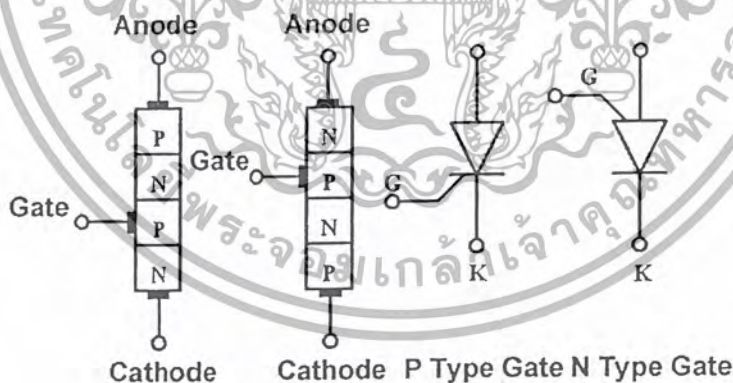
ในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส นั้นจะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านต่ำจนถึงค่าหนึ่งตามคุณสมบัติที่กำหนดมาจากรูปที่ 2.27 หากเราทำการลัดวงจรขาแคโทดจะทำให้กระแสหยุดไหลได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นการทำงานของเอสซีอาร์จริงๆ และมีกระแสจำนวนน้อยมากที่จะเบี่ยงเบนมาไหลผ่านทางที่ลัดวงจร

ตามหลักการในเอสซีอาร์โดยทั่วไป โครงสร้างภายในจะถูกออกแบบให้มีลักษณะชอร์ตอิมิตเตอร์โดยจะใช้ตัวต้านทานระหว่างขาแคโทดและขาแคโทด เพราะจะทำให้เกิดกระแสเบี่ยงเบนจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ NPN ผ่านตัวต้านทานทำให้กระแสจุดชนวน (I_g) กระแสตกค้าง (I_L : latching current) กระแสยึดมีค่ามากขึ้น

ความไวในการจุดชนวนขาแคโทดของเอสซีอาร์ให้ใช้ค่าความต้านทานสูงๆ ต่อขานานหรือไม่ต่อไว้เลยก็ได้ ดังนั้นคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าความต้านทานภายนอกซึ่งในกรณีนี้การออกแบบให้มีลักษณะชอร์ตอิมิตเตอร์จะมีผลน้อยมาก

อุณหภูมิที่ร่อยต่อเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผลการทบกระเทือนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเอสซีอาร์เป็นอย่างมาก

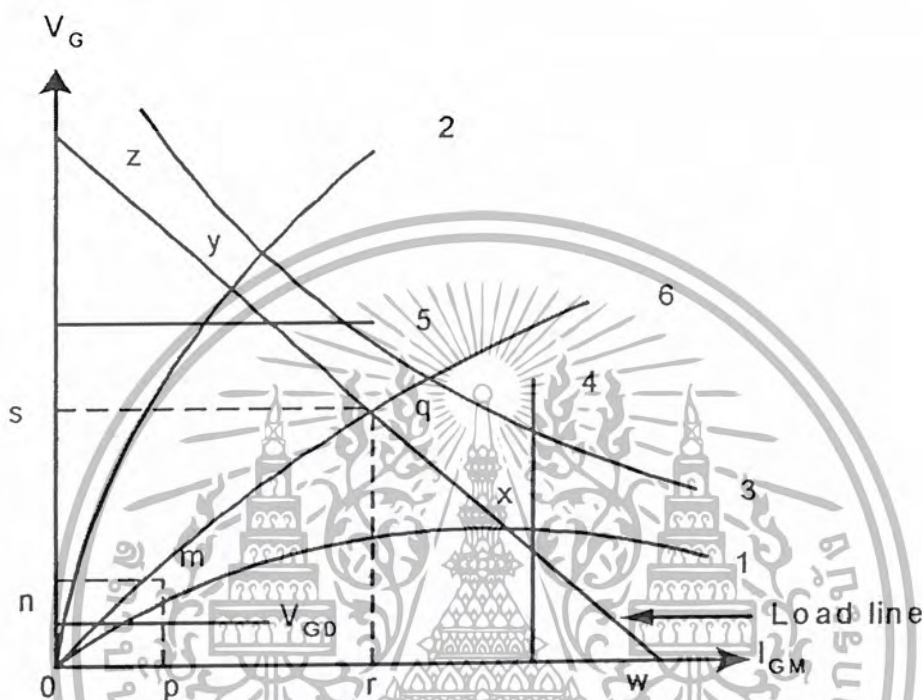
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เอสซีอาร์เกิดการนำกระแสได้ง่ายขึ้น ดังนั้นสภาวะของวงจรที่ถูกกำหนดให้นำกระแสจะถูกออกแบบให้ทำงานที่จุดอุณหภูมิค่าสุด



รูปที่ 2.28 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

2.5 พื้นฐานวงจรจุดชนวนไทรสเตอร์

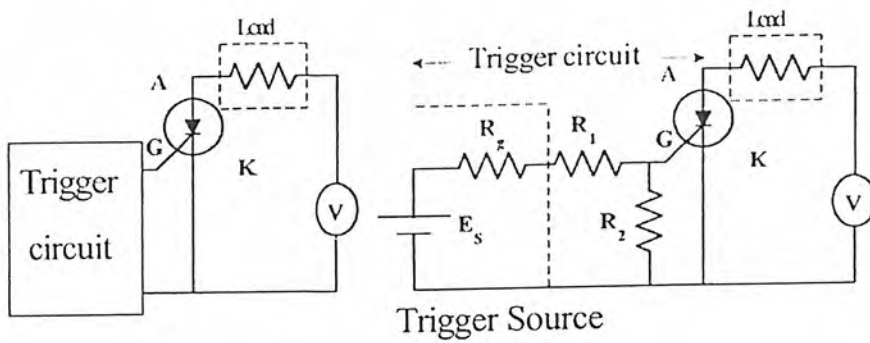
การจุดชนวนให้ไทรสเตอร์ทำงานนั้นทำได้โดยการป้อนแรงดัน (V_G) และกระแส (I_G) จากวงจรจุดชนวน แต่จากข้อมูลของไทรสเตอร์นั้นพบว่าช่วงของแรงดันและกระแสนั้นอยู่ในช่วงที่กว้างมากขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานจะเลือก แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อไทรสเตอร์ ดังรูปที่ 2.29 แสดงคุณสมบัติของสัญญาณเกิด



รูปที่ 2.29 คุณสมบัติของสัญญาณจุดสัญญาณชนวนไทรสเตอร์

คุณสมบัติของสัญญาณจุดสัญญาณชนวนให้ไทรสเตอร์ทำงานได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต้องอยู่ในพื้นที่ภายในเส้นกราฟ 1, 2, 3 และ 4 กับพื้นที่สี่เหลี่ยม $mnop$

เส้นกราฟ 3 เป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{GM}) ที่ยอมให้เกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณเกิด V_{GD} คือค่าแรงดันเกิดค่าที่ทำให้สามารถทริกได้ หากค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่านี้จะไม่สามารถทริกได้เพื่อเป็นการป้องกันการทริกของไทรสเตอร์อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน ส่วนสัญญาณเกิดในพื้นที่สี่เหลี่ยม $mnop$ เป็นพื้นที่ที่ควรหลีกเลี่ยงเนื่องจากอาจไม่สามารถทริกได้ หรือเกิดทริกเนื่องจากสัญญาณรบกวน ในการพิจารณาเลือกสัญญาณทริกนั้นต้องแน่ใจว่า load line ($wxyz$) ต้องอยู่ในพื้นที่ $mnop$ นี้ โดยการเลือก load line นั้นควร ใกล้เคียงกับเส้นกราฟ 3



รูป 2.30 วงจรทริกไทรสเตอร์ด้วยแรงดันกระแสตรง

การออกแบบวงจรทริกไทรสเตอร์นั้นทำได้โดยพิจารณารูปที่ 2.29 และรูปที่ 2.30 ในรูปที่ 2.29 นั้นเส้นกราฟ 6 แสดงความสัมพันธ์ V-I ระหว่างเกตและแคโทดซึ่งเหมือนกับช่วงนำกระแสของไดโอด ชนิดซิลิกอนจุดตัดระหว่าง load line และเส้นกราฟ 6 ที่จุด q ทำให้ได้แรงดันและกระแสที่จุด operate และจากรูปที่ 2.30 กระแสตัววงจรสูงสุดของวงจรคือค่าของ I_{ow} ในรูปที่ 2.29 นั้นเองหาได้จาก

$$I_s = E_s \frac{1}{(R_s + R_1)} \quad (2-25)$$

ความต้านทาน R_2 ทำหน้าที่ป้องกันแหล่งจ่ายและ gate - to cathode junction เนื่องจากกระแสตัววงจรค่าของ I_{ow} เป็นค่าแรงดันสูงสุดของแหล่งจ่าย (E_s) ความต้านทาน R_1 ที่ใช้ในกรณีที่แรงดันของแหล่งจ่าย (E_s) มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันสูงสุดที่ใช้ทริกไทรสเตอร์ได้

เมื่อความต้านทาน R_2 ต่อขนานกับ gate - to cathode junction จะได้ว่า

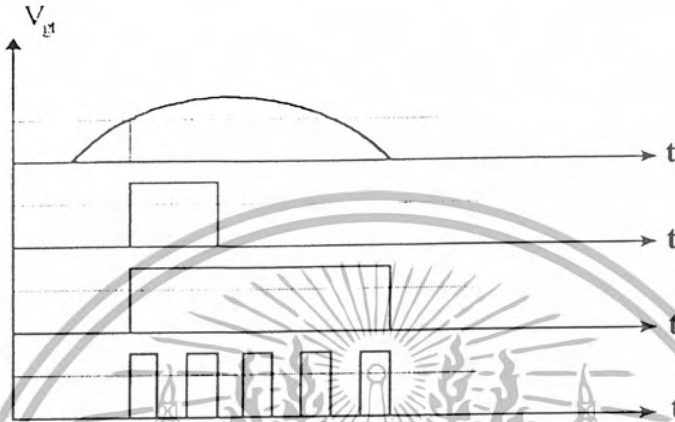
$$V_{GM} \geq E_s \frac{R_2}{R_s + R_1 + R_2} \quad (2-26)$$

$$E_s = V_G + (R_s + R_1) \left(I_G + \frac{V_G}{R_2} \right) \quad (2-27)$$

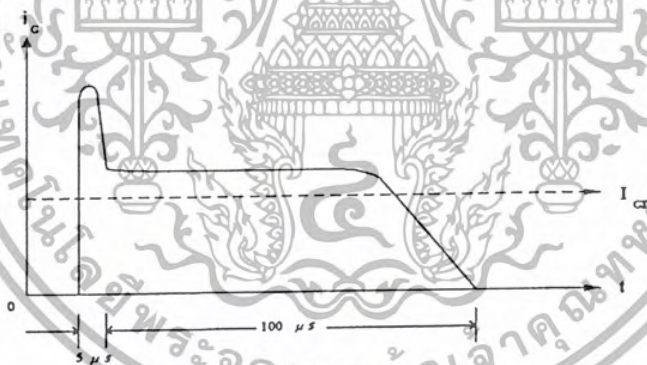
จากวงจรทริกไทรสเตอร์ข้างต้น สัญญาณที่ใช้เป็นแรงดันกระแสตรง ในกรณีที่สัญญาณที่ใช้เป็น single pulse และ pulse train สำหรับ single pulse แรงดันสูง (V_G , peak) และกระแสสูงสุด (I_G , peak) ควรจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนความกว้างของสัญญาณต้องมีค่าเพียงพอให้กระแสเอาโนดถึงค่า Latching current ของไทรสเตอร์

สำหรับในกรณีที่โหลดเป็น inductance จำเป็นที่ต้องใช้สัญญาณทริกแบบ pulse train เนื่องจากกระแสไอโอดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งใช้เวลานานกว่ากรณีที่ เป็นโหลด resistance ค่าของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P_G) ควรจะน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{GM}) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} P_{GM} &= P_G(\text{peak}) \times \text{duty ratio} \\ &= P_G(\text{peak}) \times \text{pulsewidth} \times \text{frequency of pulses} \end{aligned} \quad (2-28)$$



รูปที่ 2.31 สัญญาณทริกไทรสเตอร์แบบต่างๆ



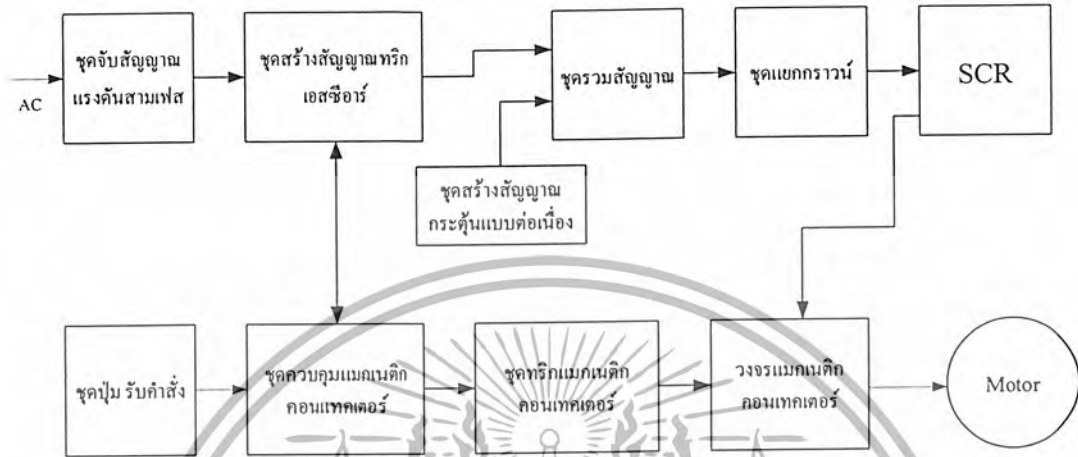
รูปที่ 2.32 สัญญาณกระแสที่ใช้ทริกไทรสเตอร์ในอุคมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

3.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ

คุณสมบัติของวงจร

- สามารถสตาร์ทแบบนิ่มนวลและหยุดมอเตอร์ได้ถึง 5 ตัวแต่ละตัวไม่เกิน 5 KW
- ปรับเปอร์เซ็นต์ของแรงดันได้ถึง 2 ระดับที่ 10 % และ 50 %
- แต่ละระดับแรงดันตั้งเวลาการสตาร์ทแบบนิ่มนวลได้ 5 วินาที, 10 วินาที, 15 วินาที, 20 วินาที, 25 วินาที และ 30 วินาที และตั้งเวลาในการหยุดได้ 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 40 วินาที, 50 วินาที และ 60 วินาที
- ทำการสตาร์ทและหยุดมอเตอร์ได้ครั้งละ 1 ตัวเท่านั้น

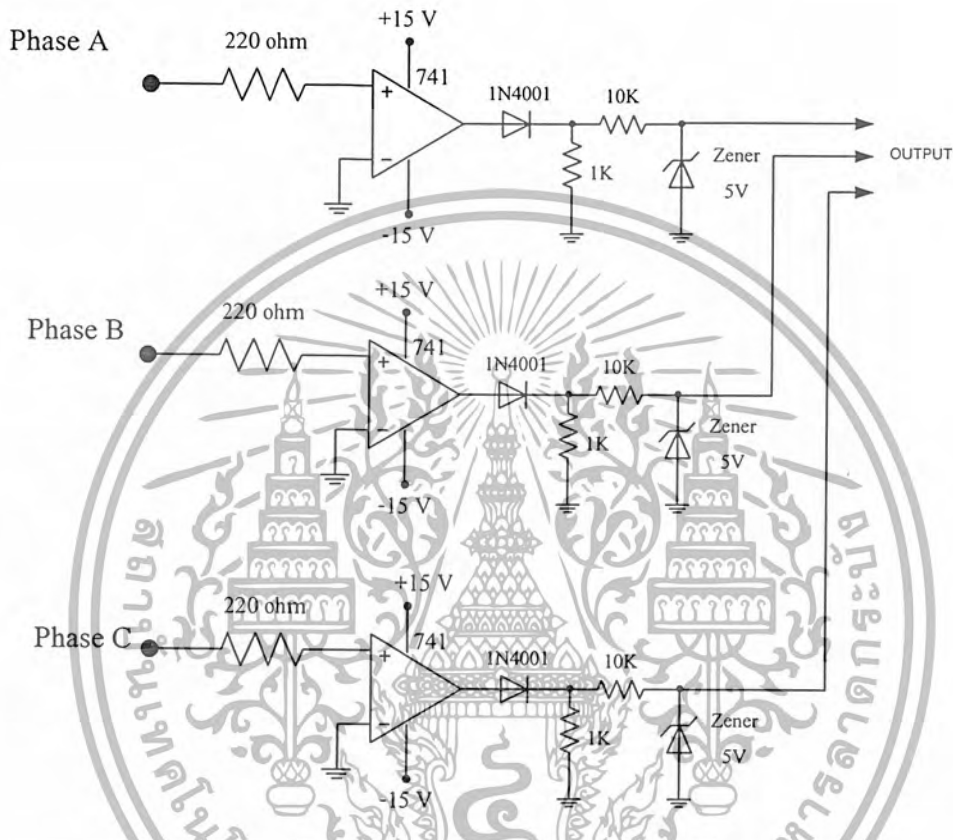
อธิบายการทำงานในส่วนต่างๆ

- ชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันสามเฟสทำหน้าที่จับสัญญาณ Wave form ของแรงดันทั้งสามเฟส
- ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์ทำหน้าที่สร้างสัญญาณทริกจากมุม 0° จนถึงมุม 180°
- ชุดสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ 5 KHz
- ชุดรวมสัญญาณทำหน้าที่รวมสัญญาณของชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์กับชุดสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง
- ชุดแยกกราวด์ทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นกับวงจรกำลังและทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากชุดรวมสัญญาณ
- เอสซีอาร์ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับวงจรแมกเนติกคอนแทคเตอร์
- ชุดควบคุมแมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำหน้าที่จัดลำดับการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ โดยรับคำสั่งการทำงานจากแผงสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดทริกแมกเนติกคอนเทคเตอร์ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับแมกเนติกคอนเทคเตอร์ตามลำดับที่ต้องการ
- วงจรแมกเนติกคอนเทคเตอร์ทำหน้าที่ตัด-ต่อแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตามลำดับที่ต้องการ

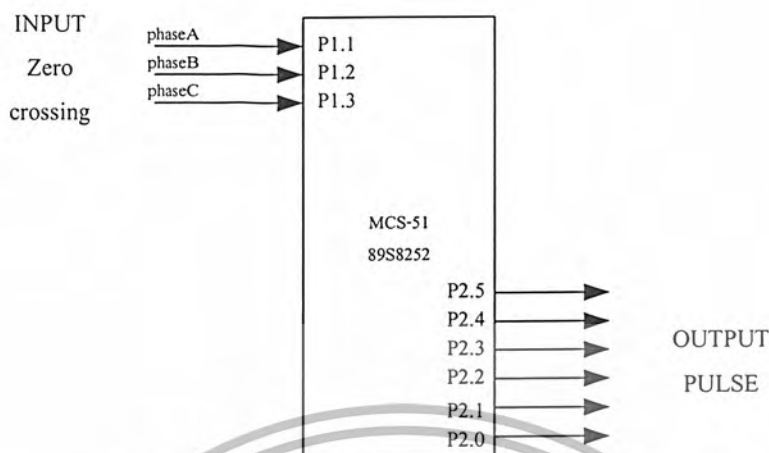
3.2 ชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันสามเฟส



รูปที่ 3.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์

วงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์หรือวงจร Zero crossing detector ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดันไฟกระแสสลับ 15 โวลท์เข้าทางขาบวกของ IC และขาของ IC ทำการต่อลง GND เพื่อที่จะต้องการสัญญาณทางด้านซีกบวกอย่างเดียว โดยมีค่าความต้านทาน 220 โอห์มมาจำกัดกระแสที่จะเข้ามาทางขาบวกของ IC และสัญญาณที่ออกมาทางขา OUTPUT นั้นเป็นสัญญาณที่เป็นพัลส์ที่ detect ได้ทางซีกบวกของ SIN เท่านั้นเมื่อมีสัญญาณออกมาแล้วก็จะทำการทำให้สัญญาณนั้นเป็นสัญญาณ DC โดยผ่านไดโอด 1N4001 และก่อนจะนำสัญญาณไปใช้นั้นต้องนำ Zener diode 5 โวลท์มาต่อกร่อมลง GND ไว้เพื่อที่จะให้สัญญาณที่ได้มานั้นเป็นสัญญาณพัลส์ 5 โวลท์ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปใช้ได้

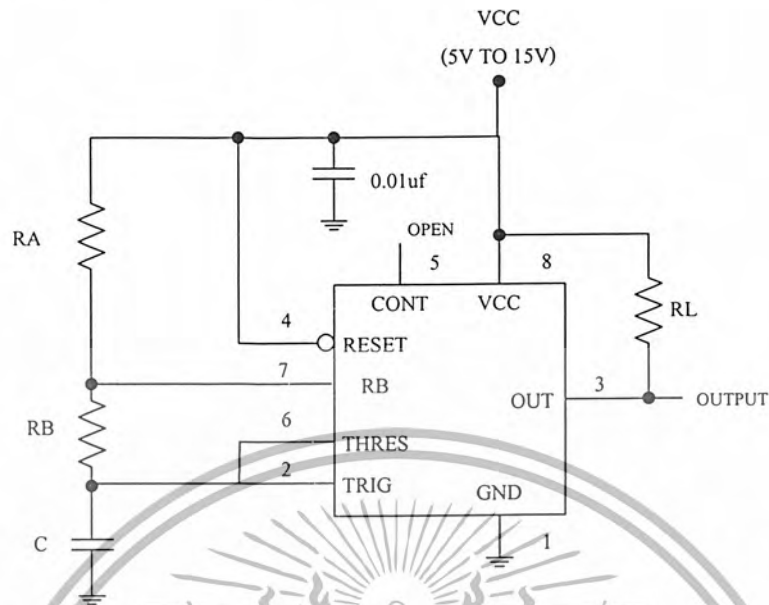
3.3 ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์



รูปที่ 3.3 ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์

ในชุดนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89S8252 ในการประมวลผลโดยในการสร้างสัญญาณพัลส์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณสแควเวฟจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์ จากขา P1.1(เฟส 1) ขา P1.2(เฟส 2) และ P1.3(เฟส 3) นำสัญญาณทั้งสามเฟสนี้ไปเป็นตัวสร้างสัญญาณทริกให้กับเอสซีอาร์ซึ่งในส่วนนี้ใช้ไทมเมอร์ถึง 3 ตัวในการกำหนดความกว้างของพัลส์ให้เป็น 1 และ 0 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสร้างสัญญาณเสร็จ ก็จะปล่อยสัญญาณออกทางขา P2.0 เป็นสัญญาณซิกนัลเฟส A P2.1 เป็นสัญญาณซิกนัลเฟส B P2.2 เป็นสัญญาณซิกนัลเฟส C P2.3 เป็นสัญญาณซิกนัลเฟส A P2.4 เป็นสัญญาณซิกนัลเฟส B P2.5 เป็นสัญญาณซิกนัลเฟส C พร้อมกับรับ input ในการเลือกเวลาในการ Start และ Stop และที่สำคัญต้องทำการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51 ที่ใช้คอนโทรลแมกเนติกคอนแทกเตอร์

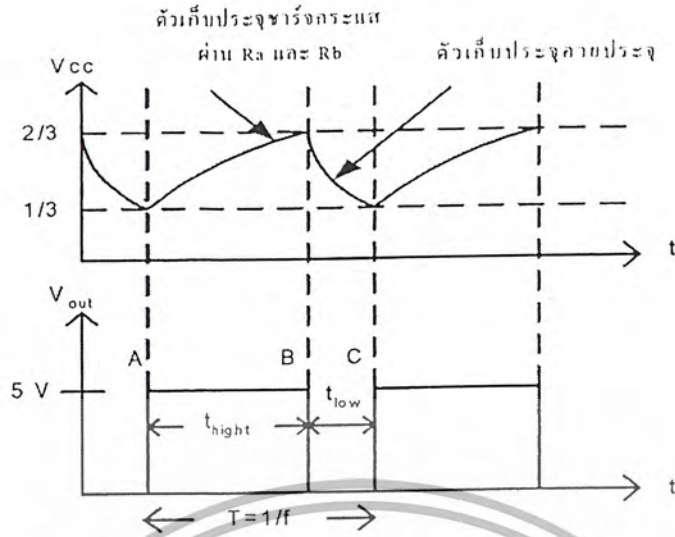
3.4 ชุดสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

ในที่นี้ใช้ไอซี 555 เป็นไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยงช่วงค่อนข้างกว้างมาก กลางคือตั้งแต่ 5 ถึง 18 โวลต์ มีการทำงานอยู่ 2 ประเภทคือประเภทการสร้างสัญญาณตลอดเวลาหรือที่เราเรียกว่า อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) และประเภทสร้างสัญญาณเพียงหนึ่งลูกคลื่น หรืออย่างที่เราเรียกว่า วันชอทมัลติไวเบรเตอร์ (Oneshot Multivibrator) หรือ โมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator)

ในรูปแบบเป็นการแสดงการทำงานประเภท อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ของไอซี 555 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันจะเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันสูงแล้วต่ำแล้วสูง เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ไม่มีหยุดช่วงเวลาของเอาต์พุตที่จะหาได้จากค่าความต้านทานและเก็บตัวประจุที่นำมาต่อวงจรภายนอกไอซี 555 ข้อสังเกตคือแรงดันเอาต์พุตสูงสุด (V_{peak}) จะมีค่าน้อยกว่าไฟเลี้ยง (V_{CC}) เสมอ และค่าแรงดันเอาต์พุตในขณะที่มีค่าต่ำสุด จะมีค่าประมาณ 0.1 โวลต์



รูปที่ 3.5 คลื่นจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

ไอซี 555 จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณตลอดเวลาและจะได้อุปสัญญาณดังรูปที่เวลา A ทั้งขา 2 และขา 6 จะมีค่าต่ำกว่า $V_{LT} = V_{cc}/3$ ซึ่งทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ขา 3 มีค่าสูงในขณะนั้นเองที่ขา 7 จะเสมือนถูกเปิดวงจรออกดังนั้นตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุโดยผ่าน $R_A + R_B$ และเอาต์พุตจะมีค่าต่ำระหว่างช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คลายประจุจาก $2/3 V_{cc}$ ถึง $1/3 V_{cc}$ ดังสมการ

$$t_{low} = 0.695 R_B C \tag{3-1}$$

ดังนั้นช่วงเวลารวมทั้งหมดหรือคาบเวลา T จะเท่ากับ

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695 (R_A + 2R_B) C \tag{3-2}$$

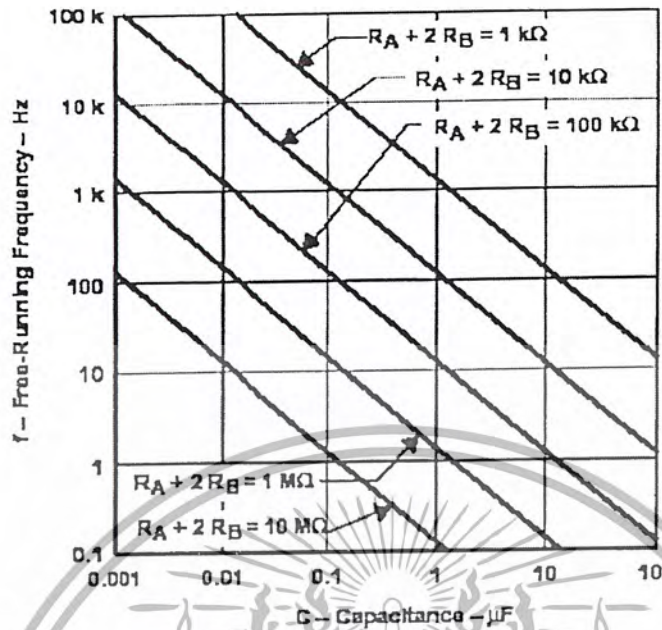
ซึ่งเมื่อกลับเศษส่วนของคาบเวลาแล้วจะให้ความถี่คือ

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{[(R_A + 2R_B) C]} \tag{3-3}$$

- t_{low} : ช่วงเวลาแรงดันต่ำ
- t_{high} : ช่วงเวลาแรงดันสูง
- T : คาบเวลา
- C : ค่าตัวเก็บประจุ
- R_A, R_B : ค่าตัวต้านทาน

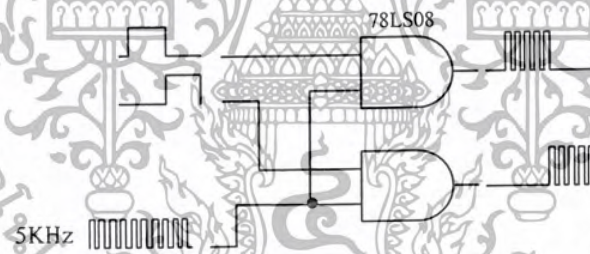
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการนำมาสร้างกราฟและมีการเปลี่ยนค่า($R_A + 2R_B$) ก็จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 3.6 ความถี่ในการ Oscilate จะหาได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ

3.5 ชุดรวมสัญญาณ

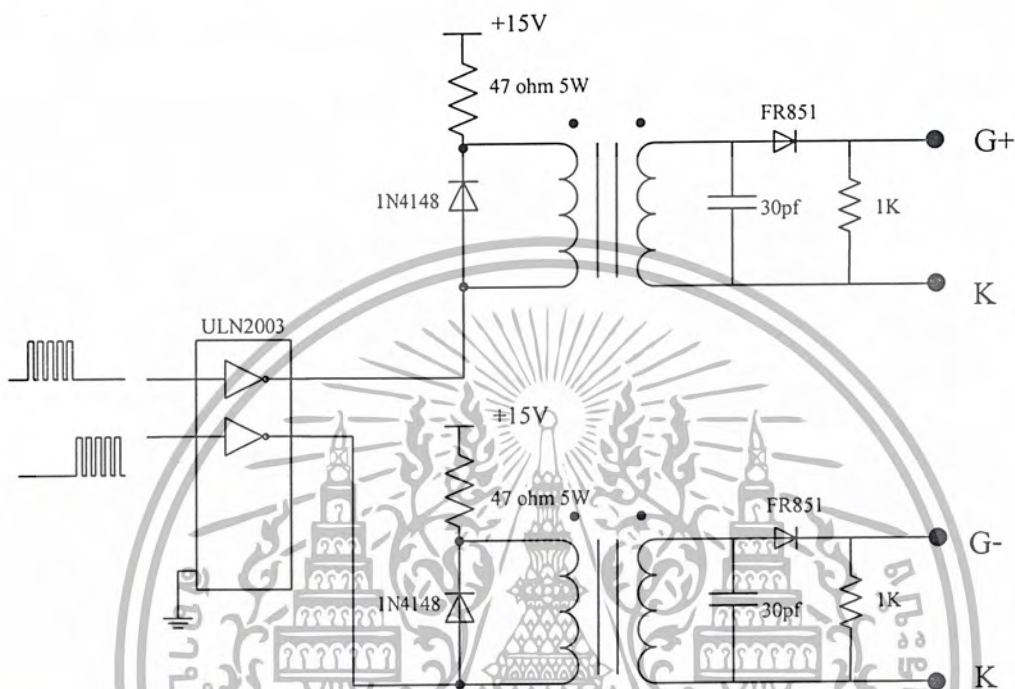


รูปที่ 3.7 ชุดรวมสัญญาณ

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟสัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์ธรรมดาไม่สามารถกระตุ้นให้ เอสซีอาร์ ทำงานนำกระแสได้ เนื่องจากสัญญาณกระตุ้นในช่วงลบหมดลงก่อนที่เอสซีอาร์ทำงานในครึ่งบวกหยุด นำกระแส ดังนั้นเอสซีอาร์ที่ทำงานในครึ่งลบจึงไม่นำกระแสจึงต้องใช้สัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์และสัญญาณที่ได้จากไอซี 555 จะถูกนำมาแอนด์กัน ซึ่งใช้ไอซี เบอร์ 78LS08

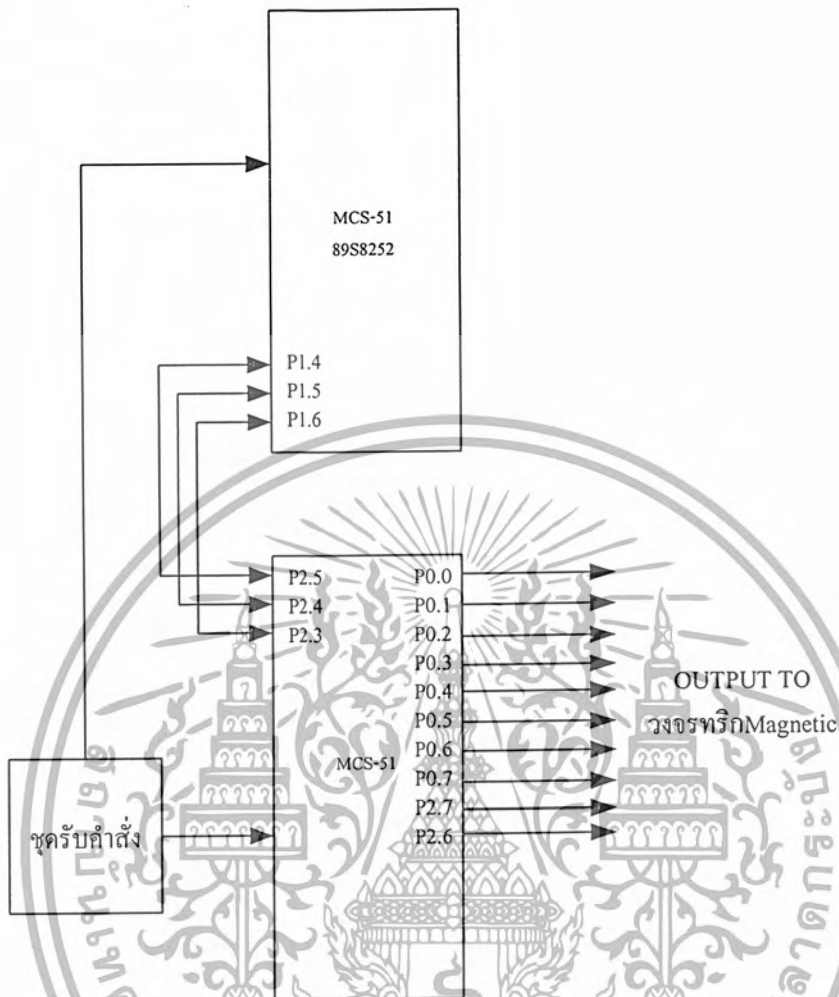
3.6 ชุดแยกกราวด์

สัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากเอาต์พุตของ IC ULN2003N ไม่ควรที่จะต่อโดยตรงกับวงจรกำลัง เพราะอาจทำให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเสียหายได้เมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาด ในที่นี้เราใช้ pulse transformer ทำหน้าที่แยกกราวด์(Isolate) ของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นกับวงจรกำลังออกจากกัน ในที่นี้ใช้ pulse transformer เบอร์ SKPT 25 ดังรูป



รูปที่ 3.8 ชุดแยกกราวด์

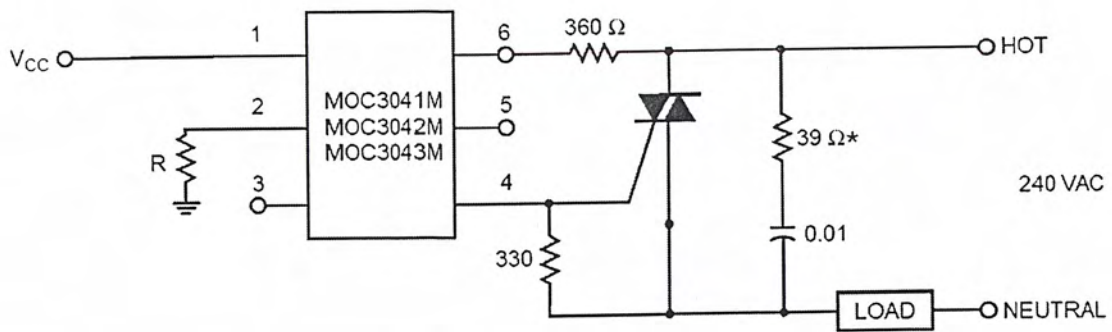
3.7 ชุดควบคุมแมกเนติกคอนแทคเตอร์



รูปที่ 3.9 ชุดควบคุมแมกเนติกคอนแทคเตอร์

ในชุดนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89C51 โดยจะควบคุมในส่วนของชุดขับแมกเนติกคอนแทคเตอร์จำนวน 10 ตัวออกทาง P0.0-P0.7 และ P2.6-P2.7 รวมทั้งหมด 10 bit และการแสดงผลจากจอ LCD พร้อมกับรับ input ในการเลือก % แรงดันที่พิกัดและเลือกเวลาในการ Start และ Stop ที่สำคัญจะต้องการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ AT89S8252 ที่ใช้สร้างสัญญาณทริก

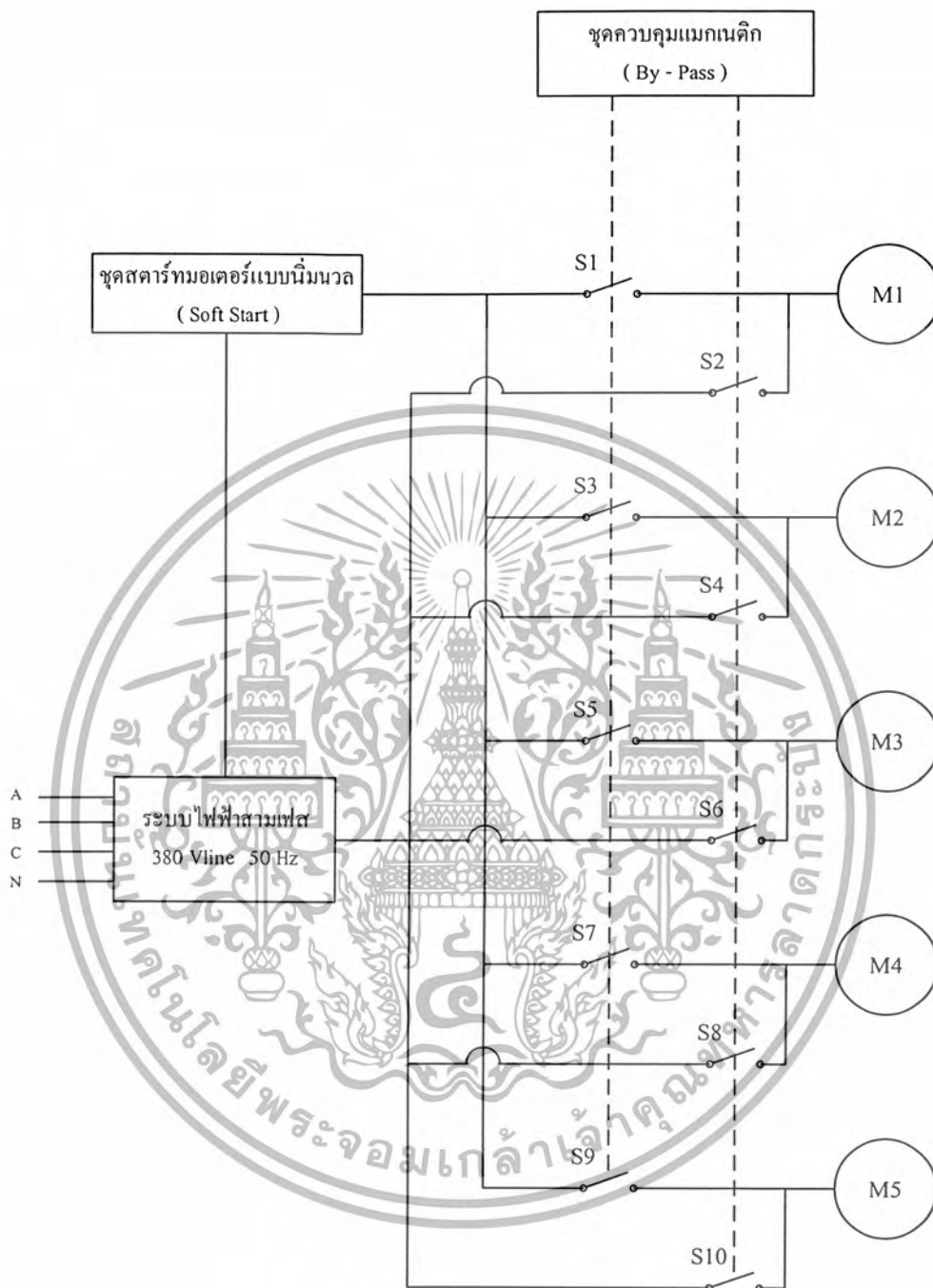
3.8 ชุดทรานซิสเตอร์แมกเนติกคอนแทคเตอร์



รูปที่ 3.10 ชุดทรานซิสเตอร์แมกเนติกคอนแทคเตอร์

เมื่อมีสัญญาณลอจิก 1 หรือสัญญาณบวกผ่านทางขา 1 ทำให้หลอด LED ในตัวของ MOC3041 ส่งสัญญาณให้กับหลอดตัวรับในตัวซึ่งหลอดรับนั้นไปต่อกับขดขงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์ในตัวและขา 6 รับสัญญาณ SINE ที่มีความถี่ 50 Hz มา ก็จะปล่อยสัญญาณทรานซิสเตอร์ให้กับไทแอกที่ต่ออยู่ภายนอกซึ่งออกทางขา 4 เพื่อทำให้ไทแอกไปขับแมกเนติกคอนแทคเตอร์ที่ต่อไว้

3.9 วงจรแมกเนติกคอนเทคเตอร์



รูปที่ 3.11 วงจรแมกเนติกคอนเทคเตอร์

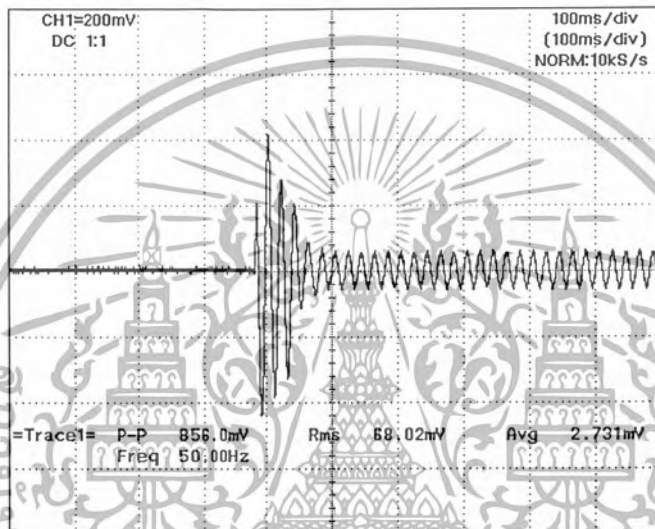
แมกเนติกคอนเทคเตอร์แต่ละตัวจะถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมแมกเนติกคอนเทคเตอร์ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งงาน โดยรับคำสั่งลำดับการทำงานจากชุดรับคำสั่ง แมกเนติก S1, S3, S5, S7 และ S9 จะต่อเข้ากับวงจรเอสซีอาร์เพื่อใช้ในการซอฟต์แวร์ และแมกเนติก S2, S4, S6, S8 และ S10 จะใช้ในการต่อไฟ 3 เฟสเข้าสู่มอเตอร์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

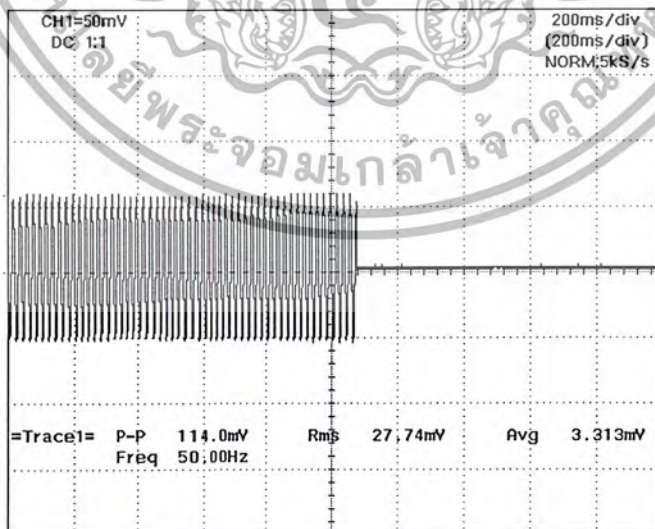
บทที่ 4 การทดลอง

ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนี้มีนวลมาทำการทดสอบกับมอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส Y/Δ 220/380 V, 8.91/5.16 A, 2.2 KW, 3 HP, PPM 1430, $\cos \theta = 0.85$

4.1 การสตาร์ทแบบป้อนแรงดันโดยตรง



รูปที่ 4.1 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีป้อนแรงดันไฟโดยตรง



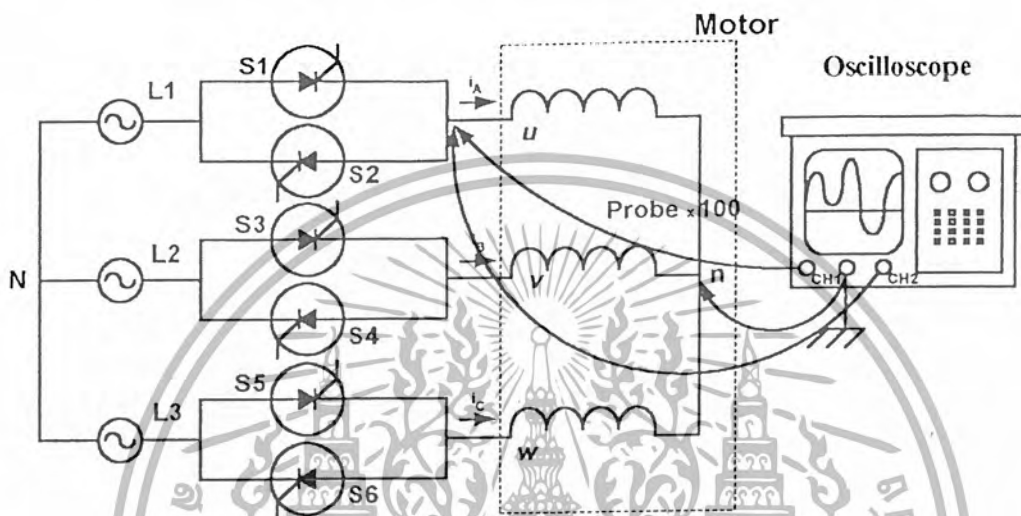
รูปที่ 4.2 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยไม่ใช้วิธีหยุดแบบมีนวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

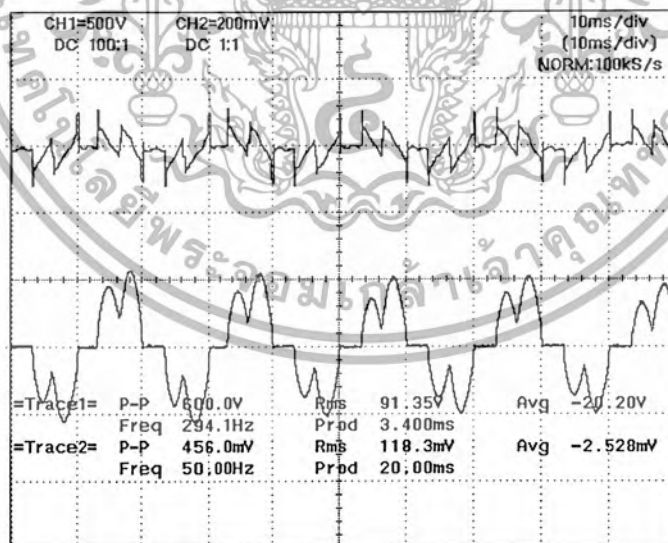
4.2 การสตาร์ทแบบนิ่มนวล

การสตาร์ทอินดักชันมอเตอร์ 3 เฟสแบบนิ่มนวลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์(MCS-51) ส่งสัญญาณพัลส์เพื่อเป็นการปรับมุมจุดชนวนทำให้เอสซีอาร์สามารถนำกระแสที่มุมต่าง และการป้อนค่าที่คีย์บอร์ดเป็นเปอร์เซ็นต์แรงดัน และเวลาในการสตาร์ท

เมื่อเรานำชุดสตาร์ทมาทดสอบโดยการต่อเข้ากับมอเตอร์ดังรูปที่ 4.4



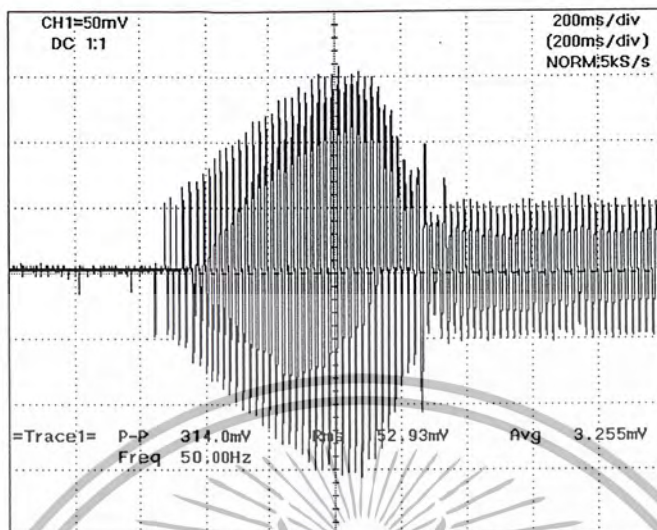
รูปที่ 4.3 การวัดกระแสและแรงดันของโพลมอเตอร์เหนี่ยวนำ



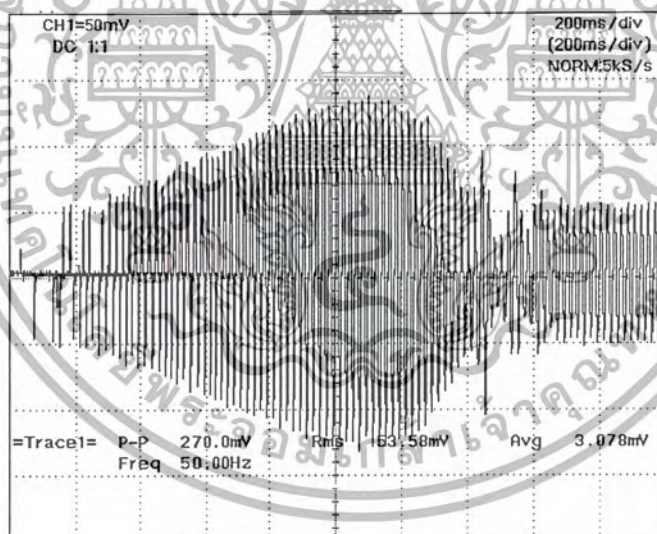
รูปที่ 4.4 รูปบนแรงดันเฟสของโพลมอเตอร์ที่ 10% แรงดันที่พิกัด
รูปล่างกระแสเฟสของโพลมอเตอร์ที่ 10% แรงดันที่พิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเป็น 10% แรงดันที่พิกัดและเวลาในการสตาร์ท 5 วินาที, 10 วินาที, 15 วินาทีและ 20 วินาที รูปกราฟกระแสในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เป็นดังรูปต่อไปนี้

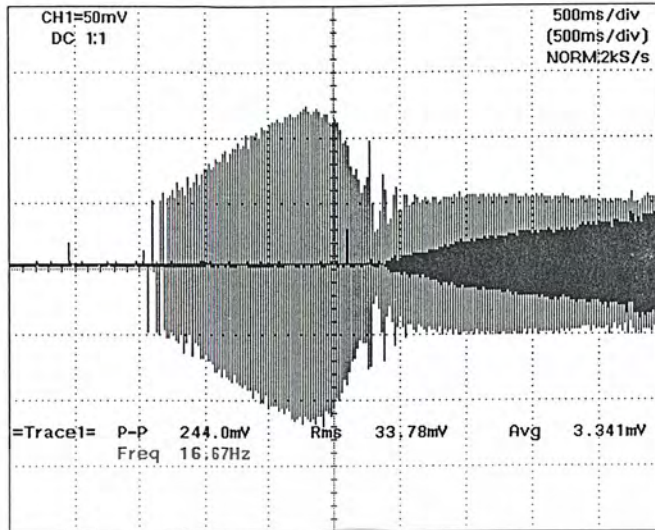


รูปที่ 4.5 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์ โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีแรงดันที่พิกัด 10 % แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที

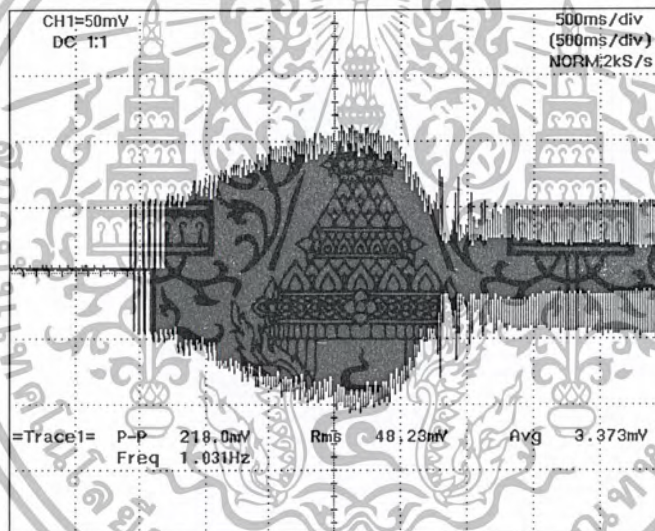


รูปที่ 4.6 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์ โดยวิธีสตาร์ทแบบนี้มีแรงดันที่พิกัด 10 % แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



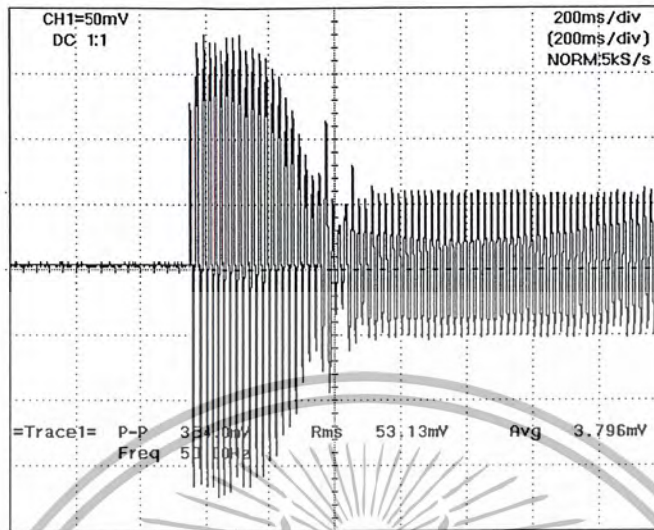
รูปที่ 4.7 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนิ่มนวลที่ 10 % แรงดันที่พิกัด
เวลาในการสตาร์ท 15 วินาที



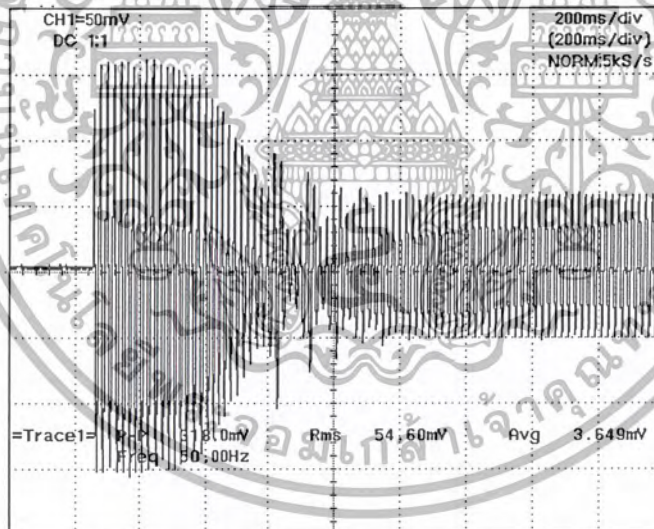
รูปที่ 4.8 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนิ่มนวลที่ 10 % แรงดันที่พิกัด
เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเป็น 50% แรงดันที่พิกัดและเวลาในการสตาร์ท 5 วินาที, 10 วินาที, 15 วินาที, 20 วินาที, 25 วินาที และ 30 วินาที รูปกราฟกระแสในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เป็นดังรูปต่อไปนี้

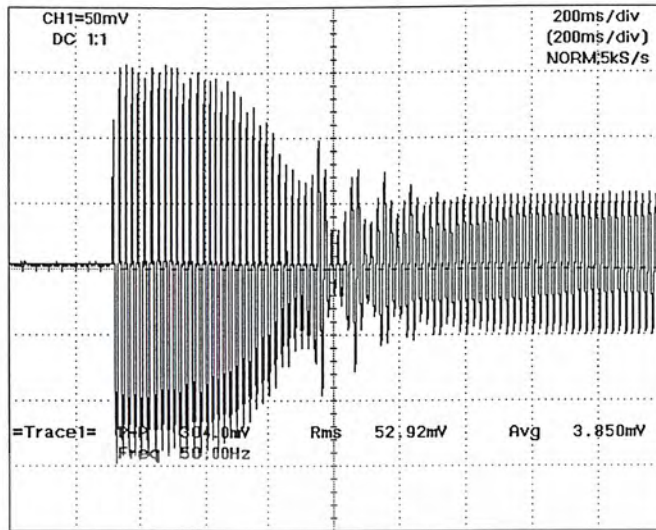


รูปที่ 4.9 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบมีมโนวลที่ 50 % แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 5 วินาที

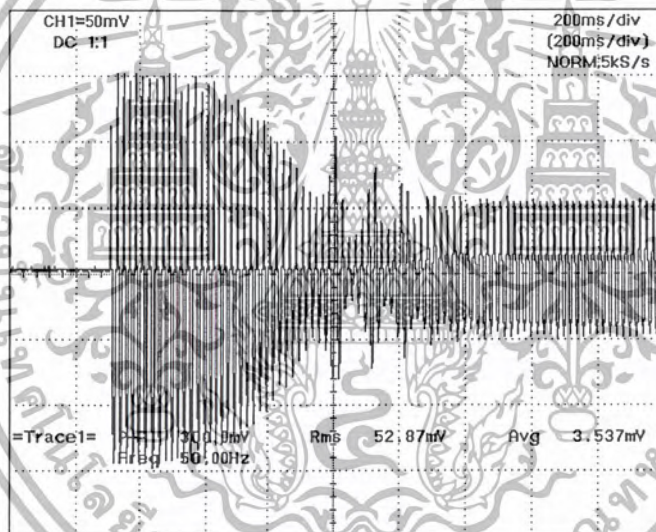


รูปที่ 4.10 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบมีมโนวลที่ 50 % แรงดันที่พิกัด เวลาในการสตาร์ท 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

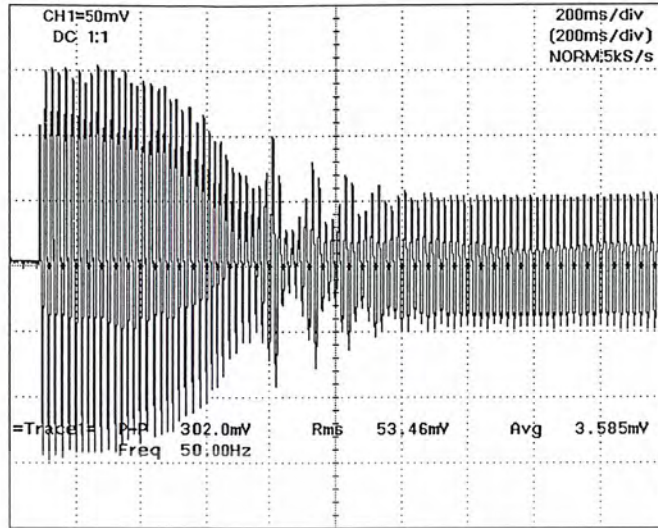


รูปที่ 4.11 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนิ่มนวลที่ 50 % แรงดันที่พิกัด
เวลาในการสตาร์ท 15 วินาที

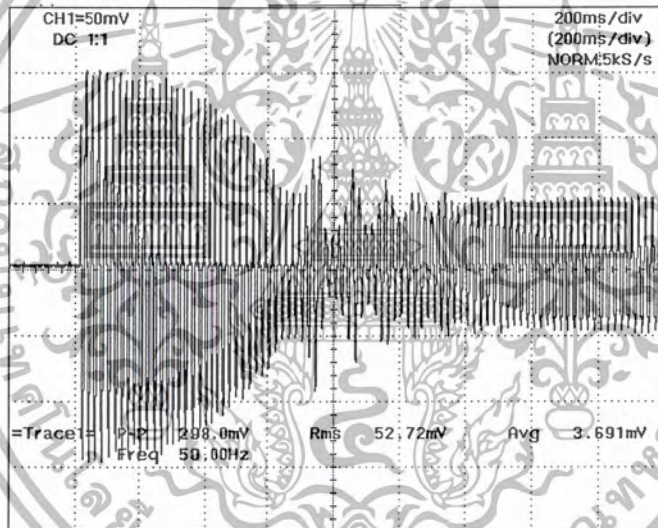


รูปที่ 4.12 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนิ่มนวลที่ 50 % แรงดันที่พิกัด
เวลาในการสตาร์ท 20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



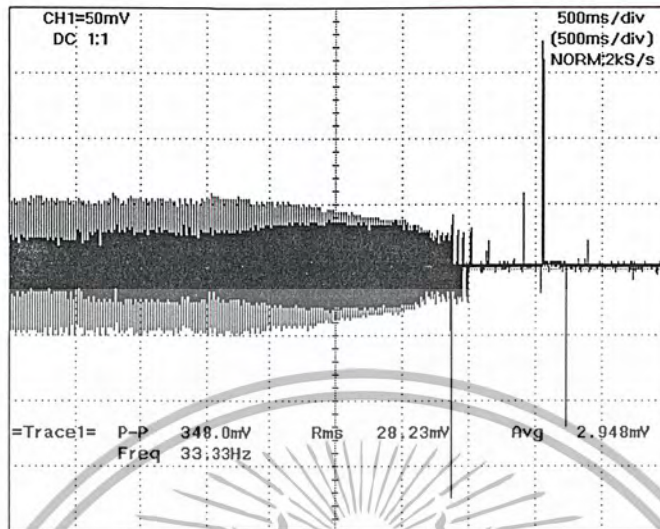
รูปที่ 4.13 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนิ่มนวลที่ 50 % แรงดันที่พิกัด
เวลาในการสตาร์ท 25 วินาที



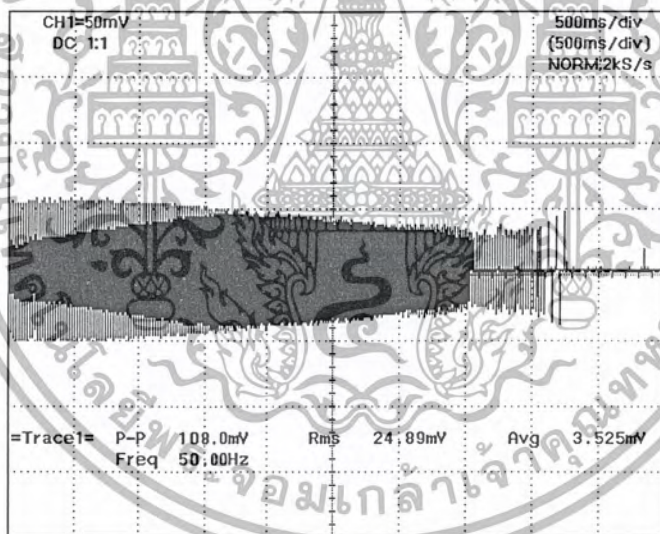
รูปที่ 4.14 กระแสเฟสในการสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีสตาร์ทแบบนิ่มนวลที่ 50 % แรงดันที่พิกัด
เวลาในการสตาร์ท 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการหยุดหมุนมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนิ่มนวลที่เวลา 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 40 วินาที, 50 วินาทีและ 60 วินาที

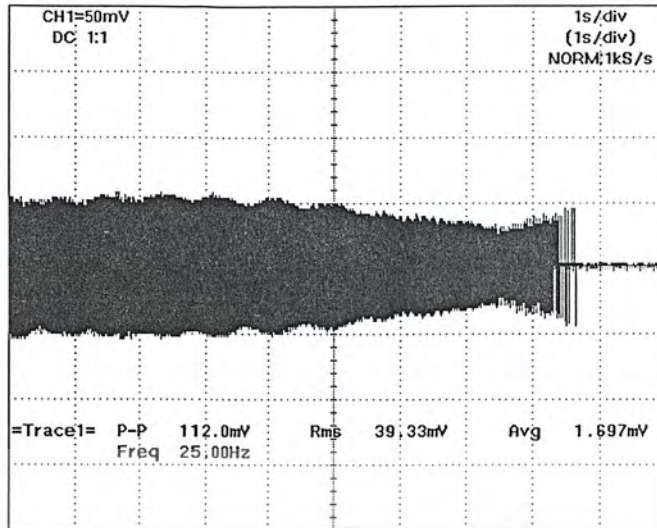


รูปที่ 4.15 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนิ่มนวล ที่เวลาในการหยุด 10 วินาที

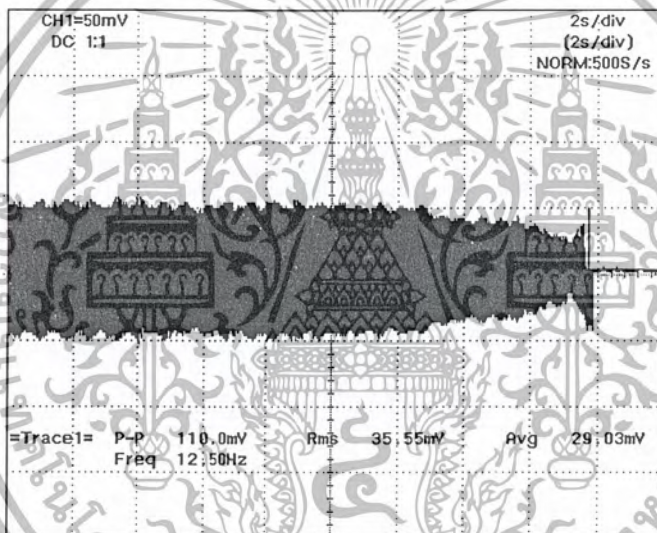


รูปที่ 4.16 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนิ่มนวลที่เวลาในการหยุด 20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

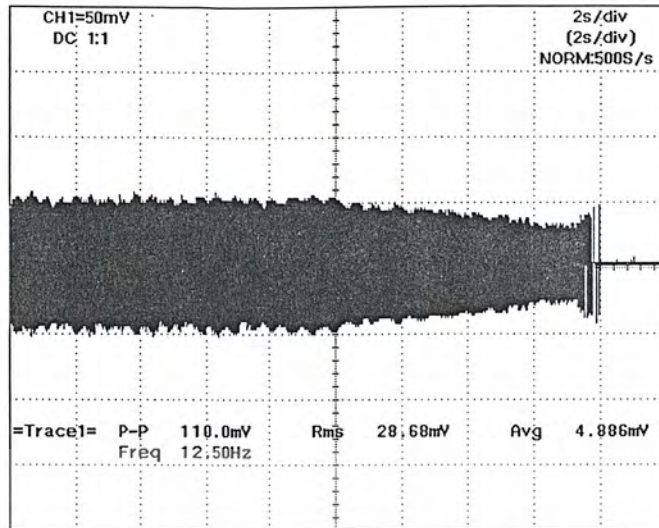


รูปที่ 4.17 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนับเวลาที่เวลาในการหยุด 30 วินาที

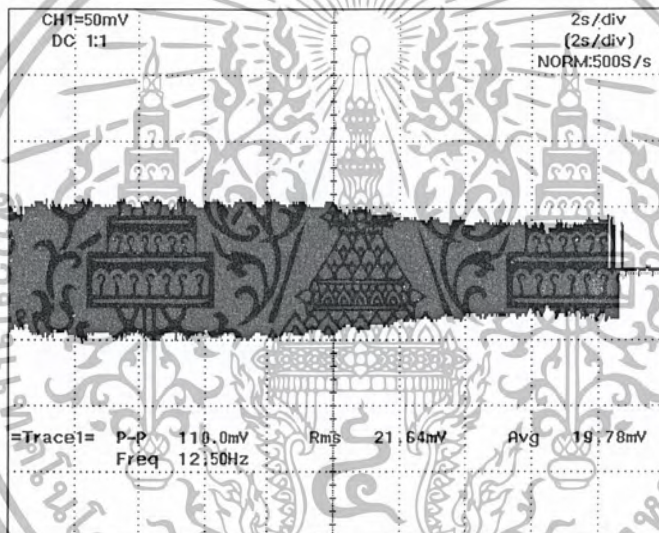


รูปที่ 4.18 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนับเวลาที่เวลาในการหยุด 40 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนุ่มนวลที่เวลาในการหยุด 50 วินาที



รูปที่ 4.20 กระแสเฟสในการหยุดมอเตอร์โดยวิธีหยุดแบบนุ่มนวลที่เวลาในการหยุด 60 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าจากการทดลองที่ทำการสารถในระยะเวลาต่างๆ นำมาเปรียบเทียบกันในตาราง

การสารถ มอเตอร์	% แรงดันที่พิกัด (โวลท์)	เวลาการทำงาน (วินาที)	กระแส	
			Peak(Amp)	Rms(Amp)
ป้อนแรงดันไฟ เต็มพิกัด	-	-	42.8	6.80
แบบนี้มวล	10	5	15.7	5.20
		10	13.5	5.35
		15	12.2	3.37
		20	10.9	4.82
	50	5	17.7	5.31
		10	15.9	5.46
		15	15.2	5.29
		20	15.0	5.28
		25	15.1	5.34
		30	14.9	5.27

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการสารถมอเตอร์แบบต่างๆ

การหยุดมอเตอร์	เวลาการทำงาน (วินาที)	กระแส	
		Peak(Amp)	Rms(Amp)
ไม่ใช้วิธีหยุดแบบ นี้มวล	-	5.7	2.77
หยุดแบบนี้มวล	10	5.5	2.82
	20	5.4	2.48
	30	5.6	3.93
	40	5.5	3.55
	50	5.5	2.86
	60	5.5	2.16

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการหยุดมอเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสตาร์ทอินดักชั่นมอเตอร์ 3 เฟส โดยชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบนิ่มนวล (3 Phase Induction Motor Soft Starter) จะพบว่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากที่ได้ตั้งค่าไว้ จนถึงแรงดันที่พิกัด และความเร็วรอบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงพิกัด และกระแสจะค่อยๆ เพิ่มจนถึงกระแสสูงสุดและจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเข้าสู่ภาวะคงตัว เมื่อเทียบกับการสตาร์ทอินดักชั่นมอเตอร์โดยตรง

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าตั้งค่าเปอร์เซ็นต์แรงดัน และตั้งค่าเวลาในการสตาร์ท ถ้าเราตั้งค่าเวลาในการสตาร์ทมอเตอร์ให้ช้า กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์ก็จะมีค่าที่น้อย ถ้าเราตั้งค่าเวลาในการสตาร์ทมอเตอร์ให้เร็ว กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์ก็จะมีค่าที่มาก

ข้อดีของการสตาร์ทมอเตอร์ แบบนิ่มนวลนี้ คือลดกระแสขณะสตาร์ทซึ่งทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์

ในโครงการนี้ได้ใช้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมแมกเนติกที่ใช้ในการต่อวงจรสตาร์ทมอเตอร์อย่างนิ่มนวลเข้าสู่มอเตอร์ ซึ่งทำให้สามารถใช้วงจรสตาร์ทมอเตอร์อย่างนิ่มนวลนี้ต่อเข้ากับมอเตอร์ 5 ตัว โดยการสตาร์ทมอเตอร์ที่ละตัวแล้วค่อยต่อไฟตรงเข้ากับแมกเนติก เมื่อหมุนได้ความเร็วรอบที่ต้องการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างสัญญาณจุดชนวนของ SCR ในที่นี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างสัญญาณพัลส์ SCR ซึ่งในการใช้ไมโครสร้างพัลส์นั้นไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ ค่าที่ได้จากการที่ส่งสัญญาณเป็น ดิจิตอล มุมในการทริกซ์จึงไม่คอยละเอียด ระดับการลดมุมในการทริกซ์จาก 180 องศา ถึง 0 องศา จำทำให้แรงดันที่ได้จากเอสซีอาร์เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันได และจากการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมทั้งหมด ไมโครเกิดอาการรวนบ่อย เนื่องจากการป้อนโปรแกรมหลาย ๆ ครั้ง จึงควรเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม เช่น PIC เป็นตัวควบคุมเพราะว่าภายในตัวมีสัญญาณ Clock มีเอาต์พุตที่มากกว่า และมีเสถียรภาพที่ดีกว่า

โครงการนี้เราควบคุมเฉพาะแรงดัน ซึ่งเมื่อเราลดแรงดันความเร็วรอบก็จะลดลงด้วย ซึ่งไม่ได้ไปควบคุมแรงบิดกระแส ดังนั้นเราควรควบคุมแรงบิดและกระแสด้วย

การทำให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเราควรมีชุด Feed Back เพื่อส่งค่ากลับเข้ามาที่ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปใช้ในการประมวลผลอีกรอบการเลือกการใช้งานที่พิกัดโหลดต่างๆ ควรคำนึงถึงค่าพิกัดของกระแสเอสซีอาร์และของมอเตอร์ด้วย

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

ถ้าหากแรงดันที่จ่ายให้ชุดจับสัญญาณคลื่น (Zero Crossing) เฟสใดเฟสหนึ่งเกิดหายไปจะทำให้ฮอปแอมในเฟสนั้นเสียหายได้ ซึ่งควรวัดแรงดันแต่ละเฟสก่อนทำการทดลอง ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมวงจรในการทำงานทั้งหมด ภายในตัวโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีคำสั่งที่ใช้หลายอย่างจึงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดอาการรวนได้

สำหรับเรื่องซอฟต์แวร์ ไม่สามารถทราบขนาดโหลดที่จะนำไปกำหนดค่าแรงดันและเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสมได้ อีกทั้งเราไม่สามารถวัดแรงบิดขณะสตาร์ทจนถึงพิกัดได้





ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งาน ชุดสตาร์ทมอเตอร์ แบบนี้มันวอลสำหรับมอเตอร์ หลายตัวแบบ โปรแกรมได้
เมื่อนำจอ LCD แสดง SELECT MOTOR START/STOP

1. ให้ทำการเลือกมอเตอร์ที่จะทำการ START หรือ STOP โดยกดหมายเลขที่ต้องการ
2. เลือก % VOLTAGE และเวลาให้การ START ในกรณีที่ต้องการ START
3. เลือกเวลาในการ STOP ในกรณีที่ต้องการ STOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ljmp next_step

```
select_mode:  lcall    DELAY_1s
              lcall    DELAY_1s
              lcall    DELAY_1s
              lcall    DELAY_1s
              lcall    DELAY_1s
              lcall    rrr_mode
```

```
next_step:   setb    push_m1
              setb    push_m2
              setb    push_m3
              setb    push_m4
              setb    push_m5
              setb    up
              setb    down
              setb    enter
              setb    cancle
              setb    send
              setb    rrr
```

```
select_mode_a:  jnb    push_m1,mode_m1x
                jnb    push_m2,mode_m2x
                jnb    push_m3,mode_m3x
                jnb    push_m4,mode_m4x
                jnb    push_m5,mode_m5x
                sjmp   select_mode_a
```

```
mode_m1x:     ljmp    mode_m1
mode_m2x:     ljmp    mode_m2
mode_m3x:     ljmp    mode_m3
mode_m4x:     ljmp    mode_m4
mode_m5x:     ljmp    mode_m5
```

```
mode_m1:      lcall    trb
              jnb    push_m1,$
              lcall    trb
              mov     a,51h
              cjne   a,#00h,mode_m1_stop
```

```
              mov     r5,#11h
              ljmp   start_voltage_1
```

```
m1_start:     ljmp    plus_start
```

```
goto_m1_start:  mov     r5,#00h
                mov     51h,#11h
                ljmp   select_mode
```

```
mode_m1_stop:  mov     r5,#11h
                ljmp   stop_main_lcd1
```

```
goto_m1_stop_lcd:  ljmp   plus_stop
```

```
goto_m1_stop:   mov     r5,#00h
                mov     51h,#00h
                ljmp   select_mode
```

```
mode_m2:      lcall    trb
              jnb    push_m2,$
              lcall    trb
              mov     a,52h
              cjne   a,#00,mode_m2_stop
```

```
              mov     r5,#22h
              ljmp   start_voltage_1
```

```
m2_start:     ljmp    plus_start
```

```
goto_m2_start:  mov     r5,#00h
                mov     52h,#22h
                ljmp   select_mode
```

```
mode_m2_stop:  mov     r5,#22h
                ljmp   stop_main_lcd1
```

```
goto_m2_stop_lcd:  ljmp   plus_stop
```

```
goto_m2_stop:   mov     r5,#00h
                mov     52h,#00h
                ljmp   select_mode
```

; เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

mode_m3: lcall trb ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
              jnb    push_m3,$
```

```
              lcall    trb
```

```
              mov     a,53h
```

```
              cjne   a,#00,mode_m3_stop
```

```

mov r5,#33h
ljmp start_voltage_1
m3_start: ljmp plus_start
goto_m3_start: mov r5,#00h
mov 53h,#33h
ljmp select_mode
mode_m3_stop: mov r5,#33h
ljmp stop_main_lcd1
goto_m3_stop_lcd: ljmp plus_stop
goto_m3_stop: mov r5,#00h
mov 53h,#00h
ljmp select_mode

```

;------

```

mode_m4: lcall trb
jnb push_m4,$
lcall trb
mov a,54h
cjne a,#00h,mode_m4_stop
mov r5,#44h
ljmp start_voltage_1
m4_start: ljmp plus_start
goto_m4_start: mov r5,#00h
mov 54h,#44h
ljmp select_mode
mode_m4_stop: mov r5,#44h
ljmp stop_main_lcd1
goto_m4_stop_lcd: ljmp plus_stop
goto_m4_stop: mov r5,#00h
mov 54h,#00h
ljmp select_mode

```

;------

```

mode_m5: lcall trb
jnb push_m5,$
lcall trb
mov a,55h
cjne a,#00h,mode_m5_stop
mov r5,#55h
ljmp start_voltage_1
m5_start: ljmp plus_start
goto_m5_start: mov r5,#00h
mov 55h,#55h
ljmp select_mode
mode_m5_stop: mov r5,#55h
ljmp stop_main_lcd1
goto_m5_stop_lcd: ljmp plus_stop
goto_m5_stop: mov r5,#00h
mov 55h,#00h
ljmp select_mode

```

;------ir_timer-----

```

timer0: jnb ph1,ph1_2 ;t0
jb ph1,ph1_1
ph1_1: setb scr1
sjmp come_ph1
ph1_2: setb scr2
come_ph1: reti
timer1: jnb ph2,ph2_2 ;t1
jb ph2,ph2_1
ph2_1: setb scr3
sjmp come_ph2
ph2_2: setb scr4
come_ph2: reti
timer2: jnb ph3,ph3_2 ;t2
jb ph3,ph3_1
ph3_1: setb scr5
sjmp come_ph3
ph3_2: setb scr6
come_ph3: reti

```

;เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

plus_start: ทั้งสิ้น lcall trb mode

```

setb p1.1
setb p1.2
setb p1.3
inb ph1,$

```

```

jb      ph1,$
jnb     ph2,$
jb      ph2,$
jnb     ph3,$
jb      ph3,$
mov     tmod,#11h
mov     t2con,#00h
mov     th0,30h
mov     t10,#00h
mov     th1,30h
mov     t11,#00h
mov     th2,30h
mov     t12,#00h
mov     ie,#10101010b
clr     tf0
clr     tf1
clr     t2con.7
mov     31h,#00h
mov     r1,#00h
mov     p2,#00h
lcall  send_mode
;-----check_sq1-----
sq_loop1:
jb      ph1,$
jnb     ph1,$
jb      ph2,cba1
jb      ph3,abc1
sjmp   sq_loop1
abc1:   ljmp   sq_abc_loop1
cba1:   ljmp   sq_cba_loop1
;-----sq_abc1-----
sq_abc_loop1:
jnb     ph1,$
jb      ph1,$
jnb     ph1,$ ;ph1_1
setb   tr0
clr     scr2
jb      ph3,$ ;ph3_2
setb   t2con.2
clr     scr5
jnb     ph2,$ ;ph2_1
setb   tr1
clr     scr4
jb      ph1,$ ;ph1_2
setb   tr0
clr     scr1
jnb     ph3,$ ;ph3_1
setb   t2con.2
clr     scr6
jb      ph2,$ ;ph2_2
setb   tr1
clr     scr3
;-----loop_time_abc1-----
inc     r1
mov     a,r1
cjne   a,32h,loop_abc1
mov     r1,#00h
mov     a,31h
add    a,#28h
mov     31h,a
cjne   a,#0f0h,loop_abc1
mov     31h,#00h
inc     30h
mov     a,30h
cjne   a,#0ffh,loop_abc1
mov     p2,#00111111b
clr     tr0
clr     tr1
clr     t2con.2
clr     tf0
clr     tf1
clr     t2con.6
ljmp   goto_ting
loop_abc1:
ljmp   sq_abc1
;-----sq_cba1-----
sq_cba_loop1:
jnb     ph1,$
jb      ph1,$ ;ph1_1
jnb     ph1,$ ;ph1_1
setb   tr0
clr     scr2
jb      ph2,$ ;ph2_2
setb   tr1
clr     scr3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆทั้งสิ้น อื่นๆที่มีโทษปรับและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

jnb ph3,$ ;ph3_1
setb t2con.2
clr scr6
jb ph1,$ ;ph1_2
setb tr0
clr scr1
jnb ph2,$ ;ph2_1
setb tr1
clr scr4
jb ph3,$ ;ph3_2
setb t2con.2
clr scr5
;-----loop_time_cba1-----
inc r1
mov a,r1
cjne a,32h,loop_cba1
mov r1,#00h
mov a,31h
add a,#28h
mov 31h,a
cjne a,#0f0h,loop_cba1
mov 31h,#00h
inc 30h
mov a,30h
cjne a,#0ffh,loop_cba1
mov p2,#00111111b
clr tr0
clr tr1
clr t2con.2
clr tf0
clr tf1
clr t2con.6
ljmp goto_ting
loop_cba1:
goto_ting:
lcall send_mode
lcall rrr_mode
mov p2,#00h
cjne r5,#11h,zz1
setb push_m1
ljmp goto_m1_start
zz1:
cjne r5,#22h,zz2
setb push_m2
ljmp goto_m2_start
zz2:
cjne r5,#33h,zz3
setb push_m3
ljmp goto_m3_start
zz3:
cjne r5,#44h,zz4
setb push_m4
ljmp goto_m4_start
zz4:
setb push_m5
ljmp goto_m5_start
;-----
plus_stop:
lcall send_mode
mov tmod,#11h
mov t2con,#00h
mov th0,#0ffh
mov t10,#0f0h
mov th1,#0ffh
mov t11,#0f0h
mov th2,#0ffh
mov t12,#0f0h
mov ie,#10101010b
clr tf0
clr tf1
clr t2con.7
mov 30h,#0ffh
mov 31h,#0f0h
mov r1,#00h
lcall rrr_mode
mov p2,#00111111b
setb p1.1
setb p1.2
setb p1.3
lcall delay_100ms
lcall send_mode
lcall rrr_mode
;-----check_sq2-----
jb ph1,$
jnb ph1,$
jb ph2, cba2
sq_loop2:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยินดีขอโทษและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                jb      ph3,abc2
                sjmp    sq_loop2
abc2:           ljmp    sq_abc_loop2
cba2:           ljmp    sq_cba_loop2
;-----sq_abc2-----
sq_abc_loop2:  jnb     ph1,$
                jb     ph1,$
sq_abc2:       jnb     ph1,$      ;ph1_1
                setb   tr0
                clr    scr2
                jb     ph3,$      ;ph3_2
                setb   t2con.2
                clr    scr5
                jnb    ph2,$      ;ph2_1
                setb   tr1
                clr    scr4
                jb     ph1,$      ;ph1_2
                setb   tr0
                clr    scr1
                jnb    ph3,$      ;ph3_1
                setb   t2con.2
                clr    t2con.7
                clr    scr6
                jb     ph2,$      ;ph2_2
                setb   tr1
                clr    scr3
;-----loop_time_abc2-----
                inc    r1
                mov    a,r1
                cjne   a,32h,loop_abc2
                mov    r1,#00h
                mov    a,31h
                subb   a,#28h
                mov    31h,a
                cjne   a,#00h,loop_abc2
                mov    31h,#0f0h
                dec    30h
                mov    a,30h
                cjne   a,#0dch,loop_abc2
                mov    p2,#C0h
                clr    tr0
                clr    tr1
                clr    t2con.2
                clr    tf0
                clr    tf1
                clr    t2con.6
                ljmp   goto_lert
                ljmp   sq_abc2
loop_abc2:
;-----sq_cba2-----
sq_cba_loop2:  jnb     ph1,$
                jb     ph1,$
sq_cba2:       jnb     ph1,$      ;ph1_1
                setb   tr0
                clr    scr2
                jb     ph2,$      ;ph2_2
                setb   tr1
                clr    scr3
                jnb    ph3,$      ;ph3_1
                setb   t2con.2
                clr    scr6
                jb     ph1,$      ;ph1_2
                setb   tr0
                clr    scr1
                jnb    ph2,$      ;ph2_1
                setb   tr1
                clr    scr4
                jb     ph3,$      ;ph3_2
                setb   t2con.2
                clr    scr5
;-----loop_time_cba2-----
                inc    r1
                mov    a,r1
                cjne   a,32h,loop_cba2
                mov    r1,#00h
                mov    a,31h
                subb   a,#28h
                mov    31h,a
                cjne   a,#00h,loop_cba2
                mov    31h,#0f0h
                dec    30h
                mov    a,30h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cjne a,#0dch,loop_cba2
mov p2,#00h
clr tr0
clr tr1
clr t2con.2
clr tf0
clr tf1
clr t2con.6
ljmp goto_lert
loop_cba2:
ljmp sq_cba2
goto_lert:
lcall send_mode
zz55:
cjne r5,#11h,zz11
setb push_m1
ljmp goto_m1_stop
zz11:
cjne r5,#22h,zz22
setb push_m2
ljmp goto_m2_stop
zz22:
cjne r5,#33h,zz33
setb push_m3
ljmp goto_m3_stop
zz33:
cjne r5,#44h,zz44
setb push_m4
ljmp goto_m4_stop
zz44:
cjne r5,#55h,zz55
setb push_m5
ljmp goto_m5_stop

```

```

;-----
send_mode: clr send
           jnb rrr,$
           lcall delay_1ms
           setb send
           jnb rrr,$
           ret

```

```

rrr_mode: jnb rrr,$
          lcall delay_1ms
          clr send
          jnb rrr,$
          lcall delay_1ms
          setb send
          ret

```

```

;-----voltage-----

```

```

start_lcdV_up1: lcall trb
                jnb up,$
                lcall trb
start_voltage_1: mov 30h,#0dfh
loop_start_lcdV_a1: jnb down,start_lcdV_down5
                  jnb cancle,start_lcdV_next_step
                  jnb enter,time_start10_a
                  sjmp loop_start_lcdV_a1

```

```

start_lcdV_down5: lcall trb
                  jnb down,$
                  lcall trb
start_voltage_5: mov 30h,#0ebh
loop_start_lcdV_a5: jnb up,start_lcdV_up1
                   jnb cancle,start_lcdV_next_step
                   jnb enter,time_start50_a
                   sjmp loop_start_lcdV_a5

```

```

start_lcdV_next_step: lcall trb
                      jnb cancle,$
                      lcall trb
                      ljmp next_step

```

```

time_start10_a: lcall trb
                jnb enter,$
                lcall trb
                ljmp time_start_10

```

```

time_start50_a: lcall trb
                jnb enter,$
                lcall trb
                ljmp time_start_50

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อตกลงว่าจ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----time_voltage10-----

```

```

start_time10_up1:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
time_start_10:     mov     32h,#01h
loop_start10_lcd_a1: jnb     down,start_time10_down1
                   jnb     cancle,start_back_time10_a
                   jnb     enter,start_enter_time10_a
                   sjmp    loop_start10_lcd_a1

start_time10_up2:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time10_2
start_time10_down1: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
start_time10_2:     mov     32h,#02h
loop_start10_lcd_a2: jnb     up,start_time10_up1
                   jnb     down,start_time10_down2
                   jnb     cancle,start_back_time10_a
                   jnb     enter,start_enter_time10_a
                   sjmp    loop_start10_lcd_a2

start_back_time10_a: lcall   trb
                   jnb     cancle,$
                   lcall   trb
                   ljmp    start_voltage_1
start_enter_time10_a: ljmp    start_enter_time10

start_time10_up3:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time10_3
start_time10_down2: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
start_time10_3:     mov     32h,#03h
loop_start10_lcd_a3: jnb     up,start_time10_up2
                   jnb     down,start_time10_down3
                   jnb     cancle,start_back_time10_a
                   jnb     enter,start_enter_time10
                   sjmp    loop_start10_lcd_a3

start_time10_down3: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
                   mov     32h,#05h
loop_start10_lcd_a4: jnb     up,start_time10_up3
                   jnb     cancle,start_back_time10_a
                   jnb     enter,start_enter_time10
                   sjmp    loop_start10_lcd_a4

start_enter_time10: lcall   trb
                   jnb     enter,$
                   lcall   trb
                   cjne   r5,#11h,cc1
                   ljmp   m1_start
cc1:                cjne   r5,#22h,cc2
                   ljmp   m2_start
cc2:                cjne   r5,#33h,cc3
                   ljmp   m3_start
cc3:                cjne   r5,#44h,cc4
                   ljmp   m4_start
cc4:                ljmp   m5_start

```

;------time_voltage50-----;

```

start_time50_up1:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
time_start_50:     mov     32h,#02h
loop_start50_lcd_a1: jnb     down,start_time50_down1
                   jnb     cancle,start_back_time50_a
                   jnb     enter,start_enter_time50_a
                   sjmp    loop_start50_lcd_a1

start_time50_up2:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time50_2
start_time50_down1: lcall   trb

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แม้ว่ากรณีใดๆ ที่สแกน อีกทั้งขอเชิญให้ตัดแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

jnb down,$
lcall trb
start_time50_2: mov 32h,#04h
loop_start50_lcd_a2: jnb down,start_time50_down2
jnb up,start_time50_up1
jnb cangle,start_back_time50_a
jnb enter,start_enter_time50_a
sjmp loop_start50_lcd_a2

```

```

start_back_time50_a: lcall trb
jnb cangle,$
lcall trb
ljmp start_voltage_5
start_enter_time50_a: ljmp start_enter_time50

```

```

start_time50_up3: lcall trb
jnb up,$
lcall trb
sjmp start_time50_3

```

```

start_time50_down2: lcall trb
jnb down,$
lcall trb

```

```

start_time50_3: mov 32h,#06h
loop_start50_lcd_a3: jnb up,start_time50_up2
jnb down,start_time50_down3
jnb cangle,start_back_time50_a
jnb enter,start_enter_time50_a
sjmp loop_start50_lcd_a3

```

```

start_time50_up4: lcall trb
jnb up,$
lcall trb
sjmp start_time50_4

```

```

start_time50_down3: lcall trb
jnb down,$
lcall trb

```

```

start_time50_4: mov 32h,#08h
loop_start50_lcd_a4: jnb up,start_time50_up3
jnb down,start_time50_down4
jnb cangle,start_back_time50_a
jnb enter,start_enter_time50_a
sjmp loop_start50_lcd_a4

```

```

start_time50_up5: lcall trb
jnb up,$
lcall trb
sjmp start_time50_5

```

```

start_time50_down4: lcall trb
jnb down,$
lcall trb

```

```

start_time50_5: mov 32h,#0ah
loop_start50_lcd_a5: jnb up,start_time50_up4
jnb down,start_time50_down5
jnb cangle,start_back_time50
jnb enter,start_enter_time50
sjmp loop_start50_lcd_a5

```

```

start_time50_down5: lcall trb
jnb down,$
lcall trb
mov 32h,#0ch

```

```

loop_start50_lcd_a6: jnb up,start_time50_up5
jnb cangle,start_back_time50
jnb enter,start_enter_time50
sjmp loop_start50_lcd_a6

```

```

start_back_time50: lcall trb
jnb cangle,$
lcall trb
ljmp start_voltage_5

```

```

start_enter_time50: lcall trb
jnb enter,$
lcall trb

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อหรือแก้ไขใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ee1: cjne r5,#11h,ee1
ljmp m1_start

```

```

ee2: cjne r5,#22h,ee2
ljmp m2_start

```

```

ee3: cjne r5,#33h,ee3
ljmp m3_start

```

```

ee3: cjne r5,#44h,ee4

```

```

                ljmp m4_start
ee4:            ljmp m5_start

;-----Time_stop-----

stop_lcd_up1:  lcall trb
               jnb up,$
               lcall trb
stop_main_lcd1: mov 32h,#02h
loop_stop_lcd_a1: jnb down,stop_lcd_down1
                jnb cangle,stop_lcd_next_step
                jnb enter,stop_lcd_goto_stop
                sjmp loop_stop_lcd_a1

stop_lcd_up2:  lcall trb
               jnb up,$
               lcall trb
               sjmp stop_main_lcd2
stop_lcd_down1: lcall trb
                jnb down,$
                lcall trb
stop_main_lcd2: mov 32h,#04h
loop_stop_lcd_a2: jnb up,stop_lcd_up1
                jnb down,stop_lcd_down2
                jnb cangle,stop_lcd_next_step
                jnb enter,stop_lcd_goto_stop
                sjmp loop_stop_lcd_a2

stop_lcd_next_step: ljmp stop_lcd_next_step1
stop_lcd_goto_stop: ljmp stop_lcd_goto_stop1

stop_lcd_up3:  lcall trb
               jnb up,$
               lcall trb
               sjmp stop_main_lcd3
stop_lcd_down2: lcall trb
                jnb down,$
                lcall trb
stop_main_lcd3: mov 32h,#06h
loop_stop_lcd_a3: jnb up,stop_lcd_up2
                jnb down,stop_lcd_down3
                jnb cangle,stop_lcd_next_step
                jnb enter,stop_lcd_goto_stop
                sjmp loop_stop_lcd_a3

stop_lcd_up4:  lcall trb
               jnb up,$
               lcall trb
               sjmp stop_main_lcd4
stop_lcd_down3: lcall trb
                jnb down,$
                lcall trb
stop_main_lcd4: mov 32h,#08h
loop_stop_lcd_a4: jnb up,stop_lcd_up3
                jnb down,stop_lcd_down4
                jnb cangle,stop_lcd_next_step
                jnb enter,stop_lcd_goto_stop
                sjmp loop_stop_lcd_a4

stop_lcd_up5:  lcall trb
               jnb up,$
               lcall trb
               sjmp stop_main_lcd5
stop_lcd_down4: lcall trb
                jnb down,$
                lcall trb
stop_main_lcd5: mov 32h,#0ah
loop_stop_lcd_a5: jnb up,stop_lcd_up4
                jnb down,stop_lcd_down5
                jnb cangle,stop_lcd_next_step1
                jnb enter,stop_lcd_goto_stop1
                sjmp loop_stop_lcd_a5

stop_lcd_down5: lcall trb
                jnb down,$
                lcall trb
stop_main_lcd6: mov 32h,#0ch
loop_stop_lcd_a6: jnb up,stop_lcd_up5
                jnb cangle,stop_lcd_next_step1
                jnb enter,stop_lcd_goto_stop1
                sjmp loop_stop_lcd_a6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```

stop_lcd_next_step1:   lcall   trb
                      jnb     cancle,$
                      lcall   trb
                      ljmp    next_step
stop_lcd_goto_stop1:  lcall   trb
                      jnb     enter,$
                      lcall   trb
                      cjne   r5,#11h,aa1
                      ljmp    goto_m1_stop_lcd
aa1:                  cjne   r5,#22h,aa2
                      ljmp    goto_m2_stop_lcd
aa2:                  cjne   r5,#33h,aa3
                      ljmp    goto_m3_stop_lcd
aa3:                  cjne   r5,#44h,aa4
                      ljmp    goto_m4_stop_lcd
aa4:                  ljmp    goto_m5_stop_lcd

```

;------delay-----;

```

trb:      mov     r6,#25
oo3:      mov     r7,#0f9h
mm3:      nop
          nop
          djnz   r7,mm3
          djnz   r6,oo3
          ret
delay_100ms:  mov     r6,#100
oo:        mov     r7,#0f9h
mm:        nop
          nop
          djnz   r7,mm
          djnz   r6,oo
          ret
delay_1mS:   mov     r7,#0f9h
mm1:       nop
          nop
          djnz   r7,mm1
          ret
delay_250ms:  mov     r6,#250
oo2:       mov     r7,#0f9h
mm2:       nop
          nop
          djnz   r7,mm2
          djnz   r6,oo2
          ret
DELAY_10ms:   MOV     R7,#010      ; Do 10 times
DELAY_10ms_1: MOV     R6,#0E6H     ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2: NOP
          NOP
          DJNZ  R6,DELAY_10ms_2
          DJNZ  R7,DELAY_10ms_1
          RET
DELAY_1s:     MOV     R3,#100      ; Do 100 times
DELAY_1s_1:   ACALL  DELAY_10ms
          DJNZ  R3,DELAY_1s_1
          RET

```

end

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

push_m1    bit    p3.6
push_m2    bit    p3.5
push_m3    bit    p3.4
push_m4    bit    p3.3
push_m5    bit    p3.2
up          bit    p2.1
down       bit    p2.2
enter      bit    p2.0
cancle     bit    p3.7
mag1       bit    p0.0
mag2       bit    p0.1
mag3       bit    p0.2
mag4       bit    p0.3
mag5       bit    p0.4
mag6       bit    p0.5
mag7       bit    p0.6
mag8       bit    p0.7
mag9       bit    p2.7
mag10      bit    p2.6
send       bit    p2.3
rrr        bit    p2.4
LCD_EN     bit    p3.0
LCD_RS     bit    p3.1
LCD_ADDR   equ    030h    ; For keep LCD Address
LCD_DATA   equ    031h    ; For keep LCD Data

```

```

;-----
org    0000h
mov    p0,#00h
mov    p1,#00h
mov    p2,#00h
mov    p3,#00h
mov    51h,#00h
mov    52h,#00h
mov    53h,#00h
mov    54h,#00h
mov    55h,#00h
setb   send
setb   rrr
setb   push_m1
setb   push_m2
setb   push_m3
setb   push_m4
setb   push_m5
setb   up
setb   down
setb   enter
setb   cancle
lcall  delay_250ms
lcall  delay_250ms
mov    p1,#00000000b ; Clear Databus
clr    LCD_EN        ; Clear LCD Enable
clr    LCD_RS        ; Clear LCD RS

lcall  INIT_LCD      ; Call LCD Initial subroutine

mov    LCD_ADDR,#000h
lcall  SET_ADDR_LCD
mov    DPTR,#TITLE_1
lcall  WRLINE_LCD
mov    DPTR,#TITLE_3
lcall  WRLINE_LCD

mov    LCD_ADDR,#040h
lcall  SET_ADDR_LCD
mov    DPTR,#TITLE_2
lcall  WRLINE_LCD
mov    DPTR,#TITLE_4
lcall  WRLINE_LCD

lcall  DELAY_1s
lcall  DELAY_1s

mov    r4,#16 ; Set Loop 16 times
LOOP_LCD_L_SHF: lcall LCD_LSHF ; Left Shift LCD Display
lcall  DELAY_100ms
lcall  DELAY_100ms
djnz  r4,LOOP_LCD_L_SHF ; Do until 16 times

lcall  DELAY_1s ; Delay
lcall  DELAY_1s

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ, คัดลอก, แจกจ่าย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcall send_mode
ljmp next_step
```

```
-----
select_mode: lcall LCD_CLR

mov LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
lcall SET_ADDR_LCD ;
mov DPTR,#TITLE_7 ; Index Pointer ROM to Show LCD
lcall WRLINE_LCD ; 00H-0FH (Increase automatic)

mov LCD_ADDR,#040H ; Set Address 40H
lcall SET_ADDR_LCD ;
mov DPTR,#TITLE_8 ; Index Pointer ROM to Show LCD
lcall WRLINE_LCD ; 40H-4FH (Increase automatic)

lcall DELAY_1s ; Delay

lcall LCD_OFF ; Off Display
lcall DELAY_1s ; Delay

lcall LCD_ON ; On Display
lcall DELAY_1s ; Delay

lcall LCD_OFF ; Off Display
lcall DELAY_1s ; Delay

lcall LCD_ON ; On Display
lcall DELAY_1s ; Delay
lcall send_mode

next_step: setb push_m1
setb push_m2
setb push_m3
setb push_m4
setb push_m5
setb up
setb down
setb enter
setb cancel
setb send
setb rrr

lcall LCD_CLR

mov LCD_ADDR,#000H ; Set Address 00H
lcall SET_ADDR_LCD ;
mov DPTR,#TITLE_5 ; Index Pointer ROM to Show LCD
lcall WRLINE_LCD ; 00H-0FH (Increase automatic)

mov LCD_ADDR,#040H ; Set Address 40H
lcall SET_ADDR_LCD ;
mov DPTR,#TITLE_6 ; Index Pointer ROM to Show LCD
lcall WRLINE_LCD ; 40H-4FH (Increase automatic)

select_mode_a: jnb push_m1,mode_m1x
jnb push_m2,mode_m2x
jnb push_m3,mode_m3x
jnb push_m4,mode_m4x
jnb push_m5,mode_m5x
sjmp select_mode_a

mode_m1x: ljmp mode_m1
mode_m2x: ljmp mode_m2
mode_m3x: ljmp mode_m3
mode_m4x: ljmp mode_m4
mode_m5x: ljmp mode_m5

-----
```

```
mode_m1: lcall trb
jnb push_m1,$
lcall trb
mov a,51h
cjne a,#00,mode_m1_stop
mov r3,#11h
lcall LCD_CLR
mov LCD_ADDR,#000H
lcall SET_ADDR_LCD
mov DPTR,#TITLE_st1
lcall WRLINE_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำอย่างอื่นอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ljmp    start_voltage_1
m1_start:    ljmp    goto_start_m1
mode_m1_stop: lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_sp1
                lcall   WRLINE_LCD
                mov    r3,#11h
                ljmp    stop_main_lcd1
goto_m1_stop: mov    r3,#00h
                ljmp    goto_stop_m1

```

```

mode_m2:    lcall   trb
                jnb    push_m2,$
                lcall   trb
                mov    a,52h
                cjne   a,#00,mode_m2_stop
                mov    r3,#22h
                lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_st2
                lcall   WRLINE_LCD
                ljmp    start_voltage_1

```

```

m2_start:    ljmp    goto_start_m2
mode_m2_stop: lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_sp2
                lcall   WRLINE_LCD
                mov    r3,#22h
                ljmp    stop_main_lcd1
goto_m2_stop: mov    r3,#00h
                ljmp    goto_stop_m2

```

```

mode_m3:    lcall   trb
                jnb    push_m3,$
                lcall   trb
                mov    a,53h
                cjne   a,#00,mode_m3_stop
                mov    r3,#33h
                lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_st3
                lcall   WRLINE_LCD
                ljmp    start_voltage_1

```

```

m3_start:    ljmp    goto_start_m3
mode_m3_stop: lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_sp3
                lcall   WRLINE_LCD
                mov    r3,#33h
                ljmp    stop_main_lcd1
goto_m3_stop: mov    r3,#00h
                ljmp    goto_stop_m3

```

```

mode_m4:    lcall   trb
                jnb    push_m4,$
                lcall   trb
                mov    a,54h
                cjne   a,#00,mode_m4_stop
                mov    r3,#44h
                lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_st4
                lcall   WRLINE_LCD
                ljmp    start_voltage_1

```

```

m4_start:    ljmp    goto_start_m4
mode_m4_stop: lcall   LCD_CLR
                mov    LCD_ADDR,#000H
                lcall   SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_sp4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในที่อื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษปรับและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        lcall    WRLINE_LCD
        mov     r3,#44h
        ljmp    stop_main_lcd1
goto_m4_stop:  mov     r3,#00h
                ljmp    goto_stop_m4

```

```

mode_m5:      lcall    trb
                jnb     push_m5,$
                lcall    trb
                mov     a,55h
                cjne    a,#00,mode_m5_stop
                mov     r3,#55h
                lcall    LCD_CLR
                mov     LCD_ADDR,#000H
                lcall    SET_ADDR_LCD
                mov     DPTR,#TITLE_st5
                lcall    WRLINE_LCD
                ljmp    start_voltage_1
m5_start:     ljmp    goto_start_m5
mode_m5_stop: lcall    LCD_CLR
                mov     LCD_ADDR,#000H
                lcall    SET_ADDR_LCD
                mov     DPTR,#TITLE_sp5
                lcall    WRLINE_LCD
                mov     r3,#55h
                ljmp    stop_main_lcd1
goto_m5_stop: mov     r3,#00h
                ljmp    goto_stop_m5

```

```

goto_start_m1: lcall    send_mode
                lcall    rrr_mode
                lcall    delay_250ms
                setb    mag1
                lcall    rrr_mode
                setb    mag2
                lcall    delay_250ms
                lcall    delay_250ms
                lcall    delay_250ms
                clr     mag1
                lcall    send_mode
                lcall    delay_250ms
                mov     51h,#11h
                setb    push_m1
                ljmp    select_mode
goto_start_m2: lcall    send_mode
                lcall    rrr_mode
                lcall    delay_250ms
                setb    mag3
                lcall    rrr_mode
                setb    mag4
                lcall    delay_250ms
                lcall    delay_250ms
                lcall    delay_250ms
                clr     mag3
                lcall    send_mode
                lcall    delay_250ms
                mov     52h,#22h
                setb    push_m2
                ljmp    select_mode
goto_start_m3: lcall    send_mode
                lcall    rrr_mode
                lcall    delay_250ms
                setb    mag5
                lcall    rrr_mode
                setb    mag6
                lcall    delay_250ms
                lcall    delay_250ms
                lcall    delay_250ms
                clr     mag5
                lcall    send_mode
                lcall    delay_250ms
                mov     53h,#33h
                setb    push_m3
                ljmp    select_mode
goto_start_m4: lcall    send_mode
                lcall    rrr_mode
                lcall    delay_250ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการมีโปรแกรมอื่นที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setb mag7
lcall rrr_mode
setb mag8
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
clr mag7
lcall send_mode
lcall delay_250ms
mov 54h,#44h
setb push_m4
ljmp select_mode
goto_start_m5: lcall send_mode
lcall rrr_mode
lcall delay_250ms
setb mag9
lcall rrr_mode
setb mag10
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
clr mag9
lcall send_mode
lcall delay_250ms
mov 55h,#55h
setb push_m5
ljmp select_mode

```

```

;-----
goto_stop_m1: lcall rrr_mode
lcall send_mode
lcall rrr_mode
setb mag1
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
clr mag2
lcall send_mode
lcall rrr_mode
clr mag1
mov 51h,#00h
setb push_m1
ljmp select_mode

```

```

goto_stop_m2: lcall rrr_mode
lcall send_mode
lcall rrr_mode
setb mag3
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
clr mag4
lcall send_mode
lcall rrr_mode
clr mag3
mov 52h,#00h
setb push_m2
ljmp select_mode

```

```

goto_stop_m3: lcall rrr_mode
lcall send_mode
lcall rrr_mode
setb mag5
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
clr mag6
lcall send_mode
lcall rrr_mode
clr mag5
mov 53h,#00h
setb push_m3
ljmp select_mode

```

```

goto_stop_m4: lcall rrr_mode
lcall send_mode
lcall rrr_mode
setb mag7
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
lcall delay_250ms
clr mag8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาด กรุณาแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        lcall send_mode
        lcall rrr_mode
        clr mag7
        mov 54h,#00h
        setb push_m4
        ljmp select_mode
goto_stop_m5:
        lcall rrr_mode
        lcall send_mode
        lcall rrr_mode
        setb mag9
        lcall delay_250ms
        lcall delay_250ms
        lcall delay_250ms
        clr mag10
        lcall send_mode
        lcall rrr_mode
        clr mag9
        mov 55h,#00h
        setb push_m5
        ljmp select_mode

```

```

send_mode:  clr    send
            jb     rrr,$
            lcall  delay_1ms
            setb   send
            jnb   rrr,$
            ret

```

```

rrr_mode:  jb     rrr,$
            lcall  delay_1ms
            clr    send
            jnb   rrr,$
            lcall  delay_1ms
            setb   send
            ret

```

-----voltage-----

```

start_lcdV_up1:  lcall  trb
                jnb   up,$
                lcall  trb
start_voltage_1:  mov    LCD_ADDR,#040h
                lcall  SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_V1
                lcall  WRLINE_LCD
loop_start_lcdV_a1:  jnb   down,start_lcdV_down5
                jnb   cangle,start_lcdV_next_step
                jnb   enter,time_start10_a
                sjmp  loop_start_lcdV_a1
start_lcdV_down5:  lcall  trb
                jnb   down,$
                lcall  trb
start_voltage_5:  mov    LCD_ADDR,#040h
                lcall  SET_ADDR_LCD
                mov    DPTR,#TITLE_V5
                lcall  WRLINE_LCD
loop_start_lcdV_a5:  jnb   up,start_lcdV_up1
                jnb   cangle,start_lcdV_next_step
                jnb   enter,time_start50_a
                sjmp  loop_start_lcdV_a5

```

```

start_lcdV_next_step:  lcall  trb
                    jnb   cangle,$
                    lcall  trb
                    ljmp  next_step

```

```

time_start10_a:  lcall  trb
                jnb   enter,$
                lcall  trb
                ljmp  time_start_10

```

```

time_start50_a:  lcall  trb
                jnb   enter,$
                lcall  trb
                ljmp  time_start_50

```

-----time voltage10-----

```

start_time10_up1:  lcall  trb

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

jnb up,$
lcall trb
time_start_10: mov LCD_ADDR,#040h
lcall SET_ADDR_LCD
mov DPTR,#TIME_05
lcall WRLINE_LCD
loop_start10_lcd_a1: jnb down,start_time10_down1
jnb cangle,start_back_time10_a
jnb enter,start_enter_time10_a
sjmp loop_start10_lcd_a1

start_time10_up2: lcall trb
jnb up,$
lcall trb
sjmp start_time10_2
start_time10_down1: lcall trb
jnb down,$
lcall trb
start_time10_2: mov LCD_ADDR,#040h
lcall SET_ADDR_LCD
mov DPTR,#TIME_10
lcall WRLINE_LCD
loop_start10_lcd_a2: jnb up,start_time10_up1
jnb down,start_time10_down2
jnb cangle,start_back_time10_a
jnb enter,start_enter_time10_a
sjmp loop_start10_lcd_a2

start_back_time10_a: lcall trb
jnb cangle,$
lcall trb
ljmp start_voltage_1
start_enter_time10_a: ljmp start_enter_time10

start_time10_up3: lcall trb
jnb up,$
lcall trb
sjmp start_time10_3
start_time10_down2: lcall trb
jnb down,$
lcall trb
start_time10_3: mov LCD_ADDR,#040h
lcall SET_ADDR_LCD
mov DPTR,#TIME_15
lcall WRLINE_LCD
loop_start10_lcd_a3: jnb up,start_time10_up2
jnb down,start_time10_down3
jnb cangle,start_back_time10_a
jnb enter,start_enter_time10
sjmp loop_start10_lcd_a3

start_time10_down3: lcall trb
jnb down,$
lcall trb
mov LCD_ADDR,#040h
lcall SET_ADDR_LCD
mov DPTR,#TIME_20
lcall WRLINE_LCD
loop_start10_lcd_a4: jnb up,start_time10_up3
jnb cangle,start_back_time10_a
jnb enter,start_enter_time10
sjmp loop_start10_lcd_a4

start_enter_time10: lcall trb
jnb enter,$
lcall trb
mov LCD_ADDR,#040h
lcall SET_ADDR_LCD
mov DPTR,#TITLE_9
lcall WRLINE_LCD
cjne r3,#11h,cc1
ljmp m1_start
cc1: cjne r3,#22h,cc2
ljmp m2_start
cc2: cjne r3,#33h,cc3
ljmp m3_start
cc3: cjne r3,#44h,cc4
ljmp m4_start
cc4: ljmp m5_start
;-----time_voltage50-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

start_time50_up1:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
time_start_50:     mov     LCD_ADDR,#040h
                   lcall   SET_ADDR_LCD
                   mov     DPTR,#TIME_05
                   lcall   WRLINE_LCD
loop_start50_lcd_a1: jnb     down,start_time50_down1
                   jnb     cacle,start_back_time50_a
                   jnb     enter,start_enter_time50_a
                   sjmp    loop_start50_lcd_a1

start_time50_up2:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time50_2
start_time50_down1: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
start_time50_2:    mov     LCD_ADDR,#040h
                   lcall   SET_ADDR_LCD
                   mov     DPTR,#TIME_10
                   lcall   WRLINE_LCD
loop_start50_lcd_a2: jnb     down,start_time50_down2
                   jnb     up,start_time50_up1
                   jnb     cacle,start_back_time50_a
                   jnb     enter,start_enter_time50_a
                   sjmp    loop_start50_lcd_a2

start_back_time50_a: lcall   trb
                   jnb     cacle,$
                   lcall   trb
                   ljmp    start_voltage_5
start_enter_time50_a: ljmp    start_enter_time50

start_time50_up3:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time50_3
start_time50_down2: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
start_time50_3:    mov     LCD_ADDR,#040h
                   lcall   SET_ADDR_LCD
                   mov     DPTR,#TIME_15
                   lcall   WRLINE_LCD
loop_start50_lcd_a3: jnb     up,start_time50_up2
                   jnb     down,start_time50_down3
                   jnb     cacle,start_back_time50_a
                   jnb     enter,start_enter_time50_a
                   sjmp    loop_start50_lcd_a3

start_time50_up4:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time50_4
start_time50_down3: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
start_time50_4:    mov     LCD_ADDR,#040h
                   lcall   SET_ADDR_LCD
                   mov     DPTR,#TIME_20
                   lcall   WRLINE_LCD
loop_start50_lcd_a4: jnb     up,start_time50_up3
                   jnb     down,start_time50_down4
                   jnb     cacle,start_back_time50_a
                   jnb     enter,start_enter_time50_a
                   sjmp    loop_start50_lcd_a4

start_time50_up5:   lcall   trb
                   jnb     up,$
                   lcall   trb
                   sjmp    start_time50_5
start_time50_down4: lcall   trb
                   jnb     down,$
                   lcall   trb
start_time50_5:    mov     LCD_ADDR,#040h
                   lcall   SET_ADDR_LCD
                   mov     DPTR,#TIME_25
                   lcall   WRLINE_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาคเรียนที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

loop_start50_lcd_a5:   jnb      up,start_time50_up4
                      jnb      down,start_time50_down5
                      jnb      cancle,start_back_time50
                      jnb      enter,start_enter_time50
                      sjmp     loop_start50_lcd_a5

start_time50_down5:  lcall   trb
                      jnb      down,$
                      lcall   trb
                      mov     LCD_ADDR,#040h
                      lcall   SET_ADDR_LCD
                      mov     DPTR,#TIME_30
                      lcall   WRLINE_LCD

loop_start50_lcd_a6:   jnb      up,start_time50_up5
                      jnb      cancle,start_back_time50
                      jnb      enter,start_enter_time50
                      sjmp     loop_start50_lcd_a6

start_back_time50:    lcall   trb
                      jnb      cancle,$
                      lcall   trb
                      ljmp    start_voltage_5

start_enter_time50:   lcall   trb
                      jnb      enter,$
                      lcall   trb
                      mov     LCD_ADDR,#040h
                      lcall   SET_ADDR_LCD
                      mov     DPTR,#TITLE_9
                      lcall   WRLINE_LCD
                      cjne   r3,#11h,ee1
                      ljmp    m1_start
ee1:                  cjne   r3,#22h,ee2
                      ljmp    m2_start
ee2:                  cjne   r3,#33h,ee3
                      ljmp    m3_start
ee3:                  cjne   r3,#44h,ee4
                      ljmp    m4_start
ee4:                  ljmp    m5_start

;-----time_stop-----

stop_lcd_up1:         lcall   trb
                      jnb      up,$
                      lcall   trb

stop_main_lcd1:       mov     LCD_ADDR,#040h
                      lcall   SET_ADDR_LCD
                      mov     DPTR,#TIME_10
                      lcall   WRLINE_LCD

loop_stop_lcd_a1:     jnb      down,stop_lcd_down1
                      jnb      cancle,stop_lcd_next_step
                      jnb      enter,stop_lcd_goto_stop
                      sjmp     loop_stop_lcd_a1

stop_lcd_up2:         lcall   trb
                      jnb      up,$
                      lcall   trb
                      sjmp    stop_main_lcd2

stop_lcd_down1:       lcall   trb
                      jnb      down,$
                      lcall   trb

stop_main_lcd2:       mov     LCD_ADDR,#040h
                      lcall   SET_ADDR_LCD
                      mov     DPTR,#TIME_20
                      lcall   WRLINE_LCD

loop_stop_lcd_a2:     jnb      up,stop_lcd_up1
                      jnb      down,stop_lcd_down2
                      jnb      cancle,stop_lcd_next_step
                      jnb      enter,stop_lcd_goto_stop
                      sjmp     loop_stop_lcd_a2

stop_lcd_next_step:   ljmp    stop_lcd_next_step1
stop_lcd_goto_stop:  ljmp    stop_lcd_goto_stop1
stop_lcd_up3:         lcall   trb
                      jnb      up,$
                      lcall   trb
                      sjmp    stop_main_lcd3
stop_lcd_down2:       lcall   trb
                      jnb      down,$
                      lcall   trb

stop_main_lcd3:       mov     LCD_ADDR,#040h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับทุกงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องแจ้งให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        lcall  SET_ADDR_LCD
        mov   DPTR,#TIME_30
        lcall  WRLINE_LCD
loop_stop_lcd_a3:  jnb   up,stop_lcd_up2
                  jnb   down,stop_lcd_down3
                  jnb   cangle,stop_lcd_next_step
                  jnb   enter,stop_lcd_goto_stop
                  sjmp  loop_stop_lcd_a3

stop_lcd_up4:    lcall  trb
                  jnb   up,$
                  lcall  trb
                  sjmp  stop_main_lcd4
stop_lcd_down3:  lcall  trb
                  jnb   down,$
                  lcall  trb
stop_main_lcd4:  mov   LCD_ADDR,#040h
                  lcall  SET_ADDR_LCD
                  mov   DPTR,#TIME_40
                  lcall  WRLINE_LCD
loop_stop_lcd_a4:  jnb   up,stop_lcd_up3
                  jnb   down,stop_lcd_down4
                  jnb   cangle,stop_lcd_next_step
                  jnb   enter,stop_lcd_goto_stop
                  sjmp  loop_stop_lcd_a4

stop_lcd_up5:    lcall  trb
                  jnb   up,$
                  lcall  trb
                  sjmp  stop_main_lcd5
stop_lcd_down4:  lcall  trb
                  jnb   down,$
                  lcall  trb
stop_main_lcd5:  mov   LCD_ADDR,#040h
                  lcall  SET_ADDR_LCD
                  mov   DPTR,#TIME_50
                  lcall  WRLINE_LCD
loop_stop_lcd_a5:  jnb   up,stop_lcd_up4
                  jnb   down,stop_lcd_down5
                  jnb   cangle,stop_lcd_next_step1
                  jnb   enter,stop_lcd_goto_stop1
                  sjmp  loop_stop_lcd_a5

stop_lcd_down5:  lcall  trb
                  jnb   down,$
                  lcall  trb
stop_main_lcd6:  mov   LCD_ADDR,#040h
                  lcall  SET_ADDR_LCD
                  mov   DPTR,#TIME_60
                  lcall  WRLINE_LCD
loop_stop_lcd_a6:  jnb   up,stop_lcd_up5
                  jnb   cangle,stop_lcd_next_step1
                  jnb   enter,stop_lcd_goto_stop1
                  sjmp  loop_stop_lcd_a6

stop_lcd_next_step1:  lcall  trb
                  jnb   cangle,$
                  lcall  trb
                  ljmp  next_step
stop_lcd_goto_stop1:  lcall  trb
                  jnb   enter,$
                  lcall  trb
                  mov   LCD_ADDR,#040h
                  lcall  SET_ADDR_LCD
                  mov   DPTR,#TITLE_10
                  lcall  WRLINE_LCD
                  cjne  r3,#11h,aa1
                  ljmp  goto_m1_stop
aa1:              cjne  r3,#22h,aa2
                  ljmp  goto_m2_stop
aa2:              cjne  r3,#33h,aa3
                  ljmp  goto_m3_stop
aa3:              cjne  r3,#44h,aa4
                  ljmp  goto_m4_stop
aa4:              ljmp  goto_m5_stop

```

; เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ; LCD Initialize
 ; ไม่ควรดัดแปลงชื่อฟังก์ชันหรือค่าที่ห้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 INIT_LCD: LCALL DELAY_100ms ; Delay
 CLR LCD_RS ; Clear LCD_RS Pin

```

MOV      P1,#00111000B ; 8bit Mode
ACALL   LCD_CLK        ; Pulse LCD Clock
LCALL   DELAY_10ms     ; Delay

MOV      P1,#00111000B ; 8bit Mode
ACALL   LCD_CLK        ; Pulse LCD Clock

ACALL   LCD_OFF        ; Display Off

ACALL   LCD_CLR        ; Clear Display

MOV      P1,#00000110B ; Entry Mode
ACALL   LCD_CLK        ; Pulse LCD Clock

ACALL   LCD_HOME      ; Return Home Display

```

```

; LCD Clear Display

```

```

LCD_CLR: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
          MOV      P1,#00000001B ; Display Clear
          ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
          RET

```

```

; LCD Return Home

```

```

LCD_HOME: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
           MOV      P1,#00000010B ; Return Home
           ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
           RET

```

```

; LCD Display Off

```

```

LCD_OFF: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
          MOV      P1,#00001000B ; Display Off
          ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
          RET

```

```

; LCD Clk

```

```

LCD_CLK: SETB     LCD_EN      ; Pulse Clock to LCD_EN
          LCALL   LCD_DELAY
          CLR      LCD_EN
          LCALL   LCD_DELAY
          RET

```

```

; LCD Display On

```

```

LCD_ON: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
         MOV      P1,#00001100B ; Display On
         ACALL   LCD_CLK
         RET

```

```

; LCD Left Shift Display

```

```

LCD_LSHF: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
           MOV      P1,#00011000B ; Left Shift Display
           ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
           RET

```

```

; Set LCD Address

```

```

; I/P: LCD_ADDR

```

```

SET_ADDR_LCD: CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
               MOV      A,LCD_ADDR ; Move LCD_ADDR to ACC.
               SETB     ACC.7      ; Set bit ACC.7
               MOV      P1,A       ; Move to DATABUS
               LCALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
               RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่การันตีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำให้ออนไลน์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; Write Line of 16 Character from ROM
; I/P: DPTR : Locate ROM Address

```

```

WRLINE_LCD: MOV      R0,#00h      ; Clear loop counter

```

```

WRLINE_LCD_1: SETB   LCD_RS           ; Set LCD_RS Pin
                CLR     A               ; Clear ACC.
                MOVC   A,@A+DPTR       ; Move data from @DPTR to ACC.
                MOV    P1,A             ; Move ACC. to DATABUS
                LCALL  LCD_CLK          ; Pulse LCD Clock
                INC    DPTR             ; Increase Pointer
                INC    R0               ; Increase loop counter
                CJNE   R0,#16,WRLINE_LCD_1 ; Do until 16 times
                LCALL  LCD_ON           ; Display On
                RET

```

```

;-----
; Dummy Delay time LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;-----

```

```

LCD_DELAY:      MOV     R7,#002         ; Do 2 times
LCD_DELAY_1:   MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
LCD_DELAY_2:   NOP
                NOP
                DJNZ   R6,LCD_DELAY_2
                DJNZ   R7,LCD_DELAY_1
                RET

```

```

DELAY_10ms:    MOV     R7,#010         ; Do 10 times
DELAY_10ms_1: MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2:  NOP
                NOP
                DJNZ   R6,DELAY_10ms_2
                DJNZ   R7,DELAY_10ms_1
                RET

```

```

DELAY_100ms:   MOV     R7,#100        ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2: NOP
                NOP
                DJNZ   R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ   R7,DELAY_100ms_1
                RET

```

```

DELAY_1s:      MOV     R5,#100        ; Do 100 times
DELAY_1s_1:    ACALL  DELAY_10ms
                DJNZ   R5,DELAY_1s_1
                RET

```

```

trb:           mov     r6,#25
oo:            mov     r7,#0f9h
mm:           nop
                nop
                djnz  r7,mm
                djnz  r6,oo
                ret

```

```

delay_1mS:     mov     r7,#0f9h
mm1:          nop
                nop
                djnz  r7,mm1
                ret

```

```

delay_250ms:  mov     r6,#250
oo2:          mov     r7,#0f9h
mm2:          nop
                nop
                djnz  r7,mm2
                djnz  r6,oo2
                ret

```

```

;-----
; Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >
;-----

```

```

;
; 0123456789ABCDEF
TITLE_1:  DB  ' WELCOME TO '
TITLE_2:  DB  ' SOFTSTARTER '

TITLE_3:  DB  ' MULTI '
TITLE_4:  DB  ' INDUCTION MOTORS '

```

```

TITLE_5:  DB  ' SELECT MOTOR '
TITLE_6:  DB  ' START / STOP '
TITLE_7:  DB  ' PLEASE WAIT * '
TITLE_8:  DE  '* * * * * * * * '

```

```

TITLE_st1: DB  ' START MOTOR1 '

```

TITLE_6: เป็นคำสั่งที่ส่งคำสั่งให้กับเครื่องงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TITLE_7: มีคำสั่งสั้น อีกคำสั่งที่ PLEASE WAIT * และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TITLE_st2: DB      ' START MOTOR2 '
TITLE_st3: DB      ' START MOTOR3 '
TITLE_st4: DB      ' START MOTOR4 '
TITLE_st5: DB      ' START MOTOR5 '

TITLE_sp1: DB      ' STOP  MOTOR1  '
TITLE_sp2: DB      ' STOP  MOTOR2  '
TITLE_sp3: DB      ' STOP  MOTOR3  '
TITLE_sp4: DB      ' STOP  MOTOR4  '
TITLE_sp5: DB      ' STOP  MOTOR5  '

TITLE_9:  DB      '   STARTING   '
TITLE_10: DB      '   STOPING   '

TITLE_V1: DB      '% VOLTAGE  10  %'
TITLE_V5: DB      '% VOLTAGE  50  %'

TIME_05:  DB      ' TIME    5   Sec '
TIME_10:  DB      ' TIME   10   Sec '
TIME_15:  DB      ' TIME   15   Sec '
TIME_20:  DB      ' TIME   20   Sec '
TIME_25:  DB      ' TIME   25   Sec '
TIME_30:  DB      ' TIME   30   Sec '
TIME_40:  DB      ' TIME   40   Sec '
TIME_50:  DB      ' TIME   50   Sec '
TIME_60:  DB      ' TIME   60   Sec '

```

end



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BTA/BTB12 and T12 Series

SNUBBERLESS™, LOGIC LEVEL & STANDARD

12A TRIACs

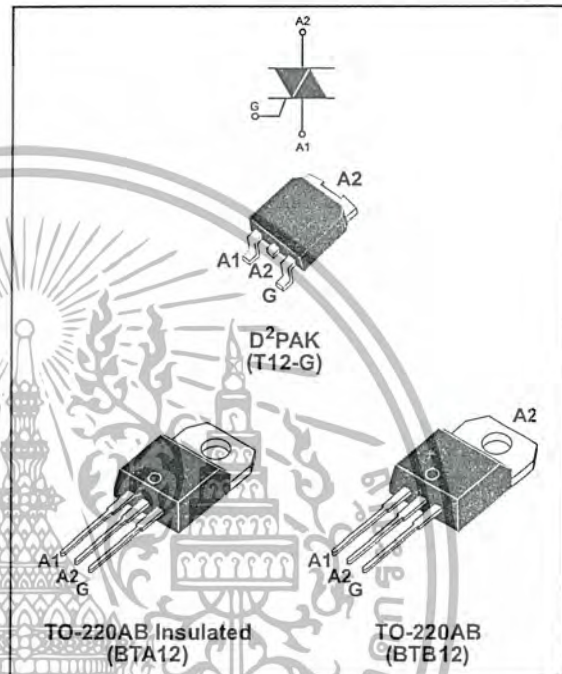
MAIN FEATURES:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	12	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT}(Q_1)$	10 to 50	mA

DESCRIPTION

Available either in through-hole or surface-mount packages, the BTA/BTB12 and T12 triac series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers,...

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T12 series) are specially recommended for use on inductive loads, thanks to their high commutation performances. By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V RMS) complying with UL standards (File ref.: E81734)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	D ² PAK/TO-220AB $T_c = 105^\circ\text{C}$	12	A
		TO-220AB Ins. $T_c = 90^\circ\text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	$F = 50\text{ Hz}$ $t = 20\text{ ms}$	120	A
		$F = 60\text{ Hz}$ $t = 16.7\text{ ms}$		
I^2t	I^2t Value for fusing	$t_p = 10\text{ ms}$	78	A^2s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100\text{ ns}$	$F = 120\text{ Hz}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	50	$\text{A}/\mu\text{s}$
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10\text{ ms}$ $T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20\text{ }\mu\text{s}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$	1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range		- 40 to + 150 - 40 to + 125	$^\circ\text{C}$

BTA/BTB12 and T12 Series

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

■ SNUBBERLESS™ and LOGIC LEVEL (3 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		T12	BTA/BTB12			Unit
				T1235	SW	CW	BW	
$I_{GT}(1)$	$V_D = 12\text{ V}$ $R_L = 30\ \Omega$	I - II - III	MAX.	35	10	35	50	mA
V_{GT}			MAX.	1.3			V	
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3\text{ k}\Omega$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	I - II - III	MIN.	0.2			V	
$I_H(2)$	$I_T = 100\text{ mA}$		MAX.	35	15	35	50	mA
I_L	$I_G = 1.2 I_{GT}$	I - III	MAX.	50	25	50	70	mA
		II		60	30	60	80	
$dV/dt(2)$	$V_D = 67\% V_{DRM}$ gate open $T_j = 125^\circ\text{C}$		MIN.	500	40	500	1000	V/ μs
$(dI/dt)_c(2)$	$(dV/dt)_c = 0.1\text{ V}/\mu\text{s}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$		MIN.	-	6.5	-	-	A/ms
	$(dV/dt)_c = 10\text{ V}/\mu\text{s}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$			-	2.9	-	-	
	Without snubber $T_j = 125^\circ\text{C}$			6.5	-	6.5	12	

■ STANDARD (4 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		BTA/BTB12		Unit
				C	B	
$I_{GT}(1)$	$V_D = 12\text{ V}$ $R_L = 30\ \Omega$	I - II - III IV	MAX.	25 50	50 100	mA
V_{GT}			MAX.	1.3		V
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3\text{ k}\Omega$ $T_j = 125^\circ\text{C}$	ALL	MIN.	0.2		V
$I_H(2)$	$I_T = 500\text{ mA}$		MAX.	25	50	mA
I_L	$I_G = 1.2 I_{GT}$	I - III - IV	MAX.	40	50	mA
		II		80	100	
$dV/dt(2)$	$V_D = 67\% V_{DRM}$ gate open $T_j = 125^\circ\text{C}$		MIN.	200	400	V/ μs
$(dV/dt)_c(2)$	$(dI/dt)_c = 5.3\text{ A}/\text{ms}$ $T_j = 125^\circ\text{C}$		MIN.	5	10	V/ μs

STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
$V_T(2)$	$I_{TM} = 17\text{ A}$ $t_p = 380\ \mu\text{s}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	MAX.	1.55	V
$V_{to}(2)$	Threshold voltage	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MAX.	0.85	V
$R_d(2)$	Dynamic resistance	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MAX.	35	m Ω
I_{DRM} I_{RRM}	$V_{DRM} = V_{RRM}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	MAX.	5	μA
		$T_j = 125^\circ\text{C}$		1	mA

Note 1: minimum IGT is guaranteed at 5% of IGT max.

Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit	
$R_{th(j-c)}$	Junction to case (AC)		D ² PAK/TO-220AB	1.4	°C/W
			TO-220AB Insulated	2.3	
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient	S = 1 cm ²	D ² PAK	45	°C/W
			TO-220AB TO-220AB Insulated	60	

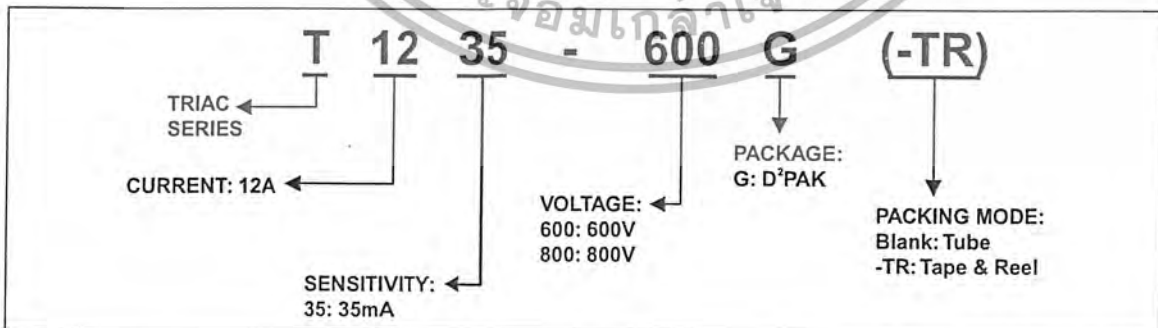
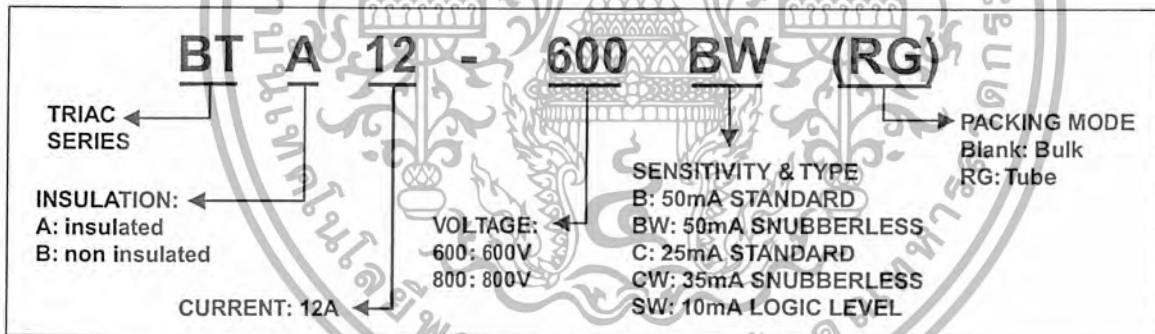
S = Copper surface under tab

PRODUCT SELECTOR

Part Number	Voltage (xxx)		Sensitivity	Type	Package
	600 V	800 V			
BTA/BTB12-xxxB	X	X	50 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxBW	X	X	50 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxC	X	X	25 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxCW	X	X	35 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxSW	X	X	10 mA	Logic level	TO-220AB
T1235-xxxG	X	X	35 mA	Snubberless	D ² PAK

BTB: non insulated TO-220AB package

ORDERING INFORMATION



OTHER INFORMATION

Part Number	Marking	Weight	Base quantity	Packing mode
BTA/BTB12-xxxxyz	BTA/BTB12-xxxxyz	2.3 g	250	Bulk
BTA/BTB12-xxxxyzRG	BTA/BTB12-xxxxyz	2.3 g	50	Tube
T1235-xxxG	T1235xxxG	1.5 g	50	Tube
T1235-xxxG-TR	T1235xxxG	1.5 g	1000	Tape & reel

Note: xxx = voltage, yy = sensitivity, z = type

Fig. 1: Maximum power dissipation versus RMS on-state current (full cycle).

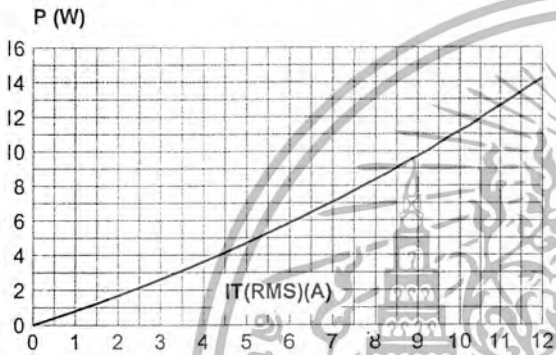


Fig. 2-1: RMS on-state current versus case temperature (full cycle).

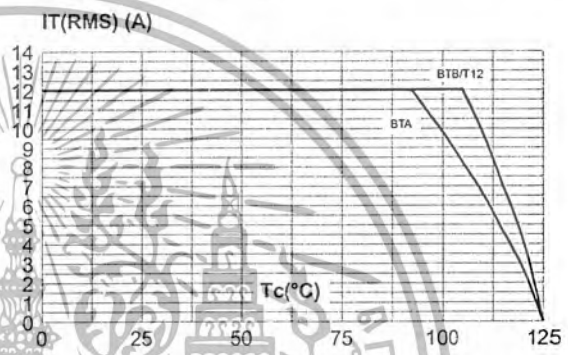


Fig. 2-2: RMS on-state current versus ambient temperature (printed circuit board FR4, copper thickness: 35µm), full cycle.

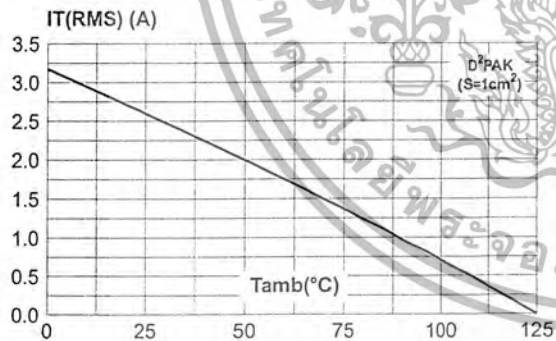


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.

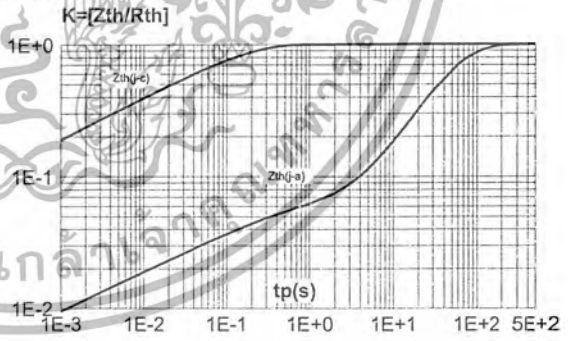


Fig. 4: On-state characteristics (maximum values).

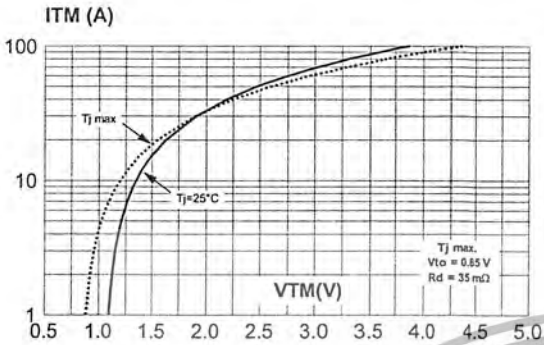


Fig. 5: Surge peak on-state current versus number of cycles.

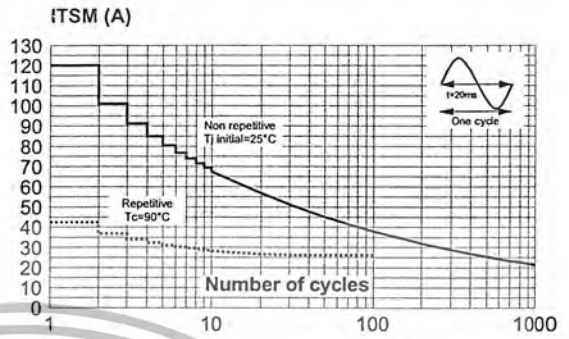


Fig. 6: Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width tp < 10ms, and corresponding value of I²t.

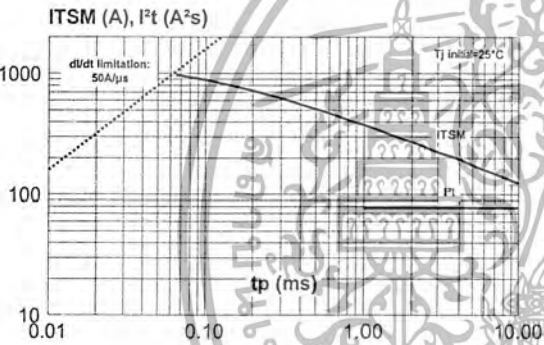


Fig. 7: Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature (typical values).

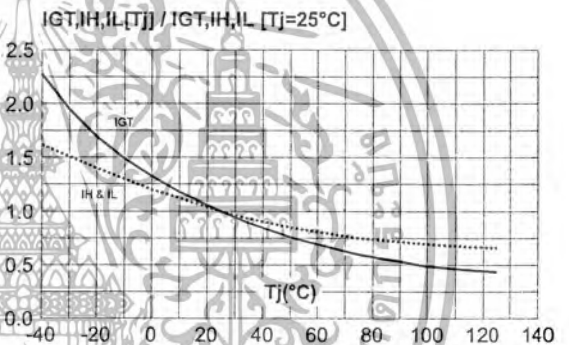


Fig. 8: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus (dV/dt)c (typical values).

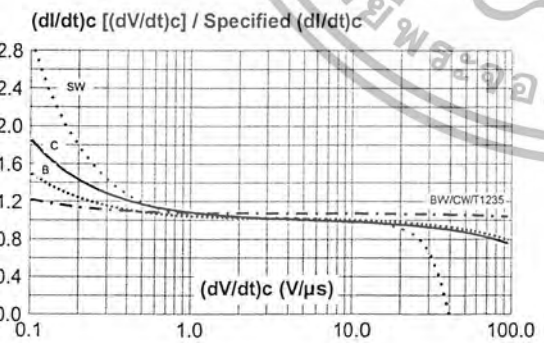


Fig. 9: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus junction temperature.

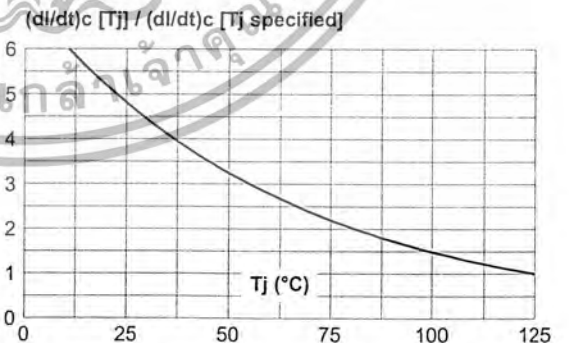
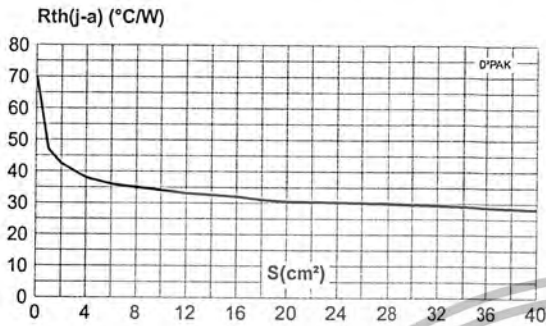
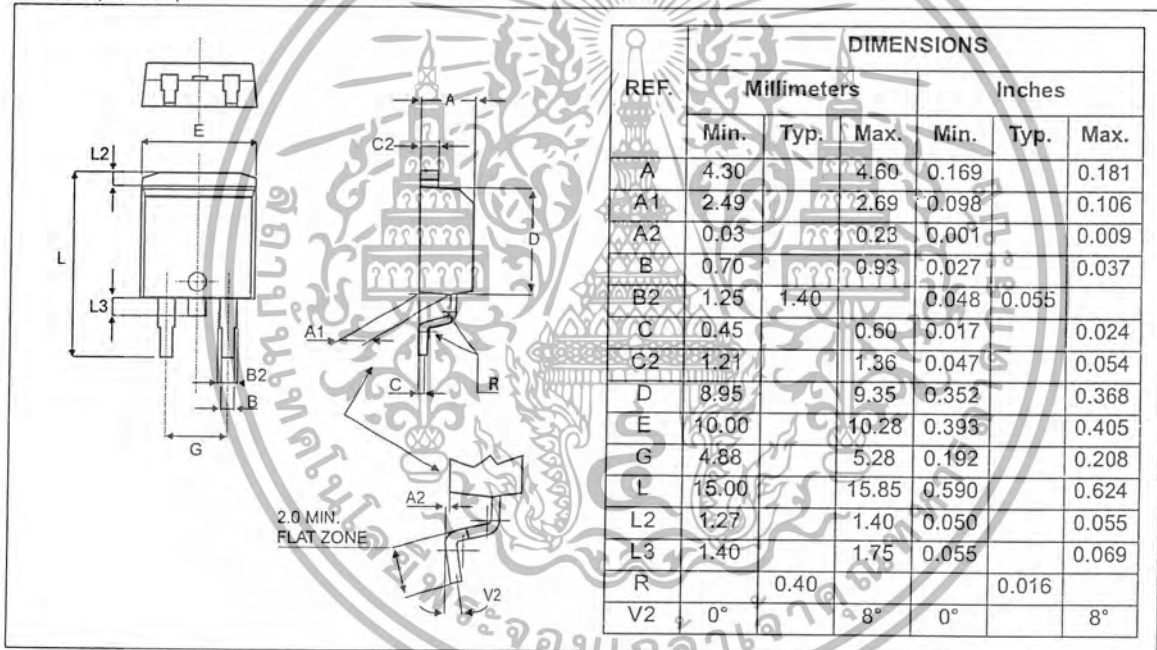


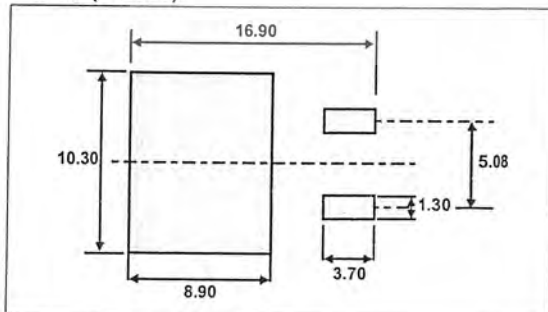
Fig. 10: D²PAK Thermal resistance junction to ambient versus copper surface under tab (printed circuit board FR4, copper thickness: 35 μm).



PACKAGE MECHANICAL DATA
D²PAK (Plastic)

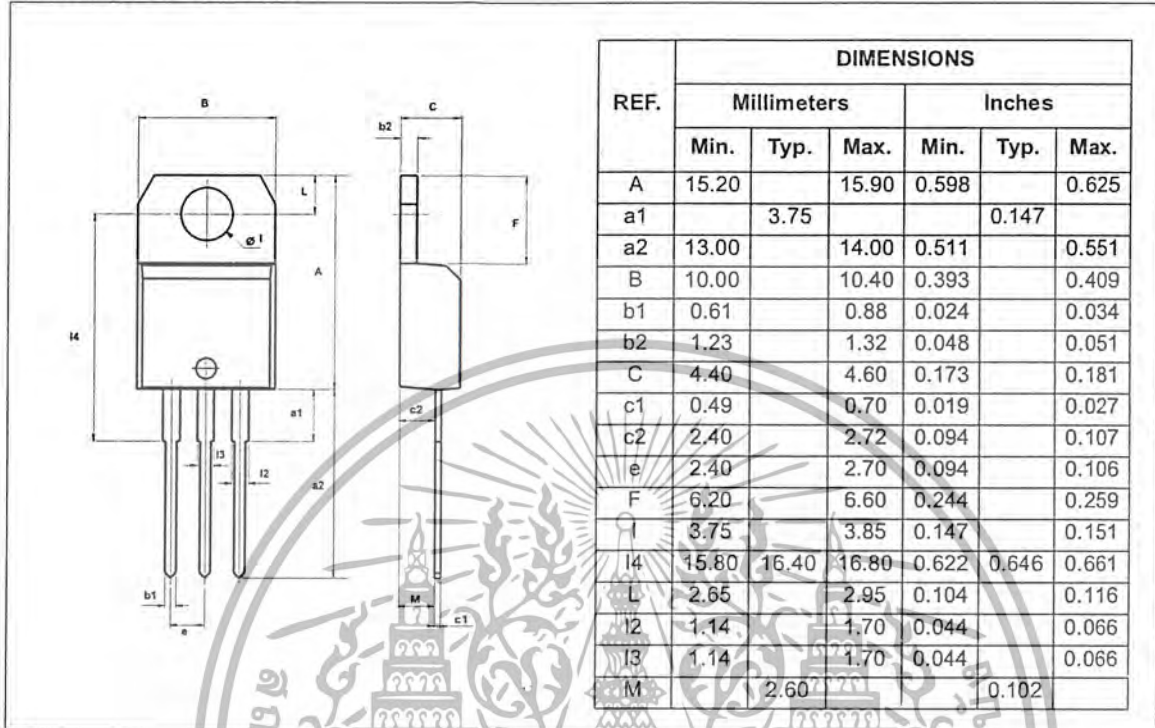


FOOTPRINT DIMENSIONS (in millimeters)
D²PAK (Plastic)



PACKAGE MECHANICAL DATA

TO-220AB / TO-220AB Ins.



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2002 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
 Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany
 Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore
 Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.

<http://www.st.com>



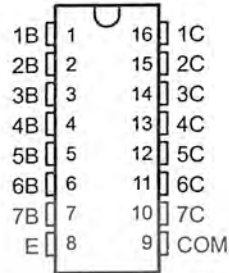
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A,
ULQ2003A, ULQ2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY
SLRS027A – DECEMBER 1976 – REVISED MAY 2001

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

- 500-mA Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs . . . 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay Driver Applications
- Designed to Be Interchangeable With Sprague ULN2001A Series

D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)

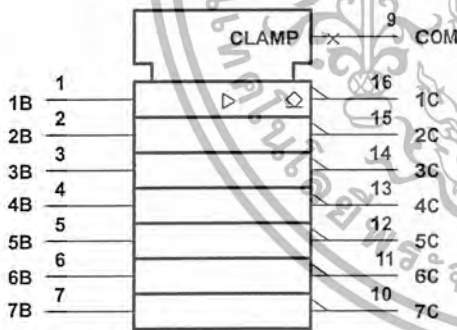


description

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, and ULQ2004A are monolithic high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs may be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions, see the SN75465 through SN75469.

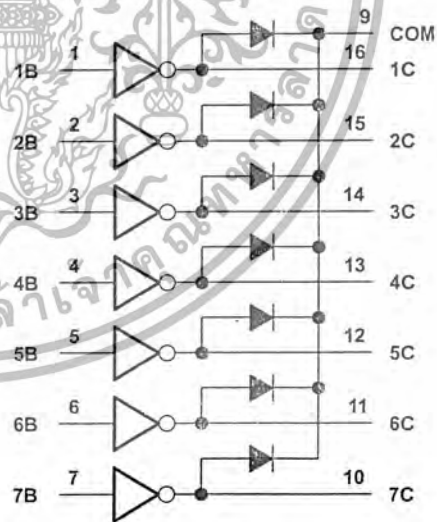
The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is specifically designed for use with 14- to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A and ULQ2003A have a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices. The ULN2004A and ULQ2004A have a 10.5-k Ω series base resistor to allow operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 to 15 V. The required input current of the ULN/ULQ2004A is below that of the ULN/ULQ2003A, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A.

logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

logic diagram



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.



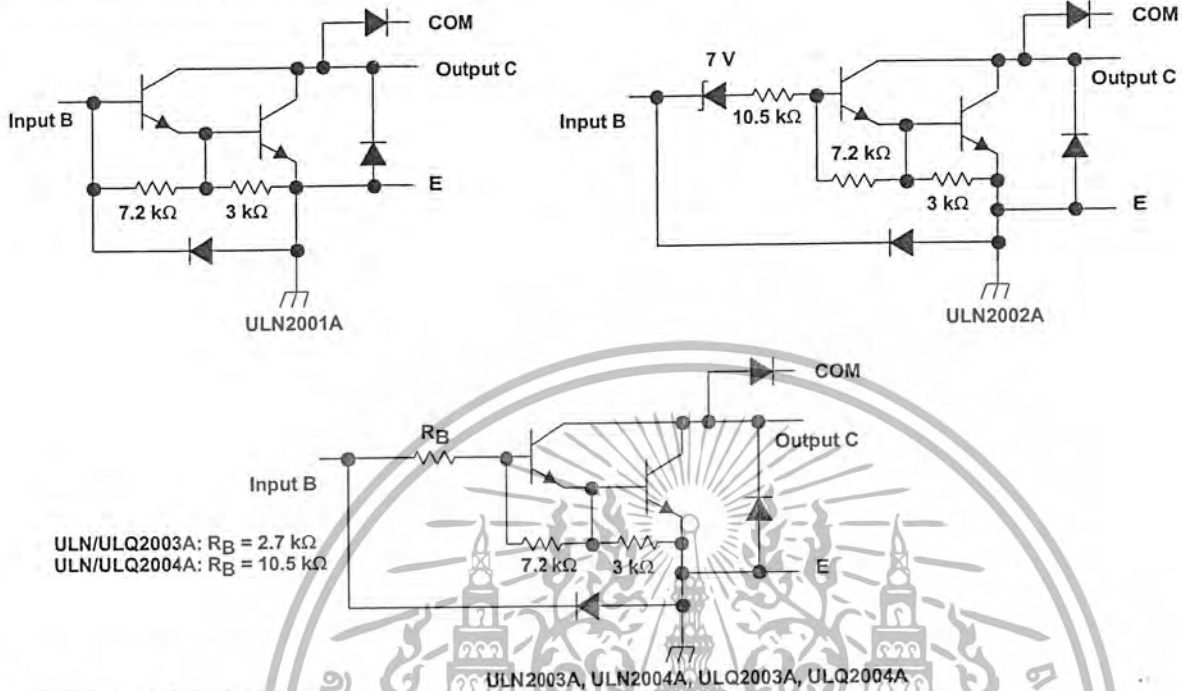
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2001, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A,
ULQ2003A, ULQ2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**
SLRS027A – DECEMBER 1976 – REVISED MAY 2001

schematics (each Darlington pair)



All resistor values shown are nominal.

absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

Collector-emitter voltage	50 V
Clamp diode reverse voltage (see Note 1)	50 V
Input voltage, V_I (see Note 1)	30 V
Peak collector current (see Figures 14 and 15)	500 mA
Output clamp current, I_{OK}	500 mA
Total emitter-terminal current	-2.5 A
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature range, T_A , ULN200xA	-20°C to 85°C
ULQ2003A	-40°C to 85°C
ULQ2004A	-40°C to 70°C
Operating junction temperature range, T_J	-40°C to 105°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A = 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING
D	950 mW	7.6 mW/°C	494 mW
N	1150 mW	9.2 mW/°C	598 mW



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A,
ULQ2003A, ULQ2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY
SLRS027A - DECEMBER 1976 - REVISED MAY 2001

electrical characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULN2001A			ULN2002A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$						13	V
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\ \mu\text{A}$, $I_C = 100\text{ mA}$	0.9	1.1		0.9	1.1		V
		$I_I = 350\ \mu\text{A}$, $I_C = 200\text{ mA}$	1	1.3		1	1.3		
		$I_I = 500\ \mu\text{A}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1.2	1.6		1.2	1.6		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2		1.7	2	V
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_I = 0$			50			50	μA
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_I = 0$, $V_I = 6\text{ V}$			100			100	
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_C = 500\ \mu\text{A}$	50	65		50	65		μA
I_I Input current	4	$V_I = 17\text{ V}$				0.82	1.25		mA
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$			100			100	μA
		$V_R = 50\text{ V}$			50			50	
h_{FE} Static forward current transfer ratio	5	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1000						
C_i Input capacitance		$V_I = 0$, $f = 1\text{ MHz}$		15	25		15	25	pF

electrical characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULN2003A			ULN2004A			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 125\text{ mA}$							5	
		$I_C = 200\text{ mA}$			2.4				6	
		$I_C = 250\text{ mA}$			2.7				7	
		$I_C = 275\text{ mA}$								
		$I_C = 300\text{ mA}$					3			8
		$I_C = 350\text{ mA}$								
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\ \mu\text{A}$, $I_C = 100\text{ mA}$	0.9	1.1		0.9	1.1		V	
		$I_I = 350\ \mu\text{A}$, $I_C = 200\text{ mA}$	1	1.3		1	1.3			
		$I_I = 500\ \mu\text{A}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1.2	1.6		1.2	1.6			
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_I = 0$			50			50	μA	
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_I = 0$, $V_I = 1\text{ V}$			100			100		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2		1.7	2	V	
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_C = 500\ \mu\text{A}$	50	65		50	65		μA	
I_I Input current	4	$V_I = 3.85\text{ V}$		0.93	1.35				mA	
		$V_I = 5\text{ V}$				0.35	0.5			
		$V_I = 12\text{ V}$				1	1.45			
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$			50			50	μA	
		$V_R = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$			100			100		
C_i Input capacitance		$V_I = 0$, $f = 1\text{ MHz}$		15	25		15	25	pF	



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A,
ULQ2003A, ULQ2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**

SLRS027A – DECEMBER 1976 – REVISED MAY 2001

electrical characteristics, $T_J = -40^\circ\text{C}$ to 105°C (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULQ2003A			ULQ2004A			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$	$I_C = 125\text{ mA}$					5	V	
			$I_C = 200\text{ mA}$					6		
			$I_C = 250\text{ mA}$			2.7				
			$I_C = 275\text{ mA}$			2.9				7
			$I_C = 300\text{ mA}$			3				
			$I_C = 350\text{ mA}$							8
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\text{ }\mu\text{A}, I_C = 100\text{ mA}$		0.9	1.2		0.9	1.1	V	
		$I_I = 350\text{ }\mu\text{A}, I_C = 200\text{ mA}$		1	1.4		1	1.3		
		$I_I = 500\text{ }\mu\text{A}, I_C = 350\text{ mA}$		1.2	1.7		1.2	1.6		
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_I = 0$			100			50	μA	
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_I = 0, T_A = 70^\circ\text{C}, V_I = 1\text{ V}$						100		
								500		
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$		1.7	2.2		1.7	2	V	
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	30	65		50	65		μA	
I_I Input current	4	$V_I = 3.85\text{ V}$		0.93	1.35				mA	
		$V_I = 5\text{ V}$				0.35	0.5			
		$V_I = 12\text{ V}$				1	1.45			
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$			100			50	μA	
		$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$			100			100		
C_i Input capacitance		$V_I = 0, f = 1\text{ MHz}$	15	25		15	25		pF	

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	See Figure 9		0.25	1	μs
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output			0.25	1	μs
V_{OH} High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}, I_O = 300\text{ mA}$, See Figure 10	$V_S - 20$			mV

switching characteristics, $T_J = -40^\circ\text{C}$ to 105°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ULQ2003A, ULQ2004A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	See Figure 9		1	10	μs
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output			1	10	μs
V_{OH} High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}, I_O = 300\text{ mA}$, See Figure 10	$V_S - 500$			mV



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

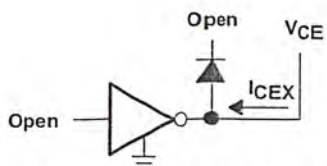


Figure 1. I_{CEX} Test Circuit

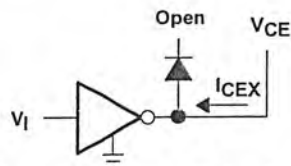


Figure 2. I_{CEX} Test Circuit

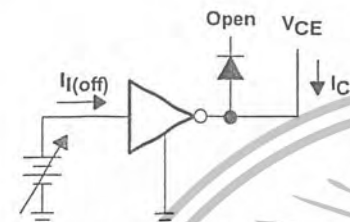


Figure 3. $I_{I(off)}$ Test Circuit

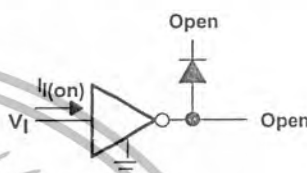
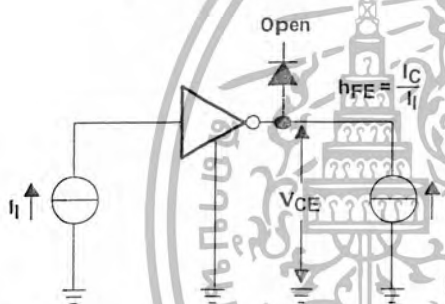


Figure 4. I_I Test Circuit



NOTE: I_I is fixed for measuring $V_{CE(sat)}$, variable for measuring h_{FE} .

Figure 5. h_{FE} , $V_{CE(sat)}$ Test Circuit

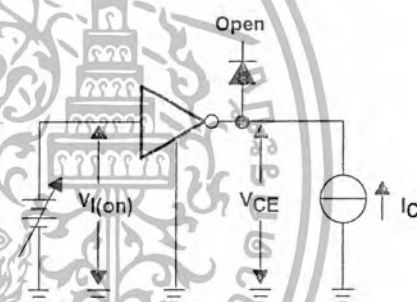


Figure 6. $V_{I(on)}$ Test Circuit

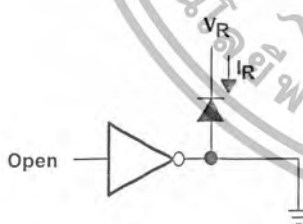


Figure 7. I_R Test Circuit

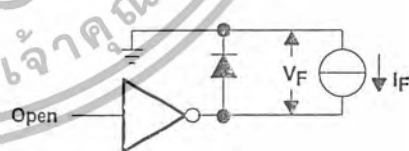


Figure 8. V_F Test Circuit

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

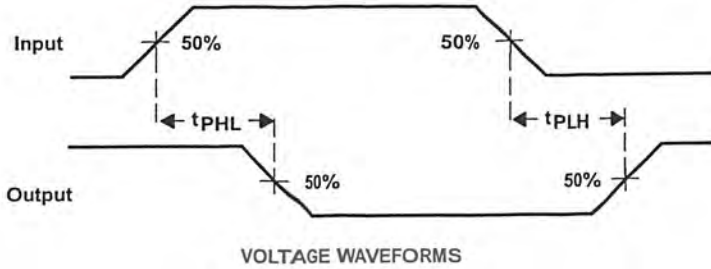
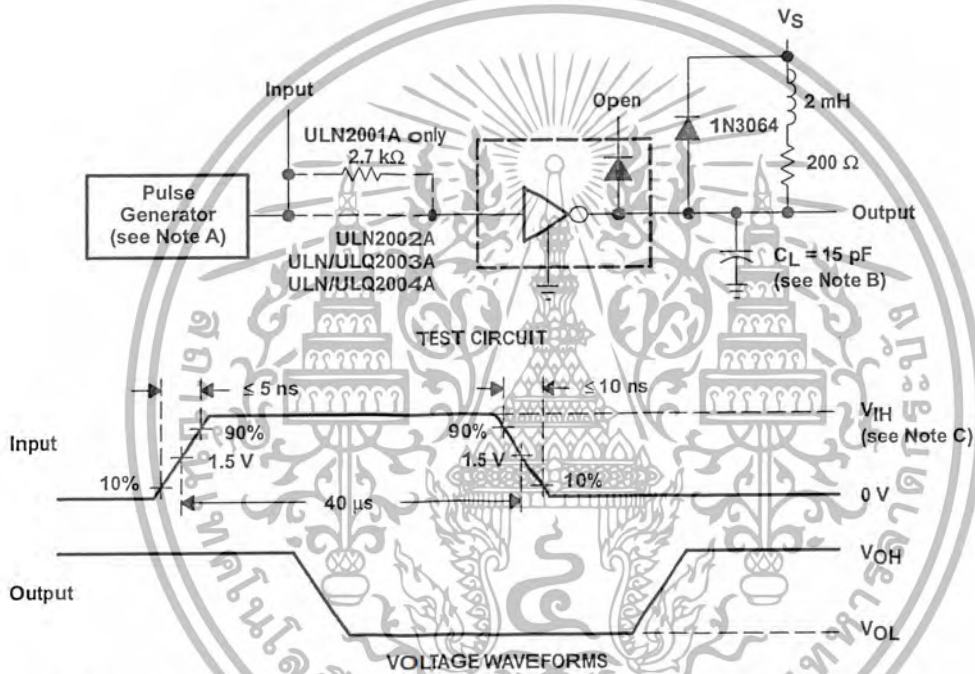


Figure 9. Propagation Delay Time Waveforms



- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: PRR = 12.5 kHz, $Z_O = 50 \Omega$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. For testing the ULN2001A, the ULN2003A, and the ULQ2003A, $V_{IH} = 3 \text{ V}$; for the ULN2002A, $V_{IH} = 13 \text{ V}$; for the ULN2004A and the ULQ2004A, $V_{IH} = 8 \text{ V}$.

Figure 10. Latch-Up Test Circuit and Voltage Waveforms

TYPICAL CHARACTERISTICS

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE vs COLLECTOR CURRENT (ONE DARLINGTON)

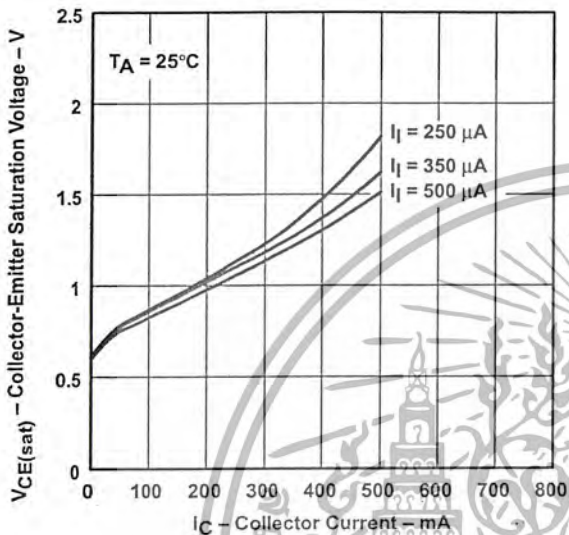


Figure 11

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE vs TOTAL COLLECTOR CURRENT (TWO DARLINGTONS PARALLELED)

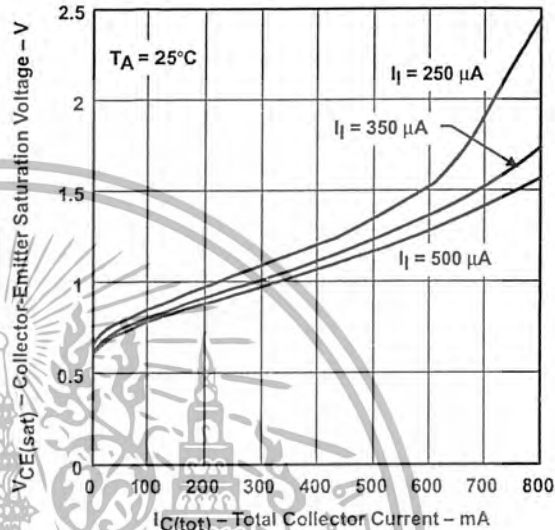


Figure 12

COLLECTOR CURRENT vs INPUT CURRENT

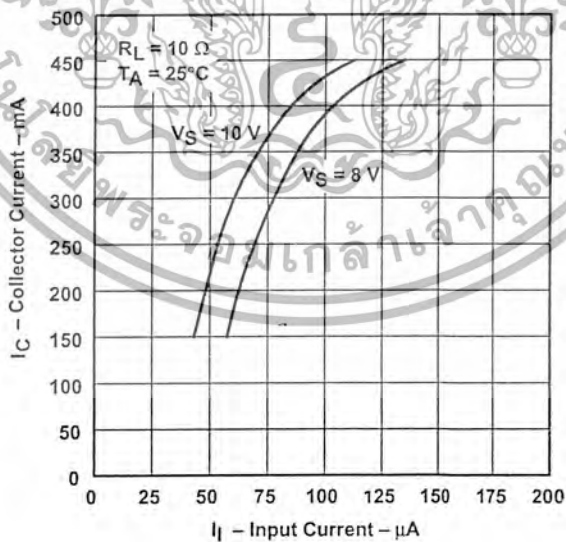


Figure 13

THERMAL INFORMATION

D PACKAGE
 MAXIMUM COLLECTOR CURRENT
 vs
 DUTY CYCLE

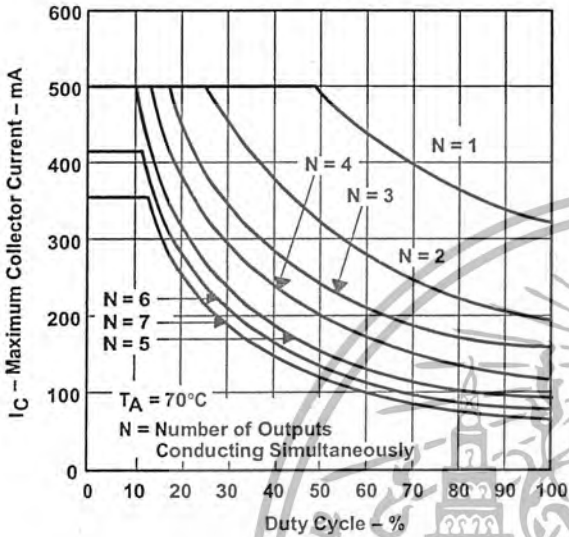


Figure 14

N PACKAGE
 MAXIMUM COLLECTOR CURRENT
 vs
 DUTY CYCLE

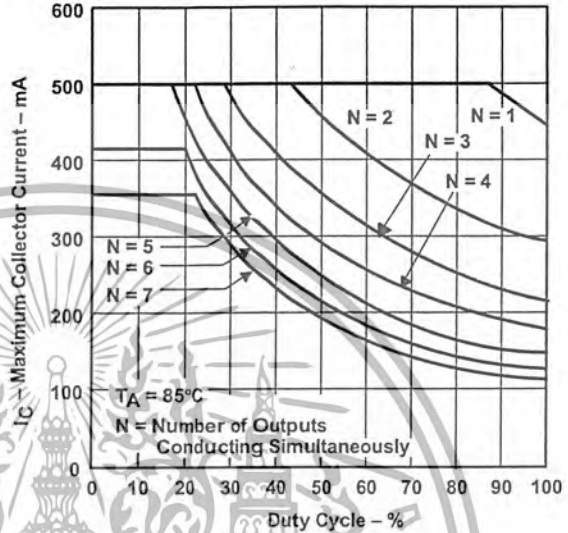


Figure 15

APPLICATION INFORMATION

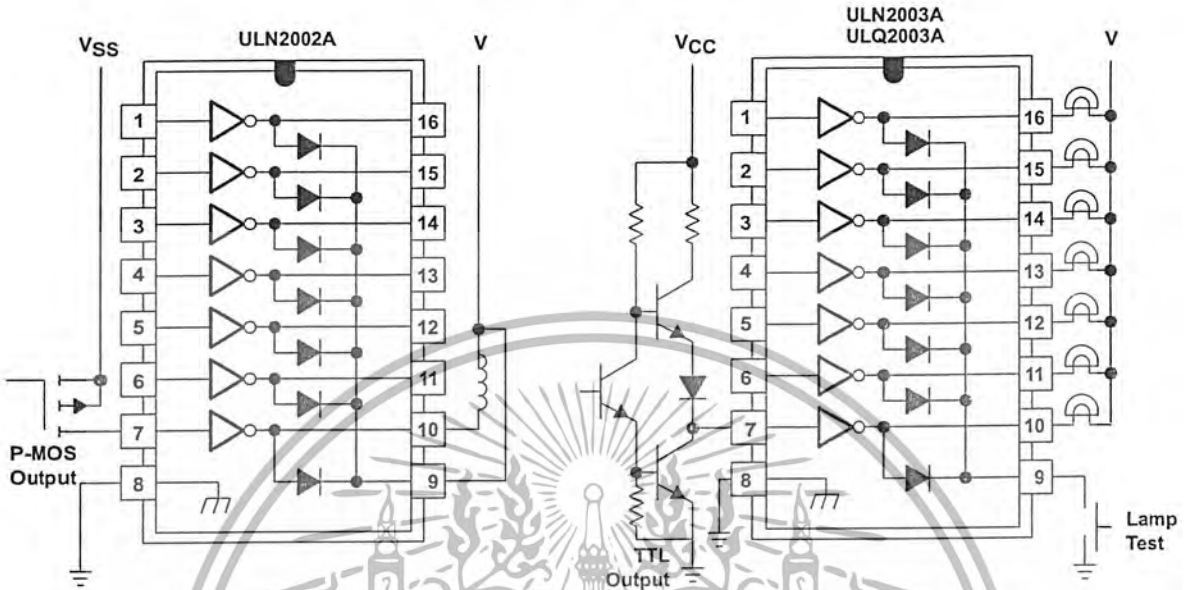


Figure 16. P-MOS to Load

Figure 17. TTL to Load

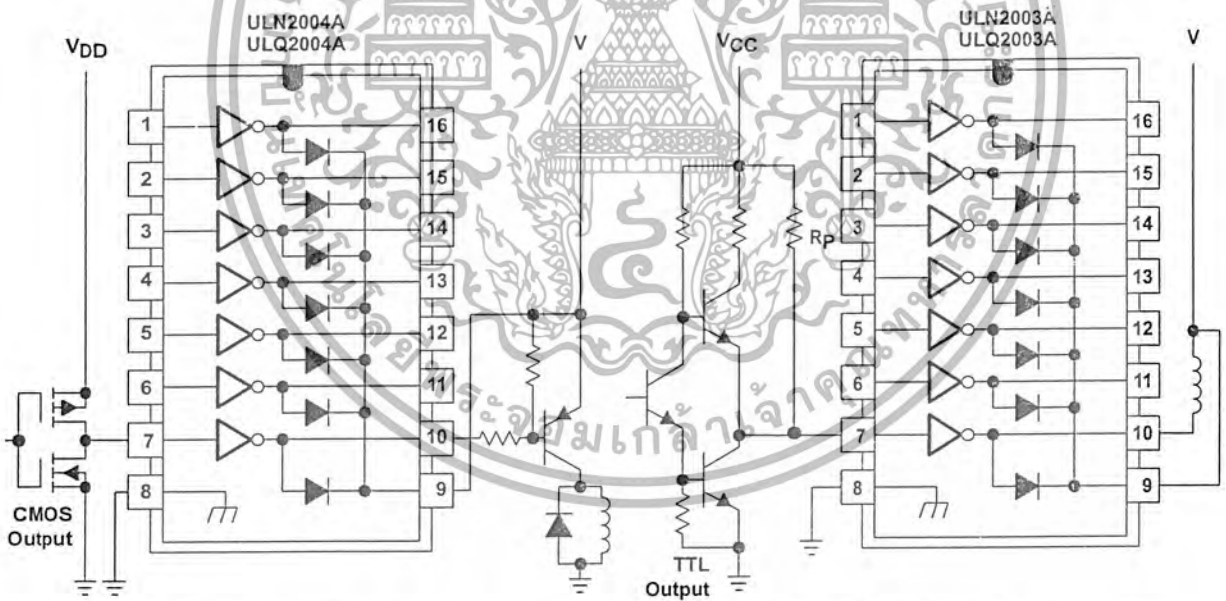


Figure 18. Buffer for Higher Current Loads

Figure 19. Use of Pullup Resistors to Increase Drive Current

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

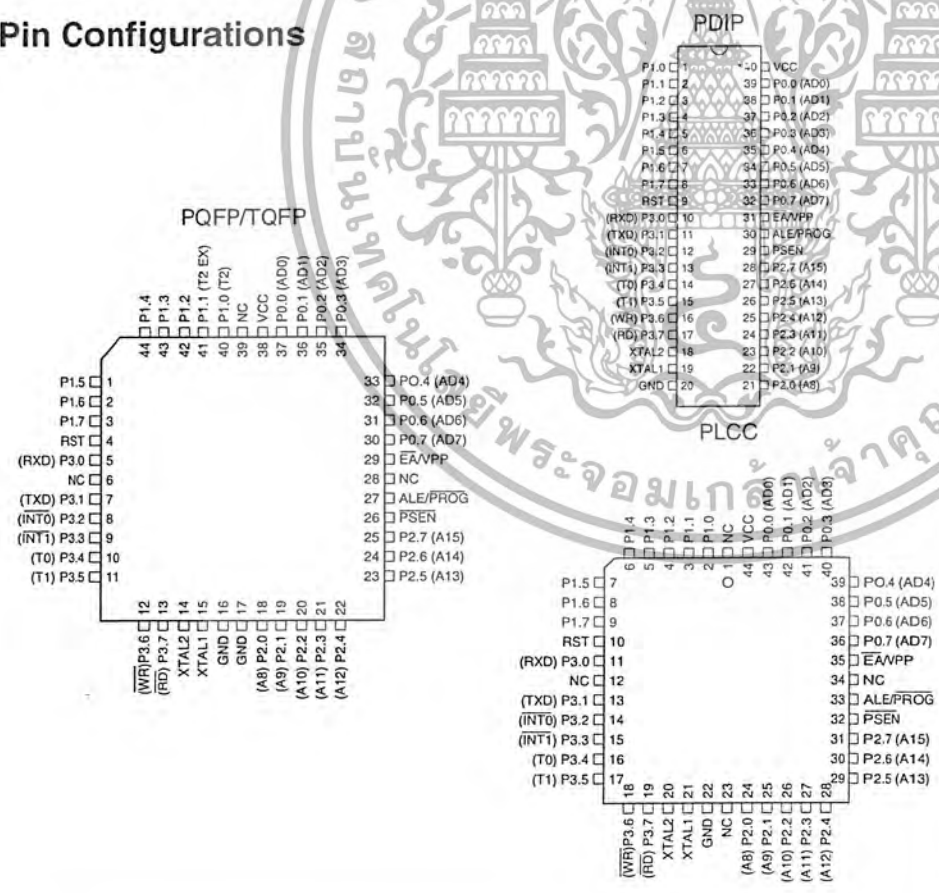
The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.



8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

Pin Configurations

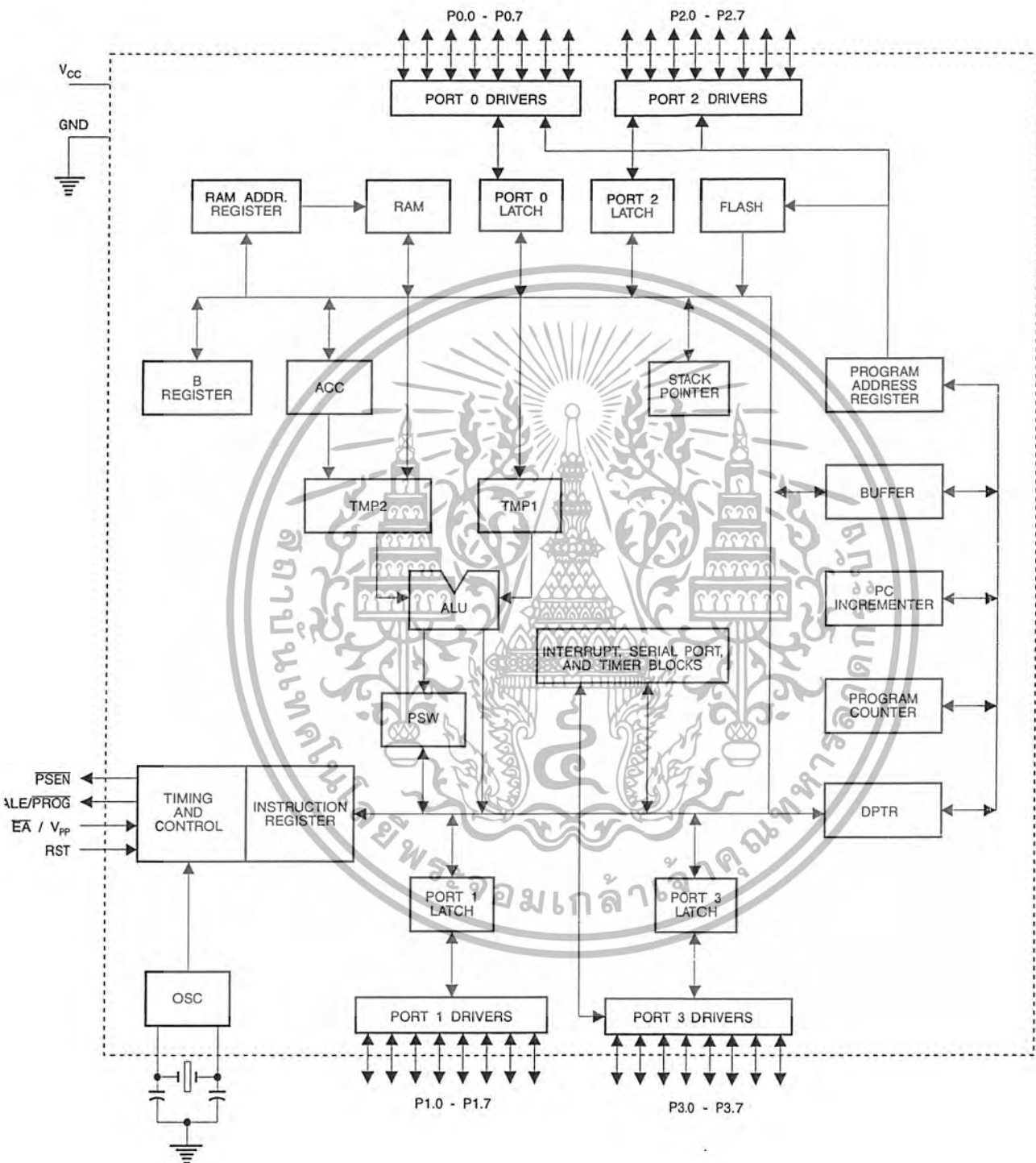


Rev. 0265G-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{\text{PROG}}$) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

EA/VPP

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP}.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

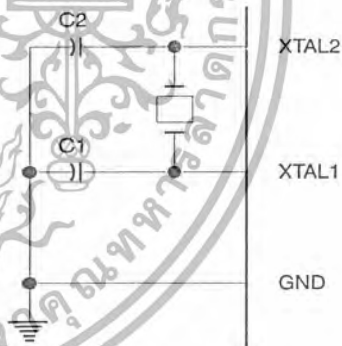
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

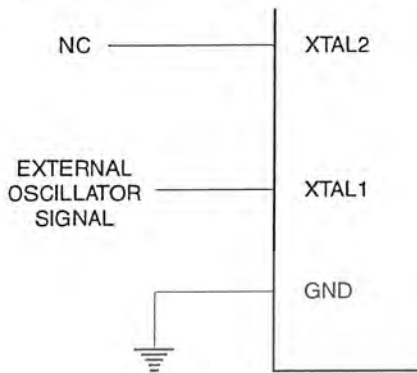


Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOV _C instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled





Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features \overline{Data} Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

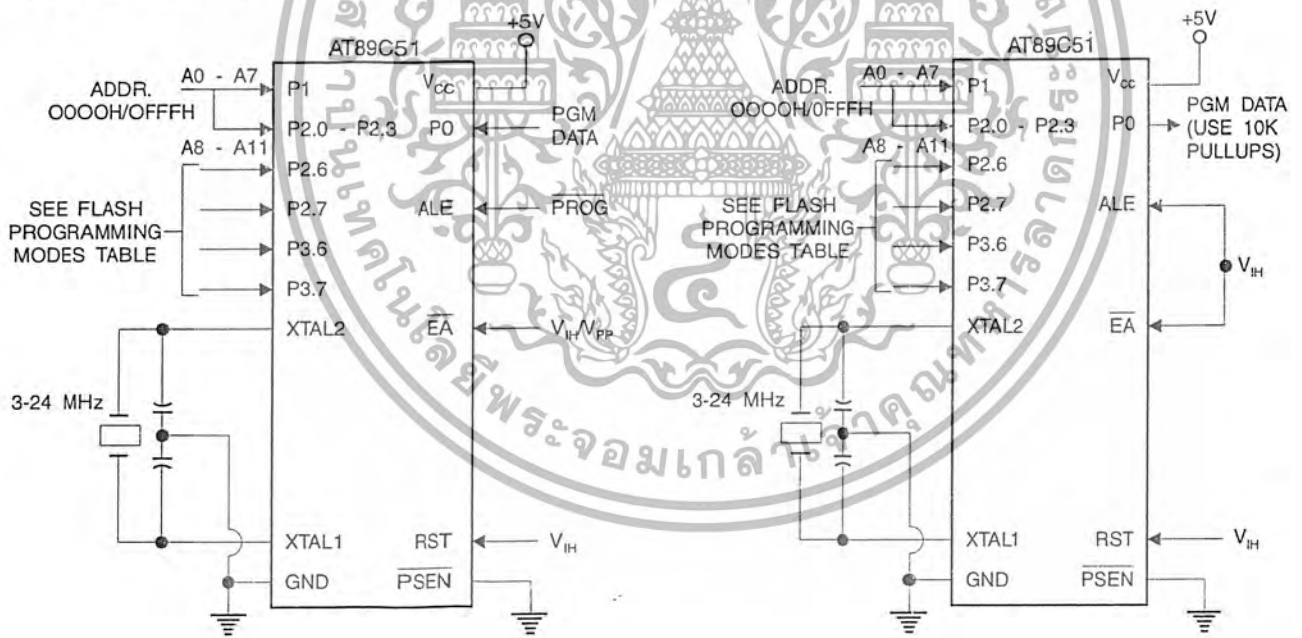
Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7	
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H	
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H	
Write Lock	Bit - 1	L		H/12V	H	H	H	H	
			Bit - 2		H/12V	H	H	L	L
				Bit - 3		H/12V	H	L	H
Chip Erase	H	L		H/12V	H	L	L	L	
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L	

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

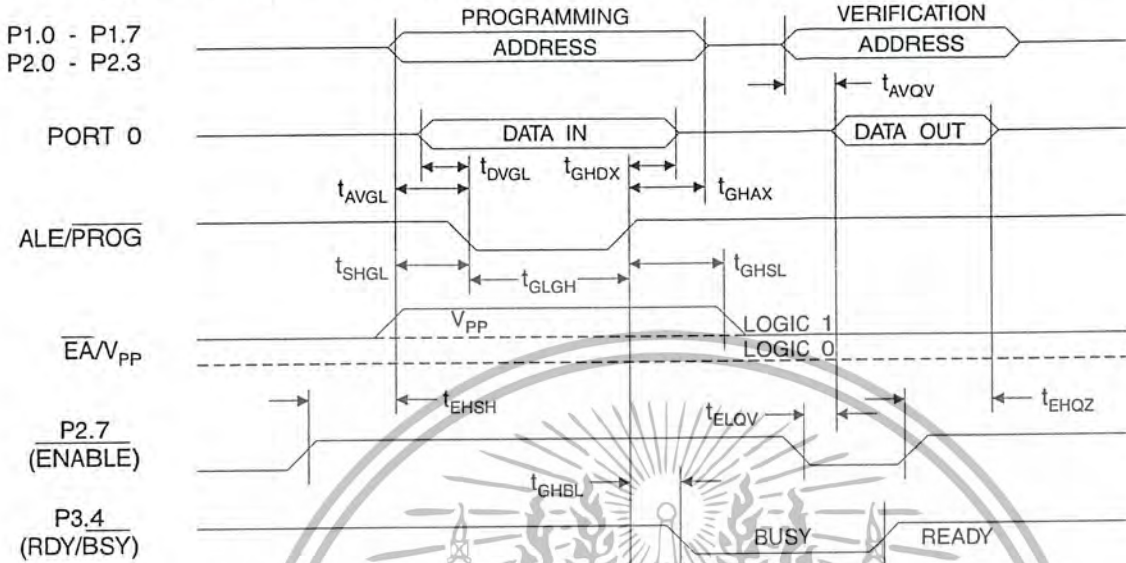
Figure 3. Programming the Flash

Figure 4. Verifying the Flash

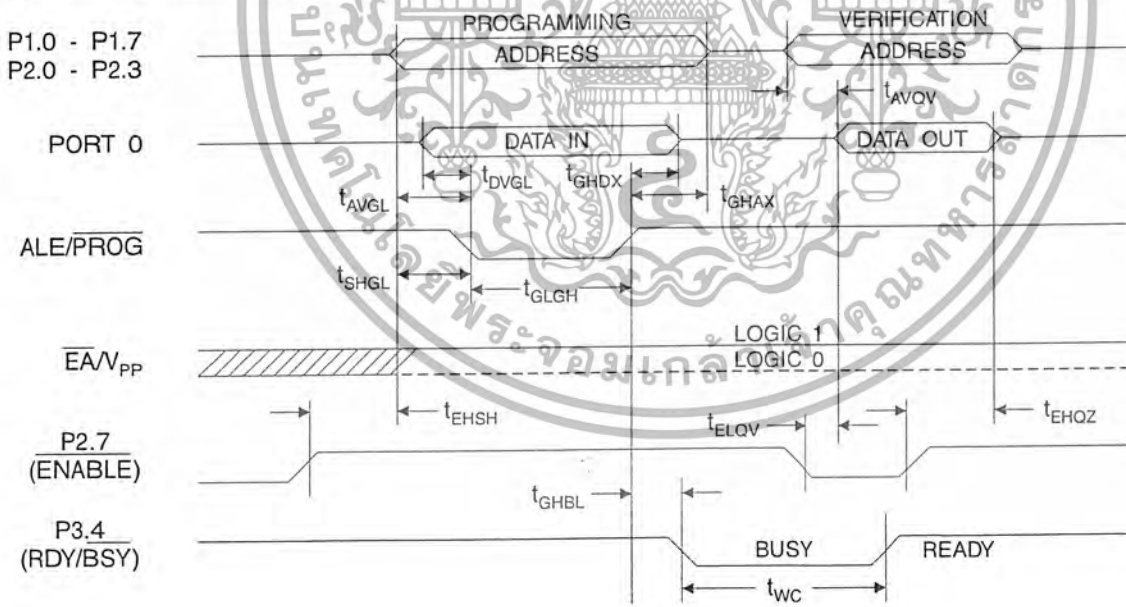


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Characteristics

T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Current		1.0	mA
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t _{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{EHS}	P2.7 (ENABLE) High to V _{PP}	48t _{CLCL}		
t _{SHGL}	V _{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t _{GHSL} ⁽¹⁾	V _{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t _{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t _{AVQV}	Address to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{ELOV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{EHQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48t _{CLCL}	
t _{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t _{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}A$)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low-voltage ($\bar{E}A$)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, $\bar{P}SEN$)	$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, $\bar{P}SEN$)	$I_{OH} = -60\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	K Ω
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA

Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA

Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

AC Characteristics

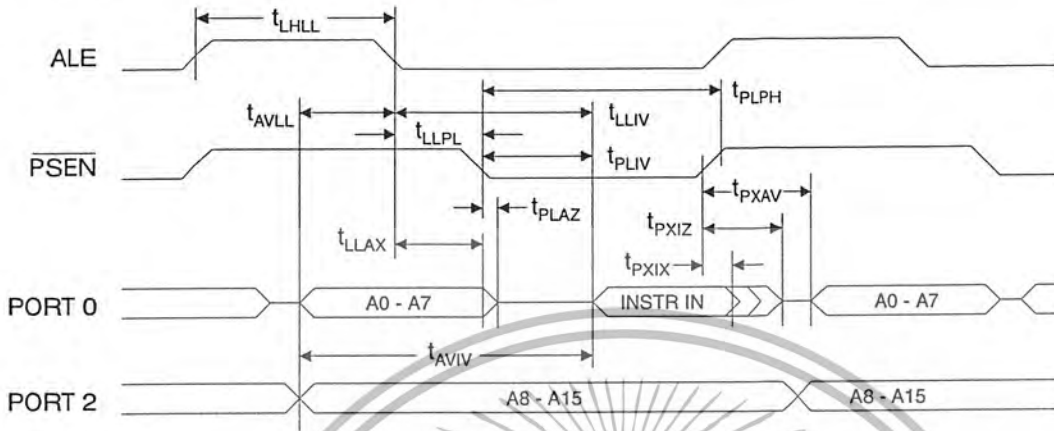
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

External Program and Data Memory Characteristics

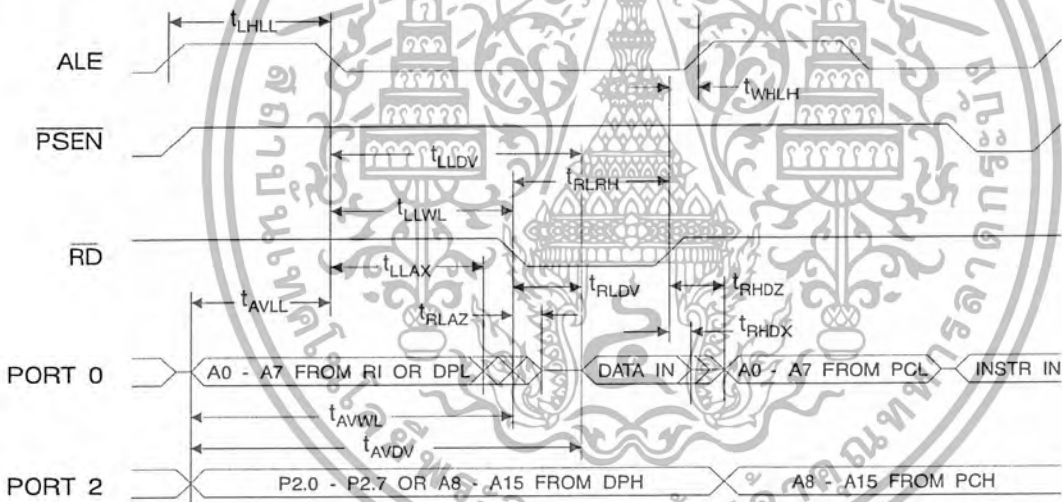
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to PSEN Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
t_{PLPH}	PSEN Pulse Width	205		$3t_{CLCL}-20$		ns
t_{PLIV}	PSEN Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After PSEN	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After PSEN		59		$t_{CLCL}-10$	ns
t_{PXAV}	PSEN to Address Valid	75		$t_{CLCL}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}-55$	ns
t_{PLAZ}	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	\overline{RD} Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{WLWH}	\overline{WR} Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
t_{RLDV}	\overline{RD} Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold After \overline{RD}	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float After \overline{RD}		97		$2t_{CLCL}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to \overline{RD} or \overline{WR} Low	200	300	$3t_{CLCL}-50$	$3t_{CLCL}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to \overline{RD} or \overline{WR} Low	203		$4t_{CLCL}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to \overline{WR} Transition	23		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to \overline{WR} High	433		$7t_{CLCL}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold After \overline{WR}	33		$t_{CLCL}-20$		ns
t_{RLAZ}	\overline{RD} Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	\overline{RD} or \overline{WR} High to ALE High	43	123	$t_{CLCL}-20$	$t_{CLCL}+25$	ns



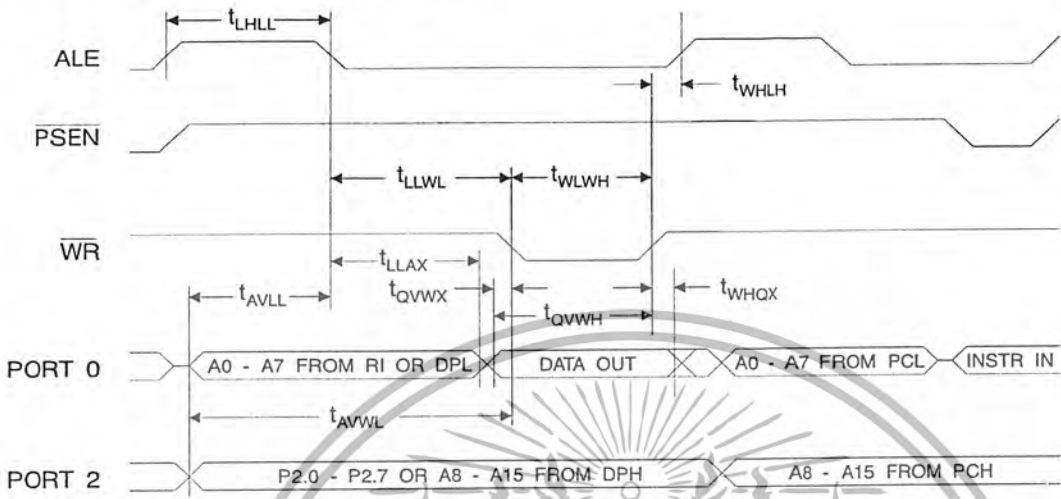
External Program Memory Read Cycle



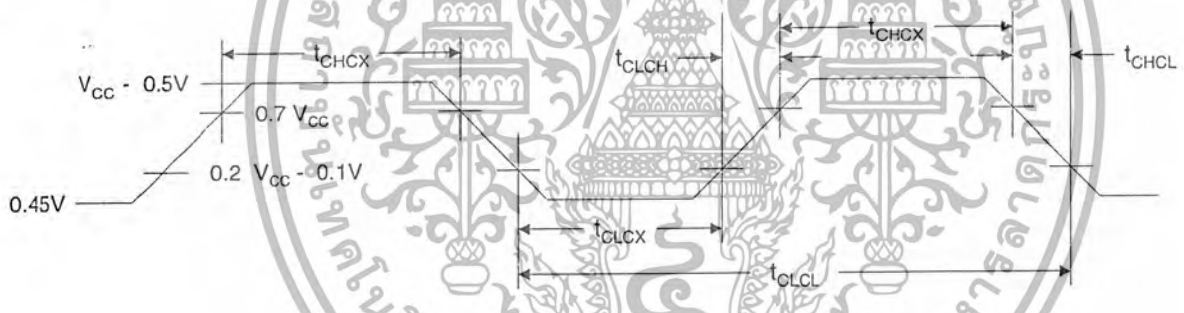
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns



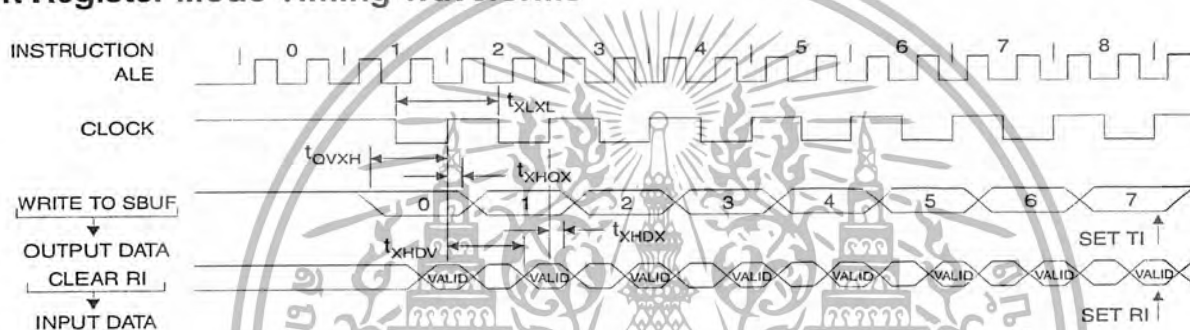
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHGV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾

Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{V}$ for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-12JC	44J		
		AT89C51-12PC	40P6		
		AT89C51-12QC	44Q		
			AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-12JI	44J	
			AT89C51-12PI	40P6	
			AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-16JC	44J		
		AT89C51-16PC	40P6		
		AT89C51-16QC	44Q		
			AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-16JI	44J	
			AT89C51-16PI	40P6	
			AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-20JC	44J		
		AT89C51-20PC	40P6		
		AT89C51-20QC	44Q		
			AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-20JI	44J	
			AT89C51-20PI	40P6	
			AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-24JC	44J		
		AT89C51-24PC	40P6		
		AT89C51-24QC	44Q		
			AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-24JI	44J	
			AT89C51-24PI	40P6	
			AT89C51-24QI	44Q	

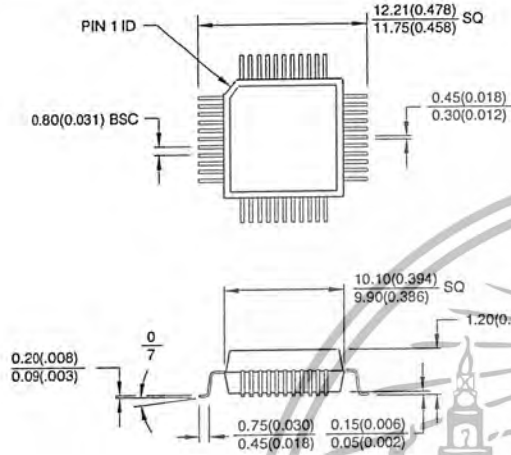
Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

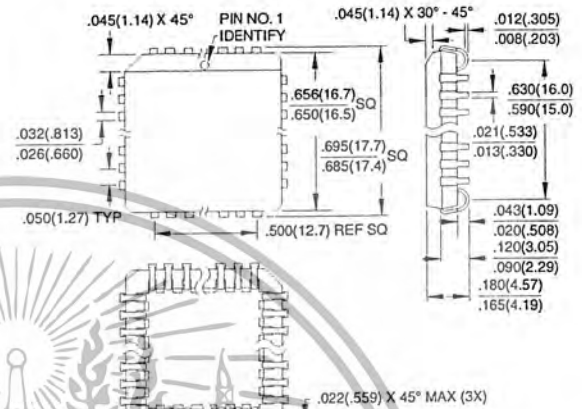
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-026 ACB

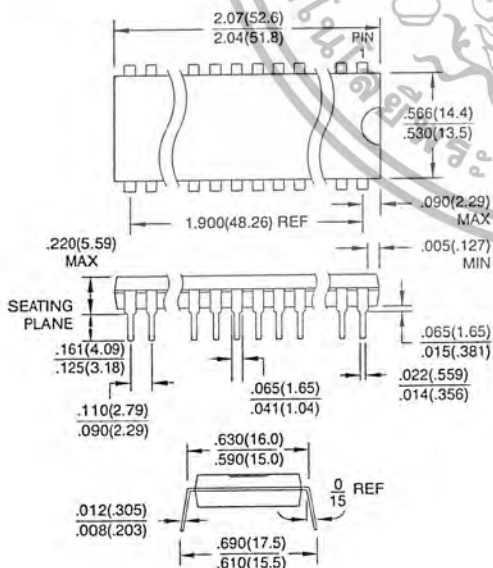


Controlling dimension: millimeters

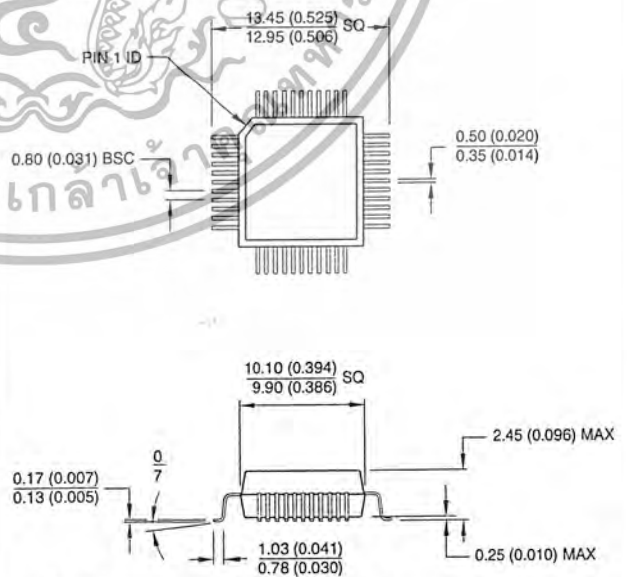
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters

V_{RSM}	V_{RRM}	$(dv/dt)_{cr}$	I_{TRMS} (maximum value for continuous operation)		
	V_{DRM}		50 A		
			I_{TAV} (sin. 180; $T_{case} = 68^\circ C$)		
V	V	V/ μs	32 A		
500	400	500	–	–	SKKH 26/04 D
700	600	500	SKKT 26/06 D	–	SKKH 26/06 D
900	800	500	SKKT 26/08 D	SKKT 27/08 D ¹⁾	SKKH 26/08 D
1300	1200	1000	SKKT 26/12 E	SKKT 27/12 E ¹⁾	SKKH 26/12 E
1500	1400	1000	SKKT 26/14 E	SKKT 27/14 E ¹⁾	SKKH 26/14 E
1700	1600	1000	SKKT 26/16 E	SKKT 27/16 E ¹⁾	SKKH 26/16 E

SEMIPACK® 1 Thyristor / Diode Modules

SKKT 26 SKKH 26
SKKT 27 SKKH 27
SKKT 27B



Symbol	Conditions	SKKT 26 SKKH 26	SKKT 27 SKKT 27B SKKH 27	Units
I_{TAV}	sin. 180; $T_{case} = 68^\circ C$		32	A
	$T_{case} = 85^\circ C$		25	A
I_D	B2/B6 $T_{amb} = 45^\circ C$; P 3/180		38 / 50	A
	$T_{amb} = 35^\circ C$; P 3/180 F		60 / 77	A
I_{RMS}	W1/W3 $T_{amb} = 45^\circ C$; P 3/180		52 / 3 x 37	A
I_{TSM}	$T_{vj} = 25^\circ C$; 10 ms		550	A
	$T_{vj} = 125^\circ C$; 10 ms		480	A
i^2t	$T_{vj} = 25^\circ C$; 8,3 ... 10 ms		1 500	A ² s
	$T_{vj} = 125^\circ C$; 8,3 ... 10 ms		1 150	A ² s
t_{gd}	$T_{vj} = 25^\circ C$; $I_G = 1 A$ $di_G/dt = 1 A/\mu s$		1	μs
t_{gr}	$V_D = 0,67 \cdot V_{DRM}$		1	μs
$(di/dt)_{cr}$	$T_{vj} = 125^\circ C$		150	A/ μs
t_q	$T_{vj} = 125^\circ C$		typ. 80	μs
I_H	$T_{vj} = 25^\circ C$; typ./max.		100 / 200	mA
I_L	$T_{vj} = 25^\circ C$; $R_G = 33 \Omega$; typ./max.		250 / 400	mA
V_T	$T_{vj} = 25^\circ C$; $I_T = 75 A$		max. 1,8	V
$V_{T(TO)}$	$T_{vj} = 125^\circ C$		0,9	V
r_T	$T_{vj} = 125^\circ C$		12	m Ω
I_{DD} ; I_{RD}	$T_{vj} = 125^\circ C$; $V_{RD} = V_{RRM}$ $V_{DD} = V_{DRM}$		max. 10	mA
V_{GT}	$T_{vj} = 25^\circ C$; d.c.		3	V
I_{GT}	$T_{vj} = 25^\circ C$; d.c.		150	mA
V_{GD}	$T_{vj} = 125^\circ C$; d.c.		0,25	V
I_{GD}	$T_{vj} = 125^\circ C$; d.c.		5	mA
R_{thjc}	cont. } per thyristor / sin. 180 } per module rec. 120 }		0,9 / 0,45	$^\circ C/W$
			0,95 / 0,48	$^\circ C/W$
			1,0 / 0,5	$^\circ C/W$
R_{thch}			0,2 / 0,1	$^\circ C/W$
T_{vj}			- 40 ... + 125	$^\circ C$
T_{stg}			- 40 ... + 125	$^\circ C$
V_{isof}	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s/1 min		3600 / 3000	V~
M_1	to heatsink to terminals } SI (US) units		5 (44 lb. in.) $\pm 15\%$	Nm
M_2			3 (26 lb. in.) $\pm 15\%$	Nm
a			5 · 9,81	m/s ²
w	approx.		95	g
Case	→ page B 1 – 95	SKKT 26: A 5 SKKH 26: A 6	SKKT 27: A 46 SKKT 27B: A 48 SKKH 27: A 47	



SKKT 26 SKKH 26



SKKT 27 SKKH 27
SKKT 27B

Features

- Heat transfer through aluminium oxide ceramic isolated metal baseplate
- Hard soldered joints for high reliability
- UL recognized, file no. E 63 532

Typical Applications

- DC motor control (e.g. for machine tools)
- AC motor soft starters
- Temperature control (e.g. for ovens, chemical processes)
- Professional light dimming (studios, theaters)

¹⁾ Also available in SKKT 27B configuration (case A 48)

²⁾ See the assembly instructions

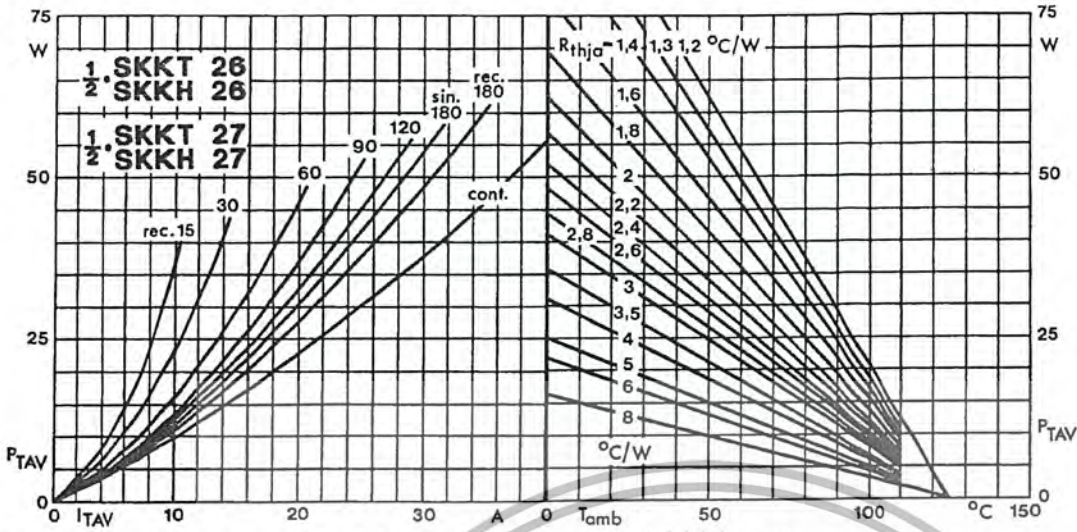


Fig. 1 Power dissipation per thyristor vs. on-state current and ambient temperature

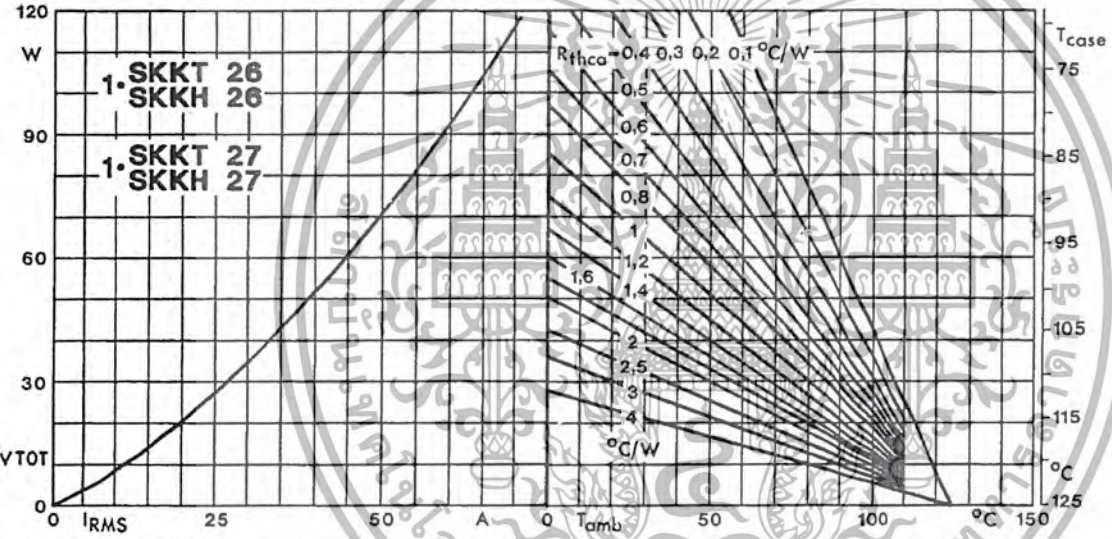


Fig. 2 Power dissipation per module vs. rms current and case temperature

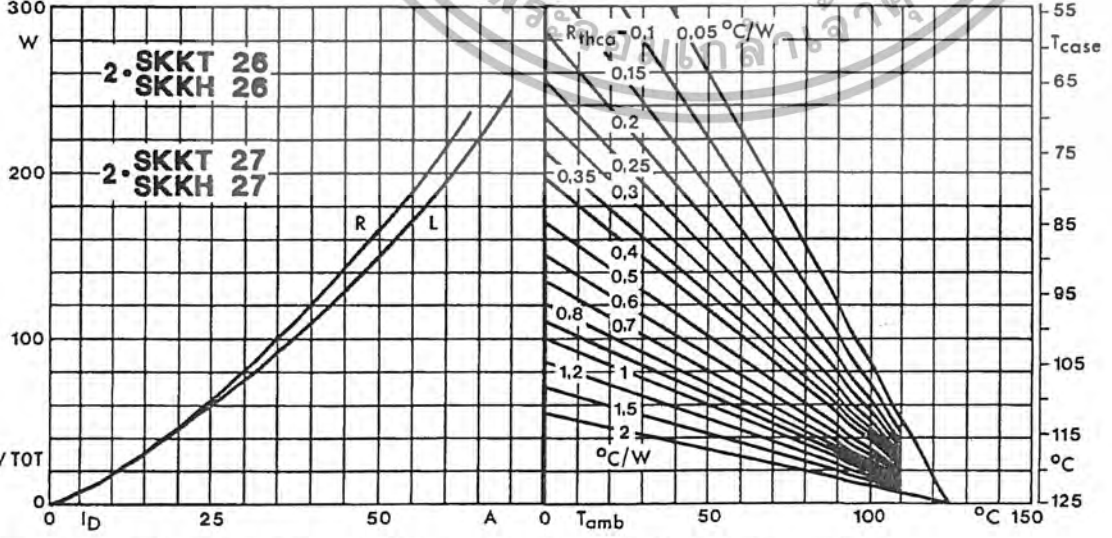


Fig. 3 Power dissipation of two modules vs. direct current and case temperature

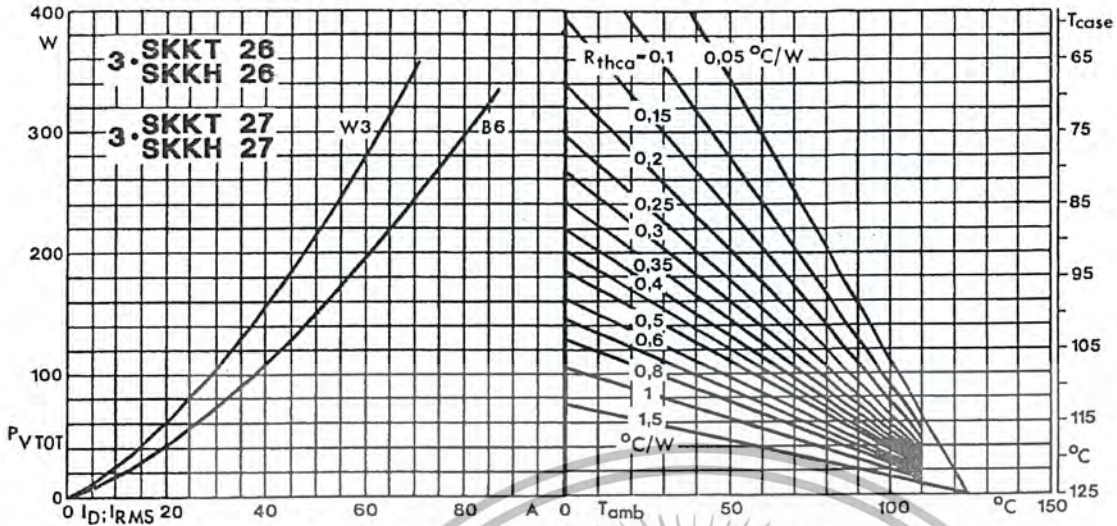


Fig. 4 Power dissipation of three modules vs. direct and rms current and case temperature

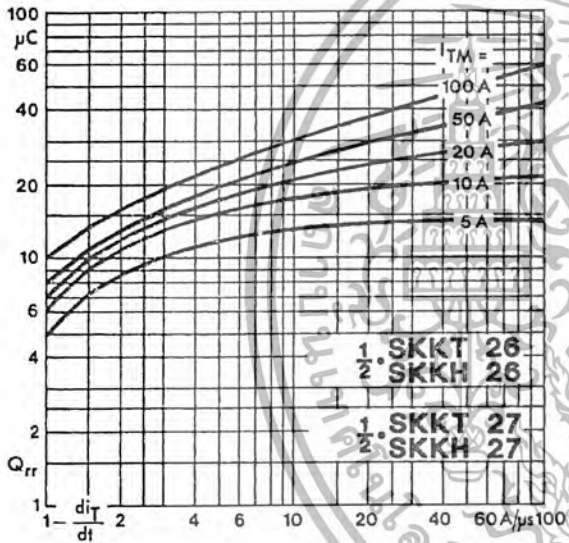


Fig. 5 Recovered charge vs. current decrease

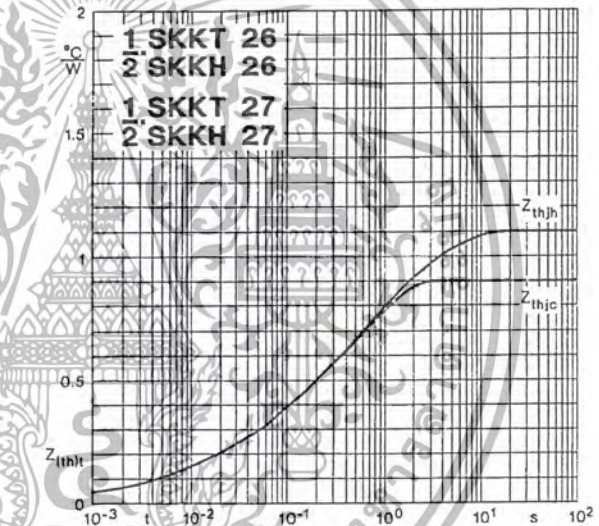


Fig. 6 Transient thermal impedance vs. time

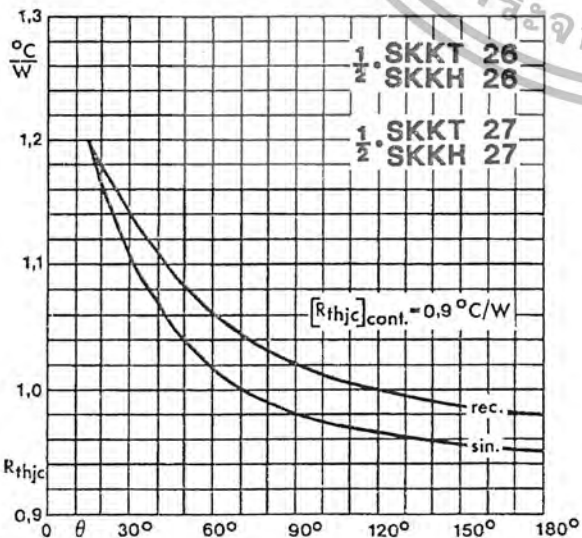


Fig. 7 Thermal resistance vs. conduction angle

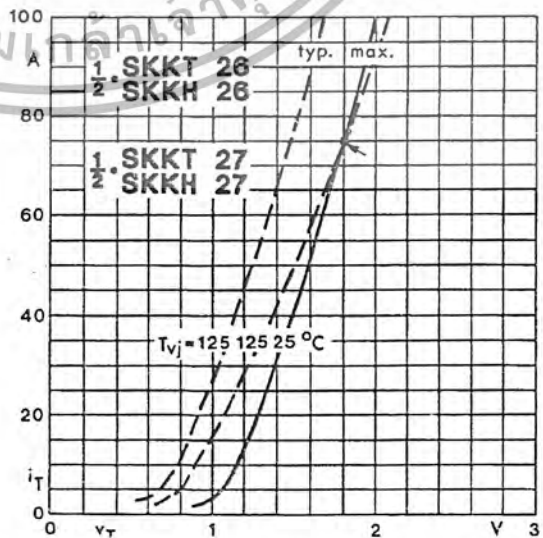


Fig. 8 On-state characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 © by SEMIKRON
 เมื่วารณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

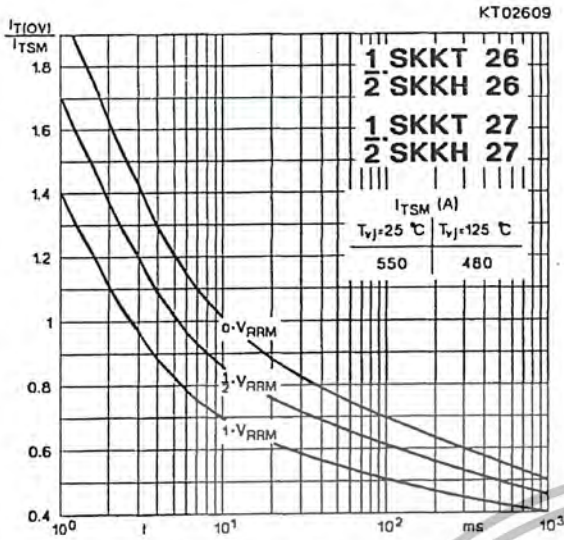


Fig. 9 Surge overload current vs. time

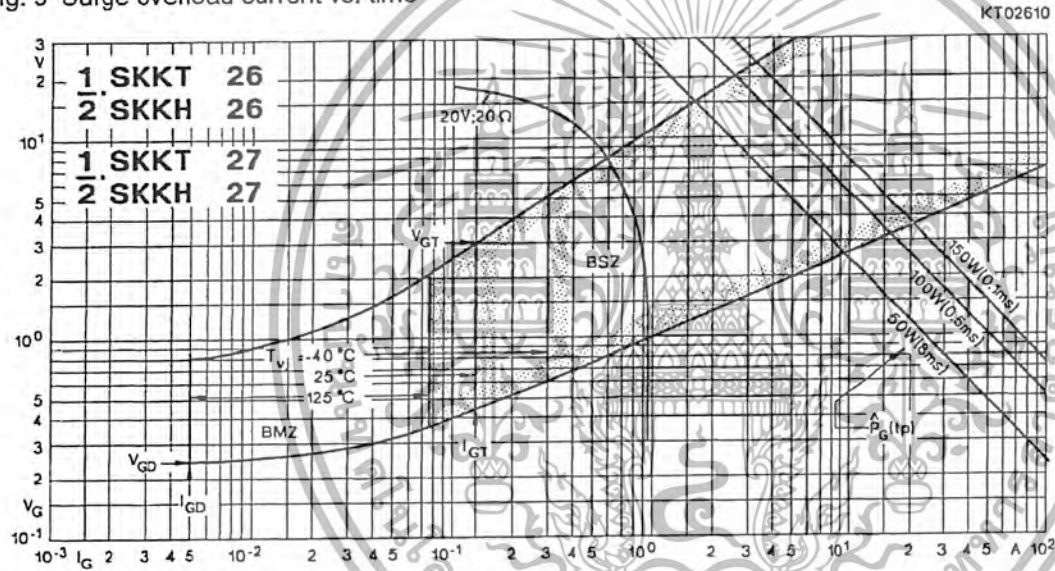
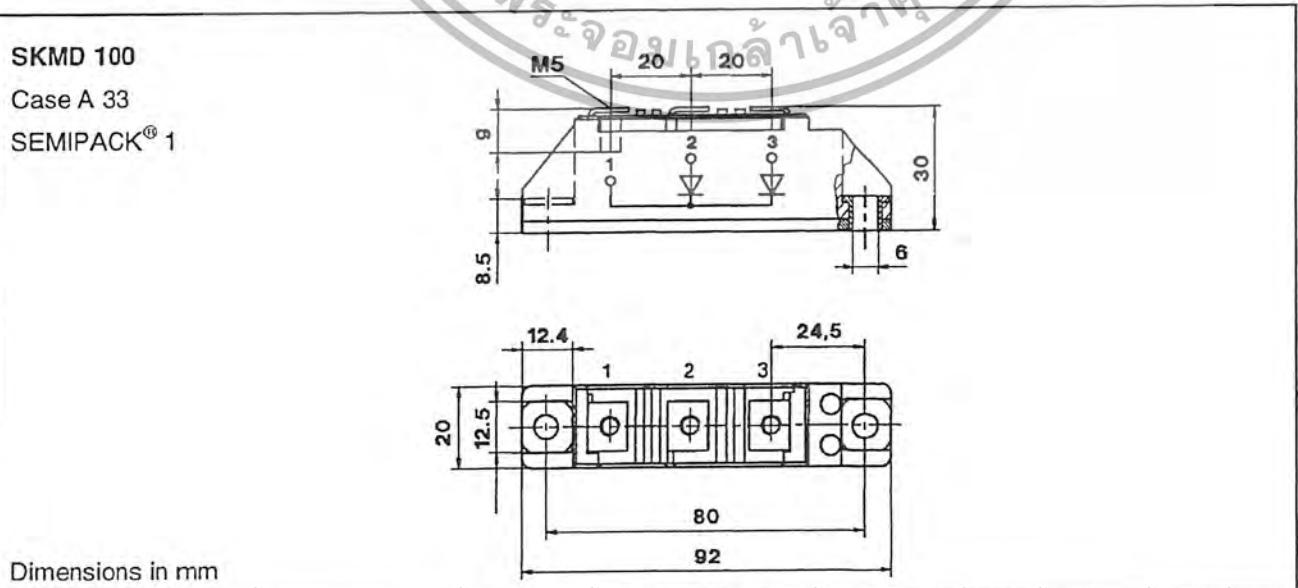


Fig. 10 Gate trigger characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SKKT 19 ... 105

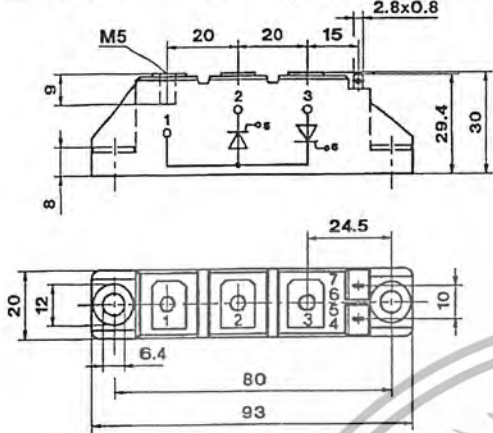
Case A 5

IEC 192-2: A 77 A

JEDEC: TO-240 AA

SEMIPACK® 1

UL recognized, file no. E 63 532
2.8x0.8



Dimensions in mm

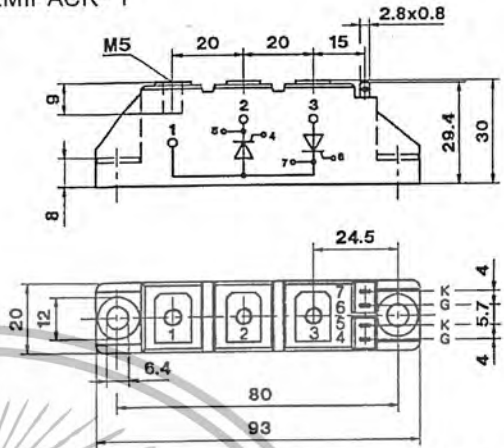
SKKT 20/ ... 106/

Case A 46

IEC 192-2: A 77 A

JEDEC: TO-240 AA

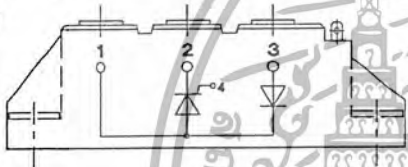
SEMIPACK® 1



Dimensions in mm

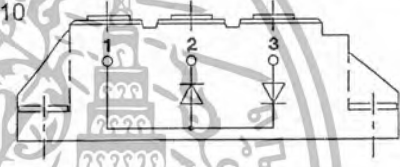
SKKH 26 ... 105

Case A 6



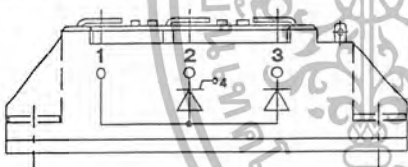
SKKD 26 ... 100

Case A 10



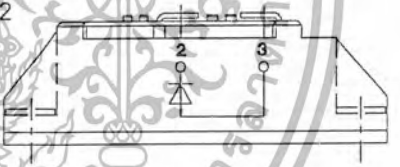
SKNH 56 ... 91

Case A 7



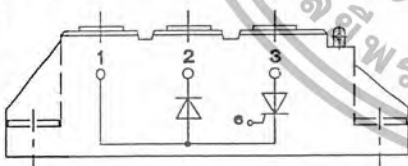
SKKE 81

Case A 12



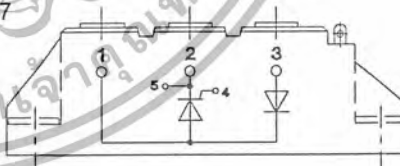
SKKL 56 ... 105

Case A 9



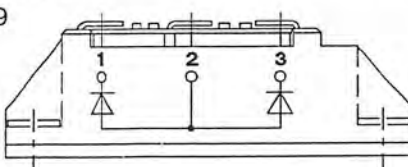
SKKH 27 ... 106

Case A 47



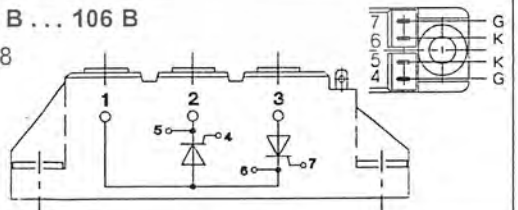
SKND 46 ... 81

Case A 19



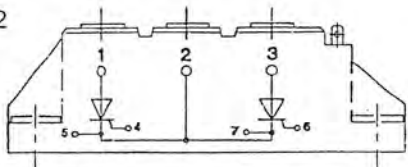
SKKT 20 B ... 106 B

Case A 48



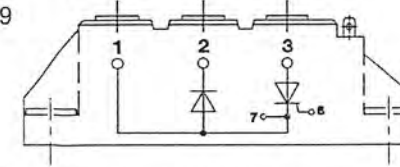
SKMT 92

Case A 72



SKKL 42 ... 106

Case A 59



LM555/NE555/SA555

Single Timer

Features

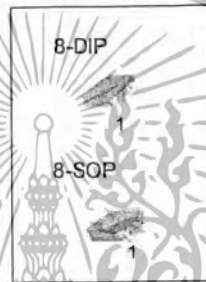
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μ Sec to Hours
- Turn off Time Less Than 2 μ Sec

Applications

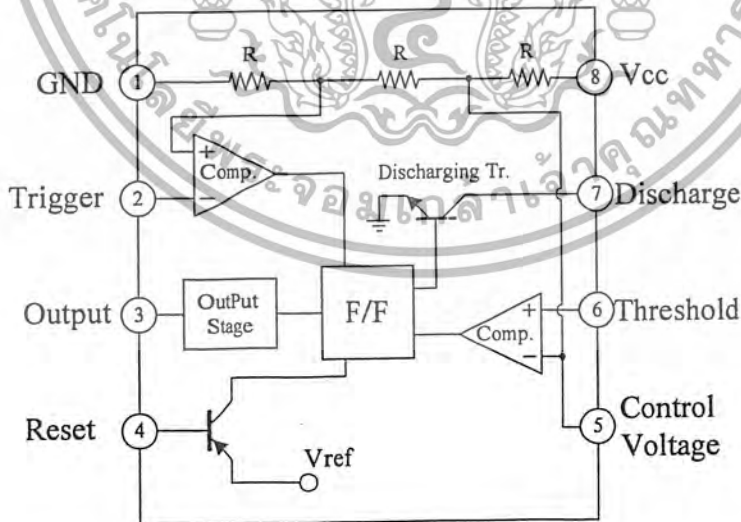
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	16	V
Lead Temperature (Soldering 10sec)	TLEAD	300	°C
Power Dissipation	Pd	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C



Electrical Characteristics

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5 \sim 15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	-	4.5	-	16	V
Supply Current (Low Stable) (Note1)	I_{CC}	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$	-	3	6	mA
		$V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$	-	7.5	15	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	1.0 50 0.1	3.0 - -	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Timing Error (Astable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	2.25 150 0.3	- - -	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Control Voltage	V_C	$V_{CC} = 15\text{V}$	9.0	10.0	11.0	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	V_{TH}	$V_{CC} = 15\text{V}$	-	10.0	-	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$	-	3.33	-	V
Threshold Current (Note3)	I_{TH}	-	-	0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	V_{TR}	$V_{CC} = 5\text{V}$	1.1	1.67	2.2	V
		$V_{CC} = 15\text{V}$	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	I_{TR}	$V_{TR} = 0\text{V}$	-	0.01	2.0	μA
Reset Voltage	V_{RST}	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	I_{RST}	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	V_{OL}	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SINK} = 10\text{mA}$	-	0.06	0.25	V
		$I_{SINK} = 50\text{mA}$	-	0.3	0.75	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SINK} = 5\text{mA}$	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	V_{OH}	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{SOURCE} = 200\text{mA}$	12.75	13.3	-	V
		$I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	12.75	13.3	-	V
		$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{SOURCE} = 100\text{mA}$	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output (Note4)	t_R	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output (Note4)	t_F	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	I_{LKG}	-	-	20	100	nA

Notes:

- When the output is high, the supply current is typically 1mA less than at $V_{CC} = 5\text{V}$.
- Tested at $V_{CC} = 5.0\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.
- This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation, the max. total R = 20M Ω , and for 5V operation, the max. total R = 6.7M Ω .
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (V _{th})(PIN 6)	Trigger Voltage (V _{tr})(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
V _{th} > 2V _{cc} / 3	V _{tr} > 2V _{cc} / 3	High	Low	ON
V _{cc} / 3 < V _{th} < 2 V _{cc} / 3	V _{cc} / 3 < V _{tr} < 2 V _{cc} / 3	High	-	-
V _{th} < V _{cc} / 3	V _{tr} < V _{cc} / 3	High	High	OFF

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, the timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

1. Monostable Operation

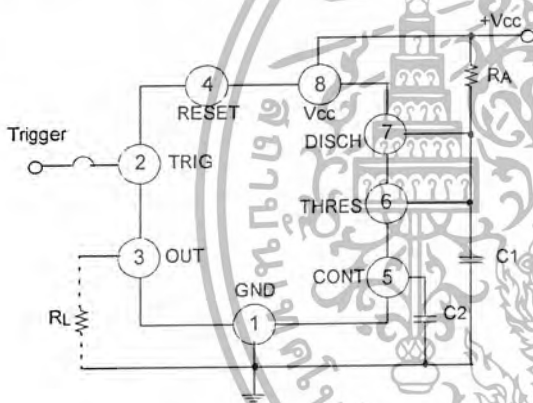


Figure 1. Monoatable Circuit



Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay(td)

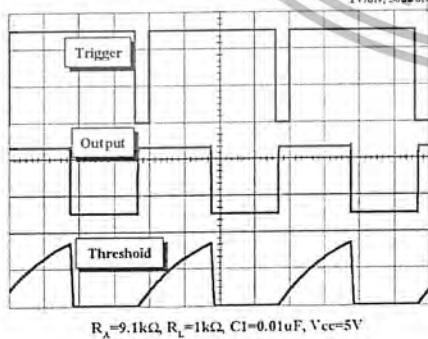


Figure 3. Waveforms of Monostable Operation

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below $V_{cc}/3$. When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below $V_{cc}/3$ while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr. off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor C1 and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor C1, V_{C1} increases exponentially with the time constant $t = R_A * C$ and reaches $2V_{cc}/3$ at $t_d = 1.1R_A * C$. Hence, capacitor C1 is charged through resistor R_A . The greater the time constant $R_A C$, the longer it takes for the V_{C1} to reach $2V_{cc}/3$. In other words, the time constant $R_A C$ controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor C1 reaches $2V_{cc}/3$, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr. on. At this time, C1 begins to discharge and the timer output converts to low.

In this way, the timer operating in the monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on R_A and C. Figure 3 shows the general waveforms during the monostable operation.

It must be noted that, for a normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of $V_{cc}/3$ before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform does not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below $V_{cc}/3$. Figure 4 shows such a timer output abnormality.

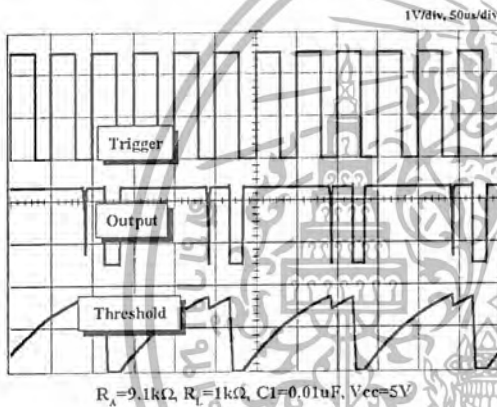


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

2. Astable Operation

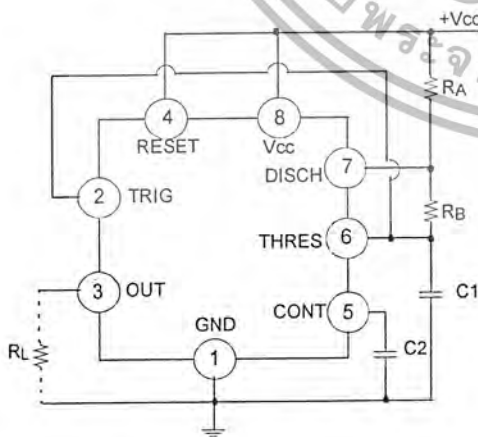


Figure 5. Astable Circuit

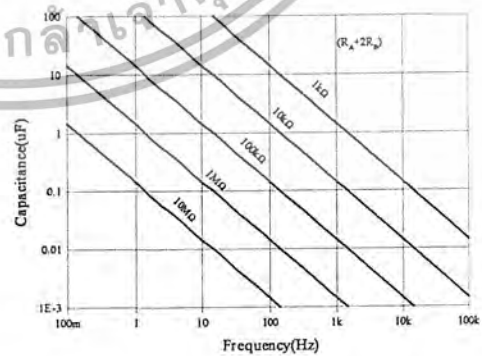


Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency

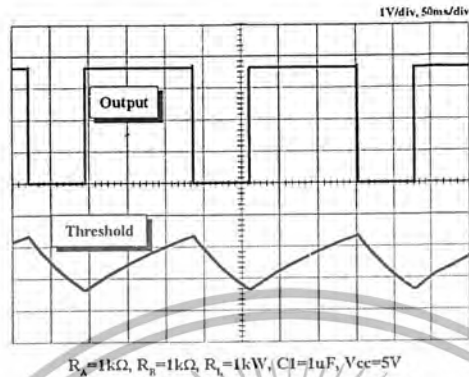
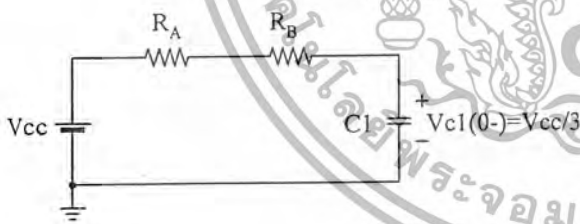


Figure 7. Waveforms of Astable Operation

An astable timer operation is achieved by adding resistor R_B to Figure 1 and configuring as shown on Figure 5. In the astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi vibrator. When the timer output is high, its internal discharging Tr turns off and the V_{C1} increases by exponential function with the time constant $(R_A + R_B) \cdot C$.

When the V_{C1} , or the threshold voltage, reaches $2V_{CC}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This in turn turns on the discharging Tr and the $C1$ discharges through the discharging channel formed by R_A and the discharging Tr . When the V_{C1} falls below $V_{CC}/3$, the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging Tr turns off and the V_{C1} rises again.

In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the V_{C1} to rise from $V_{CC}/3$ to $2V_{CC}/3$, and the section where the timer output is low is the time it takes for the V_{C1} to drop from $2V_{CC}/3$ to $V_{CC}/3$. When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor $C1$ is as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{V_{CC} - V(0-)}{R_A + R_B} \quad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \quad (2)$$

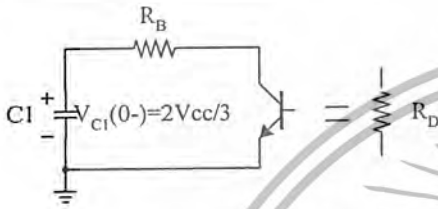
$$V_{C1}(t) = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3} e^{-\left(\frac{t}{(R_A + R_B)C_1} \right)} \right) \quad (3)$$

Since the duration of the timer output high state(t_H) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $2V_{CC}/3$,

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} \left(1 - \frac{2}{3}e^{-\left(\frac{t_H}{(R_A+R_B)C_1}\right)} \right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1(R_A + R_B)\ln 2 = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1, when timer output is low is, as follows:



$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A + R_B} V_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} e^{-\frac{t}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state (t_L) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach $V_{CC}/3$,

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \frac{2}{3}V_{CC} e^{-\frac{t_L}{(R_A + R_D)C_1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1(R_B + R_D)\ln 2 = 0.693(R_B + R_D)C_1 \quad (9)$$

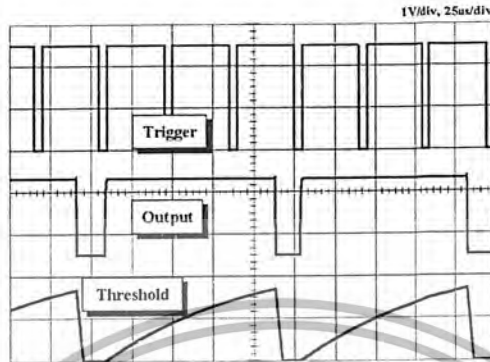
Since R_D is normally $R_B \gg R_D$ although related to the size of discharging T_r , $t_L = 0.693R_B C_1$ (10)

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with $T = t_H + t_L = 0.693(R_A + R_B)C_1 + 0.693R_B C_1 = 0.693(R_A + 2R_B)C_1$ because the period is the sum of the charge time and discharge time. And since frequency is the reciprocal of the period, the following applies.

$$\text{frequency, } f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (11)$$

3. Frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 8. illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.



$R_A = 9.1k\Omega, R_1 = 1k\Omega, C1 = 0.01\mu F, V_{cc} = 5V$

Figure 8. Waveforms of Frequency Divider Operation

4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 9 illustrates the pulse width modulation circuit. When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave as well as other waveforms may be applied as a signal to the control terminal. Figure 10 shows the example of pulse width modulation waveform.

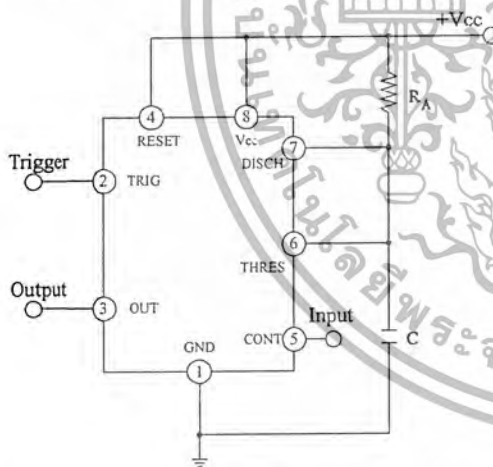
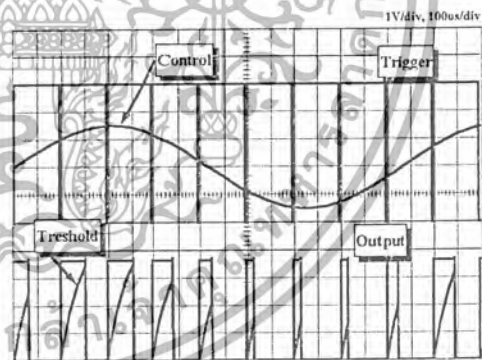


Figure 9. Circuit for Pulse Width Modulation



$R_A = 9.1k\Omega, R_1 = 1k\Omega, C1 = 0.01\mu F, V_{cc} = 5V$

Figure 10. Waveforms of Pulse Width Modulation

5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for the astable operation as in Figure 11, the timer becomes a pulse position modulator. In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated which in turn modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal. Figure 12 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation : however, any wave shape could be used.

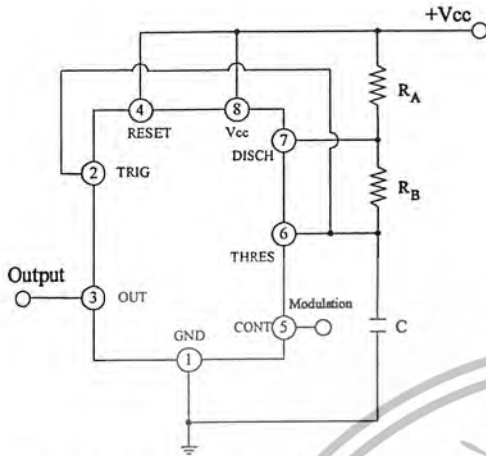
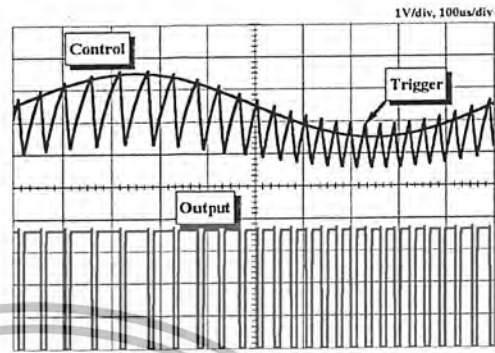


Figure 11. Circuit for Pulse Position Modulation



$R_A=3.9k\Omega, R_B=1k\Omega, R_L=1k\Omega, C1=0.01\mu F, V_{cc}=5V$

Figure 12. Waveforms of pulse position modulation

6. Linear Ramp

When the pull-up resistor R_A in the monostable circuit shown in Figure 1 is replaced with constant current source, the V_C1 increases linearly, generating a linear ramp. Figure 13 shows the linear ramp generating circuit and Figure 14 illustrates the generated linear ramp waveforms.

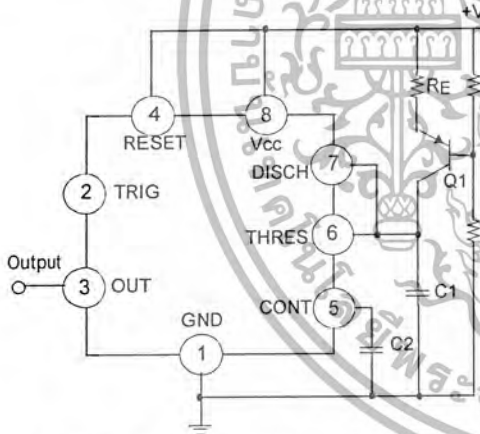
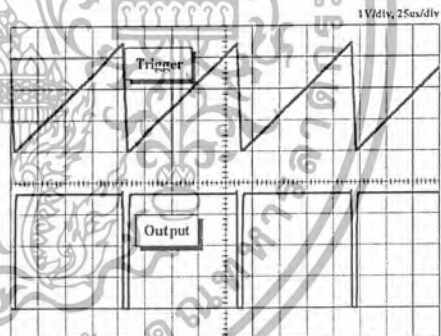


Figure 13. Circuit for Linear Ramp



$R1=47k\Omega, R2=100k\Omega, R_L=2.7k\Omega, R_B=1k\Omega, C1=0.01\mu F, V_{cc}=5V$

Figure 14. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 13, current source is created by PNP transistor Q1 and resistor R1, R2, and RE.

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \quad (12)$$

Here, V_E is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (13)$$

For example, if $V_{cc}=15V, R_E=20k\Omega, R1=5k\Omega, R2=10k\Omega$, and $V_{BE}=0.7V$,

$$V_E = 0.7V + 10V = 10.7V$$

$$I_c = (15 - 10.7) / 20k = 0.215mA$$

When the trigger starts in a timer configured as shown in Figure 13, the current flowing through capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.

Hence, the V_C is a linear ramp function as shown in Figure 14. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{T} \quad (14)$$

Here the V_{p-p} is the peak-to-peak voltage.

If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the V_C comes out as follows:

$$V=Q/C \quad (15)$$

The above equation divided on both sides by T gives us

$$\frac{V}{T} = \frac{Q/T}{C} \quad (16)$$

and may be simplified into the following equation.

$$S=I/C \quad (17)$$

In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.

If the constant current flow through the capacitor is 0.215mA and the capacitance is $0.02\mu\text{F}$, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is $S = 0.215\text{m}/0.022\mu = 9.77\text{V/ms}$.

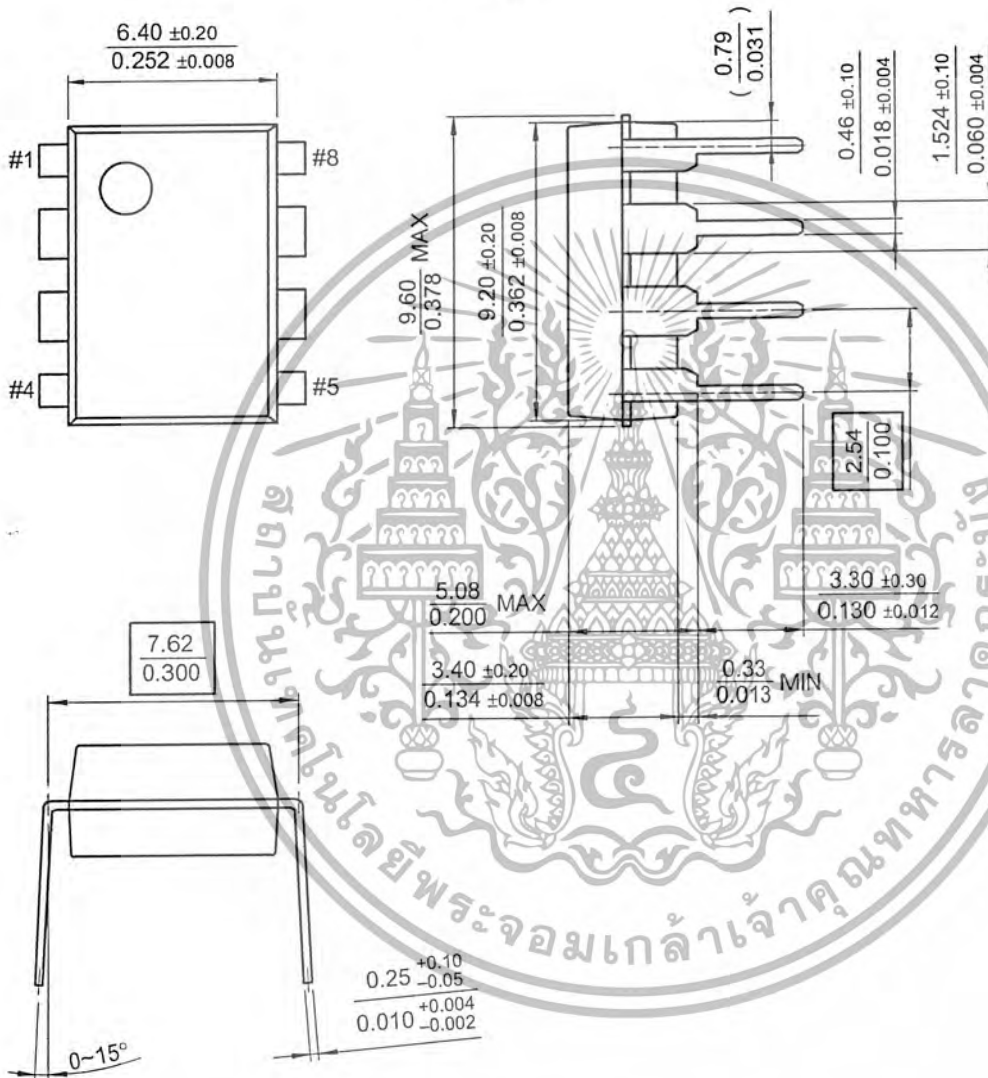


Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM555CN	8-DIP	0 ~ +70°C
LM555CM	8-SOP	
Product Number	Package	Operating Temperature
NE555N	8-DIP	0 ~ +70°C
NE555D	8-SOP	
Product Number	Package	Operating Temperature
SA555	8-DIP	-40 ~ +85°C
SA555D	8-SOP	



**6-PIN DIP ZERO-CROSS
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

DESCRIPTION

The MOC303XM and MOC304XM devices consist of a AlGaAs infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a zero voltage crossing bilateral triac driver.

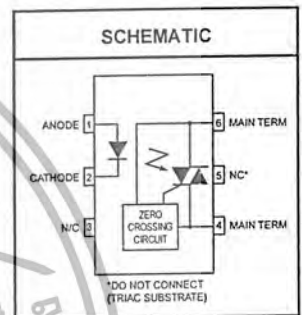
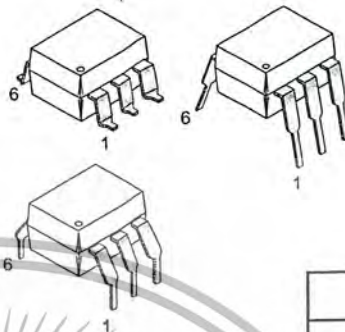
They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 VAC lines, such as teletypewriters, CRTs, solid-state relays, industrial controls, printers, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

FEATURES

- Simplifies logic control of 115 VAC power
- Zero voltage crossing
- dv/dt of 2000 V/μs typical, 1000 V/μs guaranteed
- VDE recognized (File # 94766)
- ordering option V (e.g., MOC3043VM)

APPLICATIONS

- Solenoid/valve controls
- Static power switches
- Temperature controls
- AC motor starters
- Lighting controls
- AC motor drives
- E.M. contactors
- Solid state relays



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T _{STG}	All	-40 to +150	°C
Operating Temperature	T _{OPR}	All	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T _{SOL}	All	260 for 10 sec	°C
Junction Temperature Range	T _J	All	-40 to +100	°C
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V _{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C	P _D	All	250	mW
Derate above 25°C			2.94	mW/°C
EMITTER				
Continuous Forward Current	I _F	All	60	mA
Reverse Voltage	V _R	All	6	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient	P _D	All	120	mW
Derate above 25°C			1.41	mW/°C
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	MOC3031M/2M/3M	250	V
		MOC3041M/2M/3M	400	
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	I _{TSM}	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient	P _D	All	150	mW
Derate above 25°C		All	1.76	mW/°C

Note

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

**6-PIN DIP ZERO-CROSS
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

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

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_F = 30\text{ mA}$	V_F	All		1.25	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 6\text{ V}$	I_R	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated V_{DRM} , $I_F = 0$ (note 1)	I_{DRM1}	All			100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}$, $I_F = 0$	V_{TM}	All		1.8	3	V
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (figure 9, note 3)	dv/dt	All	1000			V/ μs

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Main terminal voltage = 3V (note 2)	I_{FT}	MOC3031M/MOC3041M			15	mA
			MOC3032M/MOC3042M			10	
			MOC3033M/MOC3043M			5	
Holding Current, Either Direction		I_H	All		400		μA

ZERO CROSSING CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
Inhibit Voltage	$I_F = \text{rated } I_{FT}$, MT1-MT2 voltage above which device will not trigger off-state	V_{IH}	All			20	V
Leakage in Inhibited State	$I_F = \text{rated } I_F$, rated V_{DRM} , off-state	I_{DRM2}	All			500	μA

Note

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (15 mA for MOC3031M & MOC3041M, 10 mA for MOC3032M & MOC3042M, 5 mA for MOC3033M & MOC3043M) and absolute max I_F (60 mA).
3. This is static dv/dt . See Figure 9 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.

MOC3031M

MOC3032M

MOC3033M

MOC3041M

MOC3042M

MOC3043M

Figure 1. LED Forward Voltage vs. Forward Current

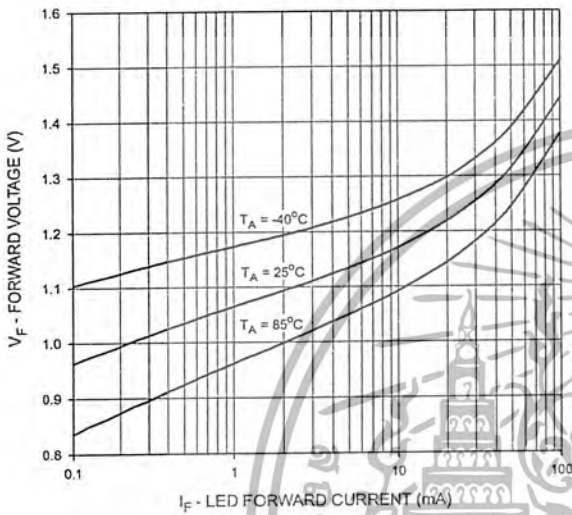


Figure 2. On-State Characteristics

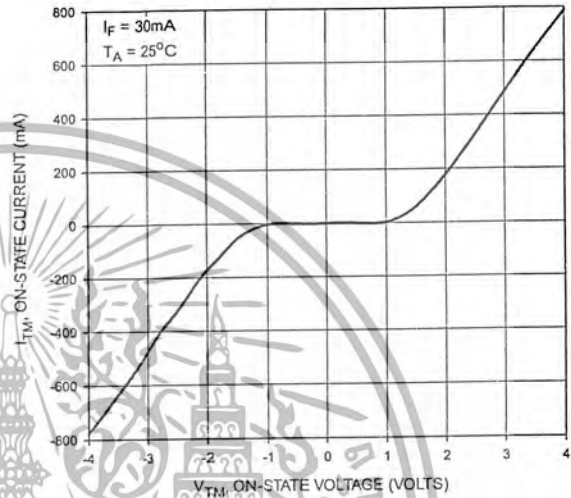


Figure 3. Trigger Current vs. Temperature

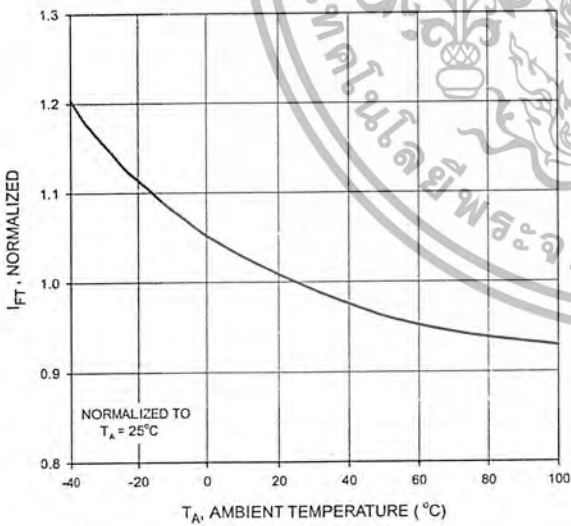


Figure 4. Leakage Current, I_{DRM} vs. Temperature

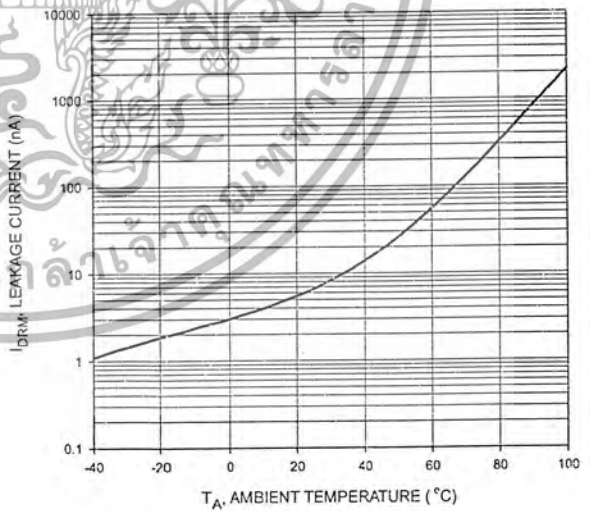


Figure 5. I_{DRM2} - Leakage in Inhibit State vs. Temperature

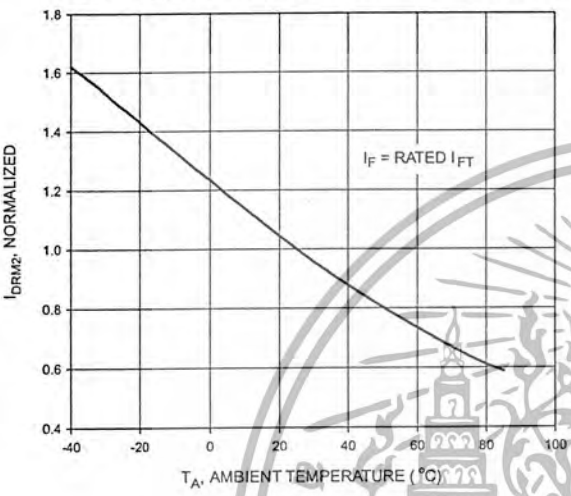


Figure 6. LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

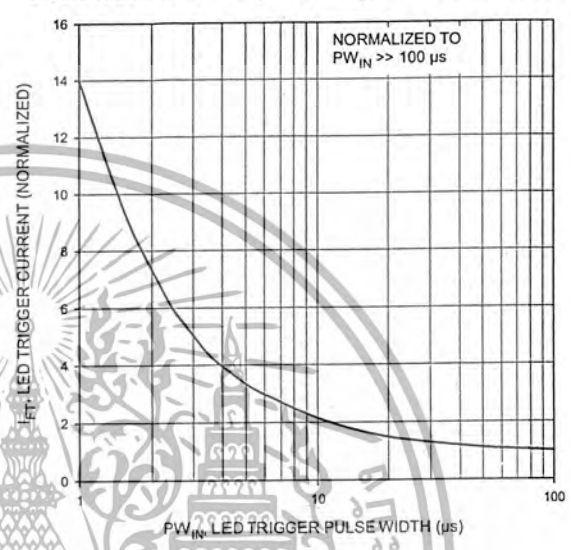


Figure 7. Holding Current, I_H vs. Temperature

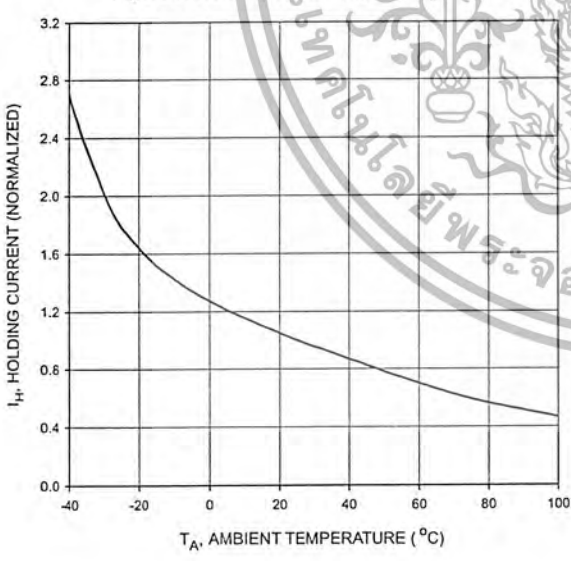
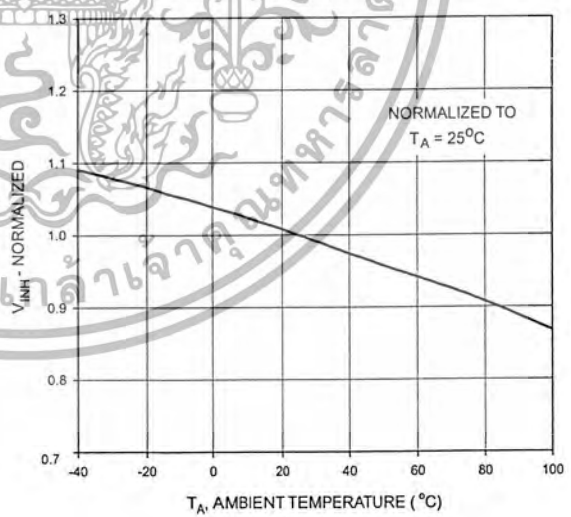


Figure 8. Inhibit Voltage vs. Temperature



**6-PIN DIP ZERO-CROSS
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3031M

MOC3032M

MOC3033M

MOC3041M

MOC3042M

MOC3043M

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

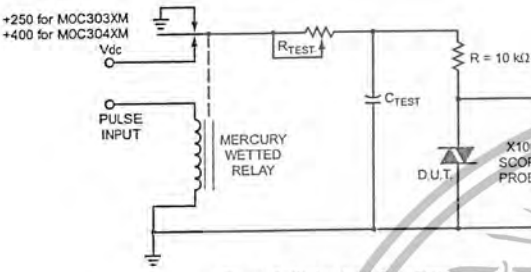


Figure 9. Static dv/dt Test Circuit



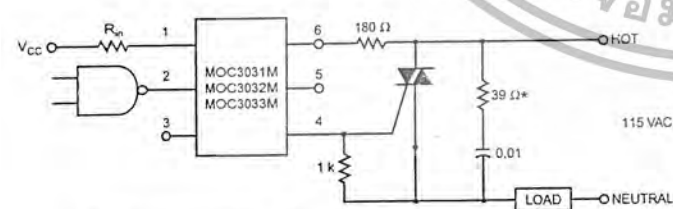
Figure 10. Static dv/dt Test Waveform (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)



Figure 11. Static dv/dt Test Waveform (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

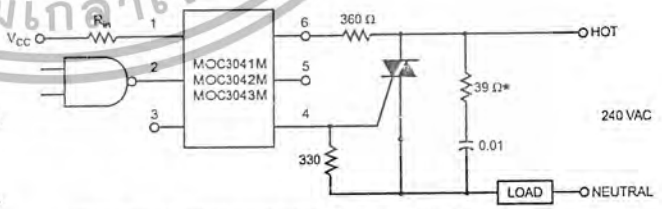
Typical circuit (Fig 12, 13) for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

R_{in} is calculated so that I_F is equal to the rated I_{FT} of the part, 5 mA for the MOC3033M and MOC3043M, 10 mA for the MOC3032M and MOC3042M, or 15 mA for the MOC3031M and MOC3041M. The 39 ohm resistor and 0.01 μF capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.



*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 12. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)



*For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 13. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

MOC3031M

MOC3032M

MOC3033M

MOC3041M

MOC3042M

MOC3043M

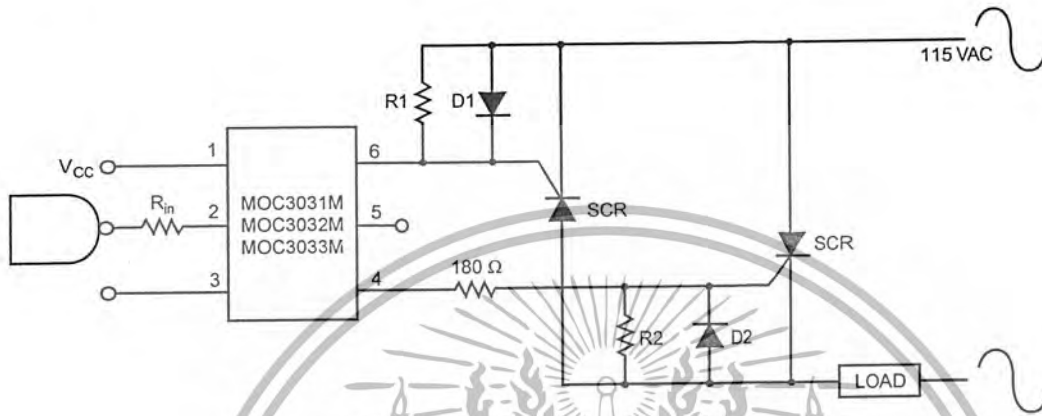


Figure 14. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit
(MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 1 k ohm.

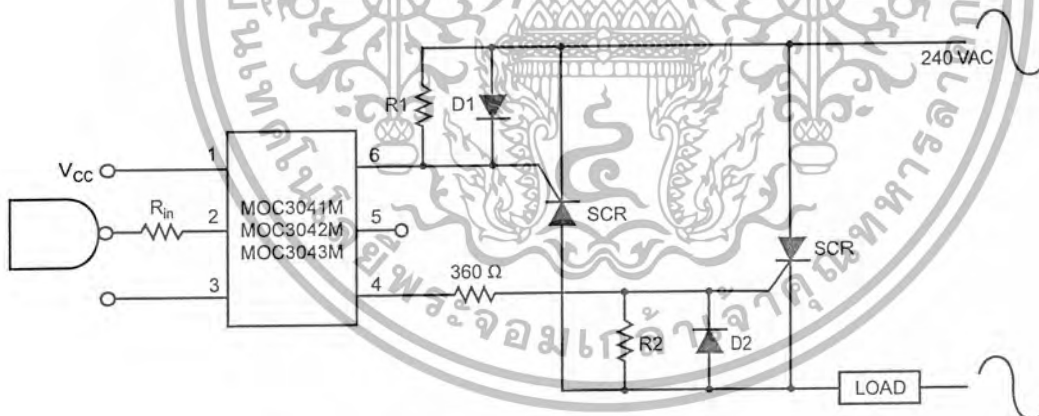


Figure 15. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit
(MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohm.

Note: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

MOC3031M

MOC3032M

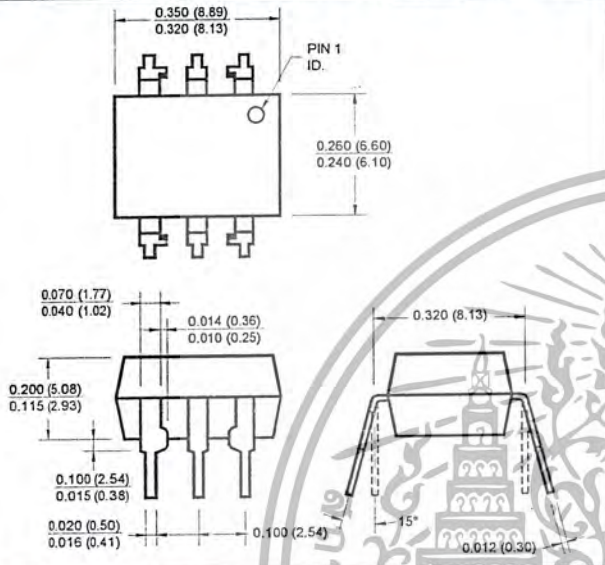
MOC3033M

MOC3041M

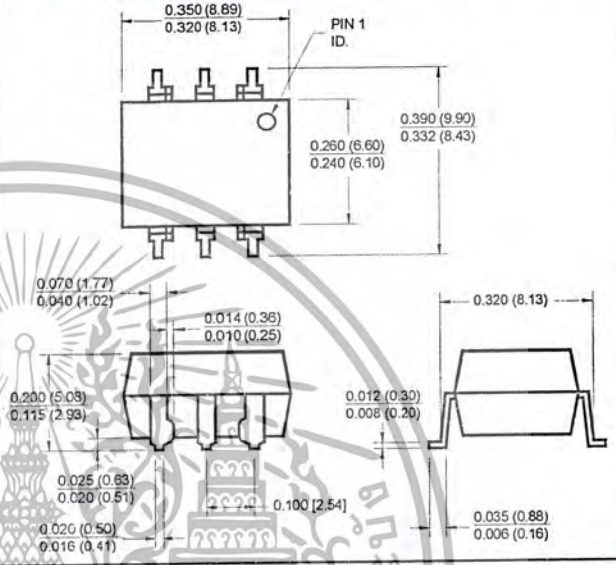
MOC3042M

MOC3043M

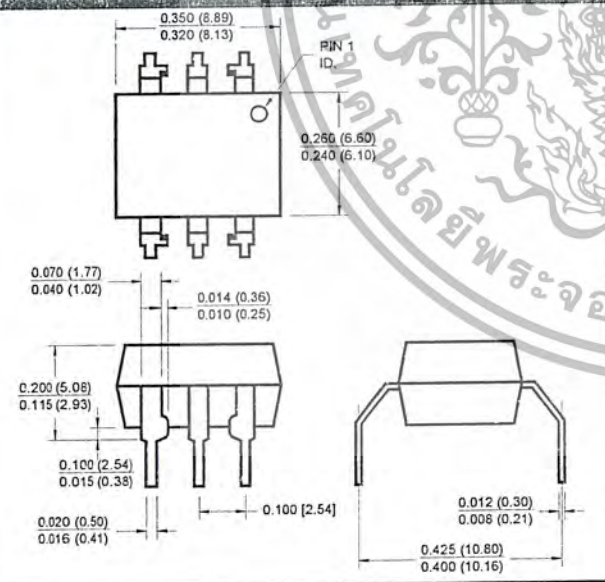
Package Dimensions (Through Hole)



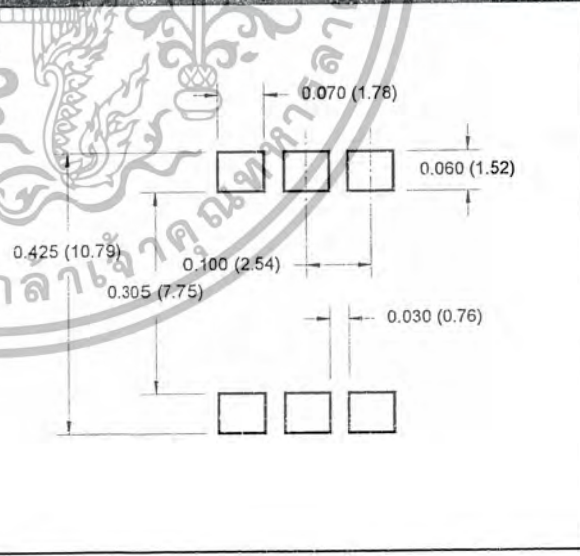
Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



Recommended Pad Layout for Surface Mount Leadform



NOTE

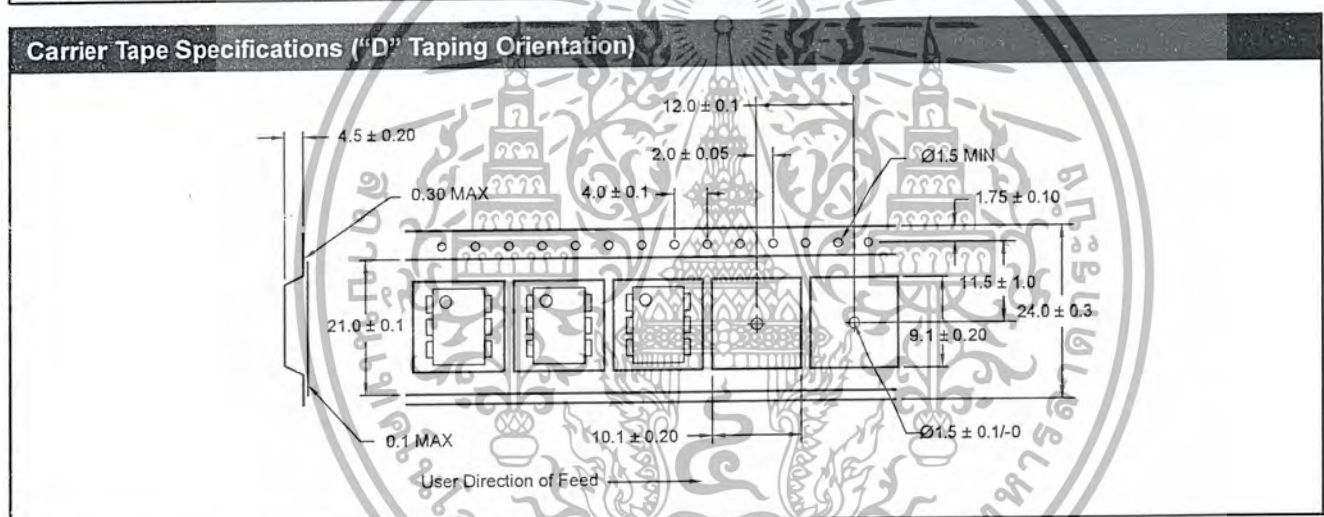
All dimensions are in inches (millimeters)

**6-PIN DIP ZERO-CROSS
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3031M MOC3032M MOC3033M MOC3041M MOC3042M MOC3043M

ORDERING INFORMATION

Option	Order Entry Identifier	Description
S	S	Surface Mount Lead Bend
SR2	SR2	Surface Mount; Tape and reel
T	T	0.4" Lead Spacing
V	V	VDE 0884
TV	TV	VDE 0884, 0.4" Lead Spacing
SV	SV	VDE 0884, Surface Mount
SR2V	SR2V	VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel



NOTE
All dimensions are in inches (millimeters)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HA17741/PS

General-Purpose Operational Amplifier
(Frequency Compensated)

HITACHI

ADE-204-043 (Z)

Rev. 0

Dec. 2000

Description

The HA17741/PS is an internal phase compensation high-performance operational amplifier, that is appropriate for use in a wide range of applications in the test and control fields.

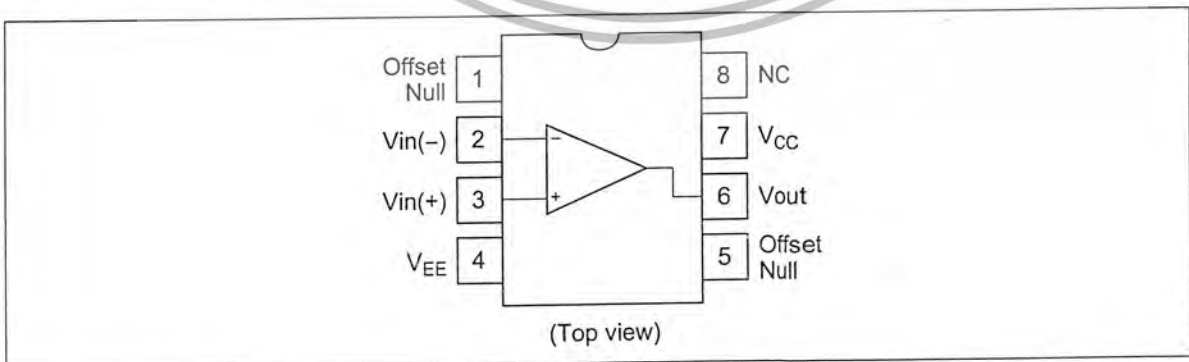
Features

- High voltage gain : 106 dB (Typ)
- Wide output amplitude : ± 13 V (Typ) (at $R_L \geq 2$ k Ω)
- Shorted output protection
- Adjustable offset voltage
- Internal phase compensation

Ordering Information

Application	Type No.	Package
Industrial use	HA17741PS	DP-8
Commercial use	HA17741	

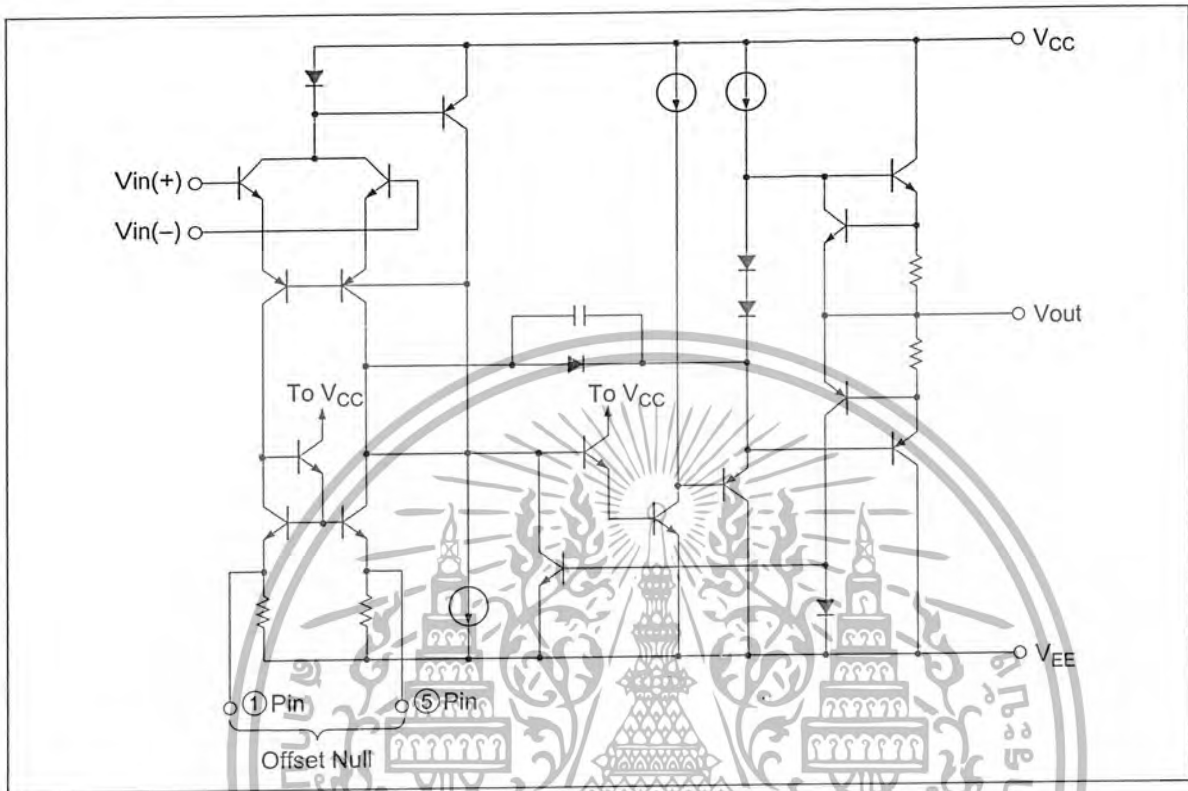
Pin Arrangement



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HA17741/PS

Circuit Structure



Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings		Unit
		HA17741PS	HA17741	
Power-supply voltage	V _{CC}	+18	+18	V
	V _{EE}	-18	-18	V
Input voltage	V _{in}	±15	±15	V
Differential input voltage	V _{in(diff)}	±30	±30	V
Allowable power dissipation	P _T	670 *	670 *	mW
Operating temperature	T _{opr}	-20 to +75	-20 to +75	°C
Storage temperature	T _{stg}	-55 to +125	-55 to +125	°C

Note: These are the allowable values up to Ta = 45°C. Derate by 8.3 mW/°C above that temperature.

HITACHI

Electrical Characteristics

Electrical Characteristics-1 ($V_{CC} = -V_{EE} = 15\text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Input offset voltage	V_{IO}	—	1.0	6.0	mV	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Input offset current	I_{IO}	—	18	200	nA	
Input bias current	I_{IB}	—	75	500	nA	
Power-supply rejection ratio	$\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$	—	30	150	$\mu\text{V/V}$	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
	$\Delta V_{IO}/\Delta V_{EE}$	—	30	150	$\mu\text{V/V}$	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Voltage gain	A_{VD}	86	106	—	dB	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_{out} = \pm 10\text{ V}$
Common-mode rejection ratio	CMR	70	90	—	dB	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Common-mode input voltage range	V_{CM}	± 12	± 13	—	V	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Maximum output voltage amplitude	V_{OP-P}	± 12	± 14	—	V	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$
		± 10	± 13	—	V	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$
Power dissipation	P_d	—	65	100	mW	No load
Slew rate	SR	—	1.0	—	V/ μs	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$
Rise time	t_r	—	0.3	—	μs	$V_{in} = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$,
Overshoot	V_{over}	—	5.0	—	%	$C_L = 100\text{ pF}$
Input resistance	R_{in}	0.3	1.0	—	M Ω	

Electrical Characteristics-2 ($V_{CC} = -V_{EE} = 15\text{ V}$, $T_a = -20\text{ to }+75^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Input offset voltage	V_{IO}	—	—	9.0	mV	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Input offset current	I_{IO}	—	—	400	nA	
Input bias current	I_{IB}	—	—	1,100	nA	
Voltage gain	A_{VD}	80	—	—	dB	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_{out} = \pm 10\text{ V}$
Maximum output voltage amplitude	V_{OP-P}	± 10	—	—	V	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$

HITACHI

IC Operational Amplifier Application Examples

Multivibrator

A multivibrator is a square wave generator that uses an RC circuit charge/discharge operation to generate the waveform. Multivibrators are widely used as the square wave source in such applications as power supplies and electronic switches.

Multivibrators are classified into three types, astable multivibrators, which have no stable states, monostable multivibrators, which have one stable state, and bistable multivibrators, which have two stable states.

1. Astable Multivibrator

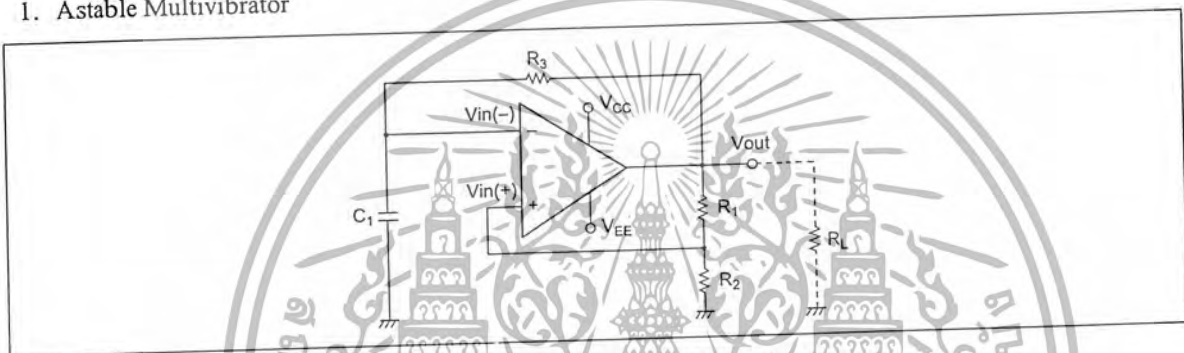


Figure 1 Astable Multivibrator Operating Circuit

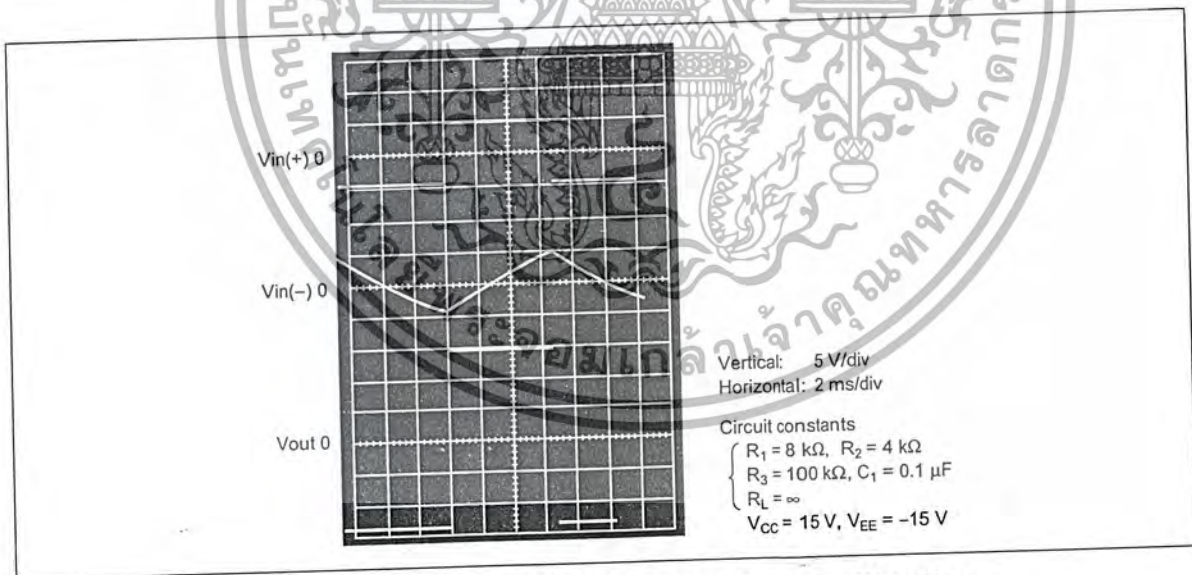


Figure 2 HA17741 Astable Multivibrator Operating Waveform

HITACHI

2. Monostable Multivibrator

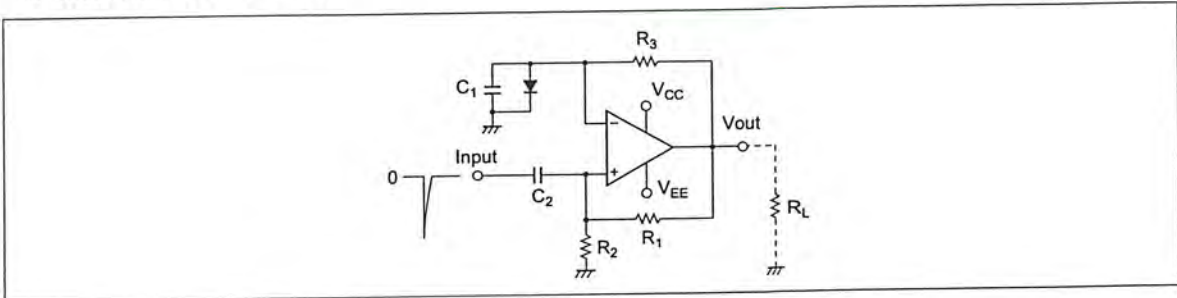


Figure 3 Monostable Multivibrator Operating Circuit

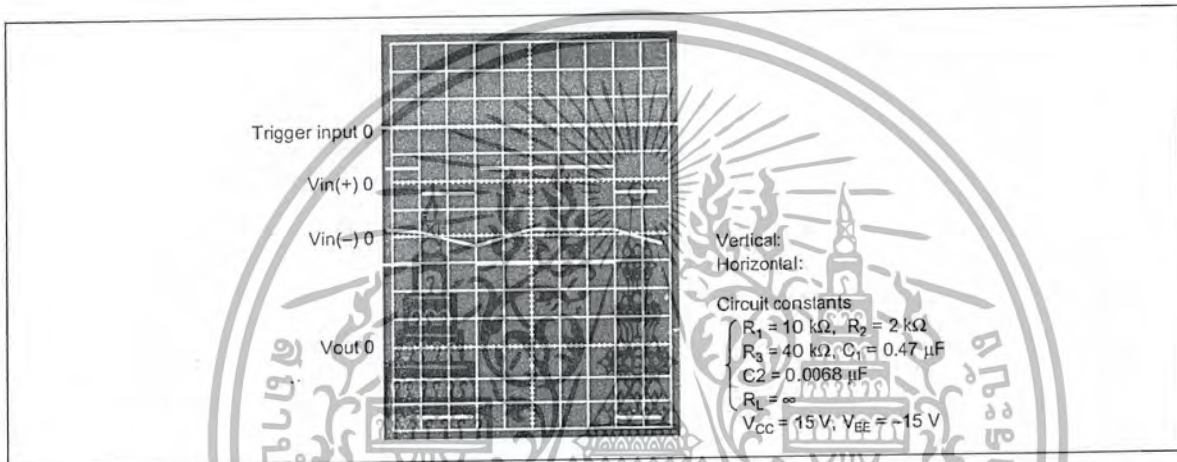


Figure 4 HA17741 Monostable Multivibrator Operating Waveform

3. Bistable Multivibrator

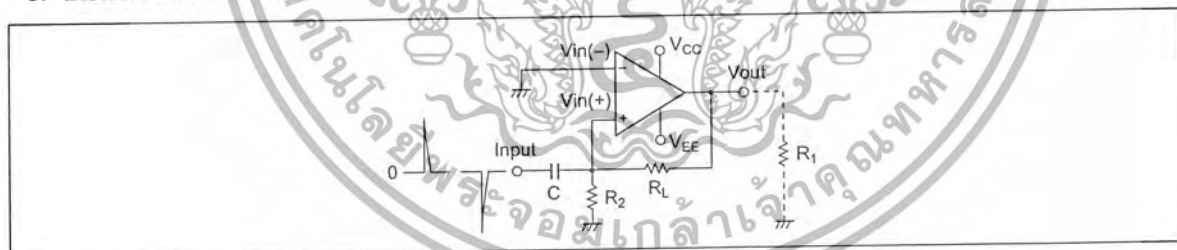


Figure 5 Bistable Multivibrator Operating Circuit

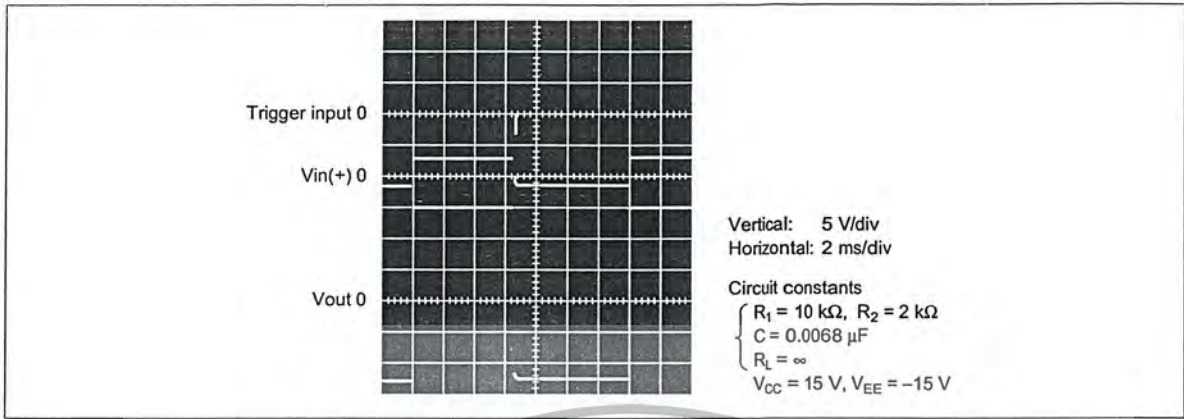


Figure 6 HA17741 Bistable Multivibrator Operating Waveform

Wien Bridge Sine Wave Oscillator

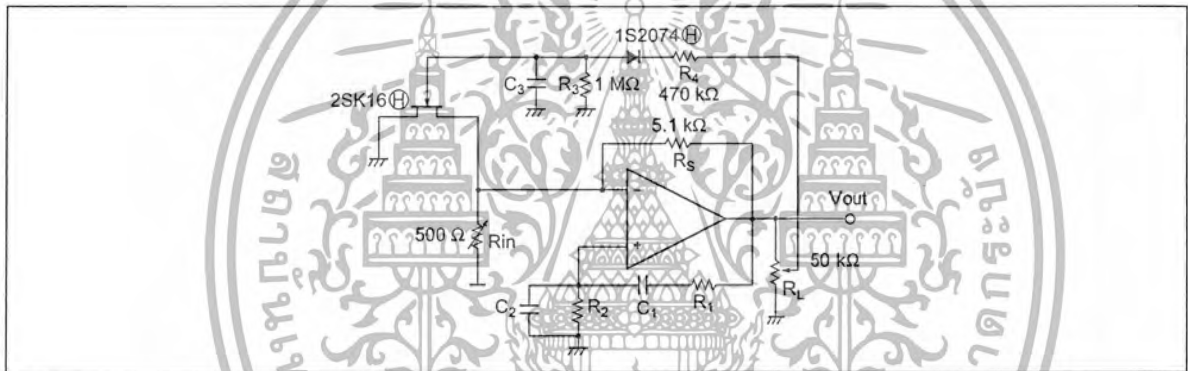


Figure 7 Wien Bridge Sine Wave Oscillator

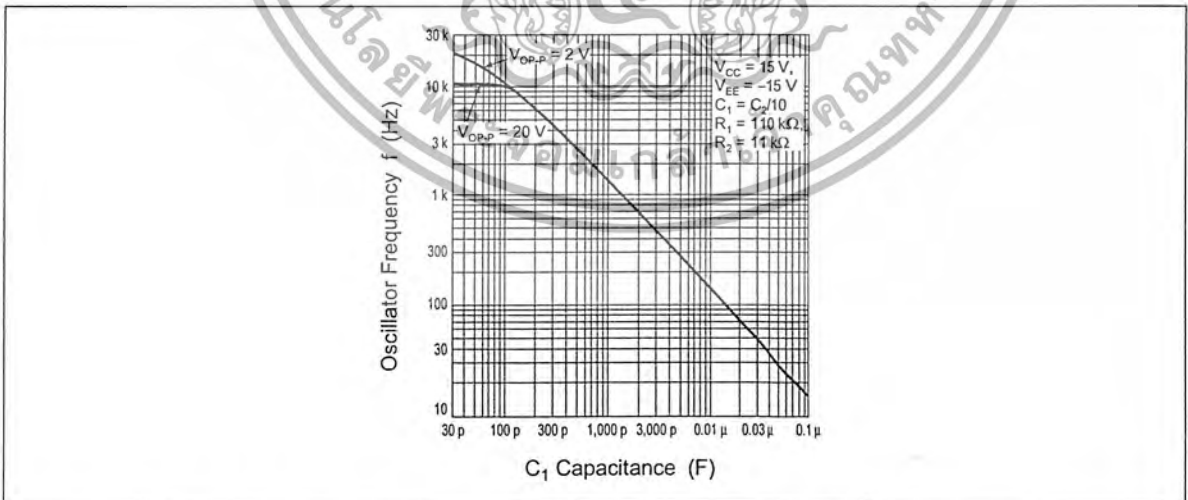


Figure 8 HA17741 Wien Bridge Sine Wave Oscillator f-C Characteristics

HITACHI

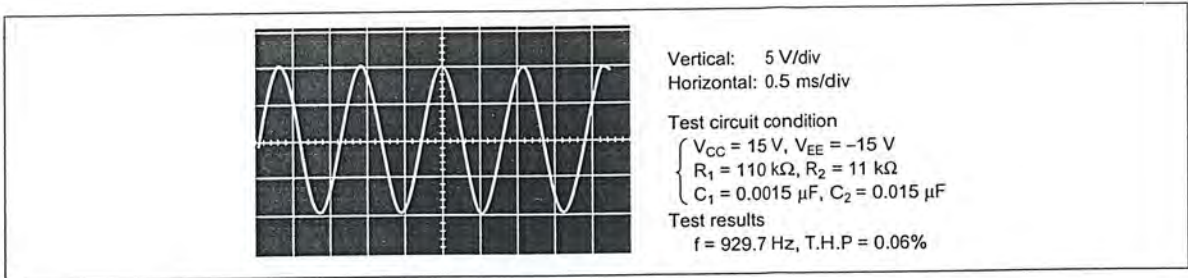


Figure 9 HA17741 Wien Bridge Sine Wave Oscillator Operating Waveform

Quadrature Oscillator

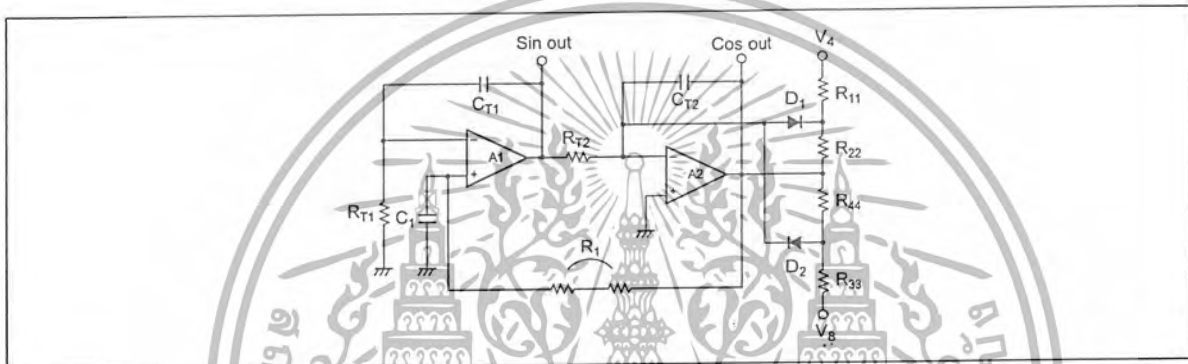


Figure 10 Quadrature Sine Wave Oscillator

Figure 10 shows the circuit diagram for a quadrature sine wave oscillator. This circuit consists of two integrators and a limiter circuit, and provides not only a sine wave output, but also a cosine output, that is, it also supplies the waveform delayed by 90°. The output amplitude is essentially determined by the limiter circuit.

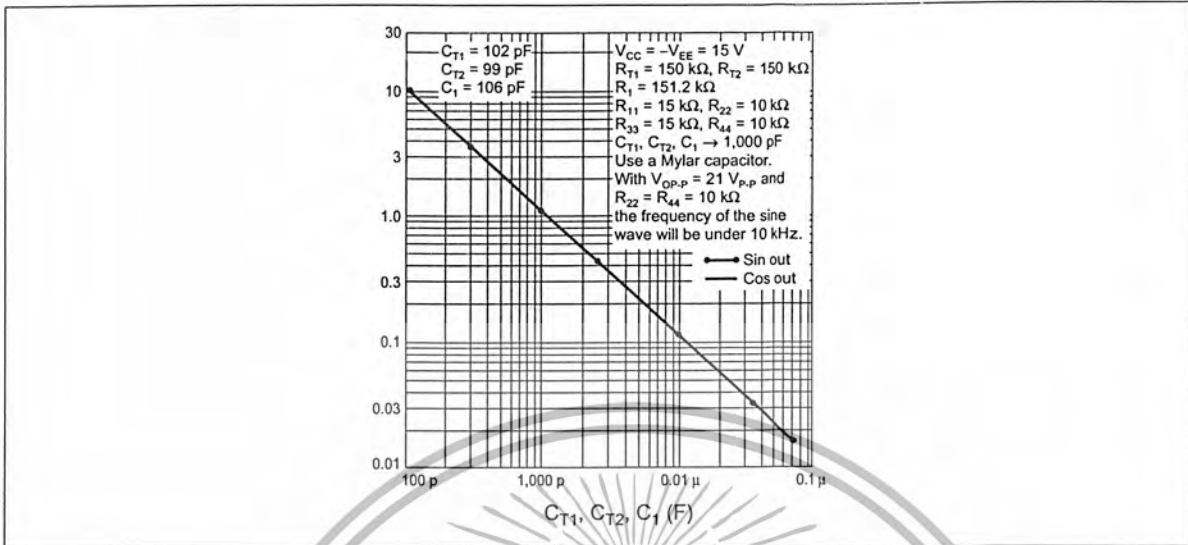


Figure 11 HA17741 Quadrature Sine Wave Oscillator

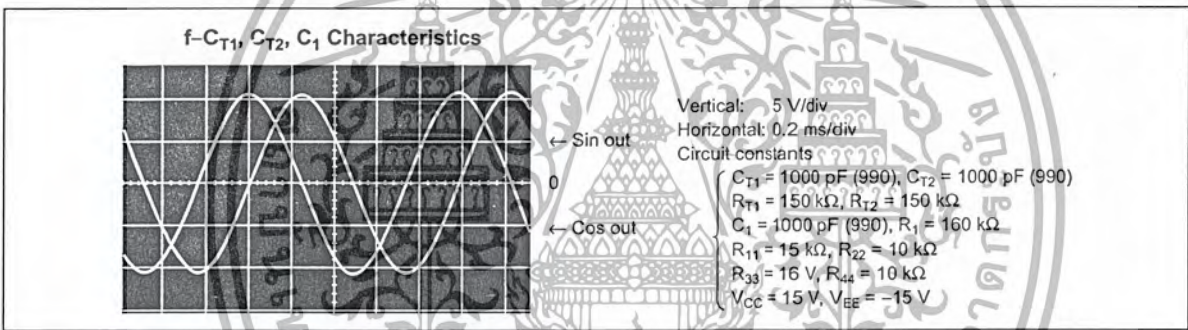


Figure 12 Sine and Cosine Output Waveforms

Triangular Wave Generator

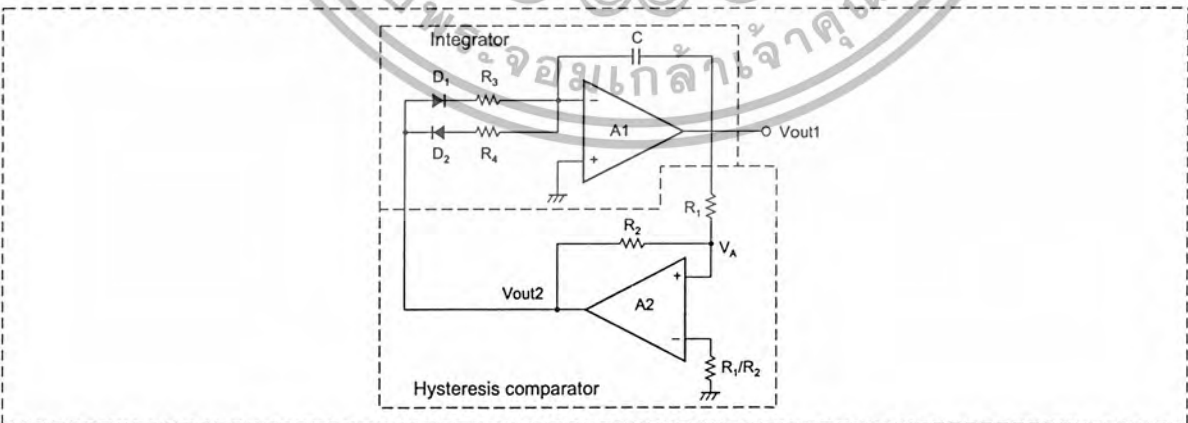


Figure 13 Triangular Wave Generator Operating Circuit

HITACHI

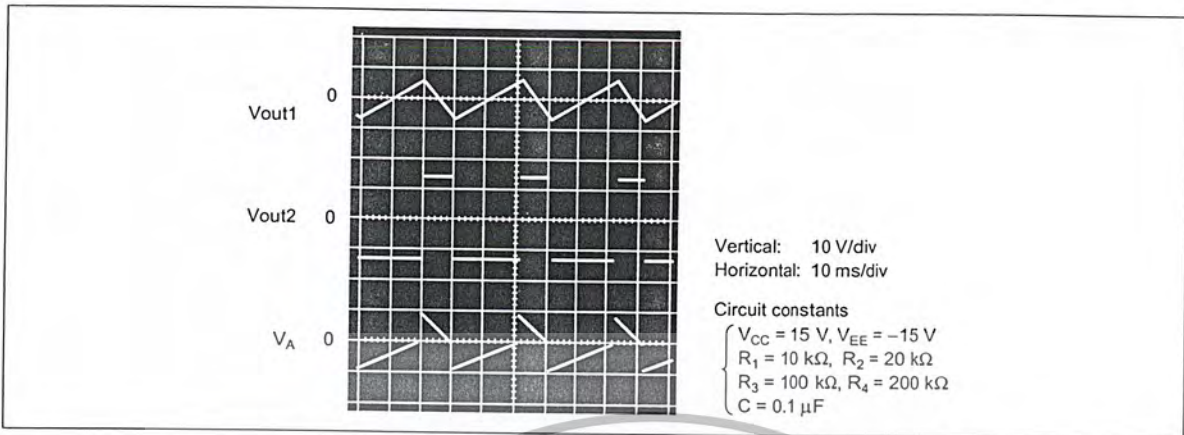


Figure 14 HA17741 Triangular Wave Generator Operating Waveform

Sawtooth Waveform Generator

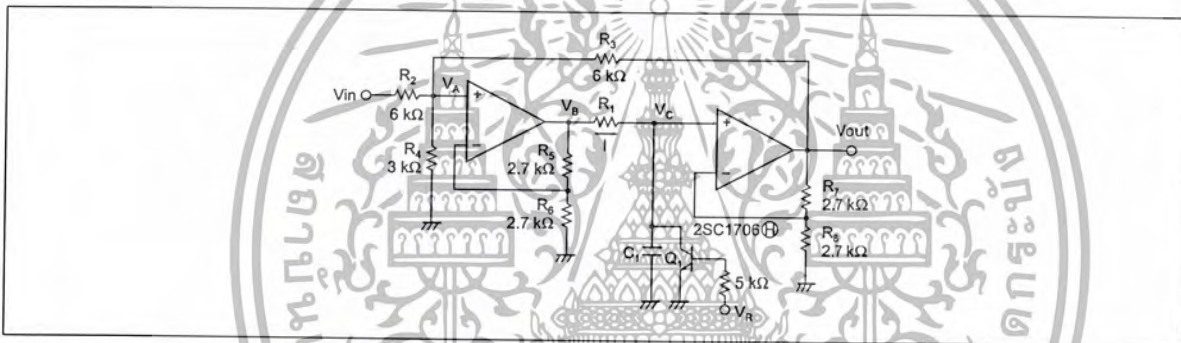


Figure 15 Sawtooth Waveform Generator

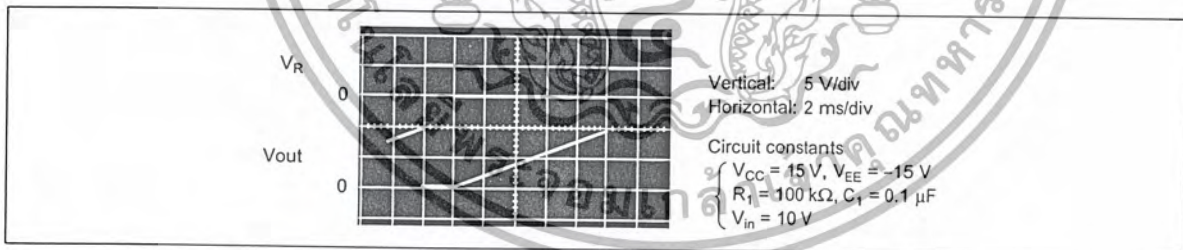


Figure 16 HA17741 Sawtooth Waveform Generator Operating Waveform

HITACHI

บรรณานุกรม

- [1] Muhammad H.Rashid, "Power Electronics, circuits, devices and applications", second edition
Prentice hall International editions
- [2] Joseph Vithayathil, "Power Electronics, principle and applications", International edition
Mc-Graw Hill
- [3] Mohan, Underland, Robbins, "Power Electronics, converters, applications and design", second
edition WILEY
- [4] A.E Fitzgerald, Charles, Kingley, Jr., Stephan D.Umans, "Electronic Machinery", fifth edition
Mc-Graw Hill
- [5] Muhammad H.Rashid, "Power Electronics handbook", editor-in chief
- [6] อติเรก โพรธิบุตร, อาณัติ ลิขิตวัฒน์ชัย, เอกชัย ชูสูง, "ชุดตำราหมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบ
นึ่งมวล์", ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้