

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดสแตร์มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล
3 PHASE INDUCTION MOTOR SOFT STATER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

.๖.....
.๗.....

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล

3 PHASE INDUCTION MOTOR SOFT STATER

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีรวัฒน์ อุ้มาก รหัสประจำตัว 44010222

2. นาย นครินทร์ รวยพร รหัสประจำตัว 44010232

3. นาย นิธิรัฐ สุกีธร รหัสประจำตัว 44010261



[Handwritten signature]

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)

[Handwritten signature]

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนุ่มนวล

นาย ชีร์วัฒน์ อุ้มาก 44010222
 นาย นครินทร์ รวยพร 44010232
 นายนิติรัฐ สุกีธร 44010261
 รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 อ.ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนุ่มนวล (3 Phase Induction Motor Soft Starter) โดยใช้หลักการควบคุมแรงดันจ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์ ซึ่งใช้ SCR เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันได้อย่างอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC) ซึ่งสามารถตั้งเวลาในการสตาร์ทและระดับแรงดันที่จ่ายโดยการกำหนดมุมจุดชนวนของ SCR ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ความเร็วที่พิกัดผลการทำงานของชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบนุ่มนวลนี้จะสามารถลดกระแสขณะสตาร์ทได้ให้สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ได้ และยังป้องกันการบิดตัวของแกนเหล็กใน โหลดความเฉื่อยซึ่งมีขนาดใหญ่และป้องกันแรงดันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 PHASE INDUCTION MOTOR SOFT STATER

Teerawat Uomak

Nakarin Ruayporn

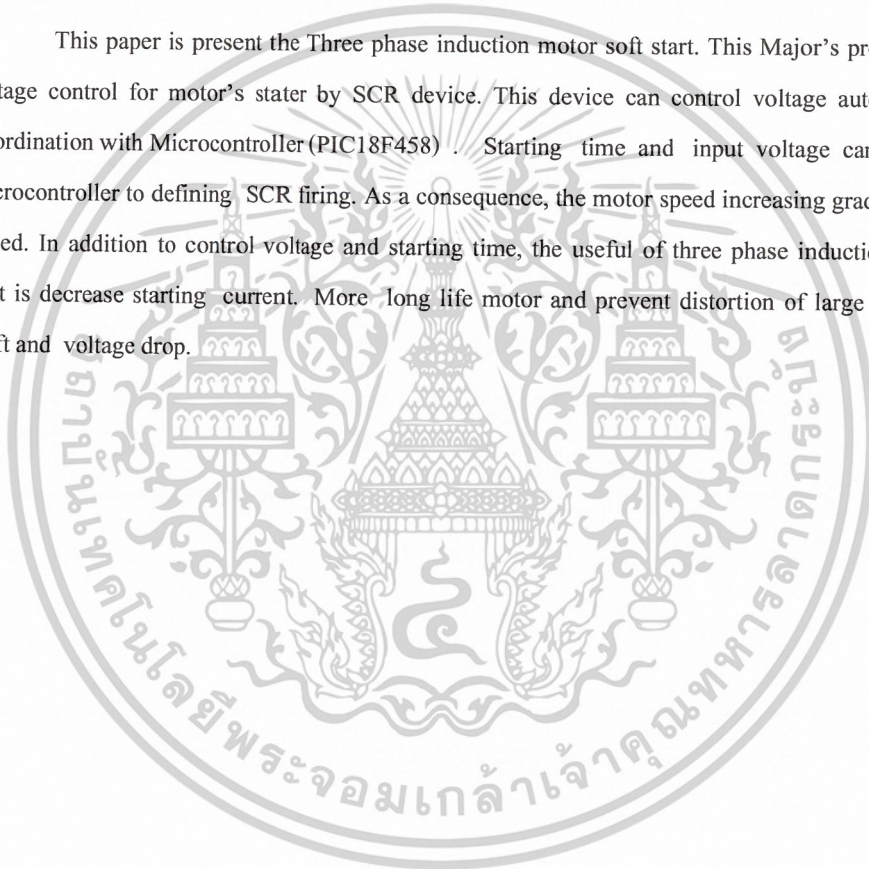
Nitirat Sukeethorn

Assoc.Prof.Dr.Vijit Kinnaret Advisor

Chaitat Manee-in Advisor

ABSTRACT

This paper is present the Three phase induction motor soft start. This Major's procedure is the voltage control for motor's stater by SCR device. This device can control voltage automatically by Coordination with Microcontroller (PIC18F458) . Starting time and input voltage can be set at Microcontroller to defining SCR firing. As a consequence, the motor speed increasing gradually to rated Speed. In addition to control voltage and starting time, the useful of three phase induction motor soft start is decrease starting current. More long life motor and prevent distortion of large load inertia's shaft and voltage drop.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจจะเสร็จด้วยดี หากไม่ได้รับความริบความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลง ได้ก็คือ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศและ อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้อง store ที่ๆ ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจอีกทั้งยังเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญรูปภาพ	IV
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 แนวทางการทำโครงการ/แผนการดำเนินงานโครงการ	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.2 สาเหตุที่โรเตอร์หมุนได้	6
2.3 สลิป (Slip)	6
2.4 แรงบิดเริ่มต้น (Starting Torque)	6
2.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Equivalent Circuit)	6
2.6 คลื่น mmf ภายใน Machines	6
2.7 การทดสอบมอเตอร์ (Three-Phase Induction Motor Test)	11
บทที่ 3 เอสซีอาร์	15
3.1 การทำงานของเอสซีอาร์	15
3.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์	16
3.3 ความไวในการชดชนวน	17
3.4 คุณสมบัติกระแสตกค้างและกระแสยึด	17
3.5 คุณสมบัติการสวิตชิง	17
3.6 ช่วงเวลาหยุดนำกระแส	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่	
3.7	คุณสมบัติ di/dt	19
3.8	คุณสมบัติ dv/dt	19
บทที่ 4	การสสารที่มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	23
4.1	การสสารที่แบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง	24
4.1.2	การสสารที่แบบใช้ขดลวดบางส่วน	26
4.1.3	การสสารที่แบบสสาร-เคลด้า	28
4.4	การสสารที่โดยใช้หม้อแปลงแบบออโต	30
4.5	การสสารที่โดยใช้ตัวต้านทาน	31
4.6	การสสารที่โดยใช้ตัวรีแอกเตอร์	32
4.7	การสสารที่โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	33
บทที่ 5	การควบคุมแรงดันที่สเตเตอร์	35
5.1	การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส	35
5.2	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ	35
5.3	การควบคุมแบบไลน์	36
บทที่ 6	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	41
6.1	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458	41
6.2	สถาปัตยกรรมและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458	43
6.3	การอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458	44
6.4	รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัปต์	45
6.5	รีจิสเตอร์หลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458	54
6.6	การเข้าถึงรีจิสเตอร์และข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	54
6.7	พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458	57
6.8	ไทมเมอร์ที่นำมาใช้งาน	67
บทที่ 7	วงจรถัดขนวนเอสซีอาร์	73
7.1	บล็อกไดอะแกรมของวงจรถัดขนวนเอสซีอาร์	73
7.2	ชุดตรวจจับแรงดัน 3 เฟส	73
7.3	ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.4 ชุดรวมสัญญาณ	74
7.5 ชุดสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง	76
7.6 ชุดแยกกราวด์	77
บทที่ 8 การทดลองและผลการทดลอง	78
8.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	92
บทที่ 9 สรุปผลและวิจารณ์	94
9.1 สรุปผลการทดลอง	94
9.2 ข้อเสนอแนะ	94
9.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง	94
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2-1	ลักษณะของร่องสลักในโรเตอร์ชนิดต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก	5
รูปที่ 2-2	สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
รูปที่ 2-3	วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	8
รูปที่ 2-4	ลักษณะของ mmf ซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด, N-รอบ ด้านทั้งสองของขดลวดห่างกัน 180° e	9
รูปที่ 2-5	คลื่น mmf ที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส ขดลวดจำนวน 3 เฟส และด้านทั้งสองของขดลวดแต่ละชุดห่างกัน 180° e	10
รูปที่ 2-6	วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ No-Load	11
รูปที่ 2-7	วงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ No-Load	12
รูปที่ 2-8	วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ Block-Rotor	12
รูปที่ 2-9	วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ Block-Rotor	13
รูปที่ 3-1	โครงสร้างของเอสซีอาร์	15
รูปที่ 3-2	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์	16
รูปที่ 3-3	กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแรนต์	17
รูปที่ 3-4	ช่วงเวลาเทิร์นออนของไทรสเตอร์	18
รูปที่ 3-5	วงจร R, C สนับเบอร์	20
รูปที่ 3-6	สถานะต่างๆ ในช่วงการเทิร์นออฟ	20
รูปที่ 3-7	การเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลค I	21
รูปที่ 3-8	วิธีการเพิ่มค่า dv/dt ของไทรสเตอร์	21
รูปที่ 3-9	แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริก	22
รูปที่ 4-1	การจำแนกวิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	23
รูปที่ 4-2	วงจรสมมูลย์ต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	24
รูปที่ 4-3	มีการแบ่งชุดขดลวดเพื่อการสตาร์ท	26
รูปที่ 4-4	การต่อชุดขดลวดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงภาวะทำงานปกติ	27
รูปที่ 4-5	กราฟลักษณะสมบัติของการสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน	27
รูปที่ 4-6	ไดอะแกรมของวงจรสตาร์ทแบบใช้ ชุดขดลวดบางส่วน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส, ทอร์ก และความเร็ว	28
รูปที่ 4-7	การสตาร์ทโดยต่อแบบ Y - Δ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้าที่
รูปที่ 4-8	วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ Y - Δ	29
รูปที่ 4-9	ความสัมพันธ์ของกระแสมอเตอร์และทอร์กที่มอเตอร์สร้างได้กับ ความเร็วรอบเมื่อสตาร์ทเมื่อต่อแบบ Y - Δ	30
รูปที่ 4-10	การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต	30
รูปที่ 4-11	ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็ว	31
รูปที่ 4-12	การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน	31
รูปที่ 4-13	ความสัมพันธ์ของกระแส ทอร์ก และความเร็ว	32
รูปที่ 4-14	การสตาร์ทแบบใช้รีแอคเตอร์	32
รูปที่ 4-15	การต่อ SCR สำหรับการสตาร์ทแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	33
รูปที่ 5-1	วงจรควบคุมเต็มคลื่น 3 เฟสต่อแบบสตาร์ท	36
รูปที่ 5-2	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย มุมรีมนำกระแสของเอสซีอาร์ และ แรงดันเฟสด้านที่ ต่อกับโหลดความต้านทานแบบสตาร์ท	37
รูปที่ 6-1	PIC 18F458 Block Diagram	43
รูปที่ 6-2	Pin Diagram ของ PIC18F458	44
รูปที่ 6-3	โครงสร้างขา RA0-RA3 ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	58
รูปที่ 6-4	โครงสร้างขา RA4 ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	58
รูปที่ 6-5	โครงสร้างขา RA6 ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	59
รูปที่ 6-6	โครงสร้างขา RB ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	61
รูปที่ 6-7	โครงสร้างของพอร์ต C ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	63
รูปที่ 6-8	โครงสร้างของพอร์ต D ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	64
รูปที่ 6-9	โครงสร้างของพอร์ต E ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458	66
รูปที่ 7-1	บล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดชวนเอสซีอาร์	73
รูปที่ 7-2	วงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์	73
รูปที่ 7-3	วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง	74
รูปที่ 7-4	รูปคลื่นจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง	75
รูปที่ 7-5	ความถี่ในการ Oscilate จะหาได้ค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ	76
รูปที่ 7-6	ไอซี HEF 4081 ที่ใช้ในชุดรวมสัญญาณ	76
รูปที่ 7-7	วงจรที่ต่อใช้งานร่วมกับพัลส์ทรานฟอร์มเมอร์	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่	
รูปที่ 8-1	แสดงการวัดกระแสและแรงดันของโหลดความต้านทาน	78
รูปที่ 8-2	กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 160 องศา	78
รูปที่ 8-3	กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 130 องศา	79
รูปที่ 8-4	กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 90 องศา	79
รูปที่ 8-5	กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 50 องศา	80
รูปที่ 8-6	กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 20 องศา	80
รูปที่ 8-7	แสดงการวัดกระแสและแรงดันของโหลดมอเตอร์	81
รูปที่ 8-8	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 60 องศา	81
รูปที่ 8-9	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 70 องศา	82
รูปที่ 8-10	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 80 องศา	82
รูปที่ 8-11	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 90 องศา	83
รูปที่ 8-12	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 100 องศา	83
รูปที่ 8-13	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 110 องศา	84
รูปที่ 8-14	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 120 องศา	84
รูปที่ 8-15	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 130 องศา	85
รูปที่ 8-16	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 140 องศา	85
รูปที่ 8-17	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 150 องศา	86
รูปที่ 8-18	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 60 องศา	86
รูปที่ 8-19	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 70 องศา	87
รูปที่ 8-20	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 80 องศา	87
รูปที่ 8-21	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 90 องศา	88
รูปที่ 8-22	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 100 องศา	88
รูปที่ 8-23	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 110 องศา	89
รูปที่ 8-24	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 120 องศา	89
รูปที่ 8-25	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 130 องศา	90
รูปที่ 8-26	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 140 องศา	90
รูปที่ 8-27	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 150 องศา	91
รูปที่ 8-28	กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 100 องศา	91
รูปที่ 8-29	ลักษณะสัญญาณกระแสที่มุมจุดชนวนมีค่ามาก	92
รูปที่ 8-30	ลักษณะสัญญาณกระแสที่มุมจุดชนวนมีค่าน้อย	92
รูปที่ 8-31	ลักษณะสัญญาณกระแสของการเพิ่มขนาดความกว้างสัญญาณจุดชนวนมาก	93
รูปที่ 8-32	ลักษณะสัญญาณกระแสของการเพิ่มขนาดความกว้างสัญญาณจุดชนวนน้อย	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 3-1	แสดงการเปรียบเทียบของไตรสเตอร์สองชนิด	19
ตารางที่ 4-1	เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสตาร์ทมอเตอร์แบบต่างๆ	35
ตารางที่ 6-1	สรุปหน้าที่การทำงานของขาพอร์ต C ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458	62
ตารางที่ 6-2	หน้าที่การทำงานของขาพอร์ต E ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (Induction motor) เพราะมีขนาดเล็กและราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่การบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย แต่ก็มีข้อเสียที่มักเกิดขึ้นกับเครื่องจักรขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในขณะเริ่มสตาร์ท แรงบิด (Torque) และกระแส (Current) จะสูงมาก ทำให้เครื่องจักรเคลื่อนที่ด้วยการกระชากอย่างแรงเป็นผลให้อายุการใช้งานของมอเตอร์และชุดส่งกำลังมีอายุสั้นลง นอกจากนี้การใช้กระแสขณะสตาร์ทสูงนั้น ยังส่งผลข้างเคียงต่อระบบไฟฟ้าภายในโรงงานอีก เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage drop) เป็นต้น

การชอฟท์สตาร์ทเป็นเทคโนโลยีในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทดแทนวิธีการสตาร์ทแบบดั้งเดิมอันได้แก่ การสตาร์ทโดยตรง (Direct on line start) และการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (star-delta start) โดยการชอฟท์สตาร์ทนั้นอาศัยหลักการควบคุมไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำแทนหน้าสัมผัสกลไก จึงสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์

อีกทั้งเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ถูกพัฒนาให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นและมีขนาดเล็กลง จึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของวงจรชอฟท์สตาร์ท ทำให้กระบวนการสตาร์ทมอเตอร์มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในการควบคุมเครื่องจักร
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการสร้างชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบนับมว และควบคุมการทำงานของชุดสตาร์ท
- 1.2.3 เพื่อเป็นการนำเสนอชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนับมว ที่มีการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและนำเสนอการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาใช้งานในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ และมีการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC) เป็นตัวควบคุมการทำงาน

1.4 แนวทางการทำโครงการ/แผนการดำเนินโครงการ

1. การศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับชุดสตาร์ท

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับชุดสตาร์ทที่ใช้ทั้งหมดและศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้องกับ SCR และมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการสตาร์ทอย่างแท้จริง

2. การออกแบบวงจร

เป็นการศึกษาโดยใช้เอกสารอ้างอิงเป็นหลัก พร้อมทั้งได้ทดลองวงจรที่ศึกษาลงโปรโตบอร์ดก่อนเพื่อดูว่าสัญญาณที่ได้จากวงจรออกมาตรงกับในทฤษฎีหรือไม่

3. การสร้างฮาร์ดแวร์

จากการศึกษารวมถึงการออกแบบวงจรที่ใช้จึงสามารถที่ใช้สร้างวงจรที่นำมาใช้จริง ซึ่งในส่วนนี้มีปัญหาในการที่จะทำให้ได้สัญญาณออกมาตรงกับที่ต้องการ

4. การเขียนซอฟต์แวร์

เนื่องจากในส่วนนี้ค่อนข้างยาก จึงต้องศึกษาถึงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC โดยการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียน ซึ่งต้องใช้เวลาค่อนข้างนานในการทำ ความเข้าใจกับส่วนนี้

5. การทดลองซอฟต์แวร์เมื่อทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์

เมื่อดำเนินการด้านซอฟต์แวร์เสร็จ สิ่งที่จะทำต่อไปก็คือ การนำเอาสัญญาณจากฮาร์ดแวร์มาเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งพบว่ามีปัญหาบ่อยมาก ซึ่งในขั้นตอนนี้เราได้ทำการสร้างสัญญาณเพื่อนำไปทริก SCR ด้วย

6. การนำไปทดสอบกับมอเตอร์

เมื่อได้นำไปทดสอบมอเตอร์ ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้รวบรวมปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลเพื่อทำการแก้ไขทำให้มอเตอร์สตาร์ทได้อย่างนุ่มนวลได้จริง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้สามารถนำความรู้จากทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบนุ่มนวล รวมทั้งนำเอาเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมชุดสตาร์ท และสามารถที่จะนำชุดสตาร์ทนี้ไปใช้สตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำได้อย่างนุ่มนวล

1.6 เนื้อหาของปริญญาพันธ

บทที่ 2 เป็นการอธิบายมอเตอร์เหนี่ยวนำ ว่ามีชนิดใดบ้างและมีโครงสร้างเป็นอย่างไร

บทที่ 3 เป็นการอธิบายทฤษฎีของเอสซีอาร์ (SCR) ว่ามีโครงสร้างอย่างไรและทำงานอย่างไร

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงวิธีต่างๆ ในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแตกต่างกันอย่างไร แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียอย่างไร

บทที่ 5 เป็นเนื้อหาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

บทที่ 6 เป็นการอธิบายการออกแบบวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์และชุดขับเอสซีอาร์

บทที่ 7 เป็นผลของการทดสอบชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนุ่มนวลกับโหลดชนิดต่างๆ และแสดงผลการสตาร์ทที่มุมจุดชนวนต่างๆ กัน

บทที่ 8 เป็นการสรุปผลโครงการที่ทำมาทั้งหมดและเสนอแนะข้อคิดเห็นในการที่จะพัฒนาชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนุ่มนวลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

มอเตอร์เหนี่ยวนำ

หลักการการทำงานทั่วไปของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ก็คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลจึงทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์กระแสตรงนั้น พลังงานจะต่อโดยตรงกับอามเจอร์ (Amature) ที่อยู่ด้านโรเตอร์ (Rotor) ผ่านไปยังแปรงถ่าน (brushes) และคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) นั้น และมอเตอร์เหนี่ยวนำจะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโรเตอร์ ด้วยการเหนี่ยวนำกันทางไฟฟ้า คล้ายกับหลักการของหม้อแปลงจึงเป็นที่มาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีทั้งแบบ 1 เฟส และหลายเฟส นิยมใช้กันมากทางอุตสาหกรรม เพราะมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

ข้อดี

1. มีโครงสร้างที่ง่าย แข็งแรง ทนทาน ไม่ค่อยมีปัญหาโดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก (Squirrel-cage Type)
2. มีราคาไม่แพง
3. มีประสิทธิภาพเพียงพอกับการใช้งาน
4. บำรุงรักษาง่าย
5. ไม่มีแปรงถ่านจึงเป็นผลให้แรงเสียดทานน้อยกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น
6. เพาเวอร์แฟกเตอร์ดีพอใช้
7. สามารถสตาร์ทที่ตัวเอง ไม่เหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous motor)

ข้อเสีย

1. กินกระแสขณะสตาร์ทสูง อาจจะต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการสตาร์ท
2. มีคุณสมบัติคล้ายกับมอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน (D.C. Shunt motor) โดยความเร็วจะขึ้นอยู่กับโหลด
3. มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทที่ค่อนข้างต่ำกว่ามอเตอร์กระแสตรงต่อแบบขนาน
4. เมื่อมีการปรับความเร็วมอเตอร์จะทำให้มีประสิทธิภาพลดลง

2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์ มีช่วงสล็อตสำหรับรองรับขดลวดและสเตเตอร์ของขดลวด 3 เฟส ดังในรูป ลักษณะการวางของขดลวดขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก ความเร็วรอบก็จะต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อย ความเร็วรอบก็จะสูง เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสให้กับขดลวด 3 ชุดซึ่งทำมุมห่างกัน 120 องศา จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น และสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสตามสมการ

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

N_s	:	ความเร็วเชิง โครนัส
f	:	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ
P	:	จำนวนขั้วแม่เหล็ก

2. โรเตอร์ (Rotor) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1 ชนิดโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel-cage Rotor) ซึ่งโรเตอร์ชนิดนี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและแข็งแรงทนทาน ประกอบด้วยแกนของโรเตอร์ซึ่งมีร่องสลิตที่อยู่ในแนวขนานกัน เพื่อใส่แท่งตัวนำ โดยที่ปลายทั้งสองข้างของแกนจะมีวงแหวนที่สำหรับลัดวงจรโรเตอร์แบบกรงกระรอก สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ดังนี้

1. โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา

โครงสร้างของสลิตของโรเตอร์เป็นไปดังแสดงในรูป 2.3 ก ซึ่งนิยมไปใช้ในมอเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งมีพิกัดกำลังตั้งแต่ 3.75 กิโลวัตต์ (5 แรงม้า) ลงมา มีแรงบิดขณะสตาร์ทประมาณ 150% ตามกราฟรูป A มีช่วงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบน้อย เป็นมอเตอร์ที่มีสภาพการใช้งานทั่วไปไม่เหมาะกับงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ

2. โรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ (สลิตคัลก)

ค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทจะสูงกว่าเดิมเล็กน้อยและค่าแรงบิดจะลดลงเล็กน้อยเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับโรเตอร์กรงกระรอกแบบธรรมดา ดังที่แสดงตามกราฟ B เหมาะสมที่จะใช้กับงานที่ต้องการโหลดความเร็วรอบคงที่เหมือนกัน

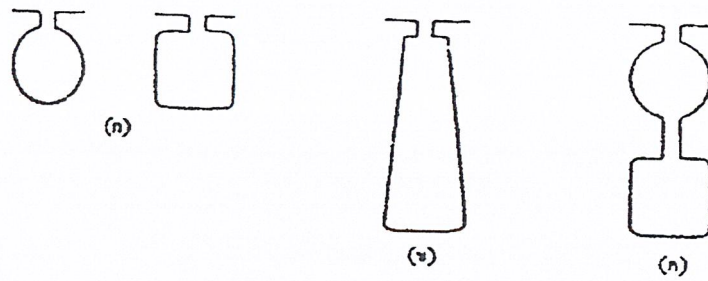
3. โรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ (กรงกระรอกสองชั้น – แท่งตัวนำอย่างธรรมดา)

ช่วงสลิตของโรเตอร์จะแยกออกเป็นสองแถวดังแสดงในรูป 2.3 (ค) และค่าความต้านทานของตัวนำมีค่าต่ำโดยทำจากทองแดงหรืออลูมิเนียม ซึ่งโรเตอร์ชนิดนี้จะมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงขึ้นเป็น 200 - 250% ของแรงบิดเต็มพิกัดดังแสดงในกราฟ C แต่ค่าแรงบิดจะน้อยกว่าใน 2 แบบแรก โดยเหมาะที่จะนำไปใช้งานในโหลดความเร็วรอบคงที่

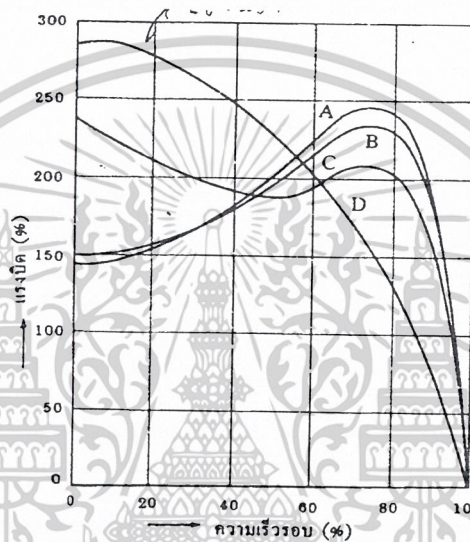
4. โรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ (กรงกระรอกสองชั้นแท่งตัวนำความต้านทานสูง)

ช่องสลิตของตัวโรเตอร์เป็นเช่นเดียวกับข้อที่ 3 แต่ใช้ตัวนำที่มีความต้านทานสูงแทน โดยค่าสมบัติความเร็วรอบและแรงบิดเป็นไปตามกราฟ D ค่าของแรงบิดเริ่มสตาร์ทจะเพิ่มมากขึ้นเป็นราว 250 - 350% ของแรงบิดเต็มพิกัดแต่ค่าแรงบิดสูงสุดจะลดลง และมีค่าสลิปสูงถึงราว 12 - 16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 ลักษณะของร่องสลิตในโรเตอร์ชนิดต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก



รูปที่ 2-2 สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก

2.2 ชนิดโรเตอร์ฟันขดลวด

ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์ทรงกระบอก วงจรโรเตอร์ถูกตัดวงจรด้วยวงแหวนตอนปลายและค่าความต้านทานของโรเตอร์ตายตัวปรับไม่ได้ แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดฟันขดลวด การพันวงจรโรเตอร์ (หรือวงจรทุติยภูมิ) เป็นการพันขดลวดแบบ 3 เฟส และมีการต่อวงจรเข้าสู่วงแหวนสั้นแล้วผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ความต้านทานภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานของโรเตอร์ จึงสามารถปรับขึ้นได้โดยเปลี่ยนค่าความต้านทานภายนอก ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1. โครงรอบนอก (Frame) ทำจากเหล็กกล้าผสม
2. แกนสเตเตอร์และแกนโรเตอร์ ทำจากเหล็กผสมคุณภาพดี ความสูญเสียต่ำเป็นแผ่นบาง เคลือบมันวาวทั้งสองด้าน
2. ขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่องอากาศ (Air-gap)
4. เพลาและลูกปืน (Shafts and bearings)
5. พัดลม (Fans) เพื่อระบายความร้อนของมอเตอร์
6. วงแหวนสลลิป (Slip-rings)

ดังนั้น ในกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์พันขดลวด ค่าความต้านทานของวงจรมอเตอร์จะสามารถปรับค่าได้ สำหรับปรับค่าความเร็วรอบโดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ภายนอก ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มค่าความต้านทานของวงจรมอเตอร์ จะเพิ่มค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทและอัตราเร่งเป็นไปอย่างราบรื่น อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้จะมีน้ำหนักและราคาสูง และมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับโรเตอร์กรงกระรอกขนาดเดียวกัน

2.2 การหมุนของโรเตอร์

เมื่อขดลวดฝั่งสเตเตอร์ได้รับป้อนไฟ 3 เฟส แต่ละเฟสทำมุมกัน 120° จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กจะผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์ กวาดไปรอบโรเตอร์แล้วตัดผ่านแท่งตัวนำจึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce emf) ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Laws) ซึ่งความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเท่ากับทางด้านแหล่งจ่ายไฟ แล้วเกิดสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ตามกฎมือขวาของเฟรมมิง (Fleming's Right-hand rule) และตามกฎของเลนซ์ (Lenz's Laws) ในขณะที่นั้นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนจะเกิดขึ้นผลสุดท้ายก็จะเกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางสนามแม่เหล็กหมุนและโรเตอร์ก็จะพยายามหมุนตามด้วยความเร็วซิงโครนัส แต่จะไม่เท่าความเร็วซิงโครนัส เพราะโรเตอร์ต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อที่จะรักษาสภาพการหมุนต่อไป

2.3 สลลิป (Slip)

ในทางปฏิบัติโรเตอร์นั้นจะไม่สามารถมีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสได้ เพราะถ้าไม่มีความเร็วสัมพัทธ์เหลืออยู่จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ก็จะไม่สามารถรักษาสภาพแรงบิดของโรเตอร์ให้หมุนอยู่ได้ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์นั้นจะขึ้นกับภาระทางกลของมอเตอร์ด้วยเมื่อโรเตอร์มีความเร็วที่ต่างกับความเร็วซิงโครนัส จะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนความเร็วของโรเตอร์เรียกว่า “สลลิป” โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

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

2.4 แรงบิดเริ่มต้น (Starting Torque)

เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นทันทีทันใดขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน
กำหนดให้ T_{st} = แรงบิดเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E^2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่โรเตอร์ต่อ 1 เฟส ขณะหยุดนิ่ง

R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์ 1 เฟส

X_2 = ค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส

Z_2 = $\sqrt{R^2 + X^2}$ = ค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ของโรเตอร์ต่อ 1 เฟส

ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V) คงที่ จะได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็ก และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะคงที่ด้วย

$$T_{st} = k_2 \frac{R_2}{R^2 + X^2} = k_2 \frac{R_2}{Z_2} \quad \text{โดยที่ } k_2 \text{ เป็นค่าคงที่}$$

แรงบิดขณะสตาร์ทของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

ค่าความต้านทานของโรเตอร์ไม่สามารถปรับค่าได้ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์ (reactance) โดยเฉพาะจะเห็นชัดเมื่อเริ่มสตาร์ท เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ แรงบิดจะมีค่าน้อยประมาณ 1/5 เท่าของแรงบิดที่ภาระเต็มพิกัด กระแสจะมีค่าสูงประมาณ 5-7 เท่าของพิกัด และมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ หลังจากนั้นกระแสจะลดลง และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ก็จะดีขึ้น

แรงบิดขณะสตาร์ทของโรเตอร์แบบมีขลวด

ค่าความต้านทานของโรเตอร์สามารถปรับได้โดยการใช้ รีโอสแตท (rheostat) โดยเฉพาะขณะสตาร์ทนั้นจะเพิ่มความต้านทานก่อนแล้วค่อยๆ ลดความต้านทานลง เพราะฉะนั้นขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ แรงบิดจะมีค่ามาก กระแสจะมีค่าน้อย ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สูง หลังจากการสตาร์ทก็ยังสามารถนำความต้านทานออกจากวงจรได้ แต่ถ้าไม่นำความต้านทานออกจะสามารถแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้ดีขึ้นได้ แต่ประสิทธิภาพก็จะลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดขณะสตาร์ทและแรงบิดสูงสุด

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

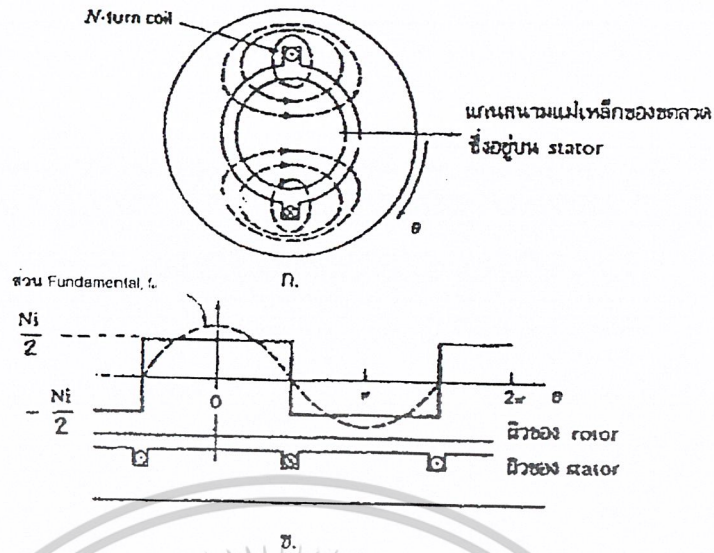
$$T_{max} \propto \frac{1}{2X_2}$$

$$\therefore \frac{T_s}{T_{max}} = \frac{2R_2 X_2}{R^2 + X^2} = \frac{2R_2 / X_2}{1 + (R^2 + X^2)} = \frac{2a}{1 + a^2}$$

$$\text{โดยที่} \quad a = \frac{R_2}{X_2}$$

$$T_{max} = \text{แรงบิดสูงสุด}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 ลักษณะของ mmf ซึ่งเกิดจากขดลวด 1 ชุด, N-รอบ ด้านทั้งสองของขดลวดห่างกัน 180°

การกำหนดให้โรเตอร์มีลักษณะทรงกระบอกสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2-7 ก็เพื่อให้การศึกษาลักษณะของคลื่น mmf ที่เกิดขึ้นง่ายขึ้น ทิศทางของสนามแม่เหล็กเป็นไปตามกฎมือขวา และเนื่องจากค่า permeability ของส่วนที่เป็นโลหะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอากาศ ดังนั้นจึงสมมติได้ว่า reluctance ภายในวงจรแม่เหล็กจะมีค่าเฉพาะในช่องอากาศ

เนื่องจากโครงสร้างของ stator สมมาตร สนามแม่เหล็กในช่องอากาศมีมุม θ ภายใต้วงหนึ่งจะมีขนาดเท่ากับมุม $\pi + \theta$ ซึ่งภายใต้ขั้วตรงกันข้าม โดยสนามแม่เหล็กที่ติดตั้งทั้งสองมีทิศทางตรงกันข้ามกัน

mmf โดยรอบเส้นทางปิด ซึ่งแสดงด้วยเส้นปลัดขังดังรูปที่ 2-5(ก) มีค่าเท่ากับ Ni และจากสมมติฐานที่กำหนดให้ reluctance ในส่วนที่เป็นโลหะมีค่าต่ำ ดังนั้นเทอม $\int H \cdot dl$ ในส่วนที่เป็นโลหะจึงมีค่าเกือบเป็นศูนย์ ดังนั้น mmf-drop ที่เกิดขึ้นภายในวงจรแม่เหล็กจึงมีเฉพาะในช่องอากาศเท่านั้น

ในการออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ ขดลวดจะถูกออกแบบการจัดวางอย่างเหมาะสมเพื่อให้ mmf ที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal มากที่สุด เมื่อพิจารณาคลื่น mmf ดังที่แสดงในรูป 2-7 (ข) ซึ่งเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม แล้วเมื่อวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ ก็จะพบว่าสัญญาณประกอบด้วยส่วน fundamental และส่วนฮาร์โมนิคคือ

ส่วน Fundamental, F_{a1} จากการวิเคราะห์มีค่า

$$F_{a1} = \frac{4 Ni}{\pi} \cos \theta$$

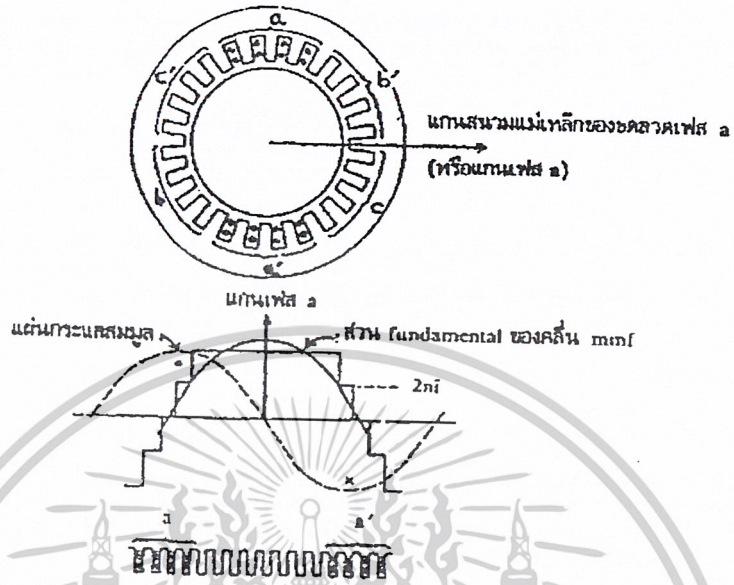
โดยที่ θ เป็นมุมที่วัดจากแกนของขดลวดซึ่งส่วน fundamental นี้เป็นคลื่นที่มีขนาด $F_{1,peak}$

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

อยู่ในแนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลที่เกิดจากขดลวดที่วางอยู่หลายช่อง เช่นรูปที่ 2-8 ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด 2 ขั้ว 3 เฟส เป็นดังนี้



รูปที่ 2-5 คลื่น mmf ที่เกิดจากขดลวด 1 เฟส ขดลวดจำนวน 3 เฟส และด้านทั้งสองของขดลวด แต่ละขดห่างกัน 180°e

ขดลวดแต่ละเฟสมีลักษณะเหมือนกัน และถูกจัดวางเพื่อให้แนวแกนแม่เหล็กที่เกิดจากแต่ละเฟส ทำมุมกัน ในรูปที่ 2-5 ขดลวดถูกจัดวางเป็น 2 ชั้น ขดลวดแต่ละขดมีจำนวน n รอบ มีกระแส i ไหลผ่าน ซึ่งทำให้เกิดคลื่นคลื่น mmf ที่มีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal มากขึ้นกว่ารูปที่ 1 ส่วน fundamental ของคลื่น mmf ในกรณีที่ขดลวดถูกออกแบบจัดวางให้เกิดสนามแม่เหล็ก P ขั้ว โดยที่มีขดลวดจำนวน $N\phi$ รอบต่ออนุกรมกันในแต่ละเฟสคือ

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

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

K_w : winding factor มีค่าขึ้นกับลักษณะการจัดวางขดลวด

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

I_a คือกระแสในเฟส a ส่วน fundamental ของคลื่น mmf นี้เท่ากับ mmf ที่เกิดจากการผ่านกระแส สมมุติที่มีลักษณะการจัดวางแบบ Sinusoidal เช่นที่แสดงในรูป 2-8 คลื่น mmf ที่กล่าวว่ามีลักษณะเป็น Standing Wave จะกระจายอยู่ในช่องอากาศแบบ Cosine ขนาดสูงสุดของส่วน fundamental, F_{max} คือ

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

โดยที่ I_{max} คือขนาดสูงสุดของกระแส i_a ซึ่ง

$$i_a = I_{max} \cos \omega t \text{ และ } F_{max} \text{ อยู่ในแนวสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส a}$$

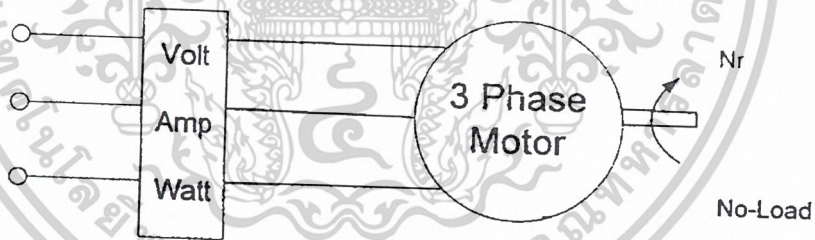
ด้วยหลักการเดียวกันขดลวดที่พันอยู่บนโรเตอร์ก็จะถูกออกแบบจัดวางเพื่อให้คลื่น mmf ที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียง sinusoidal ให้มากที่สุด เพื่อเป็นการลดส่วนฮาร์โมนิก ซึ่งขดลวดในแต่ละช่อง อาจมีจำนวนรอบที่ต่างกัน เช่น ขดลวดที่อยู่ใกล้บริเวณ pole face จะมีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดชุดอื่น ๆ ที่อยู่ช่องอื่น

2.7 การทดสอบมอเตอร์ (Three-Phase Induction Motor Test)

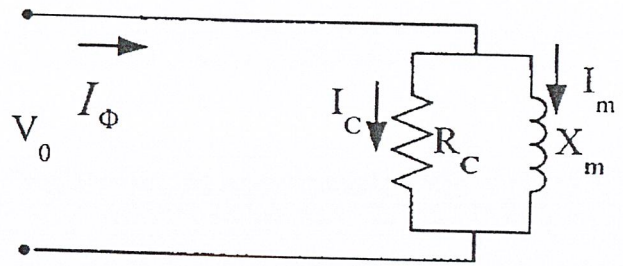
การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำมี 2 วิธี คือ

1. No-Load Test

ทดสอบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าขณะที่มอเตอร์อยู่ในสภาวะ No-load แล้วบันทึกค่า V, A, W แล้วพิจารณาค่าต่อเฟส V_0, I_0, P_0



รูปที่ 2-6 วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ No-Load



รูปที่ 2-7 วงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ No-Load

จากการทดสอบสามารถหาค่า Φ_0, R_c, X_m ได้จาก

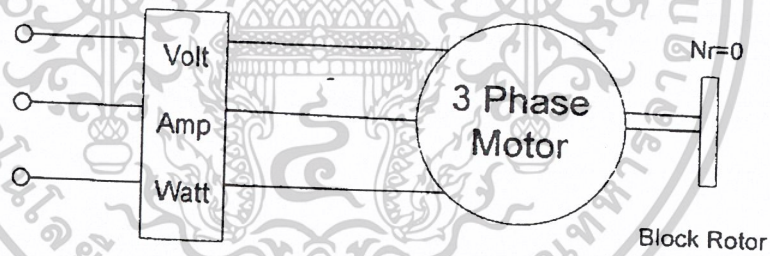
$$\Phi_0 = \cos^{-1} \frac{P_0}{V_0 I_0}$$

$$R_c = \frac{V_0^2}{P_0}$$

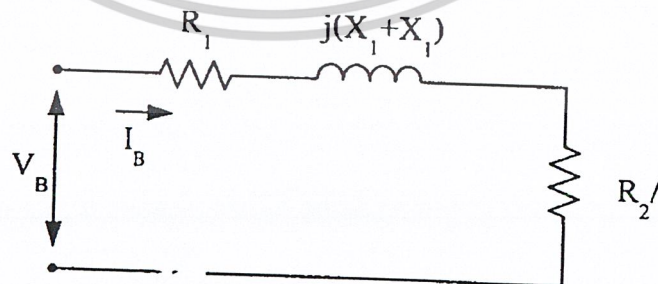
$$X_m = \frac{V_0}{I_0 \sin \Phi_0}$$

2. Block-Rotor Test

ทดสอบที่พิกัดกระแสไฟฟ้าในขณะที่มอเตอร์อยู่ในสภาวะ Block-Rotor แล้วบันทึก V, A, W เปลี่ยนให้ เป็นค่าต่อเฟส



รูปที่ 2-8 วงจรทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ Block-Rotor



รูปที่ 2-9 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำในลักษณะ Block-Rotor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบจะได้

$$\begin{aligned}\Phi_b &= \cos^{-1} \frac{P_b}{V_b I_b} \\ Z_b &= \frac{V_b}{I_b} \\ R_b &= \frac{P_b}{I_b^2} \\ X_b &= \sqrt{Z_b^2 + R_b^2} = \frac{V_b \sin \Phi_b}{I_b} \\ X_b &= X_1 + X_2 \\ R_b &= R_1 + R_2\end{aligned}$$

ค่า R_1 (armature winding resistance per phase) สามารถหาได้จากวิธีการ VI-method (DC)

Maximum Torque Calculation

Maximum Torque สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$\frac{R_2}{S_{\max.T}} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

ดังนั้น maximum torque จะเกิดขึ้นที่ค่าสลิปเท่ากับ

$$\begin{aligned}T_c &= \frac{P_g}{W_s} = \frac{3I_2^2 R_2}{W_s} = \frac{3R_2}{W_s} \cdot \frac{V_1^2}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \\ S_{\max.T} &= \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}}\end{aligned}$$

Start Motor

ขณะเริ่มหมุนมอเตอร์จะเกิดกระแสสูงกว่าปกติพิจารณาที่ slip = 1

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

แรงบิดขณะหมุน

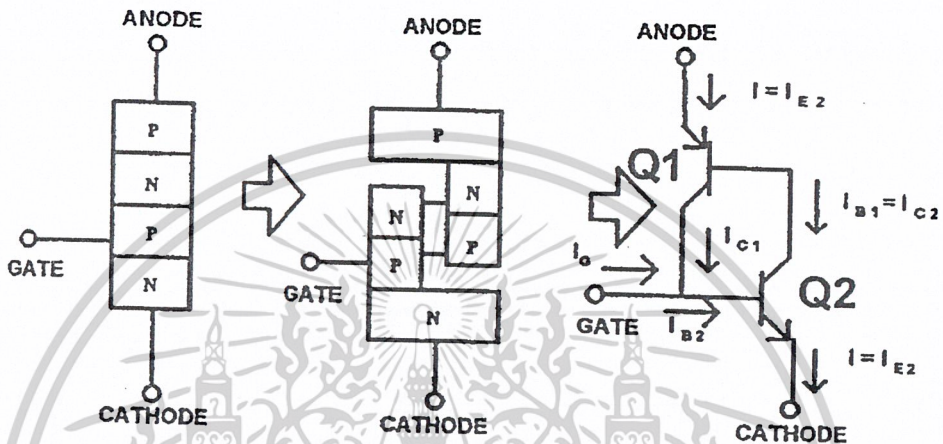
$$T_c = \frac{P_g}{W_s} = \frac{3I_2^2 R_2}{W_s} = \frac{3R_2}{W_s} \cdot \frac{V_1^2}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 เอสซีอาร์ (SCR)

3.1 การทำงานของเอสซีอาร์

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



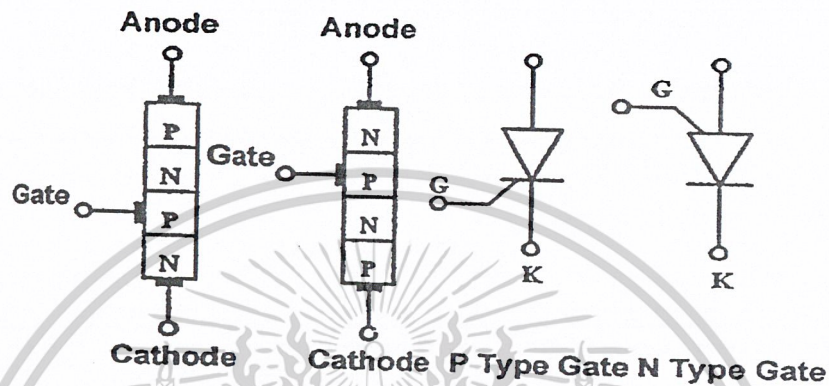
รูปที่ 3-1 โครงสร้างของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์ คือ ขณะที่ยังไม่มีกระแสไหลเข้าสู่แคโทด แรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับแคโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าเกตสู่แคโทด แรงดันที่แอโนดเทียบกับแคโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าเกตสู่แคโทดเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแส เรียกว่าทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

ในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสนั้น จะต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านต่ำจนถึงค่าหนึ่งตามคุณสมบัติที่กำหนดมา จากรูปที่ 3-1 หากเราทำการตัดวงจรขาเกตกับขาแคโทดจะทำให้กระแสหยุดไหลได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นการทำงานจริง ๆ และมีกระแสจำนวนมากที่จะเบี่ยงเบนมาไหลผ่านทางที่ลัดวงจร

ตามหลักการในเอสซีอาร์ทั่วไป โครงสร้างภายในจะถูกออกแบบให้มีลักษณะซอร์ตอิมิตเตอร์ โดยจะใช้ตัวต้านทานต่อระหว่างขาเกตและขาแคโทด เพราะจะทำให้เกิดกระแสเบี่ยงเบนจากขาเกตและแคโทด เพราะจะทำให้เกิดกระแสเบี่ยงเบนจากขาเบสของทรานซิสเตอร์ NPN ผ่านตัวต้านทานทำให้กระแสจุดชนวน (I_G) กระแสค้ำ (I_L : latching current) กระแสช็อคมีค่ามากขึ้น

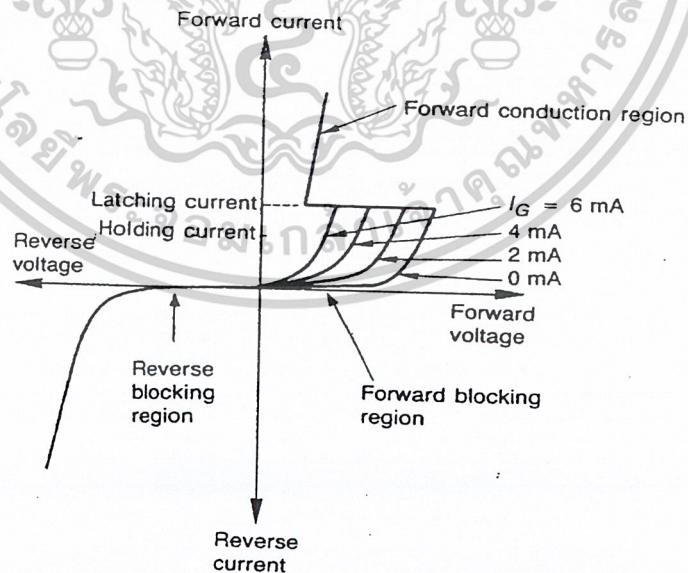
ความไวในการจดชนวนขาเกทของเอสซีอาร์ให้ใช้ค่าความต้านทานสูงๆ ค่อยนานหรือไม่ต้องไ้เลยก็ได้ ดังนั้นคุณสมบัติจึงเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าความต้านทานจากภายนอก ซึ่งในกรณีนี้การออกแบบให้มีลักษณะซอร์คโอมิตเตอร์จะมีผลน้อยมาก อุณหภูมิที่ร่อยต่อเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเอสซีอาร์มีผลอย่างมาก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เอสซีอาร์เกิดการนำกระแสได้ง่ายขึ้น ดังนั้นสภาวะของวงจรที่ถูกกำหนดให้นำกระแสจะถูกออกแบบให้ทำงานที่จุดอุณหภูมิต่ำสุด



รูปที่ 3-2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์

3.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์

ในรูปที่ 3-3 แสดงคุณสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแดรนต์ ระหว่างคร่อมตัวเอสซีอาร์และกระแสที่ผ่าน



รูปที่ 3-3 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์ทั้ง 4 ควอดแดรนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ความไวในการจุดชนวน

เพราะว่ากระแสรั่วไหลบริเวณรอยต่อ และอัตราขยายกระแสมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิ ขนาดของกระแสจุดชนวนเกณฑ์ที่ต้องการจริงๆจึงลดลง และเกทจะมีลักษณะเหมือนไดโอดที่มีแรงดันตกคร่อมเมื่อเกิดอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ

อย่างไรก็ดี การออกแบบกระแสจุดชนวนก็มีความสำคัญมากที่จะให้พอเพียงในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำสุด ความต้องการขนาดความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) จุดชนวนเกทในการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสขึ้นขึ้นอยู่กับช่วงเวลาทีกระแสแอนโอดจะมีระดับถึงกระแสค้ำ และจำเป็นที่จะต้องรักษากระแสที่เกทจนกระทั่งเอสซีอาร์นำกระแส ในการใช้งานกับโหลดที่เป็นขดลวดหรือทีกระแสแอนโอดมีค่าต่ำกว่ากระแสยึดก่อนใช้งาน

การจุดชนวนเอสซีอาร์ด้วยกระแสตรงที่มีค่ามากกว่ากระแสรั่วไหลป้อนกลับที่จะได้เป็นปกติ แต่จะไม่มีประโยชน์ถ้าสัญญาณจุดชนวนถูกกั้นไว้ระหว่างที่แรงดันแอนโอดไหล

3.4 คุณสมบัติกระแสค้ำและกระแสยึด

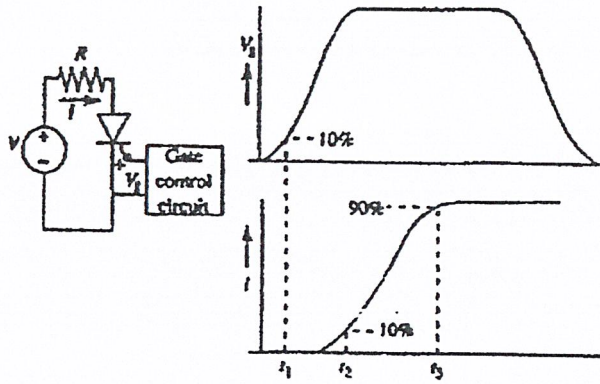
เมื่อก้าวถึงสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดกระแสไหลในเอสซีอาร์อยู่ตลอดเวลาได้ ถึงแม้จะไม่มีกระแสจุดชนวนในเวลานั้นก็ตาม หลักการที่จะกล่าวถึงคือกระแสค้ำนั่นเอง การที่จะทำให้อเอสซีอาร์หยุดนำกระแสต้องทำให้กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสยึดและกระแสที่จุดเริ่มต้นหยุดนำกระแส เรียกว่า กระแสยึด ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ที่เกทด้วย

กระแสป้อนกลับในขาเกทของเอสซีอาร์จะต้องมากกว่ากระแสค้ำ กระแสยึด และการไบแอส ตรงที่ขาเกทจะไม่มี ความหมายถ้ากระแสที่ป้อนต่ำกว่าค่าที่กล่าวมานี้

3.5 คุณสมบัติการสวิตชิง

เมื่อจุดชนวนเกทด้วยสัญญาณจุดชนวนเกทให้เอสซีอาร์นำกระแส เวลาในการเริ่มต้นนำกระแสจะแบ่งเป็น 2 สถานะ คือช่วงเวลานิ่ง (T_d : delay time) และเลือกช่วงเวลานิ่ง (T_c : rise time) ช่วงเวลานิ่งจะเริ่มขึ้นจากระดับแรงดัน 10 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

ผลรวมของเวลาทั้งสองคือช่วงเวลาเริ่มต้นนำกระแส (t_{on} : turn-on time) และ SCR หมายถึงช่วงเวลาที่เริ่มต้นจากระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ของขอบนำกระแสจุดชนวนเกทถึงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์ ข้อควรระวังอย่างหนึ่งคือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านตัวเอสซีอาร์ ในช่วงเวลาขณะนั้น เพราะว่าจะระหว่างเวลานั้นแรงดันที่ตกคร่อมจะสูง และกระแสจะมีความเข้มข้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากการประจุสะท้อน ซึ่งอาจทำให้เกิดความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งสูง และจะเป็นผลให้จุดนั้นเสียหายได้ สิ่งสำคัญคือ กำลังงานที่แพร่กระจายในขณะเริ่มนำของกระแสควรจำกัดให้รักษาไว้ระดับหนึ่ง



รูปที่ 3-4 ช่วงเวลาที่รีนออนของไทรซิสเตอร์

3.6 ช่วงเวลาหยุดนำกระแส

การประยุกต์เอสซีอาร์ในการควบคุมกำลังงานที่จะใช้กันในช่วงที่เอสซีอาร์มีคุณสมบัติหยุดนำกระแส เรามักจะไม่มีปัญหาในการออกแบบให้เอสซีอาร์นำกระแสได้อย่างแน่นอนและแม่นยำนอกนั้น หลังจากที่เรานำสัญญาณจุดชนวนออกช่วงเวลานำกระแสจะขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งนานเท่าผลรวมอัตราขยายเบสรวมของทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP

ส่วนในการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส นั้นอัตราขยายควรต่ำกว่าปกติในสภานำกระแส กระแสแอโนดควรมากกว่ากระแสเบสสำหรับการใช้ในไฟฟ้ากระแสสลับ การหยุดของกระแสจะเป็นไปตามอัตราโนมิตในช่วงลบของลูกคลื่น

อย่างไรก็ตามในการใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง กระแสแอโนดจะทำให้หยุดลงหรือเบี่ยงเบนไป และในการเกิดกระแสแอโนดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระแสไบแอสตรงและอุปกรณ์อื่นๆ และช่วงเวลารีเฟเวอรัจะต้องผ่านไปก่อนที่เอสซีอาร์จะกลับมามีแรงดันกระแสตรงเพื่อที่จะนำกระแสอีกครั้งหนึ่ง

เราสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับช่วงเวลารีเฟเวอรัของเอสซีอาร์ได้ง่ายขึ้นโดยพิจารณารอยต่อทั้ง 3 ที่เกิดขึ้น เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสในแต่ละรอยต่อจะได้รับการไบแอสตรงซึ่งทำให้บริเวณสาร P และสาร N ในแต่ละข้างจะมีโฮล (Hole) และอิเล็กตรอน (Electron) อยู่มาก

ถ้าต้องการให้หยุดนำกระแสในช่วงเวลาสั้นๆ จำเป็นต้องป้อนแรงดันไฟลบให้กับแอโนดเพื่อที่จะทำให้โฮลและอิเล็กตรอนไหลไปกับปลายรอยต่อทั้ง 2 ด้านเกิดการแพร่กระจายและกระแสไบแอสกลับไหลผ่านเอสซีอาร์

เมื่อโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณใกล้ๆ รอยต่อเกิดการแพร่กระจายออกไปจนหมดกระแสไบแอสกลับจะหยุดไหล หมายถึงเอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปกติพร้อมจะนำกระแสอีกครั้ง

อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหนึ่งก็คือ ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนขึ้นบริเวณกลางรอยต่อซึ่งการรวมตัวกันระหว่างโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณกลางรอยต่อ นี้เองทำให้การแพร่กระจายเกิดขึ้นต่ำและช้า ซึ่งหมายถึงช่วงเวลารีเฟเวอรัที่นาน

การวัดช่วงเวลารีฟเวอร์รี่ของเอสซีอาร์ ควรจะป้อนกระแสไบแอสตรงเป็นเวลานานเพียงพอจนแน่ใจว่าวงจรมีอยู่ในสภาวะคงที่แล้ว เพื่อที่จะดูว่าการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบในวงจรคือขนาดกระแสไบแอสตรง ช่วงเวลากระแสไบแอสตรง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา ขนาดกระแสไบแอสกลับ ขนาดแรงดันไบแอสกลับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อเวลา ขนาดของแรงดันที่ใช้ ค่าควาต้านทานระหว่างเกตและแคโทดและขนาดสัญญาณจุดชนวนเกทว่าจะมีผลต่อช่วงเวลารีฟเวอร์รี่อย่างไรให้ทำการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบนั้นๆ โดยให้ส่วนอื่นๆ คงที่

3.7 คุณสมบัติของ di/dt

เมื่อทริกให้ไทรสเตอร์นำกระแส กระแสในช่วงเริ่มแรกจะไหลผ่านเนื้อที่ตัดขวางของไทรสเตอร์ เฉพาะบริเวณที่มีขั้วเกตต่ออยู่เท่านั้นในลักษณะเป็นจุด จากนั้นกระแสจะไหลแผ่กระจายออกจนเต็มเนื้อที่หน้าตัดขวางดังกล่าว ดังนั้นถ้ากระแสมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินไปแล้วทำให้เกิดการชำรุดเสียหายขึ้นในบริเวณเนื้อที่หน้าตัดที่อยู่ใกล้ขั้วเกต อันเนื่องมาจากความร้อนสะสมที่มีปริมาณสูงเกินกำหนด นอกจากนี้แล้วในขณะที่แรงดันแอนโอดยังมีระดับที่ไม่ต่ำพอนั้นเมื่อ i มีค่ามากแล้ว การสูญเสีย $\int V_{th} di/dt$ ที่เกิดขึ้นภายในตัวไทรสเตอร์ก็มีค่ามากด้วย การสูญเสียที่เกิดขึ้นในขณะการเทิร์นออนนี้เรียกว่า สวิตชิงลอส ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องจำกัดค่า di/dt ให้มีค่าช่วงดังแสดงในตาราง โดยการทำให้ขั้วเกตมีลักษณะ โครงสร้างในรูปวงแหวนแทนลักษณะที่เป็นจุดเพื่อให้กระแสไหลแผ่กระจายเต็มเนื้อที่หน้าตัดขวางในเวลาทีรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังอาจต่อรีแอคเตอร์ค่าต่างๆแทรกในวงจรเมน เป็นต้น

	ไทรสเตอร์ทั่วไป	ไทรสเตอร์ที่ใช้กับความถี่สูง
T _{off} [μs]	10-20	3
dv/dt [V/μs]	25-50	100-200
di/dt [V/μs]	10-50	100-200

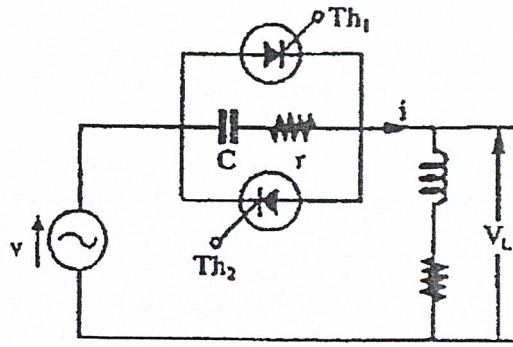
ตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบของไทรสเตอร์สองชนิด

3.8 คุณสมบัติของ dv/dt

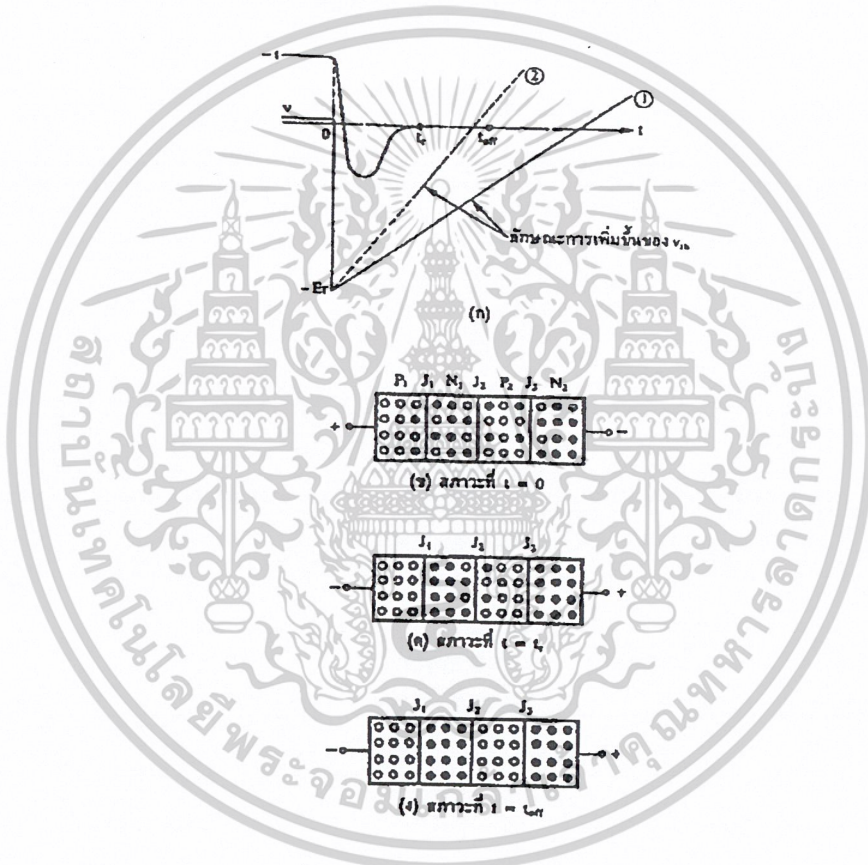
กำหนดโวลเตจคร่อมไทรสเตอร์ในสภาวะ OFF เป็น v การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน dv/dt เมื่อค่ามากเกินไปแล้วจะมีกระแสไหลชาร์จคาปาซิเตอร์ซึ่งฟอร์มตัวขึ้นในบริเวณชั้นว่างเปล่าสุดผิวรอยต่อ J_2 ทำให้ค่า V_{B0} มีค่าต่ำลงจนเกิดการเบรคโอเวอร์และเป็นสาเหตุสาเหตุให้เกิดการทริกและเทิร์นออนที่ผิดพลาดขึ้น

ในกรณีควบคุมแรงดันขณะโวลดเป็นอินดักทีฟโดยอาศัยการต่อไทรสเตอร์ 2 ตัวในลักษณะคร่อมขนานกลับทิศทางกันดังรูปที่ 3-3 ซึ่งเป็นวงจรใช้ปรับแรงดันโวลด 1 เฟส โดยการควบคุมมุมทริก α ของไทรสเตอร์ไทรสเตอร์ทั้งสองนี้จะต่อในลักษณะคร่อมขนานกลับทิศทางกัน

(back to back connection)



รูปที่ 3-5 วงจร R, C สับเบอร์



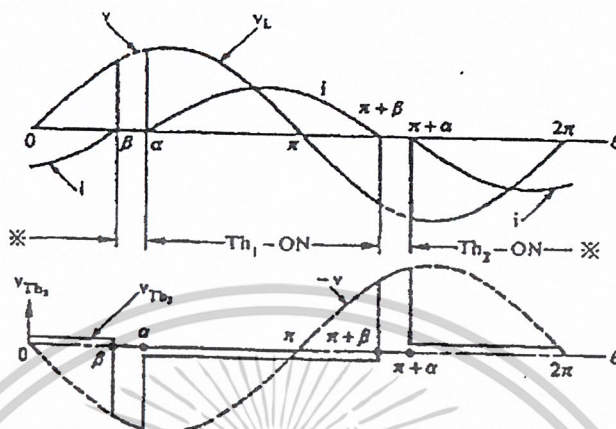
รูปที่ 3-6 สถานะต่างๆในช่วงการเทิร์นออฟ

ในกรณีโหลดเป็นอินดักทีฟ ไทริสเตอร์จะไม่หยุดนำกระแสที่มุม $\theta = \pi$ ได้ แต่จะนำกระแสเลยจากตำแหน่ง π ไปเป็นมุม β เส้นโค้งแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด i ได้แสดงดังรูปที่ 3-6

เนื่องจากไทริสเตอร์ Th_1 นำกระแสในช่วงมุม θ จาก $\alpha + \pi + \beta$ แรงดันตกคร่อม Th_1 ในทิศทางฟอร์เวิร์ดนี้จะมีแรงดันแรงดันรีเวิร์สตกคร่อม Th_2 ในช่วงนี้ เมื่อไทริสเตอร์ Th_1 หยุดนำกระแสที่มุม $\theta = \pi + \beta$ จะมีแรงดันซัพพลาย $-v$ ปรากฏตกคร่อม Th_2 ในทิศทางฟอร์เวิร์ด ดังนั้นไทริสเตอร์ Th_2 ที่

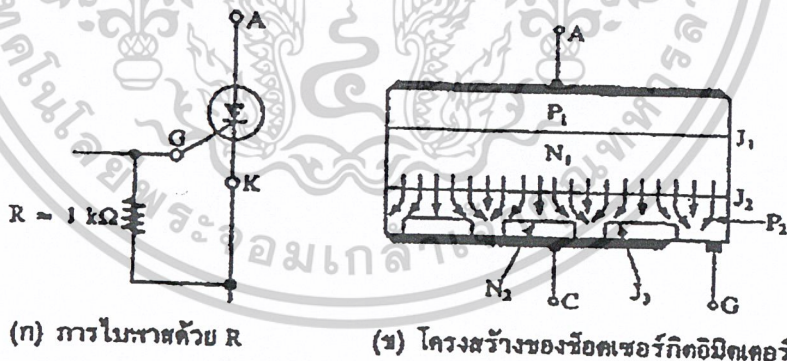
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเกตจะเข้ามาที่มุม $\pi + \beta$ ได้ ถ้า dv/dt ซึ่งคร่อมไทรสเตอร์ให้มีค่าในย่านตามตาราง 3-1 ในทางปฏิบัติจะใช้ตัวต้านทาน R และคาปาซิเตอร์ C ต่อคร่อมไทรสเตอร์ในลักษณะดังรูปที่ 3-5 วงจร R,C ที่ใช้นี้เรียกว่า วงจรสแน็บเบอร์



รูปที่ 3-7 การเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลด i

นอกจากนั้นแล้วยังอาจใช้วิธีการเพิ่มค่า dv/dt ของตัวไทรสเตอร์ให้สูงขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ได้แสดงในรูปที่ 3-7 (ก) และ (ข) เป็นกรณีที่ใช้กับไทรสเตอร์ขนาดกระแสต่ำๆ ส่วนรูป (ข) จะใช้กับไทรสเตอร์กระแสสูงๆ ซึ่งแบบนี้มีชื่อว่า ซีดเซอร์กิตอิมิตเตอร์

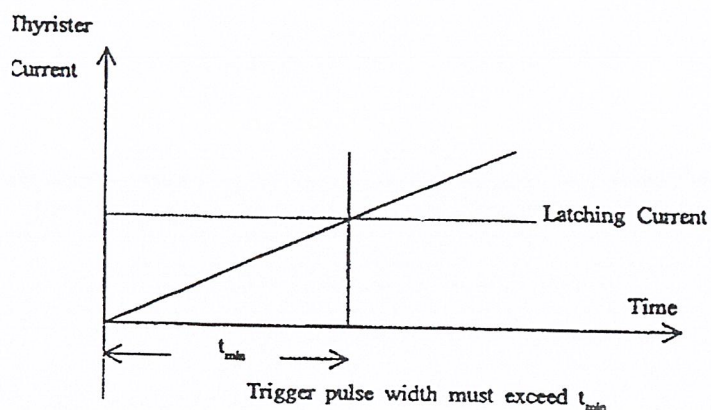


(ก) การไบแอสด้วย R

(ข) โครงสร้างของซีดเซอร์กิตอิมิตเตอร์

รูปที่ 3-8 วิธีการเพิ่มค่า dv/dt ของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-9 แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริก

ถ้าสัญญาณทริกสิ้นสุดก่อนที่กระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสเมื่อสัญญาณทริกสิ้นสุดลง ดังนั้นสัญญาณทริกจะต้องมีระยะเวลาจนกระทั่งกระแสผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้างจึงทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไป โดยสามารถนำสัญญาณทริกออก เอสซีอาร์จะยังคงนำกระแสต่อไปดังรูปที่ 3 แสดงเวลาน้อยที่สุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกไว้

ในกรณีโหลดอินดักทีฟ (Inductive) กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์สู่อินดักทีฟโหลดจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะเวลาของกระแสทริกจะต้องนานจนกว่ากระแสไหลมากกว่ากระแสค้างเอสซีอาร์จะนำกระแสต่อไปได้

การทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสมีวิธีการดังนี้ คือ

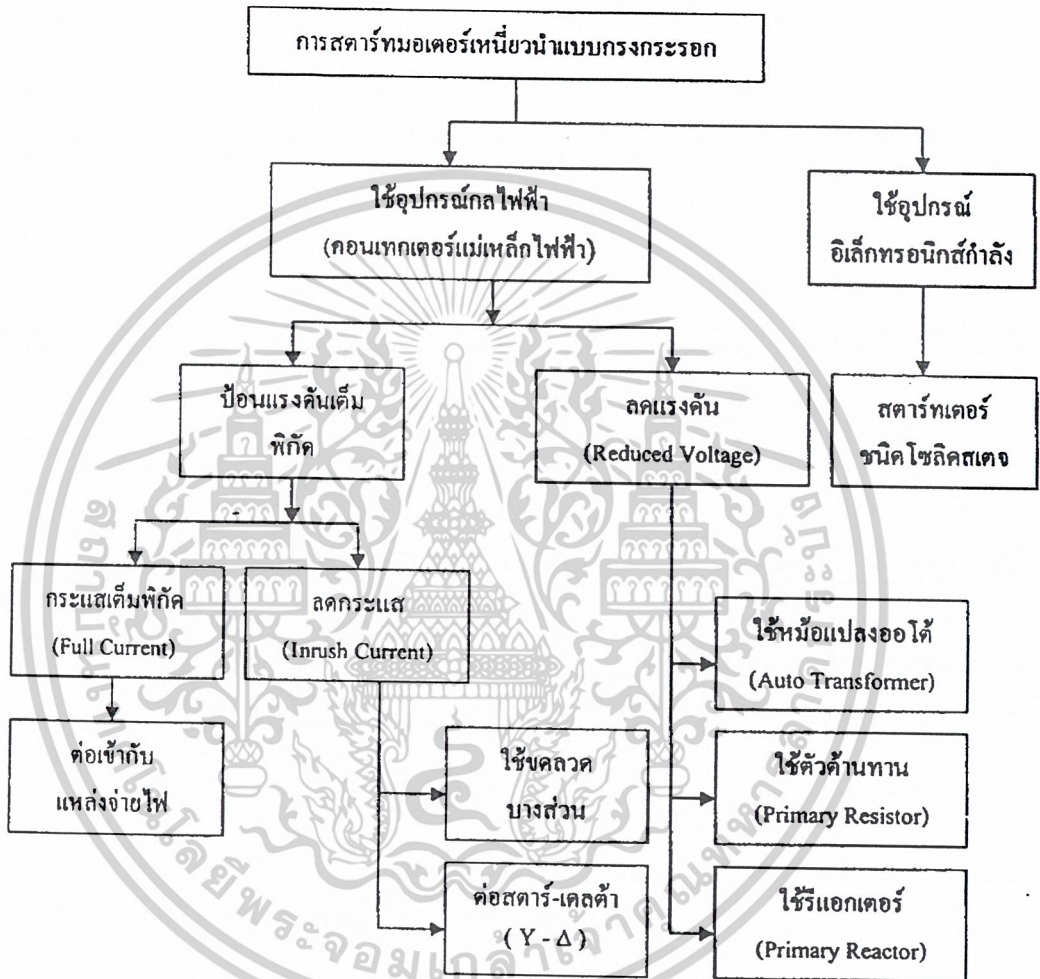
1. ใช้แรงดันชั่ววอกเข้าที่ขาเกต
2. ใช้แสงจุกชนวน
3. ใช้แรงดันพียงข้ามทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแส
4. ใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลาในอัตราสูงเข้าจุกชนวน
5. ใช้อุณหภูมิสูงเข้าจุกชนวน

บทที่ 4

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

เราสามารถสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่
ต้องการ เช่น ต้องการลดกระแสเริ่มเดินเครื่องหรือต้องการลดทอร์กเริ่มเดินเครื่อง หรือทั้งสองอย่าง เพื่อ
ลดผลกระทบต่างๆที่เกิดกับระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ทางกล

วิธีสตาร์ทสามารถแบ่งออกได้สองแบบใหญ่ๆ ดังรูปที่ 4-1



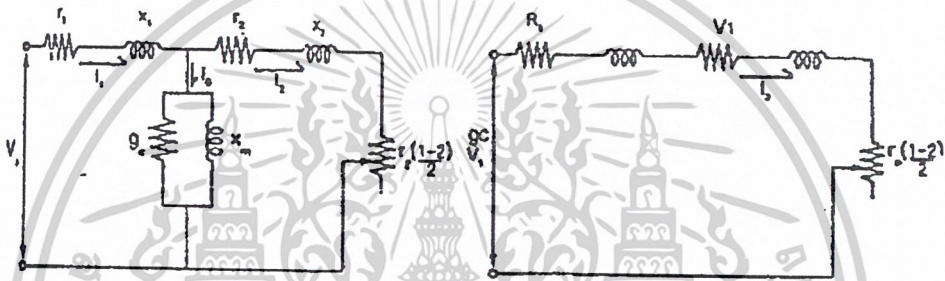
รูปที่ 4-1 การจำแนกวิธีสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

คือ ใช้สตาร์ทเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์กลไฟฟ้า จำพวกคอนแทกเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับตัดวงจร
ระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายซึ่งเป็นสตาร์ทเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมานานแล้ว ส่วนสตาร์ทเตอร์อีก
แบบที่กำลังได้รับความนิยม ในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ สตาร์ทเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น SCR หรือ Triac เป็นตัวควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ในระหว่าง
เริ่มเดินเครื่อง

เนื่องจากแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ในช่วงเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันพิกัดเสมอจึงจัดเป็นสตาร์ทเตอร์ประเภทลดแรงดันชนิดหนึ่ง สำหรับสตาร์ทเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์กลไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็นสองแบบใหญ่ๆ คือ แบบป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัด และแบบลดแรงดัน การสตาร์ทแบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันต่ำกว่าพิกัดระหว่างการสตาร์ท ซึ่งทำได้โดยใช้หม้อแปลงออโตลดแรงดันก่อนที่จะป้อนให้มอเตอร์ หรือใช้อิมพีแดนซ์ (ตัวต้านทานหรือตัวรีแอกเตอร์) ต่ออนุกรมกับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ เพื่อให้เกิดแรงดันตกในอิมพีแดนซ์นั้นๆ อันจะมีผลทำให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา

4.1 การสตาร์ทแบบต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง

การสตาร์ทด้วยวิธีการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง (DOL) นี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าพิกัด กระแสเริ่มสตาร์ทหรือเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าสูง จึงจะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้



(ก) พหุสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(ข) วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบจาวูป (ค) โดยทฤษฎี Thevenin

รูปที่ 4-2 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 4-2

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

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

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

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

ถ้าให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- I_N = กระแสไหลลัดเต็มพิกัดของมอเตอร์
- I_{st} = กระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัด
- I'_{st} = กระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันต่ำกว่าพิกัด
- T_N = ทอร์กที่ไหลลัดเต็มพิกัดที่มอเตอร์สร้างได้
- T_{st} = ทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันเต็มพิกัด
- T'_{st} = ทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อป้อนด้วยแรงดันต่ำกว่าพิกัด

จากสมการข้างบนจะได้

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

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

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

มีค่าประมาณ 0.03-0.08 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของมอเตอร์ทำให้ I_{st}/I_N มีค่าประมาณ 4-8 เท่าจากสมการข้างบนจะได้

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

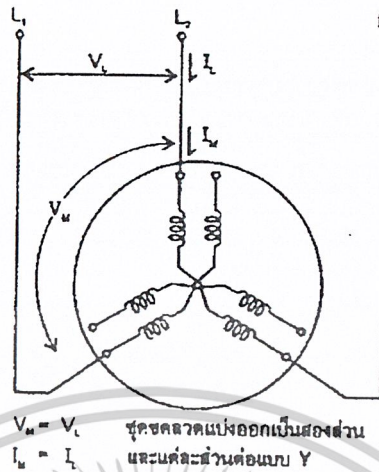
$$T_{st} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{1a}^2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} r_2$$

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

T_{st}/T_N จะมีค่าประมาณ 1-3 เท่า

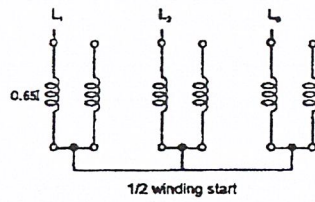
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสตาร์ทแบบใช้ขดลวดบางส่วน



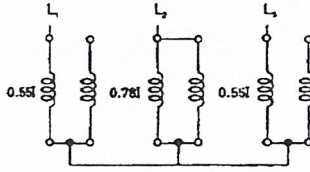
รูปที่ 4-3 มีการแบ่งขดขดลวดเพื่อการสตาร์ท

การสตาร์ทด้วยวิธีใช้ขดลวดบางส่วน (Part Winding) จะใช้ได้กับมอเตอร์ที่มีขดขดลวดสเตเตอร์มากกว่า 1 ส่วน ในรูปที่ 1 ขดขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนต่อกันแบบสตาร์ท ในการสตาร์ทจะต่อขดขดลวดส่วนแรกเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง หลังจากนั้นจึงค่อยต่อขดขดลวดที่เหลือเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรงต่อไป การสตาร์ทแบบนี้มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าพิกัด แต่กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าต่ำกว่าการสตาร์ทแบบต่อเข้าแหล่งจ่ายไฟโดยตรง เพราะจังหวะสตาร์ทไม่ได้ต่อขดขดลวดเข้ากับแหล่งจ่ายไฟทั้งหมดแต่ต่อเข้าไปที่ละส่วน ขนาดของกระแสเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของขดขดลวดส่วนแรกที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า กระแสเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 0.65-0.7 เท่าของกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อสตาร์ทแบบ DOL ที่ไม่เป็น 0.5 เท่าๆที่ต่อขดขดลวดเข้าไปครั้งหนึ่ง เพราะค่ารีแอกแตนซ์รั่ว มีค่าแตกต่างจากการต่อขดขดลวดเข้าไปทีเดียวทั้งหมด สำหรับทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะมีค่าประมาณ 0.45-0.5 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL



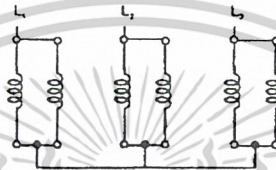
1/2 winding start

(ก) เริ่มสตาร์ทด้วยการต่อชุดขดลวด 1/2 ส่วน



2/3 winding start

(ข) เริ่มสตาร์ทด้วยการต่อชุดขดลวด 2/3 (หรือ 4/6) ส่วน

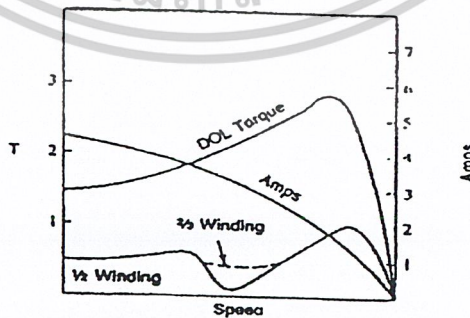


ปกติ

(ค) การต่อชุดขดลวดในภาวะทำงานปกติ

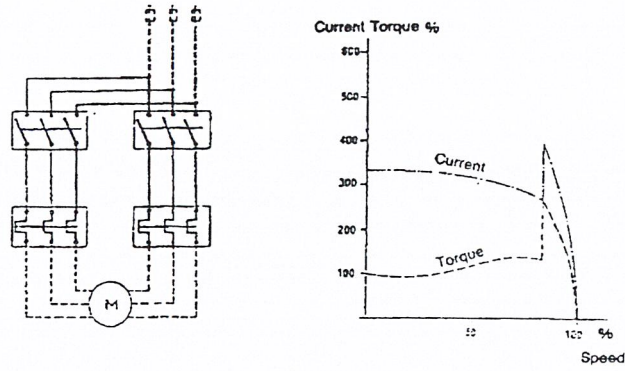
รูปที่ 4-4 การต่อชุดขดลวดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทจนถึงภาวะทำงานปกติ

ในรูปที่ 2 แสดงการชุดขดลวด 2/3 ส่วน (4 ชุดจาก 6 ชุด)เข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ การต่อแบบนี้กระแสเริ่มเดินเครื่องจะไม่สมดุล โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.63 เท่าของการเริ่มสตาร์ทแบบ DOL ในขณะที่ทอร์กเริ่มเดินเครื่องก็มีค่าประมาณ 0.45-0.5 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL คือ ประมาณใกล้เคียงกับการสตาร์ทด้วยชุดขดลวดเพียง 1/2 ส่วน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากระแสเริ่มเดินเครื่องจะไม่สมดุลอันอาจจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า และทอร์กเริ่มเดินเครื่องก็ไม่ได้แตกต่างกัน แต่การสตาร์ทโดยการต่อชุดขดลวดเข้าไป 2/3 เท่า ส่วนตรงที่ทอร์กในช่วงเร่งรอบที่ความเร็วประมาณครึ่งหนึ่งของความเร็วซิงโครนัสจะไม่ตกลงมาก



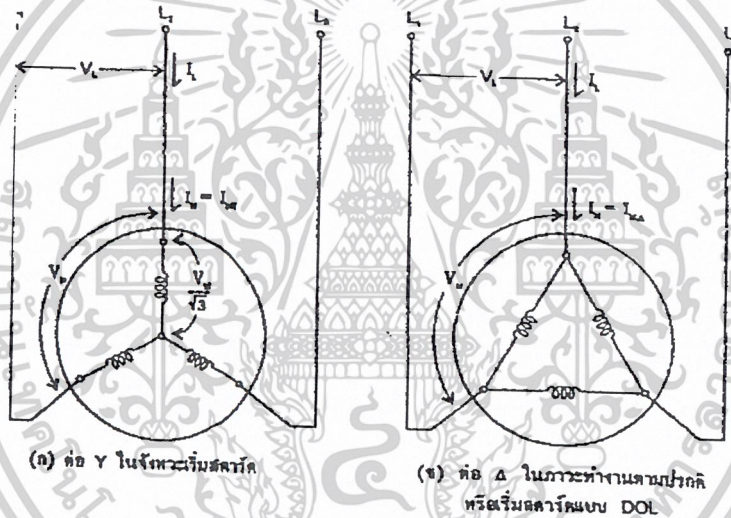
รูปที่ 4-5 กราฟลักษณะสมบัติของการสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 ใต้อะแกรมของวงจรสตาร์ทแบบใช้ชุดขดลวดบางส่วน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, ทอร์ก และความเร็ว

4.3 การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลดาวน์



รูปที่ 4-7 การสตาร์ทโดยต่อแบบ Y-Δ

การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลดาวน์นี้ มอเตอร์จะได้รับแรงดันตามค่าที่คิด อย่างไรก็ตามเนื่องจากจังหวะเริ่มสตาร์ท ชุดขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ถูกจับต่อแบบสตาร์ท ทำให้ชุดขดลวดแต่ละชุดหรือแต่ละเฟส ได้รับแรงดันเพียง $\frac{V_m}{\sqrt{3}}$ เท่านั้น ถ้าให้อิมพีแดนซ์ของชุดขดลวดแต่ละเฟส ในจังหวะเริ่มสตาร์ทมีค่า Z_{st} จะได้กระแสเริ่มเดินเครื่องต่อชุดขดลวดแบบสตาร์ทเป็น

$$I_{stY} = \frac{V_m}{\sqrt{3}Z_{st}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

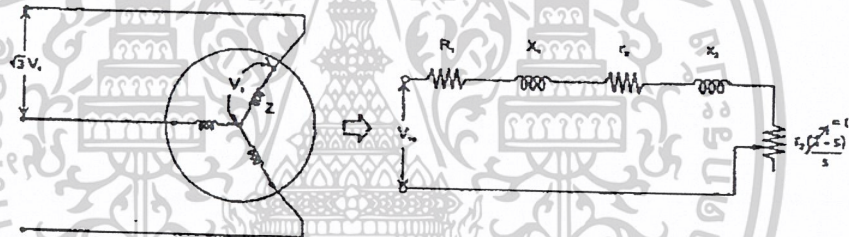
ในจังหวะเริ่มสตาร์ทถ้าให้ชุดขดลวดของมอเตอร์แบบเดลต้า (Δ) แล้วต่อมอเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง คือ สตาร์ทแบบ DOL ชุดขดลวดแต่ละชุดจะได้รับแรงดัน V_m ดังนั้นกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ใหญ่ในชุดขดลวดจะมีขนาด V_m/Z_{st} แต่การต่อชุดขดลวดแบบเดลต้ากระแสสายจะเป็น 3 เท่าของกระแสเฟสหรือกระแสที่ใหญ่ในชุดขดลวด ดังนั้นกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อชุดขดลวดแบบเดลต้าจะเป็น

$$I_{stY} = \frac{\sqrt{3}V_m}{\sqrt{3}Z_{st}}$$

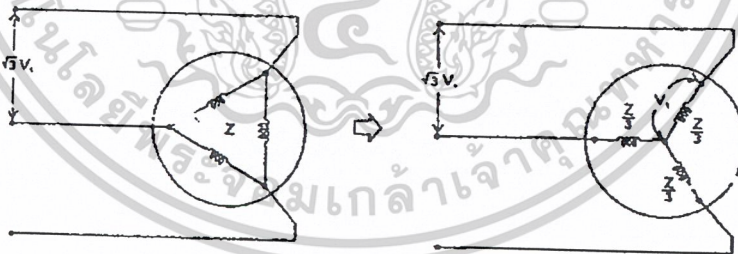
ดังนั้น

$$\frac{\sqrt{3}V_m}{\sqrt{3}Z_{st}} I_{stY} / I_{st\Delta} = 1/3$$

นั่นคือกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อสตาร์ทโดยตรงแบบสตาร์ท-เดลต้าจะมีขนาดเพียง 1/3 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL สำหรับทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อชุดขดลวดแบบสตาร์ทจะมีค่าเพียง 1/3 เท่าของการสตาร์ทแบบ DOL เท่านั้น



(ก) วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบดาว



(ข) วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบเดลต้า

รูปที่ 4-8 วงจรสมมูลขณะเริ่มสตาร์ทเมื่อต่อชุดขดลวดแบบ Y - Δ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-8 จะได้

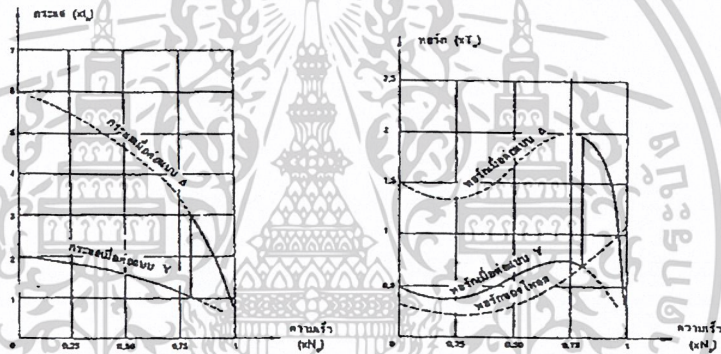
$$T_{st\Delta} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{ld}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

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

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

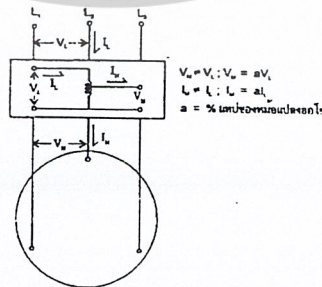
$$= \frac{3}{\omega_s} \frac{3V_{ld}^2 r_2}{(R_1 + r_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

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



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของกระแสแอมแปร์และทอร์กที่มอเตอร์สร้างได้กับความเร็วยรอบเมื่อสตาร์ทเมื่อต่อแบบ Y-Δ

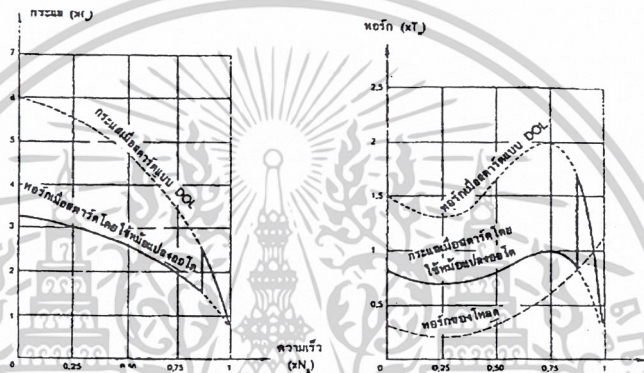
4.4 การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต



รูปที่ 4-10 การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต

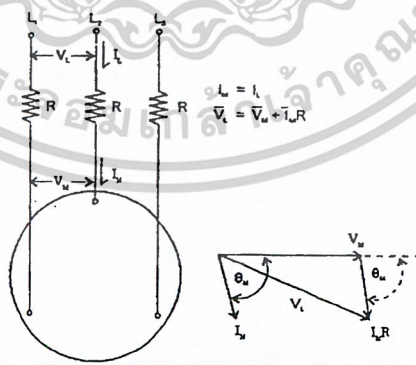
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโต แรงดันที่มอเตอร์ได้รับในจังหวะเริ่มสตาร์ทจะต่ำกว่าค่าพิกัดซึ่งขึ้นอยู่กับแทปของหม้อแปลงออโตที่เลือกต่อใช้งานแรงดันที่ 80% , 65% หรือ 50% เนื่องจากกระแสเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์แปร โดยตรงกับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ ดังนั้น เมื่อเลือกต่อที่แทป 80% กระแสเริ่มเดินเครื่องก็จะมีขนาดเพียง 80% ของกระแสเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อแบบ DOL แต่กระแสเริ่มเดินเครื่องที่ดึงจากแหล่งจ่ายไฟจะขึ้นอยู่กับอัตราทดของหม้อแปลงออโตด้วย ซึ่งจะทำให้กระแสเริ่มเดินเครื่องจากแหล่งจ่ายไฟลดลงเหลือเพียง $0.8 \times 0.8 = 0.64$ หรือ 64% เท่านั้น เนื่องจากทอร์กแปรผันตามแรงดันยกกำลังสอง ดังนั้นถ้าเลือกต่อที่แทป 80% ทอร์กเริ่มเดินเครื่องก็จะมีขนาดเพียง 64% ของทอร์กเริ่มเดินเครื่องเมื่อต่อแบบ DOL การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงออโตนี้จึงสามารถเลือกขนาดกระแสเริ่มเดินเครื่องและทอร์กเริ่มเดินเครื่อง ที่เหมาะสมกับความต้องการ ได้โดยการเลือกแทปหม้อแปลงออโตซึ่งปกติจะมีให้เลือก 2-3 แทป



รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ของกระแสและทอร์กกับความเร็ว

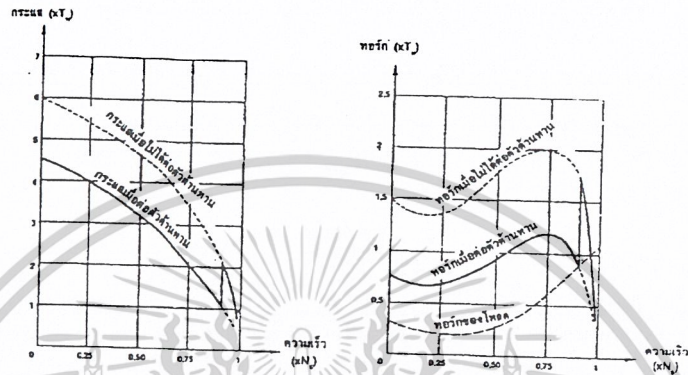
4.5 การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน



รูปที่ 4-12 การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทาน

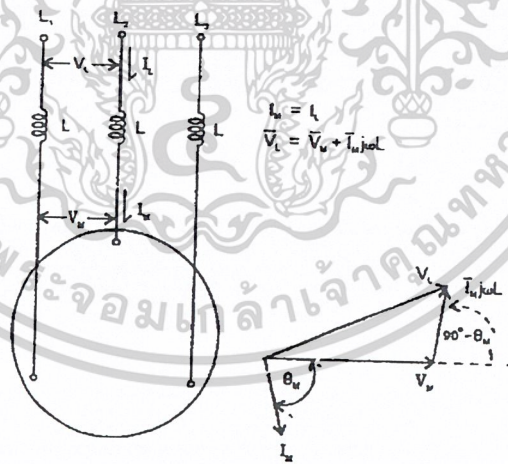
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทานนี้จะใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับมอเตอร์ เมื่อเริ่มสตาร์ทจะมีกระแสเริ่มเดินเครื่องผ่านตัวต้านทานทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมบนตัวต้านทาน ส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ป้อนมาที่แหล่งจ่ายไฟค่าความต้านทานของตัวต้านทานจะต้องเลือกให้พอเหมาะเพื่อให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์มีค่าเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น เป็น 80%, 65%, หรือ 50% ของค่าพิกัด กระแสเริ่มเดินเครื่องที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟและกระแสเริ่มเดินเครื่องที่ไหลเข้ามอเตอร์จะมีค่าเท่ากันและแปรโดยตรงกับขนาดแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ ส่วนทอร์กเริ่มเดินเครื่องจะแปรโดยตรงกับแรงดันที่ขั้วยกกำลังสอง



รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ของกระแส ทอร์ก และความเร็ว

4.6 การสตาร์ทที่ใช้ตัวรีแอคเตอร์

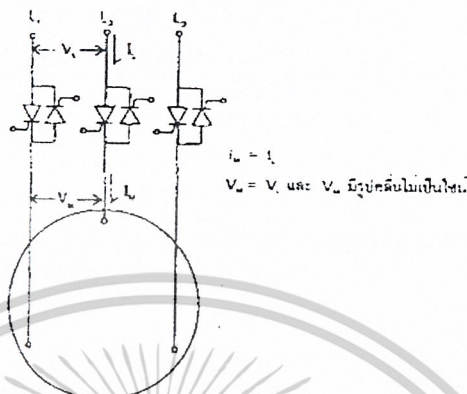


รูปที่ 4-14 การสตาร์ทแบบใช้รีแอคเตอร์

การสตาร์ทโดยใช้ตัวรีแอคเตอร์นั้นนิยมใช้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ หรือมอเตอร์แรงดันสูงโดยการใส่ตัวรีแอคเตอร์ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ เมื่อสตาร์ทจะมีกระแสเริ่มเดินเครื่องไหลผ่านตัวรีแอคเตอร์ทำให้

เกิดแรงดันตกบนตัวรีแอกเตอร์ส่งผลให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงดันที่ป้อนจากแหล่งจ่ายไฟ ผลลัพธ์จะคล้ายกับการสตาร์ทโดยใช้ตัวต้านทานแต่มีข้อดีคือมีการสูญเสียต่ำกว่า

4.7 การสตาร์ทโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



รูปที่ 4-15 การต่อ SCR สำหรับการสตาร์ทแบบใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

สตาร์ทเตอร์ตามที่ยกตัวอย่างในรูปที่ จะใช้ SCR จำนวนหกตัว เฟสละสองตัว โดยต่อกลับหัวกลับหาง โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด ให้กระแสไหลผ่านเข้ามอเตอร์ โดยการหน่วงมุมจุดชนวนของ SCR แต่ละตัว จะสามารถควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของ SCR แต่ละตัวที่จ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ได้ จึงสามารถควบคุมแรงดันเฉลี่ยที่ขั้วมอเตอร์ได้ และจากการใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ควบคุมการทำงานจึงมีความยืดหยุ่นสูงในการปรับแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์อย่างไม่มีขีดจำกัด คือ ปรับได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่าพิกัดได้อย่างต่อเนื่อง

4.8 ซอฟต์แวร์เตอร์

เป็นเทคโนโลยีสตาร์ทเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยอาศัยหลักการควบคุมไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำแทนหน้าสัมผัสกลไก จึงสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ โดยควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ขบวนการสตาร์ทมอเตอร์มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง อีกทั้งให้คุณสมบัติข้อได้เปรียบหลายประการได้แก่

- Soft start

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ถูกควบคุมให้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แทนการป้อนโดยตรงอย่างเต็มที่ เป็นผลให้มอเตอร์เริ่มหมุนอย่างนิ่มนวล ขจัดปัญหาการออกตัวอย่างกระชาก ซึ่งเป็นการป้องกันการสึกหรอของระบบขับเคลื่อนกำลัง และการเสียหายของวัสดุต่างๆ ในระบบลิ้นค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Current limit

ซอฟต์แวร์ที่สามารถจำกัดระดับกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ทมอเตอร์ให้อยู่ในค่าที่ตั้งไว้ (2.5-5 เท่าของกระแสพิคกิมอเตอร์) การควบคุมกระแสสตาร์ทไม่ให้สูงเกินไป ช่วยลดปัญหาความถี่การใช้ไฟฟ้าสูง (Peak demand) , แรงดันไฟตก (Voltage drop) ในระบบและลดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า, สายเคเบิล รวมถึงถนอมอายุการใช้งานของมอเตอร์ไปในตัวด้วย

- Power saving mode

ลดแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ในภาวะวิ่งตัวเปล่าหรือทำงานเบาได้ อนึ่ง การลดค่ากระแสขณะทำงานเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อนในขดลวดและสายเคเบิล ส่วนการลดระดับแรงไฟฟ้า เป็นการลดความสูญเสียในแกนเหล็กของมอเตอร์ด้วย

- Soft stop

การหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ โดยตัดการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ทันทีทันใด มีผลกระทบต่อวัสดุที่อยู่ในขบวนการผลิต อาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นโดยเฉพาะในระบบขับเคลื่อนของเหลว การหยุดทันทีทันใดทำให้เกิดลูกคลื่นกระแทกขึ้นภายในท่อส่ง เราสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้ โดยอาศัยลักษณะการหยุดมอเตอร์แบบ Soft stop ในขณะที่ได้รับสัญญาณให้หยุดมอเตอร์ ซอฟต์แวร์จะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ค่อยๆลดลงถึงศูนย์ภายในเวลาที่ตั้งไว้ มอเตอร์จะลดความเร็วลงและหยุดอย่างนิ่มนวล การกระชากและลูกคลื่นกระแทกจึงไม่เกิดขึ้น

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกนั้นมีหลายวิธี การสตาร์ทด้วยวิธีที่เหมาะสมจะช่วยให้มอเตอร์และระบบทางกลตลอดจนระบบไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยตลอดจนเสียค่าใช้จ่ายต่างๆต่ำสุด เช่น ค่าบำรุงรักษา การที่จะเลือกว่าสตาร์ทวิธีไหน เราต้องคำนึงทั้งเรื่องทอร์กที่มอเตอร์ขึ้นมาในระหว่างเร่งรอบความเร็ว และกระแสเริ่มเดินเครื่องที่มอเตอร์ดึงมาจากระบบไฟฟ้า

คุณลักษณะ	วิธีการตัดรหัส					
	DOL	Part winding	Star-delta	Auto transformer	Resistor	Solid state
กระแสเต็มตลับ เครื่อง	100% (4-8 In)	65% (2.6-5.2 In)	99% (1.9-2.6 In)	64%, 42%, 25% (1-5.1 In)	70% (2.8-5.6 In)	0-100% (0-8 In)
เทอร์กเต็มตลับ เครื่อง	100% (0.6-1.5 In)	50% (0.3-0.75 In)	99% (0.2-0.5 In)	64%, 42%, 25% (0.15-0.96 In)	49% (0.3-0.75 In)	ปรับได้ 5-50% (0.03-0.75 In)
จำนวนสายไฟ(เส้น)	3	6	6	3	3	3หรือ6
ขนาดทางอากาศ	เล็กสุด	เล็กกว่า	ปานกลาง	ใหญ่	ปานกลาง	เล็ก
การฉีกกระแส	มากที่สุด	มี	มี	มี	มี	มีน้อยมาก
การเปลี่ยนจังหวะ	ไม่มี	แบบเปิด	แบบเปิดหรือปิด	แบบเปิด	แบบเปิด	ไม่มี
ช่วงเวลาที่ตัดรหัส(sec)	2-3		3-7	7-12	7-12	ปรับแต่งได้
การควบคุม	เปิดปิด	เปิดปิด	เปิดปิด	เปิดปิด	ได้สูงสุด 3 แทป	เปิดปิด
ข้อดี	1.ราคาถูก 2.ให้เทอร์กเต็มตลับเครื่องสูง		1.ค่อนข้างจะสูง	1.อัตราส่วน T/In สูง 2.สามารถเลือกค่าได้ 3.ไม่ขาดจังหวะ	1.สามารถเลือกค่าได้ 2.ไม่ขาดจังหวะ	1.ปรับแต่งค่าต่างๆได้อย่างละเอียด
ข้อเสีย	1.กระแสเต็มตลับเครื่องสูง สูง	1.กระแสอาจไม่สมดุล 2.อาจเต็มรอบได้ช้าหรือเร่งรอบไม่ขึ้น	1.เทอร์กเต็มตลับเครื่องต่ำ 2.ปรับค่าไม่ได้ 3.ต้องไม่มีมอเตอร์ มีหัวต่อสาย 6 หัว	1.ต้องใช้หม้อแปลงอัตราค่าแพง แพง	1.ลดกระแสเต็มตลับเครื่องน้อย 2.ต้องใช้ตัวต้านทาน	1.ราคาแพง

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสตาร์ทมอเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การควบคุมแรงดันที่สเตเตอร์

5.1 การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส

การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส แบ่งได้เป็น 2 แบบ

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

ซึ่งการควบคุมทั้ง 3 แบบนี้ สามารถต่อเป็นการควบคุมภาระทางไฟฟ้าแบบสตาร์ (star) และเดลต้า (delta) ได้

5.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ

5.2.1 การควบคุมแบบบรานช์

ข้อดี

1. มีช่วงการควบคุมกว้างคือตั้งแต่มุม โหลดถึง 180 องศา ซึ่งเหมือนกับการควบคุมแบบเฟสเดียว
2. สำหรับการต่อแบบเดลต้าสามารถลดพิคคของเอสซีอาร์ลงได้ เพราะกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์มีค่าน้อยกว่าแบบไลน์และการต่อแบบนี้ยังให้คิสทอร์ชันแฟคเตอร์ (Distortion Factor) สูงสุดเมื่อเทียบกับการต่อแบบอื่นด้วย

ข้อเสีย

1. สำหรับการต่อแบบเดลต้า การต่อจะไม่สะดวกเพราะต้องใช้สายจากมอเตอร์ถึง 6 เส้น เมื่อนำมาต่อกับเอสซีอาร์ และยิ่งถ้าในกรณีที่มีมอเตอร์อยู่ห่างจากแผงควบคุมมาก ทำให้สิ้นเปลืองสายและการเดินสายทำได้ลำบาก
2. สำหรับการต่อแบบสตาร์ จะทำให้เกิดฮาร์โมนิกกระแสสูงสุด และกระแสที่ไหลในนิวทรัลสูงสุดด้วย

5.2.2 การควบคุมแบบไลน์

ข้อดี

1. การต่อใช้งานจะสะดวก เนื่องจากใช้สายที่ต่อออกมาจากมอเตอร์เพียง 3 เส้น เพื่อมาต่อกับเอสซีอาร์ ซึ่งถ้ามีมอเตอร์ที่มีการต่อสายแบบนี้อยู่แล้ว สามารถใช้การควบคุมแบบนี้ได้เลย

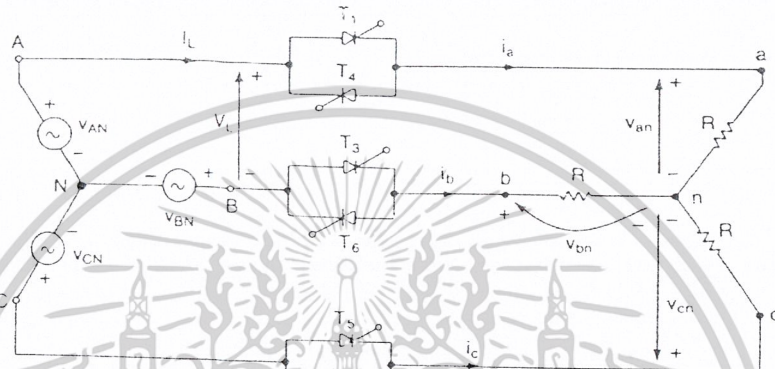
ข้อเสีย

1. มีช่วงการควบคุมที่แคบกว่าแบบบรานช์ คือตั้งแต่มุม โหลดถึง 150 องศา
2. มีรูปคลื่นแรงดันที่ผิดเพี้ยน ไปจากรูปคลื่น ไซน์ มากกว่าการควบคุมแบบบรานช์ ที่ต่อแบบเดลต้า จะได้คิสทอร์ชันแฟคเตอร์ต่ำกว่า แต่จะสูงกว่าการควบคุมแบบบรานช์ที่ต่อแบบสตาร์

เนื่องจากการควบคุมแบบไลน์ มีการต่อใช้งานที่สะดวก ถึงว่าแม้คิสทอร์ชันจะไม่สูงเท่ากับการควบคุมแบบบรานช์ที่มีการต่อแบบเดลต้า แต่มีฮาร์โมนิกในกระแสน้อยกว่าการควบคุมแบบบรานช์ที่มีที่ต่อแบบสตาร์ และยังเป็นที่ยอมรับใช้ในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปด้วย ซึ่งเหตุผลเหล่านี้เองทำให้ในโครงการนี้เลือกใช้การควบคุมแบบไลน์ในการวิเคราะห์

5.3 การควบคุมแบบไบนารี

การควบคุมแบบไบนารีสามารถต่อวงจรได้ทั้งแบบ สตาร์ และ เคลด้า ซึ่งมีหลักการการทำงานที่เหมือนกันจึงขอกกล่าวถึงการควบคุมแบบสตาร์ จากวงจรการต่อ จะไม่มีการต่อสายนิวตรอลจากแหล่งจ่ายเข้ากับโหลด ดังนั้นจะต้องมีเอสซีอาร์ทำงานพร้อมกันอย่างน้อยที่สุด 2 ตัว จึงจะมีกระแสไหลผ่านได้ เพราะฉะนั้นสัญญาณทริกขาเกิดจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขนี้ ดังนั้นสัญญาณพัลส์ทริก จะต้องมีความกว้างอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ $\pi/3$ rad และซีแควนซ์ ของสัญญาณพัลส์ทริกที่ไป ทริกเอสซีอาร์ในแต่ละเฟส จะต้องมืซีแควนซ์ตรงกับแหล่งจ่าย จะได้กล่าวต่อไปในที่นี้



รูปที่ 5-1 วงจรควบคุมเต็มคลื่น 3 เฟสต่อแบบสตาร์

การควบคุมแบบเต็มคลื่น 3 เฟส (Three Phase Full Wave Controllers)

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสจะมุ่งเน้นเฉพาะในแบบเต็มคลื่นที่สามารถควบคุมโดยใช้ไทรสเตอร์ได้ในทั้งรูปคลื่นบวกและลบของแรงดันไฟฟ้าในแหล่งจ่าย เรื่องนี้ไม่นำเสนอการควบคุมแบบครึ่งคลื่น เพราะกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ ทำให้ไม่เหมาะการนำไปใช้งานจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

การต่อโหลดแบบสตาร์ (Star Connection)

เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสามเฟสที่ต่อกับโหลดความต้านทานแบบวายหรือสตาร์ มีการควบคุมโดยใช้ไทรสเตอร์ตามลำดับก่อน-หลัง ดังนี้ คือ T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 และ T_6

กำหนดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสนิยามว่ามีค่าเท่ากับ

$$V_{AN} = \sqrt{2}V_s \sin(\omega t)$$

$$V_{BN} = \sqrt{2}V_s \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{CN} = \sqrt{2}V_s \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

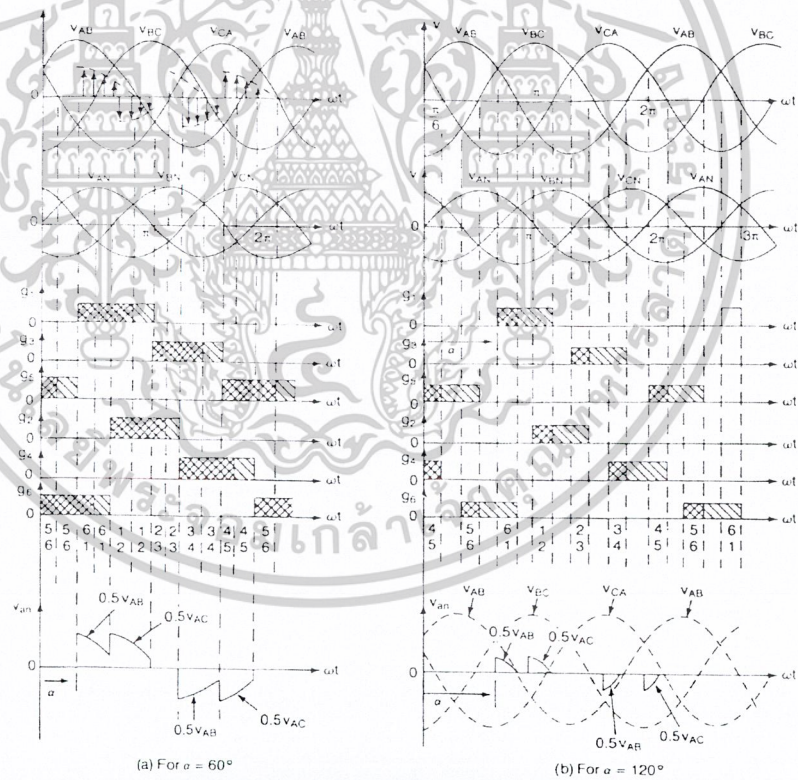
และแรงดันระหว่างสายมีค่าเท่ากับ

$$V_{AB} = \sqrt{6}V_s \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$i_u = \sqrt{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + \dots + I_n^2} V_{BC} = \sqrt{6}V_s \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$V_{CA} = \sqrt{6}V_s \sin\left(\omega t - \frac{7\pi}{6}\right)$$

รูปคลื่นของแรงดันอินพุต, มุมนำกระแสของเอสซีอาร์ และแรงดันเอาต์พุตที่เฟส ในกรณี $\alpha = 60^\circ$ และ $\alpha = 120^\circ$ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-1 คลื่นแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย มุมเริ่มนำกระแสของเอสซีอาร์ และ แรงดันเฟสด้านที่ ต่อกับโหลด ความต้านทานแบบสตาร์ ในกรณี $\alpha = 60^\circ$ และ $\alpha = 120^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับที่มุมหน้ากระแส $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ ก่อนที่สวิตช์ T, จะนำกระแสจะมีทรินสเตอร์สองตัวนำกระแสอยู่และทันทีที่สวิตช์ T, นำกระแส จะมีทรินสเตอร์ทั้งหมดสามตัวที่นำกระแสอยู่ ดังนั้นเงื่อนไขการทำงานจะมีทรินสเตอร์สองตัวหรือสามตัวที่นำกระแสในช่วงเวลาดังกล่าว

สำหรับที่เวลา $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ จะมีทรินสเตอร์เพียงสองตัวที่นำกระแสเท่านั้น

สำหรับที่เวลา $90^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ จะมีทรินสเตอร์เพียงสองตัวที่นำกระแสเช่นกันเพียงแต่จะมีบางช่วงเวลาที่ไม่มีทรินสเตอร์ตัวใดนำกระแสเลย

สำหรับที่เวลา $\alpha \geq 150^\circ$ จะไม่มีทรินสเตอร์ตัวใดเลยที่นำกระแสไฟฟ้า ทำให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ที่มุมหน้ากระแสมีค่าเท่ากับ $\alpha > 150^\circ$ จึงสรุปย่านการทำงานของมุมหน้ากระแสได้เท่ากับ

$$0^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$$

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามเฟสที่ต่อกับโหลดความต้านทานแบบวายหรือแบบสตาร์ สามารถคำนวณหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตใน คณิตที่ $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ จะได้

$$\begin{aligned}
 V_{0,rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{an}^2 d(\omega t)} \\
 &= \sqrt{6V_s} \left\{ \frac{2}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{3} d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{4} d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}} \frac{\sin^2(\omega t)}{3} d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{4} d(\omega t) + \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{3} d(\omega t) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &= \sqrt{6V_s} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin(2\alpha)}{8} \right)}
 \end{aligned}$$

และสำหรับกรณีที่ $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ จะได้

$$\begin{aligned}
 V_{0,rms} &= \sqrt{6V_s} \sqrt{\frac{2}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}-\frac{\pi}{3}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{4} d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{2}+\alpha}^{\pi} \frac{\sin^2(\omega t)}{4} d(\omega t) \right]} \\
 &= \sqrt{6V_s} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{12} + \frac{3\sin(2\alpha)}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos(2\alpha)}{16} \right)}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับกรณีที่ $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ จะได้

$$V_{0,rms} = \sqrt{6}V_s \sqrt{\frac{2}{2\pi} \left\{ \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{3}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{4} d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{3}+\alpha} \frac{\sin^2(\omega t)}{4} d(\omega t) \right\}}$$

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

สำหรับลำดับในการป้อนสัญญาณพัลส์เข้าจากเกตของสวิตช์แสดงได้ดังนี้

1. สร้างสัญญาณพัลส์ที่มีจุดตัดบนแกนศูนย์ (Positive Zero Crossing) ของแรงดัน ไฟฟ้าเฟส V_{an}
2. หน่วงเวลาพัลส์ให้มีค่าเท่ากับ α , $\alpha + \frac{2\pi}{3}$ และ $\alpha + \frac{4\pi}{3}$ ป้อนเข้าจากเกตที่สวิตช์ T_1 , T_3 และ T_5 โดยผ่านวงจรแยกสัญญาณเกต (Gate-Isolating Circuits) ตามลำดับ
3. ในทำนองเดียวกับข้อ 2 หน่วงเวลาพัลส์ให้มีค่าเท่ากับ $\pi + \alpha$, $\alpha + \frac{5\pi}{3}$ และ $\alpha + \frac{7\pi}{3}$
4. ป้อนเข้าจากเกตที่สวิตช์ T_2 , T_4 และ T_6 ตามลำดับ

การต่อโหลดความต้านทานแบบเดลต้า

เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสสลับแบบสามเฟสแบบสามเฟสที่ต่อกับ โหลดความต้านทานแบบเดลต้า ซึ่งกระแสไฟฟ้าระหว่างสายจะเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของกระแสไฟฟ้าเฟสในระบบสามเฟส พิกัดกระแสไฟฟ้าของไทรสเตอร์จะต่ำกว่าถ้าไทรสเตอร์ต่ออยู่ระหว่างสาย

$$V_{0,rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi} v_{ab}^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2v_m^2 \sin(\omega t) d(\omega t)}$$

$$V_{0,rms} = V_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

แรงดันดันเฟสออกจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\alpha = 0^\circ$ และสามารถปรับค่ามุมเริ่มนำกระแสไฟฟ้าในช่วงมุม $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

กระแสไฟฟ้าระหว่างเฟส (เช่น i_a) จะหาได้จากกระแสไฟฟ้าเฟส (เช่น i_{ab} , i_{ca}) ดังนี้

$$i_a = i_{ab} - i_{ca}$$

$$i_b = i_{bc} - i_{ab}$$

$$i_c = i_{ca} - i_{bc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าระหว่างเฟสจะขึ้นอยู่กับมุมห้วงนำกระแสและกระแสไฟฟ้าระหว่างสาย อาจมีลักษณะไม่ต่อเนื่องได้ ถ้ากำหนดให้ I_n หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสเฟสของฮาร์โมนิกลำดับที่ n เขียนเป็นสมการจะได้

$$i_u = \sqrt{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}$$

นอกจากนั้นการต่อแบบเดลต่ำจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าระหว่างเฟสที่เป็นฮาร์โมนิกลำดับที่สาม หายลงตัว จะไม่ปรากฏขึ้นทั้งนี้เพราะฮาร์โมนิกลำดับที่ศูนย์ (Zero Sequence harmonics) จะเฟสตรงกันในโหนดสามเฟสที่สมดุล ดังนั้นค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าสาย (rms Line Current) จะมีค่าเท่ากับ

$$i_u = \sqrt{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + \dots + I_n^2}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์อีกเบอร์หนึ่งของตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) ซึ่งมีศักยภาพในการทำงานสูงและในคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้คือ เพียบพร้อมไปด้วยทรัพยากรหรือฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ ไว้ภายในตัวมันเอง เช่น มีโมดูล (Module) แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC), USART, SPI, I²C, PWM เป็นต้น และหน่วยความจำโปรแกรมเป็นหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Program Memory) ซึ่งสามารถเขียนและลบข้อมูลได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้าได้นับหลายพันครั้ง และยังมีจุดเด่นอีกประการของ PIC 18F458 คือ เรื่องความเร็วโดยสามารถทำงานได้ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงถึง 40 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) และมีวงจร PLL (Phase Lock Loop) ซึ่งเป็นวงจรล็อคความถี่ในการอยู่ภายในโดยเลือกจากโปรแกรมทางซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถคูณค่าความถี่ที่รับเข้ามาได้ถึง 4 เท่าของสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกทั้งยังทำงานในลักษณะแบบไปป์ไลน์ (Pipe Line) ทำให้มีความเร็วทำงานมากกว่าซีพียูทั่วไปที่ค่าความถี่เดียวกันโดยในลักษณะการทำงานจะใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 หรือ 2 ไซเคิล ต่อคำสั่งเท่านั้นและหน่วยความจำไม่ถูกแบ่งเป็นเพจ (Page) อีกต่อไป

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

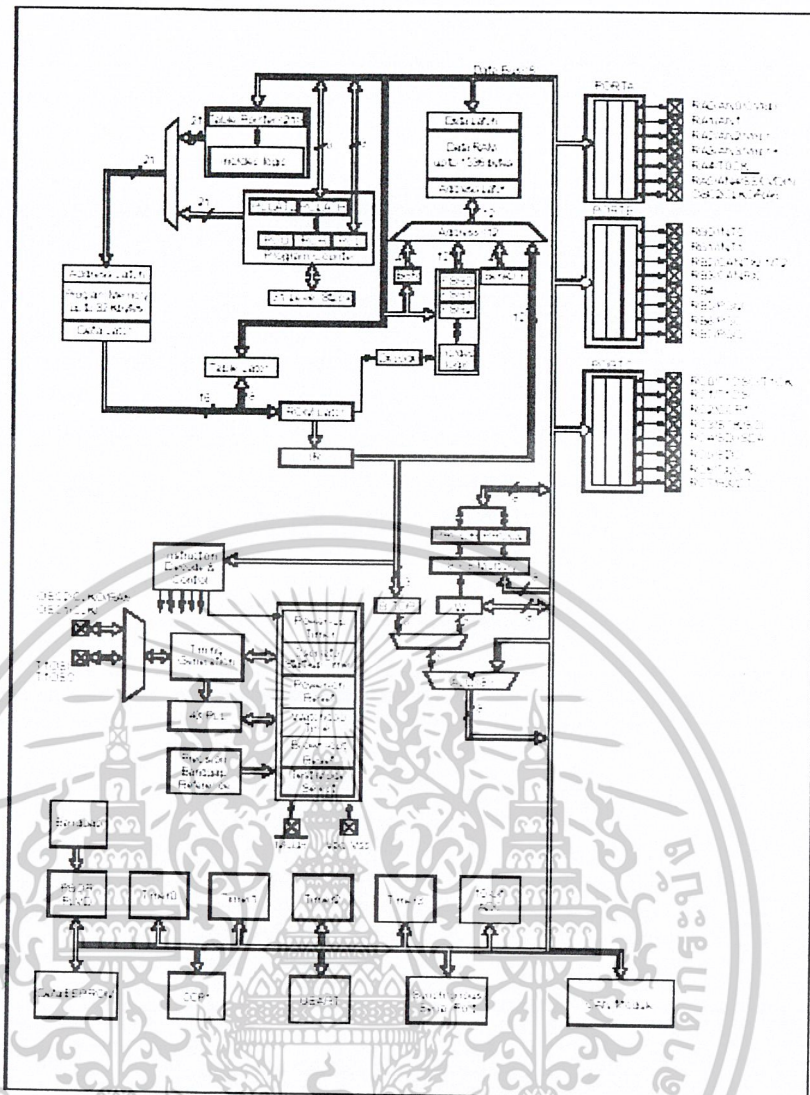
สามารถสรุปคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458 ได้ดังต่อไปนี้

1. มีชุดคำสั่ง 75 คำสั่ง
2. ซีพียูแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer)
3. เป็นซีพียู 16 บิต
4. หน่วยความจำ SRAM 1536 ไบต์ (Byte)
5. หน่วยความจำโปรแกรม 32 กิโลไบต์ (KByte)
6. หน่วยความจำอีพรอม 256 ไบต์
7. รับความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงถึง 40 เมกะเฮิร์ตซ์
8. มีวงจร PLL (Phase Lock Loop) ภายในคุณสมบัติของสัญญาณนาฬิกา 4 เท่า
9. ตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt) ได้ถึง 21 แหล่ง
10. มีขาจับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอก 3 ขาคือ RB0/INT0, RB1/INT1, RB2/INT2
11. เลือกลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วงได้
12. กระแสซิงค์ (Synchronous) และซอร์ส (Source) ของพอร์ต (Port) สูงสุด 25 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. มีโมดูลไทมเมอร์ 4 ตัวดังนี้
 - 13.1 ไทมเมอร์ 0 ขนาด 8/16 บิต เป็นไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ พร้อมปริสเกลเลอร์ 8 บิต
 - 13.2 ไทมเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต เป็นไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ พร้อมปริสเกลเลอร์ 8 บิต
 - 13.3 ไทมเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ โพสดีสเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา (Period Register) เป็นตัวเปรียบเทียบกับไทมเมอร์ 2 อยู่ภายในตัว
 - 13.4 ไทมเมอร์ 3 ขนาด 16 บิต เป็นไทมเมอร์/เคาน์เตอร์
14. มีโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) 1 ชุด ส่วนตรวจจับสัญญาณ (Capture) ขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 6.25 นาโนวินาที ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) ความละเอียดสูงสุด 100 นาโนวินาที และส่วนวงจรมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) ความละเอียดสูงสุด 10 บิต
15. มีโมดูล ECCP (Enhances Capture/Compare/PWM) 1 ชุด ทำงานคล้ายกับโมดูล CCP แต่จะต่างกันตรงที่จะใช้งานในการควบคุมมอเตอร์
16. มีโมดูล MSSP (Master Synchronous Serial Port) ใช้งานเป็นวงจรถือเชื่อมต่อ อุปกรณ์อนุกรมทำงานได้ 2 โหมดคือ SPI และ I²C
17. มีโมดูลการสื่อสารอนุกรม USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)
18. มีโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) อยู่ภายในความละเอียด 10 บิต 8 channel
19. มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก (Comparater Voltage Referrent Module) ภายใน
20. สามารถเลือกโหมดการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
21. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0 V ถึง 5.5 V
22. สามารถโปรแกรมด้วยแรงดันไฟต่ำได้ LVP (Low Voltage Programing)
23. ฟังก์ชันการโปรแกรมเป็นแบบ ICSP (In Circuit Serial Programing)
24. มีเพาเวอร์รีเซ็ต (Power On Reset : POR) เพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (Power Up Timer : PWRT) และ ออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทมเมอร์ (Oscillator Start Up Timer : OST)
25. มีวอตช์ดอกไทมเมอร์ (Watch Dog Timer : WDT) ทำให้มีความเชื่อมั่นในการทำงานสูง
26. มีโหมดในการประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
27. มีฟังก์ชันการตรวจสอบแรงดันไฟเลี้ยง (Brown Out Reset : BOR)
28. มีสแต็ก (Stack) 31 ระดับ
29. มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 5 พอร์ต คือ A, B, C, D และ E โดยพอร์ต A มีจำนวน 7 บิต คือ RA0-RA6 พอร์ต B มีจำนวน 8 บิต คือ RB0-RB7 พอร์ต C และ D มีจำนวน 8 บิต คือ RC0-RC7 และ RD0-RD7 พอร์ต E มีจำนวน 3 บิต คือ RE0-RE2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

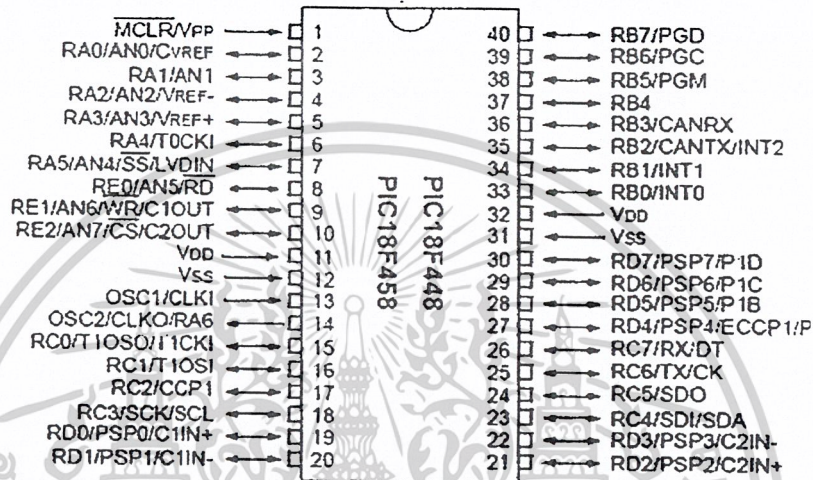


รูปที่ 6-1 PIC18F458 Block Diagram

6.2 สถาปัตยกรรมและโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาสถาปัตยกรรมมาจากเบอร์อื่นๆของตระกูล PIC เช่น PIC 16F877 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) โดยลักษณะของสถาปัตยกรรมแบบนี้จะเป็นการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันทำให้ทำงานได้เร็วขึ้น และนอกจากนั้นยังมีลักษณะเด่นอีกอย่าง คือ การทำงานแบบไปป์ไลน์ (Pipe Line) ซึ่งลักษณะการทำงานคือ สามารถเฟตช์ (Fetch) คำสั่งถัดไปได้ในขณะที่กำลังเอ็กซีคิวต์ (Execute) อยู่ จึงทำให้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458 ทำงานได้เร็วขึ้น การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มจากการป้อนไฟเลี้ยงและป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ตัวมันจากนั้นซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่อที่จะอ่านข้อมูลคำสั่งแล้วทำงานตามคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม เมื่อ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามคำสั่งที่กำหนดให้ข้อมูลของชุดคำสั่งจะถูกนำไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) จากนั้นจะถูกส่งไปยังวงจรลอจิกเพื่อทำการควบคุมไทมเมอร์ทั้งหมดภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ยังส่งไปควบคุมหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit : ALU) โดยผ่านทางค่านวจรมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ด้วยการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 เป็นหน้าที่ของส่วนกำเนิดจังหวะการทำงาน (Timing Generation) ซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กับไทมเมอร์ 3 ตัว คือ ออสซิลเลเตอร์สคาร์ทอปไทมเมอร์ วอตช์ด็อกไทมเมอร์ และเพาเวอร์อัปไทมเมอร์



รูปที่ 6-2 Pin Diagram ของ PIC18F458

6.3 การอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

การอินเตอร์รัปต์ (interrupt) หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียู นับเป็นคุณสมบัติที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ และเป็นคุณสมบัติที่มีบทบาทสำคัญมากเมื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 สามารถกำเนิดและตอบสนองต่ออินเตอร์รัปต์ได้ถึง 13 แหล่ง ดังนี้

- จากไทมเมอร์ 3 แหล่งคือ การเกิดค่าเกินหรือโอเวอร์โฟลว์ในไทมเมอร์ 0 และ ไทมเมอร์ 1 อีกแหล่งหนึ่งจากค่าเท่ากันหรือตรงกันในไทมเมอร์ 2
- จากการเขียนหน่วยความจำข้อมูลอีพีรอมเสร็จสมบูรณ์ 1 แหล่ง
- จากโมดูลเปรียบเทียบ - ตรวจจับสัญญาณ และ PWM หรือ CCP 2 แหล่ง
- จากโมดูลสื่อสารอนุกรม (USART) 2 แหล่งคือ เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อรับและส่งข้อมูลสมบูรณ์
- จากพอร์ต B 2 แหล่ง คือ จากสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา RB0/INT และการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4 - RB7
- จากโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโครนัส 2 แหล่ง คือ จากการทำงานของโมดูลเชื่อมต่อ อนุกรมแบบซิงโครนัส, จากการชนกันของข้อมูลในส่วนเชื่อมต่อระบบบัส I²C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล 1 แหล่ง

โดยมีเงื่อนไขของการเกิดอินเทอร์รัปต์เป็นจริง จะมีการเซตแฟล็กของการอินเทอร์รัปต์นั้นๆขึ้น (ชื่อของแฟล็กจะลงท้ายด้วยตัวอักษร F) จากนั้นจะตรวจสอบว่า มีการเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์นั้นๆ หรือไม่ (ชื่อของการเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์จะเหมือนกับชื่อแฟล็กแต่ลงท้ายด้วยตัวอักษร E) เช่น หากเกิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์เข้ามาที่ขา RB0/INT แฟล็ก INTF จะเซต และถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์แบบนี้ ซึ่งตรวจสอบจากบิต INTE และมีการเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวมไว้ก็จะเกิดการทำอินเทอร์รัปต์ขึ้นในระบบ

นั่นหมายความว่า การจะกำหนดให้เกิดอินเทอร์รัปต์ขึ้นได้ต้องมีการเตรียม 4 ขั้นตอน คือ

1. เอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON หากบิตนี้ไม่มีการเซตจะไม่มีทางเกิดอินเทอร์รัปต์ขึ้นได้ แม้ว่าเงื่อนไขในการเกิดอินเทอร์รัปต์ของแหล่งกำเนิดต่างๆจะเป็นจริง และมีการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดการอินเทอร์รัปต์แล้วก็ตาม
2. เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์
3. เขียนโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ ซึ่งมีค่าแอดเดรสอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0x0004
4. รอคอยให้เงื่อนไขการเกิดอินเทอร์รัปต์ในลักษณะต่างๆเกิดขึ้น

6.4 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอินเทอร์รัปต์

มีรีจิสเตอร์ 6 ตัว ที่ใช้ควบคุมการอินเทอร์รัปต์ ดังนี้

รีจิสเตอร์ INTCON : Interrupt Control registers

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีนัยสำคัญสูงสุดสำหรับการอินเทอร์รัปต์ สามารถอ่านและเขียนได้ทุกบิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0B ในแบงก์ 1, 0x10B ในแบงก์ 2, 0x18B ในแบงก์ 3

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RB'F
R/W -x	R/W -x	R/W -x	R/W -x	R/W -x	R/W -x	R/W -x	R/W -x

GIE/GIEH (Global Interrupt Enable bit – บิต 7) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวม และบิตเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวมไปต์สูง

“0” – เลือกไม่ให้มีการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้นทั้งหมด

“1” – เลือกไม่ให้มีการอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้นทั้งหมด

PIPE/GIEL (Peripheral Interrupt Enable bit – บิต 6) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วง และบิตเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์รวมไปต์ต่ำ

“0” – ดิสเอเบิลการอินเทอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

TOIE (TMR0 Overflow Interrupt Enable bit – บิต 5) : บิตเอ็นเอเบิลอินเตอร์รัปต์จาก โอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 0

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

INTE (RB0/INT External Interrupt Enable bit – บิต 4) : บิตเอ็นเอเบิลจากภายนอกที่ขา RB0/INT

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

RBIE (Port B Change Interrupt Enable bit – บิต 3) : บิตเอ็นเอเบิลอินเตอร์รัปต์จากการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกที่พอร์ต B ขา RB4-RB7

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

TOIF (TMR0 Overflow Interrupt Flag bit – บิต 2) : บิตแสดงการโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 0

“0” – ไทเมอร์ 0 ไม่เกิดการโอเวอร์โฟลว์

“1” – ไทเมอร์ 0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ ทำให้อินเตอร์รัปต์หากเอ็นเอเบิลไว้ เคลียร์ทาง ซอฟต์แวร์

INTF (RB0/INT External Interrupt Flag bit – บิต 1) : บิตแสดงการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา RB0/INT

“0” – ไม่มีสัญญาณจากภายนอกเกิดขึ้นที่ขา RB0/INT

“1” – มีสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกเกิดขึ้นที่ขา RB0/INT ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้ ต้องเคลียร์เป็น “0” ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RBIF (Port B Change Interrupt Flag bit – บิต 0) : บิตแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกที่ขา RB4-RB7

“0” – ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกเกิดขึ้นที่ขา RB4-RB7

“1” – มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกเกิดขึ้นที่ขา RB4-RB7 อย่างน้อย 1 ขา ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้ ต้องเคลียร์เป็น “0” ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ INTCON2 : Interrupt Control register 2

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
RPBU	INTEDG0	INTEDG1	-	-	TMROIP	-	RBIP
R/W -1	R/W -1	R/W -1	U-0	U-0	R/W -1	U-0	R/W -1

RBRU (Port B Pull-up Enable bit – บิต 7) : บิตแสดงการพูล-อัพของพอร์ต B

“0” – เอ็นเอเบิลการพูล-อัพของพอร์ต B ทั้งหมด โดยแยกค่าแต่ละพอร์ต

“1” – ดิสเอเบิลการพูล-อัพของพอร์ต B ทั้งหมด

INTEDG0 (Interrupt 0 Edge Select bit – บิต 6) : บิตแสดงการอินเตอร์รัปต์ 0 ที่ขอบภายนอก

“0” – ทำการอินเตอร์รัปต์ขณะขาสูง

“1” – ทำการอินเตอร์รัปต์ขณะขาขึ้น

INTEDG1 (Interrupt 1 Edge Select bit – บิต 5) : บิตแสดงการอินเตอร์รัปต์ 1 ที่ขอบภายนอก

“0” – ทำการอินเตอร์รัปต์ขณะขาสูง

“1” – ทำการอินเตอร์รัปต์ขณะขาขึ้น

Unimplement – บิต 4-3 : ไม่ใช่อ่านค่าได้เป็น 0

TMR0IP (TMR0 Overflow Interrupt Priority bit – บิต 2) : บิตลำดับความสำคัญการอินเตอร์รัปต์ ที่ ไทเมอร์ 0

“0” – ไม่เกิดการ โอเวอร์ โฟลว์ที่ ไทเมอร์ 0

“1” – เกิดการ โอเวอร์ โฟลว์ที่ ไทเมอร์ 0

Unimplement – บิต 1 : ไม่ใช่อ่านค่าได้เป็น 0

RBIP (RB Port Change Interrupt Priority bit – บิต 0) – บิตลำดับความสำคัญการอินเตอร์รัปต์ขณะที่พอร์ต RB เปลี่ยน

“0” – ทำงานที่ไบต์ต่ำ

“1” – ทำงานที่ไบต์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ PIR : Peripheral Interrupt Request register

เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะเงื่อนไขการเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากอุปกรณ์ต่อพ่วงทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ PIE1 เมื่อเงื่อนไขของการอินเตอร์รัปต์เป็นจริง จะเซตบิตในสถานะรีจิสเตอร์ PIR1 จากนั้นตรวจสอบว่ามีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้นๆที่รีจิสเตอร์ PIE1 หรือไม่ ถ้ามีก็จะตรวจสอบว่า บิต PEIE และ GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON เซตไว้ทั้งคู่หรือไม่ หากเซตไว้ ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นอย่างสมบูรณ์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0C แบนก์ 0 สามารถอ่านและเขียนได้ทุกบิตยกเว้นบิต 4 และ 5 (บิต TXIF และ RCIF) ที่อ่านได้อย่างเดียว มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
PSPIF	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF
R/W -0	R/W -0	R-0	R-0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0

PSPIF (Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Flag bit – บิต 7) : บิตแสดงสถานะเนื่องจากการอ่านและเขียนข้อมูลของพอร์ตขนานเสริมหรือ PSP

“0” – ไม่เกิดการอ่านหรือเขียนขึ้นที่นี่

“1” – เกิดการอ่านหรือเขียนขึ้นที่นี่ สามารถเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

ADIF (A/D Converter Interrupt Flag bit – บิต 6) : บิตแสดงสถานะเนื่องจาก A/D

“0” – การแปลงสัญญาณ A/D เกิดยังไม่สมบูรณ์

“1” – เกิดการแปลงสัญญาณ A/D ได้สมบูรณ์ สามารถเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RCIF (USART Recieve Interrupt Flag bit – บิต 5) : บิตแสดงสถานะการณัรับข้อมูลของโมดูล USART

“0” - บัฟเฟอร์ตัวรับของของวงจร USART ว่าง

“1” - บัฟเฟอร์ตัวรับของของวงจร USART เต็ม เกิดการรับข้อมูลสมบูรณ์

TXIF (USART Transmit Interrupt Flag bit – บิต 4) : บิตแสดงสถานะการณัส่งข้อมูลของโมดูล USART

“0” – บัฟเฟอร์ตัวส่งของวงจร USART เต็ม ยังไม่เกิดการส่งข้อมูล

“1” – บัฟเฟอร์ตัวส่งของวงจร USART ว่าง แสดงว่าการส่งข้อมูลสมบูรณ์ ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้

SSPIF (Master Synchronous Serial Port Interrupt Flag bit – บิต 3) : บิตแสดงสถานะการทำงานขอโมดูล SSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- “0” – ไม่มีเงื่อนไขใดในการทำงานของโมดูล MSSP ที่ทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์เป็นจริง
- “1” – มีเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์จากการทำงานของโมดูล SSP เป็นจริงทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้ เงื่อนไขที่เป็นจริงของการทำงานในแต่ละโหมด คือโหมด SPI เกิดการรับหรือส่งข้อมูลขึ้นอย่างสมบูรณ์

โหมด I²C มาสเตอร์

- เกิดการรับหรือส่งข้อมูลขึ้นอย่างสมบูรณ์
- เกิดสถานะเริ่มต้นอย่างสมบูรณ์บนบัส I²C โดยโมดูล SSP
- เกิดสถานะหยุดคั่นอย่างสมบูรณ์บนบัส I²C โดยโมดูล SSP
- เกิดสถานะเริ่มต้นซ้ำอย่างสมบูรณ์บนบัส I²C โดยโมดูล SSP
- เกิดสถานะรับรู้ (acknowledge) ขึ้นอย่างสมบูรณ์บนบัส I²C โดยโมดูล SSP
- เกิดสถานะเริ่มต้นในขณะที่โมดูล SSP อยู่ในสภาวะว่างหรือไอดีล (idle) กรณีสร้างเป็นระบบมัลติมาสเตอร์
- เกิดสถานะเริ่มต้นในขณะที่โมดูล SSP อยู่ในสภาวะว่างหรือไอดีล (idle) กรณีสร้างเป็นระบบมัลติมาสเตอร์

โหมด I²C สเลฟ

เกิดการรับหรือส่งข้อมูลอย่างสมบูรณ์

CCP1IF (CCP1 Interrupt Flag bit – บิต 2) : บิตแสดงสถานะการทำงานของโมดูล CCP1 สามารถแบ่งแยกตามโหมดการทำงานของโมดูล CCP1 ได้ 2 โหมด ดังนี้

โหมดตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (capture mode)

- “0” – ไม่มีการตรวจจับสัญญาณเกิดขึ้นที่รีจิสเตอร์ TMR1
- “1” – มีการตรวจจับสัญญาณเกิดขึ้นที่รีจิสเตอร์ TMR1 ทำให้เกิดอินเทอร์รัปต์ หาก เอ็นเอเบิลไว้ ต้องเคลียร์เป็น “0” ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ไม่มีการใช้งานบิตนี้การกำหนดให้ CCP1 ทำงานในโหมด PWM

TMR2IF (TMR2 to PR2 match Interrupt Flag bit – บิต 1) : บิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัปต์อันเนื่องมาจากค่าของไทเมอร์ 2 และรีจิสเตอร์คาบเวลา 2 เท่ากัน

- “0” – ค่าของไทเมอร์ 2 และรีจิสเตอร์คาบเวลา 2 (Period register 2) ไม่เท่ากัน
- “1” – ค่าของไทเมอร์ 2 และรีจิสเตอร์คาบเวลา 2 (Period register 2) เท่ากัน ทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้ ต้องเคลียร์เป็น “0” ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TMR1IF (TMR1 Overflow Interrupt Flag bit – บิต 0) : บิตแสดงสถานะการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทมเมอร์ 1

“0” – ไทมเมอร์ 1 ไม่เกิดโอเวอร์โฟลว์

“1” – ไทมเมอร์ 1 เกิดโอเวอร์โฟลว์ ทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์ หากมีการเอ็นเอเบิลไว้ ต้องเคลียร์เป็น “0” ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

รีจิสเตอร์ PIR2 : Peripheral Interrupt Request registers 2

เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะเงื่อนไขการเกิดอินเทอร์รัปต์เนื่องจากอุปกรณ์ต่อพ่วงตัวที่ 2 ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ PIE2 เมื่อเงื่อนไขของการอินเทอร์รัปต์เป็นจริง จะเซตบิตสถานะในรีจิสเตอร์ PIR2 จากนั้นตรวจสอบว่ามีการเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์นั้นๆที่ PIE2หรือไม่ ถ้ามีก็จะตรวจสอบว่า บิต PEIE และ GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON เซตไว้ทั้งคู่หรือไม่ถ้าหากเซตไว้ ก็จะมีการเกิดอินเทอร์รัปต์ขึ้นอย่างสมบูรณ์มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0D แบนก์ 0 มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
-	CMIF	-	EEIF	BCLIF	-	-	CCP2IF
U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0

Unimplement – บิต 7 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

CMIF (Comparator Interrupt Flag bit – บิต 6) : บิตแสดงสถานะการณเปรียบเทียบแรงดัน

“0” – อินพุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

“1” – อินพุตของวงจรเปรียบเทียบอะนาล็อกเกิดการเปลี่ยนแปลง

Unimplement – บิต 5 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

EEIF (EEPROM Write Operation Interrupt Flag bit – บิต 4) : บิตแสดงสถานะการณเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม

“0” – การเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลอีพรอมยังไม่เสร็จสมบูรณ์หรือยังไม่เริ่มต้นเขียน

“1” – การเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีพรอมเสร็จสมบูรณ์

BCLIF (Bus Collision Interrupt Flag bit – บิต 3) : บิตแสดงสถานะการชนกันของข้อมูลในการทำงานโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโครนัส (SSP) เมื่อทำงานในโหมด I²C มาสเตอร์

“0” – ไม่มีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น

“1” – เกิดการชนกันของข้อมูลบนบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unimplement – บิต 2 และ 1 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

CCP2IF (CCP2 Interrupt Flag bit – บิต 0) : บิตแสดงสถานการณ์ทำงานของโมดูล CCP2 สามารถแบ่งแยกตามโหมดการทำงานของโมดูล CCP1 ได้ดังนี้

โหมดตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (capture mode)

“0” – ไม่มีการตรวจจับสัญญาณเกิดขึ้นที่รีจิสเตอร์ TMR1

“1” – มีการตรวจจับสัญญาณเกิดขึ้นที่รีจิสเตอร์ TMR1 สามารถเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

โหมดเปรียบเทียบสัญญาณ (compare mode)

“0” – การเปรียบเทียบข้อมูลที่รีจิสเตอร์ TMR1 ไม่เท่ากันหรือไม่เหมือนกัน

“1” – การเปรียบเทียบข้อมูลที่รีจิสเตอร์ TMR1 เท่ากันหรือเหมือนกัน ต้องเคลียร์ค่าทางซอฟต์แวร์

ไม่มีการใช้งานบิตนี้หากกำหนดให้ CCP2 ทำงานในโหมด PWM

รีจิสเตอร์ PIE : **Peripheral Interrupt Enable registers**

เป็นรีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วงในแหล่งต่างๆ สามารถเข้าถึงเพื่ออ่านและเขียนได้ในระดับบิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8C ในแบงก์ 1 มีรายละเอียดของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
PSPIE	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -0

PSPIE (Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Enable bit – บิต 7) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการอ่านและเขียนข้อมูลของพอร์ตนานเสริมหรือ PSP

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

ADIE (A/D Converter Interrupt Enable bit – บิต 6) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ของโมดูล A/D

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RCIE (USART Recieve Interrupt Enable bit – บิต 5) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เมื่อการรับข้อมูลของโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) เสร็จสมบูรณ์

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

TXIE (USART Transmit Interrupt Enable bit – บิต 4) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เมื่อการส่งข้อมูลของโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) เสร็จสมบูรณ์

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

SSPIE (Synchronous Serial Port Interrupt Enable bit – บิต 3) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโครนัส (MSSP)

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

CCP1IE (CCP1 Interrupt Enable bit – บิต 2) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล CCP1

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

TMR2IE (TMR2 to PR2 match Interrupt Enable bit – บิต 1) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการที่ค่าของไทเมอร์ 2 และรีจิสเตอร์คาบเวลา 2 (Period register 2) เท่ากัน

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

TMR1IE (TMR1 Overflow Interrupt Enable bit – บิต 0) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 โอเวอร์โฟลว์

“0” – ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ PIE2 : Peripheral Interrupt Enable registers 2

เป็นรีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วงในแหล่งต่างๆ ตัวที่ 2 สามารถเข้าถึงเพื่ออ่านและเขียนได้ในระดับบิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8D ในแบงก์ 1 มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
-	CMIE	-	EEIE	BCLIE	-	-	CCP2IE
U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0

Unimplement – บิต 7 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

CMIE (Comparator Interrupt Enable bit – บิต 6) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก

“0” – คิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

Unimplement – บิต 5 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

EEIE (EEPROM Write Operation Interrupt Enable bit – บิต 4) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ เมื่อการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมเสร็จสมบูรณ์

“0” – คิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

BCLIE (Bus Collision Interrupt Enable bit – บิต 3) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการชนกันของข้อมูลในการทำงานของ โมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโครนัส (SSP) เมื่อทำงานในโหมด I²C มาสเตอร์

“0” – คิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

Unimplement – บิต 2 และ 1 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

CCP2IE (CCP2 Interrupt Enable bit – บิต 0) : บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล CCP2

“0” – คิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

“1” – เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 รีจิสเตอร์หลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

รีจิสเตอร์ STATUS

รีจิสเตอร์ STATUS เป็นรีจิสเตอร์ที่บรรจุบิตสถานะทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ค่าข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์ STATUS จะเกิดจากการใช้คำสั่งในการเข้าถึงต่างๆ และในบางบิตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ ตามผลลัพธ์ของการกระทำทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งได้แก่บิต Z, DC, OV, N, และ C โดยรีจิสเตอร์ STATUS มีแอดเดรสอยู่ที่ FD8h โดยมีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
-	-	-	N	OV	Z	DC	C
U-0	U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x

บิต 7 ถึง 5 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

บิต 4 : N (Negative Bit) บิตนี้ใช้แสดงสถานะทางคณิตศาสตร์ที่ได้ผลลัพธ์จากการทำ 2's Complement

“1” - ผลลัพธ์เป็นบวก

“0” - ผลลัพธ์เป็นลบ

บิต 3 : OV (Overflow Bit) บิตนี้แสดงสถานะการเกิด โอเวอร์โฟลว์

“1” - มีการเกิด โอเวอร์โฟลว์

“0” - ไม่มีการเกิด โอเวอร์โฟลว์

บิต 2 : Z (Zero Bit) บิตแสดงสถานะทางคณิตศาสตร์

“1” - เมื่อผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์ และลอจิกมีค่าเท่ากับศูนย์

“0” - เมื่อผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์ และลอจิกมีค่าไม่เท่ากับศูนย์

บิต 1 : DC (Digit Carry / Borrow Bit) บิตทดหรือยืมระหว่างหลักเป็นแสดงสถานะทางคณิตศาสตร์กรณีที่ทำคำสั่ง (ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF)

“1” - ผลลัพธ์การกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์มีการทดเข้ามาจากบิต 3 มา บิต 4

“0” - ผลลัพธ์การกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ไม่มีการทดเข้ามาจากบิต 3 มา บิต 4

บิต 0 : C (Carry / Borrow Bit) บิตทดหรือยืมเป็นบิตที่แสดงสถานะทางคณิตศาสตร์กรณีที่ทำคำสั่ง (ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF)

“1” - ผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์มีการทดหรือยืมในบิต 7

“0” - ผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์ไม่มีการทดหรือยืมในบิต 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ RCON

รีจิสเตอร์ RCON เป็นรีจิสเตอร์ที่บรรจุบิตสถานะต่างๆ เกี่ยวกับการเกิดรีเซตแบบต่างๆ โดยรีจิสเตอร์ RCON สามารถเซตและเคลียร์ได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ มีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
IPEN	-	-	RI	TO	PD	POR	BOR
U-0	U-0	U-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x

บิต 7 : IPEN (Interrupt Priority Enable Bit) บิตเอ็นเอเบิลการเลือกลำดับการเกิดอินเทอร์รัปต์

“1” – เอ็นเอเบิลการเลือกลำดับการเกิดอินเทอร์รัปต์

“0” – ไม่มีการเลือกลำดับการเกิดอินเทอร์รัปต์

บิต 6 ถึง 5 : ไม่ใช้อ่านค่าได้เป็น 0

บิต 4 : RI (Reset Instruction Flag Bit) บิตแสดงสถานะการรีเซตจากคำสั่งทางซอฟต์แวร์

“1” – มีการเกิดรีเซต

“0” – ไม่มีการเกิดรีเซต

บิต 3 : TO (Watchdog Time Out Flag Bit) บิตแสดงสถานะเกิดไทเมอร์ของวอตช์ด็อกไทมเมอร์

“1” – หลังจากเกิดเพาเวอร์อัปไทมเมอร์ เมื่อใช้คำสั่ง CLRWDT และ SLEEP

“0” – เมื่อเกิดไทเมอร์ของวอตช์ด็อกไทมเมอร์

บิต 2 : PD (Power Down Detection Flag Bit) บิตแสดงสถานะการเกิด Power Down

“1” – หลังจากเกิด เพาเวอร์อัปไทมเมอร์ หรือมีการใช้คำสั่ง CLRWDT

“0” – เมื่อกระทำคำสั่ง SLEEP

บิต 1 : POR (Power On Reset Status Bit) บิตแสดงสถานะของการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

“1” – ไม่มีการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

“0” – เกิดเพาเวอร์ออนรีเซต (ตรวจจะเซตด้วยซอฟต์แวร์)

บิต 0 : BOR (Brown Out Reset Status Bit) บิตแสดงสถานะการเกิดบราวเอาต์รีเซต

“1” – ไม่มีการเกิดบราวเอาต์รีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“0” – มีการเกิดบราวเอาต์รีเซต (ควรจะเซตด้วยซอฟต์แวร์)

รีจิสเตอร์ W

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เนื่องจากในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ลอจิก การเพิ่มหรือลดค่าต่างๆ ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ตัวนี้ทั้งสิ้นหรืออาจกล่าวได้ว่ารีจิสเตอร์ W คือแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) สำหรับในการเรียกใช้งานรีจิสเตอร์ตัวนี้สามารถสังเกตได้จากชื่อคำสั่งที่กล่าว W อยู่ด้วย เช่น `MOVLW 0x10`, `MOVWF PORTB` การทำงานคือเมื่อกระทำคำสั่ง `MOVLW 0x10` นั้นจะมีการเปลี่ยนค่าในรีจิสเตอร์ W คือจะเป็นการนำค่า `0x10` ที่เป็นเลขฐานสิบหกมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ W โดยเมื่อกระทำคำสั่งนี้แล้วค่าในรีจิสเตอร์ W จะมีค่าเท่ากับ “00000001” ส่วนคำสั่ง `MOVWF PORTB` นั้นจะเป็นการส่งค่าข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์ W ออกไปยัง `PORT B` เช่นเมื่อกระทำคำสั่งนี้แล้วจะมีข้อมูลออกไปยังเป็น “00000001” หากมีการต่อ LED ไว้ที่ขา `RB0` ก็จะทำให้ LED ติด หรืออาจกล่าวได้ว่าการนำข้อมูลไปแสดงผลหรือส่งออกไปยังพอร์ตจะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ W เสมอ

6.6 การเข้าถึงรีจิสเตอร์และข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 มีกระบวนการในการเข้าถึงหน่วยความจำและรีจิสเตอร์อยู่ 4 แบบ ดังนี้

1. การเข้าถึงแบบทันทีทันใด (Immediate Addressing Mode)

จะเป็นการเข้าถึงค่าคงที่โดยตรง ด้วยการใส่ชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ (Literal) ร่วมกับรีจิสเตอร์ W หรือแอกคิวมูเลเตอร์ ตัวอย่างของคำสั่งที่แสดงให้เห็นถึงการเข้าถึงข้อมูลแบบทันทีทันใดได้แก่ `Movlw k` โดยที่ `k` คือค่าคงที่

2. การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรง (Direct Addressing Mode)

เป็นการเข้าถึงข้อมูลหรือรีจิสเตอร์ด้วยการกำหนดแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึงแบบเจาะจงหรือระบุผ่านชื่อของรีจิสเตอร์ก็ได้รูปแบบ เช่น `Clrf Temp`

3. การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยอ้อม (Indirect Addressing Mode)

ในกรณีที่ต้องติดต่อกับรีจิสเตอร์หลายๆตัวในคราวเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั้นจะมีรีจิสเตอร์ `FSR` (File Select Register) และรีจิสเตอร์ `INDF` ช่วยในการติดต่อบนโดยอ้อม โดยรีจิสเตอร์ `FSR` ทำหน้าที่เป็นตัวชี้แอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการเข้าถึง แล้วอ่านข้อมูลนั้นๆออกมาจากรีจิสเตอร์ `INDF` หรืออาจกล่าวได้ว่าใช้รีจิสเตอร์ `FSR` เก็บค่าแอดเดรสและรีจิสเตอร์ `INDF` เก็บค่าข้อมูล

4. การเข้าถึงข้อมูลแบบสัมพัทธ์ (Relative Addressing Mode)

การเข้าถึงข้อมูลแบบสัมพัทธ์นี้ประกอบด้วยการคำนวณค่าสัมพัทธ์ของระยะห่างระหว่างแอดเดรสที่เริ่มต้นทำงานกับแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึง โดยมีการใช้ค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์มาช่วยโดยคำสั่งที่นำมาใช้ในการเข้าถึงข้อมูลแบบสัมพัทธ์ คือ `RETLW` โดยกระบวนการเริ่มด้วยการกำหนดออฟเซตลงในรีจิสเตอร์ W แล้วนำไปรวมกับค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ก็จะได้ค่าแอดเดรสของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำที่ต้องการเข้าถึง การเข้าถึงแบบนี้มีข้อจำกัดคือ จะต้องเข้าถึงข้อมูลเป็นช่วงๆ ช่วงละ 256 ตำแหน่งดังตัวอย่างที่แสดงต่อไปนี้

PC	EQU	0x02	;กำหนดแอดเดรสของ PC
INDEX	EQU	0x70	;กำหนดแอดเดรสของ INDEX
	MOVLW	0x02	;กำหนดค่าเพื่อที่จะชี้ตำแหน่งไปยัง W
	MOVWF	INDEX	;นำค่าของตัวชี้ตำแหน่งเก็บที่ INDEX
	MOVF	INDEX,0	;นำค่าของ INDEX กลับมายัง W
	CALL	SEGMENT	;เรียกโปรแกรมย่อย SEGMENT
SEGMENT	ADDWF	PCL,1	;บวกค่าตัวชี้ตำแหน่งที่เก็บใน W กับ PC

6.7 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

PIC18F458 มีพอร์ตให้ใช้งานทั่วไปได้ถึง 5 พอร์ต และด้วยความสามารถของพอร์ตใน PIC18F458 ที่สามารถทำงานได้หลายอย่าง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งานต้องทำความเข้าใจถึง โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และการกำหนดหรือเลือกฟังก์ชันการทำงานให้แก่ขาพอร์ตแต่ละขาด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตทั้งหมดของ PIC 18F458 ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และแต่ละพอร์ตมีรีจิสเตอร์สามตัวที่ใช้ดำเนินการ คือ

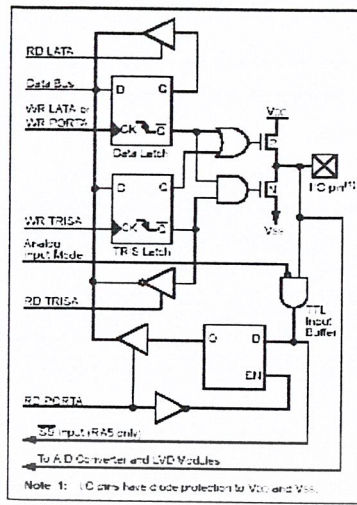
- TRIS register (รีจิสเตอร์เข้าถึงข้อมูลโดยตรง)
- PORT register (อ่านระดับจากขาของอุปกรณ์)
- LAT register (ค่าแลตซ์ที่ออกมา)

พอร์ต A

มีทั้งสิ้น 6 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง การกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRIS A หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น และในทางตรงกันข้าม หากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตก็ต้องเขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตนั้น

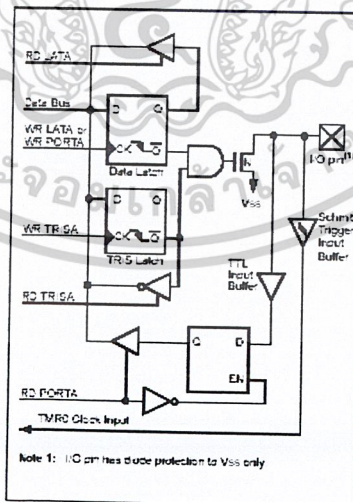
โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต A ยังสามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติและเป็นขาอินพุตสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขา RA0-RA3 และ RA5 จะมีการทำงานที่เหมือนกัน ส่วน RA4 จะแตกต่างตรงที่ขานี้นอกจากเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติแล้ว ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับไทมเมอร์ 0 ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย และขา RA4 นี้ไม่สามารถใช้งานเป็นขาอินพุตรับสัญญาณอนาลอกได้



รูปที่ 6-3 โครงสร้าง RA0-RA3 ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458

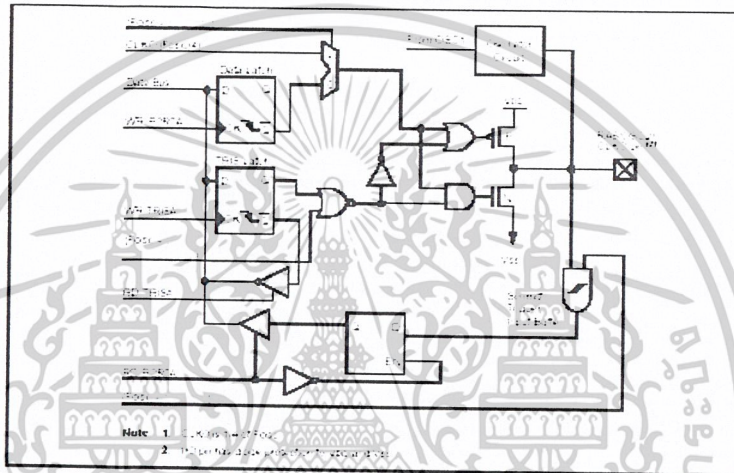
ในรูปที่ 6-3 แสดงโคจรภายในของพอร์ต A ในบิต RA0-RA3 จะเห็นได้ว่าที่ขาพอร์ตจะมีแอนดเกดทำหน้าที่เลือกลักษณะการทำงานของขาพอร์ตเมื่อเป็นขาอินพุต หากเลือกให้ขาพอร์ตนี้เป็นขาพอร์ตอินพุตคิจิตอล สัญญาณเลือกโหมดอินพุตจะน่าลอกจะต้องเป็นลอจิก “0” แต่ถ้าหากต้องการกำหนดให้เป็นขาอินพุตสัญญาณจะน่าลอก สัญญาณเลือกโหมดต้องเป็นลอจิก “1” สัญญาณจะน่าลอกที่ป้อนเข้ามายังขา นี้ จะผ่านเข้าตัววงจรแปลงสัญญาณจะน่าลอกเป็นคิจิตอลหรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะน่าลอกโดยตรงเมื่อขาพอร์ต RA0-RA3 ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตคิจิตอล จะสามารถรับสัญญาณคิจิตอลระดับที่ทีแอล (0-5V) ได้โดยตรง หากทำงานเป็นเอาต์พุตจะสามารถขับโหลดที่ต้องการกระแส 20 mA ได้ หากนำมาขับ LED ต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส หรือถ้าใช้ไฟเลี้ยง 3V ก็จะสามารถขับ LED ได้โดยตรง



รูปที่ 6-4 โครงสร้าง RA4 ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F458

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 6-4 เป็นโคเดแกรมของขาพอร์ต RA4/TCK1 โดยขานี้จะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ปกติและขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกของโมดูลไทมเมอร์ 0 วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ที่ขาพอร์ตนี้ เป็นแบบชนิดทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้เพื่อจัดการให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามา มีความสมบูรณ์มากที่สุด และจะต้อง ต่อตัวต้านทานพูลอัพค่าประมาณ 4.7k - 10k ที่ขานี้เสมอเมื่อใช้งานเป็นอินพุต ในกรณีที่ใช้งานเป็นพอร์ต เอาต์พุตจะเป็นแบบเดรนเปิด (open drain) ถ้าหากเปรียบเทียบกับวงจรทรานซิสเตอร์ก็คือ วงจรคอลเลกเตอร์เปิด (open collector) นั่นเอง ในการใช้งานจึงต่อตัวต้านทานอนุกรมกับโหลดและไฟเลี้ยงของโหลด กับในวงจร โดยปกติหากไม่มีความจำเป็นควรกำหนดให้ขา RA4/TCK1 นี้เป็นอินพุตจะดีที่สุด โดยต้อง ต่อตัวต้านทานพูลอัพเสมอ หรือถ้าหากจำเป็นต้องใช้เป็นเอาต์พุตก็ต้องไม่ลืมว่า ขานี้เป็นเอาต์พุตแบบ เดรนเปิด ต้องต่อขั้ว โหลดในกระแสดังที่เท่านั้น



รูปที่ 6-5 โครงสร้างขา RA6 ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

ในรูปที่ 6-5 แสดงโครงสร้างของพอร์ต RA6 ขานี้นอกจากจะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ แล้วยังใช้เป็นขาเอาต์พุตสำหรับสัญญาณออสซิลเลเตอร์อีกด้วย

การติดต่อเพื่อการกำหนดการทำงานและเขียนข้อมูลไปยังพอร์ต A

ในขั้นแรกต้องทำการเตรียมความพร้อมให้แก่วิจิตเตอร์ PORTA โดยการเลือกแบงก์สำหรับติดต่อกับวิจิสเตอร์ PORTA จากนั้นส่งข้อมูล “0” เพื่อเคลียร์ข้อมูลทั้งหมด และเนื่องจากพอร์ต A ทำงานกับสัญญาณอะนาลอกได้และค่าเริ่มต้นของพอร์ต A ที่ทำงานกับสัญญาณอะนาลอกจะถูกกำหนดให้เป็นอินพุตอะนาลอกทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการใช้งานเป็นพอร์ตดิจิตอลต้องกำหนดข้อมูล 0x06 หรือ 0x07 แล้วเขียนลงในวิจิสเตอร์ ADCON1 เพื่อดิสเอบิลการทำงานกับสัญญาณอะนาลอก

จากนั้นจึงเลือกแบงก์ใหม่เพื่อติดต่อกับวิจิสเตอร์ TRISA แล้วเขียนข้อมูลเพื่อกำหนดทิศทางของขาพอร์ตตามที่ต้องการลงในวิจิสเตอร์ TRISA จากโปรแกรมที่ 6-1 เป็น โปรแกรมตัวอย่างเพื่อกำหนดการทำงานของพอร์ต A ในโหมดของพอร์ตอินพุตอินพุตแบบดิจิตอล

โปรแกรมที่ 6-1 โปรแกรมกำหนดทิศทางสัญญาณของพอร์ต A

BCF	STATUS, RP0	;
BCF	STATUS, RP01	;
CLRF	PORTA	; Bank0
		; Initialize PORTA by clearing output and data latches
MOVLW	0x06	;
MOVWF	ADCON1	; Configure all pins as digital inputs
MOVLW	0xCF	;
MOVWF	TRISA	; Value used to initialize data direction
		; Set RA<3:0> as inputs, RA<5:4> as outputs
		; TRISA<7:6> are always read as "0"

พอร์ต B

มี 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RB0-RB7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTB มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x06 (แบงก์ 0) และ 0x106 (แบงก์ 2) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISB ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x86 (แบงก์ 1) และ 0x186 (แบงก์ 3) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A บิต 0 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB0 ได้เรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB7 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้น ในทางตรงกันข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้น

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

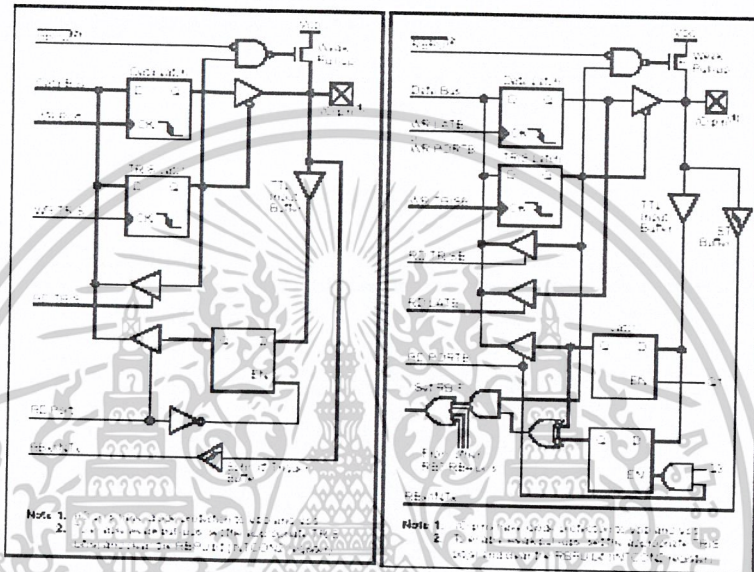
พอร์ต B สามารถใช้งานในลักษณะต่างๆ 5 แบบ คือ

1. เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ
2. เป็นขาอินพุตสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก โดยใช้ขา RB0/INT
3. เป็นขาพอร์ตอินพุตสำหรับแรงดัน โปรแกรมระดับต่ำ (low voltage programming) โดยใช้ขา RB3/PGM
4. เป็นขาข้อมูลอนุกรมและสัญญาณนาฬิกาอนุกรมสำหรับ โปรแกรมหน่วยความจำภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ 2 ขา คือ RB7/PGD และ RB6/PGC
5. ใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์แบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูล หรือระดับสัญญาณที่ขา RB4-RB7

ในรูปที่ 6-6 แสดงไดอะแกรมของพอร์ต B ในบิต RB0-RB1 จะเห็นได้ว่าที่ขาพอร์ตจะมีวงจร पुलอัปแบบโปรแกรมได้ต่ออยู่ นั่นคือหากต้องการกำหนดให้เป็นขาอินพุต ต้องทำการเขียนข้อมูล "0" ไปยังบิต RPBU ในรีจิสเตอร์ OPTION_REG เพื่อเอ็นเอเบิลวงจร पुलอัปภายในขาพอร์ต B ในขณะที่หากกำหนดเป็นเอาต์พุต การ पुलอัปที่ขาพอร์ต B นี้จะถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติ นอกจากนั้นการ पुलอัปนี้จะ

ได้รับการยกเลิกเมื่อเกิดเพาเวอร์อนรีเซตขึ้น ในกรณีใช้ขา RB0 / INT เพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก สัญญาณจะผ่านเข้าไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์แบบชนิดตรีกรีทริกเกอร์เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความแม่นยำและเสถียรภาพ

และในรูปที่ 6-6 (ข) เป็นไดอะแกรมของขาพอร์ต RB4-RB7 โดยขาพอร์ตในกลุ่มนี้มีความสามารถพิเศษพอสมควร โดยสามารถเลือกให้ทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ ขาอินพุตรับแรงดันสำหรับการ โปรแกรม, ขาสัญญาณสำหรับการ โปรแกรม และทำงานเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ในแบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่ขาพอร์ต RB4-RB7



(ก)

(ข)

รูปที่ 6-6 โครงสร้างขา RB ของพอร์ต A ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

(ก) ขา RB0-RB1

(ข) ขา RB4-RB7

วงจรมัลติเพล็กซ์ที่ขาพอร์ตนี้ทั้งแบบทีทีแอลและชนิดตรีกรีทริกเกอร์ ทั้งนี้เพื่อจัดการให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามามีความเหมาะสมและสมบูรณ์มากที่สุด และยังคงสามารถรองรับการพูลอัปภายในแบบอัตโนมัติได้ ในกรณีที่มีการเอนอเบิลการตอบสนองอินเตอร์รัปต์แบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่พอร์ต RB4-RB7 หากเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น บิต RBIF (บิต 0 ในรีจิสเตอร์ INTCON) จะเซตและหลังจากตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แล้ว ต้องเคลียร์บิต RBIF ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์เสมอ

พอร์ต C

มีทั้งสิ้น 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RC0-RC7 รีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลคือ PORTC มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x07 (แบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISC

มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x87 (แแบงก์1) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A และ B บิต 0 ของ TRISC ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RC0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISC

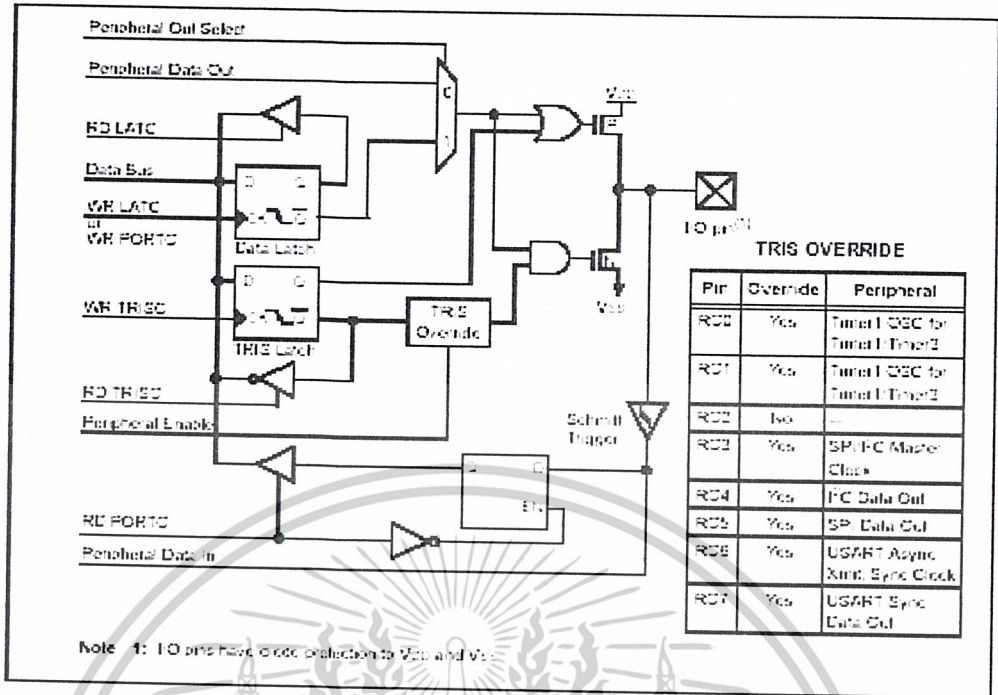
โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต C สามารถใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้หลายรูปแบบ และเป็นขาพอร์ตที่มีความสามารถสูงมาก ไม่ว่าจะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, ขาอินพุตเอาต์พุตออสซิลเลเตอร์ของโมดูลไทมเมอร์1, ขาอินพุตสำหรับสัญญาณนาฬิกาของโมดูลไทมเมอร์1,ขาเชื่อมต่อระบบบัส I²C, ขาเชื่อมต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface), ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมแบบ USART, ขาอินพุตวงจรถ่ายเก็บ(capture) หรือวงจรถวจจับสัญญาณ, ขาเอาต์พุตของวงจรถ่ายเทียบสัญญาณ (compare) และขาเอาต์พุตวงจรถวจ (Pulse Width Modulation) สามารถสรุปหน้าที่การทำงานที่หลากหลายของขาพอร์ต C ดังในตาราง

ชื่อขา	การทำงาน
RC0/TI0SO/TICK1	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 0 ของพอร์ต C - เอาต์พุตวงจรถ่ายเก็บของไทมเมอร์ 1 (TI0SO) - อินพุตรับสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 1 (TICK1)
RC1/TI0SI/CCP2	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 1 ของพอร์ต C - อินพุตวงจรถ่ายเก็บของไทมเมอร์ 1 (TI0SI) - อินพุตแคปเจอร์หรือวงจรถวจจับสัญญาณของโมดูล CCP2 - เอาต์พุตวงจรถ่ายเทียบของโมดูล CCP2 - เอาต์พุต PWM ของโมดูล CCP2
RC2/CCP1	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 2 ของพอร์ต C - อินพุตแคปเจอร์หรือวงจรถวจจับสัญญาณของโมดูล CCP1 - เอาต์พุตวงจรถ่ายเทียบของโมดูล CCP1 - เอาต์พุต PWM ของโมดูล CCP1
RC3/SCK/SCL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 3 ของพอร์ต C - ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของระบบ SPI (SCK) - ขาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของระบบ I ² C (SCL)
RC4/SDI/SDA	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 4 ของพอร์ต C - ขาข้อมูลอินพุตอนุกรมของระบบ SPI (SDI) - ขาข้อมูลอนุกรมของระบบบัส I ² C (SDA)
RC5/SDO	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 5 ของพอร์ต C - ขาข้อมูลเอาต์พุตอนุกรมของระบบ SPI (SDO)
RC6/TxD/CK	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 6 ของพอร์ต C - ขาส่งข้อมูลพอร์ตอนุกรม USART (TxD) - ขาสัญญาณนาฬิกาซิงโครนัส (CK)
RC7/RxD/DT	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 7 ของพอร์ต C - ขารับข้อมูลพอร์ตอนุกรม USART (RxD) - ขาสัญญาณข้อมูลซิงโครนัส (DT)

ตารางที่ 6-1 สรุปหน้าที่การทำงานของขาพอร์ต C ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-7 โครงสร้างของพอร์ต C ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

ในรูปที่ 6-7 แสดงไดอะแกรมของพอร์ต C จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณควบคุมการทำงานของขาพอร์ตมากมาย ทั้งนี้เนื่องจากขาพอร์ต C สามารถทำงานได้หลากหลายนั่นเอง สัญญาณควบคุมที่สำคัญคือ สัญญาณเลือกการทำงานระหว่างเป็นพอร์ตปกติหรือเป็นขาเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Port/Peripheral Select) และสัญญาณควบคุมการส่งข้อมูลของวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Peripheral Output Enable) สำหรับของวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ส่งออกและรับเข้ามาจะผ่านทางขาพอร์ตปกติ แต่เมื่อผ่านวงจรสำหรับเลือกสัญญาณข้อมูลแล้ว สายสัญญาณข้อมูลของพอร์ต (data bus) กับข้อมูลของวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ (peripheral output/peripheral input) จะแยกกัน

และขาพอร์ต RC3-RC4 ทั้ง 2 ขานี้มีความสามารถพิเศษตรงที่สามารถใช้งานเป็นขาเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบซิงโครนัสได้อีกด้วย ทั้งนี้วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ของขาพอร์ต C นี้เป็นแบบซิมิต์ทริกเกอร์ทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อจัดการให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามามีความเหมาะสมและสมบูรณ์มากที่สุด และยังจะสามารถรองรับกาพูลอัปภายในแบบอัตโนมัติได้

พอร์ต D

มี 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RD0-RD7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTD มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x08 (แบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISD มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x88 (แบงก์ 1) มีขนาด 8 บิต หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

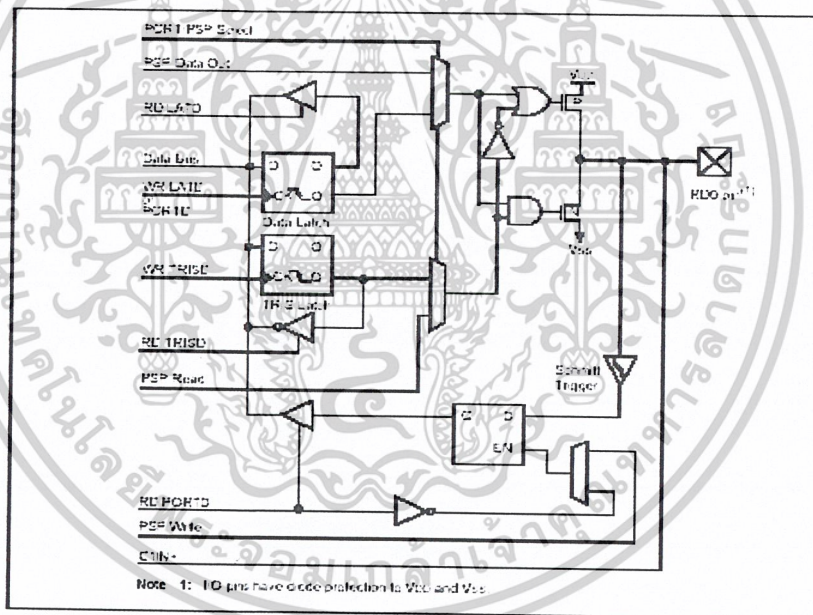
ต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตนั้น และในทางตรงกันข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาต์พุตให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตนั้น

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต D สามารถใช้งานได้ 2 โหมด คือ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติและเป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน (Parallel Slave Port : PSP) สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกที่มีการจัดระบบบัสแบบไมโครโปรเซสเซอร์คือ มีสายข้อมูล 8 เส้น สายสัญญาณควบคุม 3 เส้น คือ สายสัญญาณควบคุมการอ่าน (RD :Read), เขียน (WR : Write), และเลือกอุปกรณ์ (CS : Chip Select)

ในรูปที่ 6-8 แสดงโคจรแอมของพอร์ต D ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกันทุกบิต เมื่อทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ วงจรอินพุตจะเป็นแบบซิมิลาร์ทรigger แต่เมื่อทำงานในโหมดขยายพอร์ตแบบขนานหรือ PSP วงจรอินพุตจะเปลี่ยนเป็นแบบทีทีแอล

การเลือกโหมดทำงานของพอร์ต D นี้ขึ้นกับบิต PSPMODE (บิต 4 ในรีจิสเตอร์ TRISE)ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้พอร์ต D เป็นพอร์ตปกติ และถ้าเป็น “1” พอร์ต D จะทำงานในโหมด PSP



รูปที่ 6-8 โครงสร้างของพอร์ต D ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

พอร์ต E

มี 3 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RE0-RE2 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORTE มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x09 (แบงก์ 0) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ใช้งานเพียง 3 บิตล่างคือ บิต 0-บิต 2 เท่านั้นที่เหลือกำหนดให้เป็น “0” ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISE ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0x89 (แมงก์ 1) มีขนาด 8 บิต โดยใช้สามบิตล่างในการกำหนดทิศทางของพอร์ต E ส่วนที่เหลือใช้ควบคุมการทำงานในโหมด PSP ของพอร์ต D

พอร์ต E สามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, ขาอินพุตอะนาล็อกของโมดูลแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล และขาควบคุมการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบ PSP ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดข้อมูลของรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตนี้

รีจิสเตอร์ TRISE

เมื่อมีการกำหนดให้พอร์ต D ทำงานในโหมด PSP 4 บิตบนของรีจิสเตอร์ TRISE จะใช้เป็นบิตแสดงสถานะของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในการถ่ายเทข้อมูลของส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือ PSP ส่วน 3 บิตล่างใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ต D ถ้าหากพอร์ต E ทำงานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ 3 บิตล่างของรีจิสเตอร์ TRISE จะใช้ในการกำหนดทิศทางการถ่ายเทสัญญาณข้อมูลของพอร์ต ดังมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TRISE ดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	-	DIR-RE2	DIR-RE1	DIR-RE0
R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1

IBF (Input Buffer Full status bit) : บิตแสดงสถานะบัฟเฟอร์ทางอินพุตของ PSP

“0” แสดงว่า ไม่มีข้อมูลรับเข้ามาในบัฟเฟอร์

“1” แสดงว่า มีข้อมูลรับเข้ามาแล้วและกำลังรอการอ่านจากซีพียู

OBF (Output Buffer Full status bit) : บิตแสดงสถานะบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตของ PSP

“0” แสดงว่า ข้อมูลในบัฟเฟอร์ถูกส่งออกไปแล้ว

“1” แสดงว่า ยังมีข้อมูลเดิมอยู่ในบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุต

IBOV (Input Buffer Overflow Detect bit) : บิตแสดงการรับข้อมูลเกินของบัฟเฟอร์อินพุต

“0” แสดงว่า ไม่มีการรับข้อมูลเกินหรือโอเวอร์โฟลวเกิดขึ้น

“1” แสดงว่า เกิดการเขียนข้อมูลมายังบัฟเฟอร์อินพุต ทั้งที่ ยังคงมีข้อมูลเดิมอยู่

PSPMODE (Parallel Slave Port Mode select bit) : บิตเลือกการทำงาน PSP ของพอร์ต D และ E

“0” กำหนดให้ทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“1” กำหนดให้ทำงานในโหมด PSP

บิต 3 : ไม่มีการใช้งานกำหนดค่าเป็น “0”

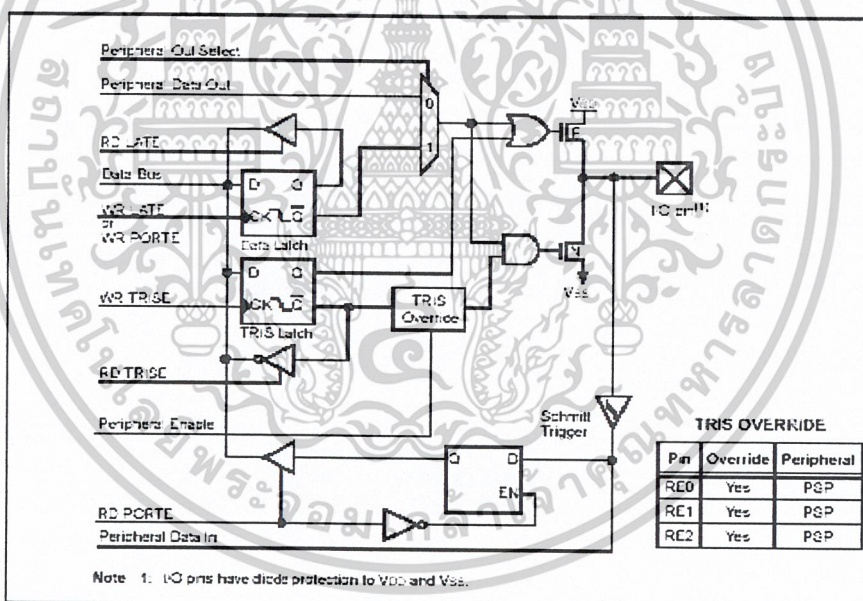
DIR-RE2 ถึง DIR-RE0 (Direction control bit for RE2-RE0) : บิตควบคุมทิศทางของพอร์ต E เมื่อทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ

“0” เป็นเอาต์พุต

“1” เป็นอินพุต

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

ในรูปที่ 6-9 แสดงไดอะแกรมของพอร์ต E ในบิต RE0-RE2 เมื่อทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ จะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกับขาพอร์ตอื่นๆ ถ้าหากทำงานในโหมดพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ วงจรอินพุตของพอร์ตนี้จะเป็นแบบซิมิลาร์ทริกเกอร์ ในขณะที่หากทำงานในโหมดการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล วงจรอินพุตจะเปลี่ยนเป็นแบบที่ทีแอก



รูปที่ 6-9 โครงสร้างของพอร์ต E ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

ถึงแม้ว่าพอร์ต E จะมีจำนวนเพียง 3 บิต แต่สามารถเลือกรูปแบบการทำงานได้มากถึง 3 แบบ คือ เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติ, อินพุตสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตในไมโครคอนโทรลเลอร์ และพอร์ตสัญญาณควบคุมสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ในโหมด PSP ดังนั้นในการเลือกรูปแบบการทำงานต้องระมัดระวังเช่นเดียวกับพอร์ต C ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อขา	การทำงาน
RE0/RD/AN5	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 0 ของพอร์ต E - ขาคควบคุมการอ่านข้อมูลสำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือ โหมด PSP (RD) “0” = มีการอ่านข้อมูลเกิดขึ้น โดยทำการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ PORTD ในกรณีที่มีการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการคิดต่อด้วย (ขา CS = “0”) “1” = ไม่มีการอ่านข้อมูลเกิดขึ้น - อินพุตรับสัญญาณของอะนาล็อกช่อง 5
RE1/WR/AN6	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 1 ของพอร์ต E - ขาคควบคุมการเขียนข้อมูลสำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือ โหมด PSP (RD) “0” = มีการเขียนข้อมูลเกิดขึ้น โดยเขียนข้อมูลไปยังจากรีจิสเตอร์ PORTD ในกรณีที่มีการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการคิดต่อด้วย (ขา CS = “0”) “1” = ไม่มีการเขียนข้อมูลเกิดขึ้น - อินพุตรับสัญญาณอะนาล็อกช่อง 6
RE2/CS/AN7	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตบิต 1 ของพอร์ต E - ขาเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการคิดต่อด้วยสำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนานหรือ PSP (CS) “0” = มีการเลือกอุปกรณ์ “1” = ไม่มีการเลือกอุปกรณ์ - อินพุตรับสัญญาณอะนาล็อกช่อง 7

ตารางที่ 6-2 หน้าที่การทำงานของขาพอร์ต E ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

6.8 ไทเมอร์ที่นำมาใช้งาน

ไทมเมอร์ 0

โหมดการทำงานของไทมเมอร์ 0 สามารถกำหนดได้ที่บิต TOCS ซึ่งเป็นบิต 5 ในรีจิสเตอร์ OPTION ซึ่งก็คือ การเลือกรับสัญญาณอินพุตเพื่อกระตุ้นการทำงานของไทมเมอร์ 0 โดยทำงานในโหมด ไทมเมอร์เมื่อ TOCS = “0” และทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ เมื่อ TOCS = “1”

โดยไทมเมอร์ 0 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สามารถใช้ซอฟต์แวร์เลือกกว่าจะใช้ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต หรือ 16 บิต
- สามารถอ่านและเขียนได้
- สามารถเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ทั้งจากภายในและภายนอก
- อินเตอร์รัปต์ขณะเกิด โอเวอร์ โฟลวได้จาก FFh ถึง 00h ใน โหมด 8 บิต และ FFFFh ถึง 0000h ในโหมด 16 บิต
- เลือกขอบขาขึ้นขาลงจากสัญญาณนาฬิกาภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TMR0ON	T08BIT	T0CS	T0SE	PSA	T0PS2	T0PS1	T0PS0
R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1

TMR0ON (Timer0 On/Off Control bit) : บิตควบคุมการทำงานของไทมเมอร์0

- “0” เอ็นเอเบิลไทมเมอร์ 0
- “1” หยุดการใช้งานไทมเมอร์ 0

T08BIT (Timer0 8bit/16bit Control bit) : บิตเลือกการทำงานของไทมเมอร์0 ระหว่าง 8 บิตหรือ 16 บิต

- “0” ไทมเมอร์0 จะถูกใช้งานเป็น 8 บิต เคนต์เตอร์/ไทมเมอร์
- “1” ไทมเมอร์0 จะถูกใช้งานเป็น 16 บิต เคนต์เตอร์/ไทมเมอร์

T0CS (Timer0 Clock Source Select bit) : บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของ ไทมเมอร์0

- “0” เลือกรับสัญญาณนาฬิกาจากภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
- “1” เลือกรับสัญญาณจากภายนอกที่ขา RA/T0CKI

T0SE (Timer0 Source Edge Select bit) : บิตเลือกการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณเพื่อให้ไทมเมอร์ 0 เพิ่มค่าขึ้น การกำหนดข้อมูลในบิตนี้เป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากการเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่ไทมเมอร์ 0 ที่บิต T0CS หากเลือกรับสัญญาณจากนาฬิกาภายนอก จะต้องมาเลือกการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่บิตนี้

- “0” เลือกการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจากต่ำไปสูง
- “1” เลือกการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจากสูงไปต่ำ

PSA (Prescaler assignment bit) : บิตเลือกการทำงานของปริสเกลเลอร์

- “0” เลือกให้ปริสเกลเลอร์ทำงานร่วมกับไทมเมอร์0
- “1” เลือกให้ปริสเกลเลอร์ทำงานร่วมกับวอตช์ดีค็อกไทมเมอร์ เมื่อปริสเกลเลอร์ทำงานกับวอตช์ดีค็อกไทมเมอร์จะเรียกว่า โปสค์สเกลเลอร์ (postscaler)

PS2-PS0 (Prescaler rate select bit) : บิตเลือกอัตราส่วนของปริสเกลเลอร์เมื่อทำงานร่วมกับทั้งวอตช์ดีค็อกไทมเมอร์และไทมเมอร์0 ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

111 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:128

101 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:64

100 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:32

011 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:16

010 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:8

001 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:4

000 = อัตราส่วนปริสเกลเลอร์ คือ 1:2

โดยเลขสามตัวแรกมาจากค่าของ บิต PS2 : PS1 :PS0 ตามลำดับ

ไทมเมอร์1

เช่นเดียวกับไทมเมอร์0 โมดูลไทมเมอร์1 นี้สามารถกำหนดให้ทำงานได้ 2 ลักษณะ คือ เป็นตัวตั้งเวลาหรือไทมเมอร์ และตัวนับหรือเคาน์เตอร์ โดยไทมเมอร์1 เป็นไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต ประกอบด้วยไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัวต่อรวมกัน โดย 16 บิตนี้จะอยู่ในรีจิสเตอร์ TMR1H และ TMR1L ซึ่งสามารถทำการอ่านและเขียนได้ โดยค่าการนับของรีจิสเตอร์ทั้ง 2 จะอยู่ในช่วง 0000h - FFFFh และจะมีการเกิด Overflow ขึ้นเมื่อค่าการนับ TMR1H:TMR1L เปลี่ยนแปลงจาก FFFFh มาเป็น 0000h และจะมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นหากเราเลือกเอนเอเบิล อินเตอร์รัปต์ของไทมเมอร์1 ไว้ โดยการเอนเอเบิลหรือคิสเอเบิลนี้กำหนดที่บิต TMR1IE ในรีจิสเตอร์ PIE และ TMR1IF จะเป็นแฟล็กแสดงสถานะของการอินเตอร์รัปต์ของไทมเมอร์1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
RD16	-	TICKPS1	TICKPS0	TIOSCEN	TISYNC	TMR1CS	TMR1ON
R/W-1	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

RD16 (16 bit Read/Write Mode Enable bit) : บิตเอนเอเบิลการอ่าน/เขียนแบบ 16 บิต

“0” เอนเอเบิลรีจิสเตอร์การอ่าน/เขียนของไทมเมอร์1 ในแบบ 8 บิต 2 ตัว

“1” เอนเอเบิลรีจิสเตอร์การอ่าน/เขียนของไทมเมอร์1 ในแบบ 16 บิต 1 ตัวบิต 6 ไม่ใช้งาน อ่านค่าได้เป็น “0”

TICKPS1 :TICKPS0 (Timer1 Input Clock Prescale Select bits) : บิตเลือกขนาดปริสเกลเลอร์ที่เข้ามายังไทมเมอร์1

11 = 1:8 Prescale value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 = 1:4 Prescale value

01 = 1:2 Prescale value

00 = 1:1 Prescale value

TIOSCEN (Timer1 Oscillator Enable bit) : บิตเอ็นเอเบิลการออสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์1

“0” คิสเอเบิลการทำงานของออสซิลเลเตอร์

“1” เอ็นเอเบิลการทำงานของออสซิลเลเตอร์

TISYNC (Timer1 External Clock Input Synchronization Select bit)

เมื่อ TMR1CS = 1

“0” สัญญาณนาฬิกาภายนอกจะสัมพันธ์ หรือ มีเฟสตรงกับสัญญาณนาฬิกาภายใน

“1” สัญญาณนาฬิกาภายนอกไม่ต้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาภายในเมื่อ TMR1CS = 0

บิตนี้จะไม่ใช้งานเนื่องจากบิต TMR1CS เป็น “0” ทำให้อยู่ในโหมดไทมเมอร์

TMR1CS (Timer1 Clock Source Select bit) : บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์1

“0” ใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน (Fosc/4) ของชิพ

“1” ใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอกจากขา RC0/TIOSO/TICKI (ขณะขอขาขึ้น)

TMR1ON (Timer1 On bit) : บิตเอ็นเอเบิลไทมเมอร์1

“0” คิสเอเบิลไทมเมอร์1

“1” เอ็นเอเบิลไทมเมอร์1

Timer 3

ไทมเมอร์3 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 16 บิต ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ (รีจิสเตอร์ 8 บิต 2 ตัว TMR3H และ TMR3L)
- อ่านและเขียนได้ทุกรีจิสเตอร์
- เลือกนาฬิกาภายในหรือภายนอกได้
- อินเตอร์รัปต์ขณะเกิด โอเวอร์โฟลวจาก FFFFh ถึง 0000h
- รีเซตจาก โมดูล CCP1/ECCP1 ทริกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
RD16	T3ECCP1	T3CKPS1	T3CKPS0	T3CCP	$\overline{T3SYNC}$	TMR3CS	TMR3ON
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

RD16 (16 bit Read/Write Mode Enable bit) : บิตเอ็นเอเบิลการอ่าน/เขียนแบบ 16 บิต

- “0” เอ็นเอเบิลรีจิสเตอร์การอ่าน/เขียนของไทเมอร์3 ในแบบ 8 บิต 2 ตัว
- “1” เอ็นเอเบิลรีจิสเตอร์การอ่าน/เขียนของไทเมอร์3 ในแบบ 16 บิต 1 ตัว

T3ECCP1 : T3CCP1 (Timer3 and Timer1 to CCP1/ECCP1 Enable bits) : บิตเอ็นเอเบิลจากไทเมอร์ 1 และ 3 ไปยัง CCP1/ECCP1

1x = ไทเมอร์ 3 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสำหรับเปรียบเทียบ/ตรวจจับโมดูล CCP1/ECCP1

01 = ไทเมอร์ 3 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสำหรับเปรียบเทียบ/ตรวจจับโมดูล ECCP1

ไทเมอร์ 1 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสำหรับเปรียบเทียบ/ตรวจจับโมดูล CCP1

00 = ไทเมอร์ 1 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสำหรับเปรียบเทียบ/ตรวจจับโมดูล CCP1/ECCP1

T3CKPS1 : T3CKPS0 (Timer3 Input Clock Prescale Select bits) : บิตเลือกขนาดปรีสเกลเลอร์ที่เข้ามายังไทเมอร์3

11 = 1:8 Prescale value

10 = 1:4 Prescale value

01 = 1:2 Prescale value

00 = 1:1 Prescale value

T3SYNC (Timer3 External Clock Input Synchronization Control bit) :

(จะไม่มีการใช้ถ้าระบบสัญญาณมาจากไทเมอร์ 1 และ 3) เมื่อ TMR3CS = 1

“0” สัญญาณนาฬิกาภายนอกจะสัมพันธ์ หรือ มีเฟสตรงกับสัญญาณนาฬิกาภายใน

“1” สัญญาณนาฬิกาภายนอกไม่ต้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาภายใน

เมื่อ TMR1CS = 0 บิตนี้จะไม่ใช่งานเนื่องจากบิต TMR1CS เป็น “0” ทำให้อยู่ในโหมดไทเมอร์

TMR3CS (Timer1 Clock Source Select bit) : บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์3

“0” ใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน (Fosc/4) ของซีพียู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“1” ใช้สัญญาณพัลสมาตราจากขา RC0/TIOSO/TICKI (ขณะขอบขาขึ้น)

TMR3ON (Timer1 On bit) : บิตเอ็นเอเบิลไทมเมอร์3

“0” คิสเอเบิลไทมเมอร์3

“1” เอ็นเอเบิลไทมเมอร์3



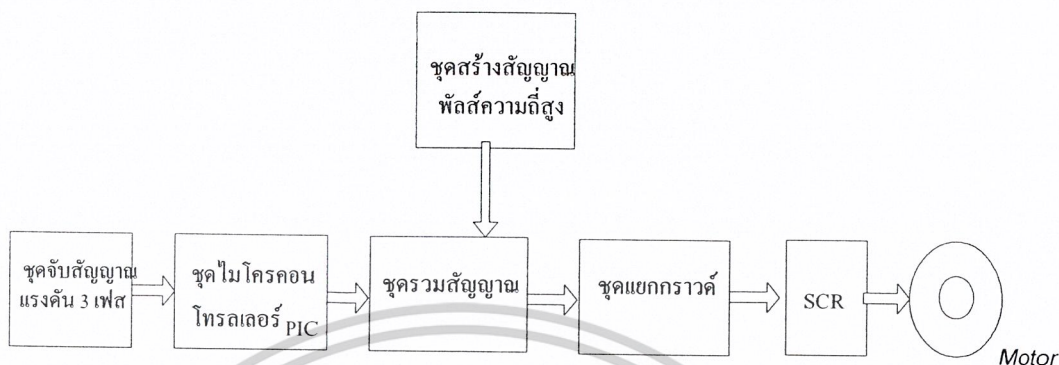
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

วงจรจุดชนวนเอสซีอาร์

7.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์

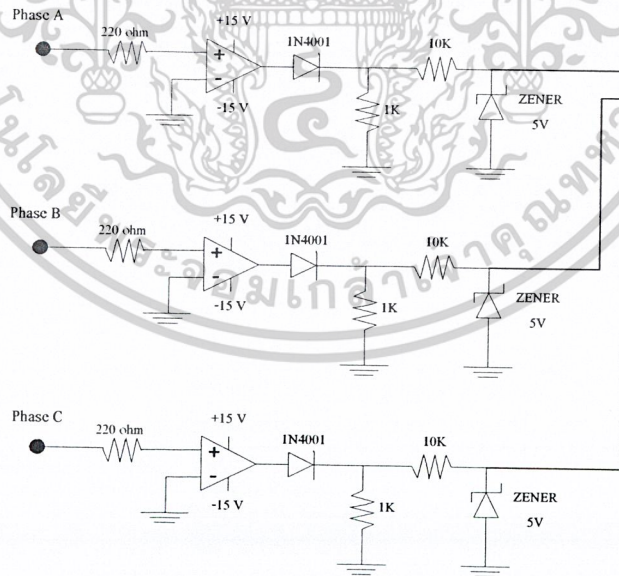
บล็อกไดอะแกรมที่ใช้ในการจุดชนวนเอสซีอาร์นั้นมีรูปแบบดังนี้



รูปที่ 7-1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์

บล็อกไดอะแกรมของวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์นั้น จะประกอบไปด้วย ชุดจ่ายสัญญาณแรงดัน 3 เฟส ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดรวมสัญญาณ ชุดสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง ชุดรวมสัญญาณ ชุดแยกกราวด์ เมื่อนำมาต่อกันตามบล็อกไดอะแกรมจึงจะสามารถจุดชนวนเอสซีอาร์ ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนได้ และในแต่ละชุดของวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์นั้นจะได้กล่าวต่อไป

7.2 ชุดตรวจจ่ายสัญญาณแรงดันสามเฟส



รูปที่ 7-2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์

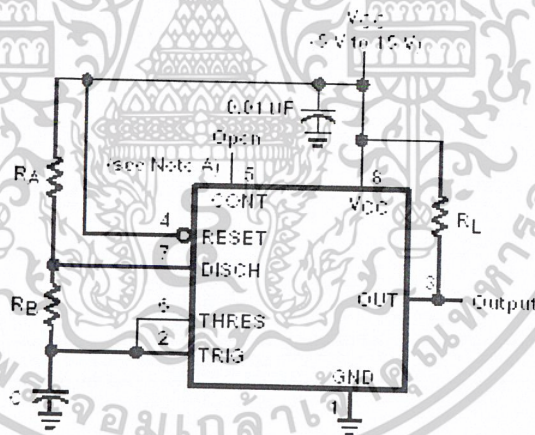
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์หรือวงจร Zero Crossing Detector ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดันไฟกระแสสลับ 15 โวลต์เข้าทางขาบวกของ ไอซี และขาลบของ ไอซี ทำการต่อลง กราวด์ เพื่อที่จะต้องการสัญญาณทางด้านซีกบวกอย่างเดียว โดยมีค่าความต้านทาน 220 โอห์มมาจำกัดกระแสที่จะเข้ามาทางด้านขาบวกของ IC และสัญญาณที่ออกทางขาเอาต์พุต นั้นเป็นสัญญาณที่เป็นพัลส์ที่ ตรวจสอบได้ทางซีกบวกของ ไซน์ เท่านั้นเมื่อมีสัญญาณออกมาแล้วก็จะทำการให้สัญญาณนั้นเป็นสัญญาณ คีซี โดยผ่านทางไดโอด 1N4001 และก่อนจะนำไปใช้นั้นต้องนำ ซีเนอร์ไดโอด 5 โวลต์มาต่อคร่อมลงกราวด์ไว้เพื่อที่จะให้สัญญาณที่ได้มานั้นเป็นสัญญาณพัลส์ 5 โวลต์ที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์นำไปใช้ได้

7.3 ชุดสร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์

ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 18F458 ในการประมวลผลโดยในการสร้างสัญญาณพัลส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณ square wave จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันศูนย์ แล้วนำสัญญาณทั้งสามเฟสนี้ไปเป็นตัวสร้างสัญญาณทริกให้กับเอสซีอาร์ ซึ่งจะใช้ไทมเมอร์ถึง 3 ตัวในการกำหนดความกว้างของพัลส์ให้เป็น 1 และ 0 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสร้างสัญญาณเสร็จ ก็จะปล่อยสัญญาณออกทางพอร์ตเอาต์พุต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมกับรับ อินพุต ในการเลือกเวลาในการสตาร์ท และเปอร์เซ็นต์แรงดันเริ่มต้นในการสตาร์ท

7.4 ชุดสร้างสัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่อง

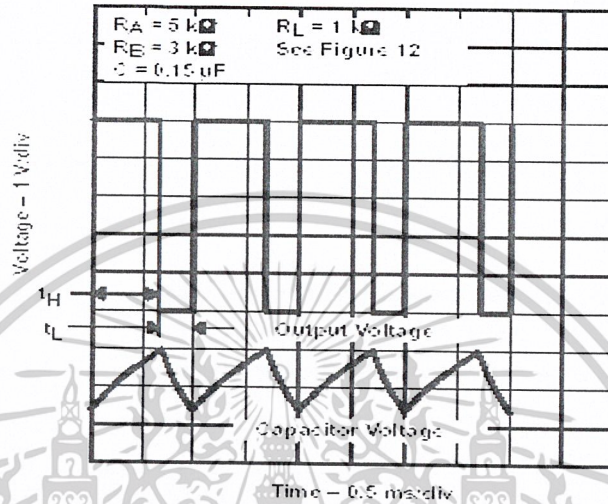


รูปที่ 7-3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

ในที่นี้ใช้ ไอซี 555 เป็นไอซีที่ค่อนข้างใช้ไฟเลี้ยงในช่วงกว้างมาก กลางคือตั้งแต่ 5 ถึง 15 โวลต์ มีการทำงานอยู่ 2 ประเภทคือประเภทการสร้างสัญญาณตลอดเวลา หรือที่เราเรียกว่า อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) และประเภทสร้างสัญญาณเพียงหนึ่งลูกคลื่น หรืออย่างที่เราเรียกว่า วันชอตมัลติไวเบรเตอร์ (Oneshot Multivibrator) หรือ โมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปเป็นการแสดงการทำงานประเภท ออสซิลเลตอร์แบบมัลติไวเบรเตอร์ ของไอซี 555 จะเห็นได้ว่า สัญญาณแรงดันจะเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันสูงแล้วต่ำแล้วสูง เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ไม่มีหยุด ช่วงเวลาของเอาต์พุทที่จะหาได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาต่อวงจรภายนอกไอซี 555 ข้อสังเกตคือแรงดันเอาต์พุทสูงสุด (V_{peak}) จะมีค่าน้อยกว่าไฟเลี้ยง (V_{cc}) เสมอ และค่าแรงดันเอาต์พุทในขณะที่มีค่าต่ำสุดจะมีค่าประมาณ 0.1 โวลท์



รูปที่ 7-4 รูปคลื่นจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

จะใช้ IC 555 ดังรูปที่ 7-4 โดย IC 555 จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณตลอดเวลาและจะได้รูปสัญญาณดังรูปที่ 5 ที่เวลา A ทั้งขา 2 และ ขา 6 จะมีค่าต่ำกว่า $V_{LT} = V_{CC}/3$ ซึ่งทำให้แรงดันเอาต์พุทที่ขา 3 มีค่าสูง ในขณะที่ขา 7 จะเสมือนถูกเปิดวงจรออกดังนั้นตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุโดยผ่าน $R_A + R_B$ และเอาต์พุทจะมีค่าต่ำระหว่างเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คลายประจุจาก $2/3 V_{CC}$ ถึง $1/3 V_{CC}$ ดังสมการ

$$T_{low} = 0.695 R_b C \quad (7-1)$$

ดังนั้นช่วงเวลาทั้งหมดหรือคาบเวลา T จะเท่ากับ

$$T = t_{low} + t_{high} = 0.695 (R_a + 2R_b) C \quad (7-2)$$

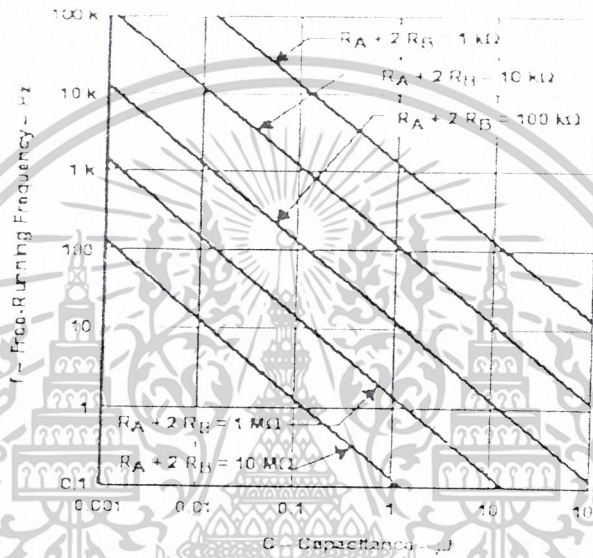
ซึ่งเมื่อกลับเศษส่วนของคาบเวลาแล้วจะได้ความถี่คือ

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1.44}{(R_a + 2R_b) C} \quad (7-3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

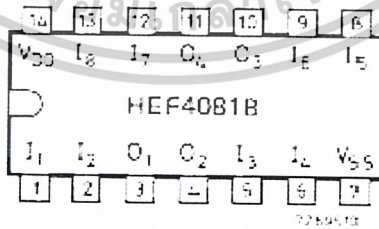
- t_{low} = ช่วงเวลาแรงดันต่ำ
- t_{high} = ช่วงเวลาแรงดันสูง
- T = คาบเวลา
- C = ค่าตัวเก็บประจุ
- R_A, R_B = ค่าตัวต้านทาน

จากสมการนำมาสร้างกราฟและมีการเปลี่ยนค่า $(R_A + 2R_B)$ ก็จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 7-5 ความถี่ในการ Oscilate จะหาได้ค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ

7.5 ชุดรวมสัญญาณ

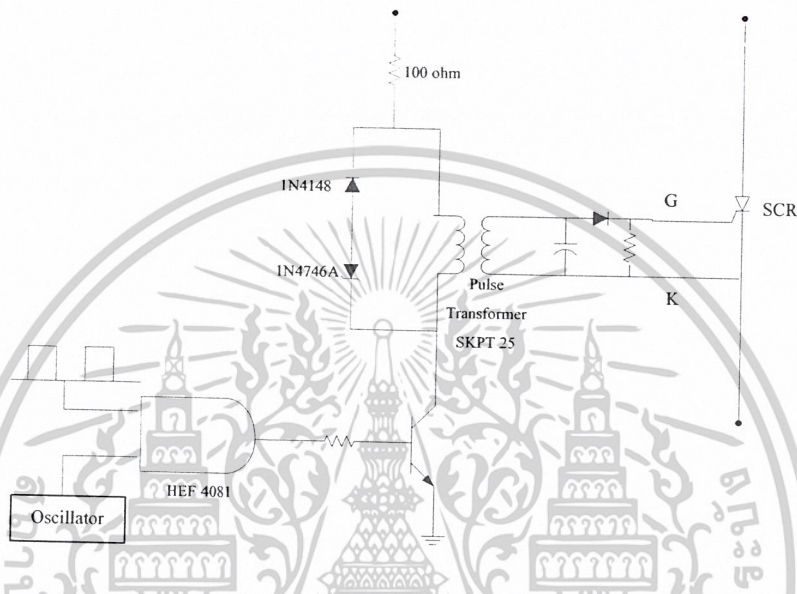


รูปที่ 7-6 ไอซี HEF 4081 ที่ใช้ในชุดรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟสัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์ธรรมดาไม่สามารถที่จะกระตุ้นให้เอสซีอาร์ทำงานได้น่ากระแสได้ เนื่องจากสัญญาณกระตุ้นในช่วงลบหมดลงก่อนที่เอสซีอาร์ทำงานในช่วงบวกหยุดนำกระแส ดังนั้นเอสซีอาร์ที่ทำงานในครึ่งลบจึงไม่น่ากระแสจึงต้องใช้สัญญาณกระตุ้นแบบต่อเนื่องสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์และสัญญาณที่ได้จาก IC 555 จะถูกนำมาแอนด์กัน ซึ่งใช้ IC เบอร์ HEF4081

7.6 ชุดแยกกราวด์



รูปที่ 7-7 วงจรที่ต่อใช้งานร่วมกับพัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์

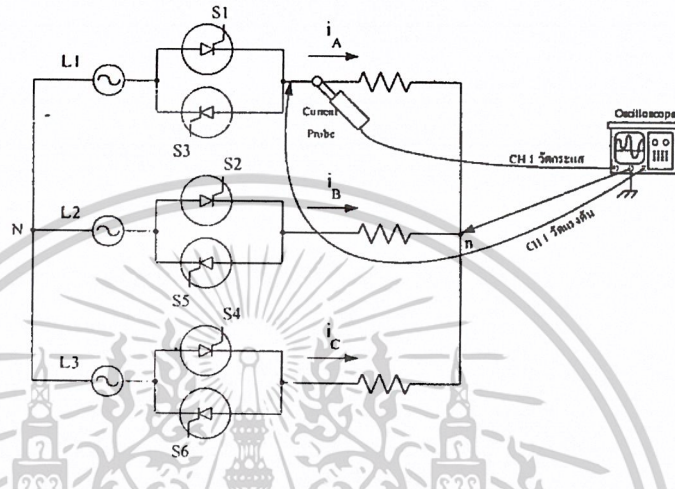
สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุตของชุดขยายสัญญาณ ไม่ควรที่จะต่อโดยตรงกับวงจรกำลังเพราะ อาจจะทำให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเสียหายได้เมื่ วงจรกำลังเกิดความผิดปกติขึ้น ในที่นี้เราใช้ Pulse Transformer ทำหน้าที่แยกกราวด์ของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นกับวงจรกำลังออกจากกัน ในที่นี้ใช้ Pulse Transformer เบอร์ SKPT 25 ดังรูปที่ 7-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

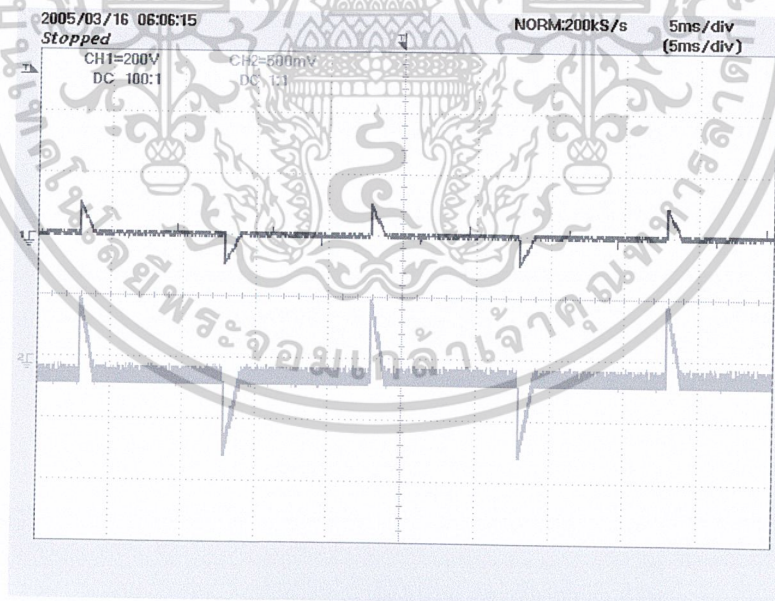
บทที่ 8

การทดลองและผลการทดลอง

ชุดสตาร์มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวล โดยการใช้วิธีปรับขนาดสัญญาณจุดชนวนเอสซีอาร์ การปรับสัญญาณจุดชนวนควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 18F458 สร้างสัญญาณในมุมจุดชนวนต่างๆ นำชุดสตาร์มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มนวลมาทดสอบโดยการต่อโหลดความต้านทานดังรูป



รูปที่ 8-1 แสดงการวัดกระแสและแรงดันของโหลดความต้านทาน

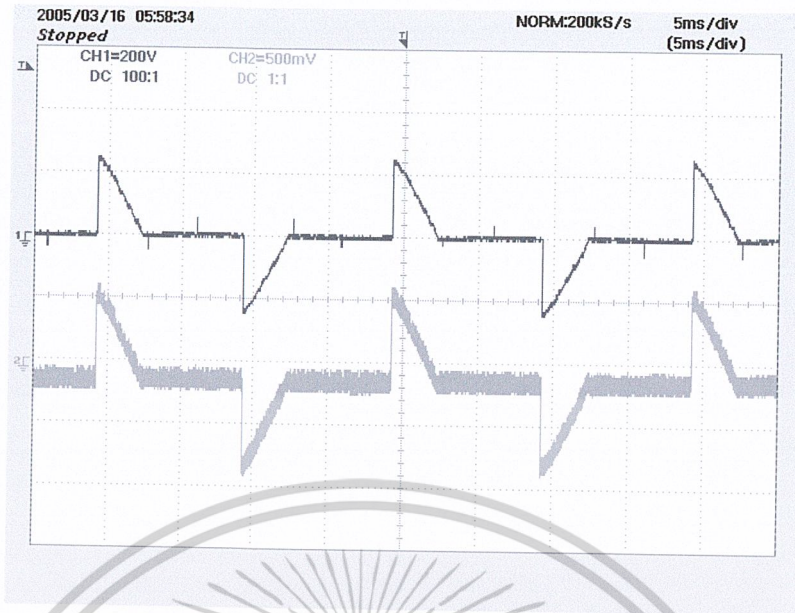


รูปที่ 8-2 กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 160 องศา

รูปบน : แรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 160 องศา

รูปล่าง : กระแสเฟสที่มุมจุดชนวน 160 องศา

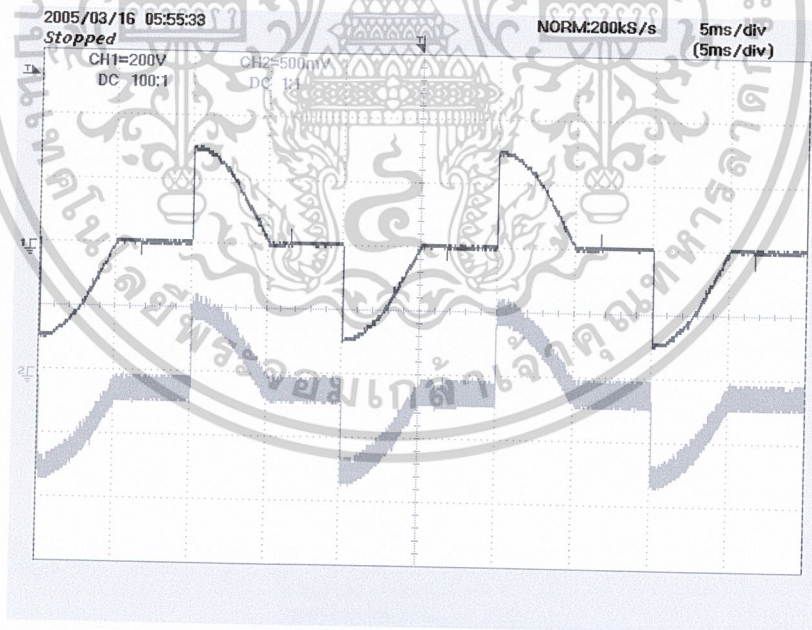
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-3 กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 130 องศา

รูปบน : แรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 130 องศา

รูปล่าง : กระแสเฟสที่มุมจุดชนวน 130 องศา

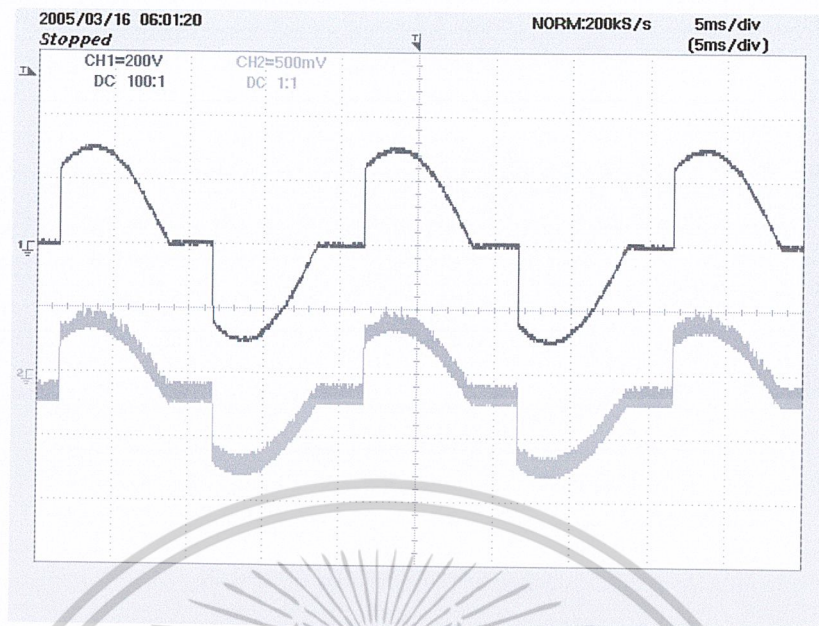


รูปที่ 8-4 กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 90 องศา

รูปบน : แรงดันเฟสที่มุมจุดชนวน 90 องศา

รูปล่าง : กระแสเฟสที่มุมจุดชนวน 90 องศา

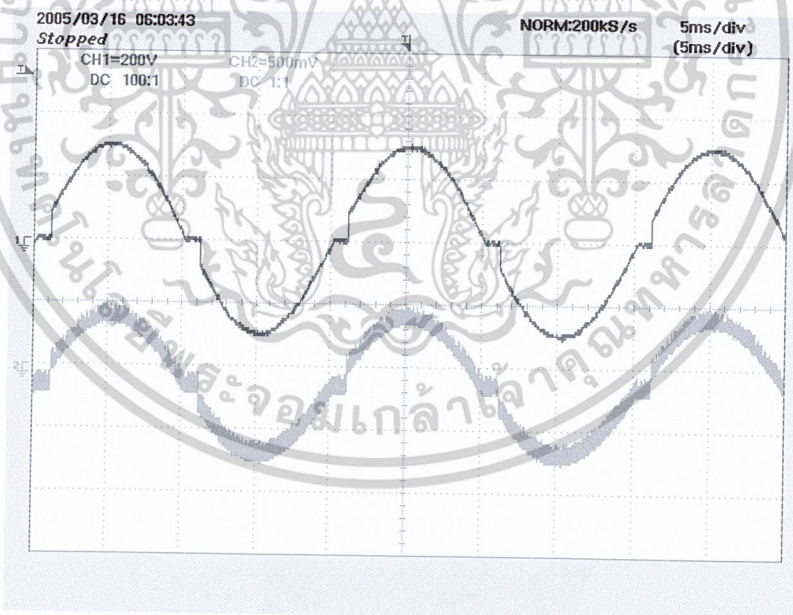
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-5 กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจูดขนวน 50 องศา

รูปบน : แรงดันเฟสที่มุมจูดขนวน 50 องศา

รูปล่าง : กระแสเฟสที่มุมจูดขนวน 50 องศา



รูปที่ 8-6 กระแสเฟสและแรงดันเฟสที่มุมจูดขนวน 20 องศา

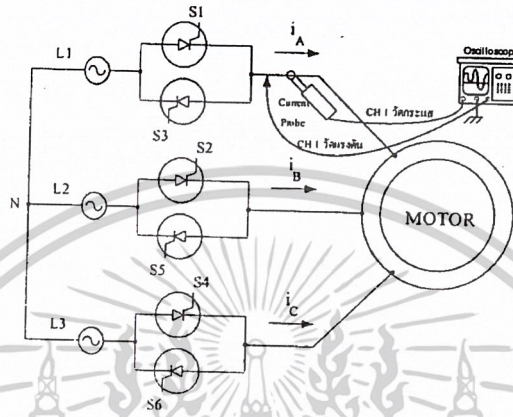
รูปบน : แรงดันเฟสที่มุมจูดขนวน 20 องศา

รูปล่าง : กระแสเฟสที่มุมจูดขนวน 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

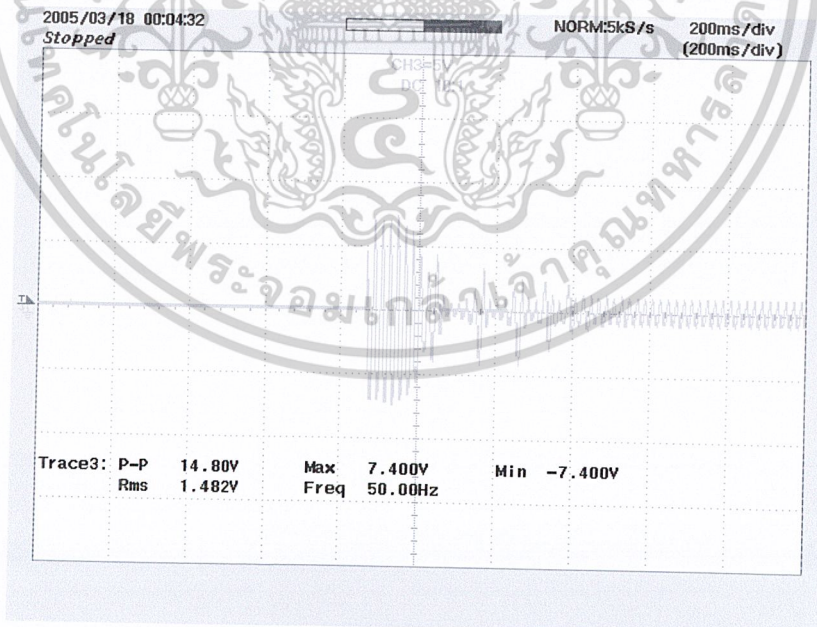
นำชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่มขนาดทดสอบโดยการต่อโหลดมอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีป้ายฉลากดังนี้

1. HP /kW : 10 / 7.5
2. VOLTAGE Δ/Y : 380 / 660
3. CURRENT Δ/Y : 15.6 / 8.98
4. 4 POLES
5. 50 Hz
6. RATED SPEED 1440 RPM



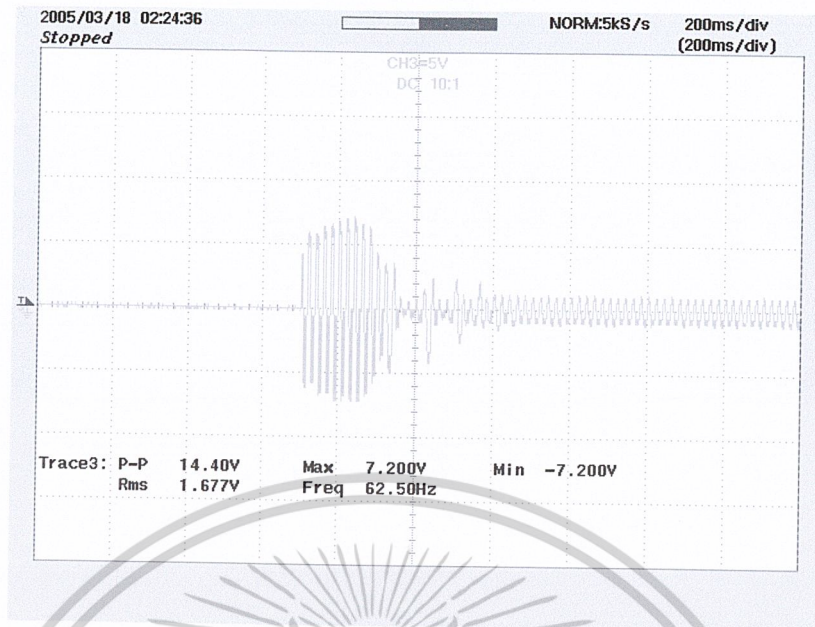
รูปที่ 8-7 แสดงการวัดกระแสและแรงดันของโหลดมอเตอร์

ผลการทดลองสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในสภาวะไร้โหลด

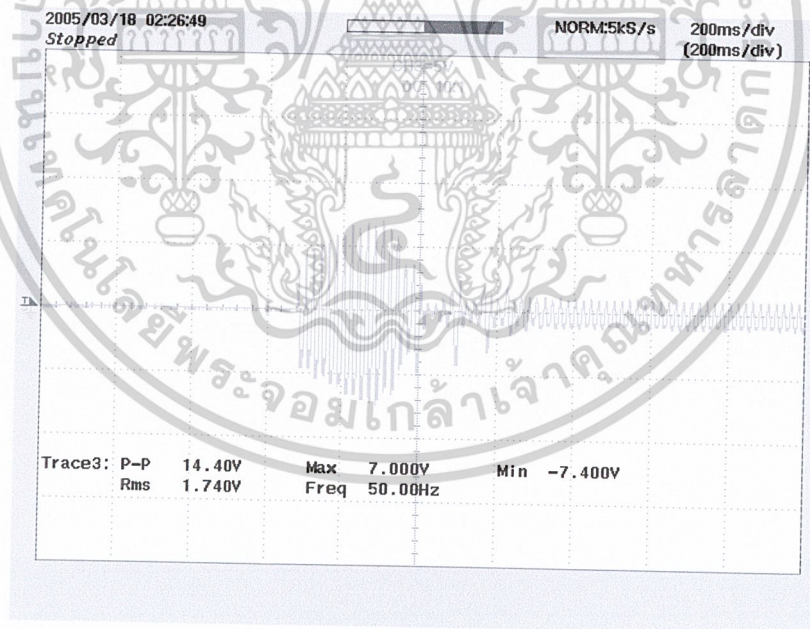


รูปที่ 8-8 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มขนาดในสภาวะไร้โหลดที่ 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

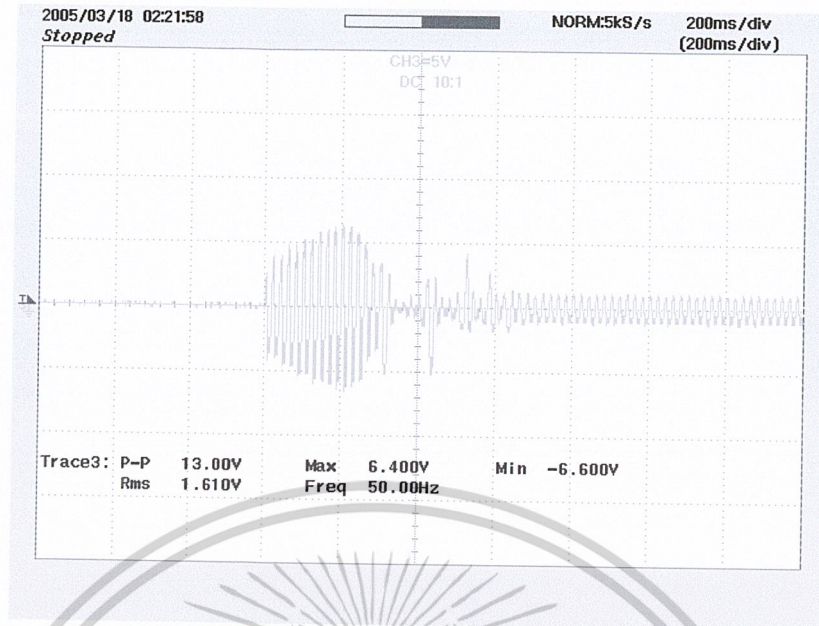


รูปที่ 8-9 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 70 องศา

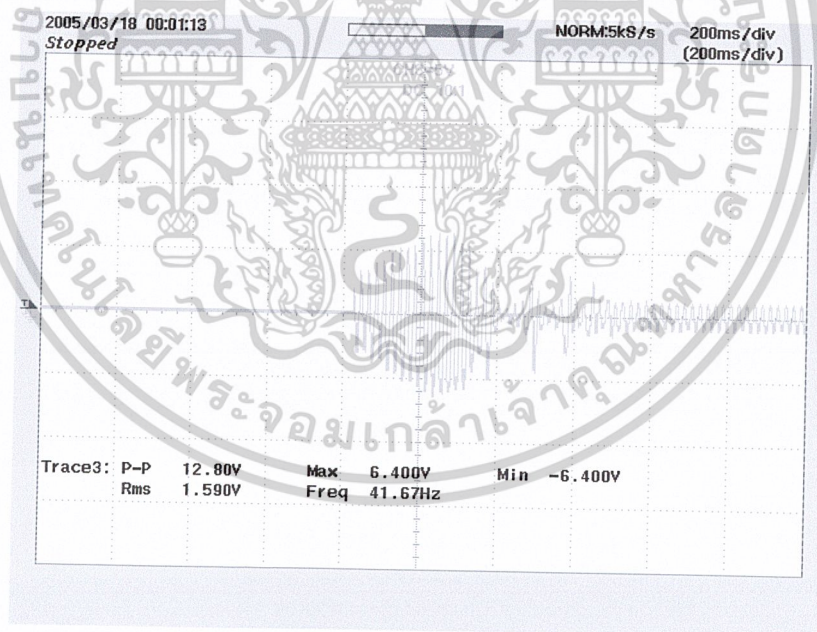


รูปที่ 8-10 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 80 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

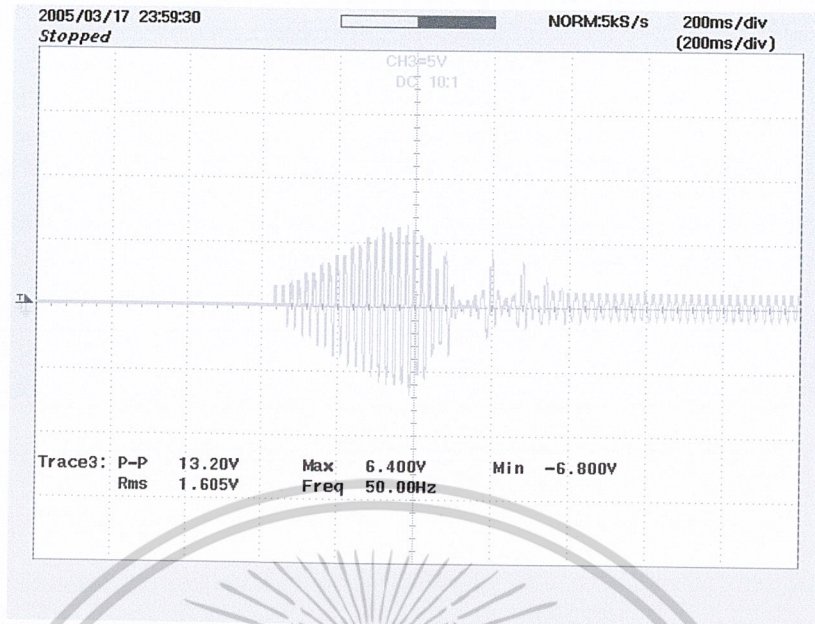


รูปที่ 8-11 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 90 องศา

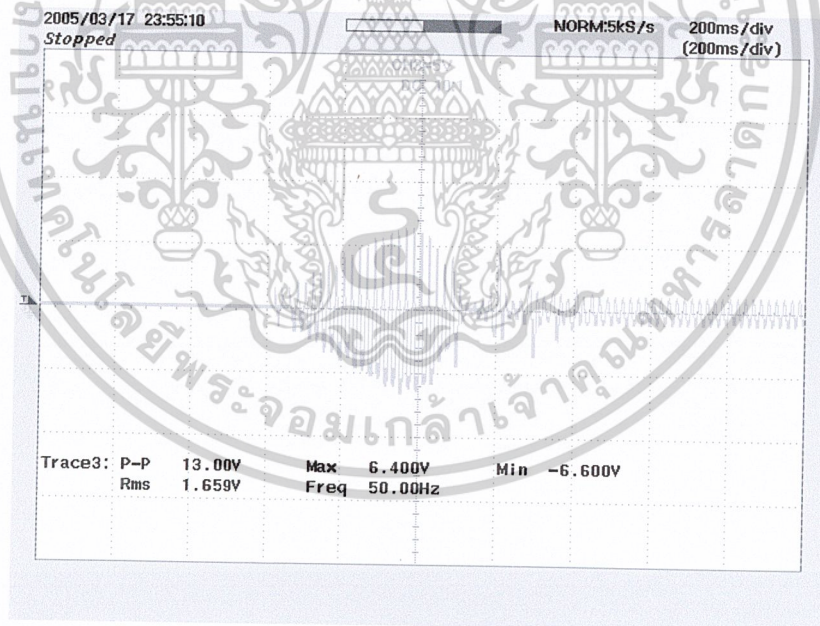


รูปที่ 8-12 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

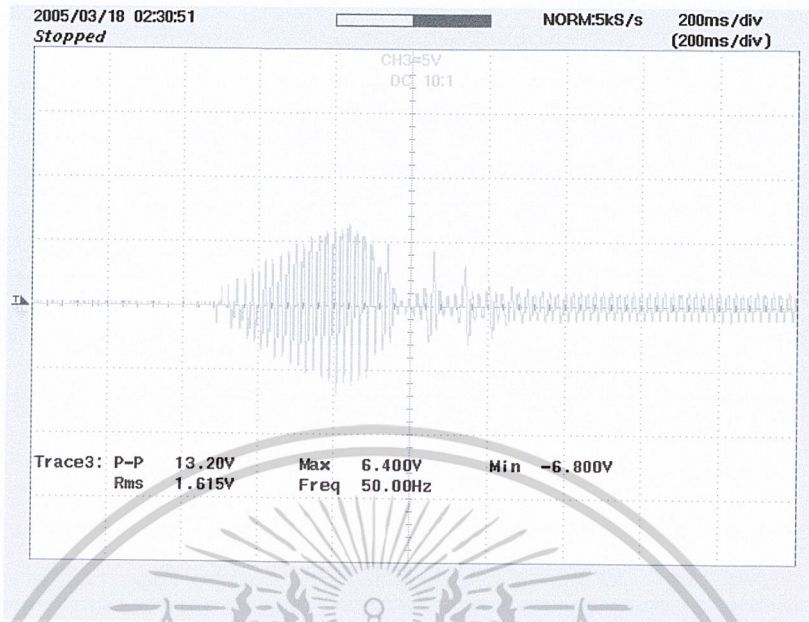


รูปที่ 8-13 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะไร้อโหลดที่ 110 องศา

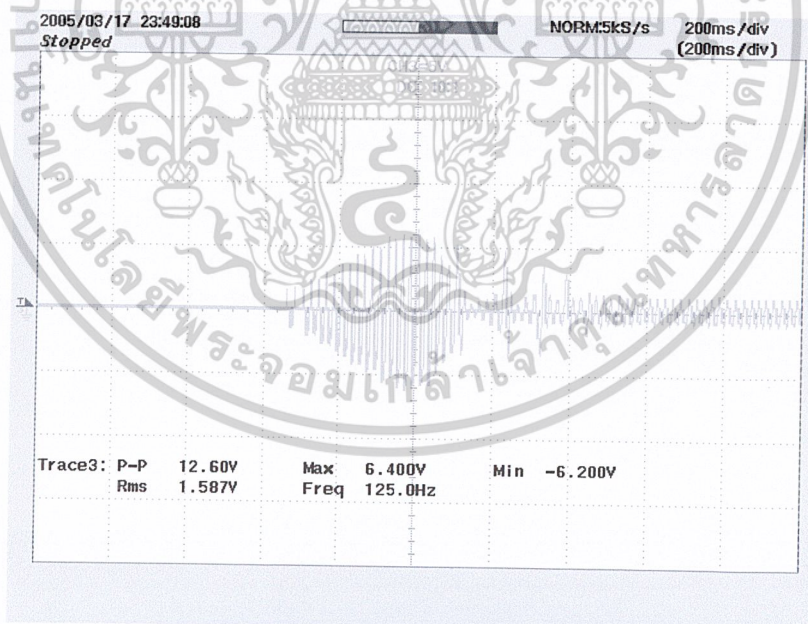


รูปที่ 8-14 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะไร้อโหลดที่ 120 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

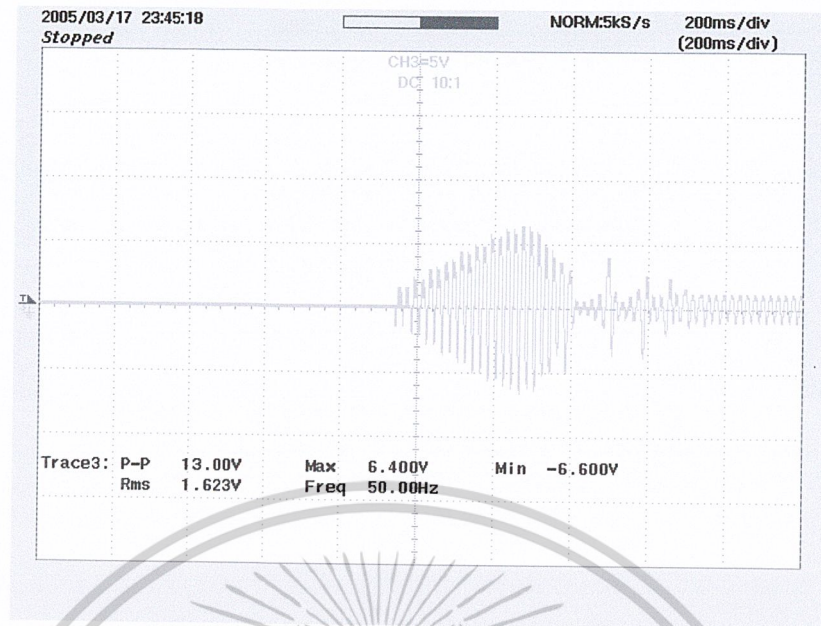


รูปที่ 8-15 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 130 องศา



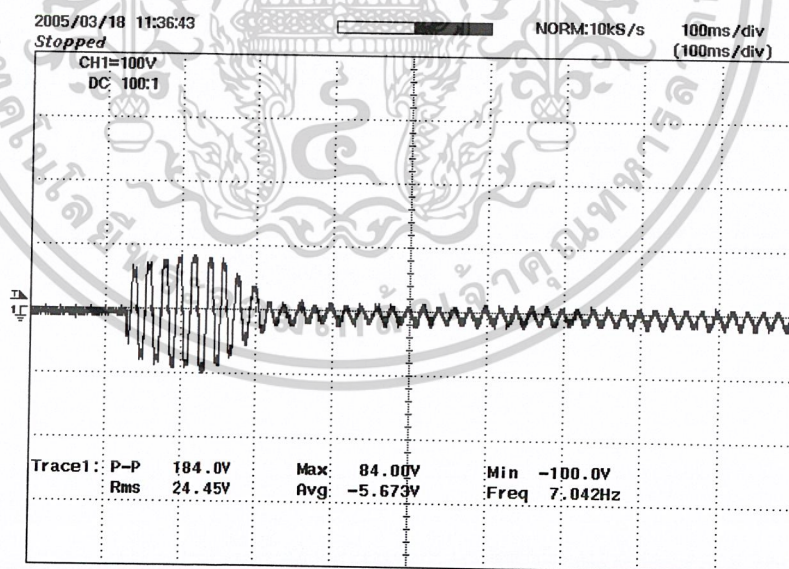
รูปที่ 8-16 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้โหลดที่ 140 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



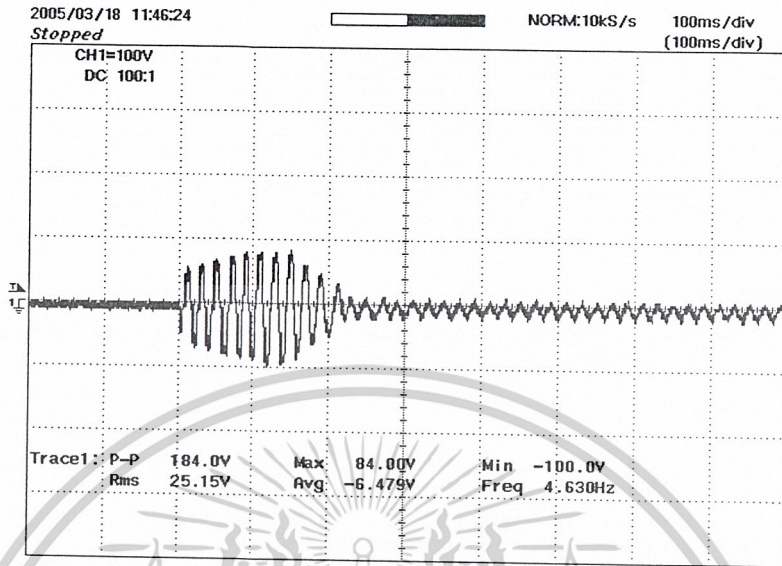
รูปที่ 8-17 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะไร้อโหลดที่ 150 องศา

ผลการทดลองสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในสภาวะต่อโหลด

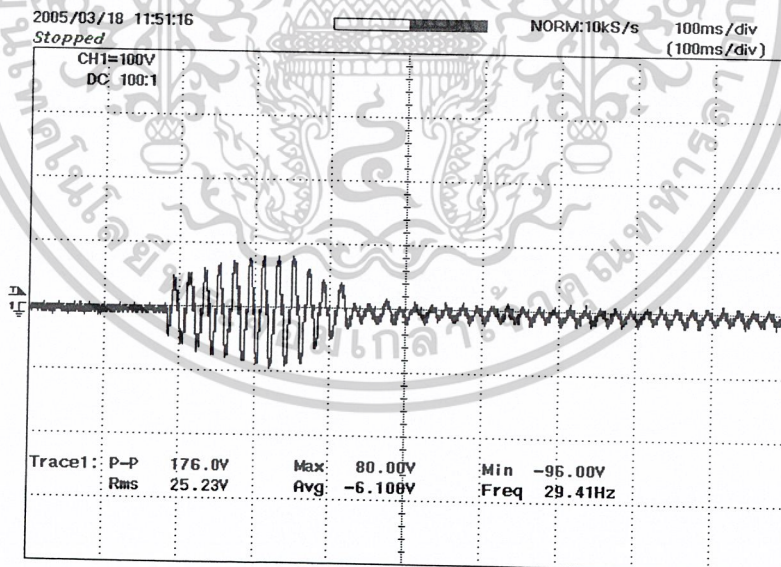


รูปที่ 8-18 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 60องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

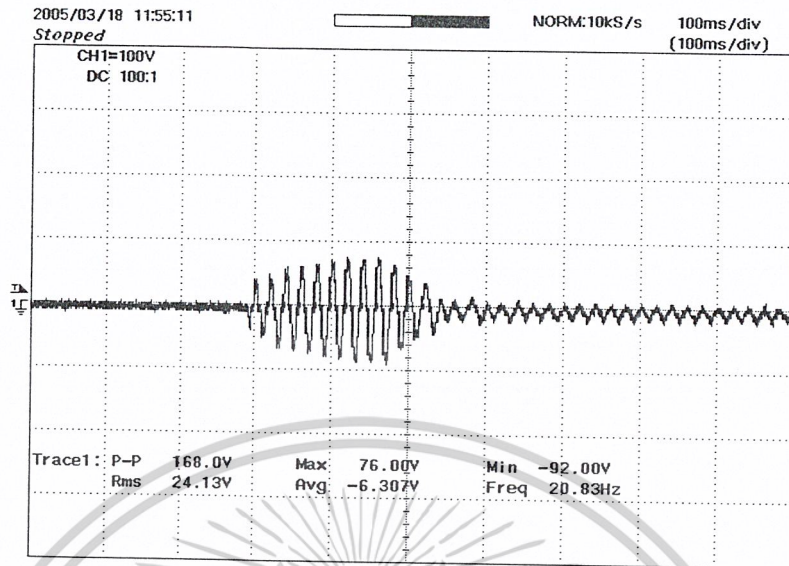


รูปที่ 8-19 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 70องศา

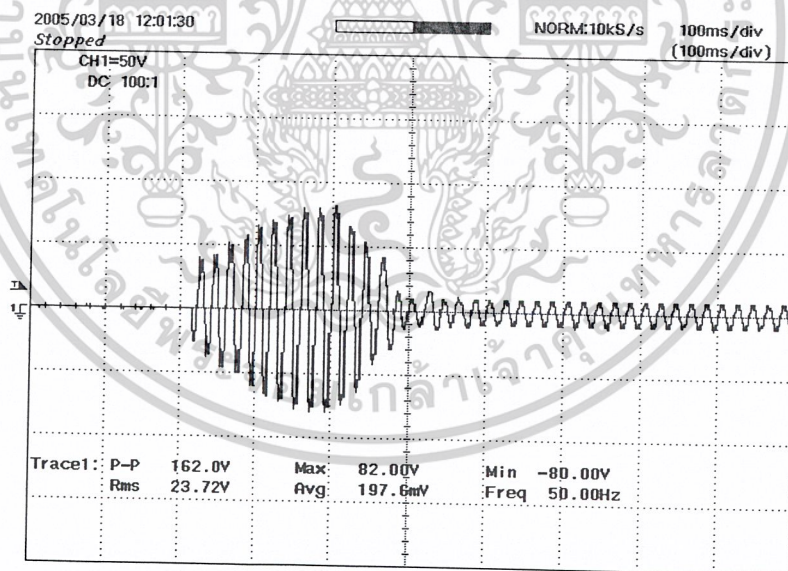


รูปที่ 8-20 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 80องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

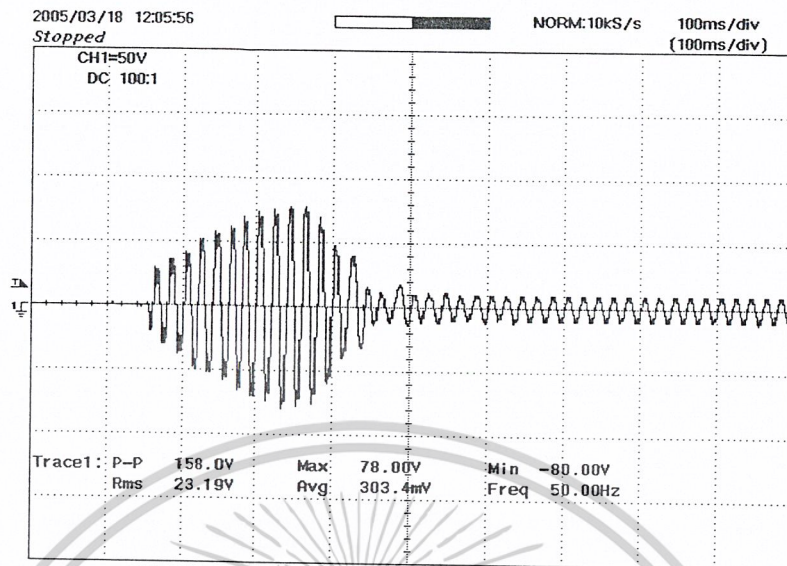


รูปที่ 8-21 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 90 องศา

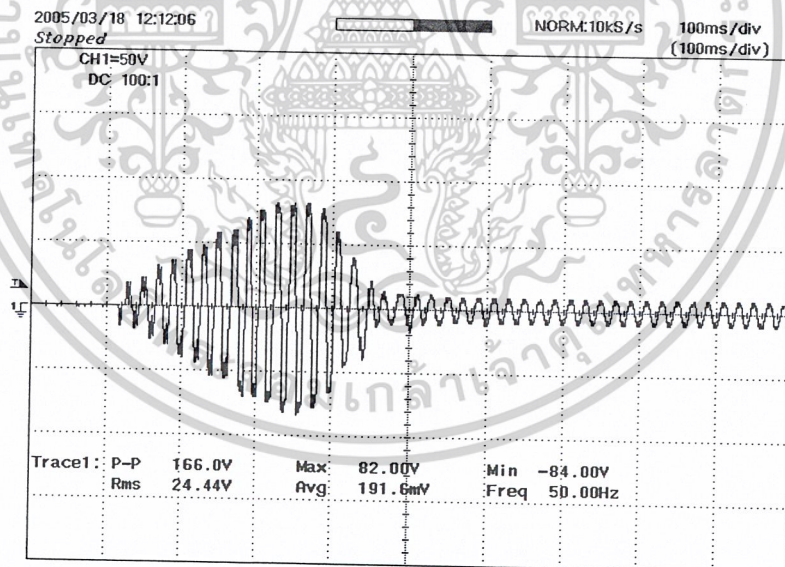


รูปที่ 8-22 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิ่มนวลในสภาวะต่อโหลดที่ 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

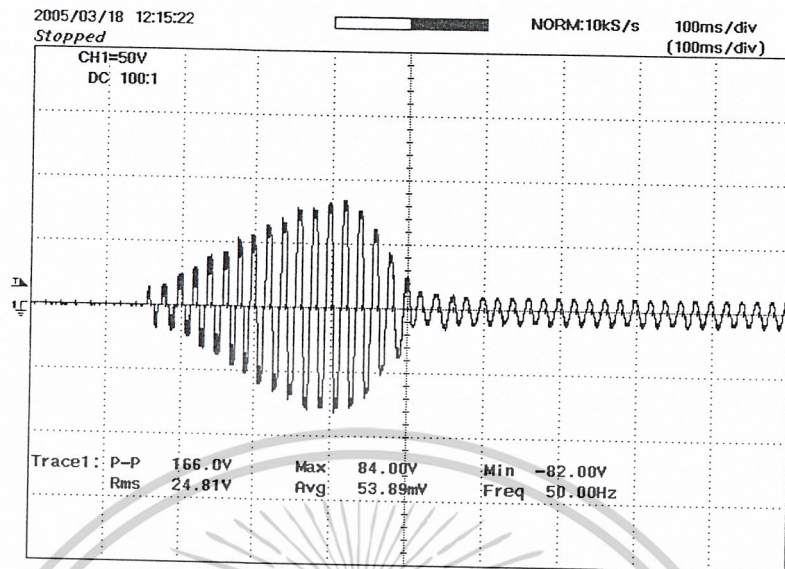


รูปที่ 8-23 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะต่อโหลดที่ 110องศา

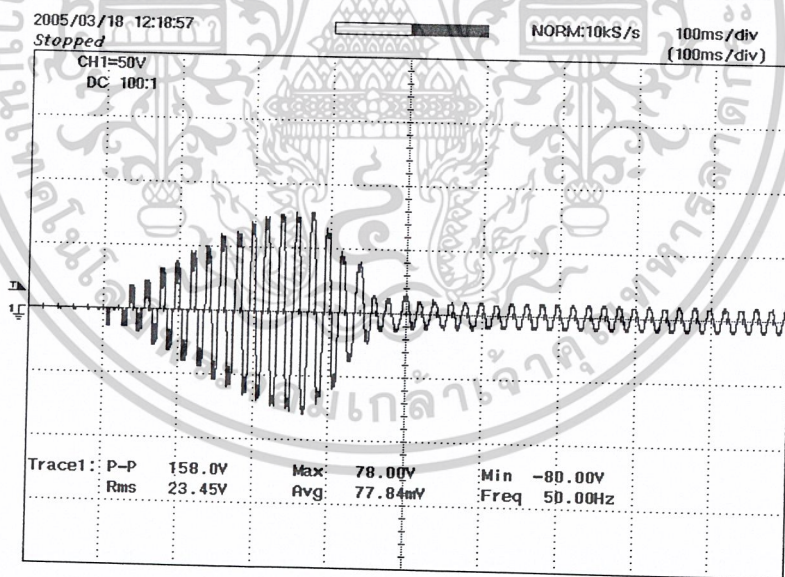


รูปที่ 8-24 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะต่อโหลดที่ 120องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

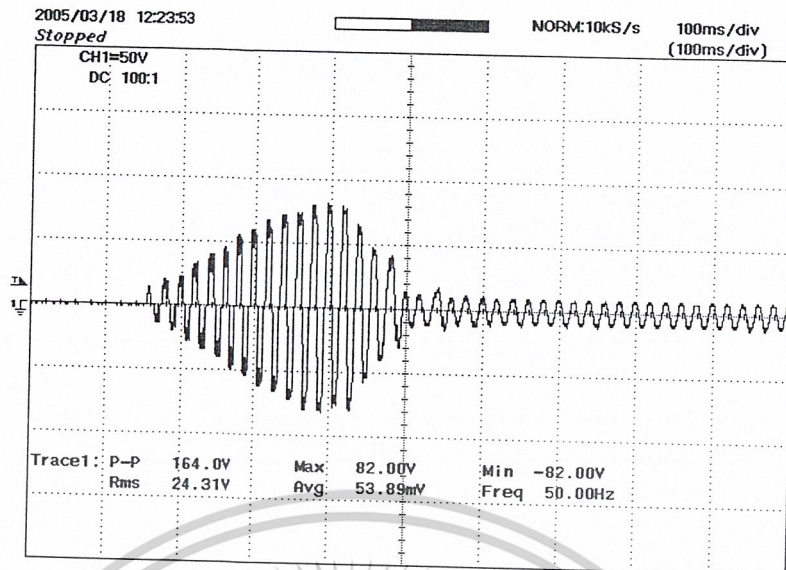


รูปที่ 8-25 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะต่อโหลดที่ 130องศา

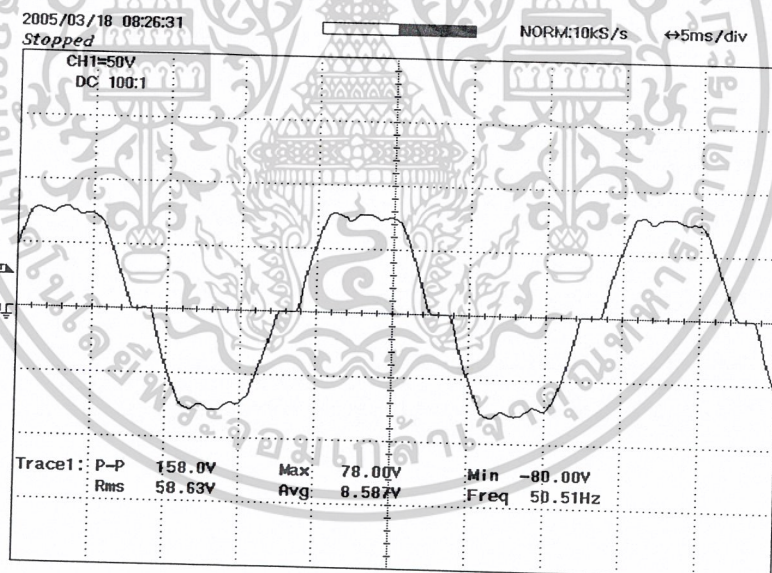


รูปที่ 8-26 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะต่อโหลดที่ 140องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-27 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์แบบนิมวอลในสภาวะต่อโหลดที่ 150องศา



รูปที่ 8-28 กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์ที่มุม 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

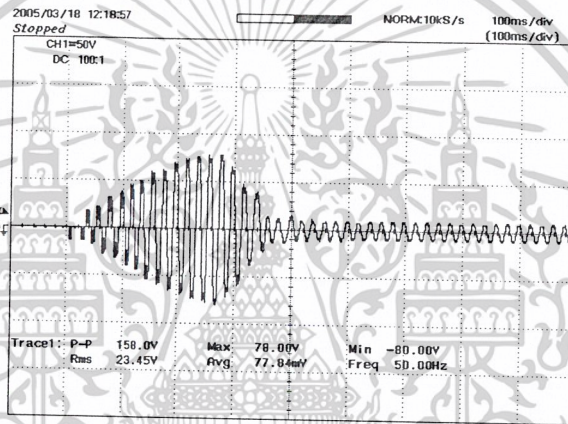
8.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าลักษณะของกระแสขณะเริ่มสตาร์ทจะมีความแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับแรงดันขณะเริ่มสตาร์ทที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยที่แรงดันนั้นถูกควบคุมโดยสัญญาณจุดชนวนของ SCR ในการควบคุมสัญญาณจุดชนวน SCR ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 18F458

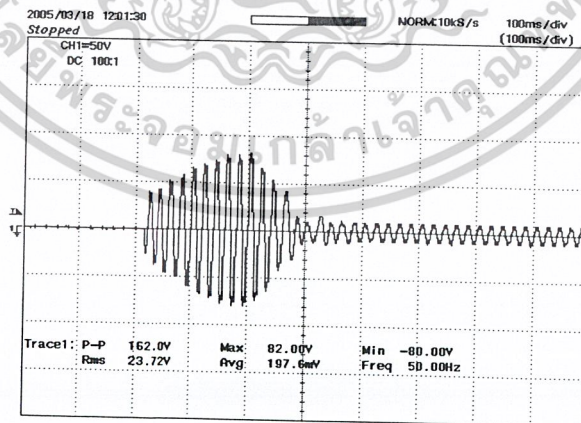
ลักษณะการควบคุมสัญญาณจุดชนวนของ SCR และผลกระทบต่อกระแสขณะเริ่มสตาร์ท

การควบคุมสัญญาณจุดชนวนของ SCR จะควบคุมขนาดความกว้างของสัญญาณ โดยที่สัญญาณที่มีความกว้างมาก(มุม ในการจุดชนวนมีค่าน้อย) จะส่งผลให้แรงดันขณะเริ่มสตาร์ทที่มีค่ามาก กระแสขณะเริ่มสตาร์ทที่มีค่าสูงและใช้เวลาในการสตาร์ทเร็ว

ในทางกลับกัน สัญญาณที่มีความกว้างน้อยกว่า(มุม ในการจุดชนวนมีค่ามาก) จะส่งผลให้แรงดันขณะเริ่มสตาร์ทที่มีค่าน้อย กระแสขณะเริ่มสตาร์ทที่มีค่าต่ำกว่าและใช้เวลาในการสตาร์ทมากขึ้น



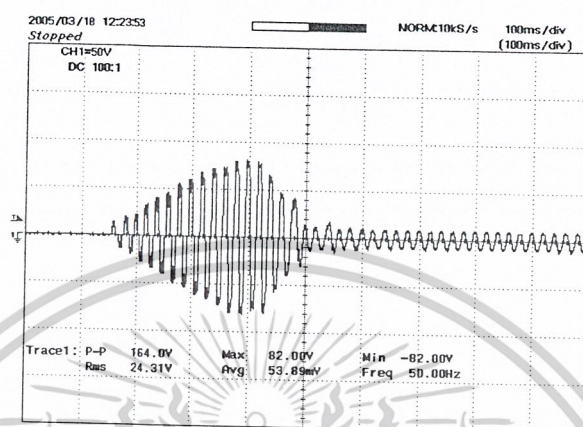
รูปที่ 8-29 ลักษณะสัญญาณกระแสที่มุมจุดชนวนมีค่ามาก



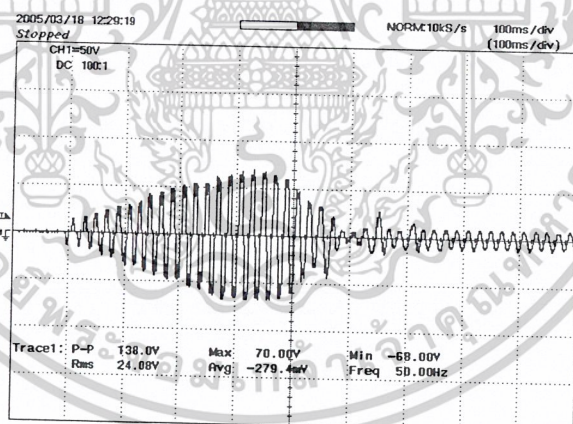
รูปที่ 8-30 ลักษณะสัญญาณกระแสที่มุมจุดชนวนมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีมอดูลความถี่เดียวกัน (ขนาดของความกว้างของสัญญาณจุดชนวนเริ่มต้นมีค่าเท่ากัน) แต่ควบคุมการเพิ่มขนาดของความกว้างของสัญญาณจุดชนวน ได้ว่า สัญญาณจุดชนวนที่มีการเพิ่มขนาดความกว้างที่มากกว่า จะส่งผลให้การใช้เวลาในการสาร์ทที่เร็วกว่าและค่าของกระแสสูงสุดขณะเริ่มสาร์ทที่มีค่ามากกว่าค่าของกระแสสูงสุดในขณะเริ่มสาร์ทที่ได้จากลักษณะของสัญญาณจุดชนวนที่มีการเพิ่มขนาดของความกว้างที่น้อยกว่า



รูปที่ 8-31 ลักษณะสัญญาณกระแสของการเพิ่มขนาดความกว้างสัญญาณจุดชนวนมาก



รูปที่ 8-32 ลักษณะสัญญาณกระแสของการเพิ่มขนาดความกว้างสัญญาณจุดชนวนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผลและวิจารณ์

9.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยชุดสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบนิ่ม นวล (3 Phase Induction Motor Soft Starter) จะพบว่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากค่าที่ได้ตั้งไว้ จนถึงแรงดันที่พิกัด และความเร็วรอบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วที่พิกัด และกระแสจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงกระแสสูงสุดและจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อเทียบกับการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยตรง

ซึ่งข้อดีของการสตาร์ทแบบนิ่มนวลนี้ก็คือ จะช่วยลดค่ากระแสในการสตาร์ท ทำให้ลดขนาดของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ที่ใช้ได้

กระแสในการสตาร์ทนั้นจะขึ้นอยู่กับทางเลือกมุมในการจุดชนวนเอสซีอาร์ ถ้าตั้งค่ามุมจุดชนวนไว้ น้อยจะทำให้ กระแสขณะสตาร์ทนั้นมีค่ามาก แต่ถ้าตั้งค่ามุมจุดชนวนไว้ มากก็ทำให้ ค่ากระแสขณะสตาร์ทนั้นมีค่าที่น้อยด้วย

ในการสตาร์ทมอเตอร์ที่มีโหลดนั้น กระแสในการสตาร์ทจะมีค่ามากกว่าการสตาร์ทมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีโหลด เพราะจะมีค่าแรงบิดของโหลดมาเพิ่ม ทำให้ค่าแรงบิดเริ่มต้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำต้องมีค่ามากกว่าค่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์จึงจะหมุน เนื่องด้วยกำลังไฟฟ้าแปรผัน โดยตรงกับแรงบิดเมื่อแรงบิดมากขึ้นกำลังไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นแล้วกระแสในการสตาร์ทก็จะมากขึ้นด้วย

9.2 ข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้เป็นการควบคุมเฉพาะแรงดัน ซึ่งเมื่อลดความแรงดันจะทำให้ความเร็วรอบลดลงด้วย ซึ่งไม่ได้เป็นควบคุมแรงบิด ในการที่จะต้องควบคุมแรงบิดได้นั้นต้องควบคุมกระแสเพื่อที่จะได้แรงบิดที่คงที่ด้วย

ซึ่งการที่จะทำให้ชุดสตาร์ทนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้นควรมีชุดป้อนกลับกระแส (Feed Back) ในการส่งค่ากระแสผ่านเข้ามายังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำไปคงค่าแรงดันที่ต้องการ โดยใช้การประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์

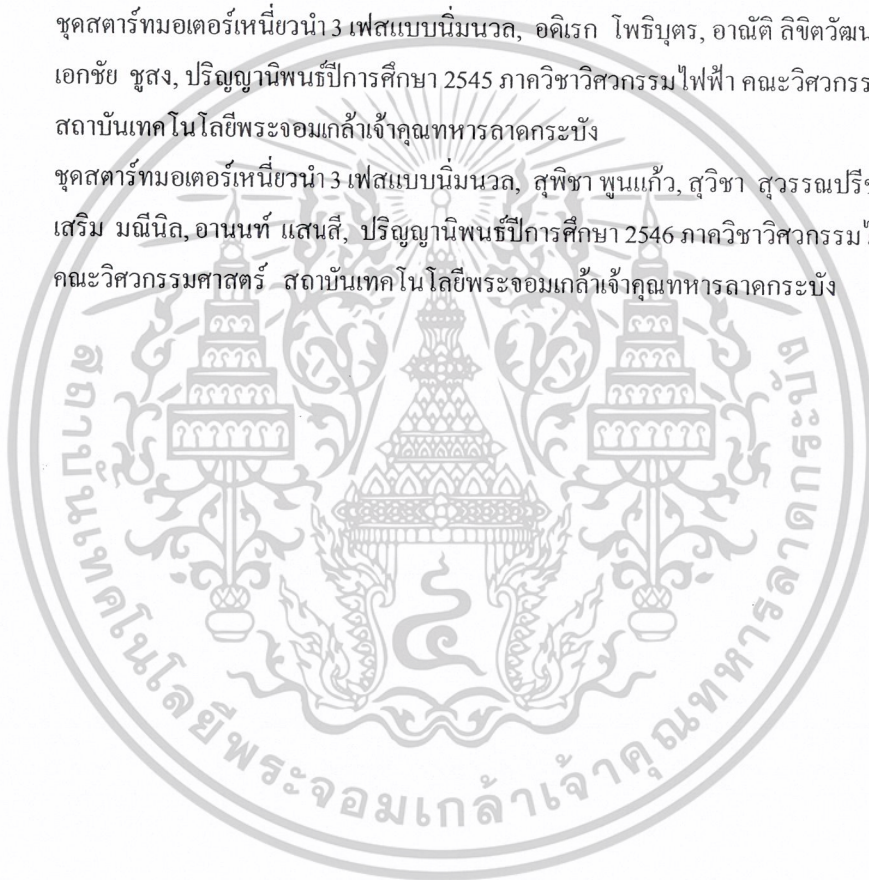
และในการสร้างสัญญาณจุดชนวนที่มีความถี่สูง ควรจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูงขึ้นจากตัวมันเอง ซึ่งจะช่วยลดชุดสตาร์ทให้มีขนาดที่เล็กลงได้ และราคาถูกลงด้วย

9.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

ในเรื่องของการนำแรงดันผ่านชุดจับสัญญาณแรงดัน 3 เฟสนั้น ถ้าเฟสหนึ่งเฟสหนึ่งเกิดหาย จะทำให้เกิดแรงดันไม่สมดุลทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรตรวจสอบแรงดันให้ครบทั้ง 3 เฟสเพื่อ ไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Mohammad H.Rashid, "Power Electronic, circuit, devices and application", second edition
Prentice hall International editions
- [2] Joseph Vithayathil "Power Electronics, principles and application", International edition
Mc-Graw Hill
- [3] Mohan, Underland, Robbin, "Power Electronics, converters, applications and design",
Second edition Wiley
- [4] A.E Fitzgerald, Charles, Kingley, Jr.,Stephan D. Umans, "Electric Machinery", fifth edition
Mc-graw Hill
- [5] ชุตศตารท์มอเดอรท์เห็นยวนำ 3 เฟสแบบน้มนวล, อดิเรก โพธิบุตร, อาณัติ ลิจิตวัฒนชัย,
เอกชัย ชูสง, ปริญญาโทปีการศึกษา 2545 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] ชุตศตารท์มอเดอรท์เห็นยวนำ 3 เฟสแบบน้มนวล, สุพิชา พูนแก้ว, สุวิชา สุวรรณปรีชา,
เสริม มณีนิล, อานนท์ แสนสี, ปริญญาโทปีการศึกษา 2546 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
; Program : Soft Starter
; Hardware : PIC 18F458
; Assembler : mpasm.exe
; Programmer: Teerawat Uomak
; Company : KMITL, 2005
;*****

```

```

list p=18f458 ; list directive to define processor
#include <p18f458.inc> ; processor specific variable definitions

```

```

#define RS PORTC,0 ; RS LCD
#define E PORTA,4 ; Enable LCD
#define PH_1 PORTC,1
#define PH_2 PORTC,2
#define PH_3 PORTB,7
#define SCR_1 PORTC,3
#define SCR_2 PORTC,4
#define SCR_3 PORTC,5
#define SCR_4 PORTB,4
#define SCR_5 PORTB,5
#define SCR_6 PORTB,6

```

```

com EQU 0x20
dat EQU 0x21 ; buffer for data
count1 EQU 0x22
count2 EQU 0x23
count3 EQU 0x24
count16 EQU 0x25
AD_D EQU 0x26
VOLT_L EQU 0x27
VOLT_H EQU 0x28
W_TEMP EQU 0x29
STATUS_TEMP EQU 0x2A
BSR_TEMP EQU 0x2B
TONG EQU 0x2C
TIME_R EQU 0x2D
TIME_00 EQU 0x2E

```

```

;*****

```

```

ORG 0x0000
CALL PORT_SET
GOTO KEY_LCD

```

```

;*****

```

```

ORG 0x0008
MOVWF W_TEMP ; PUSH
MOVFF STATUS,STATUS_TEMP
MOVFF BSR,BSR_TEMP

```

```

;

```

LOOP เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อที่นักศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อที่นักศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO          CHAB
BTFS          INTCON,TMR0IF          ; ISR_CODE
GOTO          TIMER_0
BTFS          PIR1,TMR1IF
GOTO          TIMER_1
BTFS          PIR2,TMR3IF
GOTO          TIMER_3
GOTO          LOOP

```

```

CHAB          BSF          T3CON,TMR3ON
              BTFS          PH_3
              BCF          SCR_5
              BCF          SCR_6
              BCF          INTCON,RBIF
              GOTO          PO_P
TIMER_0       BCF          T0CON,TMR0ON
              MOVFF         VOLT_L,TMR0L
              MOVFF         VOLT_H,TMR0H
              BTFS          PH_1
              GOTO          PH_1_2
              BTFS          PH_1
              GOTO          PH_1_1
PH_1_1        BSF          SCR_1
              GOTO          COME_PH1
PH_1_2        BSF          SCR_2
COME_PH1      BCF          INTCON,TMR0IF
              GOTO          PO_P

```

```

TIMER_1       BCF          T1CON,TMR1ON
              MOVFF         VOLT_L,TMR1L
              MOVFF         VOLT_H,TMR1H
              BTFS          PH_2
              GOTO          PH_2_2
              BTFS          PH_2
              GOTO          PH_2_1
PH_2_1        BSF          SCR_3
              GOTO          COME_PH2
PH_2_2        BSF          SCR_4
COME_PH2      BCF          PIR1,TMR1IF
              GOTO          PO_P

```

```

TIMER_3       BCF          T3CON,TMR3ON
              MOVFF         VOLT_L,TMR3L
              MOVFF         VOLT_H,TMR3H
              BTFS          PH_3
              GOTO          PH_3_2
              BTFS          PH_3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                GOTO          PH_3_1
PH_3_1         BSF           SCR_5
                GOTO          COME_PH3
PH_3_2         BSF           SCR_6
COME_PH3      BCF           PIR2,TMR3IF
                GOTO          PO_P

;

PO_P          MOVFF        BSR_TEMP,BSR
               MOVF        W_TEMP,W
               MOVFF       STATUS_TEMP,STATUS
               RETFIE

```

```

P_ST          BTFSS        PH_1
               GOTO          $-1
               BTFSC        PH_1
               GOTO          $-1
               CLR          T0CON          ;TIMER0 16BIT 1:2 STOP
               MOVFF       VOLT_H,TMR0H
               MOVFF       VOLT_L,TMR0L
               MOVLW       B'00010000'
               MOVWF       T1CON          ;TIMER1 16BIT 1:2 STOP
               MOVFF       VOLT_H,TMR1H
               MOVFF       VOLT_L,TMR1L
               MOVLW       B'00010000'
               MOVWF       T3CON          ;TIMER1 16BIT 1:2 STOP
               MOVFF       VOLT_H,TMR3H
               MOVFF       VOLT_L,TMR3L
               BSF         INTCON,GIE
               BSF         INTCON,PEIE
               BSF         INTCON,TMR0IE
               BCF         INTCON,TMR0IF
               BCF         INTCON,RBIF
               BSF         INTCON2,RBIP
               BSF         INTCON2,TMR0IP
               BSF         PIE1,TMR1IE
               BSF         PIE2,TMR3IE
               BCF         PIR1,TMR1IF
               BCF         PIR2,TMR3IF
               BSF         IPR1,TMR1IP
               BSF         IPR2,TMR3IP
               MOVLW       0x00
               MOVWF       TIME_00
               MOVLW       0x00
               MOVWF       TONG
               MOVLW       0x01
               MOVWF       TIME_R

```

BTFSC PH_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO          $-1
BTFSS        PH_1
GOTO          $-1
BTFSC        PH_2
GOTO          CBA1
GOTO          ABC1

```

```

ABC1          BTFSS        PH_1
              GOTO          $-1
              BTFSC        PH_1
              GOTO          $-1
SQ_ABC1      BSF          INTCON,RBIE
              BTFSS        PH_1
              GOTO          $-1
              BSF          T0CON,TMR0ON
              BCF          SCR_2
              BTFSS        PH_2
              GOTO          $-1
              BSF          T1CON,TMR1ON
              BCF          SCR_4
              BTFSC        PH_1
              GOTO          $-1
              BSF          T0CON,TMR0ON
              BCF          SCR_1
              BTFSC        PH_2
              GOTO          $-1
              BSF          T1CON,TMR1ON
              BCF          SCR_3

```

```

INCF         TONG,F
MOVF         TONG,W
CPFSEQ       TIME_R
GOTO         SQ_ABC1
MOVLW       0x00
MOVWF       TONG
MOVF         AD_D,W
BCF         STATUS,C
ADDWF       VOLT_L,F
BTFSS       STATUS,0
GOTO         SQ_ABC1
INCF         VOLT_H,F
MOVF         VOLT_H,W
CPFSEQ       TIME_00
GOTO         SQ_ABC1
MOVLW       B'111111'
MOVWF       PORTB
MOVLW       B'111111'
MOVWF       PORTC
BCF         INTCON,RBIE
BCF         INTCON,RBIF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCF          T0CON,TMR0ON
BCF          T1CON,TMR1ON
BCF          T3CON,TMR3ON
BCF          INTCON,TMR0IF
BCF          PIR1,TMR1IF
BCF          PIR2,TMR3IF

MOVLW      B'00000001'      ; Clear ram
CALL       WR_INS
MOVLW      B'10010010'      ; point to address 10H in LCD
CALL       WR_INS

MOVLW      "M"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "O"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "T"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "O"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "R"
CALL       WR_DATA
MOVLW      " "
CALL       WR_DATA
MOVLW      "R"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "U"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "N"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "N"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "I"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "N"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "G"
CALL       WR_DATA

MOVLW      .16              ; counter = 16
MOVWF      count16
shifts    MOVLW      0x18              ; shift left
CALL       WR_INS
CALL       delay2
DECFSZ    count16,f
GOTO      shift5
GOTO      $

```

```

CBA1      BTFSS      PH_1
GOTO      $-1
BTFSC     PH_1
GOTO      $-1
SQ_CBA1   BSF        INTCON,RBIE
BTFSS     PH_1
GOTO      $-1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BSF          T0CON,TMR0ON
BCF          SCR_2
BTFSC       PH_2
GOTO        $-1
BSF          T1CON,TMR1ON
BCF          SCR_3
BTFSC       PH_1
GOTO        $-1
BSF          T0CON,TMR0ON
BCF          SCR_1
BTFSS       PH_2
GOTO        $-1
BSF          T1CON,TMR1ON
BCF          SCR_4

```

```

INCF        TONG,F
MOVF        TONG,W
CPFSEQ      TIME_R
GOTO        SQ_CBA1
MOVLW      0x00
MOVWF       TONG
MOVF        AD_D,W
BCF         STATUS,C
ADDWF       VOLT_L,F
BTFSS       STATUS,0
GOTO        SQ_CBA1
INCF        VOLT_H,F
MOVF        VOLT_H,W
CPFSEQ      TIME_00
GOTO        SQ_CBA1
MOVLW      B'11111111'
MOVWF       PORTB
MOVLW      B'11111111'
MOVWF       PORTC
BCF         INTCON,RBIE
BCF         INTCON,RBIF
BCF         T0CON,TMR0ON
BCF         T1CON,TMR1ON
BCF         T3CON,TMR3ON
BCF         INTCON,TMR0IF
BCF         PIR1,TMR1IF
BCF         PIR2,TMR3IF
MOVLW      B'00000001' ; Clear ram
CALL        WR_INS
MOVLW      B'10010010' ; point to address 10H in LCD
CALL        WR_INS

MOVLW      "M"
CALL        WR_DATA
MOVLW      "O"
CALL        WR_DATA
MOVLW      "T"
CALL        WR_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW      "O"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "R"
CALL       WR_DATA
MOVLW      " "
CALL       WR_DATA
MOVLW      "R"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "U"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "N"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "N"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "I"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "N"
CALL       WR_DATA
MOVLW      "G"
CALL

```

```

MOVLW      .16          ; counter = 16
MOVWF      count16
shift6     MOVLW      0x18          ; shift left
CALL       WR_INS
CALL       delay2
DECFSZ    count16,f
GOTO      shift6
GOTO      $

```

```

;*****_SETUP_PORT_*****

```

```

PORT_SET   CLRF      TRISA          ;RC1,RC2 INPUT
MOVLW     B'0000110'
MOVWF     TRISC
CLRF      TRISD          ;PORTD OUTPUT
MOVLW     B'10001111'
MOVWF     TRISB
BCF      INTCON2,RBPU
CLRF      PORTB
CLRF      PORTC
RETURN

```

```

;*****_KEY_LCD_*****

```

```

KEY_LCD   BSF      E
CALL     delay2
MOVLW   B'00110011'
CALL    WR_INS
MOVLW   B'00110010'
CALL    WR_INS
MOVLW   B'00101000' ; 4 bits, 2 lines,5X7 dot
CALL    WR_INS
MOVLW   B'00001100' ; display on/off
CALL    WR_INS
MOVLW   B'00000110' ; Entry mode
CALL    WR_INS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW          B'00000001' ; Clear ram
CALL           WR_INS
MOVLW          B'10010110' ; point to address 10H in LCD
CALL           WR_INS

```

```

MOVLW          "K"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "M"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "I"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "T"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "L"
CALL           WR_DATA

```

```

MOVLW          B'11010010' ; point to address 10H in LCD
CALL           WR_INS

```

```

MOVLW          "S"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "O"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "F"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "T"
CALL           WR_DATA
MOVLW          " "
CALL           WR_DATA
MOVLW          "S"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "T"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "A"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "R"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "T"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "E"
CALL           WR_DATA
MOVLW          "R"
CALL           WR_DATA

```

```

shift1          MOVLW          .16                ; counter = 16
                MOVWF          count16
                MOVLW          0X18              ; shift left
                CALL           WR_INS
                CALL           delay2
                DECFSZ          count16,f
                GOTO           shift1
                CALL           delay3

```

```

CHOOSE          MOVLW          B'00000001'        ; Clear ram
                CALL           WR_INS
                MOVLW          B'10010000'        ; point to address 10H in LCD
                CALL           WR_INS

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW      ""
CALL       WR_DATA
MOVLW     "Q"
CALL       WR_DATA
MOVLW     ""
CALL       WR_DATA
MOVLW     " "
CALL       WR_DATA
MOVLW     "Q"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "u"
CALL       WR_DATA
MOVLW     ";"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "c"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "k"
CALL       WR_DATA
MOVLW     " "
CALL       WR_DATA
MOVLW     "S"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "t"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "a"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "r"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "t"
CALL       WR_DATA
MOVLW     B'11010000' ; point to address 10H in LCD
CALL       WR_INS
MOVLW     ""
CALL       WR_DATA
MOVLW     "C"
CALL       WR_DATA
MOVLW     ""
CALL       WR_DATA
MOVLW     " "
CALL       WR_DATA
MOVLW     "C"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "h"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "o"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "o"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "s"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "e"
CALL       WR_DATA
MOVLW     " "
CALL       WR_DATA
MOVLW     "A"
CALL       WR_DATA
MOVLW     "n"
CALL       WR_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV LW      "g"
CALL      WR_DATA
MOV LW      "1"
CALL      WR_DATA
MOV LW      "e"
CALL      WR_DATA

MOV LW      .16          ; counter = 16
MOV WF     count16
shift2:    MOV LW      0x18          ; shift left
CALL      WR_INS
CALL      delay2
DECFSZ    count16,f
GOTO     shift2
CALL     delay

KEY_SCAN: MOV LW      B'11110111'
MOV WF     PORTD
BTFSS    PORTB,2          ; YES
GOTO     CONTROL
BTFSS    PORTB,3
GOTO     SOFT              ; NO
GOTO     KEY_SCAN

CONTROL:  MOV LW      B'00000001'          ; Clear ram
CALL     WR_INS
MOV LW      B'10010000'          ; point to address 10H in LCD
CALL     WR_INS

MOV LW      "C"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "o"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "n"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "r"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "i"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "r"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "m"
CALL     WR_DATA
MOV LW      " "
CALL     WR_DATA
MOV LW      "S"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "t"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "a"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "r"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "t"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "i"
CALL     WR_DATA
MOV LW      "n"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL          WR_DATA
MOVLW        "g"
CALL          WR_DATA

MOVWF        .16          ; counter = 16
MOVWF        count16
shift3      MOVLW        0x18          ; shift left
CALL          WR_INS
CALL          delay2
DECFSZ       count16,f
GOTO         shift3
CALL          delay
MOVLW        0x8A
MOVWF        AD_D
MOVLW        0xD7
MOVWF        VOLT_H
MOVLW        0x50
MOVWF        VOLT_L
GOTO         EN_CAN2

SOFT        MOVLW        B'00000001'      ; Clear ram
CALL          WR_INS
MOVLW        B'10010000'      ; point to address 10H in LCD
CALL          WR_INS

MOVLW        "I"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "n"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "s"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "e"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "r"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "t"
CALL          WR_DATA
MOVLW        " "
CALL          WR_DATA
MOVLW        "A"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "n"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "g"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "l"
CALL          WR_DATA
MOVLW        "e"
CALL          WR_DATA

MOVWF        .16          ; counter = 16
MOVWF        count16
shift4      MOVLW        0x18          ; shift left
CALL          WR_INS
CALL          delay2
DECFSZ       count16,f
GOTO         shift4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	CALL	delay
SOFT_VOLT	MOVLW	B'11111110'
	MOVWF	PORTD
	BTFSS	PORTB,0
	GOTO	DE_60
	BTFSS	PORTB,1
	GOTO	DE_70
	BTFSS	PORTB,2
	GOTO	DE_80
	BTFSS	PORTB,3
	GOTO	DE_90
	MOVLW	B'11111101'
	MOVWF	PORTD
	BTFSS	PORTB,0
	GOTO	DE_100
	BTFSS	PORTB,1
	GOTO	DE_110
	BTFSS	PORTB,2
	GOTO	DE_120
	BTFSS	PORTB,3
	GOTO	DE_130
	MOVLW	B'11111011'
	MOVWF	PORTD
	BTFSS	PORTB,0
	GOTO	DE_140
	BTFSS	PORTB,1
	GOTO	DE_150
	MOVLW	B'11110111'
	MOVWF	PORTD
	BTFSS	PORTB,1
	GOTO	CHOOSE
	GOTO	SOFT_VOLT
DE_60	MOVLW	0xF2
	MOVWF	AD_D
	MOVLW	0xE7
	MOVWF	VOLT_H
	MOVLW	0x96
	MOVWF	VOLT_L
	GOTO	EN_CAN1
DE_70	MOVLW	0xF2
	MOVWF	AD_D
	MOVLW	0xE5
	MOVWF	VOLT_H
	MOVLW	0xF6
	MOVWF	VOLT_L
	GOTO	EN_CAN1
DE_80	MOVLW	0xF2
	MOVWF	AD_D
	MOVLW	0xE4
	MOVWF	VOLT_H
	MOVLW	0xE0
	MOVWF	VOLT_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	GOTO	EN_CAN1	
DE_90	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xE4	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0x0F	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
DE_100	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xE3	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0x3F	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
DE_110	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xE2	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0x29	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
DE_120	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xDF	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0x73	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
DE_130	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xDC	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0xBD	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
DE_140	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xDA	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0x08	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
DE_150	MOVLW	0xF2	
	MOVWF	AD_D	
	MOVLW	0xD7	
	MOVWF	VOLT_H	
	MOVLW	0x50	
	MOVWF	VOLT_L	
	GOTO	EN_CAN1	
EN_CAN1	MOVLW	B'11110111'	
	MOVWF	PORTD	
	BTFSS	PORTB,0	
	GOTO	P_ST	
			;ENTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BTFFS          PORTB,1          ;CANCLE
GOTO           SOFT
GOTO           EN_CAN1

EN_CAN2        MOVLW           B'11110111'
MOVWF          PORTD
BTFFS          PORTB,0          ;ENTER
GOTO           P_ST
BTFFS          PORTB,1          ;CANCLE
GOTO           CHOOSE
GOTO           EN_CAN2

```

```

;*****
; Write command to LCD
; Input : W
; output : -
;*****

```

```

WR_INS         BCF             RS          ; clear RS
               BSF             E
               MOVWF          com        ; W --> com
               ANDLW          0xF0       ; mask 4 bits MSB W = X0
               MOVWF          PORTD      ; Send 4 bits MSB
               BCF             E
               CALL            delay     ;
               BSF             E         ;
               SWAPF          com,w
               ANDLW          0xF0       ; 1111 0010
               MOVWF          PORTD      ; send 4 bits LSB
               BCF             E
               CALL            delay     ;
               BSF             E         ;
               CALL            delay
               RETURN

```

```

;*****
; Write data to LCD
; Input : W
; Output : -
;*****

```

```

WR_DATA        BSF             RS
               BSF             E
               MOVWF          dat
               ANDLW          0xF0
               MOVWF          PORTD
               BCF             E
               CALL            delay     ;
               BSF             E         ;
               SWAPF          dat,w
               ANDLW          0xF0
               MOVWF          PORTD
               BCF             E
               CALL            delay     ;
               BSF             E         ;
               CALL            delay
               RETURN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
; Delay
;*****
delay      MOVLW      .50
           MOVWF      count1
del1       CLRF       count2
del2       DECFSZ     count2
           GOTO       del2
           DECFSZ     count1
           GOTO       del1
           RETURN

delay2     MOVLW      .2
           MOVWF      count1
dely       CLRF       count2
dely1      CLRF       count3
dely2      ECFSZ     count3
           GOTO       dely2
           DECFSZ     count2
           GOTO       dely1
           DECFSZ     count1
           GOTO       dely
           RETURN
delay3     MOVLW      .10
           MOVWF      count1
delyA      CLRF       count2
delyB      CLRF       count3
delyC      DECFSZ     count3
           GOTO       delyC
           DECFSZ     count2
           GOTO       delyB
           DECFSZ     count1
           GOTO       delyA
           RETURN
END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HA17741/PS

General-Purpose Operational Amplifier
(Frequency Compensated)

HITACHI

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.

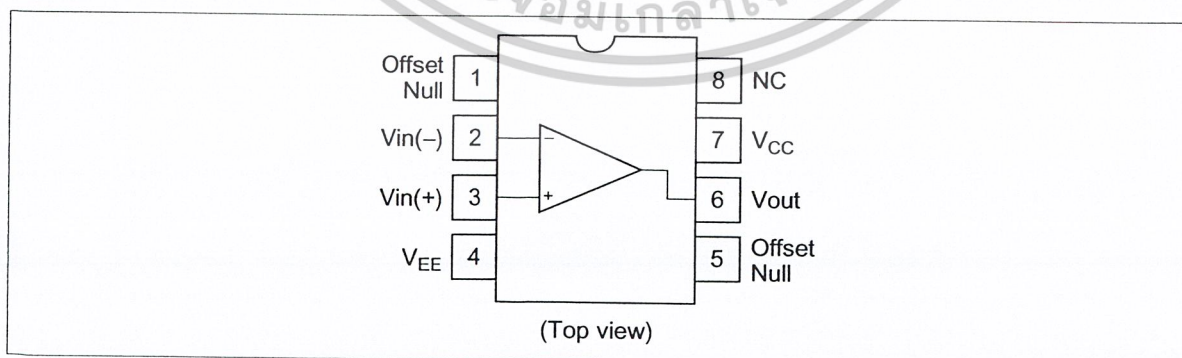
Features

- 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

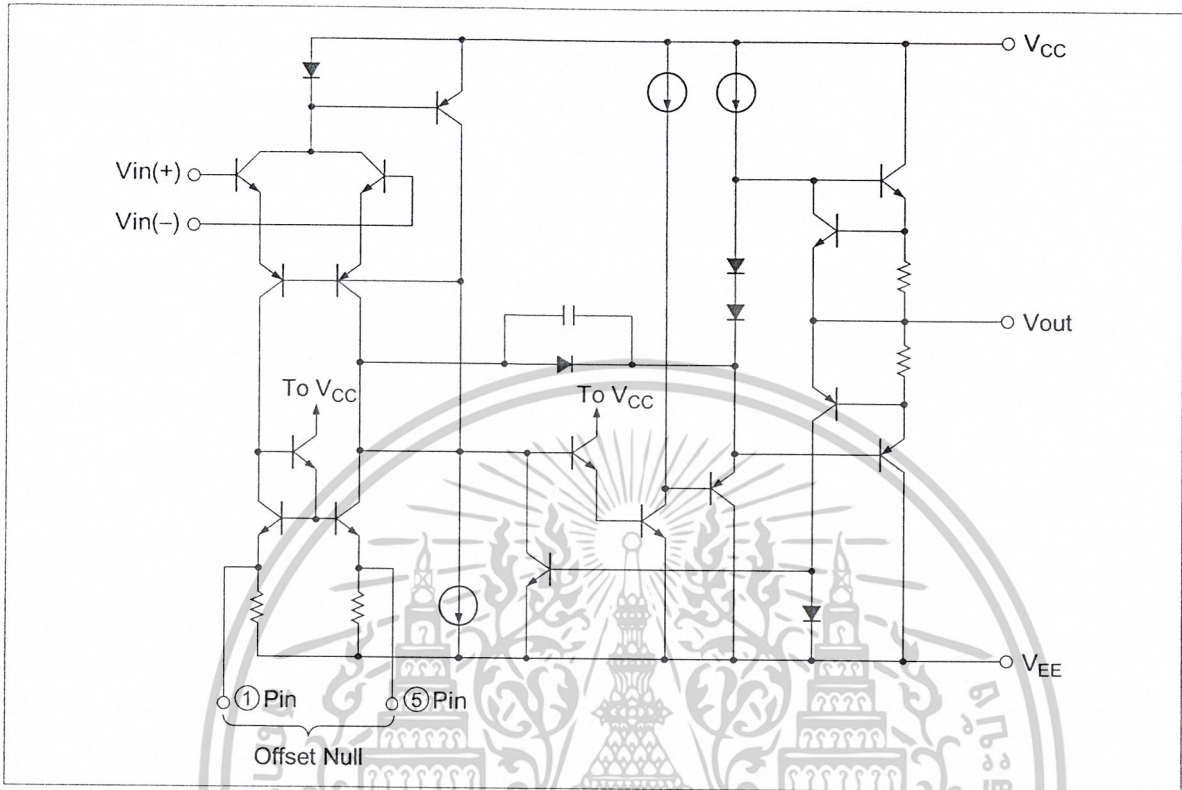
Application	Type No.	Package
Industrial use	HA17741PS	DP-8
Commercial use	HA17741	

Pin Arrangement



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

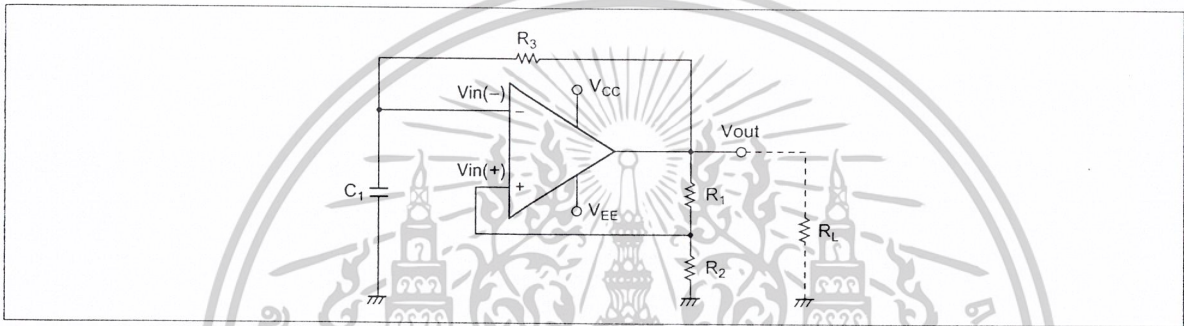


Figure 1 Astable Multivibrator Operating Circuit

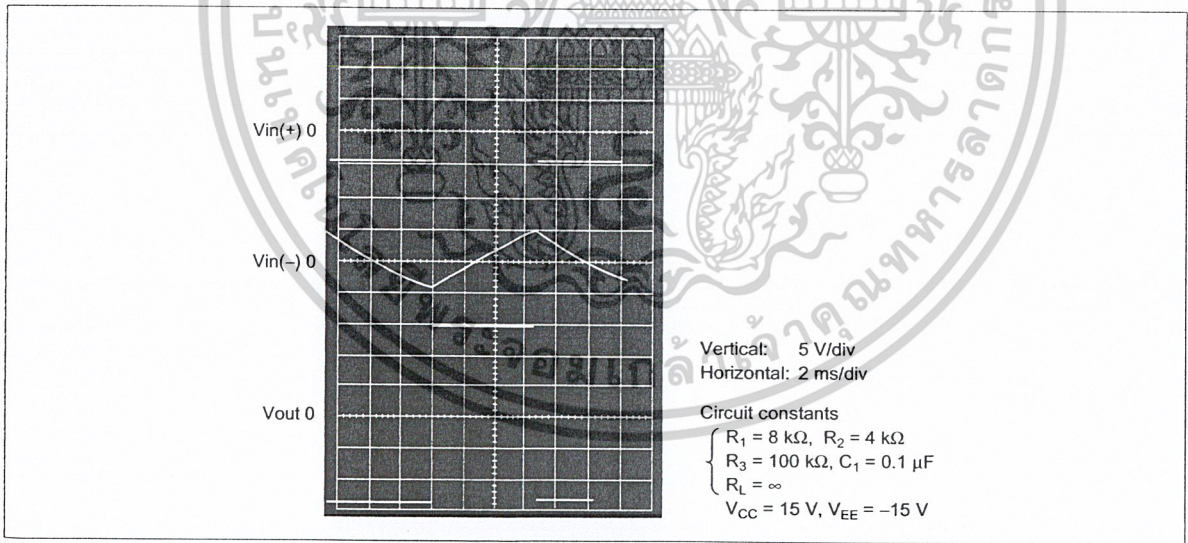


Figure 2 HA17741 Astable Multivibrator Operating Waveform

HITACHI

2. Monostable Multivibrator

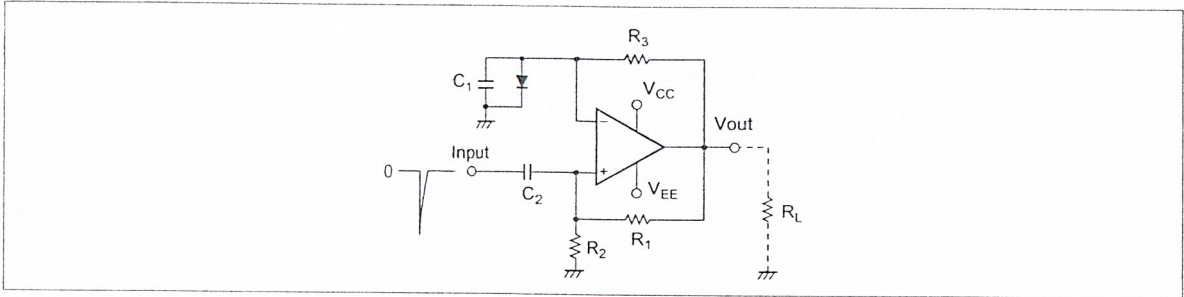


Figure 3 Monostable Multivibrator Operating Circuit

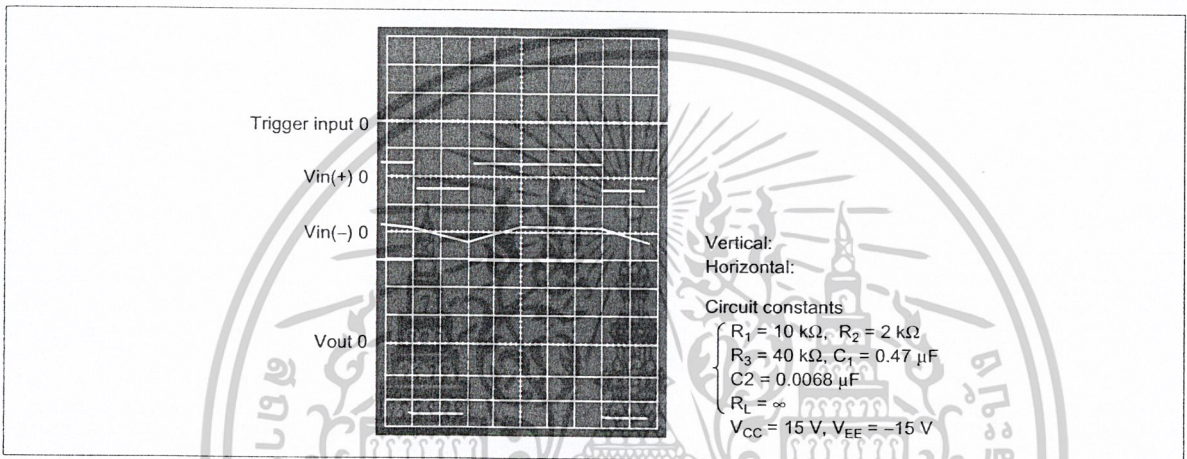


Figure 4 HA17741 Monostable Multivibrator Operating Waveform

3. Bistable Multivibrator

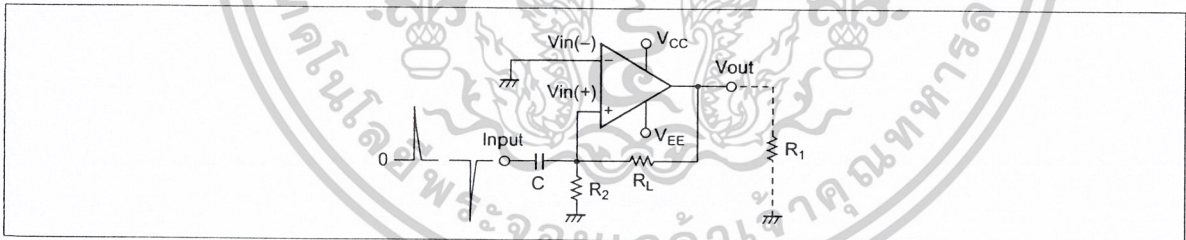


Figure 5 Bistable Multivibrator Operating Circuit

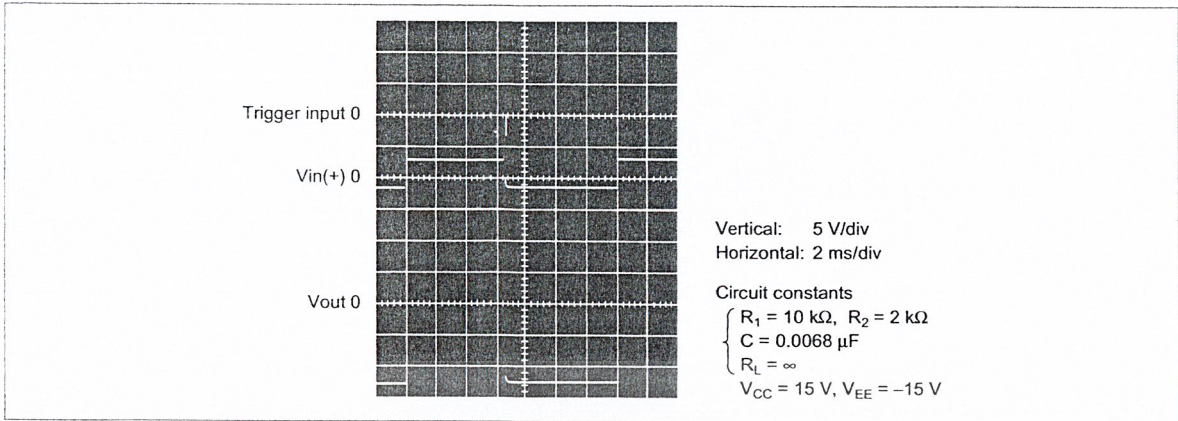


Figure 6 HA17741 Bistable Multivibrator Operating Waveform

Wien Bridge Sine Wave Oscillator

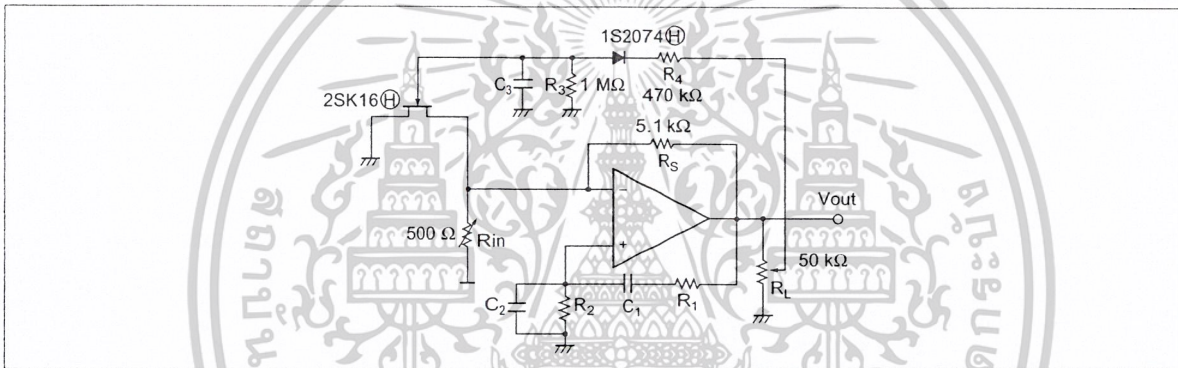


Figure 7 Wien Bridge Sine Wave Oscillator

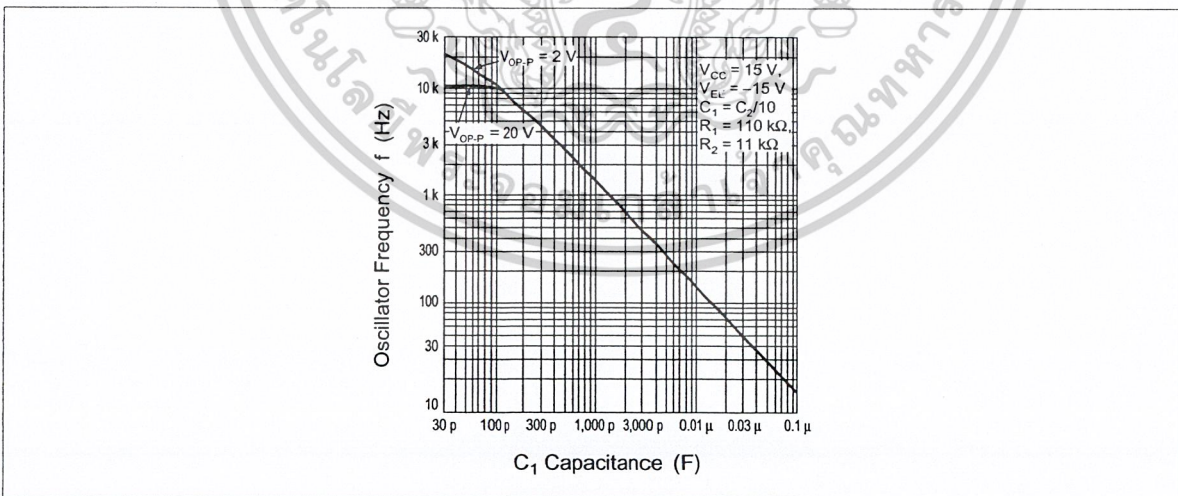


Figure 8 HA17741 Wien Bridge Sine Wave Oscillator f - C Characteristics

HITACHI

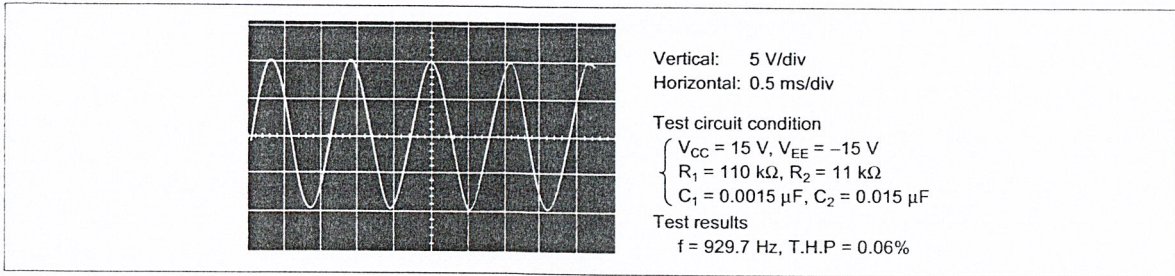


Figure 9 HA17741 Wien Bridge Sine Wave Oscillator Operating Waveform

Quadrature Oscillator

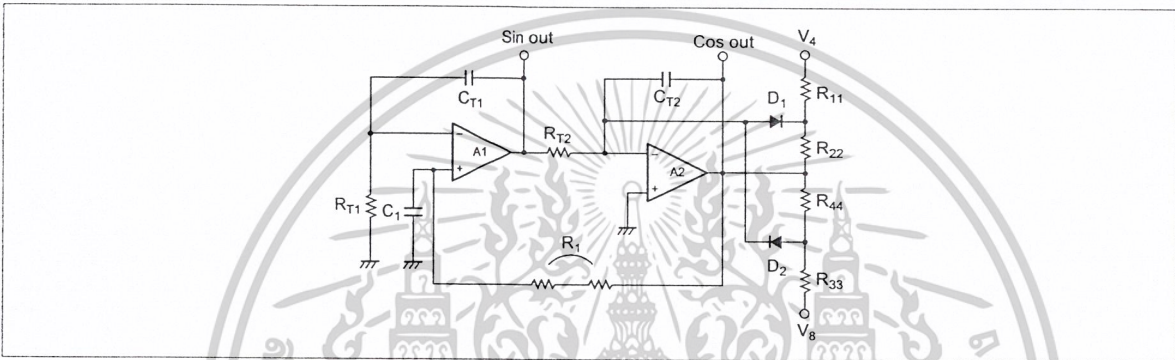


Figure 10 Quadrature Sine Wave Oscillator

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.

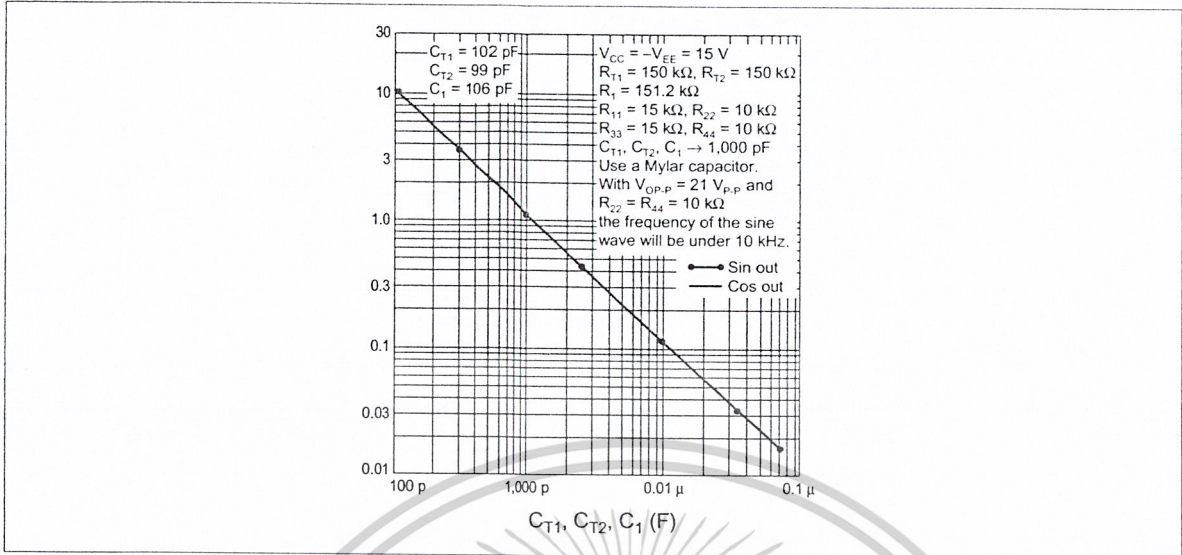


Figure 11 HA17741 Quadrature Sine Wave Oscillator

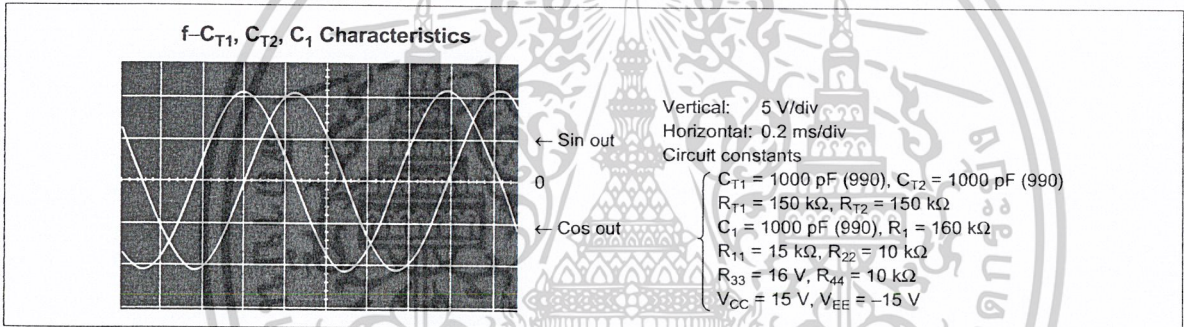


Figure 12 Sine and Cosine Output Waveforms

Triangular Wave Generator

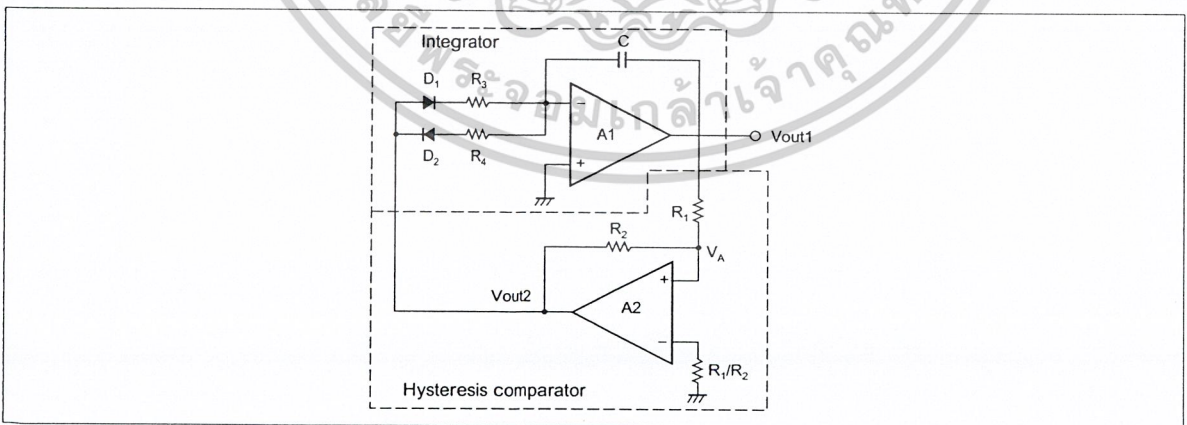


Figure 13 Triangular Wave Generator Operating Circuit

HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

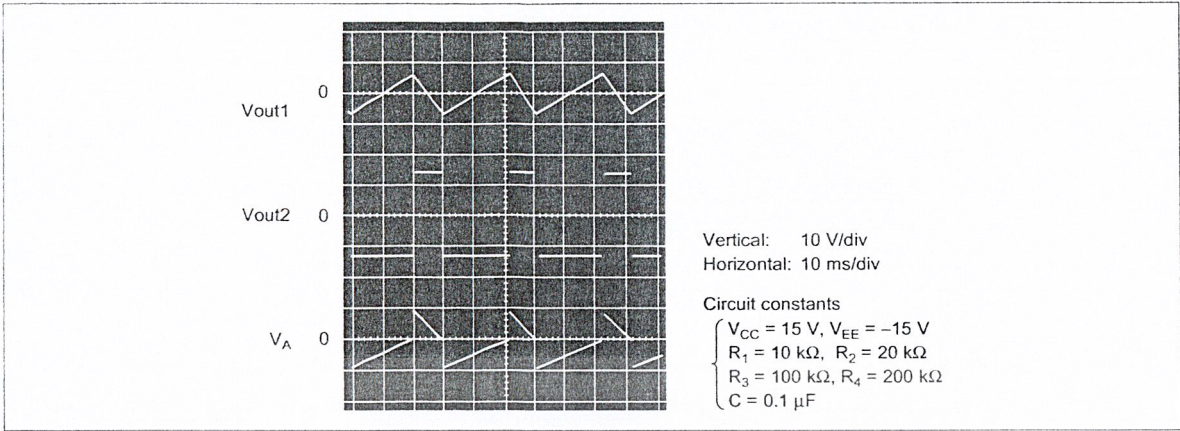


Figure 14 HA17741 Triangular Wave Generator Operating Waveform

Sawtooth Waveform Generator

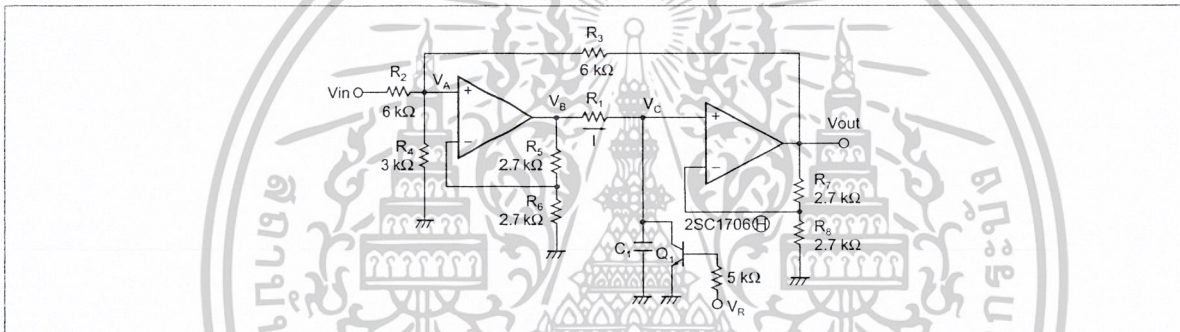


Figure 15 Sawtooth Waveform Generator

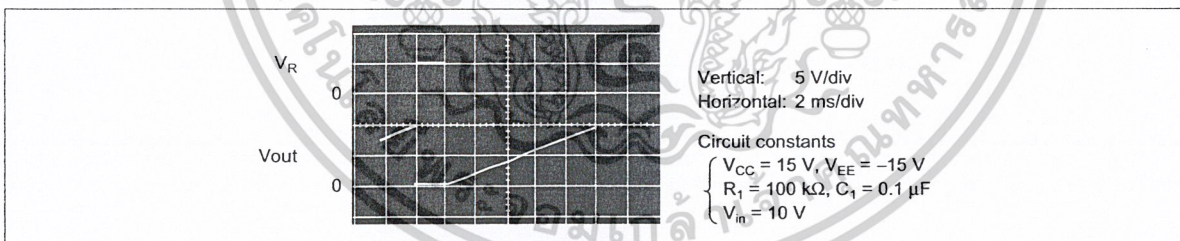
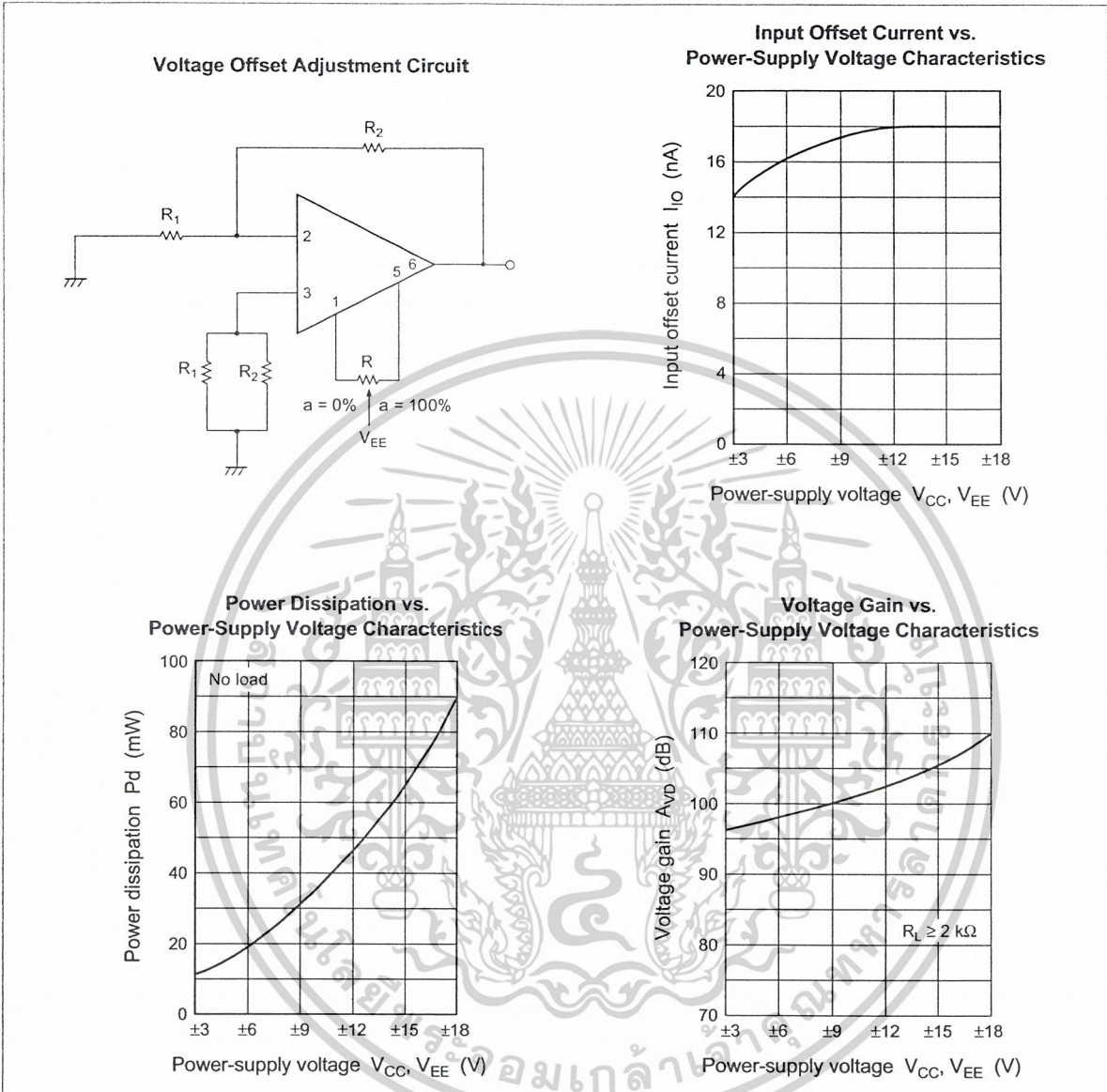


Figure 16 HA17741 Sawtooth Waveform Generator Operating Waveform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

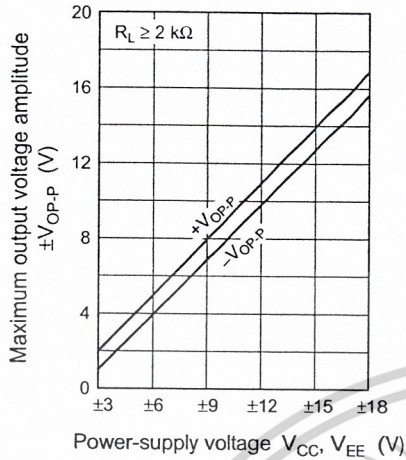
Characteristic Curves



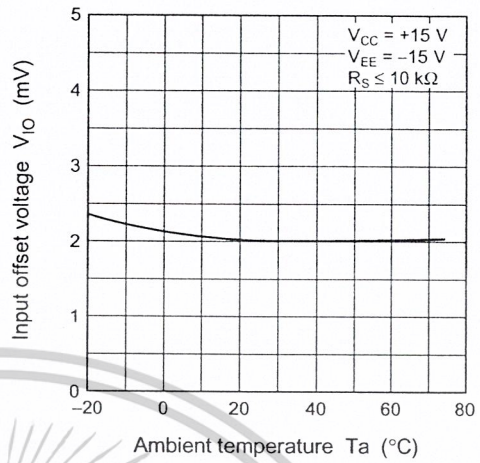
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

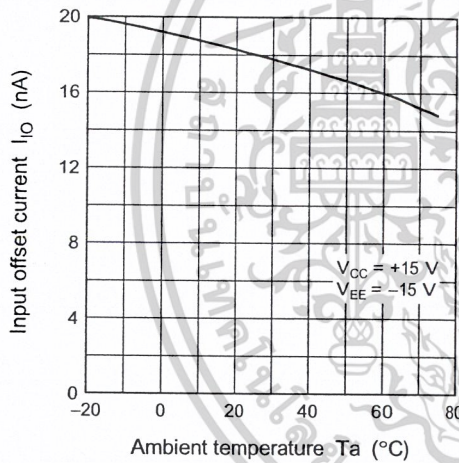
Maximum Output Voltage Amplitude vs. Power-Supply Voltage Characteristics



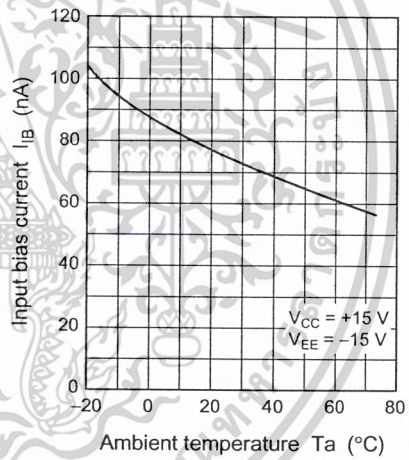
Input Offset Voltage vs. Ambient Temperature Characteristics



Input Offset Current vs. Ambient Temperature Characteristics



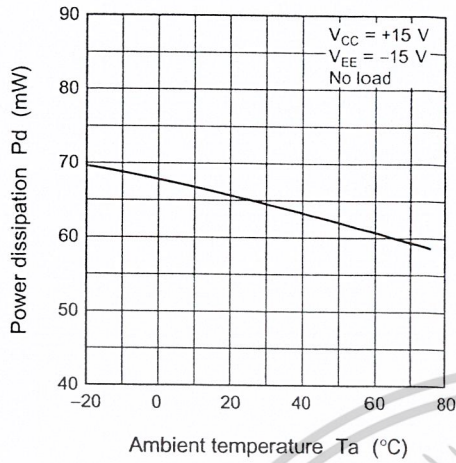
Input Bias Current vs. Ambient Temperature Characteristics



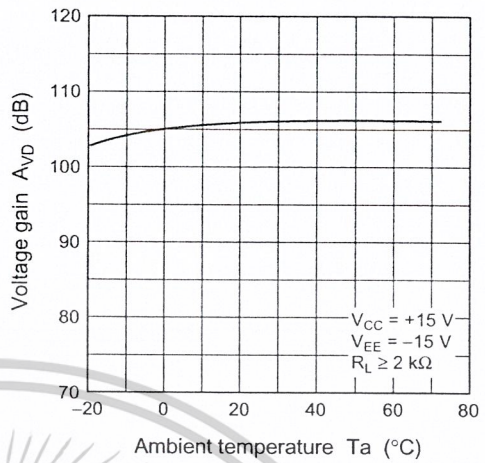
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

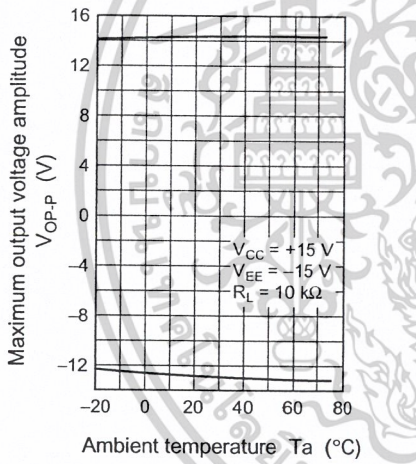
Power Dissipation vs. Ambient Temperature Characteristics



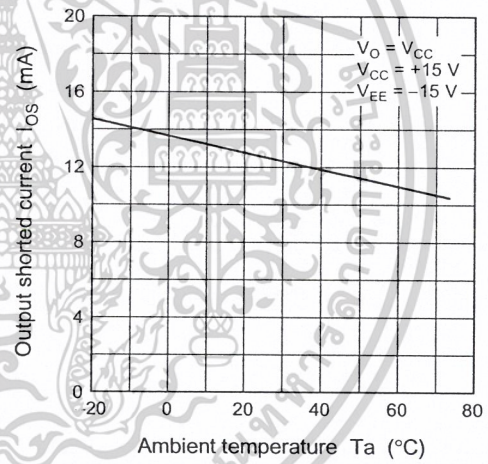
Voltage Gain vs. Ambient Temperature Characteristics



Maximum Output Voltage Amplitude vs. Ambient Temperature Characteristics



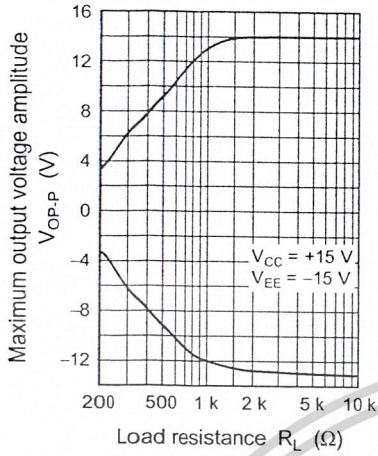
Output Shorted Current vs. Ambient Temperature Characteristics



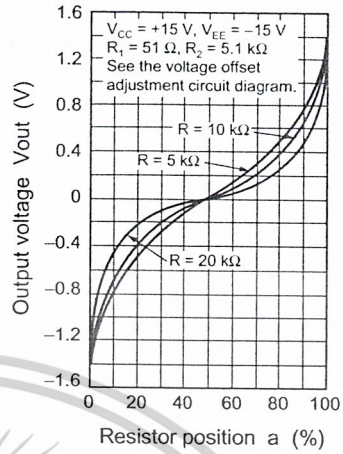
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

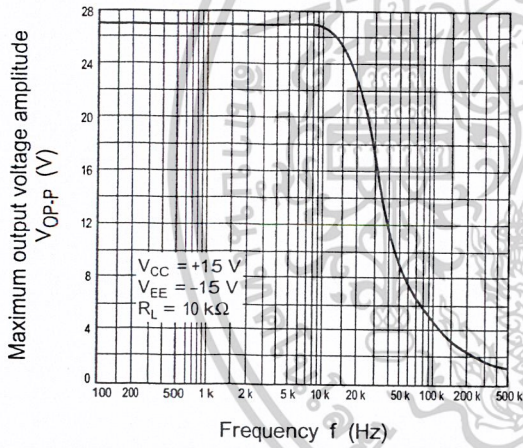
Maximum Output Voltage Amplitude vs. Load Resistance Characteristics



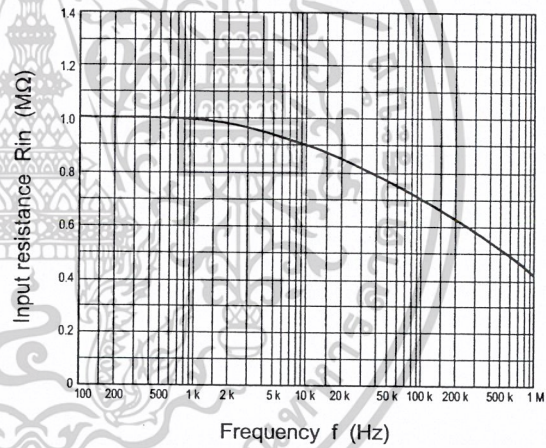
Offset Adjustment Characteristics



Maximum Output Voltage Amplitude vs. Frequency Characteristics

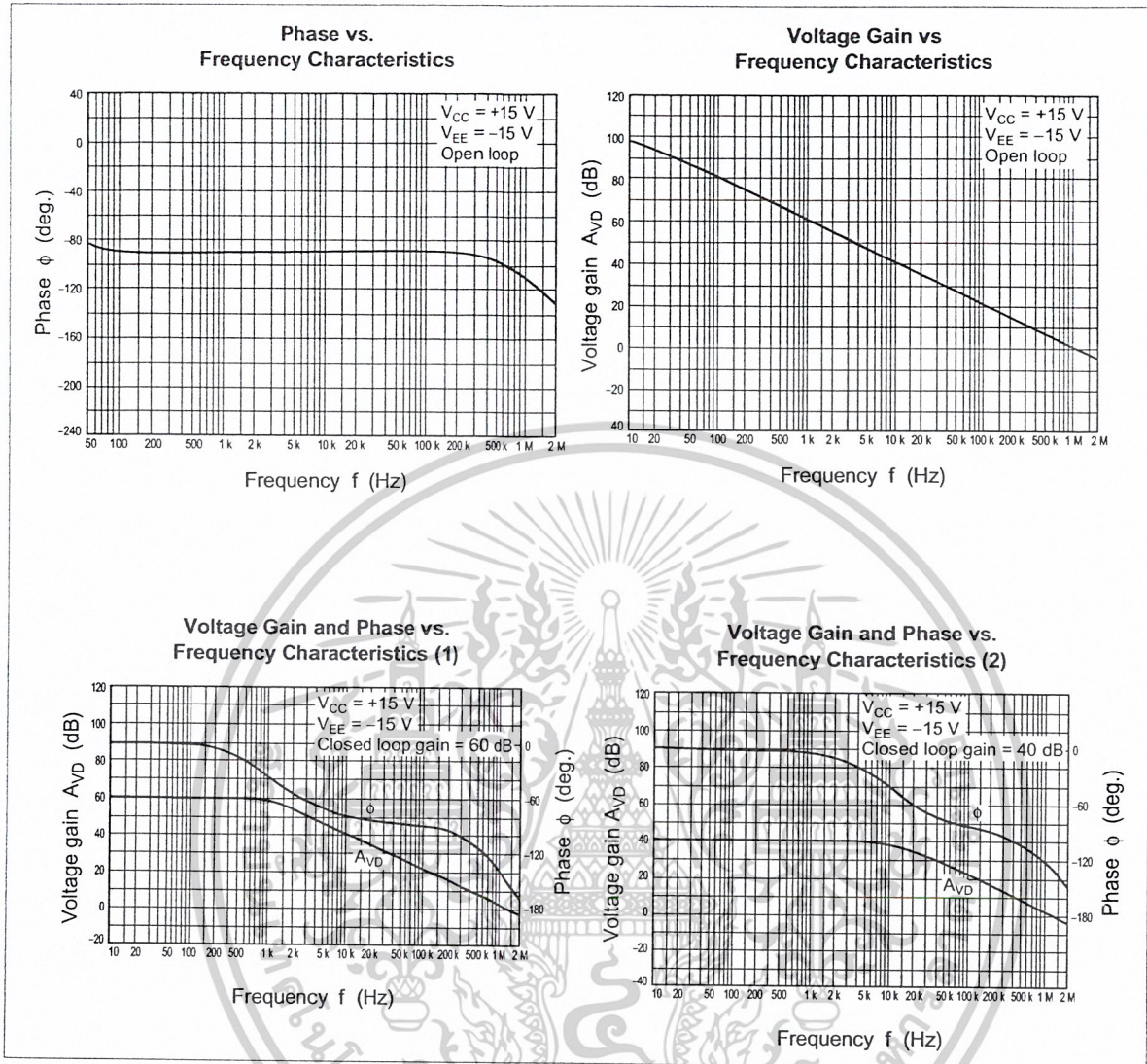


Input Resistance vs. Frequency Characteristics



HITACHI

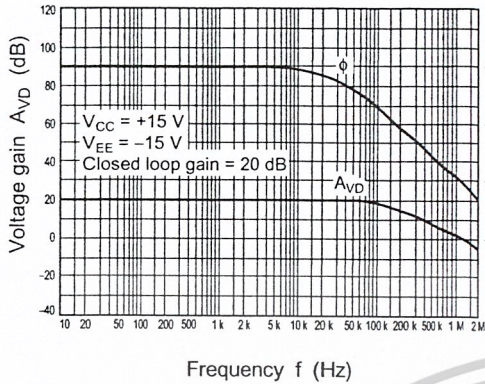
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



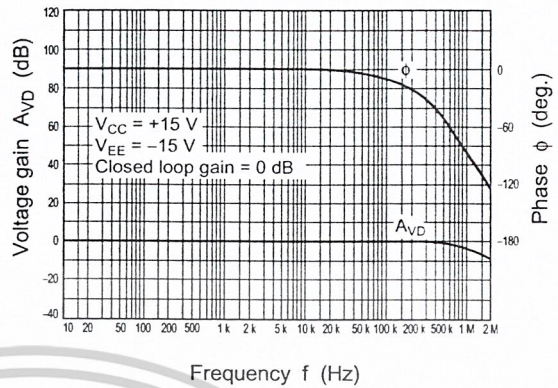
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

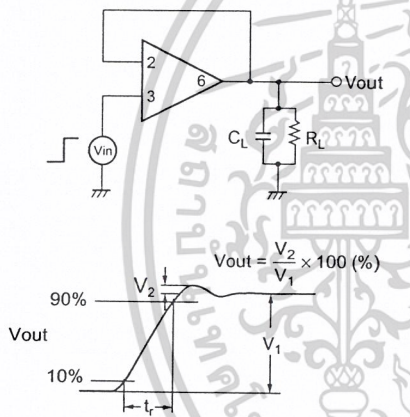
Voltage Gain and Phase vs. Frequency Characteristics (3)



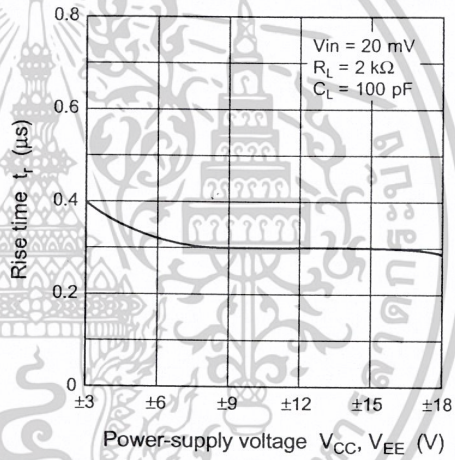
Voltage Gain and Phase vs. Frequency Characteristics (4)



Impulse Response Characteristics Test Circuit



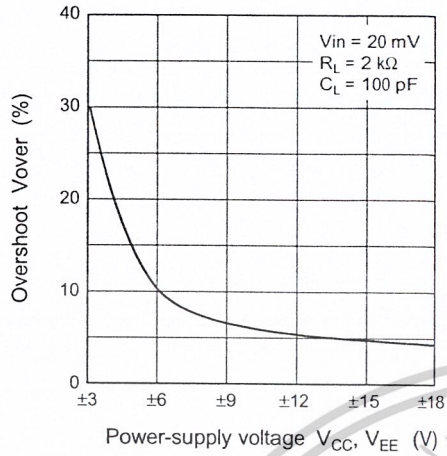
Rise time vs. Power-Supply Voltage Characteristics



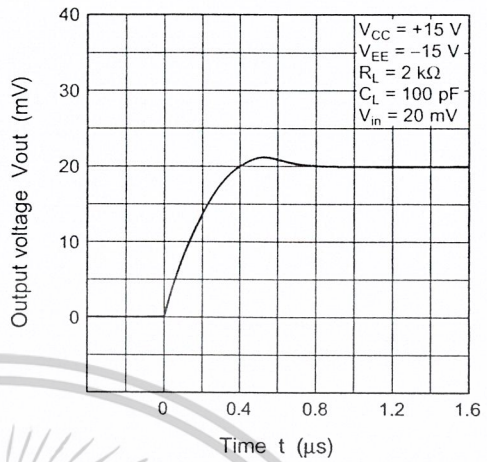
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Overshoot vs. Power-Supply Voltage Characteristics



Impulse Response Characteristics

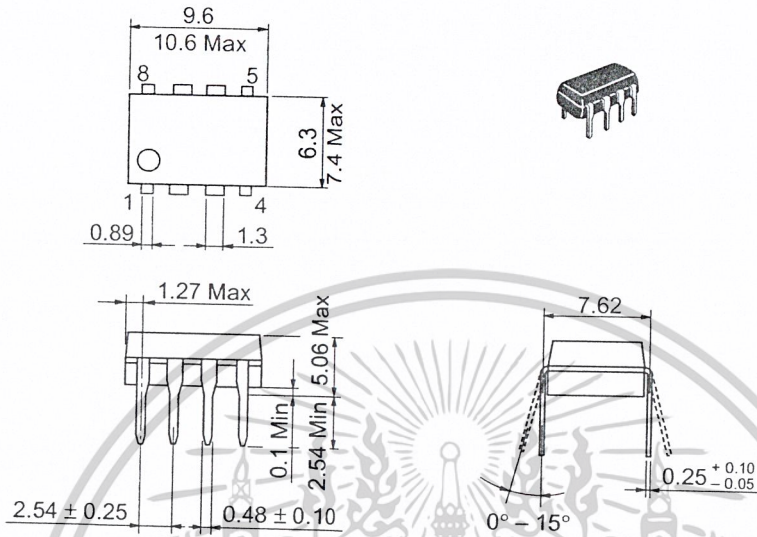


HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

Unit: mm



Hitachi Code	DP-8
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.54 g

HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
5. This product is not designed to be radiation resistant.
6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.

HITACHI

Hitachi, Ltd.

Semiconductor & Integrated Circuits.
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan
Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL NorthAmerica : <http://semiconductor.hitachi.com/>
 Europe : <http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg>
 Asia (Singapore) : <http://www.has.hitachi.com.sg/grp3/sicd/index.htm>
 Asia (Taiwan) : http://www.hitachi.com.tw/E/Product/SICD_Frame.htm
 Asia (HongKong) : <http://www.hitachi.com.hk/eng/bo/grp3/index.htm>
 Japan : <http://www.hitachi.co.jp/Sicd/idx.htm>

For further information write to:

Hitachi Semiconductor
(America) Inc.
179 East Tasman Drive,
San Jose, CA 95134
Tel: <1> (408) 433-1990
Fax: <1> (408) 433-0223

Hitachi Europe GmbH
Electronic components Group
Dornacher Straße 3
D-85622 Feldkirchen, Munich
Germany
Tel: <49> (89) 9 9180-0
Fax: <49> (89) 9 29 30 00

Hitachi Europe Ltd.
Electronic Components Group.
Whitebrook Park
Lower Cookham Road
Maidenhead
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom
Tel: <44> (1628) 585000
Fax: <44> (1628) 778322

Hitachi Asia Pte. Ltd.
16 Collyer Quay #20-00
Hitachi Tower
Singapore 049318
Tel: 535-2100
Fax: 535-1533

Hitachi Asia Ltd.
Taipei Branch Office
3F, Hung Kuo Building, No.167,
Tun-Hwa North Road, Taipei (105)
Tel: <886> (2) 2718-3666
Fax: <886> (2) 2718-8180

Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd.
Group III (Electronic Components)
7/F., North Tower, World Finance Centre,
Harbour City, Canton Road, Tsim Sha Tsui,
Kowloon, Hong Kong
Tel: <852> (2) 735 9218
Fax: <852> (2) 730 0281
Telex: 40815 HITEC HX

Copyright ' Hitachi, Ltd., 1998. All rights reserved. Printed in Japan.

HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

For a complete data sheet, please also download:

- The IC04 LOCMOS HE4000B Logic Family Specifications HEF, HEC
- The IC04 LOCMOS HE4000B Logic Package Outlines/Information HEF, HEC

HEF4081B gates Quadruple 2-input AND gate

Product specification
File under Integrated Circuits, IC04

January 1995

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quadruple 2-input AND gate

HEF4081B gates

DESCRIPTION

The HEF4081B provides the positive quadruple 2-input AND function. The outputs are fully buffered for highest noise immunity and pattern insensitivity of output impedance.

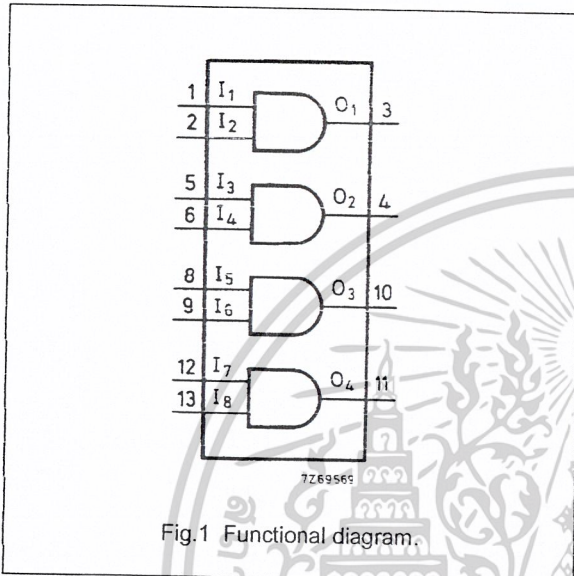


Fig.1 Functional diagram.

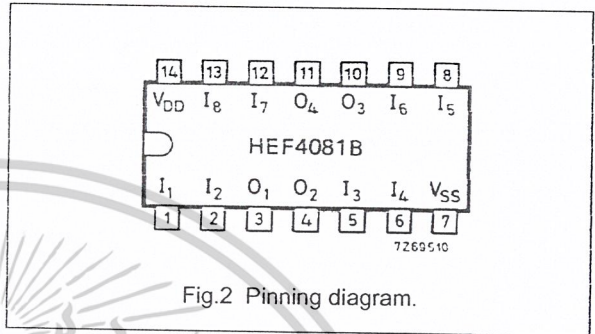


Fig.2 Pinning diagram.

- HEF4081BP(N): 14-lead DIL; plastic (SOT27-1)
- HEF4081BD(F): 14-lead DIL; ceramic (cerdip) (SOT73)
- HEF4081BT(D): 14-lead SO; plastic (SOT108-1)
- (): Package Designator North America

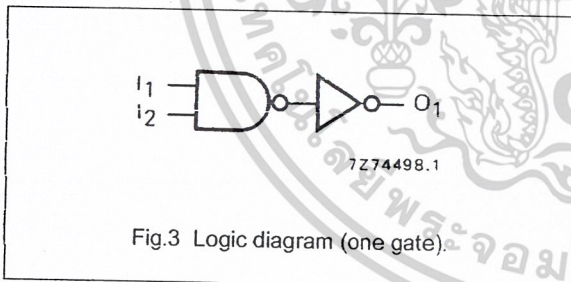


Fig.3 Logic diagram (one gate).

FAMILY DATA, I_{DD} LIMITS category GATES

See Family Specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quadruple 2-input AND gate

HEF4081B
gates

AC CHARACTERISTICS

V_{SS} = 0 V; T_{amb} = 25 °C; C_L = 50 pF; input transition times ≤ 20 ns

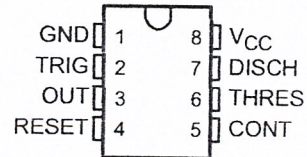
	V _{DD} V	SYMBOL	TYP.	MAX.	TYPICAL EXTRAPOLATION FORMULA							
Propagation delays I _n → O _n	5	t _{PHL}	55	110	ns	28 ns + (0,55 ns/pF) C _L						
							HIGH to LOW	10	25	50	ns	14 ns + (0,23 ns/pF) C _L
								15	20	40	ns	12 ns + (0,16 ns/pF) C _L
	LOW to HIGH		5	t _{PLH}	45	90	ns	18 ns + (0,55 ns/pF) C _L				
			10		20	40	ns	9 ns + (0,23 ns/pF) C _L				
			15		15	30	ns	7 ns + (0,16 ns/pF) C _L				
Output transition times	5	t _{THL}	60	120	ns	10 ns + (1,0 ns/pF) C _L						
							HIGH to LOW	10	30	60	ns	9 ns + (0,42 ns/pF) C _L
								15	20	40	ns	6 ns + (0,28 ns/pF) C _L
	LOW to HIGH		5	t _{TLH}	60	120	ns	10 ns + (1,0 ns/pF) C _L				
			10		30	60	ns	9 ns + (0,42 ns/pF) C _L				
			15		20	40	ns	6 ns + (0,28 ns/pF) C _L				

	V _{DD} V	TYPICAL FORMULA FOR P (μW)	
Dynamic power dissipation per package (P)	5	450 f _i + ∑ (f _o CL) × V _{DD} ²	where f _i = input freq. (MHz) f _o = output freq. (MHz) C _L = load capacitance (pF) ∑ (f _o C _L) = sum of outputs V _{DD} = supply voltage (V)
	10	2 900 f _i + ∑ (f _o CL) × V _{DD} ²	
	15	11 700 f _i + ∑ (f _o CL) × V _{DD} ²	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



description

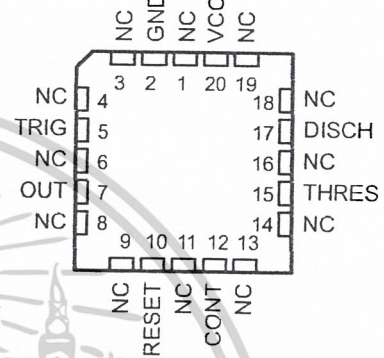
These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or monostable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the astable mode of operation, the frequency and duty cycle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

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

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

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

SE555 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

AVAILABLE OPTIONS

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

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



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

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

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

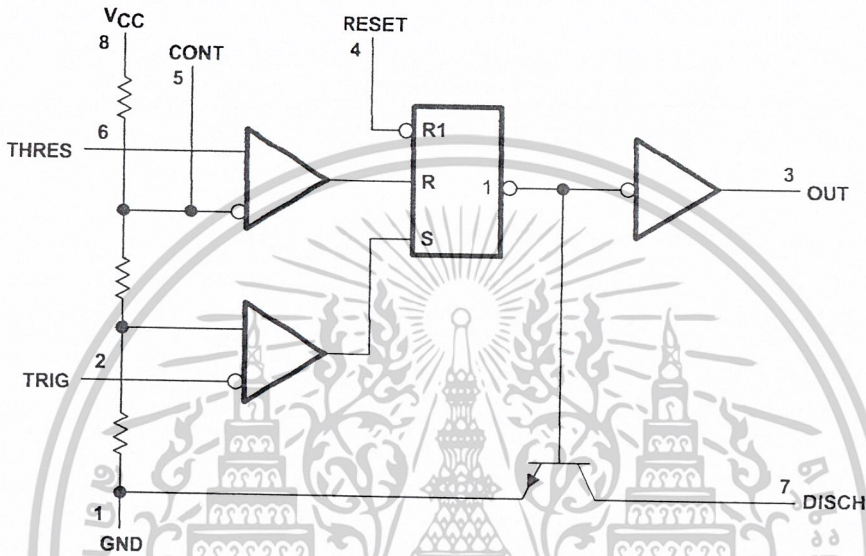
SLFS022C – SEPTEMBER 1973 – REVISED FEBRUARY 2002

FUNCTION TABLE

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

† Voltage levels shown are nominal.

functional block diagram



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.

NOTE A: RESET can override TRIG, which can override THRES.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

DISSIPATION RATING TABLE

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

recommended operating conditions

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NE555, SA555, SE555 PRECISION TIMERS

SLFS022C - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 2002

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS		SE555			NE555 SA555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
THRES voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9.4	10	10.6	8.8	10	11.2	V
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		2.7	3.3	4	2.4	3.3	4.2	
THRES current (see Note 3)			30	250		30	250	nA	
TRIG voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	4.5	5	5.6	V
			3		6				
TRIG current	$V_{CC} = 5\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	1.45	1.67	1.9	1.1	1.67	2.2	V
					1.9				
TRIG current	TRIG at 0 V			0.5	0.9		0.5	2	μA
RESET voltage level	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	V
RESET current	RESET at V_{CC}			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
	RESET at 0 V			-0.4	-1		-0.4	-1.5	
DISCH switch off-state current			20	100		20	100	nA	
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.6	10	10.4	9	10	11	V
			9.6		10.4				
Low-level output voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	V
			2.9		3.8				
Low-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
					0.2				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 50\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.4	0.5		0.4	0.75	
					1				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		2	2.2		2	2.5	
					2.7				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 200\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		2.5			2.5		
				0.35					
High-level output voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 3.5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.1	0.2		0.1	0.35	
					0.8				
High-level output voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 8\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.15	0.25		0.15	0.4	
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	13	13.3		12.75	13.3	V	
			12						
$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -200\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		12.5			12.5			
			3	3.3		2.75	3.3		
Supply current	Output low, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		10	12		10	15	mA
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		3	5		3	6	
	Output high, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9	10		9	13	
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		2	4		2	5	

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

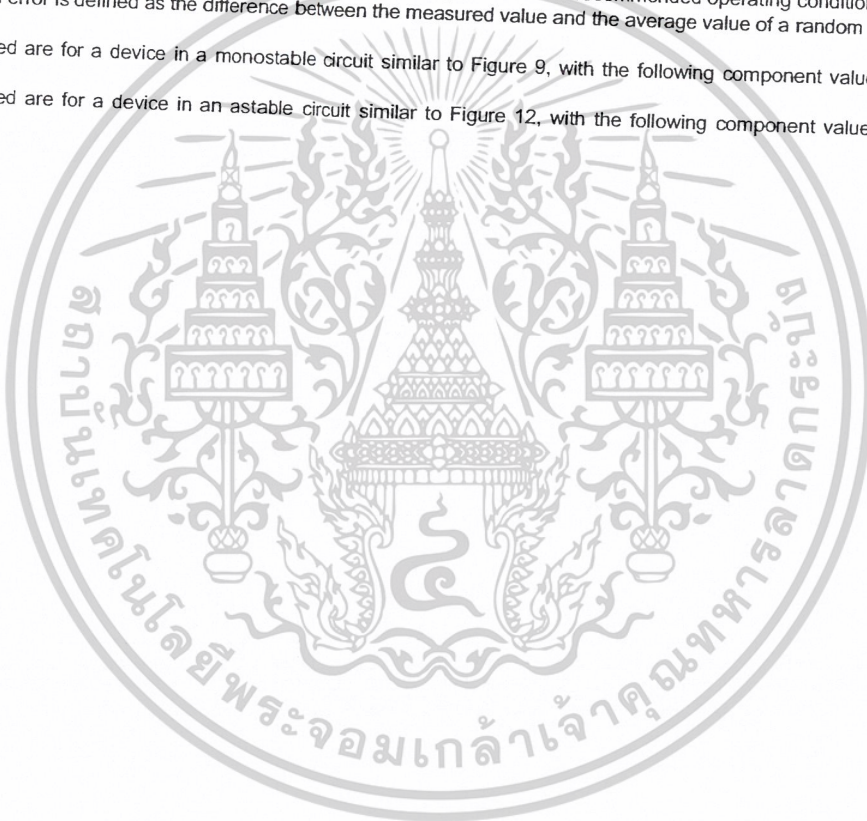
* On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

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

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

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

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS†

LOW-LEVEL OUTPUT VOLTAGE
vs
LOW-LEVEL OUTPUT CURRENT

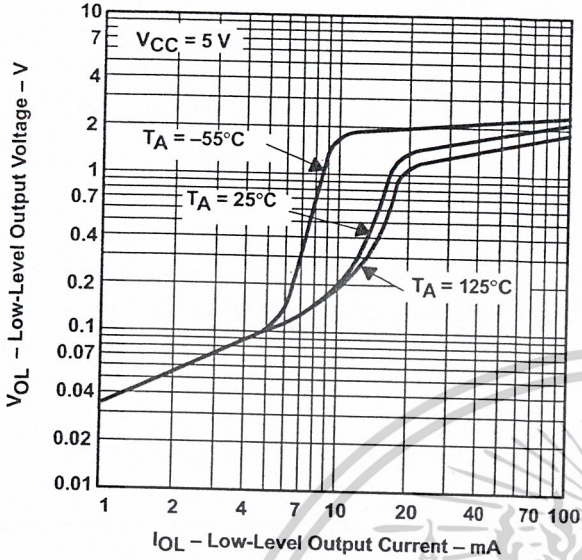


Figure 1

LOW-LEVEL OUTPUT VOLTAGE
vs
LOW-LEVEL OUTPUT CURRENT

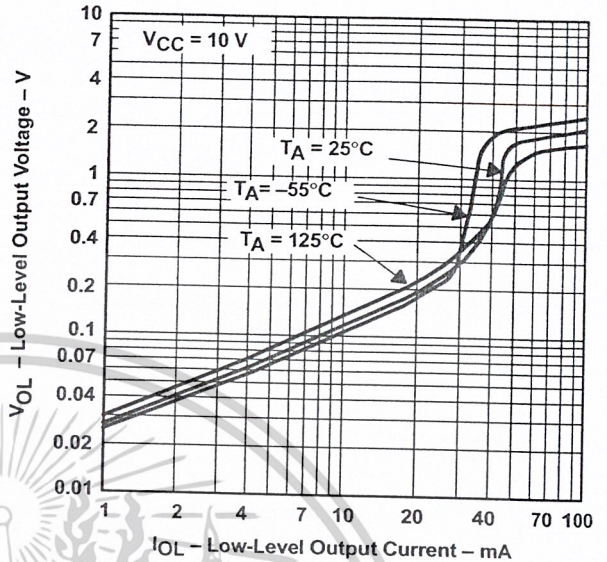


Figure 2

LOW-LEVEL OUTPUT VOLTAGE
vs
LOW-LEVEL OUTPUT CURRENT

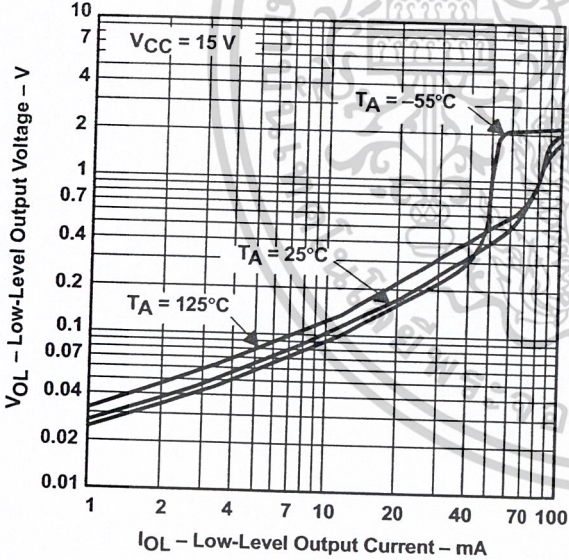


Figure 3

DROP BETWEEN SUPPLY VOLTAGE AND OUTPUT
vs
HIGH-LEVEL OUTPUT CURRENT

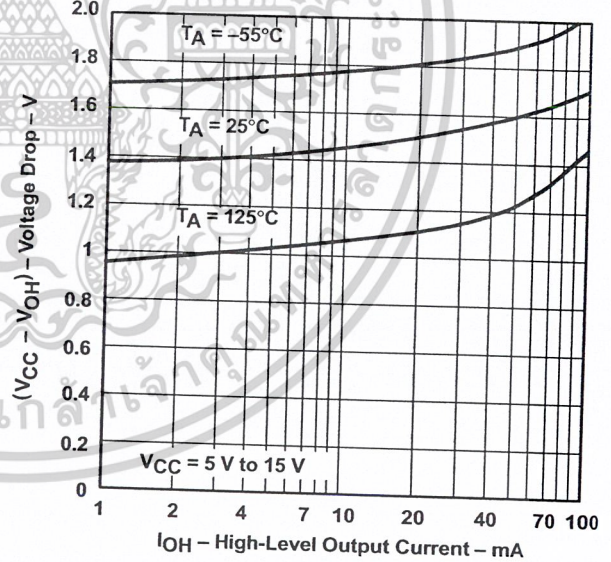


Figure 4

†Data for temperatures below 0°C and above 70°C are applicable for SE555 circuits only.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS†

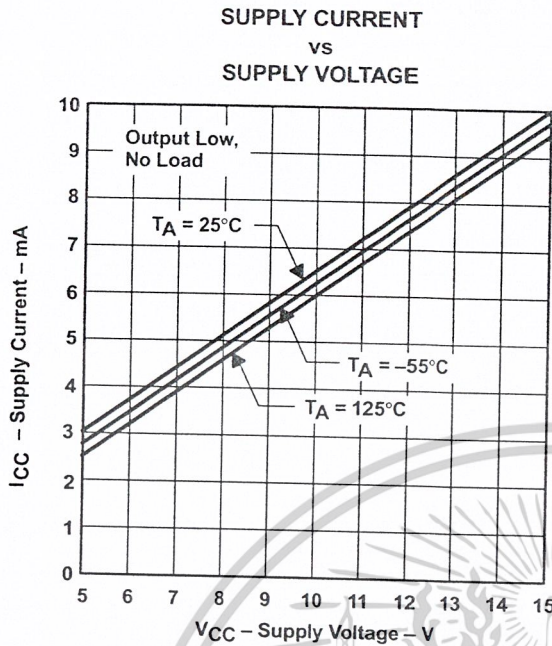


Figure 5

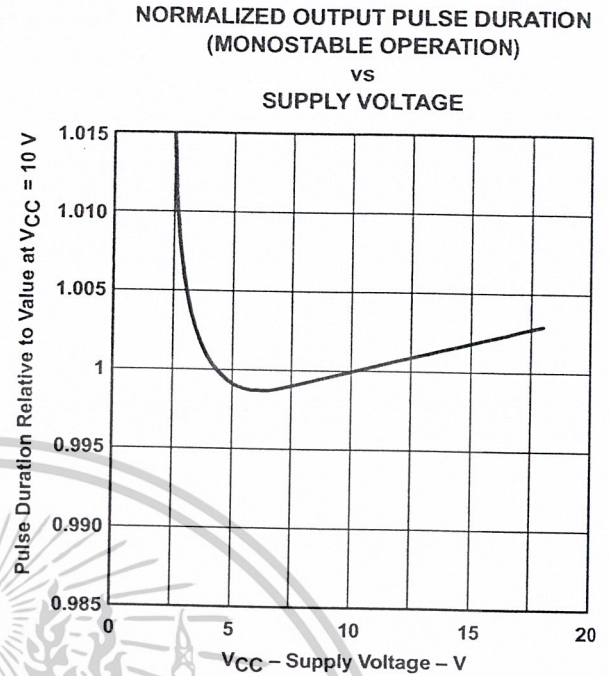


Figure 6

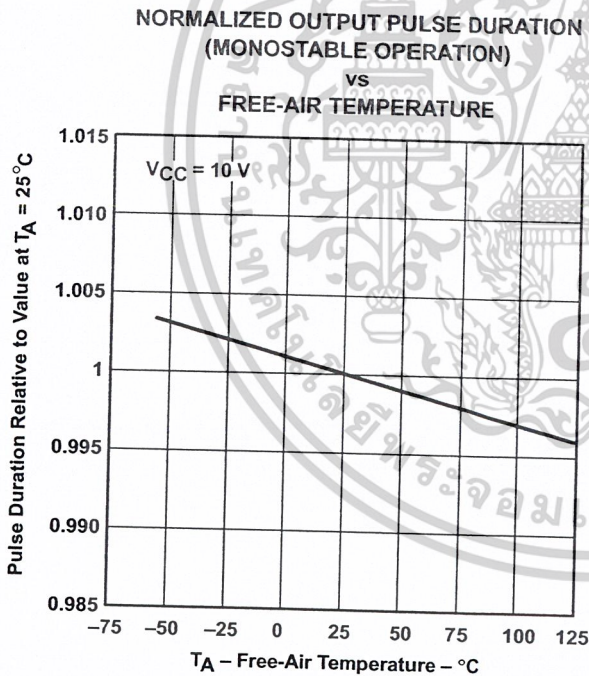


Figure 7

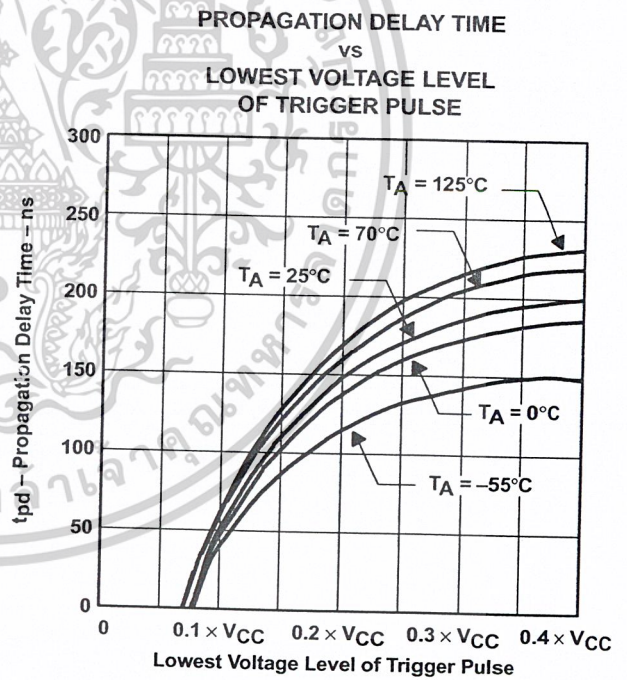


Figure 8

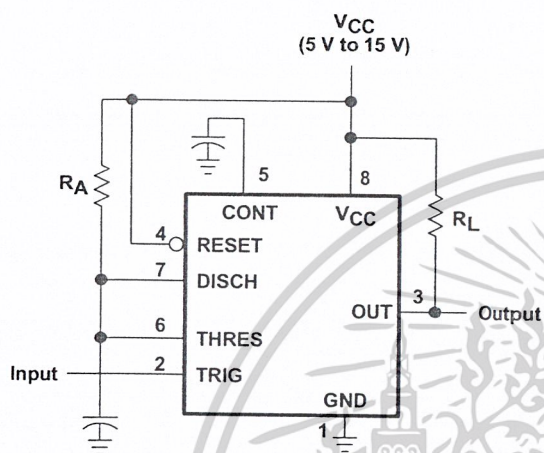
†Data for temperatures below 0°C and above 70°C are applicable for SE555 series circuits only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

monostable operation

For monostable operation, any of these timers can be connected as shown in Figure 9. If the output is low, application of a negative-going pulse to the trigger (TRIG) sets the flip-flop (\bar{Q} goes low), drives the output high, and turns off Q1. Capacitor C then is charged through R_A until the voltage across the capacitor reaches the threshold voltage of the threshold (THRES) input. If TRIG has returned to a high level, the output of the threshold comparator resets the flip-flop (\bar{Q} goes high), drives the output low, and discharges C through Q1.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.

Figure 9. Circuit for Monostable Operation

Monostable operation is initiated when TRIG voltage falls below the trigger threshold. Once initiated, the sequence ends only if TRIG is high at the end of the timing interval. Because of the threshold level and saturation voltage of Q1, the output pulse duration is approximately $t_w = 1.1R_A C$. Figure 11 is a plot of the time constant for various values of R_A and C. The threshold levels and charge rates both are directly proportional to the supply voltage, V_{CC} . The timing interval is, therefore, independent of the supply voltage, so long as the supply voltage is constant during the time interval.

Applying a negative-going trigger pulse simultaneously to RESET and TRIG during the timing interval discharges C and reinitiates the cycle, commencing on the positive edge of the reset pulse. The output is held low as long as the reset pulse is low. To prevent false triggering, when RESET is not used, it should be connected to V_{CC} .

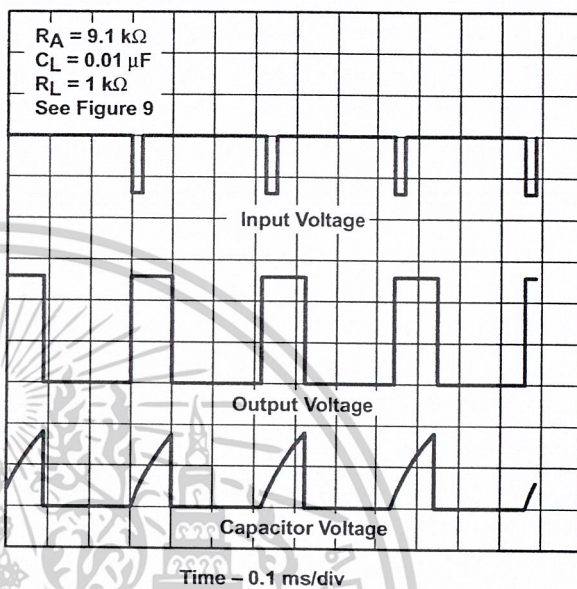


Figure 10. Typical Monostable Waveforms

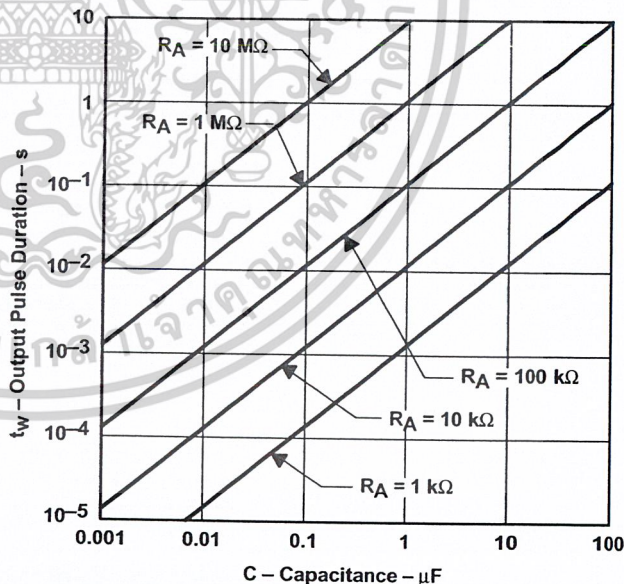


Figure 11. Output Pulse Duration vs Capacitance



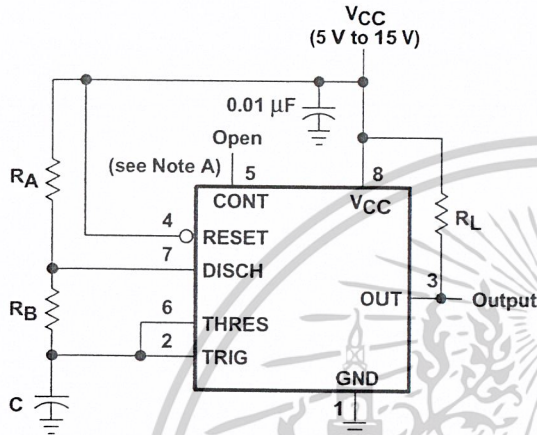
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

APPLICATION INFORMATION

astable operation

As shown in Figure 12, adding a second resistor, R_B , to the circuit of Figure 9 and connecting the trigger input to the threshold input causes the timer to self-trigger and run as a multivibrator. The capacitor C charges through R_A and R_B and then discharges through R_B only. Therefore, the duty cycle is controlled by the values of R_A and R_B .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ($\approx 0.67 \times V_{CC}$) and the trigger-voltage level ($\approx 0.33 \times V_{CC}$). As in the monostable circuit, charge and discharge times (and, therefore, the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: Decoupling CONT voltage to ground with a capacitor can improve operation. This should be evaluated for individual applications.

Figure 12. Circuit for Astable Operation

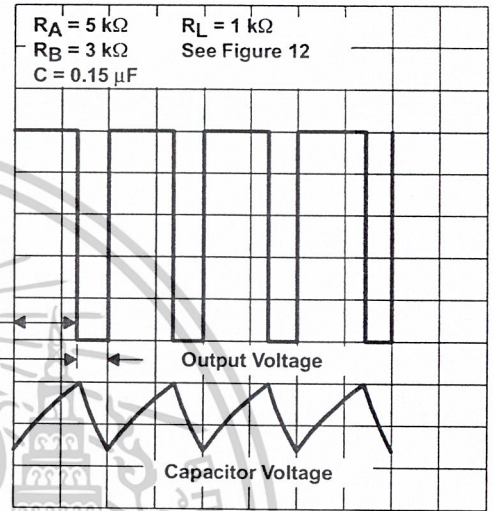


Figure 13. Typical Astable Waveforms



APPLICATION INFORMATION

astable operation (continued)

Figure 13 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration t_H and low-level duration t_L can be calculated as follows:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C$$

Other useful relationships are shown below.

$$\text{period} = t_H + t_L = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

$$\text{frequency} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

Output waveform duty cycle

$$= \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

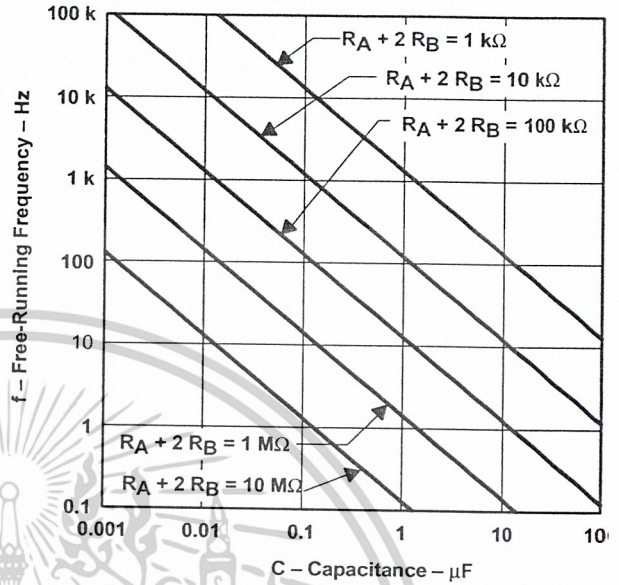
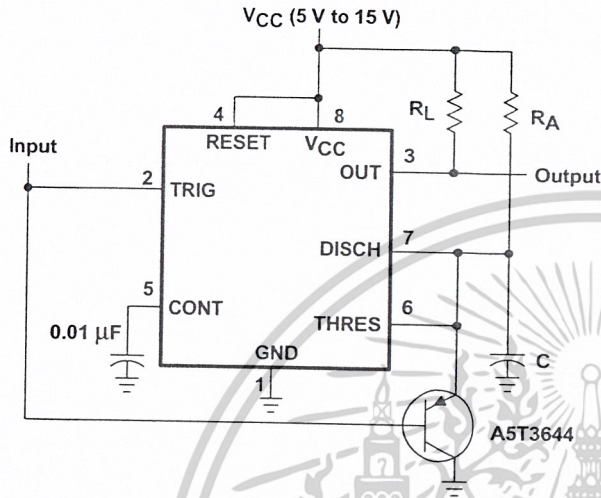


Figure 14. Free-Running Frequency

APPLICATION INFORMATION

missing-pulse detector

The circuit shown in Figure 15 can be used to detect a missing pulse or abnormally long spacing between consecutive pulses in a train of pulses. The timing interval of the monostable circuit is retriggered continuously by the input pulse train as long as the pulse spacing is less than the timing interval. A longer pulse spacing, missing pulse, or terminated pulse train permits the timing interval to be completed, thereby generating an output pulse as shown in Figure 16.



Pin numbers shown are shown for the D, JG, P, PS, and PW packages.

Figure 15. Circuit for Missing-Pulse Detector

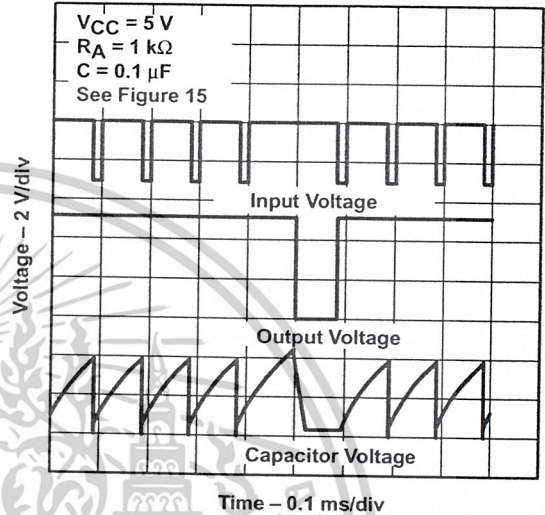


Figure 16. Completed-Timing Waveforms for Missing-Pulse Detector



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 9 can be made to operate as a frequency divider. Figure 17 shows a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

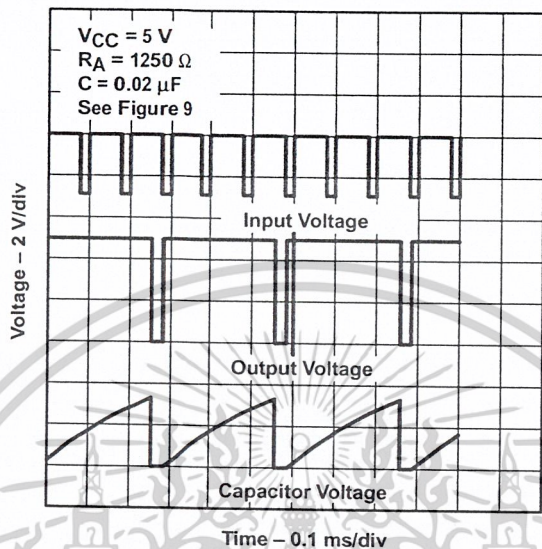
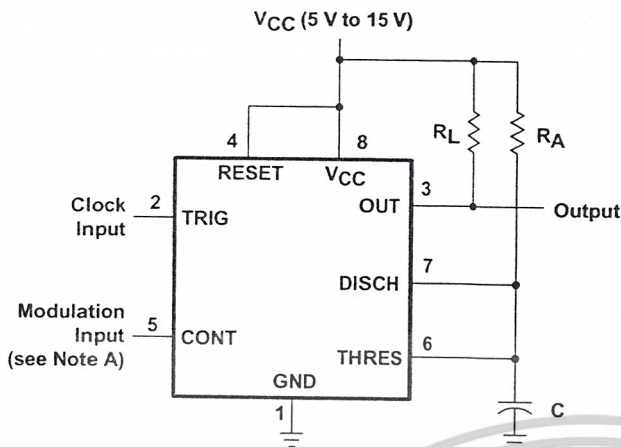


Figure 17. Divide-by-Three Circuit Waveforms

pulse-width modulation

The operation of the timer can be modified by modulating the internal threshold and trigger voltages, which is accomplished by applying an external voltage (or current) to CONT. Figure 18 shows a circuit for pulse-width modulation. A continuous input pulse train triggers the monostable circuit, and a control signal modulates the threshold voltage. Figure 19 shows the resulting output pulse-width modulation. While a sine-wave modulation signal is illustrated, any wave shape could be used.

APPLICATION INFORMATION



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: The modulating signal can be direct or capacitively coupled to CONT. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the timer should be considered.

Figure 18. Circuit for Pulse-Width Modulation

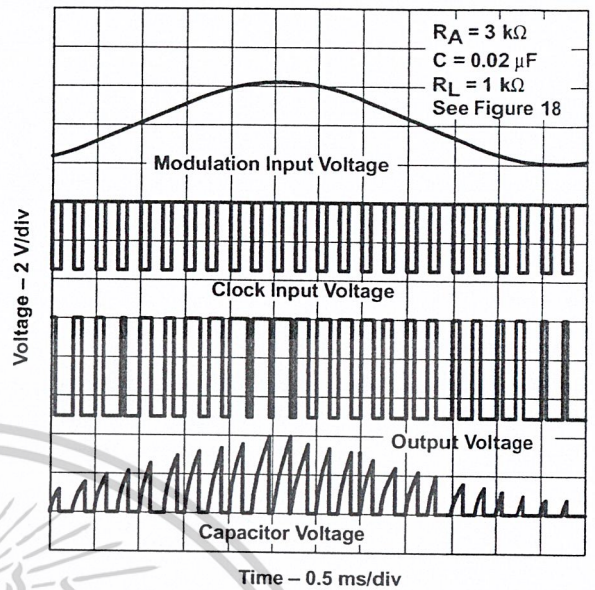
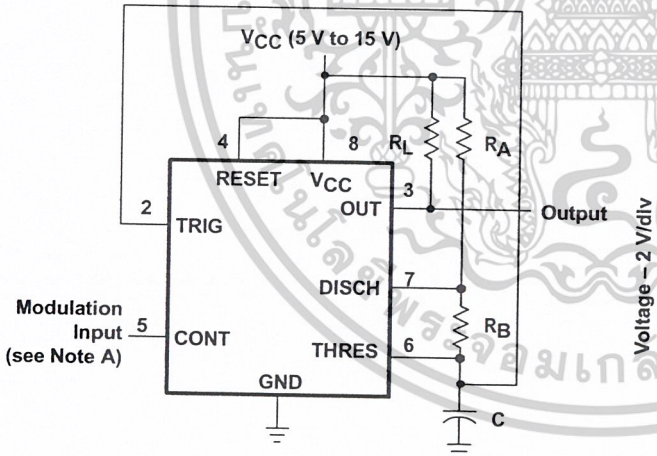


Figure 19. Pulse-Width-Modulation Waveforms

pulse-position modulation

As shown in Figure 20, any of these timers can be used as a pulse-position modulator. This application modulates the threshold voltage and, thereby, the time delay, of a free-running oscillator. Figure 21 shows a triangular-wave modulation signal for such a circuit; however, any wave shape could be used.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: The modulating signal can be direct or capacitively coupled to CONT. For direct coupling, the effects of modulation source voltage and impedance on the bias of the timer should be considered.

Figure 20. Circuit for Pulse-Position Modulation

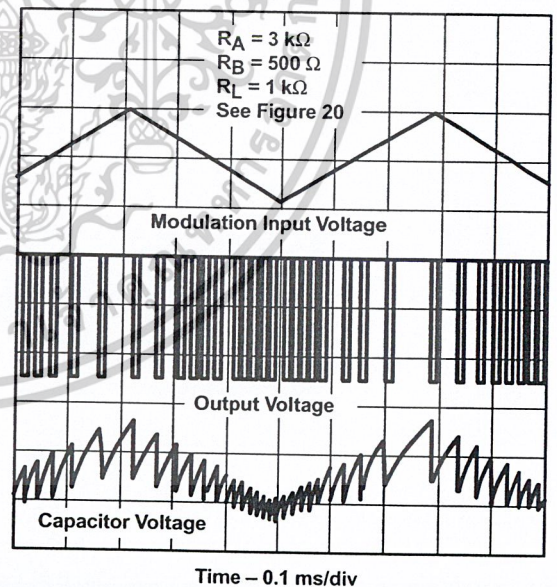


Figure 21. Pulse-Position-Modulation Waveforms



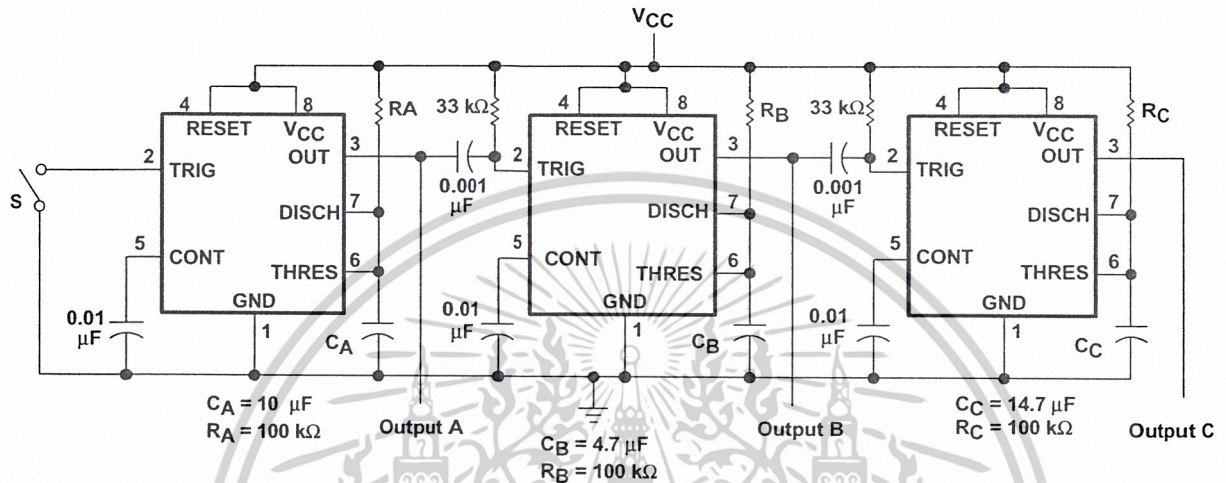
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

sequential timer

Many applications, such as computers, require signals for initializing conditions during start-up. Other applications, such as test equipment, require activation of test signals in sequence. These timing circuits can be connected to provide such sequential control. The timers can be used in various combinations of astable or monostable circuit connections, with or without modulation, for extremely flexible waveform control. Figure 22 shows a sequencer circuit with possible applications in many systems, and Figure 23 shows the output waveforms.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: S closes momentarily at $t = 0$.

Figure 22. Sequential Timer Circuit

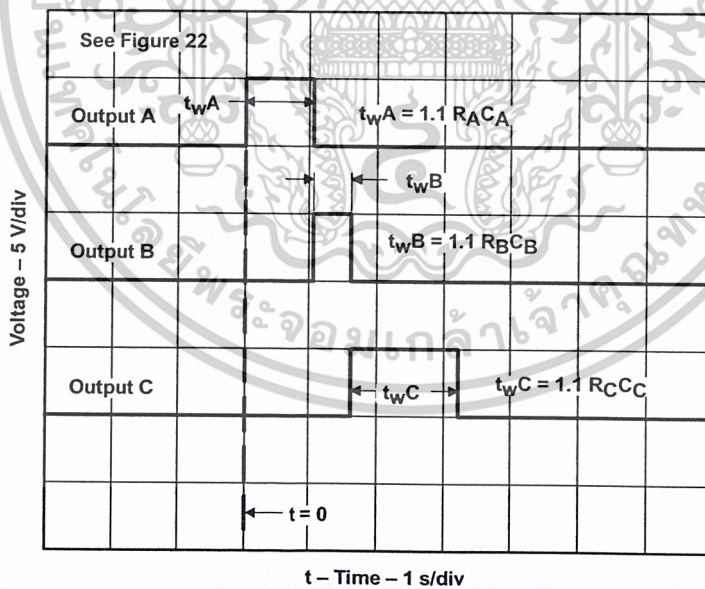


Figure 23. Sequential Timer Waveforms



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Mailing Address:

Texas Instruments
Post Office Box 655303
Dallas, Texas 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้