



ไทรแอกชนิดควบคุมมุมเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
PHASE-CONTROLLED TRIAC BY MICROCONTROLLER



นายบุญญฤทธิ์ ว่างอน รหัส 50380362

นายปรเมศวร์ อนุพันธ์กุล รหัส 50382342

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 19/๓.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15739561
เลขเรียกหนังสือ..... ม/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ม443

2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ไตรแอกซินิกควมคุมมูมเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้ดำเนินโครงการ นายบุญญฤทธิ์ ว่างอน รหัส 50380362
นายปรเมศวร์ อนุพันธ์กุล รหัส 50382342
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. สุชาติ เข้มเม่น)

.....กรรมการ
(ดร. แสงชัย มังกรทอง)

ชื่อหัวข้อโครงการ ไตรแอกชนิดควบคุมมุมเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้ดำเนินโครงการ นายบุญญฤทธิ์ ว่างอน รหัส 50380362
นายปรเมศวร์ อนุพันธ์กุล รหัส 50382342
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างชุดควบคุมมุมเฟสโดยไตรแอกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เพื่อควบคุมการทำงานของไตรแอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณไปควบคุมมุมจุดฉนวนของไตรแอกให้ทำงานที่ระดับแรงดันที่เราต้องการ โดยใช้สวิตช์ปุ่มกดในการปรับมุมเฟส

Project title Phase-controlled Triac by Microcontroller

Name Mr. Bunyarit Wangngon ID. 50380362
Mr. Poramed Anupantigul ID. 50382342

Project advisor Mr. Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2010

Abstract

This project is a phase angle control by using the Triac action by microcontroller PIC 16F877 to control the actions of Triac. Microcontroller generates a signal to control the angle of the Triac insulator to work at the level of Voltage we want. Using the switch buttons to adjust the phase angle.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

ขอขอบคุณ คุณฉัตรชัย โกสุม ข้าราชการครูวิทยาลัยการอาชีพค่านซ้ายที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์ในระหว่างดำเนินโครงการ

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายบุญญฤทธิ์ ว่างอน

นายปรเมศวร์ อนุพันธ์กุล

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 แนวทางการดำเนินงาน.....	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.7 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของไตรแอก.....	4
2.1.1 การทำงานของไตรแอก.....	6
2.1.2 กราฟคุณสมบัติของไตรแอก.....	8
2.1.3 การหยุดการนำกระแสของไตรแอก.....	9
2.1.4 การควบคุมเฟสของไตรแอก.....	10
2.1.5 สูตรที่ใช้ในการการคำนวณหาแรงดันที่เกิดจากการทำงานของไตรแอก.....	11
2.1.6 สูตรที่ใช้ในการคำนวณหากำลังที่เกิดจากการทำงานของไตรแอก.....	11
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877.....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1	โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์	12
2.2.2	คุณสมบัติต่าง ๆ ของ PIC16F877.....	13
2.3	วงจรเรียงกระแส (Rectifier)	15
2.3.1	วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Circuit).....	15
2.3.2	วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier Circuit).....	16
2.3.3	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แท็ป (Center Tap Rectifier Circuit).....	16
2.3.4	วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit).....	17
2.4	ไอซีเร็กกูเลเตอร์ (IC Regulator).....	19
2.4.1	ไอซีเร็กกูเลเตอร์สามขาชนิดจ่ายแรงดันคงที่.....	19
2.5	วงจรซีโร่ครอสซิง (Zero Crossing).....	20
2.6	จอแสดงผล LCD.....	21
บทที่ 3	การออกแบบและสร้างชุดควบคุมมุมเฟส.....	23
3.1	อุปกรณ์การทดลอง.....	23
3.2	ระบบการทำงานของวงจรควบคุมมุมเฟส.....	24
3.3	การออกแบบวงจรและชุดควบคุมมุมเฟส.....	25
3.4	การออกแบบการเขียนโปรแกรม.....	28
3.4.1	การเขียน (Flow Chart) ของโปรแกรม.....	28
3.4.2	ตัวอย่างการเขียน Source code ควบคุมมุมเฟส.....	30
3.5	การโปรแกรมไฟล์ .hex ลงในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	32
บทที่ 4	ผลการทดสอบ.....	39
4.1	จุดประสงค์การทดลอง.....	39
4.2	ขั้นตอนการทดลอง.....	39
4.3	ผลการทดลอง.....	40
4.4	สาเหตุของค่าความคลาดเคลื่อน.....	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.1 ความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการวัด.....	54
4.4.2 ความคลาดเคลื่อนจากระบบ.....	54
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	56
5.2 ประเมินผลการทดลอง.....	57
5.3 แนวทางสำหรับการพัฒนา.....	57
5.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก ก การติดตั้ง โปรแกรม Mikro C และ Proteus 7.5.....	59
ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	68
ภาคผนวก ค ข้อมูลทางเทคนิคอุปกรณ์ที่สำคัญ.....	70
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งขาและการใช้งาน LCD.....	22
4.1 โหลดหลอดไส้ขนาด 25 วัตต์.....	52
4.2 โหลดมอเตอร์กระแสสลับขนาด 54 วัตต์.....	53



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไตรแอกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน [1]	4
2.2 สัญลักษณ์และตำแหน่งขาของไตรแอก [1].....	5
2.3 สภาวะที่ 1 หรือ ควอนแดรนซ์ ที่ 1 [1].....	6
2.4 สภาวะที่ 2 หรือ ควอนแดรนซ์ ที่ 2 [1].....	7
2.5 สภาวะที่ 3 หรือควอนแดรนซ์ที่ 3 [1].....	7
2.6 สภาวะที่ 4 หรือควอนแดรนซ์ที่ 4 [1].....	8
2.7 กราฟลักษณะสมบัติของไตรแอก [1].....	9
2.8 วงจรควบคุมแรงดันไฟสถับ 1 เฟส ด้วยไตรแอก และSCR [1].....	10
2.9 แรงดันที่เกิดจากการทำงานของไตรแอก [1].....	10
2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 [2]	12
2.11 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 [2]	13
2.12 ไคโอครนิกต่างๆ [3]	15
2.13 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น [4].....	16
2.14 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น [4]	16
2.15 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แท็ปเมื่ออินพุตเป็นซีกบวก [4].....	17
2.16 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แท็ปเมื่ออินพุตเป็นซีกลบ [4].....	17
2.17 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ [4].....	18
2.18 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ [4]	18
2.19 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก [4]	18
2.20 ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 [5]	19
2.21 วงจรการใช้งาน ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 [5].....	20
2.22 วงจรซีโรครอสซิง [10].....	20
2.23 วงจรขั้วการทำงานของไตรแอกโดยไอซี (Opto MOC3023) [11]	21
2.24 จอแสดงผล LCD	21
3.1 Oscilloscope และ 3.2 มัลติมิเตอร์	23
3.3 หม้อแปลงขนาด 220/12 V และ PIC16F877	23
3.5 Block Diagram	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 วงจรสมบูรณ์ของควบคุมมูมเฟส.....	26
3.7 รูปประกอบจริงของชุดควบคุมไครแอก.....	27
3.8 ทำการ Download HEX File.....	33
3.9 เลือกกำหนดภาษา.....	33
3.10 การกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์.....	34
3.11 ตั้งค่า Program.....	34
3.12 ตั้งค่า Device.....	35
3.13 ตั้งค่า File .hex.....	35
3.14 การ Device Detect PIC”.....	36
3.15 ตรวจสอบค่าของ Configuration.....	37
3.16 Download Hex File.....	37
3.17 Download Hex File เสร็จสมบูรณ์.....	38
4.1 การทดสอบเพื่อดูกราฟที่เกิดจากการปรับมูมเฟส.....	39
4.2 จุดขนวนที่ 0.5 ms หรือมูมที่ 9 องศา.....	40
4.3 จุดขนวนที่ 1.0ms หรือมูมที่ 18 องศา.....	40
4.4 จุดขนวนที่ 1.5 ms หรือมูมที่ 27 องศา.....	41
4.5 จุดขนวนที่ 2.0 ms หรือมูมที่ 36 องศา.....	41
4.6 จุดขนวนที่ 2.5 ms หรือมูมที่ 45 องศา.....	41
4.7 จุดขนวนที่ 3.0 ms หรือมูมที่ 54 องศา.....	42
4.8 จุดขนวนที่ 3.5 ms หรือมูมที่ 63 องศา.....	42
4.9 จุดขนวนที่ 4.0ms หรือมูมที่ 72 องศา.....	42
4.10 จุดขนวนที่ 4.5 ms หรือมูมที่ 81 องศา.....	43
4.11 จุดขนวนที่ 5.0 ms หรือมูมที่ 90 องศา.....	43
4.12 จุดขนวนที่ 5.5 ms หรือมูมที่ 99 องศา.....	43
4.13 จุดขนวนที่ 6.0 ms หรือมูมที่ 108 องศา.....	44
4.14 จุดขนวนที่ 6.5 ms หรือมูมที่ 117 องศา.....	44
4.15 จุดขนวนที่ 7.0ms หรือมูมที่ 126 องศา.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 จุดชนวนที่ 7.5 ms หรือมุมที่ 135 องศา	45
4.17 จุดชนวนที่ 8.0 ms หรือมุมที่ 144 องศา	45
4.18 จุดชนวนที่ 0.5 ms หรือมุมที่ 9 องศา	46
4.19 จุดชนวนที่ 1.0ms หรือมุมที่ 18 องศา	46
4.20 จุดชนวนที่ 1.5 ms หรือมุมที่ 27 องศา	47
4.21 จุดชนวนที่ 2.0 ms หรือมุมที่ 36 องศา	47
4.22 จุดชนวนที่ 2.5 ms หรือมุมที่ 45 องศา	47
4.23 จุดชนวนที่ 3.0 ms หรือมุมที่ 54 องศา	48
4.24 จุดชนวนที่ 3.5 ms หรือมุมที่ 63 องศา	48
4.25 จุดชนวนที่ 4.0ms หรือมุมที่ 72 องศา	48
4.26 จุดชนวนที่ 4.5 ms หรือมุมที่ 81 องศา	49
4.27 จุดชนวนที่ 5.0 ms หรือมุมที่ 90 องศา	49
4.28 จุดชนวนที่ 5.5 ms หรือมุมที่ 99 องศา	49
4.29 จุดชนวนที่ 6.0 ms หรือมุมที่ 108 องศา	50
4.30 จุดชนวนที่ 6.5 ms หรือมุมที่ 117 องศา	50
4.31 จุดชนวนที่ 7.0ms หรือมุมที่ 126 องศา	50
4.32 จุดชนวนที่ 7.5 ms หรือมุมที่ 135 องศา	51
4.33 จุดชนวนที่ 8.0 ms หรือมุมที่ 144 องศา	51
4.34 รูปสัญญาณอ้างอิง (Zero Crossing)	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันการใช้โหลดกระแสสลับมีอยู่เป็นจำนวนมาก การปรับค่าแรงดันของไฟฟ้ากระแสสลับให้เหมาะสมกับโหลดก็เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้การทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ โครงการสร้างขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้สามารถมีระดับแรงดันเอาต์พุตต่างๆ ตามความเหมาะสมกับโหลด โดยอาศัยหลักการในการควบคุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (AC 220 V) ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์เวฟ (มูมเฟส 360 องศา) ขนาดความถี่ 50 Hz เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ส่วนใหญ่ล้วนแต่ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับแทบทั้งสิ้น เช่น หลอดไฟ พัดลม กระทะไฟฟ้า และอื่นๆ เป็นต้น โดยความต้องการของการควบคุมแรงดันไฟฟ้า นอกจากการเปิด-ปิด แล้วยังมีเครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทที่มีความต้องการที่จะทำงานในระดับแรงดันต่างๆ เช่น หลอดไฟแบบไส้ เครื่องทำน้ำร้อน เป็นต้น

โครงการนี้จึงนำเสนอวงจรควบคุมมูมเฟสของไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการทำงานของวงจรควบคุมมูมเฟสที่สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมมูมเฟส โดยควบคุมมูมจุดชนวนของไมโครคอนโทรลเลอร์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมูมจุดชนวนทำให้สามารถปรับค่าแรงดันเอาต์พุตได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นชนิดที่สามารถทนกระแสได้สูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 1.2.2 เพื่อสร้างชุดควบคุมมูมเฟส
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเขียน โปรแกรมโดยใช้ภาษาซี (Mikro C) ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 แนวทางการดำเนินงาน

- 1.3.1 หาข้อมูลและทำการศึกษาวงจรและอุปกรณ์
- 1.3.2 ศึกษาการทำงานของวงจรควบคุมมูมเฟส
- 1.3.3 ทำการสร้างวงจรควบคุมมูมเฟสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.3.4 ทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมมูมเฟสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.7 งบประมาณ

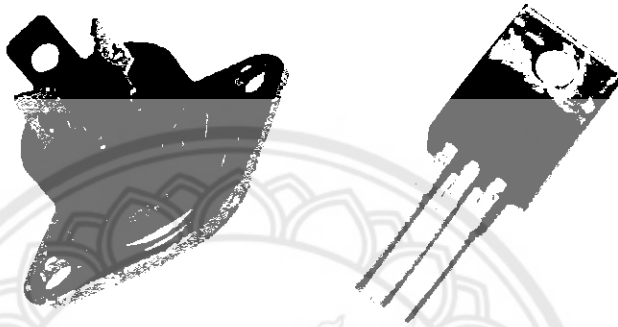
ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,500 บาท
ค่าจัดทำรายงาน	500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000 บาท</u>
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของไทรแอก



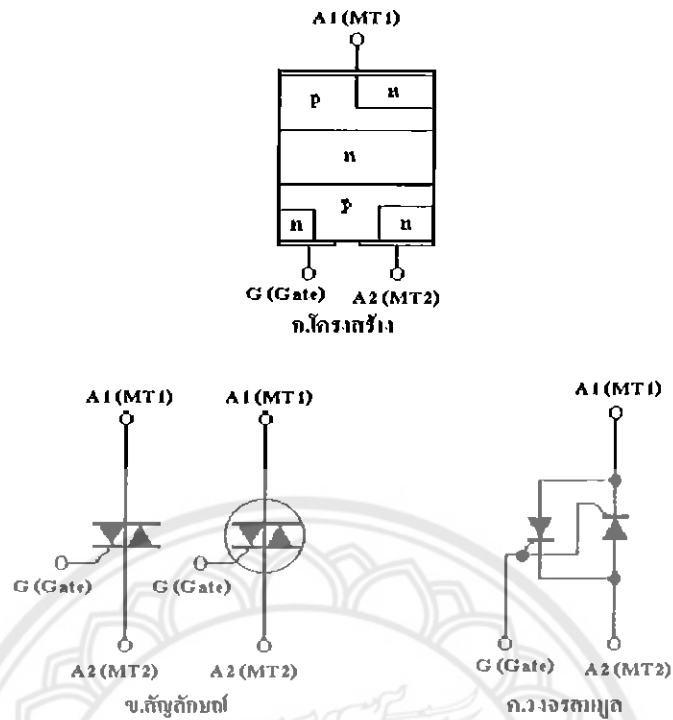
รูปที่ 2.1 ไทรแอกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน [1]

ไทรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำในกลุ่มของไทริสเตอร์ มีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายกับไดโอด แต่มีขาเกตเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ขา ไทรแอกถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของ SCR ซึ่งไม่สามารถนำกระแสในซีกลบของไฟฟ้าสลับได้ การนำไทรแอกไปใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ทำเป็นวงจรควบคุมการทำงานเป็นสวิตช์ต่อแรงดันไฟสลับ ไทรแอกถูกสร้างขึ้นมาให้ใช้งานกับกระแสสูง ๆ ดังนั้นต้องระวังเรื่องของการระบายความร้อน สัญลักษณ์โครงสร้างและวงจรสมมูลของไทรแอก ดังรูปที่ 2.2 ก ข และ ค

โครงสร้างของไทรแอกจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่ 3 ตอน คือ PNP และในสารกึ่งตัวนำตอนใหญ่จะมีสารกึ่งตัวนำตอนย่อยชนิด N อีก 3 ตอน ต่อรวมในสารกึ่งตัวนำ P ทั้ง 2 ตอน

มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา เหมือน SCR-Silicon Controlled Rectifier

- ขาแอดโนด 1 (A1) เรียกว่า ขาเทอร์มินอล 1 (Main terminal 1) MT1
- ขาแอดโนด 2 (A2) เรียกว่า ขาเทอร์มินอล 2 (Main terminal 2) MT2
- ขาเกต (Gate) G



รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์และตำแหน่งขาของไครแอก [1]

คุณสมบัติพื้นฐานเป็นของไครแอกซึ่งมีดังนี้

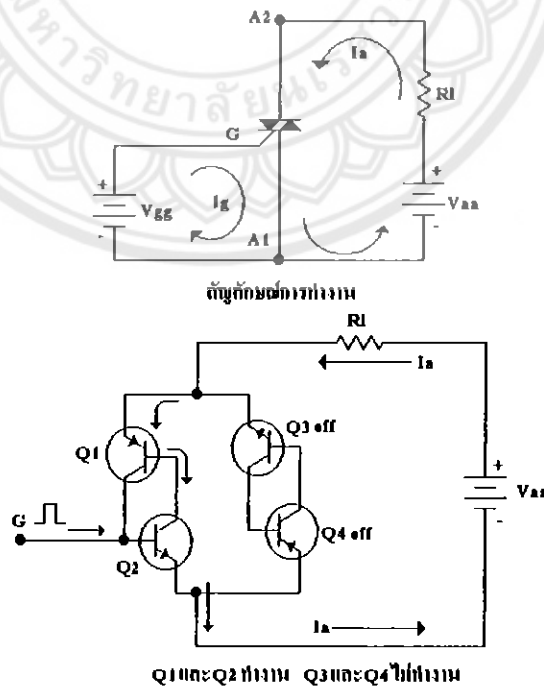
- โคมป์กติ ถ้าไม่มีสัญญาณทริกที่เกด ไครแอกจะไมทำงาน โดยจะมีลักษณะเหมือนกับสวิตซ์ที่ถูกเปิดวงจร
- ถ้าในกรณีที MT2 และ MT1 ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับไครแอกจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้น ๆ ที่เกดของมัน ไครแอกใช้เวลายเพียง $2-3 \times 10^{-6}$ วินาทีเท่านั้นในการทำเริ่มทำงานในขณะที่ไครแอกทำงานนั้น จะมีแรงดันตกคร่อมตัวมัน มีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์ เท่านั้น และก็เช่นกันคือเมื่อไครแอกเริ่มทำงานแล้ว ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อย ๆ ทรบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง
- หลังจากทีไครแอกคงสภาพการทำงานอยู่นั้น ทางเดียวทีจะหยุดการทำงานลงได้ ก็โดยการลดปริมาณกระแสทีไหลผ่านตัวมันลง ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดี้งของมัน ในกรณีทีใช้ไครแอกในการจ่ายกระแส AC การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ เมื่อแรงดันของไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ทีเกิดขึ้น ทุก ๆ ครึ่งคลื่น นั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์

- ไตรแอกถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ MT1 และ MT2 ดังนั้น การทำงานของไตรแอกนี้จะมีอยู่ 4 โหมดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วแรงดันที่ป้อนให้แก่ขาต่าง ๆ ของมัน ข้อแตกต่างกันเล็กน้อยของการทำงานในโหมดต่าง ๆ คือในกรณีของโหมดที่ขั้วแรงดันที่ให้แก่ขา MT2 และเกตเหมือนกัน (ทั้งบวกและลบ) จะทำให้มีค่าความไวที่เกิดสูงขึ้น
- ไตรแอกสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่น โดยปกติสำหรับไตรแอกที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ RMS-Root Mean Square สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่ง คาบเวลาของไฟ 60 เฮิร์ตซ์ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น

2.1.1 การทำงานของไตรแอก

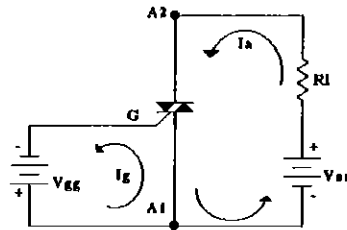
ไตรแอกมีคุณสมบัติ ทำงานได้ทั้งแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบ การนำกระแสของไตรแอกจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนกระตุ้นขา G และแรงดันที่จ่ายให้ขา A2 และ A1 การจ่ายไบอัสให้ตัวไตรแอกสามารถแบ่งได้เป็น 4 สถานะคือ

สถานะที่ 1 หรือควอนแดรนต์ที่ 1 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 และจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไตรแอกดังรูปที่ 2.3 ทิศทางไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกัน หรือกระแสไหลเสริมกัน ทำให้ I_a ไหลมากขึ้น

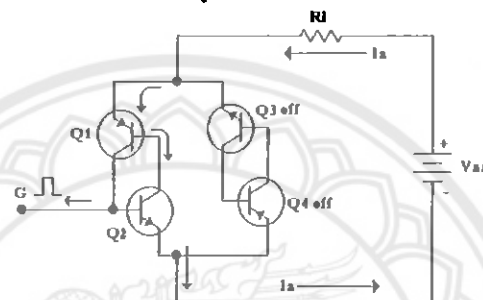


รูปที่ 2.3 สถานะที่ 1 หรือ ควอนแดรนต์ ที่ 1 [1]

สถานะที่ 2 หรือ ควอนแดรนต์ ที่ 2 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังรูปที่ 2.4 ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางสวนทาง หรือกระแสไหลหักล้างกัน ทำให้ I_a ไหลน้อยลง



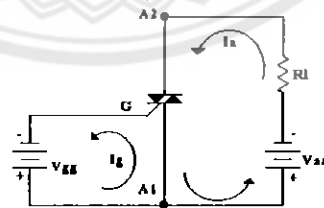
ทิศทางการไหลกระแส



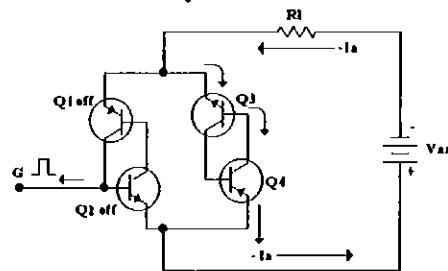
Q1และQ2ทำงาน Q3และQ4ไม่ทำงาน

รูปที่ 2.4 สถานะที่ 2 หรือ ควอนแดรนต์ ที่ 2 [1]

สถานะที่ 3 หรือควอนแดรนต์ที่ 3 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 จ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 แต่จ่ายแรงดันลบกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังรูปที่ 2.5 ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกัน หรือกระแสไหลเสริมกัน ทำให้ I_a ไหลมากขึ้น



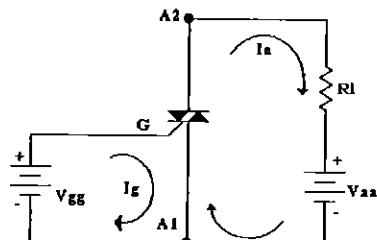
ทิศทางการไหลกระแส



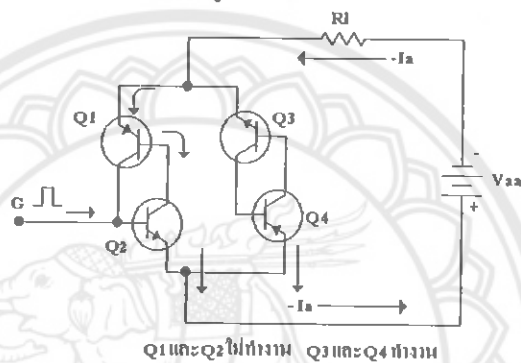
Q1และQ2ไม่ทำงาน Q3และQ4ทำงาน

รูปที่ 2.5 สถานะที่ 3 หรือควอนแดรนต์ที่ 3 [1]

สถานะที่ 4 หรือควอนแดรนต์ที่ 4 ถ่ายแรงดันลบให้ขา A2 ถ่ายแรงดันบวกให้ขา A1 แต่ถ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแสในตัวไดรแอกดังรูปที่ 2.6 ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางสวนทาง หรือกระแสไหลหักล้างกัน ทำให้ I_a ไหลน้อยลง



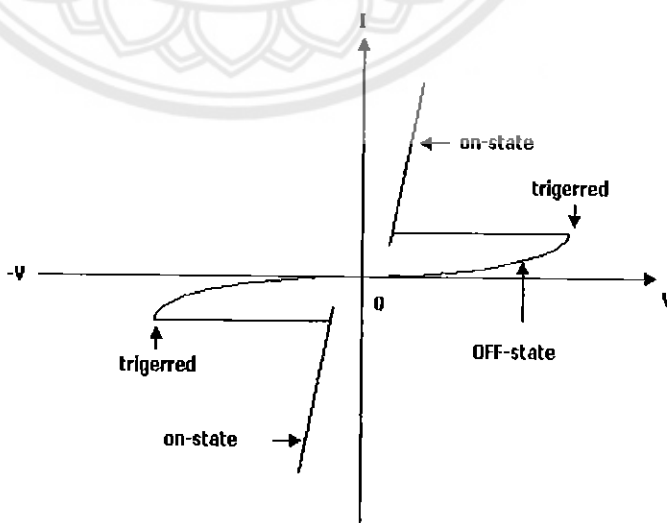
สัญลักษณ์การทำงาน



Q1 และ Q2 ไปทำงาน Q3 และ Q4 ทำงาน

รูปที่ 2.6 สถานะที่ 4 หรือควอนแดรนต์ที่ 4 [1]

2.1.2 กราฟคุณสมบัติของไทรแอก



รูปที่ 2.7 กราฟลักษณะสมบัติของไทรแอก [1]

ดูจากรูปกราฟที่ 2.7 แสดงลักษณะสมบัติของไทรแอก เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลระหว่าง A2- A1 และแรงดันที่ตกคร่อมทั้งบวกและลบ ในขณะที่ให้แรงดันคร่อม A2- A1 มีค่าเป็นบวกเทียบกับ A1 และถ้ายังไม่มีการจุดชนวน (Trigger) แล้ว จะมีค่าแรงดันระหว่าง A2- A1 ค่าๆหนึ่งที่ทำให้มันนำกระแสเองได้ แรงดันนี้คือแรงดันพังทลาย เหมือนกับ SCR แต่ถ้าให้แรงดัน A2- A1 นี้มีค่าน้อยกว่าแรงดันพังทลาย แล้วการทำการจุดชนวน ที่ขาคัด (G) ซึ่งกระแสเกตจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ไทรแอกจะนำกระแสทันที กราฟความสัมพันธ์และข้อจำกัดต่างๆ จะเหมือนกับ SCR ในทำนองเดียวกันถ้าให้แรงดันที่ A1 มีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับ A2 ส่วนของกราฟคือแกน X ทางด้านลบจะมีลักษณะคล้ายกันกับด้านบวก ถ้าเพิ่มแรงดันมากขึ้นจนถึงค่าแรงดันพังทลายก็จะทำให้ไทรแอกนำกระแสเองได้ และถ้าหากว่าไม่มีการจำกัดกระแสในตัวไทรแอกแล้ว ไทรแอกจะเกิดการเสียหายได้

โดยในขณะที่ไทรแอกนำกระแส ถ้าลดค่ากระแสแอโนดลงจนถึงค่ากระแสต่ำสุดที่ยังคงท ทำให้ไทรแอกนำกระแสได้ ค่ากระแสต่ำสุดนี้ เรียกว่า “โฮลดิ้ง” (IH :Holding Current) ก็จะทำให้ไทรแอกหยุดนำกระแส

เนื่องจากไทรแอก สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ทั้งสองทาง จึงเหมาะกับการนำไปใช้กับไฟสลับมากกว่าเอสซีอาร์ (SCR) และสำหรับกระแสไฟสลับ (เป็นคลื่นรูปไซน์) จะมีอยู่ช่วงเวลาหนึ่งช่วงกระแสตัดกับเส้นศูนย์ของกราฟ ที่กระแสต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง ดังนั้นจึงทำให้ไทรแอกหยุดนำกระแสเองและจะรอการจุดชนวนใหม่อีกครั้ง และถ้าหากครึ่งลบของสัญญาณไฟสลับเข้ามาถึงจะนำกระแสทางด้านลบอีกเช่นเคยและจะหยุดนำกระแสเมื่อค่ากระแสลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง

2.1.3 การหยุดการนำกระแสของไทรแอก

ไทรแอกเมื่อนำกระแสแล้วจะไม่จำเป็นต้องคงค้างแรงดันที่จ่ายกระตุ้นขา G เพราะไทรแอก

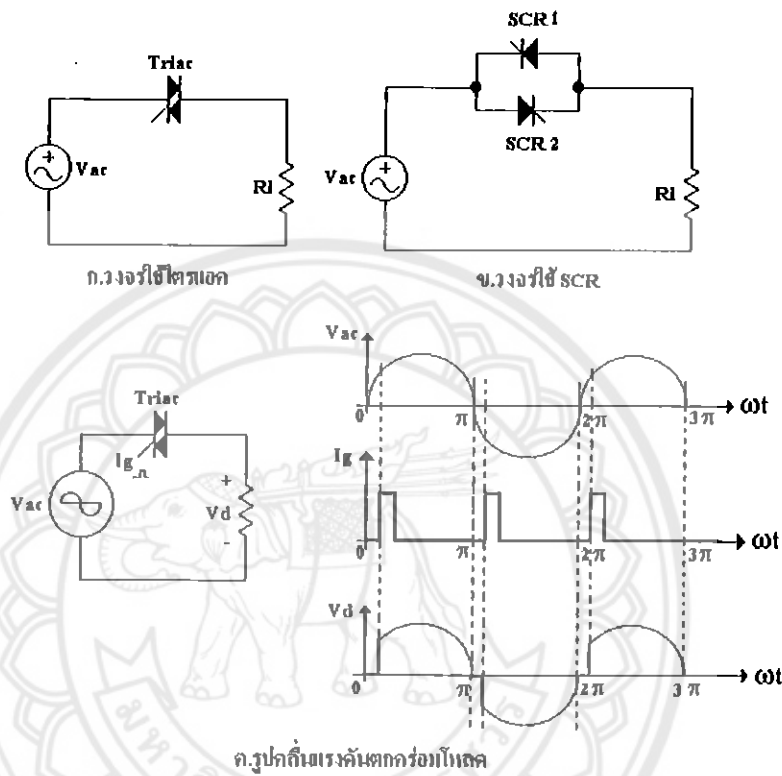
จะนำกระแสต่อเนื่องได้เหมือนกับ SCR จะหยุดนำกระแสทำได้ 2 วิธีเหมือน SCR คือ

ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน V_{AA} ที่ป้อนให้ขา A2 และขา A1 ของไทรแอกออกชั่วคราว

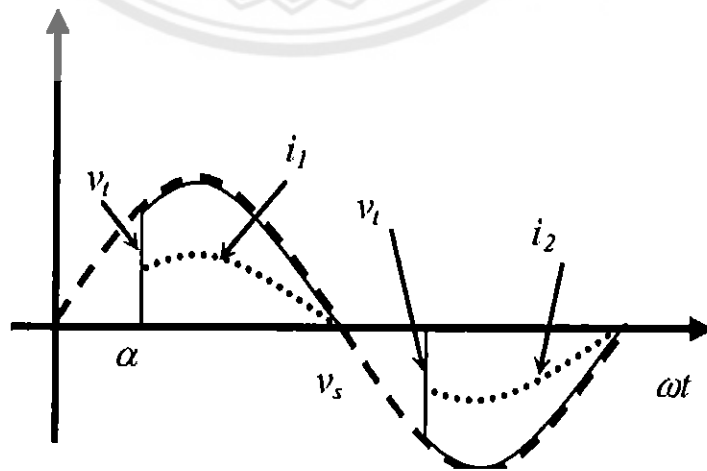
ลดแรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ขา A2 และ A1 ลง จนทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไทรแอกต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (holding current) ของไทรแอก

2.1.4 การควบคุมเฟสของไทรแอก

ไทรแอกสามารถนำกระแสในไฟสลับ ได้ 2 ซีก คือ ซีกบวกและซีกลบ ในการควบคุมไฟกระแสสลับ 1 เฟสสามารถทำได้ดังนี้ ถ้าใช้ไทรแอกจะใช้เพียงตัวเดียว แต่ถ้าใช้ SCR จะต้องใช้ 2 ตัว ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรควบคุมแรงดันไฟสลับ 1 เฟส ด้วยไทรแอก และSCR [1]



รูปที่ 2.9 แรงดันที่เกิดจากการทำงานของไทรแอก [1]

2.1.5 สูตรที่ใช้ในการหาคำนวณหาแรงดันที่เกิดจากการทำงานของไทรแอก

$$V_{ave} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi} V_1 d\omega t = 0 \quad (2.1)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} V(t)^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [V_{max} \sin(\omega t)]^2 d\omega t} \quad (2.2)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_{max}^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d\omega t} = \sqrt{\frac{V_{max}^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [1 - \cos(2\omega t)] d\omega t} \quad (2.3)$$

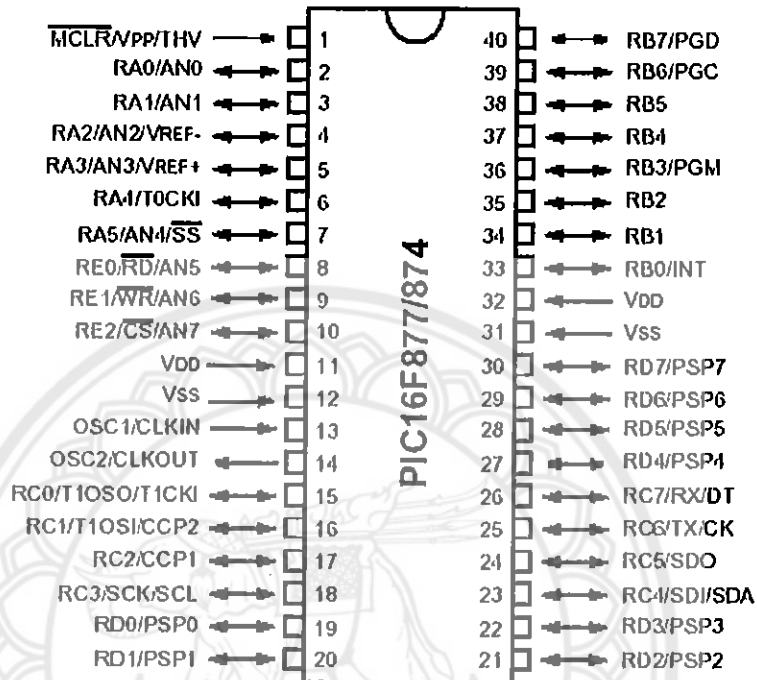
$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \sqrt{\left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}\right]} \quad (2.4)$$

2.1.6 สูตรที่ใช้ในการหาคำนวณหาค่ากำลังที่เกิดจากการทำงานของไทรแอก

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{V_{max}^2}{4\pi R} [2(\pi - \alpha) + \sin(2\alpha)] \quad (2.5)$$

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

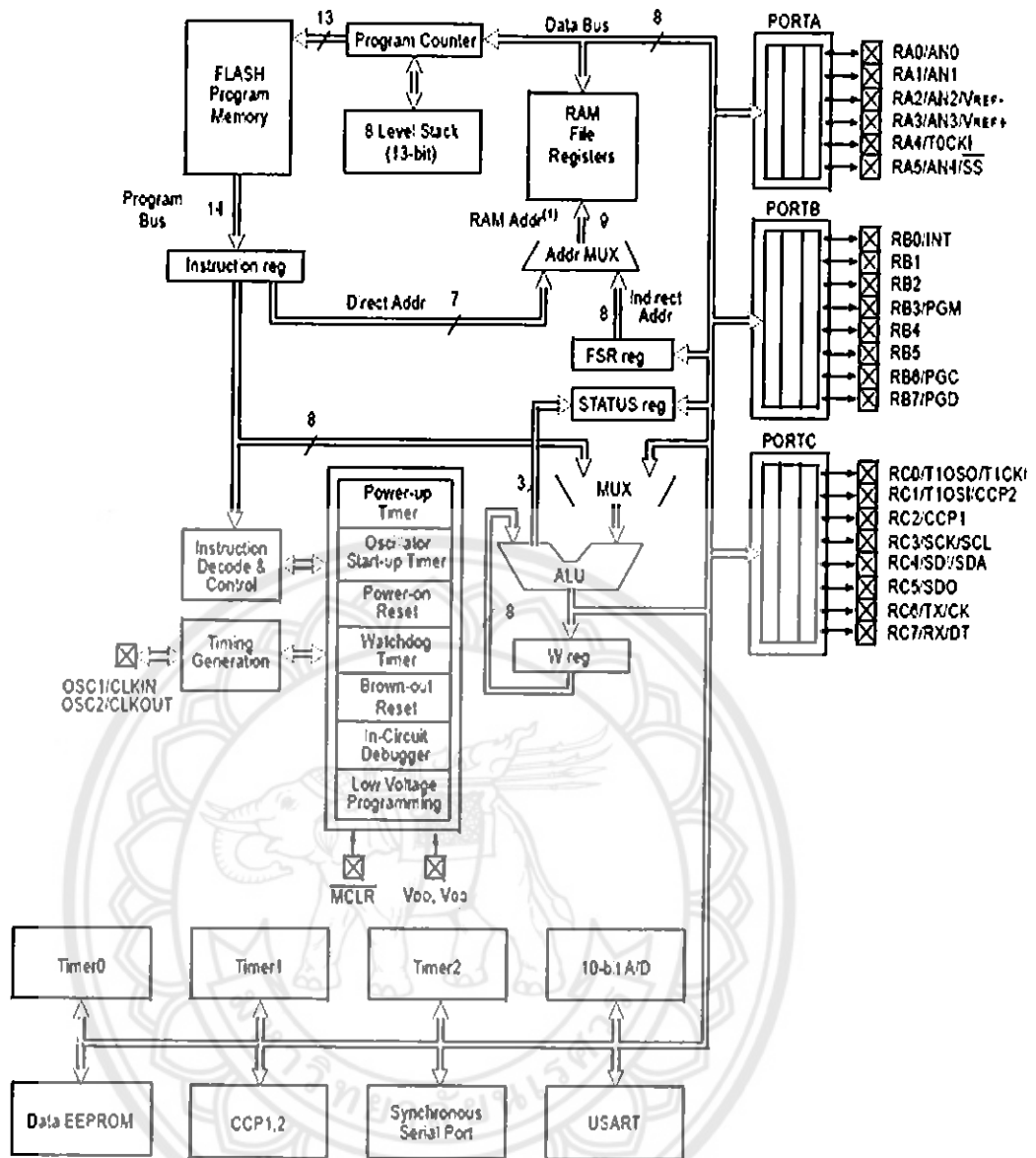
PDIP



รูปที่ 2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 [2]

2.2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 2.10 แผนผังโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 จะมีส่วนสำคัญๆคือ W ซึ่งเป็น Register ที่ทำงานเป็น Input ให้กับ ALU และเป็นตัวเก็บผลลัพธ์จากการทำงานของ AUL, STATUS เป็น Register ที่ใช้เก็บสถานการณ์ทำงานของคำสั่งว่าเมื่อคำสั่งทำงานเสร็จแล้วเกิดอะไรขึ้นบ้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข PC หรือ Counter เป็น Register อีกตัวที่มีความสำคัญเนื่องจากการใช้สำหรับเป็นตัวบ่งชี้ว่า คำสั่งที่จะนำมาประมวลผลนั้นอยู่ที่ตำแหน่งใดในหน่วยความจำดังรูปที่ 2.11



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 [2]

2.2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของ PIC16F877

- มีคำสั่ง 35 คำสั่ง
- ทำตามคำสั่งด้วยสัญญาณหนึ่งลูก (ยกเว้น คำสั่งกระโดด)
- ทำงานด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ ไฟตรงจนถึง 20 Mhz.
- หน่วยความจำโปรแกรม 8k (14-Bit Words)
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรจิสเตอร์ 368 ไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 256 ไบต์

- ตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์ 15 แหล่ง
- วงจรเพาเวอร์อนรีเซต (POR)
- สแต็ก 8 ระดับ
- เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT)
- ออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์ (OST)
- วงจรวอตช์ดีค็อกไทเมอร์ (WDT) วงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว
- เลือกระดับป้องกันการข้อมูลตัวโปรแกรม
- โหมคประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมที่แรงดัน +5 V.
- แก้ไขตัวโปรแกรมในหน่วยความจำผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา ด้วยกระบวนการ (ICD : In-circuit Debugger)
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- กระแสซิงก์และซอร์ส 25 mA.
- แรงดัน +2 ถึง +5V.

ใช้พลังงาน

น้อยกว่า 2 mA ที่แรงดัน +5 V. และความถี่ 4 Mhz.

20 μ A ที่แรงดัน +3 V. และความถี่ 32 khz.

น้อยกว่า 1 μ A. ในโหมดประหยัดพลังงาน หรือสแตนด์บาย

คุณสมบัติพิเศษ

ไทเมอร์ 3 ตัว

- ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต ปรีสเกลเลอร์ 8 บิต ในตัว
- ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต ปรีสเกลเลอร์
- ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต ปรีสเกลเลอร์ โปสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา 8 บิต ในตัว

โมดูล CCP 2 ชุด

- ตรวจจับสัญญาณ (Capture) ขนาด 16 บิต ความละเอียด 12.5nSec.
- เปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) ขนาด 16 บิต ความละเอียด 200nSec.
- วงจร PWM ความละเอียด 10 บิต

วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล 10 บิต 8 ช่อง

วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และ I2C

วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดแคเรส 9 บิตวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (Brown-out detection) เพื่อรีเซ็ตชิพหรือ (BOR : Brown-outreset)

2.3 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า (rectifier) คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือมีคุณสมบัติยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณได้แก่ไดโอด ดังรูปที่

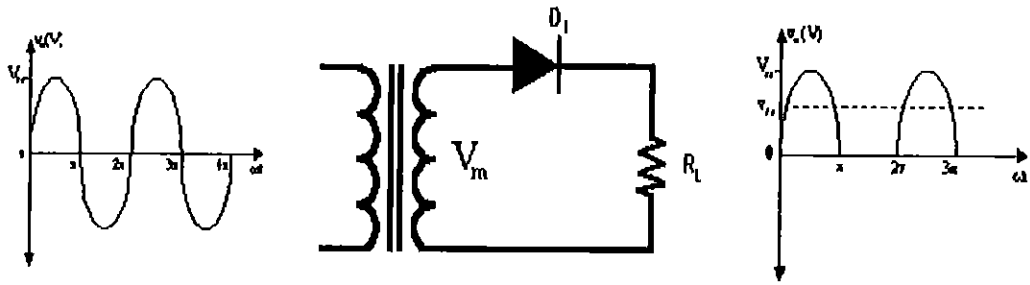
2.11



รูปที่ 2.12 ไดโอดชนิดต่างๆ [3]

2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Circuit)

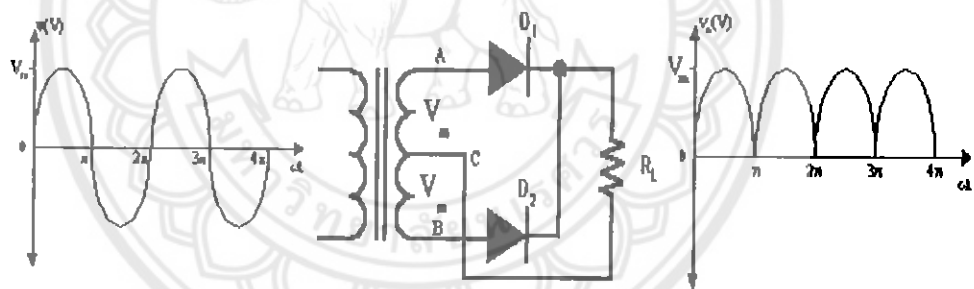
จากรูปที่ 2.13 อธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ เมื่อสัญญาณครึ่งบวกเข้ามาไดโอดจะถูกไบอัสตรงทำให้กระแสไหลในวงจรเกิดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน L R ตามลักษณะของสัญญาณอินพุต แต่เมื่อมีสัญญาณครึ่งลบเข้ามาไดโอดจะถูกไบอัสกลับจึงทำให้มีกระแสไหลในวงจร แรงดันที่ตกคร่อม L R จึงมีค่าเป็นศูนย์ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ไหลคจึงมีค่าเป็นสัญญาณรูปครึ่งไซเคิล ที่เรียกว่า ฮาล์ฟเวฟ (Half Wave)



รูปที่ 2.13 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น [4]

2.3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier Circuit)

จากข้อเสียของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้โดยใช้วงจรที่เรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น วงจรเรียงกระแสแบบนี้จะใช้ไดโอดอย่างน้อย 2 ตัวต่ออยู่ในวงจรเพื่อที่จะทำให้ไดโอดสามารถนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของกระแสสลับ ไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับความต้านทานโหลดตัวละครึ่งไซเคิลแต่ต้องจ่ายให้ทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายไฟกระแสตรงได้ตรงกว่าแบบครึ่งคลื่น



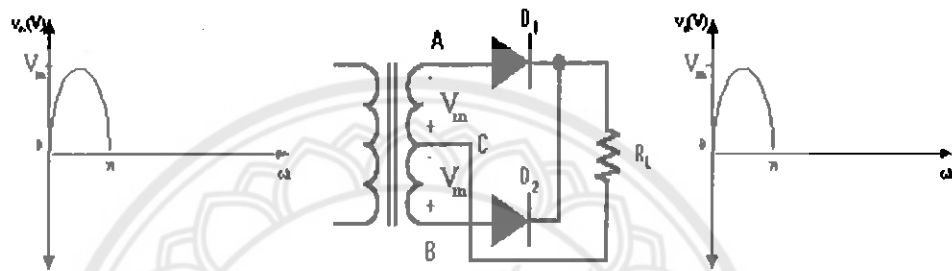
รูปที่ 2.14 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น [4]

2.3.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แท็ป (Center Tap Rectifier Circuit)

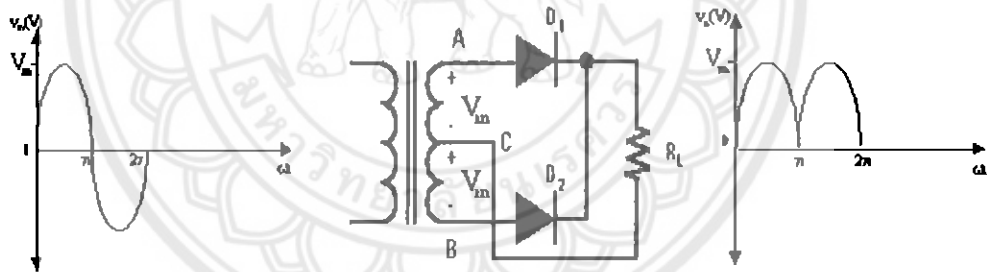
เมื่อมีแรงดันสลับป้อนเข้ามาทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดแรงดันขึ้นทางขดทุติยภูมิ คือ ขั้ว A และ B เนื่องจากจุด C เป็นจุดกึ่งกลางของขดทุติยภูมิ ดังนั้นแรงดันไฟครึ่งหนึ่งจึงเกิดขึ้นที่ขั้ว AC และอีกครึ่งหนึ่งจะปรากฏที่ขั้ว CB และแรงดันระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิจะมีเฟสตรงกันข้าม คือ 180 องศา เมื่อแรงดันไฟในครึ่งไซเคิลแรก คือครึ่งไฟบวกเข้ามาที่อินพุตทางด้านขดปฐมภูมิศักย์ไฟฟ้าที่จุด B จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับ A หรือ C และศักย์ไฟฟ้าที่จุด C จะมี

ค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด A ดังนั้น ไดโอด D_1 จะไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_2 จะนำกระแสได้ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ตามรูปที่ 2.15

เมื่อแรงดันไฟในครึ่งไซเคิลถัดมา คือครึ่งไฟลบเข้ามาที่อินพุตทางด้านขดปฐมภูมิ สักย์ไฟฟ้าที่จุด A จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับ B หรือ C และสักย์ไฟฟ้าที่จุด C จะมีค่าบวกเมื่อเทียบกับจุด B ดังนั้นไดโอด D_2 จะไม่นำกระแสไฟฟ้า ส่วนไดโอด D_1 จะนำกระแสได้ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ตามรูปที่ 2.16 ค่าแรงดันเอาต์พุตจะได้อีกครึ่งไซเคิลเกิด กระแสผ่านตัวต้านทาน RL จะไหลไปในทิศทางเดียวกับตอนแรก



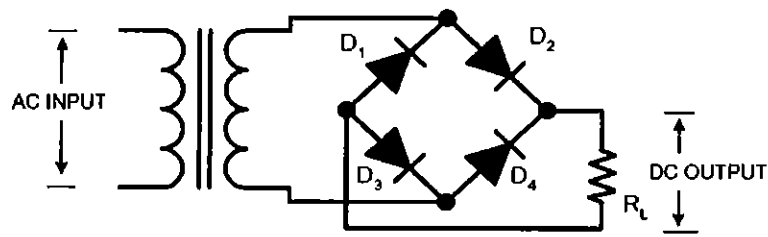
รูปที่ 2.15 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แท็ปเมื่ออินพุตเป็นซีกบวก [4]



รูปที่ 2.16 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แท็ปเมื่ออินพุตเป็นซีกลบ [4]

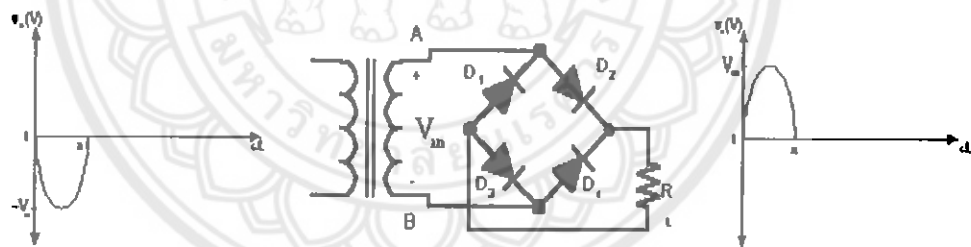
2.3.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave) อีกแบบหนึ่งคือวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ แรงดันไฟสลับจะต่อเข้าที่สองมุมของวงจรบริดจ์และเอาต์พุตจะถูกนำออกที่สองมุมที่เหลือ ดังในรูปที่ 2.17

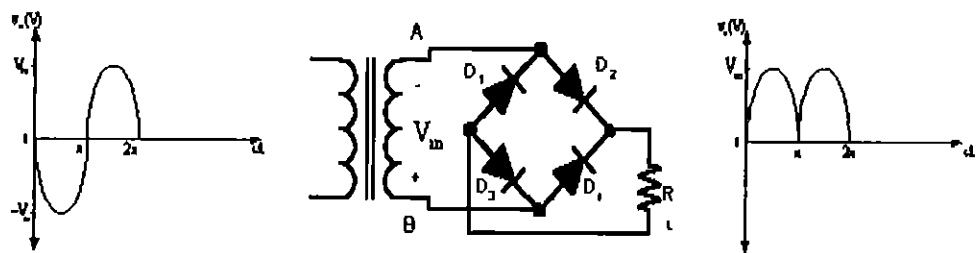


รูปที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ [4]

ในแต่ละครึ่งไซเคิลของวงจรอินพุตสมมุติว่าเมื่อขั้ว A ของขดทุติยภูมิมีค่าเป็นบวก และขั้ว B มีค่าเป็นลบ จึงเหมือนกับครึ่งไซเคิลลบถูกป้อนเข้าทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ไดโอด D2 และ D3 จะอยู่ในลักษณะไบอัสตรง ดังนั้นกระแสจึงไหลครบวงจรจากขั้ว A ผ่านไดโอด D2 ความต้านทานโหลดและไดโอด D3 แล้วกลับเข้าสู่ขั้ว B ของหม้อแปลง ดังรูปที่ 2.18 และเมื่อแรงดันไฟสลับเปลี่ยนข้างมาเป็นขั้วบวก ที่ขั้ว B และที่ขั้ว A เป็นลบ การนำกระแสของไดโอดจะเปลี่ยนไป โดยเริ่มจากจุด B ของขดทุติยภูมิผ่าน D4 ความต้านทานโหลด และ D1 กลับเข้าขั้ว A ของหม้อแปลง ทิศทางแรงดันตกคร่อมโหลดจะมีทิศทางเดียวกับตอนแรกคือ มีขั้วบวกอยู่ทางด้านบน ดังรูปที่ 2.19 ดังนั้นการนำกระแสไดโอดจะเกิดสลับกันที่ละสองตัว D2 กับ D3 และ D1 กับ D4



รูปที่ 2.18 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ [4]



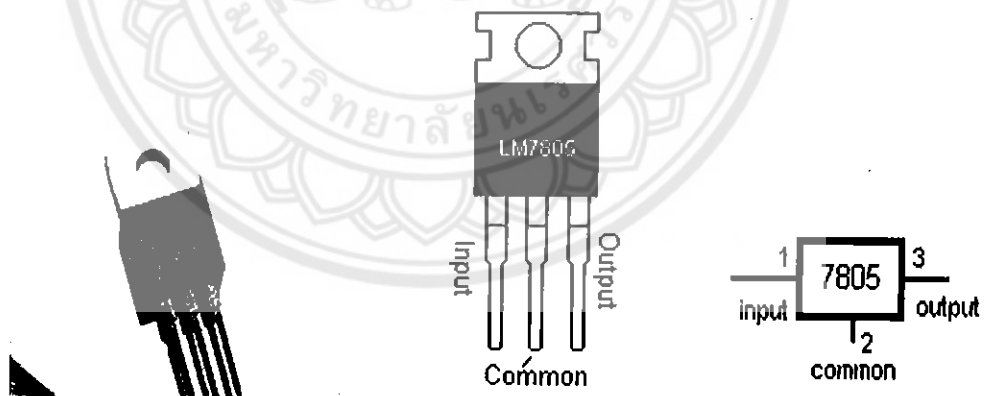
รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก [4]

2.4 ไอซีเร็กกูเลเตอร์ (IC Regulator)

2.4.1 ไอซีเร็กกูเลเตอร์ตามขาชนิดจ่ายแรงดันคงที่

ไอซีเร็กกูเลเตอร์ภายในประกอบด้วยวงจรเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรมมีขาต่อใช้งาน 3 ขา ประกอบด้วยขา อินพุท เอาท์พุท และกราวด์ ซึ่งจะจ่ายแรงดันค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ โดยรวมเอา ส่วนของวงจรป้อนกลับที่ประกอบด้วย R_1 และ R_2

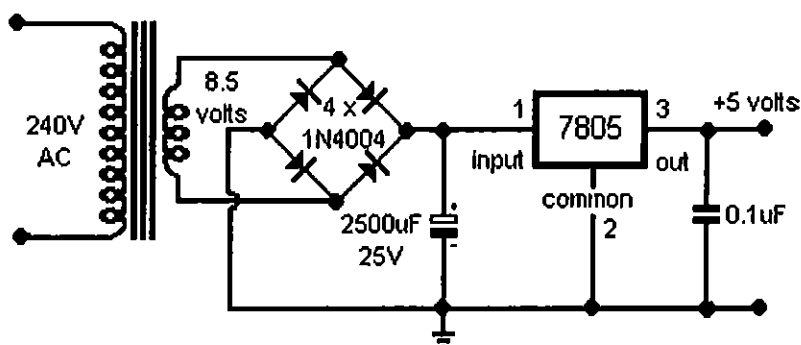
จุดเด่นของไอซีเร็กกูเลเตอร์ค่าคงที่นี้คือ สามารถต่อวงจรได้ง่ายไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากนัก ตัวอย่างวงจรการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.22 ในการต่อวงจรบางครั้งจำเป็นต้องต่อไอซีเร็กกูเลเตอร์ห่างจากแหล่งจ่ายไฟอินพุทไม่เกิน 5 เซนติเมตร จึงควรใส่ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ ขนาดประมาณ 10 ไมโครฟารัด สักตัวไว้ด้านอินพุท เพื่อป้องกันการเกิดออสซิลเลชันที่ความถี่สูง ซึ่งจะทำให้วงจรขาดเสถียรภาพ เอาท์พุทที่ออกจากไอซีเร็กกูเลเตอร์ จะได้แรงดันเอาท์พุทที่เรียบพอสมควรอยู่แล้ว แต่อาจจะใส่ตัวเก็บประจุที่มีค่าประมาณ 100 ไมโครฟารัด เพื่อช่วยปรับปรุงแรงดันให้เรียบขึ้น ถึงแม้ว่าแรงดัน ไอซีเร็กกูเลเตอร์ชนิดนี้จะให้แรงดันเอาท์พุทคงที่ มีเบอร์ให้เลือกแรงดันเอาท์พุทได้คงที่หลายเบอร์เช่น 5 V, 5.2 V, 6 V, 8 V, 10 V, 12 V, 15 V, 18 V และ 24 V กระแสเอาท์พุทตั้งแต่ 10 มิลลิแอมป์ถึง 3 แอมป์ และมีให้เลือกทั้งชนิดเร็กกูเลเตอร์ไฟบวกและเร็กกูเลเตอร์ไฟลบ



รูปที่ 2.20 ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 [5]

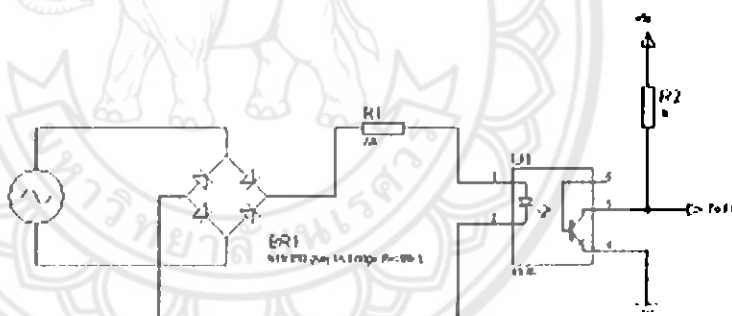
การต่อวงจรใช้งานเราสามารถต่อได้ดังรูปที่ 2.23 ในวงจรจากรูปจะเห็นว่าแรงดันเอาท์พุทออกมา 5 โวลต์เมื่อใช้ไอซีเบอร์ 7805 ในวงจรประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้วยตัวเก็บประจุ 2500 μ F/25V ส่วนตัวเก็บประจุ 0.1 μ F นั้นทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณบวกลบ

ความถี่สูงที่เข้ามาทำความเสียหายให้กับไอซี ถ้าใช้กระแสมากควรคิดแผนระบายความร้อนให้กับไอซีด้วยไม่เกิน 1 แอมป์



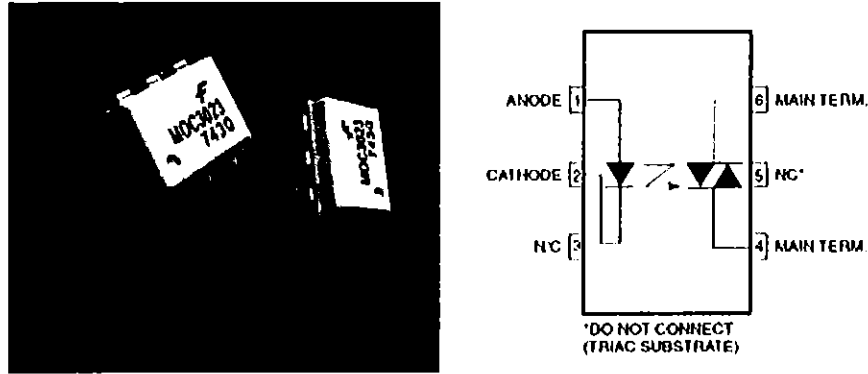
รูปที่ 2.21 วงจรการใช้งานไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805 [5]

2.5 วงจรซีโรครอสซิง (Zero Crossing)



รูปที่ 2.22 วงจรซีโรครอสซิง [10]

รูปที่ 2.22 เป็นวงจรที่นำมาใช้ในการทดสอบซีโรครอสซิง (Zero Crossing) ซึ่งจะนำมาใช้เป็นจุดเปรียบเทียบในการจุดชนวนไตรแอก โดยเอาที่พุดที่ได้จากวงจรซีโรครอสซิงจะต้องแบบลอจิก จึงสามารถใช้ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกนี้เพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่อาจทำความเสียหายให้กับชุดควบคุม เนื่องจากการลัดวงจรทางด้านแรงสูง จึงต้องจัดวงจรให้แยกलगรราวค์ระหว่างแรงดันสูงและชุดควบคุมแรงต่ำ ในที่นี้จึงใช้ ออปโต (Opto) เบอร์ 4N25 ทำหน้าที่แยกกราวด์และเป็นสวิทช์ในการปิด-เปิด วงจร ให้ได้ระดับลอจิก "1" หรือระดับแรงดัน 5 V และระดับลอจิก "0" หรือระดับแรงดัน 0 V ซึ่งจะนำไปต่อเข้ากับระบบควบคุมมวมเฟสต่อไป



รูปที่ 2.23 วงจรขั้วการทำงานของไตรแอกโดยใช้ (Opto MOC3023) [11]

วงจรที่จะนำมาใช้ในการขับให้ไตรแอกทำงาน จากการออกแบบผู้ทำการทดลองได้ทำการแยกวงจรออกเป็น 2 ระบบ คือระบบทางด้านแรงสูงและระบบทางด้านแรงต่ำออกจากกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรของวงจรด้านแรงสูง ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงเกิดการเสียหายได้ โดยใช้ออปโต (Opto) เบอร์ MOC3023 คุณสมบัติอุปกรณ์ตัวนี้คือจะทำงานในลักษณะปกติปิด (Normal Close) นั่นก็คือเมื่อเริ่มจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไฟฟ้า 220 V วงจรจะเริ่มนำกระแสทันที การที่จะควบคุมการนำของกระแสของไตรแอกได้นั้นจะต้องใช้ชุดควบคุมหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนระดับบรอกิจ "1" ออกมาควบคุมซึ่งจะทำให้ออปโตทำงานในการเปิดวงจร (Normal Open) จะทำให้ไตรแอกหยุดทำงาน

2.6 จอแสดงผล LCD

จอแสดงผล LCD เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับความนิยมมาก ในการแสดงผลข้อความและรูปภาพต่างๆขึ้นมา ซึ่งตัวย่อ LCD นี้มาจากคำว่า Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบดิจิทัลทั้งนี้ภาพและข้อความที่ปรากฏขึ้นบนจอ นั้น จะเกิดจากแสงที่ปล่อยออกมาจากหลอดไฟด้านหลังของจอภาพผ่านชั้นกรองแสงแล้ววิ่งไปยังคริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วยเซลล์ 3 เซลล์ รูปร่างหน้าตาของจอแสดงผล LCD แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 จอแสดงผล LCD

ในการเลือกใช้งานจอแสดงผล LCD นั้น จะเลือกใช้งานตามขนาดของตัวอักษรและบรรทัดเช่น จอ LCD 16x1 Line ก็จะเป็นจอ LCD แสดงผล 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด จอ LCD 20x2 Line ก็จะเป็นจอ LCD แสดงผล 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด เป็นต้น จอแสดงผลที่วางขายในตลาดทั่วไปนั้น จะเป็นจอแสดงผล LCD ตัวอักษร 16x1 Line, 16x2 Line, 20x2 Line ซึ่งตำแหน่งขาและการต่อใช้งานจะขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โดยทั่วไปแล้วจอแสดงผล LCD มีตำแหน่งขาและการใช้งานดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งขาและการใช้งาน LCD

ตำแหน่งขา	สัญลักษณ์	รายละเอียด	ระดับ	หน้าที่	
1	VSS	Ground	-	0V	Ground
2	VDD	Power supply	-	+5 V	ต่อกับแรงดันไฟเลี้ยง +5V
3	VO	LCD Contr	-	-	ต่อกับแรงดันปรับจอแสดงผล
4	RS	Register Select	H/L	RS = 0 หมายถึงการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่ง(Instruction Register) RS = 1 หมายถึงการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่ง(Data Register)	
5	R/W	Rcad/Write	H/L	R/W =0 หมายถึงการเขียนข้อมูลไปยัง LCD โมดูล R/W =1 หมายถึงการอ่านข้อมูลจาก LCD โมดูล	
6	E	Enable	H,	Enable Signal	
7-14	DB0-DB7	Data Bus	H/L	Data Bus Line	
15	A	Black Light A	-	Black Light +5V (เฉพาะรุ่น)	
16	K	Black Light K	-	Black Light 0V (เฉพาะรุ่น)	

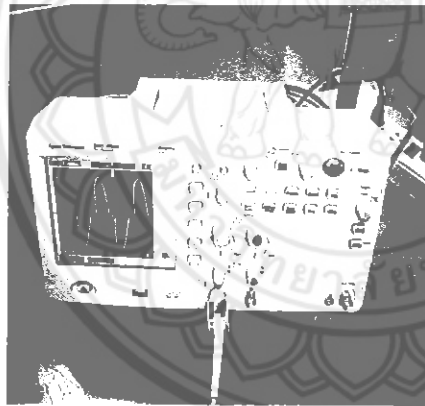
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมมอเตอร์

ในส่วนของรายละเอียดและหลักการรวมถึงทฤษฎีต่างๆ ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในบทนี้ ผู้จัดทำจึงได้เริ่มดำเนินการออกแบบวงจรควบคุมในส่วนของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์บ้างในบางส่วน และเริ่มสร้างวงจรควบคุมมอเตอร์ตามทฤษฎีตลอดจนการออกแบบโปรแกรมควบคุมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการจัดทำโครงการ ซึ่งรายละเอียดการออกแบบมีดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สายไฟ และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม รวมทั้งอุปกรณ์ดังรูป



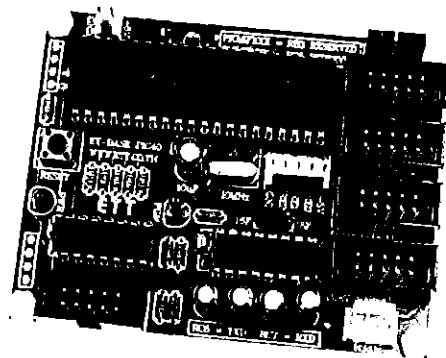
รูปที่ 3.1 Oscilloscope



รูปที่ 3.2 มัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.3 หม้อแปลงขนาด 220/12 V



รูปที่ 3.4 PIC16F877

3.2 ระบบการทำงานของวงจรควบคุมมุมเฟส

ระบบการทำงานของวงจรควบคุมมุมเฟสที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ทั้งส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยการทำงานของระบบควบคุมมุมเฟสนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

สัญญาณอ้างอิง



รูปที่ 3.5 Block Diagram

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมมุมเฟส ชุดควบคุมมุมเฟสประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ

สวิทช์ปุ่มกด ทำหน้าที่ปรับเลือนมุมเฟสตามที่ผู้ใช้งานต้องการ แล้วส่งค่าต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณอ้างอิงทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณขึ้นมา เพื่อส่งสัญญาณเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการเปรียบเทียบสัญญาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากสวิทช์ปุ่มกดและสัญญาณอ้างอิงแล้วทำการเปรียบเทียบสัญญาณแล้วส่งสัญญาณไปทำหน้าที่ควบคุม ไตรแอกโดยให้สัญญาณไปทริกที่

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขาเกตของไทรแอกทำให้ไทรแอกทำงาน ให้แรงดันไปยังโหลด โดยจ่ายไฟ 5 Vdc เป็นไฟเลี้ยง ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไทรแอก ทำหน้าที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าที่ขาเกตแล้วเลื่อนมุมเฟสตามไมโครคอนโทรลเลอร์สั่ง

3.3 การออกแบบวงจรและชุดควบคุมมุมเฟส

การวิเคราะห์ออกแบบวงจรและชุดควบคุมมุมเฟส ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม Proteus เวอร์ชัน 7.5 เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบเสมือนจริง ได้ทั้งวงจรมอนาโลกและดิจิทัล รวมถึงการจำลองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย โปรแกรมนี้ถูกเรียกว่า โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือที่เรียกว่า ECAD (Electronic Computer-Aided Design) โดยโปรแกรมจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาแทนฟังก์ชันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งเราสามารถใช้โปรแกรม Proteus นี้จำลองการทำงานของ PIC เพื่อช่วยในการออกแบบและแก้ไขโปรแกรม ก่อนที่จะนำโปรแกรมเขียนขึ้น ไปทำการโปรแกรมให้กับชิพ PIC จริงๆ เป็น โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าซึ่งจะเป็นการทดลองผลทางคอมพิวเตอร์ก่อนการทดลองในวงจรจริง เพื่อจะได้ นำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับวงจรที่สร้างขึ้นจริง ซึ่งจะทำได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

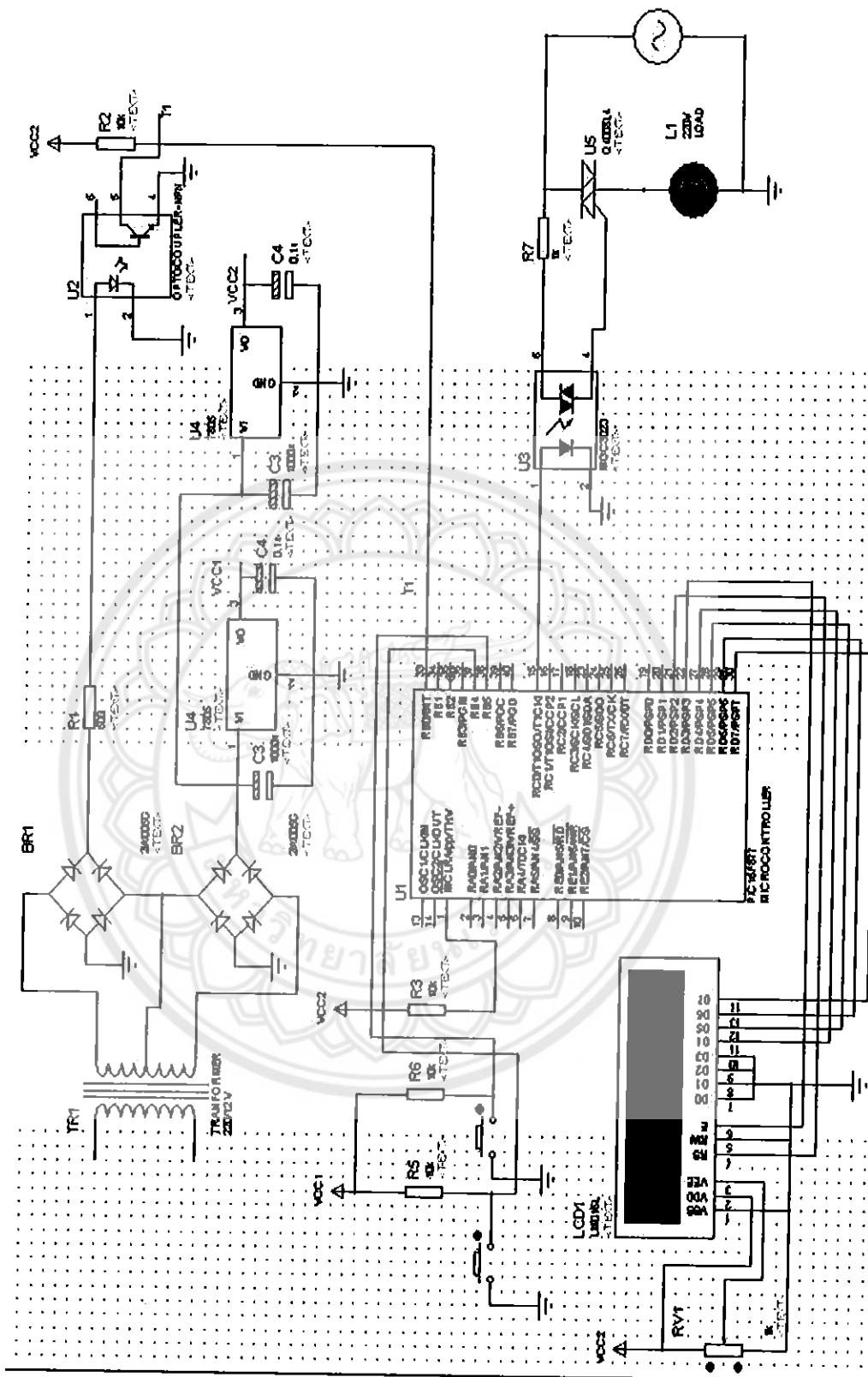
สร้างวงจรในโปรแกรม โดยเลือกอุปกรณ์ที่อยู่ในชุดสำเร็จ (Libraries) ของโปรแกรมซึ่งจะได้วงจรตามรูปที่ 3.6

157 3956/

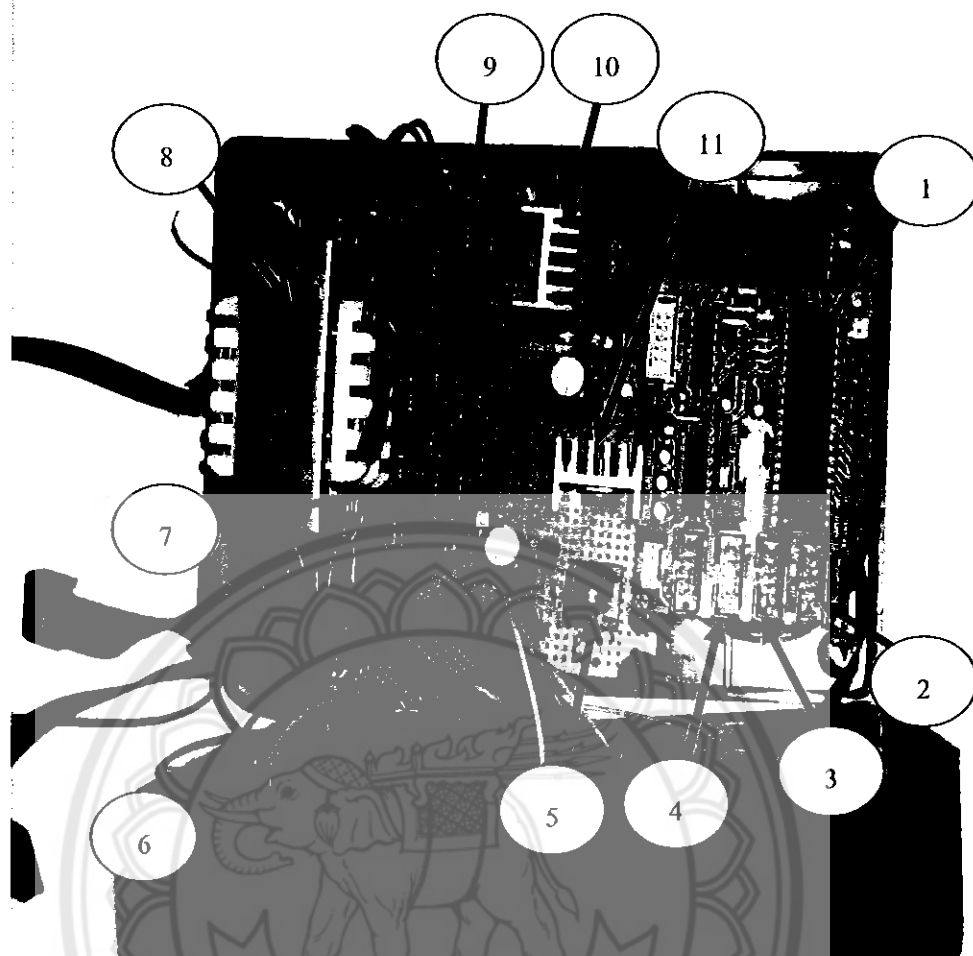
ม/ว.

24430

2663



รูปที่ 3.6 วงจรสมบูรณของควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.7 รูปประกอบจริงของชุดควบคุมไครแอก

หมายเลข 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F877 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณ

หมายเลข 2 Port B รับสัญญาณเข้ามาในไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข 3 Port C ส่งสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้า ไอซี เบอร์ MOC 3023

หมายเลข 4 Port D ใช้สำหรับควบคุมจอ LCD

หมายเลข 5 ไอซี วงจรเรียงกระแส

หมายเลข 6 ปลั๊กต่อเข้ากับโหลด

หมายเลข 7 ไอซี เบอร์ 4N25

หมายเลข 8 หม้อแปลง

หมายเลข 9 ไอซี เบอร์ MOC3023

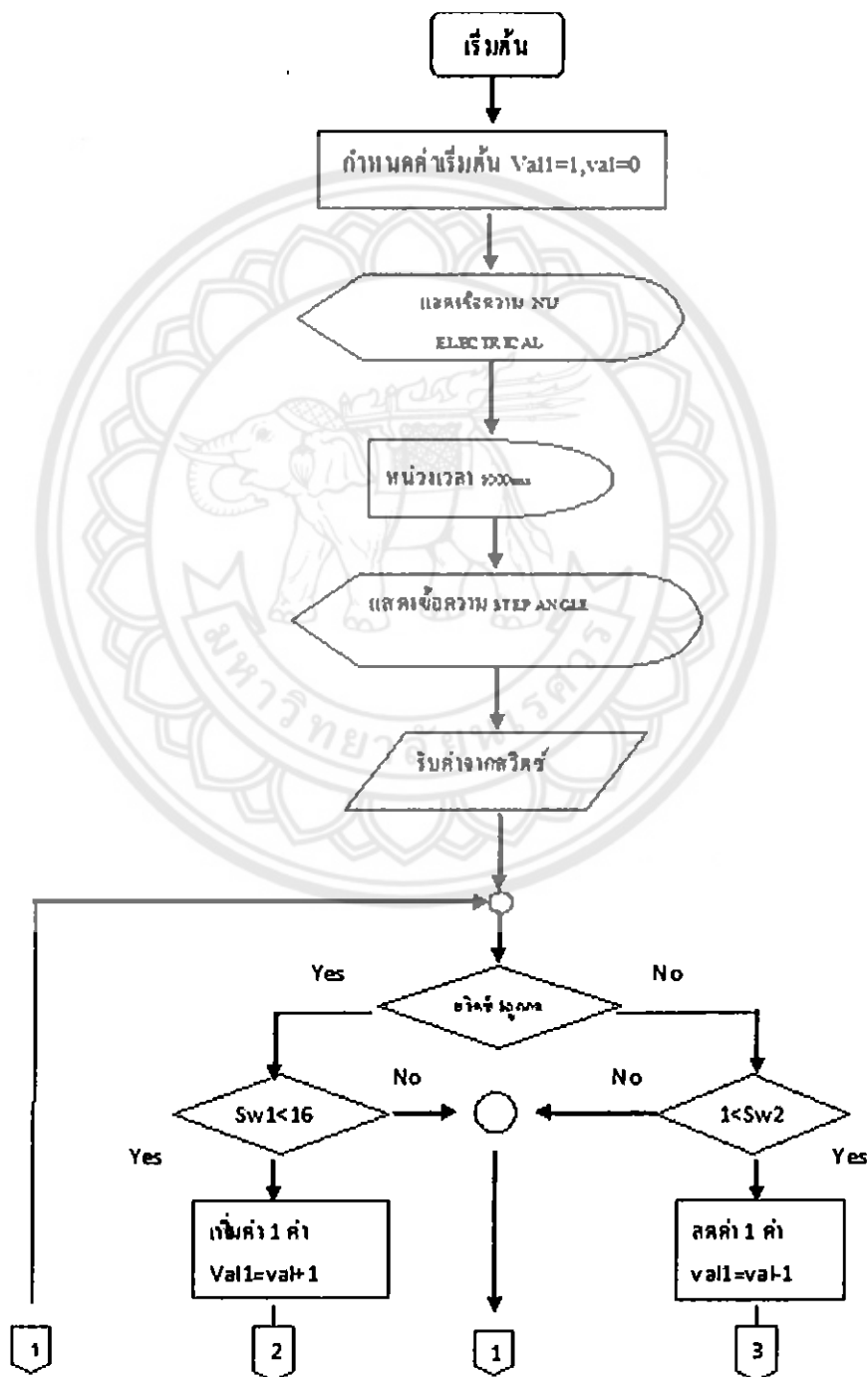
หมายเลข 10 ไอซี ไครแอก เบอร์ Q4004L4

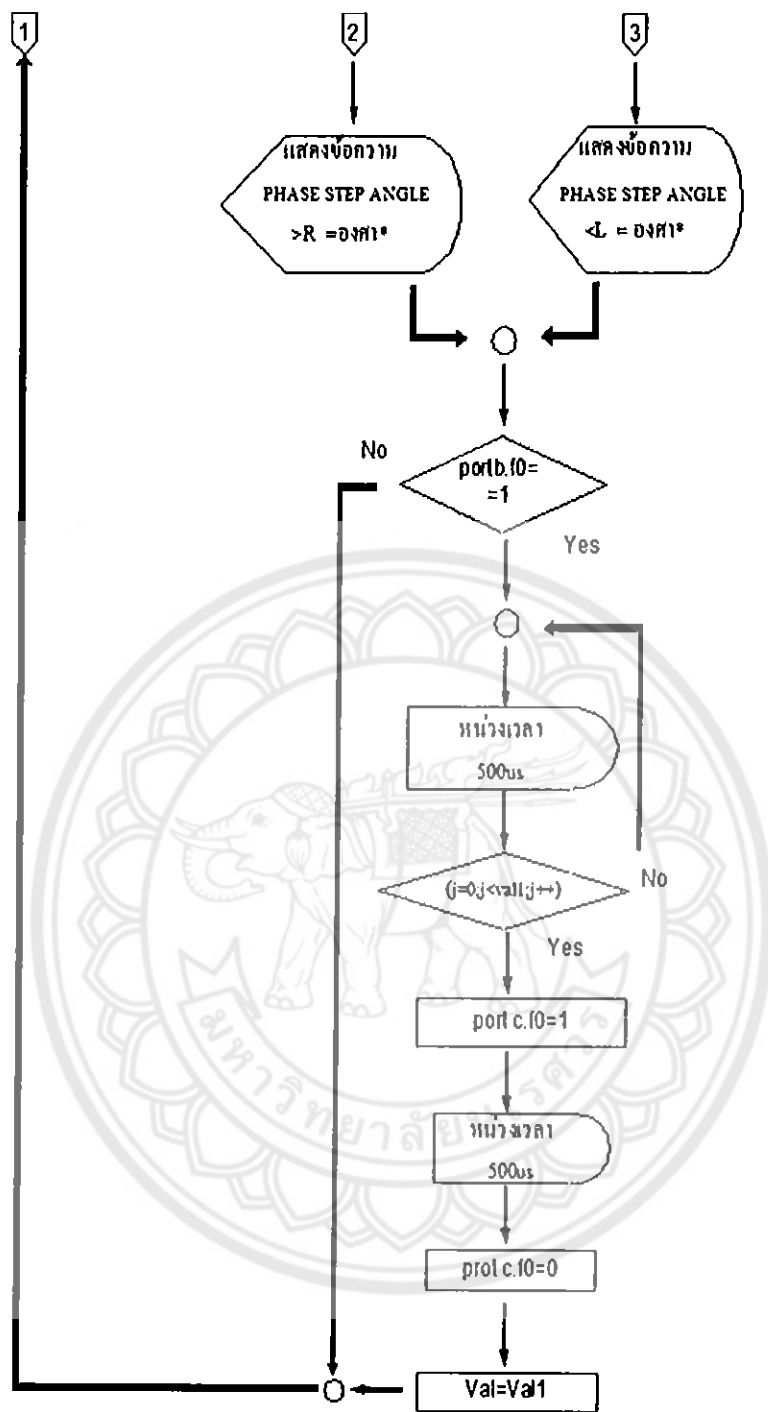
หมายเลข 11 ไอซี เบอร์ 7805

3.4 การออกแบบการเขียนโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้เขียน Source code ในการทดลองครั้งนี้ใช้โปรแกรม Micro C มีหน่วยความจำเพียง 2 Kbyte เพื่อเอาโปรแกรมเบิร์นลงไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของชุดควบคุมมุมเฟสต่อไป

3.4.1 การเขียน (Flow Chart) ของโปรแกรม





3.4.2 ตัวอย่างการเขียน Source code ควบคุมมุมเฟส

```

#define sw1 portb.f4 //กำหนดให้sw1 แทนพอร์ต b ที่บิตที่ 4
#define sw2 portb.f5 //กำหนดให้ sw2 แทนพอร์ต b ที่บิตที่ 5
#define p 1 // กำหนดให้ p มีค่าคงที่เท่ากับ 1
float val=0; //กำหนดค่าเริ่มต้น val=0
float val1=1; //กำหนดค่าเริ่มต้น val1=1
void main() //เริ่มต้น โปรแกรมหลัก
{
    unsigned char in[]={9,18,27,36,45,54,63,72,81,90, //ตั้งค่ามุมมองเสาที่ระดับต่างๆ
        99,108,117,126,135,144};
    unsigned char n1,n2,n3,n4,n5,n6; //เป็นตัวแปลที่ใช้สำหรับฟังก์ชันของLCD
    char i=0,i1=0,i2=0,x,j=0; //กำหนดค่าเริ่มต้น ที่ใช้ในการคำนวณ
    TRISB=0xFF; //กำหนดให้พอร์ต b เป็นพอร์ตอินพุต
    TRISD=0x00; //กำหนดให้พอร์ต d เป็นพอร์ตเอาต์พุต
    TRISC=0x00; //กำหนดให้พอร์ต c เป็นพอร์ตเอาต์พุต
    Lcd_Init(&PORTD); //กำหนดให้ LCD เชื่อมต่อพอร์ต d
    Lcd_cmd(LCD_CURSOR_OFF); //ปิดการแสดงผลเคอร์เซอร์
    RETURN:Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); //เคลียร์หน้าจอ LCD
    lcd_out(1,1,"NU ELECTRICAL "); //แสดงข้อความ " NU ELECTRICAL "
    delay_ms(1000); //หน่วงเวลา 1000ms
    Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); //เคลียร์หน้าจอ LCD
    Lcd_Out(1,1,"PHASE STEP ANGLE "); //แสดงข้อความ "PHASE STEP ANGLE "
    Lcd_out(2,2,"="); //แสดงข้อความ "="
    lcd_out(2,5," 9 *"); //แสดงข้อความ " 9 * "
    while (1) //ให้มีการวนอยู่ในลูปนี้แบบไม่รู้จบ
    {
        if(sw1==0&&val1<16) //เมื่อ sw1 ถูกกดและ ค่า val1 ต้องไม่เกิน 16
        {
            while(sw1==0); //วนลูปรอการปล่อย sw1
            val1=(val+(p)); //เพิ่มค่า 1 ค่าให้ val1
            i1=i+1; //เพิ่มค่า 1 ค่าให้ i1
            n1=in[i1]/100; //คิกค่าหลักร้อยออกมาจากผลการเพิ่มค่าที่ได้
            n2=(in[i1]%100)/10; //คิกค่าหลักสิบออกมาจากผลการเพิ่มค่าที่ได้
        }
    }
}

```

```

n3=in[i1]%10; //ดึงค่าหลักหน่วยออกมาจากผลการเพิ่มค่าที่ได้
lcd_out(2,1,"R>"); //แสดงข้อความ " R> "
lcd_chr(2,5,n1+48); //แสดงค่าองศาในหลักร้อยออกมาบนLCD
lcd_chr(2,6,n2+48); //แสดงค่าองศาในหลักสิบออกมาบนLCD
lcd_chr(2,7,n3+48); //แสดงค่าองศาในหลักหน่วยออกมาบนLCD
}
if(sw2==0&&I<val1) //เมื่อ sw1 ถูกกดและ ค่า val1 ต้องไม่น้อยกว่า 1
{ while(sw2==0); //วนลูปรอการปล่อย sw2
val1=(val-p); //ลดค่า 1 ค่าให้ val1
i1=i-1; //ลดค่า 1 ค่าให้ i1
n4=in[i1]/100; //ดึงค่าหลักร้อยออกมาจากผลการเพิ่มค่าที่ได้
n5=(in[i1]%100)/10; //ดึงค่าหลักสิบออกมาจากผลการเพิ่มค่าที่ได้
n6=in[i1]%10; //ดึงค่าหลักหน่วยออกมาจากผลการเพิ่มค่าที่ได้
lcd_out(2,1,"<L"); //แสดงข้อความ "<L "
lcd_chr(2,5,n4+48); //แสดงค่าองศาในหลักร้อยออกมาบนLCD
lcd_chr(2,6,n5+48); //แสดงค่าองศาในหลักสิบออกมาบนLCD
lcd_chr(2,7,n6+48); //แสดงค่าองศาในหลักหน่วยออกมาบนLCD
}
if(portb.f0==1) { //เมื่อค่า พอร์ต b บิตที่ 0 เท่ากับ 1
for(j=0;j<val1;j++){ //ให้มีการวนลูปนี้ เท่ากับ val1 รอบ
delay_us(500); //หน่วงเวลา 500us
}
PORTC.F0=1; //กำหนดให้พอร์ต c ในบิตที่ 0 = 1
delay_us(500); //หน่วงเวลา 500us
PORTC.F0=0; //กำหนดให้พอร์ต c ในบิตที่ 0 = 0
}
val=val1; //ให้ val = val1
i=i1; //ให้ i=i1
}
}

```

3.5 การโปรแกรมไฟล์ .hex ลงในไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อทำการคอมไพล์ Source code เสร็จแล้วก็จะได้ไฟล์นามสกุล .hex ซึ่งเป็นไฟล์ที่ต้องดาวน์โหลดลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับโปรแกรม “WinPic800” นั้น เป็นโปรแกรมประเภท “Free Ware” ใช้สำหรับ Download Hex File ให้กับ MCU ตระกูล PIC และ dsPIC โดยโปรแกรมตัวนี้ในปัจจุบันได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับจนถึงรุ่นล่าสุดคือ 3.55g แล้ว ซึ่งในรุ่นนี้สามารถใช้งานได้กับ MCU ตระกูล PIC และ dsPIC ของ Microchips ได้มากมายหลายเบอร์ โดยขั้นตอนของการ Download HEX File ด้วยโปรแกรม WinPic800 มีลำดับขั้นตอนดังนี้

ติดตั้งโปรแกรม “WinPic800” ในเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เรียบร้อยพร้อมใช้งาน

เขียนโปรแกรมและแปลคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนให้เป็น Hex File

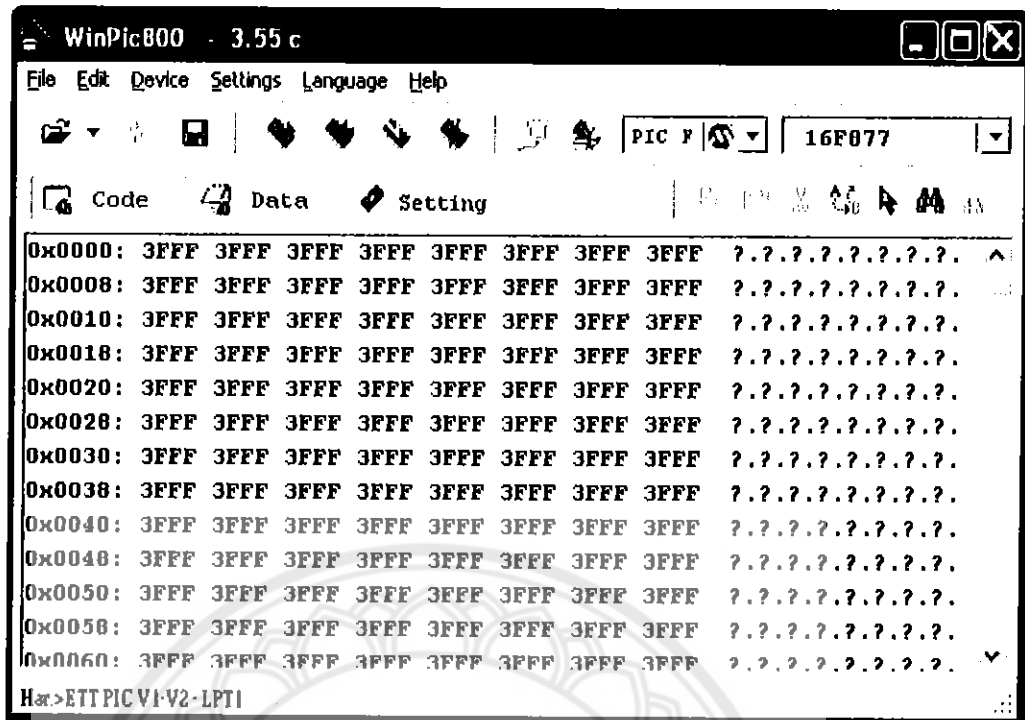
ติดตั้งชุด ET-CAP10PIN V2.0 เข้ากับพอร์ตขนาน (LPT Port หรือ Printer Port) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เพื่อใช้ในการส่ง Download Hex File ด้วยโปรแกรม “WinPic800”

ต่อสายแพร์ขนาด 10 PIN จากขั้วต่อ “ET-PSPI” ของบอร์ด “ET-CAP10PIN V2.0” เข้ากับขั้วต่อสำหรับ Download ของบอร์ด “ET-BASE PIC40” ที่ตำแหน่ง “ET-PSPI DOWNLOAD”

ทำการจ่ายไฟให้กับบอร์ด “ET-BASE PIC40” ซึ่งจะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟแรงดันขนาด 5VDC

ตั้ง Run Program ของ “WinPIC800” เพื่อเริ่มต้นขั้นตอนของการ Download HEX File

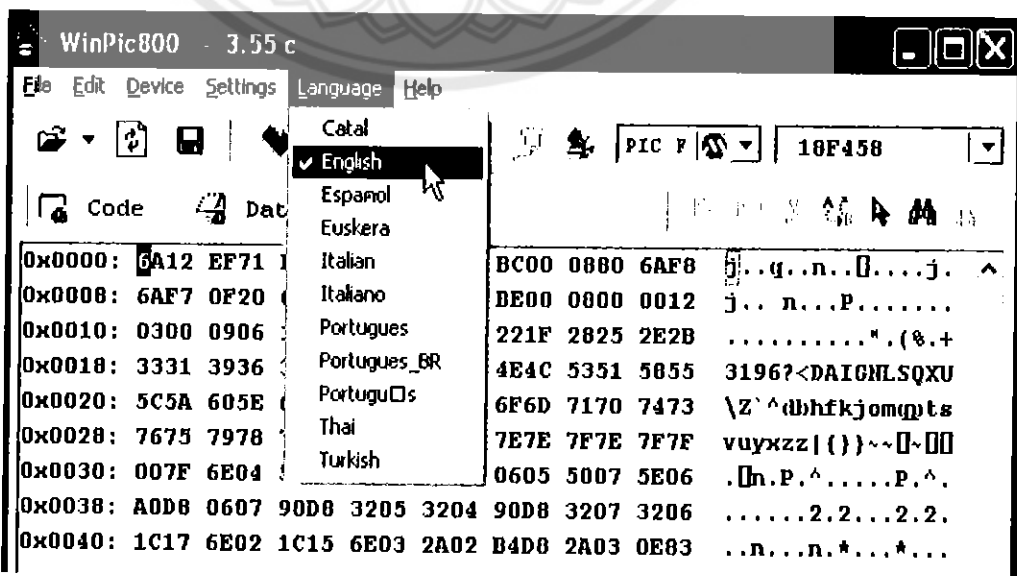
ผังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ทำการ Download HEX File

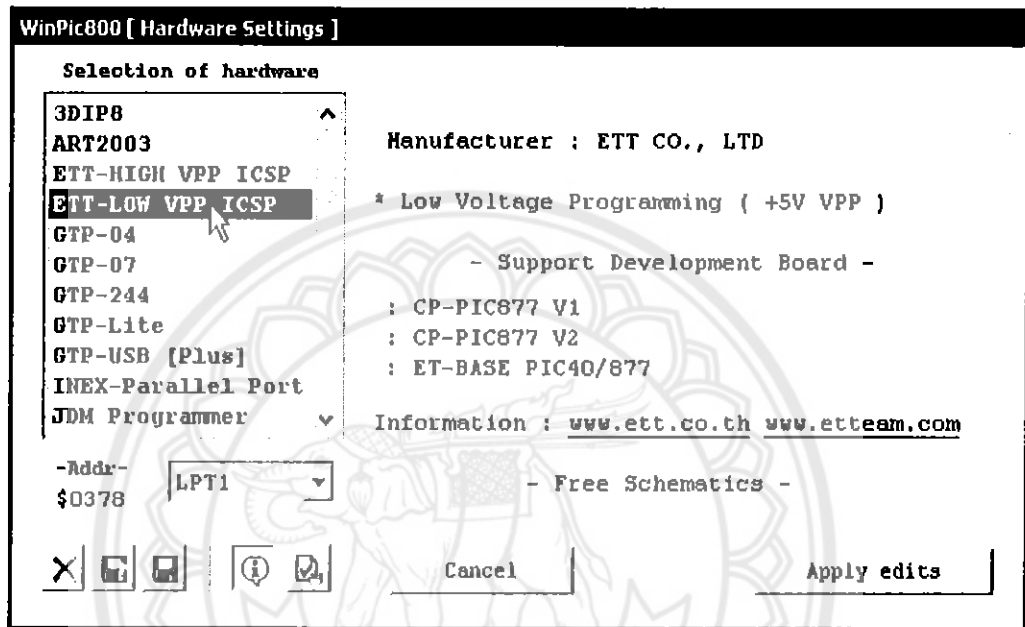
ถ้ายังไม่ได้กำหนดค่าตัวเลือกให้กับโปรแกรม “WinPic800” เพื่อใช้สั่ง Download Hex File ให้กับ PIC MCU ร่วมกับระบบฮาร์ดแวร์ของ อีทีที มาก่อน ให้ทำการกำหนดค่าตัวเลือกของโปรแกรมสำหรับใช้งานร่วมกับ MCU ให้เรียบร้อยดังนี้

กำหนดภาษาที่จะใช้ในการสั่งงานโปรแกรม โดยขอแนะนำให้เลือกเป็นภาษาอังกฤษ โดยให้คลิกเมาส์ที่เมนูคำสั่ง Language แล้วเลือก English ดังรูปที่ 3.9



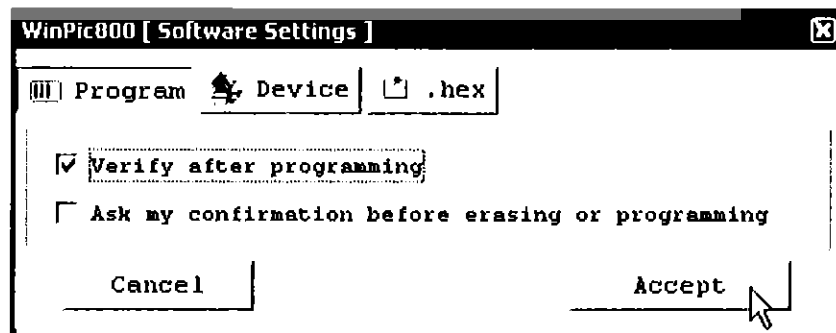
รูปที่ 3.9 เลือกกำหนดภาษา

ทำการกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์ของบอร์ดให้ถูกต้อง โดยการคลิกเมาส์ที่เมนูคำสั่ง "Settings Hardware" โดยในกรณีที่ใช้งานโปรแกรม "WinPIC800" ร่วมกับบอร์ด "ET-BASE PIC40" โดยใช้สาย Download ของ อีทีที รุ่น "ET-CAP10PIN V2.0" ให้กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์เป็น "ETT -LOW VPP ICSP" ส่วน LPT นั้นให้กำหนดตามความเป็นจริง ซึ่งปรกติจะเป็น "LPT1" แล้วเลือก "Apply edits" ดังรูปที่ 3.10



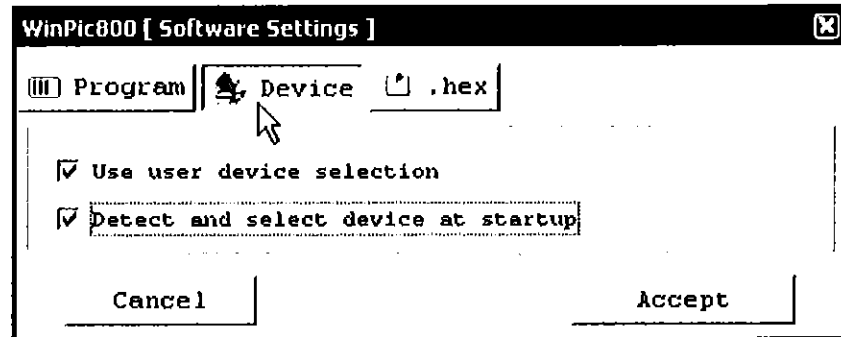
รูปที่ 3.10 การกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์

ทำการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมว่าต้องการให้โปรแกรมทำงานตามลำดับขั้นตอน โดยการคลิกเมาส์ที่เมนูคำสั่ง "Settings Software" โดยจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.11



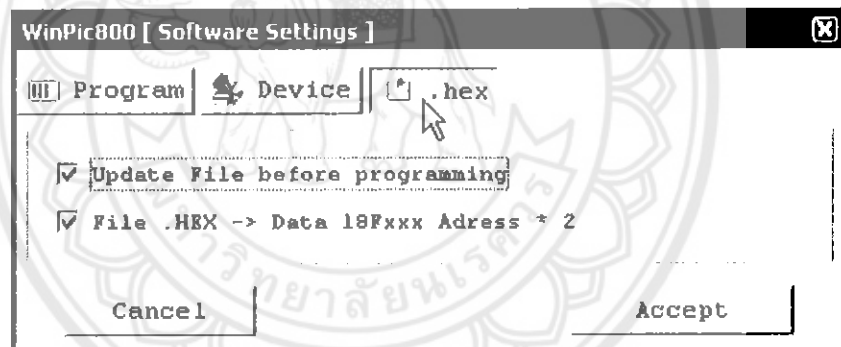
รูปที่ 3.11 ตั้งค่า Program

เลือกที่ Verify after programming จากนั้นให้เลือกที่ “Accept” เพื่อบันทึกค่าตัวเลือกนี้ไว้ใช้งานกับโปรแกรมต่อไป



รูปที่ 3.12 ตั้งค่า Device

เลือกที่ Use user device selection และ Detect and select device at startup จากนั้นให้เลือกที่ “Accept” เพื่อบันทึกค่าตัวเลือกนี้ไว้ใช้งานกับโปรแกรมต่อไป

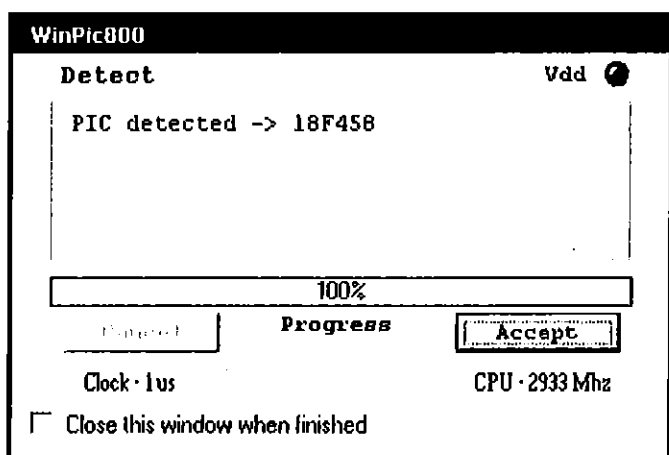


รูปที่ 3.13 ตั้งค่า File .hex

เลือกที่ Update File before programming และ File .Hex -> Data 18Fxx Adress * 2 จากนั้นให้เลือกที่ “Accept” เพื่อบันทึกค่าตัวเลือกนี้ไว้ใช้งานกับโปรแกรมต่อไป

สั่ง Open Hex File เพื่อใช้ในการ Download ให้กับ MCU โดยสามารถสั่งผ่านเมนูคำสั่งของ “File Open” หรือคลิกเมาส์ที่ Button คำสั่ง แล้วเลือกกำหนดชื่อและที่อยู่ของ Hex File ที่ต้องการจะใช้ Download ตามต้องการ

สั่งตรวจสอบการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์กับ MCU โดยสามารถสั่งงานผ่านเมนูคำสั่งของ “Device Detect PIC” หรือคลิกเมาส์ที่ Button คำสั่ง ซึ่งโปรแกรมจะทำการอ่านรหัส ID Code ของ MCU พร้อมกับแสดงชื่อเบอร์ของ MCU ที่ตรวจพบให้ทราบ โดยถ้าการทำงานถูกต้องในกรณีที่ใช้กับบอร์ด “ET-BASE PIC40” จะต้องแสดงเบอร์ของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง เช่นดังรูปที่ 3.14

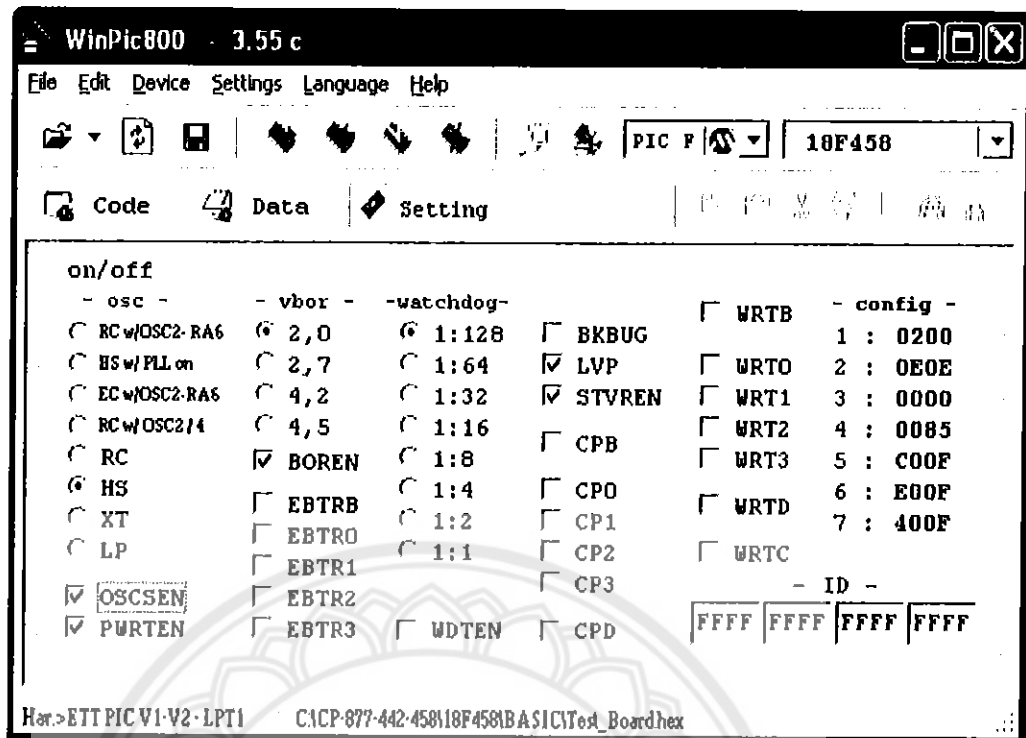


รูปที่ 3.14 การ Device Detect PIC”

ถ้าการตรวจสอบเบอร์ MCU เกิดความผิดพลาด โดยถ้าโปรแกรมแสดงเบอร์ไม่ถูกต้อง ให้ลองตรวจสอบตำแหน่งสวิทช์เลือกเบอร์ “16F/18F” ว่าถูกตามเบอร์ที่ใช้หรือไม่ และสายสัญญาณต่างๆต่อ แน่น สนิท ดีหรือยังค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้มีค่าถูกต้องหรือไม่ (5VDC) รวมทั้งการกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์ของโปรแกรมกำหนดไว้เป็น “ETT-LOW VPP ICSP” ถูกต้องหรือไม่ ถ้าทุกอย่างเรียบร้อยแล้วลองทำซ้ำคู่อีกครั้งหนึ่งจนได้ค่าเบอร์ MCU ที่ถูกต้อง

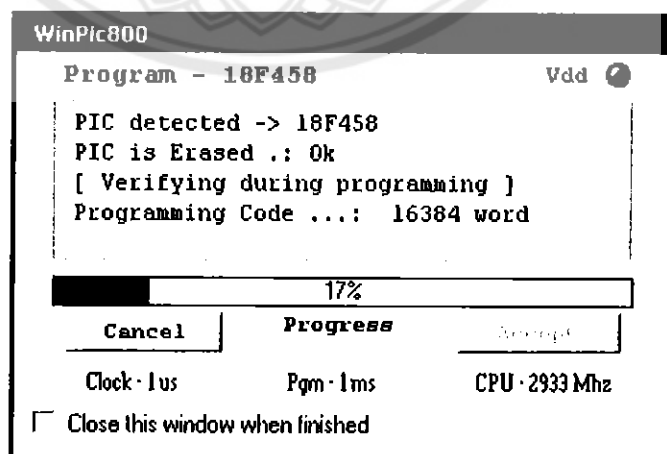
ตรวจสอบค่า Configuration ของ “PIC” ว่ากำหนดไว้ถูกต้องหรือไม่ โดยในกรณีที่ใช้งานกับบอร์ด “ETBASE PIC40” นั้นต้องกำหนดค่า Configuration ของ MCU ในส่วนของ LVP ให้ทำการเลือกไว้ด้วยส่วนค่า Configuration อื่นๆ สามารถเลือกกำหนดได้เองตามต้องการ ซึ่งตามปกติแล้วค่าของ Configuration นี้จะถูกกำหนดค่าไว้ในขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรมอยู่แล้วโดยเมื่อสั่งแปลโปรแกรมเป็น HEX นั้นค่า Configuration จะฝังอยู่ใน HEX File ด้วยเสมอแต่อย่างไรก็ตามถ้าผู้ใช้ไม่ได้กำหนดค่าที่ถูกต้องให้กับ Configuration ไว้ด้วย ในขั้นตอนของการพัฒนาโปรแกรมก็อาจทำให้ค่า Configuration มีค่าไม่ถูกต้องตามต้องการ ดังนั้นจะต้องแก้ไขค่าตัวเลือกของ Configuration ให้ถูกต้องก่อนสั่ง Program

โดยผู้ใช้สามารถตรวจสอบค่าของ Configuration ในปัจจุบันได้จากหน้าจอโปรแกรม โดยการคลิกเมาส์เลือกไปที่แท็บของ “Setting” ดังรูปที่ 3.15

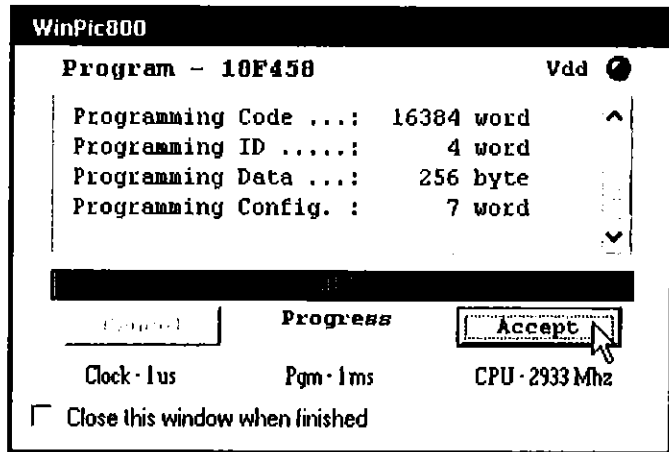


รูปที่ 3.15 ตรวจสอบค่าของ Configuration

ตั้ง Download Hex File ให้กับหน่วยความจำ Flash ของ MCU ในบอร์ด โดยสามารถสั่งผ่านเมนูคำสั่งของ “Device Program All” หรือคลิกเมาส์ที่ Button ซึ่งหลังจากขั้นตอนนี้เสร็จสิ้นลง ถ้าไม่เกิดความผิดพลาดใดๆ ก็จะเป็นดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 Download Hex File



รูปที่ 3.17 Download Hex File เสร็จสมบูรณ์



บทที่ 4

ผลการทดสอบ

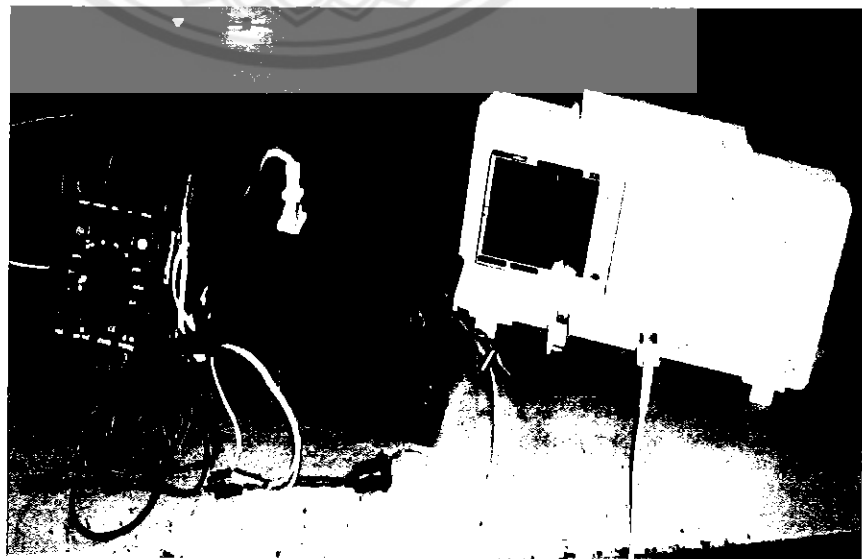
4.1 จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อต้องการทดสอบดูกราฟแรงดันจากการปรับมุมเฟสตั้งแต่มุม 9 – 144 องศา

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดสอบเพื่อดูกราฟแรงดันที่ทำการปรับมุมเฟส

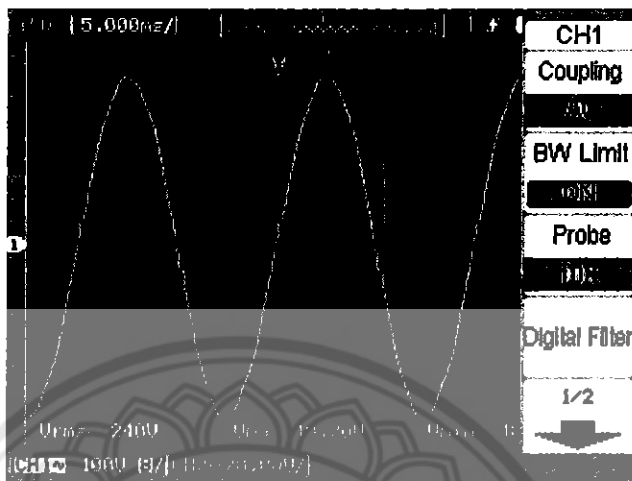
- ทำการต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 220 V กับชุดควบคุมมุมเฟส และต่อโวลต์เพื่อทดสอบแรงดันโดยการทดสอบครั้งนี้ใช้โวลต์ประเภท R เป็นโหลดไฟอินแกนเดสเซนส์
- เมื่อจะทำการวัดค่าเพื่อดูกราฟแรงดันที่เกิดจากการปรับมุมเฟสที่ค่ามุมต่างกันและทำการวัดเพื่อดูกราฟแรงดันโดยใช้สายโพรบของเครื่อง Oscilloscope มาต่อพร้อมโวลต์
- ทำการต่อมัลติมิเตอร์พร้อมโวลต์เพื่อวัดแรงดันเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบและค่าแรงดันที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 4.1 การทดสอบเพื่อดูกราฟที่เกิดจากการปรับมุมเฟส

4.3 ผลการทดลอง

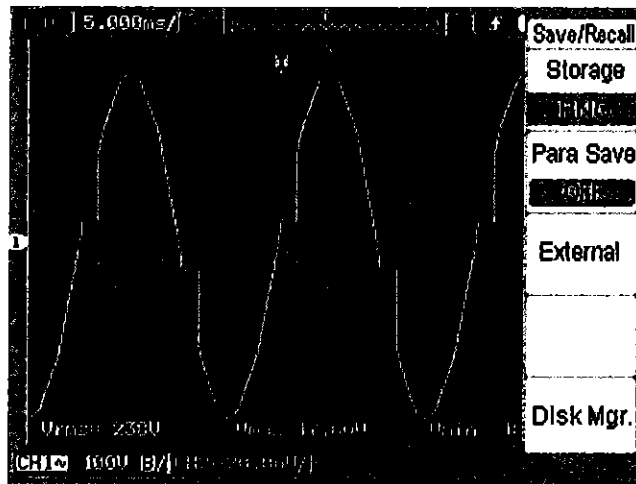
กราฟแรงดันที่วัดจากเครื่อง Oscilloscope ใช้โหลดหอดได้ขนาด 40 วัตต์



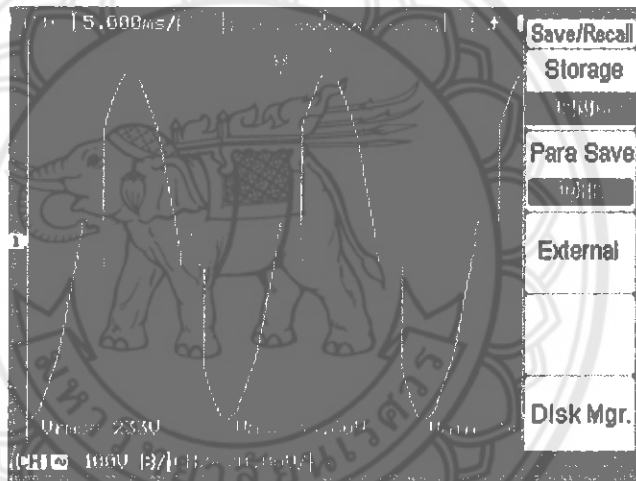
รูปที่ 4.2 จุดชนวนที่ 0.5 ms หรือมุมที่ 9 องศา



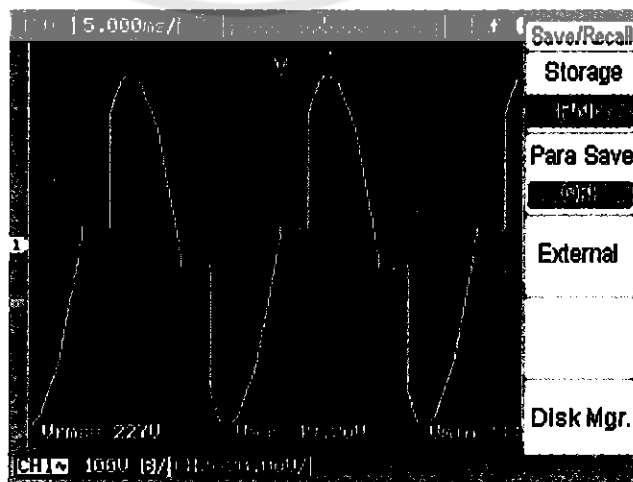
รูปที่ 4.3 จุดชนวนที่ 1.0ms หรือมุมที่ 18 องศา



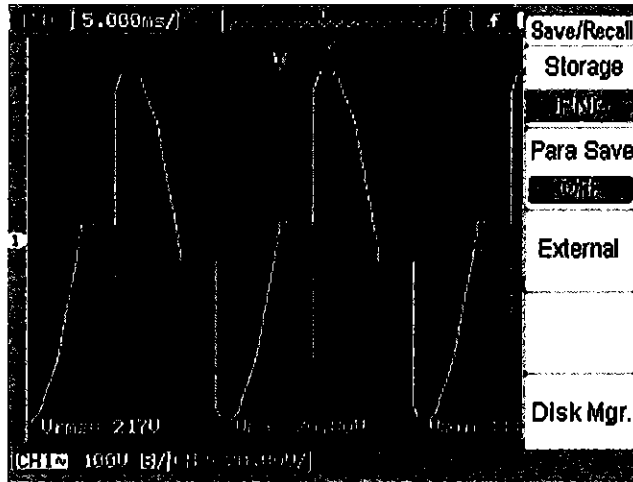
รูปที่ 4.4 จุดชนวนที่ 1.5 ms หรือมุมที่ 27 องศา



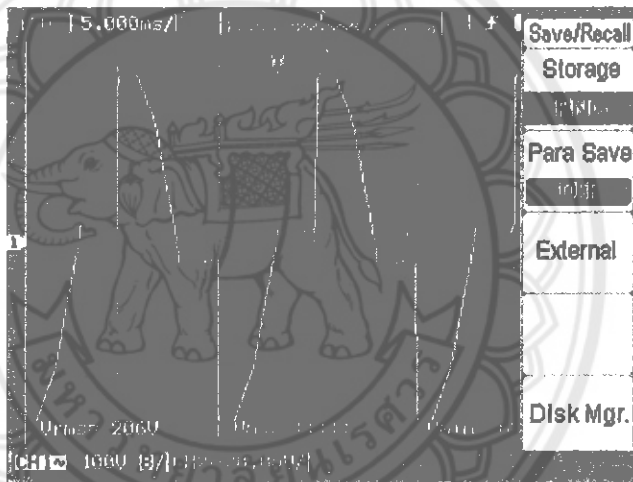
รูปที่ 4.5 จุดชนวนที่ 2.0 ms หรือมุมที่ 36 องศา



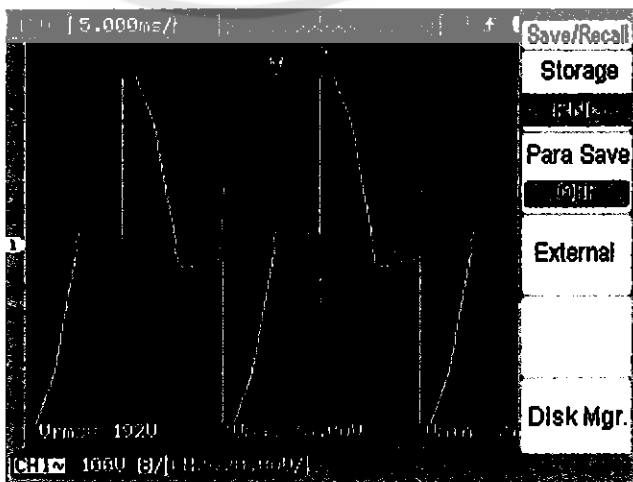
รูปที่ 4.6 จุดชนวนที่ 2.5 ms หรือมุมที่ 45 องศา



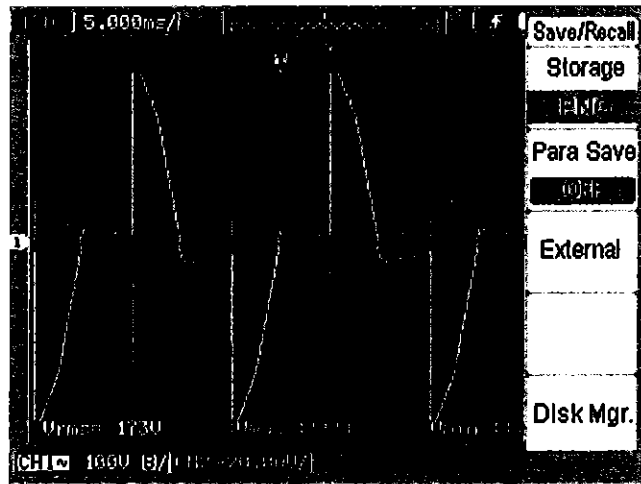
รูปที่ 4.7 จุดชนวนที่ 3.0 ms หรือมุมที่ 54 องศา



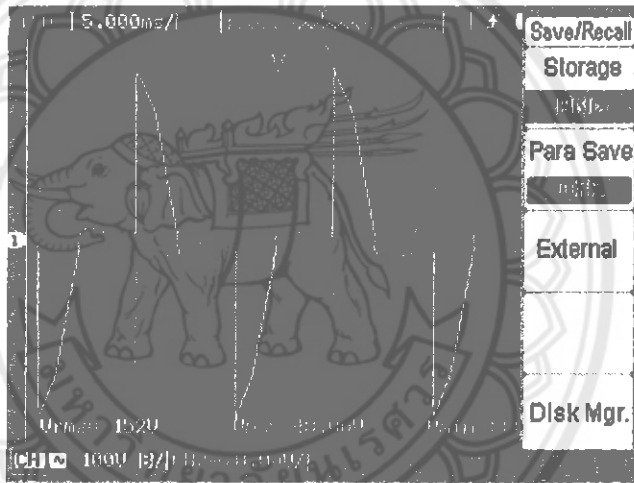
รูปที่ 4.8 จุดชนวนที่ 3.5 ms หรือมุมที่ 63 องศา



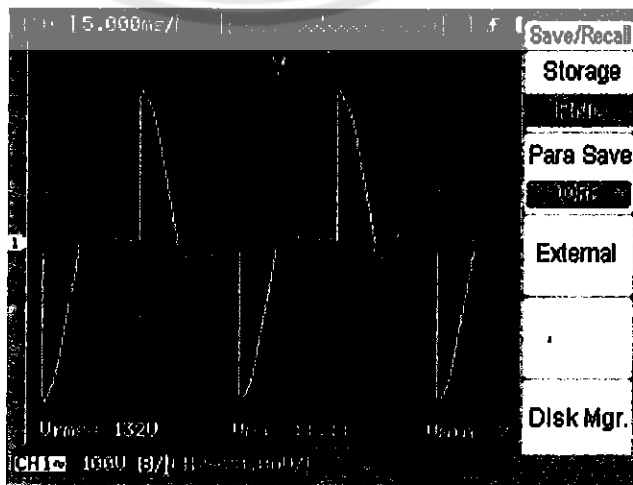
รูปที่ 4.9 จุดชนวนที่ 4.0ms หรือมุมที่ 72 องศา



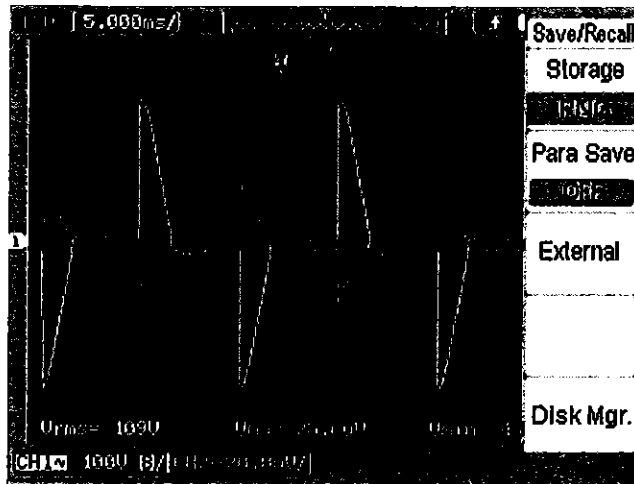
รูปที่ 4.10 จุดชนวนที่ 4.5 ms หรือมุมที่ 81 องศา



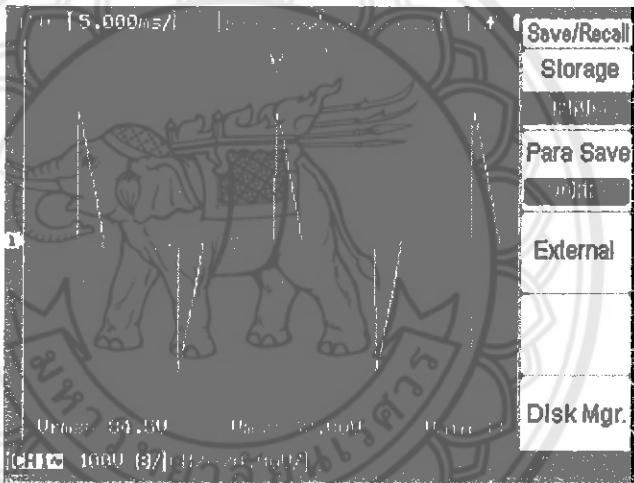
รูปที่ 4.11 จุดชนวนที่ 5.0 ms หรือมุมที่ 90 องศา



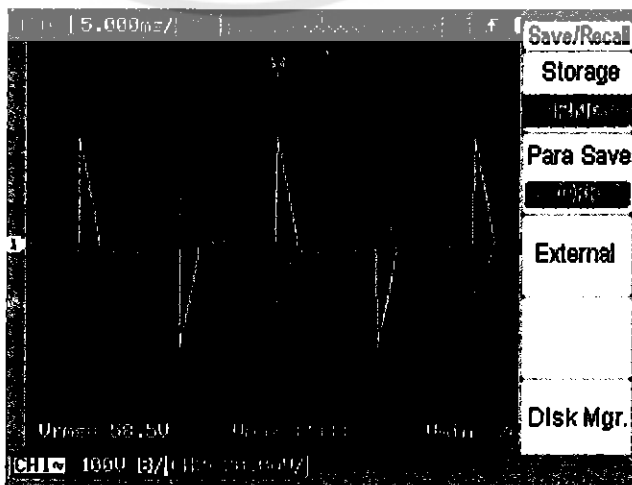
รูปที่ 4.12 จุดชนวนที่ 5.5 ms หรือมุมที่ 99 องศา



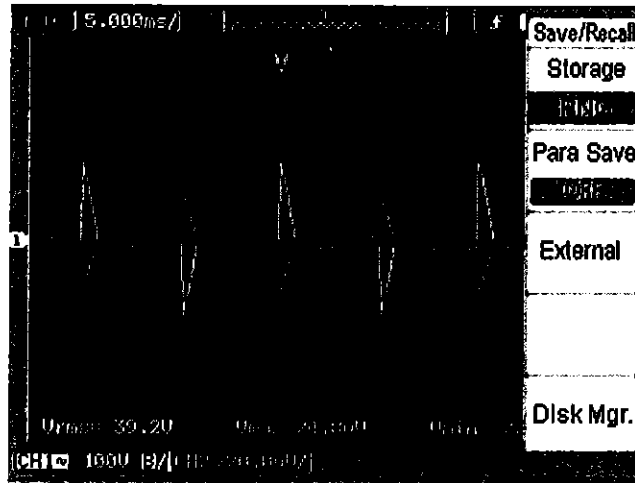
รูปที่ 4.13 จุดชนวนที่ 6.0 ms หรือมุมที่ 108 องศา



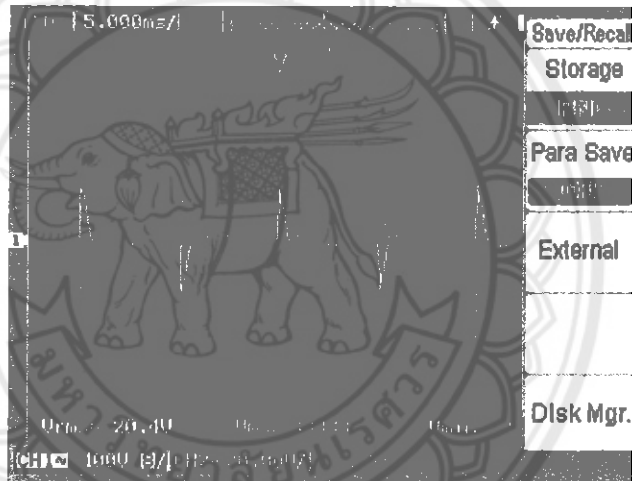
รูปที่ 4.14 จุดชนวนที่ 6.5 ms หรือมุมที่ 117 องศา



รูปที่ 4.15 จุดชนวนที่ 7.0ms หรือมุมที่ 126 องศา

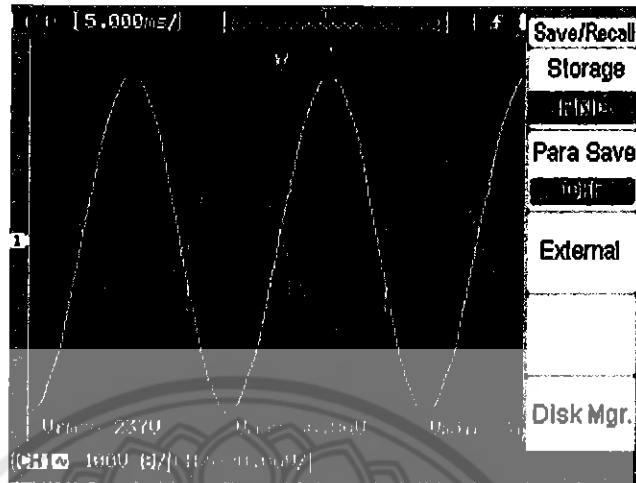


รูปที่ 4.16 จุดชนวนที่ 7.5 ms หรือมุมที่ 135 องศา



รูปที่ 4.17 จุดชนวนที่ 8.0 ms หรือมุมที่ 144 องศา

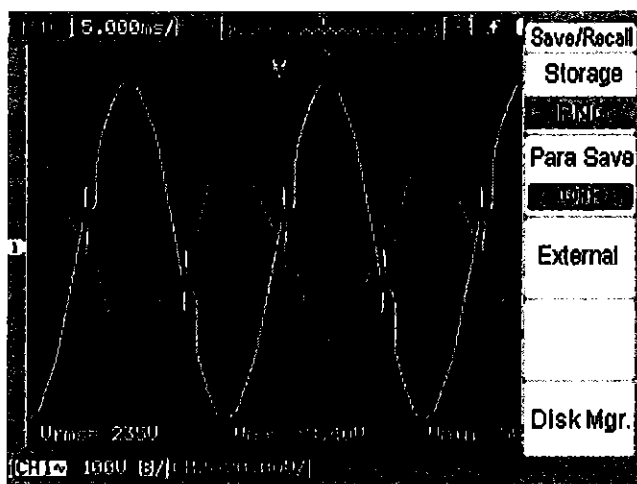
กราฟแรงดันที่วัดจากเครื่อง Oscilloscope ใช้โพลคอมอเตอร์กระแสสลับ 54 วัตต์



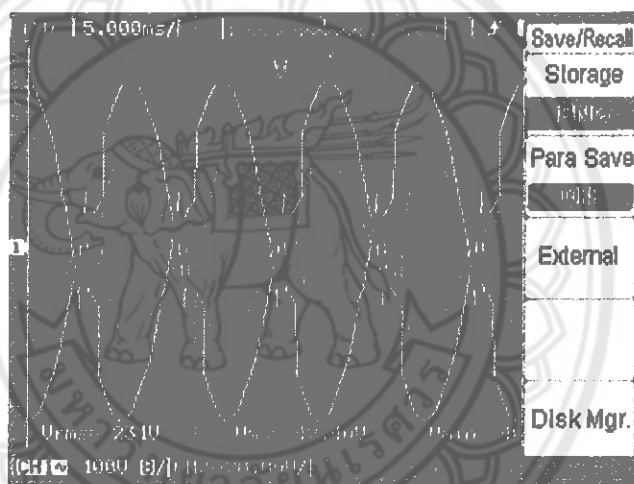
รูปที่ 4.18 จุดขนวนที่ 0.5 ms หรือมุมที่ 9 องศา



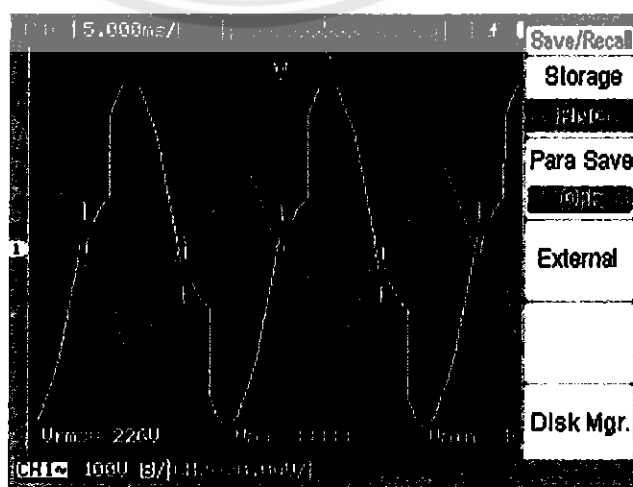
รูปที่ 4.19 จุดขนวนที่ 1.0ms หรือมุมที่ 18 องศา



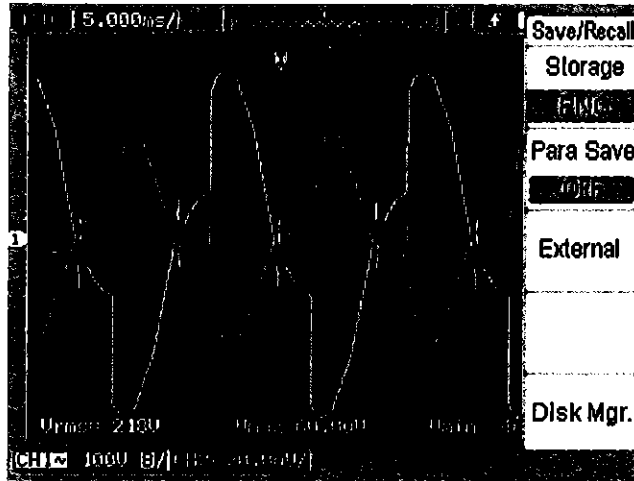
รูปที่ 4.20 จุดชนวนที่ 1.5 ms หรือมุมที่ 27 องศา



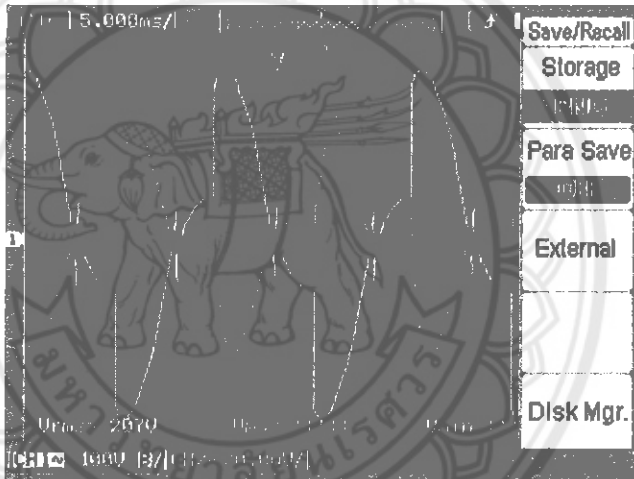
รูปที่ 4.21 จุดชนวนที่ 2.0 ms หรือมุมที่ 36 องศา



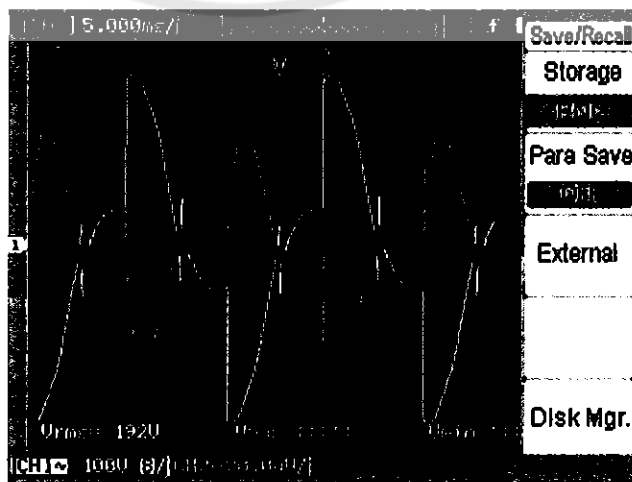
รูปที่ 4.22 จุดชนวนที่ 2.5 ms หรือมุมที่ 45 องศา



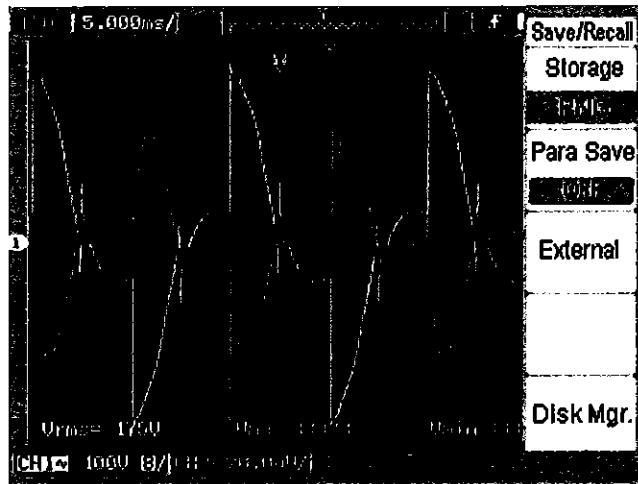
รูปที่ 4.23 จุดชนวนที่ 3.0 ms หรือมุมที่ 54 องศา



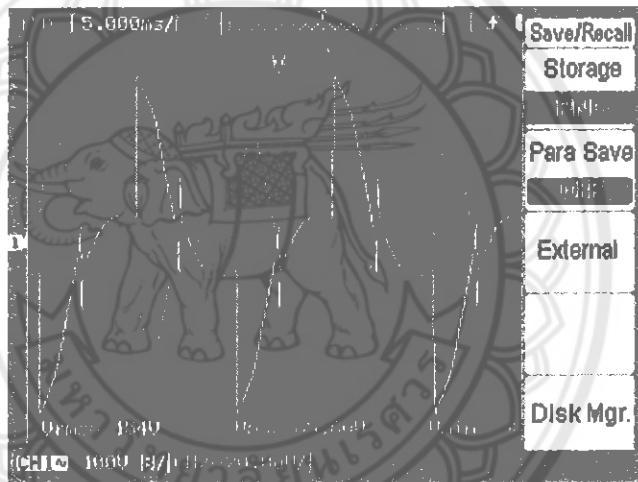
รูปที่ 4.24 จุดชนวนที่ 3.5 ms หรือมุมที่ 63 องศา



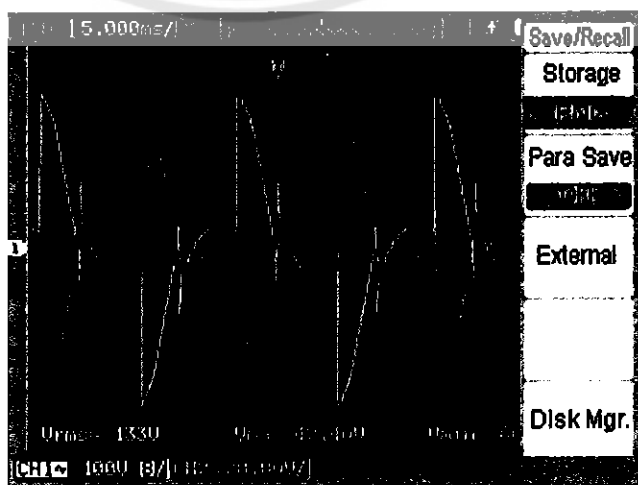
รูปที่ 4.25 จุดชนวนที่ 4.0ms หรือมุมที่ 72 องศา



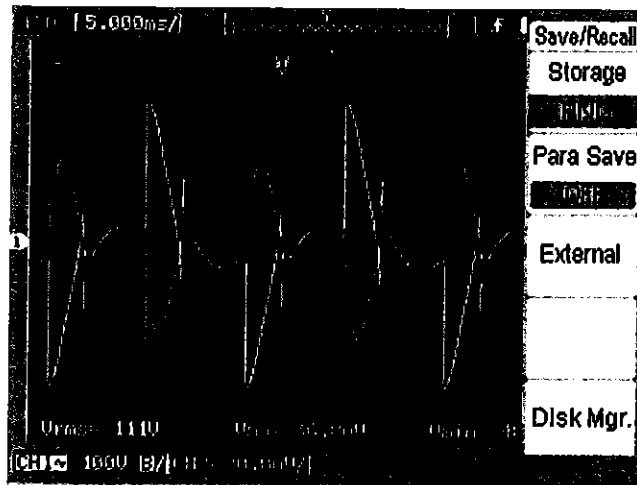
รูปที่ 4.26 จุดชนวนที่ 4.5 ms หรือมุมที่ 81 องศา



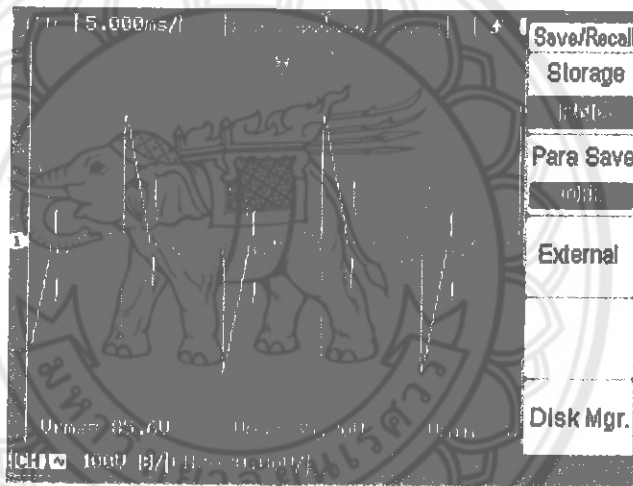
รูปที่ 4.27 จุดชนวนที่ 5.0 ms หรือมุมที่ 90 องศา



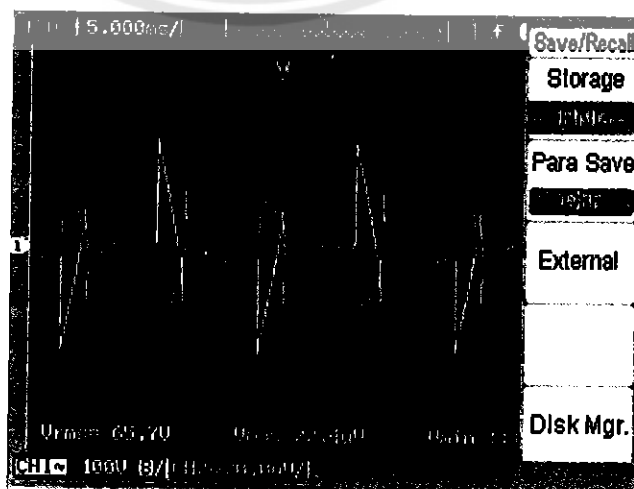
รูปที่ 4.28 จุดชนวนที่ 5.5 ms หรือมุมที่ 99 องศา



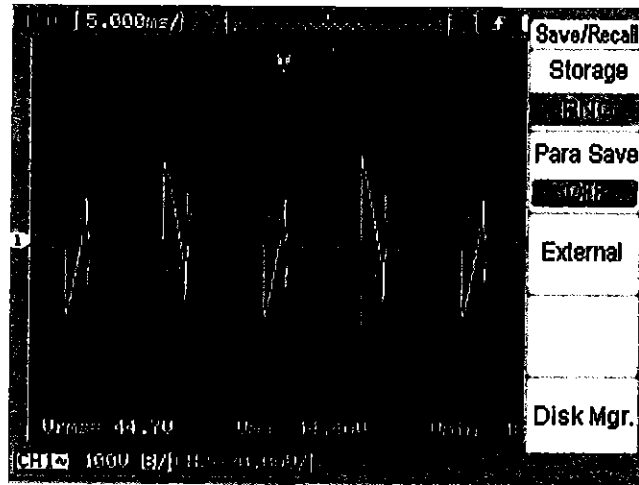
รูปที่ 4.29 จุดชนวนที่ 6.0 ms หรือมุมที่ 108 องศา



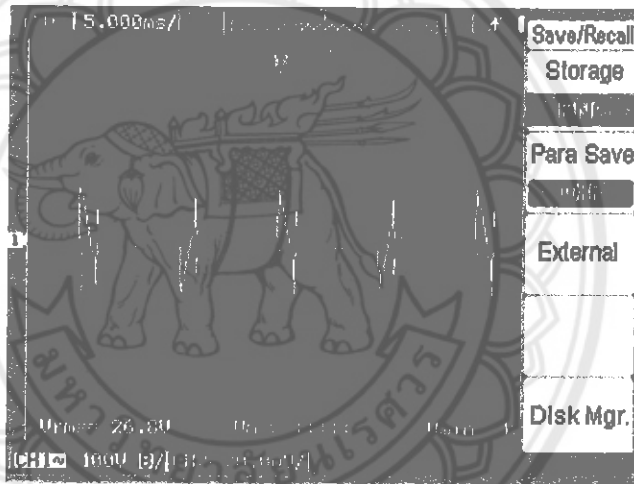
รูปที่ 4.30 จุดชนวนที่ 6.5 ms หรือมุมที่ 117 องศา



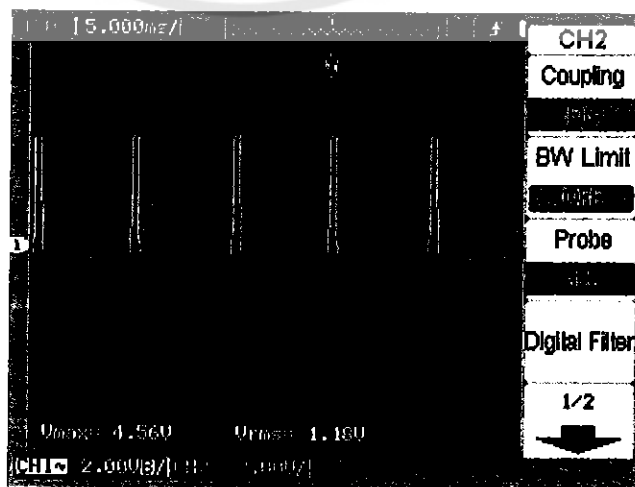
รูปที่ 4.31 จุดชนวนที่ 7.0ms หรือมุมที่ 126 องศา



รูปที่ 4.32 จุดขนาวนที่ 7.5 ms หรือมุมที่ 135 องศา



รูปที่ 4.33 จุดขนาวนที่ 8.0 ms หรือมุมที่ 144 องศา



รูปที่ 4.34 รูปสัญญาณอ้างอิง (Zero Crossing)

ตารางที่ 4.1 โหลดหลอดไส้ขนาด 25 วัตต์

หน่วย เวลา	ค่าที่ได้จากการวัด			ค่าที่ได้จากการคำนวณ			ค่าความคลาด เคลื่อนคิดที่ P (%)
	V	I	P	V	I	P	
(ms)							
0.5	235.20	0.1078	25.354	235.10	0.1076	25.296	0.23
1	232.00	0.1063	24.661	230.32	0.1061	24.437	0.91
1.5	224.70	0.1032	23.189	221.60	0.1025	22.717	2.03
2	213.90	0.0989	21.155	210.10	0.0976	20.506	3.06
2.5	200.20	0.0935	18.719	196.56	0.0924	18.162	2.98
3	183.50	0.0875	16.056	177.56	0.0842	14.951	6.88
3.5	164.40	0.0806	13.251	157.88	0.0796	12.567	5.16
4	144.40	0.0736	10.628	137.95	0.0710	9.794	7.85
4.5	123.40	0.0657	8.107	117.86	0.0612	7.213	11.02
5	102.10	0.0578	5.901	96.67	0.0543	5.249	11.12
5.5	81.20	0.0498	4.044	74.38	0.0417	3.102	23.29
6	32.46	0.0418	1.357	26.78	0.0341	0.913	32.72
6.5	26.66	0.0342	0.912	20.94	0.0298	0.624	31.59
7	20.60	0.0268	0.552	17.34	0.0231	0.400	27.53
7.5	14.23	0.0199	0.283	9.85	0.0154	0.152	46.29
8	7.61	0.0133	0.101	5.49	0.0095	0.052	48.51

ตารางที่ 4.2 โหลดมอเตอร์กระแสสลับขนาด 54 วัตต์

หน่วย เวลา	ค่าที่ได้จากการวัด			ค่าที่ได้จากการคำนวณ			ค่าความคลาด เคลื่อนที่ P (%)
	V	I	P	V	I	P	
(ms)							
0.5	235.90	0.247	58.267	235.80	0.246	58.006	0.92
1	233.40	0.244	56.949	232.60	0.243	56.522	0.75
1.5	228.10	0.237	54.059	225.70	0.234	52.813	2.30
2	220.90	0.229	50.586	216.00	0.224	48.366	4.39
2.5	210.80	0.226	47.641	201.00	0.215	43.314	9.08
3	198.30	0.212	42.039	183.10	0.196	35.842	14.74
3.5	182.20	0.199	36.257	166.80	0.176	29.357	18.97
4	164.40	0.184	30.249	146.90	0.154	22.623	25.21
4.5	145.70	0.168	24.477	132.80	0.146	19.389	20.95
5	123.60	0.146	18.045	111.20	0.128	14.234	21.11
5.5	102.40	0.107	10.956	89.42	0.098	8.763	20.01
6	81.20	0.075	6.090	64.85	0.073	4.734	22.26
6.5	60.70	0.072	4.370	44.97	0.067	3.013	31.05
7	32.48	0.047	1.526	28.56	0.034	0.971	36.36
7.5	22.57	0.026	0.586	17.52	0.021	0.368	37.20
8	12.02	0.012	0.144	9.80	0.010	0.098	31.94

4.4 สาเหตุของค่าความคลาดเคลื่อน

4.4.1 ความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการวัด

ความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการวัดเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการใช้เครื่องมือวัดแบ่งสาเหตุได้ 4 ประการ ได้แก่

- 1) เกิดจากขาดความระมัดระวังในการวัด การบันทึกผลการปรับตั้งย่านวัดและการคำนวณ
- 2) เกิดจากขาดความรู้ในการเลือกใช้เครื่องมือวัด
- 3) เกิดจากขาดความเข้าใจในการวัด
- 4) เกิดจากขาดทักษะในการอ่านค่า

4.4.2 ความคลาดเคลื่อนจากระบบ

ความคลาดเคลื่อนจากระบบ สาเหตุอาจเกิดขึ้นจากเครื่องมือวัดผลกระทบของสภาพแวดล้อม และจากอุปกรณ์แสดงผล ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดบ่อย ๆ ภายใต้การวัดปริมาณเหมือนกันเงื่อนไขเหมือนกัน ดังนี้

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือวัด (instrument errors) อาจจะทำเนื่องจากความผิดในดัดลูกปืนของเคลื่อนที่มิเตอร์, แรงคิ่งสปริงไม่ถูกต้องการปรับแต่งหรือการผิดพลาดของเครื่องมือวัด เครื่องมือวัดคลาดเคลื่อนสามารถลดโดยการบำรุงรักษาและการใช้คู่มือของเครื่องมือวัด

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสภาพแวดล้อม (environmental errors) อาจเป็นเหตุจากเงื่อนไขการใช้เครื่องมือวัดเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูง ความดันหรือการสั่น หรือไฟฟ้าสถิตบนของแข็ง หรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอาจมีผลกระทบทำให้เกิดเหตุความคลาดเคลื่อนได้

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสังเกต (observational errors) อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการสังเกตค่าหรืออ่านค่า เช่น ขาดอุปกรณ์ที่ช่วยให้ตำแหน่งในการอ่านค่าจากสเกลทำให้เกิดคลาดเคลื่อน (parallax errors) และค่าจากหน้าจอของเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าไม่นิ่ง สิ่งเหล่านี้จึงอาจทำให้ต้องอ่านค่าโดยการประมาณ

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่ากราฟแรงดันที่ได้จากการวัดค่าจากเครื่อง Oscilloscope เป็นกราฟที่แสดงขณะที่ทำการปรับมุมเฟสโดยใช้สวิตช์ปุ่มกด สามารถปรับมุมเฟสได้ 16 ระดับ ตั้งแต่ 9-144 องศา และเวลามุมที่จุดจนวนจะเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 ms หากมีการปรับมุมเฟสเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้กราฟจะเปลี่ยนแปลงกราฟแรงดันจะลดลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการควบคุมมุมเฟสโดยใช้ไครแอค การทดลองครั้งนี้จะใช้โหลดประเภท R เป็นโหลดอินแคนเดสเซนต์ ขนาด 25 วัตต์ สาเหตุที่ใช้โหลดประเภท R เนื่องจากลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเนื่องฮาร์มอนิกส์ หากปรับมุมเฟสเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงดันลดลงส่งผลทำให้โหลดมีแรงดันตกคร่อมลดลงแสงสว่างก็น้อยลงด้วย โดยกราฟที่ได้มีลักษณะสม่ำเสมอ

เมื่อทำการทดสอบกับมอเตอร์ขนาด 54 วัตต์ จะเห็นว่ากำลังของมอเตอร์สูงกว่าที่คิดที่บอกไว้ จะเห็นได้จากกราฟว่าเมื่อเราทำงานปรับมุมเฟสก็จะทำให้สามารถควบคุมกำลังเอาต์พุตที่ออกมาได้เช่นกัน และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่ายังมีสัญญาณฮาร์มอนิกส์เล็กน้อยเข้ามารบกวน สัญญาณทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองเกิดความผิดพลาด



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานจุดชนวนที่มุ่มต่างๆได้โดยการอ้างอิงกับสัญญาณ Zero Crossing และสามารถควบคุมให้จุดชนวนที่ระดับแรงดันต่างๆ ด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 เป็นตัวควบคุมการสร้างสัญญาณที่ระดับแรงดันต่างๆ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้ศึกษาการทำงานของไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการออกแบบชุดควบคุมมุ่มเฟสโดยไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และเมื่อมีการควบคุมมุ่มเฟสจากการปรับการเลื่อนมุ่มเฟสโดยสวิตช์ปั๊มกดให้เหมาะสมโดยควบคุมจังหวะการกระตุ้นหรือจุดชนวนสัญญาณของไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสที่เหมาะสมถูกต้องที่มุ่มเฟสต่างกัน ก็จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายไปยังโหลดทำให้สามารถควบคุมการทำงานของโหลดนั้นๆได้

จากผลการทดสอบในบทที่ 4 สามารถควบคุมมุ่มเฟสโดยจุดชนวนที่สัญญาณให้กับไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสได้แรงดันไฟฟ้าตามต้องการโดยมีการปรับมุ่มเฟสและมีระดับการปรับ 16 ระดับ ตั้งแต่ มุ่มเฟส 9-144 องศาและมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของไมโครเอกซนิกควมคุมมุ่มเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากสวิตช์ปั๊มและสัญญาณอ้างอิง จะเห็นว่ารูปสัญญาณแรงดันมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณเล็กน้อย

ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ในช่วงเนื่องจากการปรับมุ่มในระดับที่มุ่มน้อย และเมื่อมีการปรับมุ่มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแรงดันมีค่าน้อย ผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าค่าที่ได้สอดคล้องกับสมการในบทที่ 2

5.2 ประเมินผลการทดลอง

จากการดำเนินงาน โครงการงานเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ในการทำโครงการ ได้ผลดังนี้

- 1) ได้รับความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 2) สามารถสร้างวงจรควบคุมมมูมเฟส
- 3) สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877 ควบคุมการทำงานของวงจร

5.3 แนวทางการพัฒนา

- 1) ออกแบบให้ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส
- 2) ออกแบบให้ใช้แบบเป็นแบบ Keypad เพื่อการป้อนค่าให้ง่ายขึ้น
- 3) สามารถออกแบบให้มีการเพิ่มโหลดให้มากกว่านี้ได้

5.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

หากใช้กับโหลดประเภท L เช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะทำให้โปรแกรมรีเซตตัวเองเนื่องเกิดจากการใช้แหล่งจ่ายเดียวกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แนวทางแก้ไขต้องทำการแยกแหล่งจ่ายระหว่างโหลดที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://powere.siam2web.com/?cid=58411> สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2554
- [2] <http://www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php?topic=1025.0>
สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2554
- [3] http://www.alibaba.com/productgs/308703118/MB_DF_DB_MINI_BRIDGE_DIODE.html สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2554
- [4] http://elec.pnt.rmutl.ac.th/attachments/001_el_lesson1.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2554
- [5] <http://www.chontech.ac.th/~electric/html/regulator.htm> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2554
- [6] ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. (2553). ประยุกต์ใช้งาน PIC ขั้นสูงด้วยภาษา C. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- [7] พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์. (2538). อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร 2. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ
- [8] กัทธีรยา กิตติเคชาชาญ. (2542). อิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
- [10] <http://www.waveshare.net/shop/MOC3023M-price.htm> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2554
- [11] <http://th.element14.com/fairchild-semiconductor/moc3023-m/optocoupler-triac-driver/dp/1021367> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2554
- [12] <http://gedex.web.id/archives/2006/12/> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2554



ภาคผนวก ก

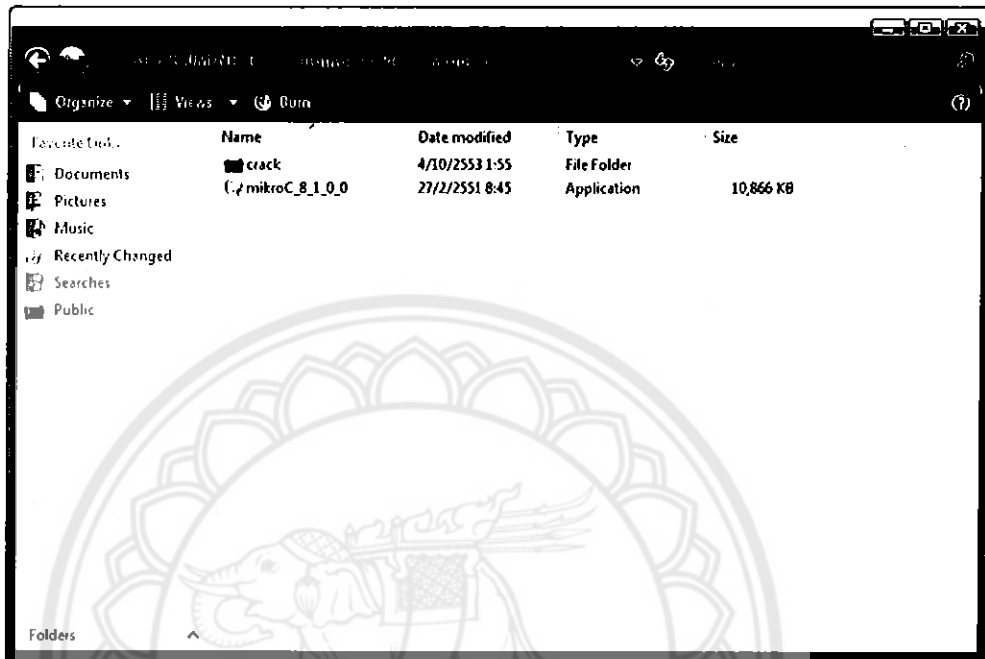
การติดตั้งโปรแกรม Mikro C และ Proteus_7.5

มหาวิทยาลัยสุรินทร์

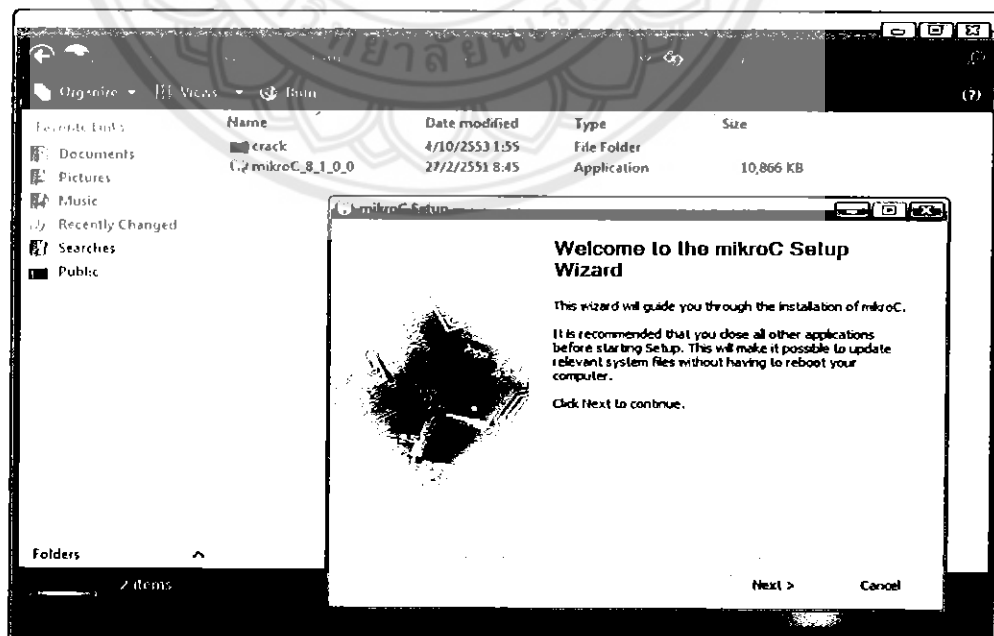
1. การติดตั้งโปรแกรม Mikro C

1.1 ใส่แผ่นซีดีรอมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์

1.2 เปิดข้อมูลเลือก mikroC_8_1_0_0

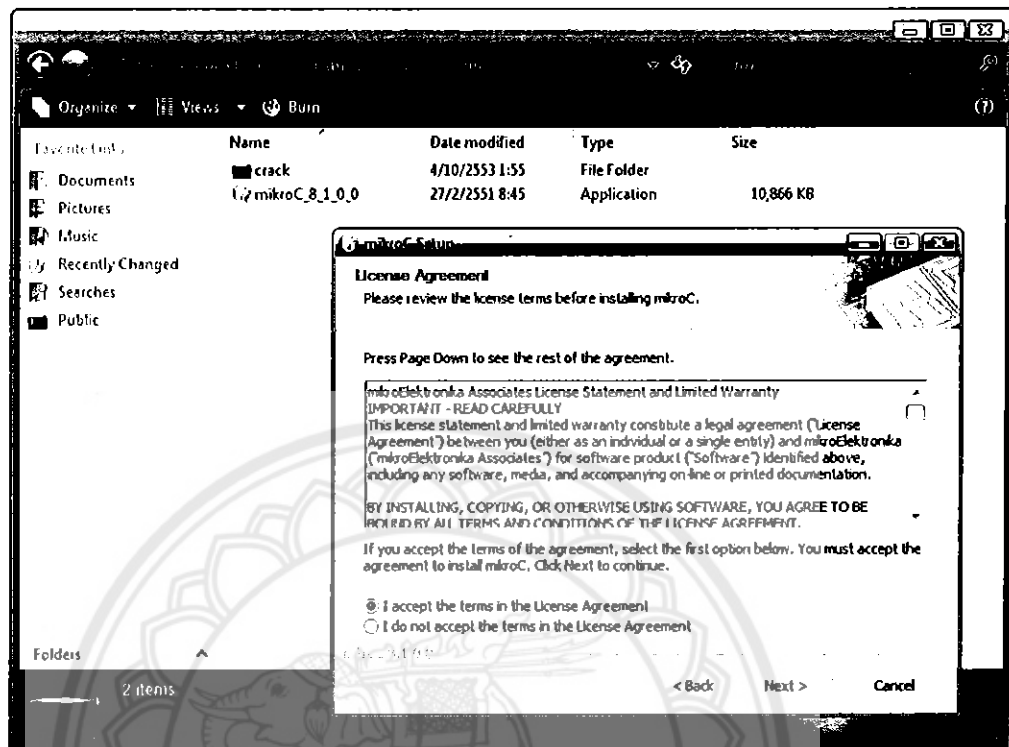


คลิกที่ Next >

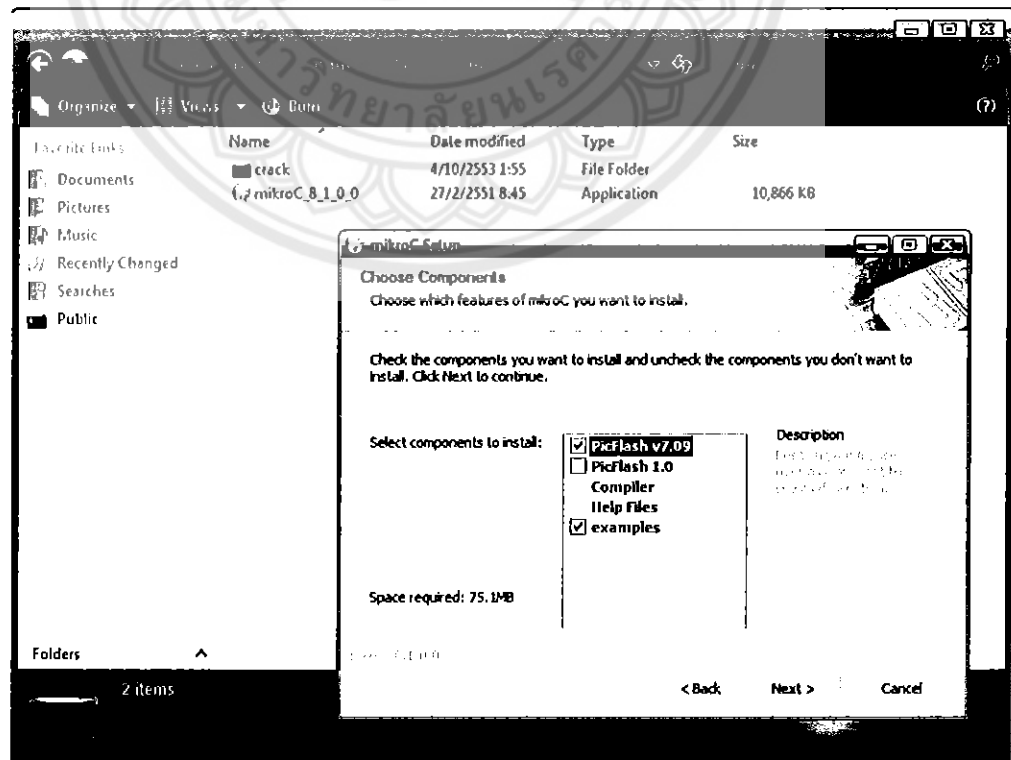


1.4 เลือกที่ I accept the terms in the License Agreement

1.5 คลิกที่ Next >



1.6 คลิกที่ Next >



1.7 คลิกที่ Install

The screenshot shows a Windows Explorer window with a table of files and an overlaid 'mikroC Setup' dialog box.

Name	Date modified	Type	Size
crack	4/10/2553 1:55	File Folder	
mikroC_8_1_0_0	27/2/2551 8:45	Application	10,866 KB

mikroC Setup
Choose Install Location
Choose the folder in which to install mikroC.

Setup will install mikroC in the following folder. To install in a different folder, click Browse and select another folder. Click Install to start the installation.

Destination Folder
C:\Program Files\mikroelektronika\mikroC

Space required: 75.1MB
Space available: 7.8GB

< Back Install Cancel

1.8 เลือก Finish



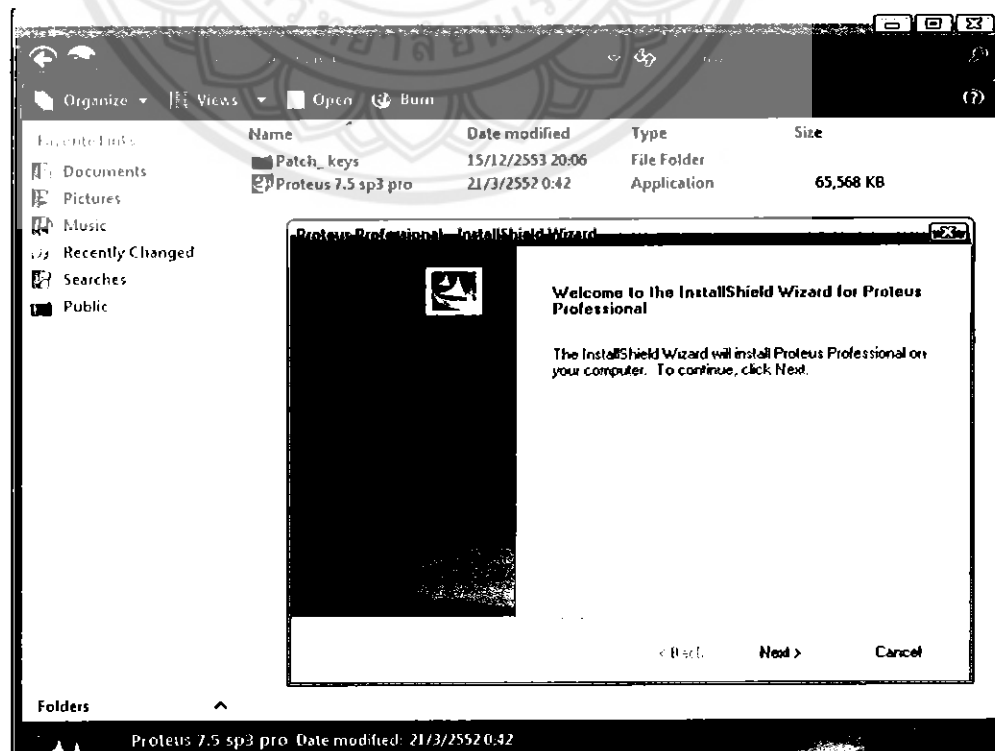
2. การติดตั้งโปรแกรม Proteus_7.5

2.1 ใส่แผ่นซีดีรอมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์

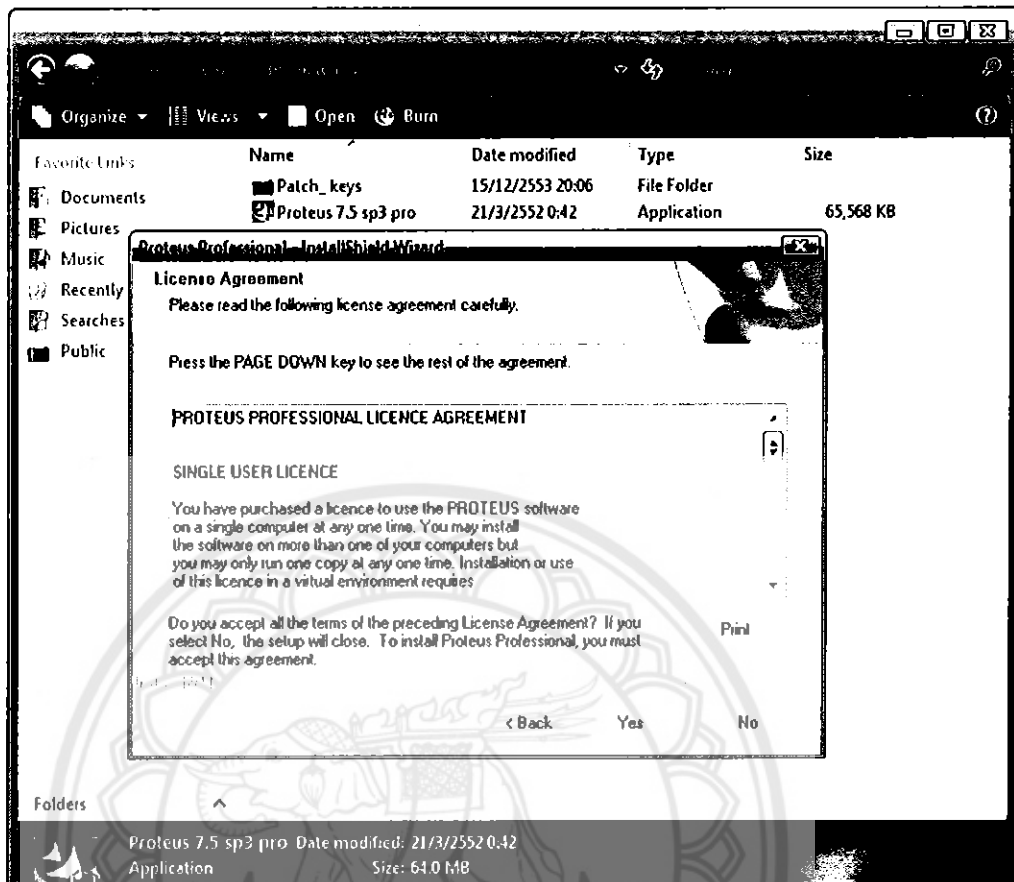
2.2 เปิดข้อมูลเลือก Proteus_7.5



2.3 คลิกที่ Next

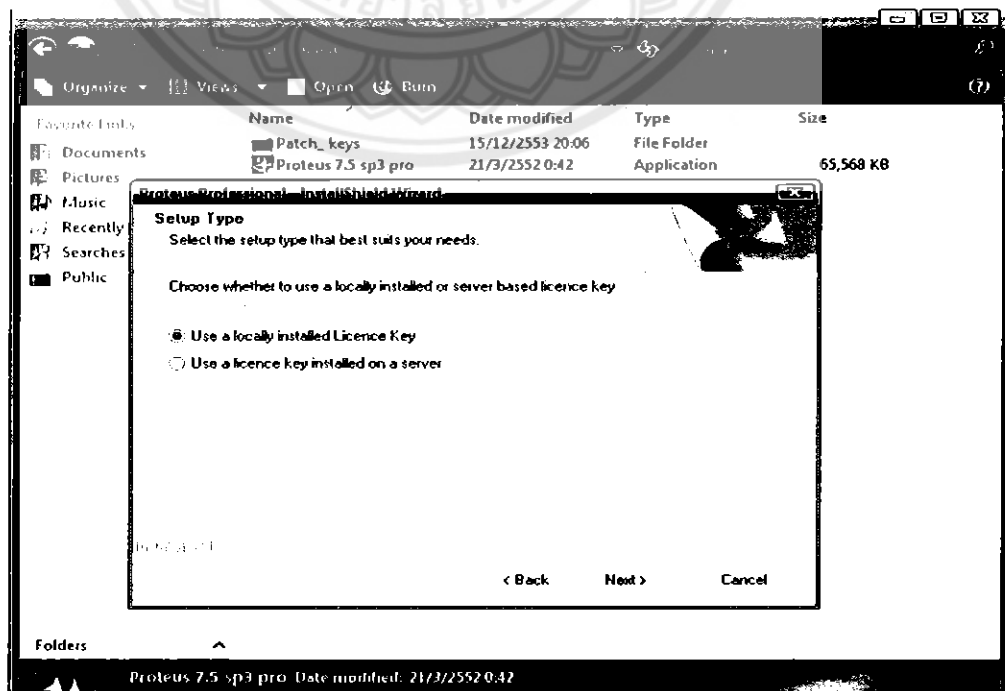


2.4 คลิกที่ Yes

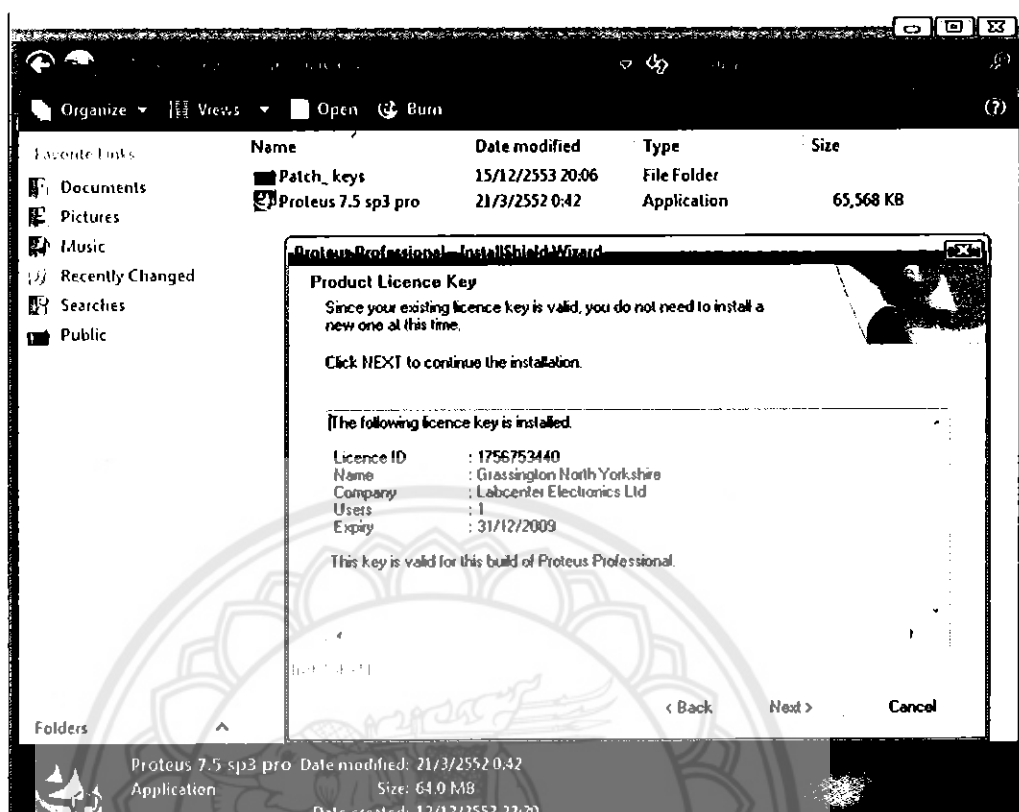


2.5 เลือกที่ Use a locally installed Licence Key

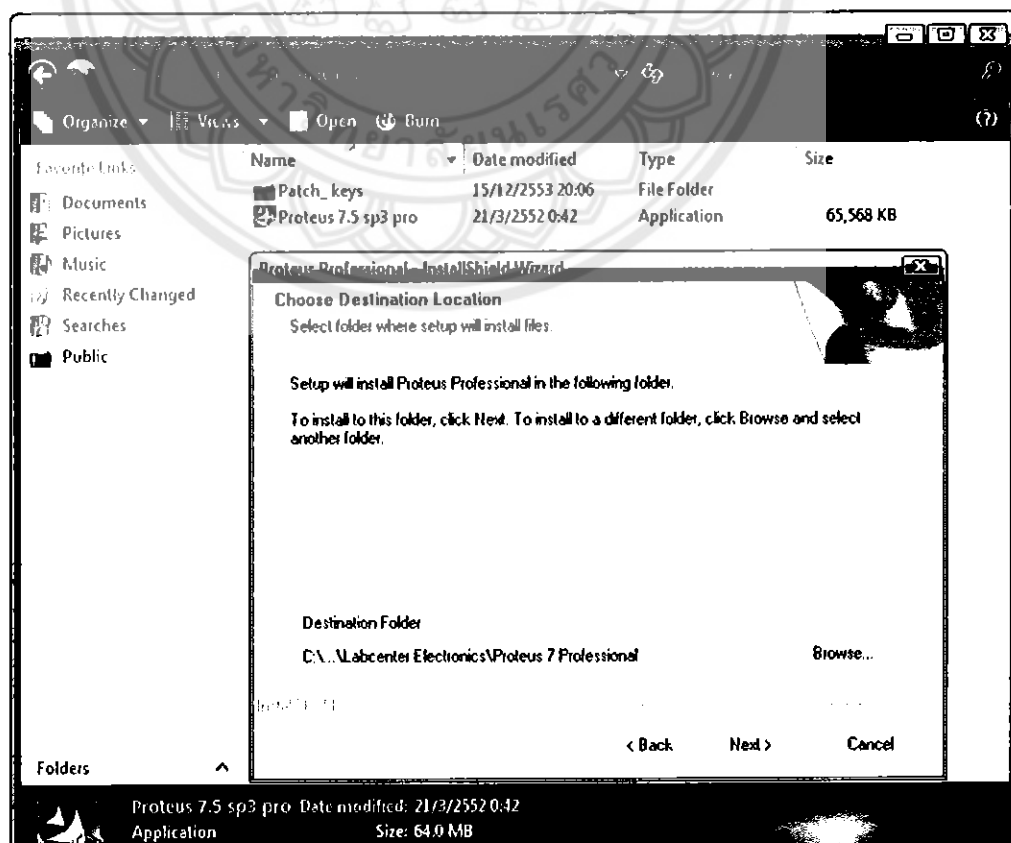
2.6 คลิกที่ Next >



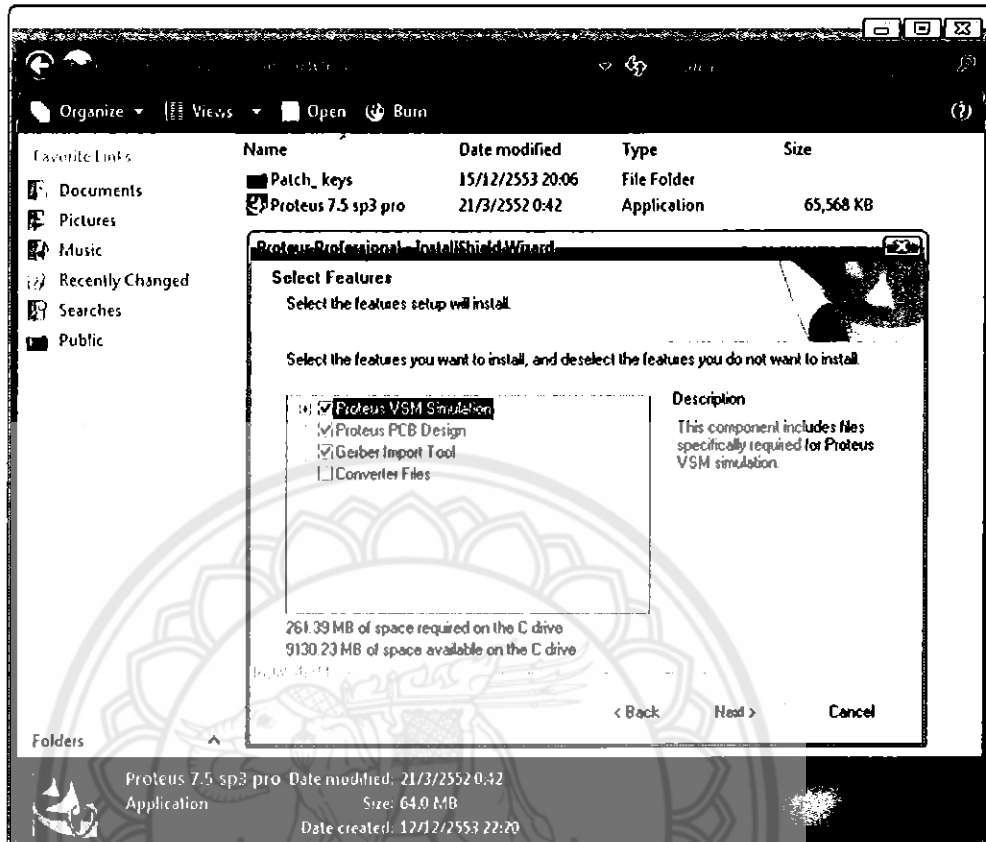
2.7 คลิกที่ Next >



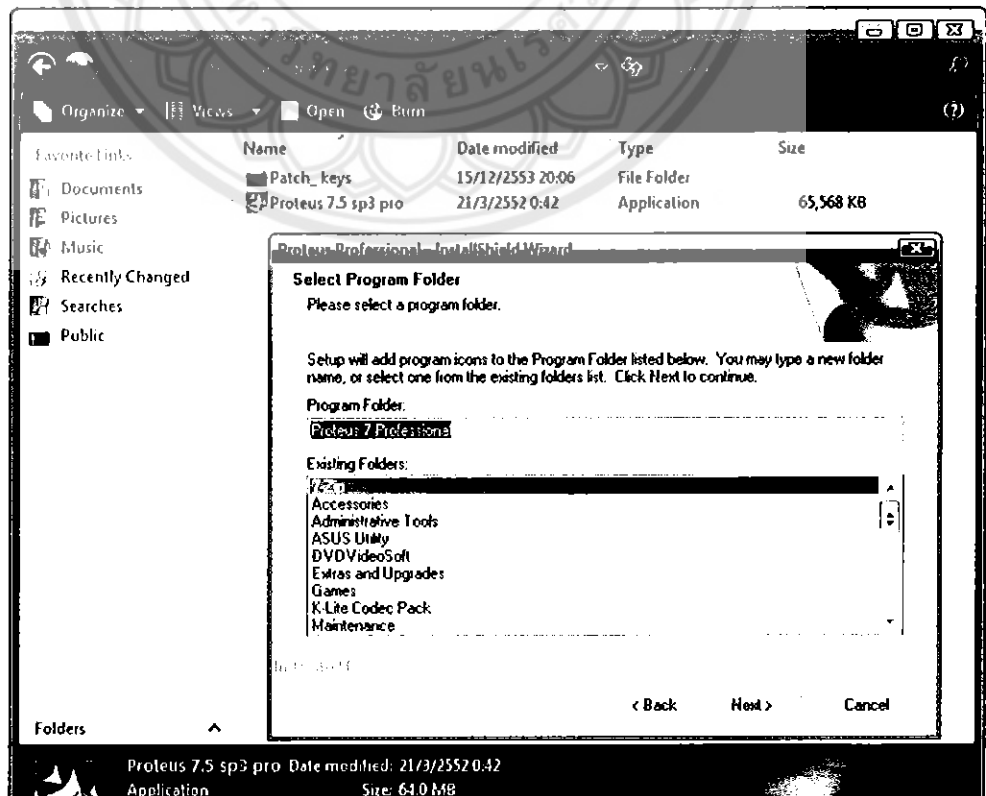
2.8 คลิกที่ Next >



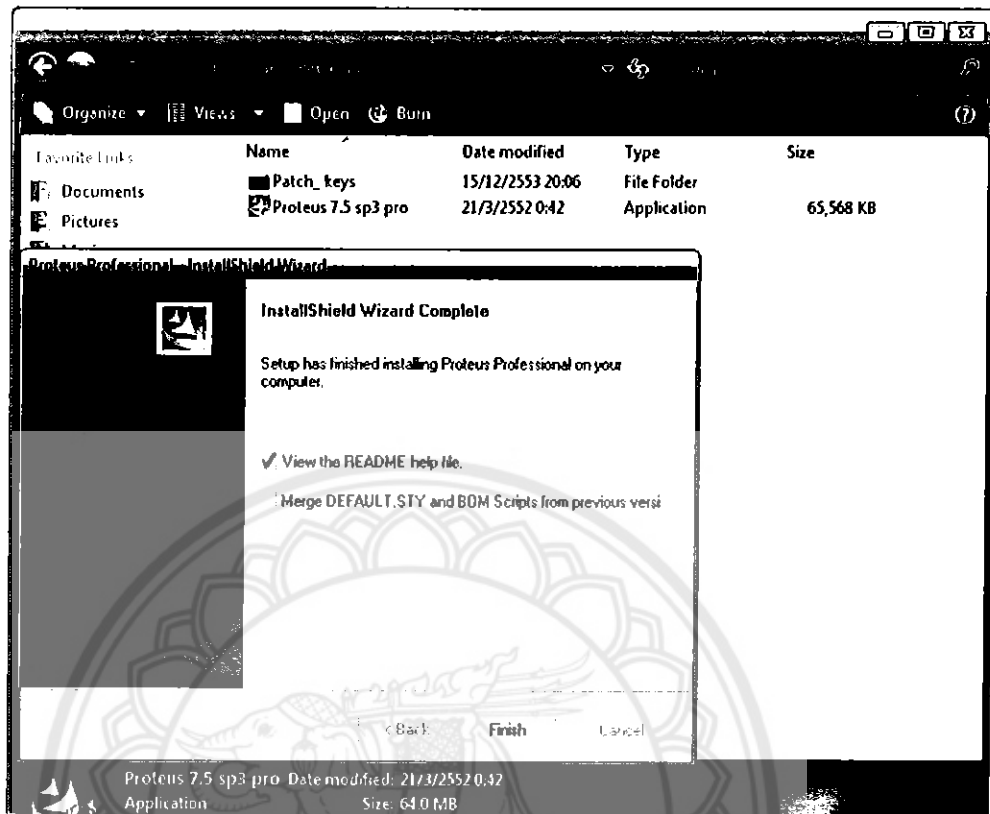
2.9 คลิกที่ Next >



2.10 คลิกที่ Next >



2.11 คลิกที่ Finish >





ลำดับที่	อุปกรณ์	จำนวน
1	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	1
2	MOC3023	1
3	ไทรแอก เบอร์ Q4004L4	1
4	ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม	1
5	ตัวต้านทาน 220 โอห์ม	6
6	ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	1
7	ตัวต้านทาน 100 โอห์ม	1
8	ตัวต้านทาน 500 โอห์ม	1
9	Opto4N25	1
10	สวิตช์ปุ่มกด	3
11	สวิตช์เปิด-ปิด	1
12	Regulator เบอร์ 7805	2
13	ฟิวส์ขนาด 10 แอมป์	1
14	Bridge Rectifier	2
15	คาปาซิเตอร์ 1000uF	2
16	คาปาซิเตอร์ 0.1uF	2
17	จอ LCD 16 X 2	1
18	Connector แบบต่างๆ	

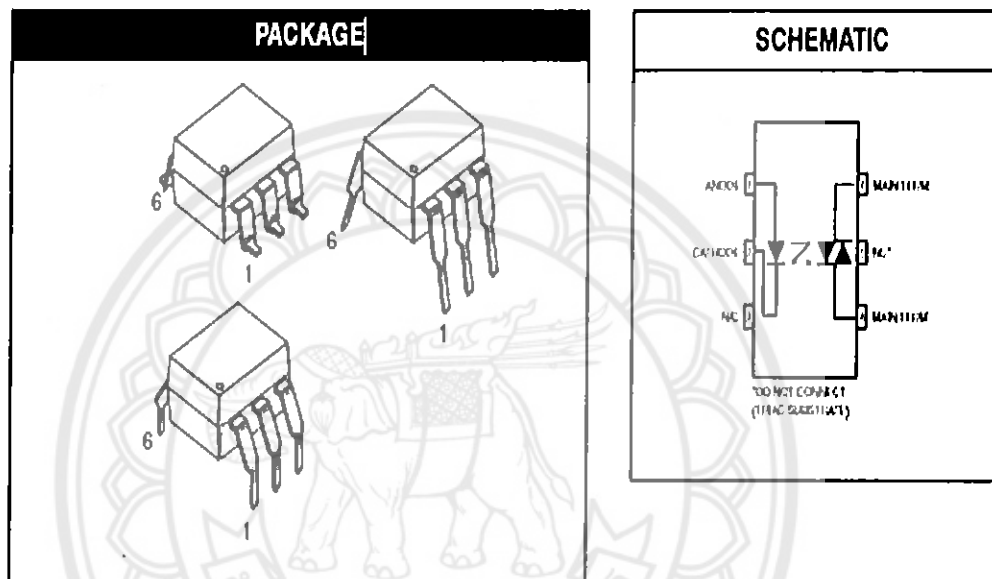


รายละเอียดของ MOC 3023

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

6-PIN DIP RANDOM-PHASE
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M



DESCRIPTION

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115 VAC operations.

FEATURES

- Excellent I_T stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
 - 250V-MOC301XM
 - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
 - Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

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

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)				
Parameters	Symbol	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
Storage Temperature	T_{STG}	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V_{ISO}	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$	P_D	All	330	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
EMITTER				
Continuous Forward Current	I_F	All	60	mA
Reverse Voltage	V_R	All	3	V
Total Power Dissipation 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	P_D	All	100	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR				
Off-State Output Terminal Voltage	V_{OFFM}	MOC3010M/1M/2M MOC3020M/1M/2M/3M	250 400	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{ISM}	All	1	A
Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	P_D	All	300	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			4	mW/ $^\circ\text{C}$

Note

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

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR'S

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

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

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

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_f = 10\text{ mA}$	V_f	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_{R1} = 3\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	I_{R1}	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated V_{D11M} , $I_f = 0$ (note 1)	I_{DPM}	All		10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{fM} = 100\text{ mA peak}, I_f = 0$	V_{fM}	All		1.8	3	V

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

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Voltage = 3V (note 3)	I_{fT}	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M			10	
			MOC3011M			10	
			MOC3022M			5	
			MOC3012M			5	
			MOC3023M			5	
Holding Current, Either Direction		I_{H1}	All		100	μA	

Note

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt . See Figure 5 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I_f value less than or equal to max I_{fT} . Therefore, recommended operating I_f lies between max I_{fT} (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_f (60 mA).

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

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

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

Fig. 1 LED Forward Voltage vs. Forward Current

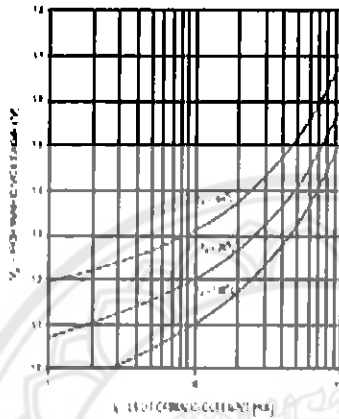


Fig. 2 On-State Characteristics

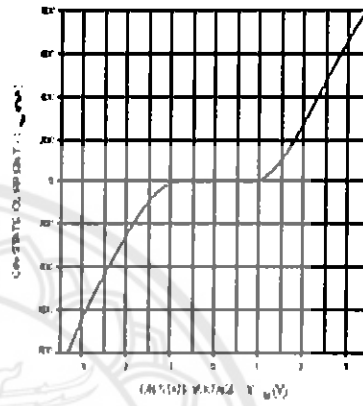


Fig. 3 Trigger Current vs. Ambient Temperature

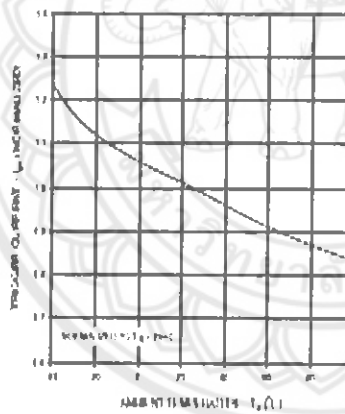


Fig. 4 LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

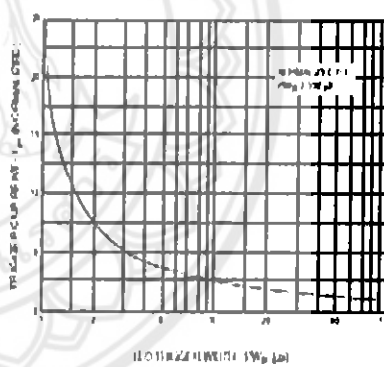


Fig. 5 dV/dt vs. Temperature

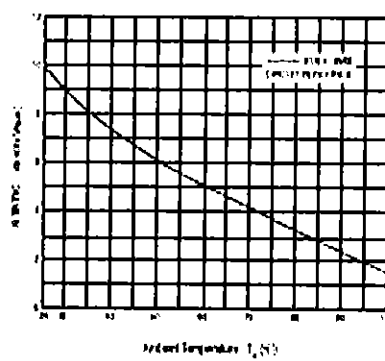
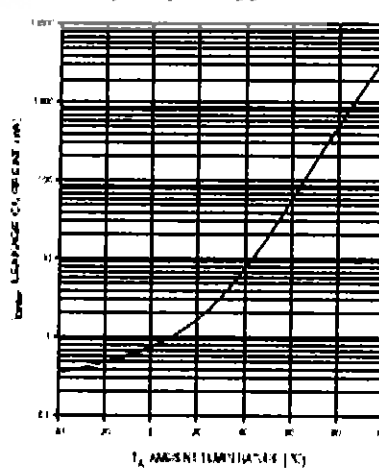


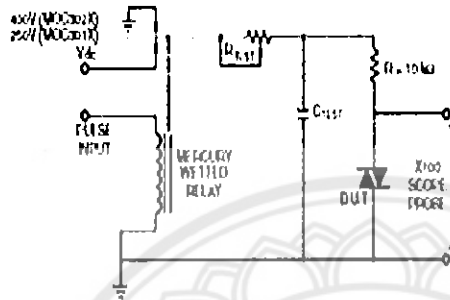
Fig. 6 Load Current (Io) vs. Temperature





6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{1151} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. t_{11C} is measured at this point and recorded.

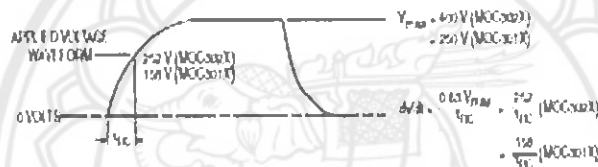


Figure 5. Static dv/dt Test Circuit

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

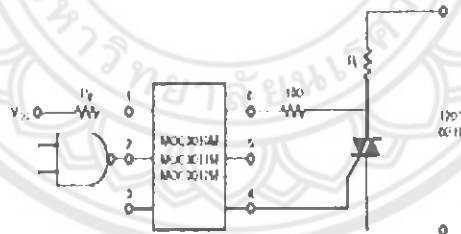


Figure 6. Resistive Load

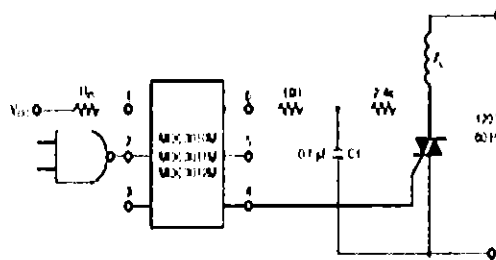
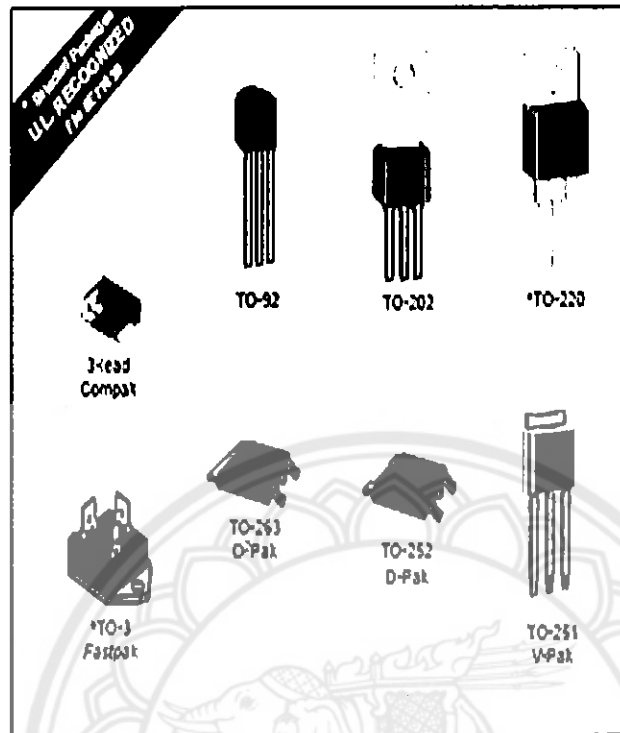


Figure 7. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ($I_{C1} = 15 \text{ mA}$)


รายละเอียดของ ไตรแอก เบอร์ Q4004L4



E2



Triacs

(0.8 A to 35 A) 

General Description

These gated triacs from Teccor Electronics are part of a broad line of bidirectional semiconductors. The devices range in current ratings from 0.8 A to 35 A and in voltages from 200 V to 1000 V.

The triac may be gate triggered from a blocking to conduction state for either polarity of applied voltage and is designed for AC switching and phase control applications such as speed and temperature modulation controls, lighting controls, and static switching relays. The triggering signal is normally applied between the gate and MT1.

Isolated packages are offered with internal construction, having the case or mounting tab electrically isolated from the semiconductor chip. This feature facilitates the use of low-cost assembly and convenient packaging techniques. Tape-and-reel capability is available. See "Packaging Options" section of this catalog.

All Teccor Triacs have glass-passivated junctions to ensure long-term device reliability and parameter stability. Teccor's glass-passivated junctions offer a rugged, reliable barrier against junction contamination.









Variations of devices covered in this data sheet are available for custom design applications. Consult factory for more information.

Features

- RoHS Compliant
- Electrically-isolated packages
- Glass-passivated junctions
- Voltage capability — up to 1000 V
- Surge capability — up to 200 A

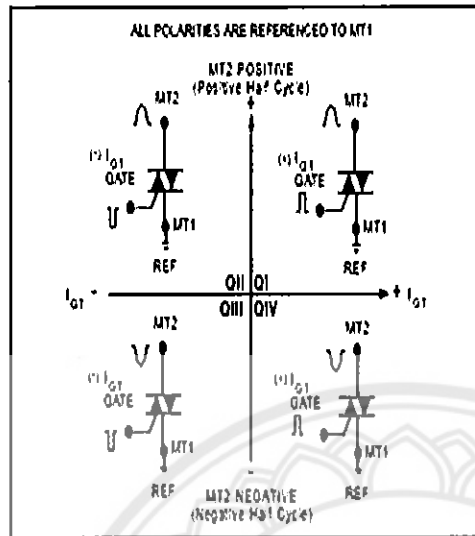
Compak Package

- Surface mount package — 0.8 A and 1 A series
- New small profile three-leaded Compak package
- Packaged in embossed carrier tape with 2,500 devices per reel
- Can replace 80T-223

I _{T(RMS)}	Part Number							V _{ORM}	I _{OT}					
	Isolated			Non-Isolated					(1)	(3)(7)(15)				
	TO-92	TO-220	Compat	TO-202	TO-220	TO-252 D-Pak	TO-251 V-Pak			TO-263 D'Pak	mAmps			
(4)									MIN	MAX				TYP
MAX	See "Package Dimensions" section for variations. (11)							MIN	MAX				TYP	
0.8 A	Q2X8E3		Q2X3					200	10	10	10	25		
	Q4X8E3		Q4X3					400	10	10	10	25		
	Q6X8E3		Q6X3					600	10	10	10	25		
	Q2X8E4		Q2X4					200	25	25	25	50		
	Q4X8E4		Q4X4					400	25	25	25	50		
	Q6X8E4		Q6X4					600	25	25	25	50		
1 A	Q201E3		Q2H3					200	10	10	10	25		
	Q401E3		Q4H3					400	10	10	10	25		
	Q601E3		Q6H3					600	10	10	10	25		
	Q201E4		Q2H4					200	25	25	25	50		
	Q401E4		Q4H4					400	25	25	25	50		
	Q601E4		Q6H4					600	25	25	25	50		
4 A		Q2004L3		Q2004F31		Q2004D3	Q2004V3	200	10	10	10	25		
		Q4004L3		Q4004F31		Q4004D3	Q4004V3	400	10	10	10	25		
		Q6004L3		Q6004F31		Q6004D3	Q6004V3	600	10	10	10	25		
		Q2004L4		Q2004F41		Q2004D4	Q2004V4	200	25	25	25	50		
		Q4004L4		Q4004F41		Q4004D4	Q4004V4	400	25	25	25	50		
		Q6004L4		Q6004F41		Q6004D4	Q6004V4	600	25	25	25	50		
		Q8004L4				Q8004D4	Q8004V4	800	25	25	25	50		
		QX004L4				QX004D4	QX004V4	1000	25	25	25	50		
6 A		Q2006L4		Q2006F41	Q2006R4		Q2006H4	200	25	25	25	50		
		Q4006L4		Q4006F41	Q4006R4		Q4006H4	400	25	25	25	50		
		Q6006L5		Q6006F51	Q6006R5		Q6006H5	600	50	50	50	75		
		Q8006L5			Q8006R5		Q8006H5	800	50	50	50	75		
		QX006L5			QX006R5		QX006H5	1000	50	50	50	75		
8 A		Q2008L4		Q2008F41	Q2008R4		Q2008H4	200	25	25	25	50		
		Q4008L4		Q4008F41	Q4008R4		Q4008H4	400	25	25	25	50		
		Q6008L5		Q6008F51	Q6008R5		Q6008H5	600	50	50	50	75		
		Q8008L5			Q8008R5		Q8008H5	800	50	50	50	75		
		QX008L5			QX008R5		QX008H5	1000	50	50	50	75		

See "General Notes" on page E2 - 4 and "Electrical Specification Notes" on page E2 - 5.

In all cases, if maximum surge capability is required, pulses should be a minimum of one magnitude above I_{GT} rating with a steep rising waveform ($\leq 1 \mu s$ rise time).



Definition of Quadrants

Electrical Isolation

Teccor's isolated triac packages will withstand a minimum high potential test of 2500 V ac rms from leads to mounting tab or base, over the operating temperature range of the device. The following isolation table shows standard and optional isolation ratings.

Electrical Isolation from Leads to Mounting Tab*		
VAC RMS	TO-220 Isolated	Fastpat Isolated
2500	Standard	Standard
4000	Optional**	N/A

* UL Recognized File E71630

** For 4000 V isolation, use V suffix in part number.

Package Code	Thermal Resistance (Steady State) $R_{\theta JO}$ ($R_{\theta JA}$) (TYP.) ^{*CW}									
	P	E	C	F	F2	L	R	D	V	N
Type										
	TO-3 Fastpat	TO-92	Compat	TO-202 Type 1	TO-202 Type 2	TO-220 Isolated	TO-220 Non-Isolated	TO-252 D-Pak	TO-251 V-Pak	TO-263 C-Pak
0.8 A		60 (135)	60*							
1 A		50 (95)	40*							
4 A				3.5 (45)	6 (70)	3.6 (50)		3.5	6.0 (70)	
6 A				3.8		3.3	1.8 (45)			1.8
8 A				3.3		2.8	1.5			1.5
10 A				3.5		2.6	1.3			1.3
15 A						2.1	1.1			1.1
25 A	1.6						0.89			0.89
35 A	1.5									

* Mounted on 1 cm² copper foil surface; two-ounce copper foil

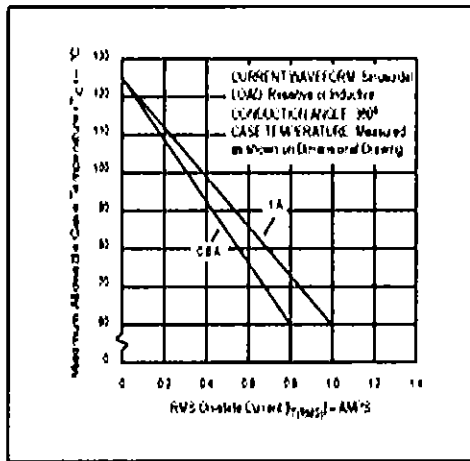


Figure E2.1 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (0.8 A and 1 A)

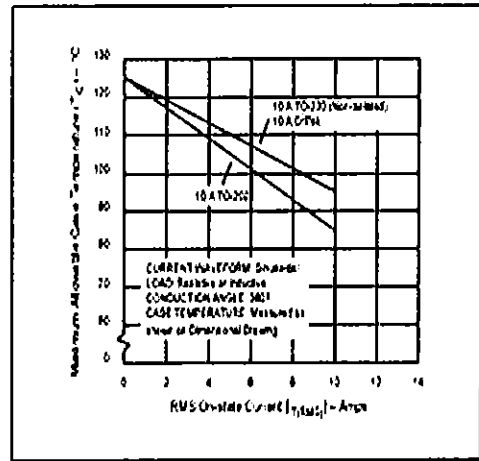


Figure E2.4 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (10 A)

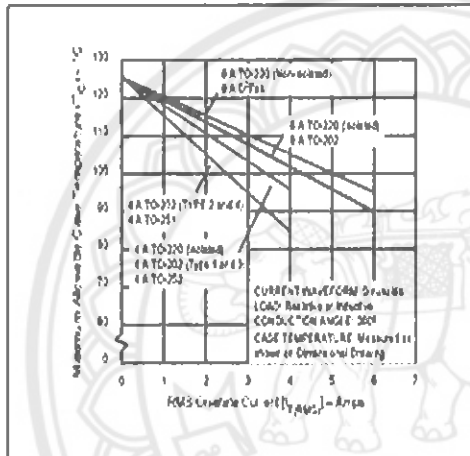


Figure E2.2 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (4 A and 6 A)

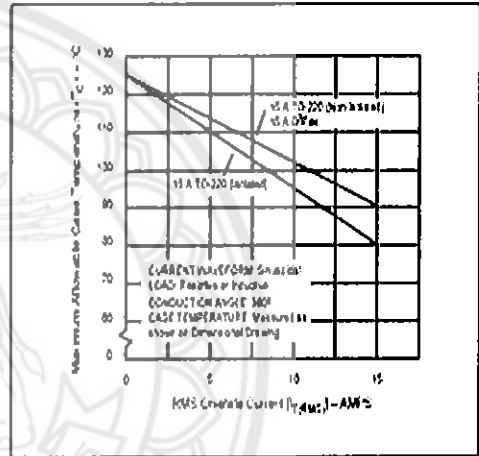


Figure E2.5 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (15 A)

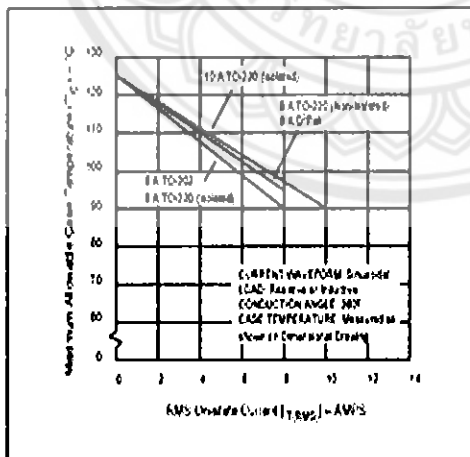


Figure E2.3 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (8 A and 10 A)

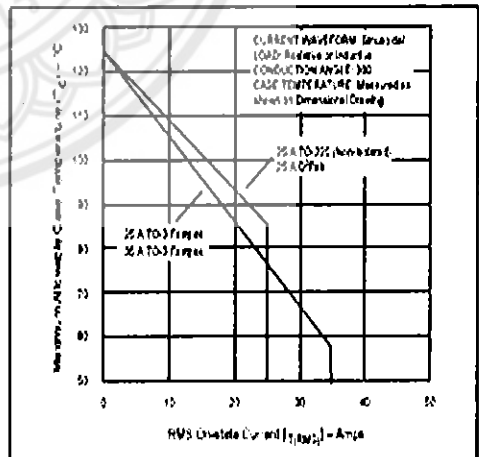


Figure E2.6 Maximum Allowable Case Temperature versus On-state Current (25 A and 35 A)

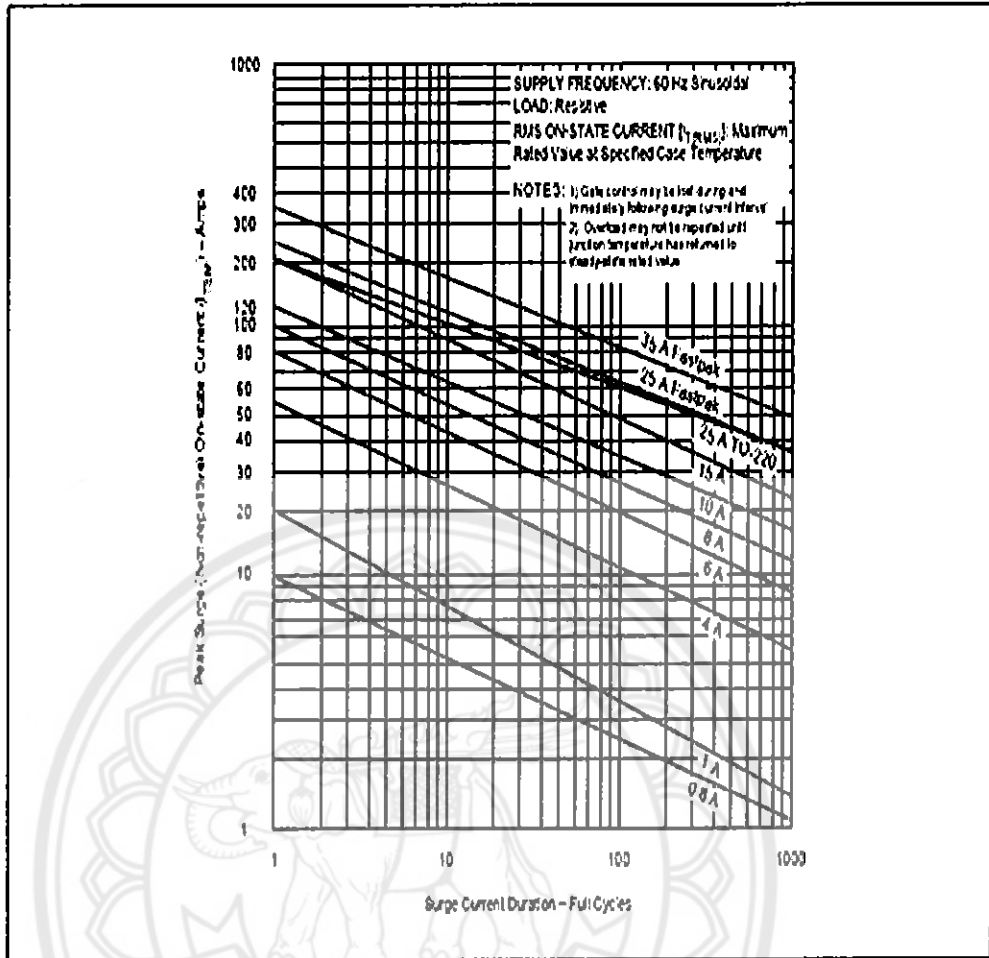


Figure E2.13 Peak Surge Current versus Surge Current Duration

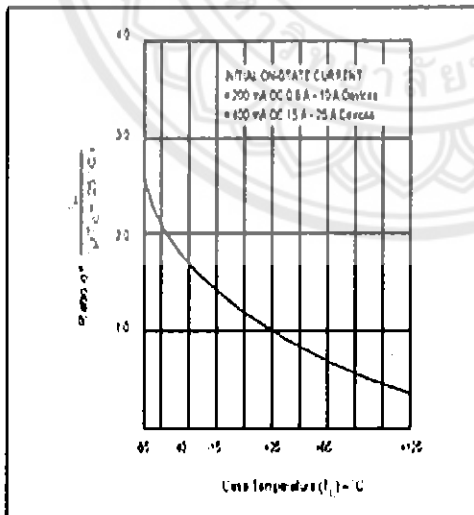


Figure E2.14 Normalized DC Holding Current versus Case Temperature

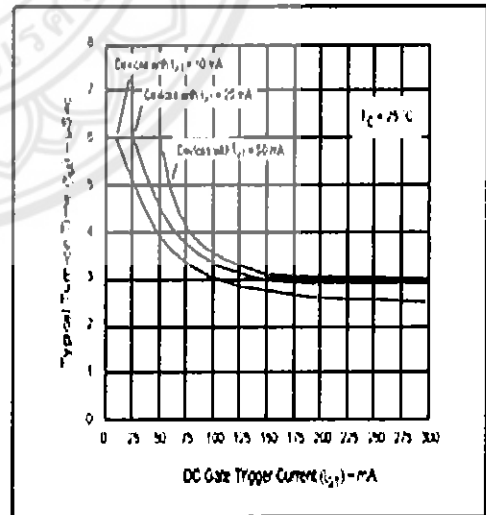


Figure E2.15 Turn-on Time versus Gate Trigger Current (Typical)

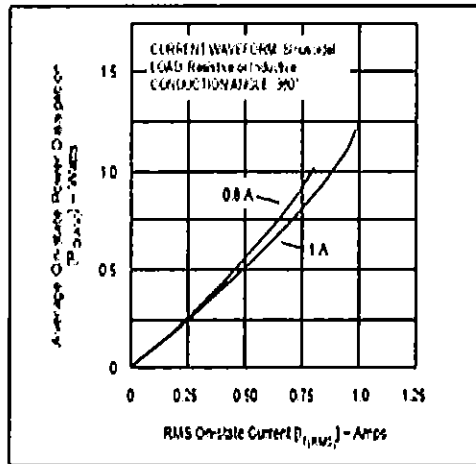


Figure E2.16 Power Dissipation (Typical) versus On-state Current (0.8 A and 1 A)

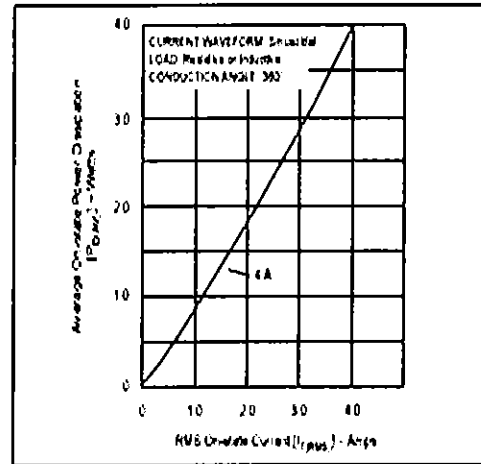


Figure E2.19 Power Dissipation (Typical) versus RMS On-state Current (4 A)

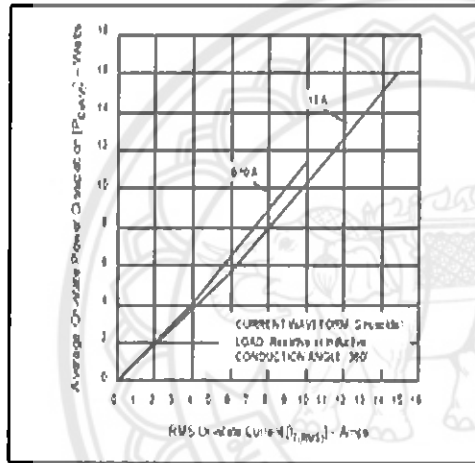


Figure E2.17 Power Dissipation (Typical) versus On-state Current (6 A to 10 A and 15 A)

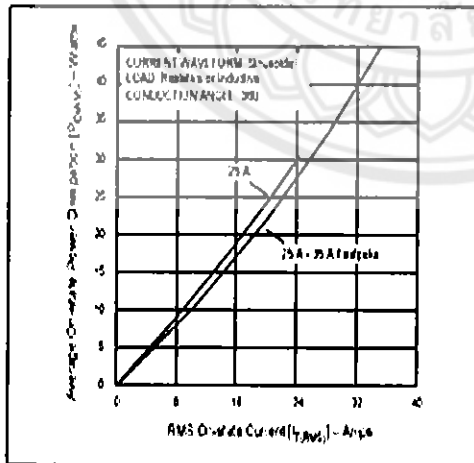


Figure E2.18 Power Dissipation (Typical) versus On-state Current (25 A to 35 A)

รายละเอียดของ OPTO เบอร์ 4N25



6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

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

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

TOTAL DEVICE

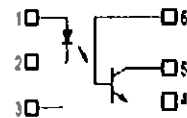
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	V _{ac(pk)}
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range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

4N25
4N26
4N27
4N28



STANDARD THRU HOLE

SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
 2. LED CATHODE
 3. NC
 4. EMITTER
 5. COLLECTOR
 6. BASE

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

4N25 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted⁽¹⁾)

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.15	1.5	Volts
			1.3	—	
			1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	16	—	pF

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	4N25, 26, 27 4N28	I_{CEO}	—	1	50	nA
($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$)	All Devices	I_{CEO}	—	1	—	μA
Collector-Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)		I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)		$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$)		$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\ \mu\text{A}$)		$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)		h_{FE}	—	500	—	—
Collector-Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)		C_{CE}	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)		C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)		C_{EB}	—	9	—	pF

COUPLED

Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$)	4N25, 26 4N27, 28	I_C (CTR) ⁽²⁾	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	—	$\text{mA} (\%)$
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\ \Omega$) ⁽³⁾		t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn-Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\ \Omega$) ⁽³⁾		t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\ \Omega$) ⁽³⁾		t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\ \Omega$) ⁽³⁾		t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$) ⁽⁴⁾		V_{ISO}	7500	—	—	$V_{(pk)}$
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$) ⁽⁴⁾		R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$) ⁽⁴⁾		C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable)

2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

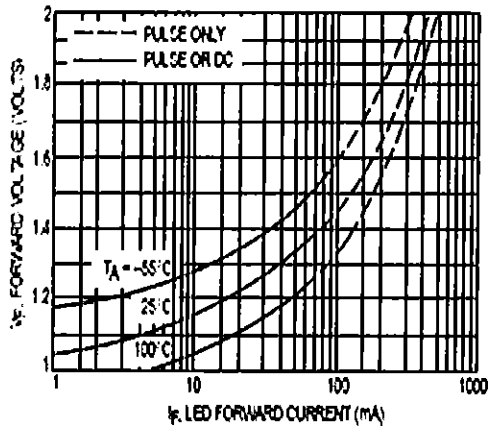


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

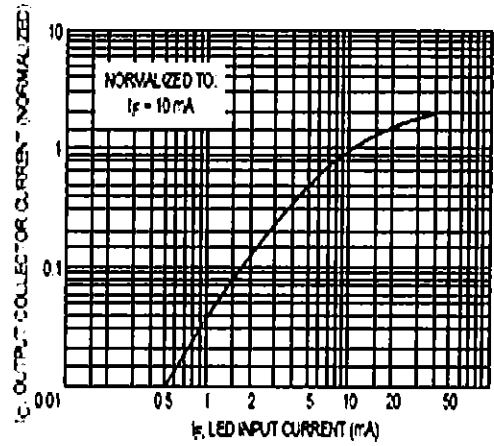


Figure 2. Output Current versus Input Current

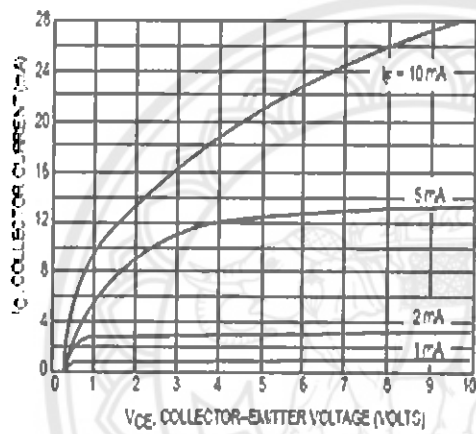


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

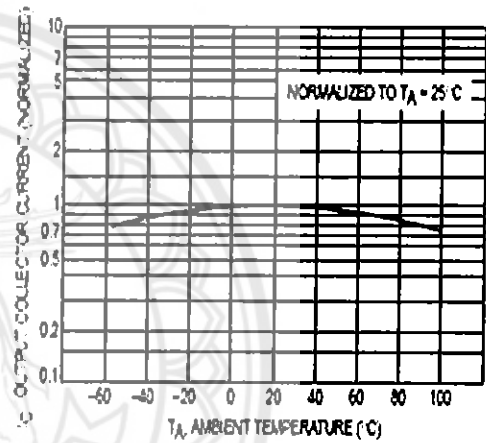


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

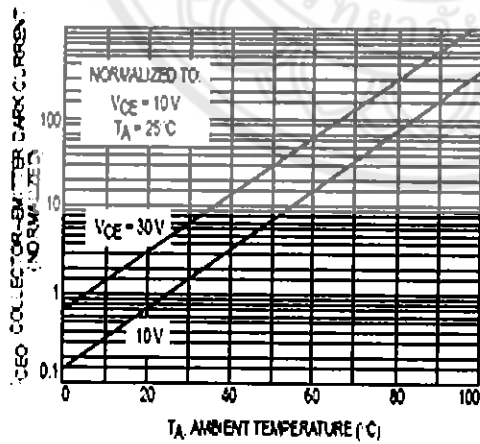


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

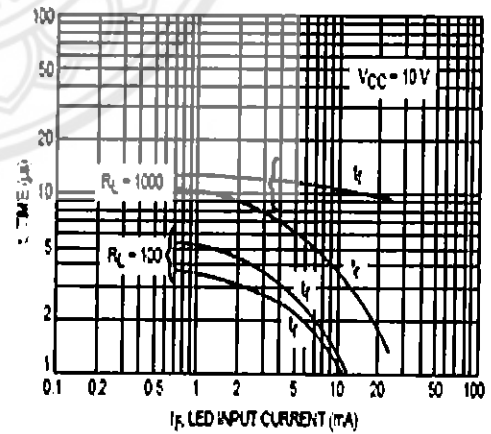


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

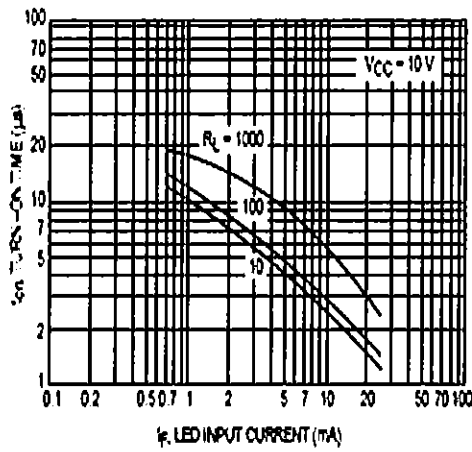


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

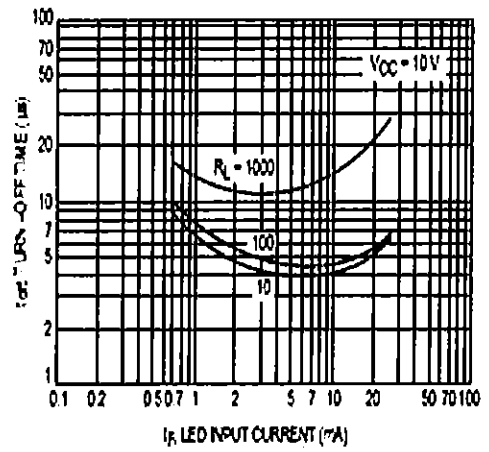


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

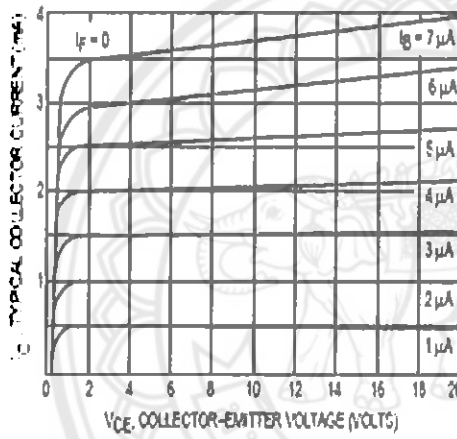


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

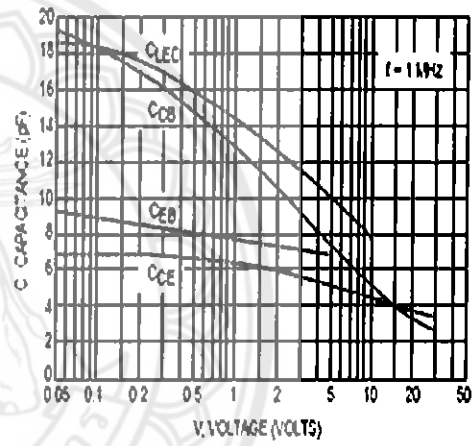


Figure 10. Capacitances versus Voltage

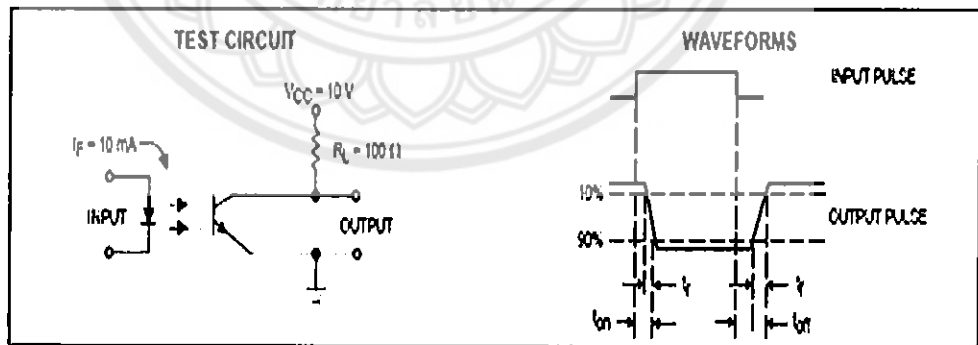
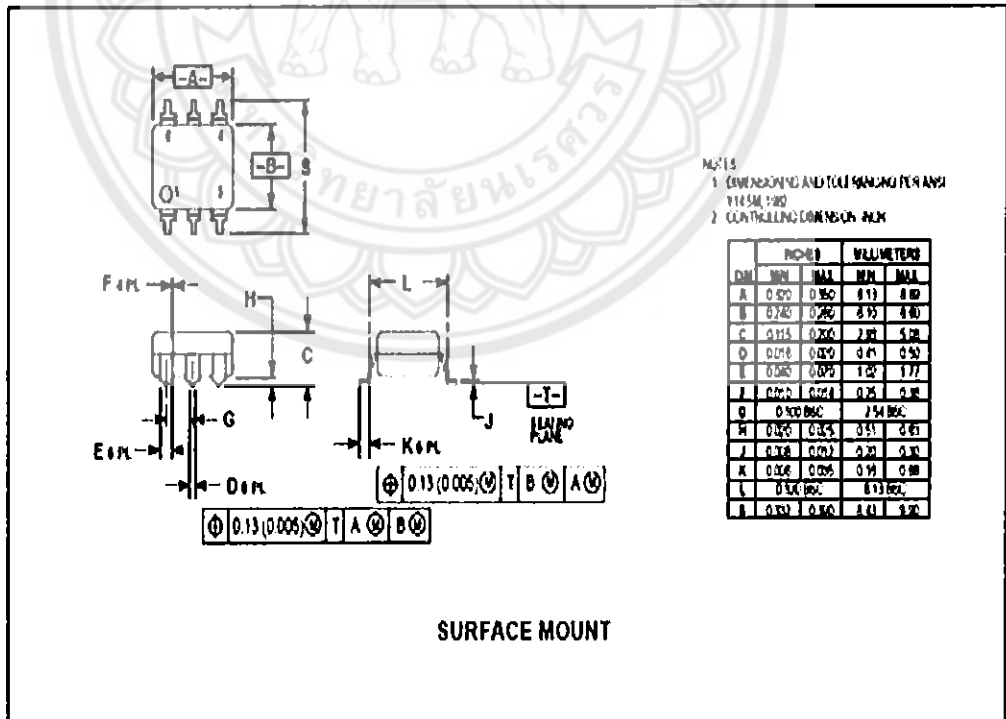
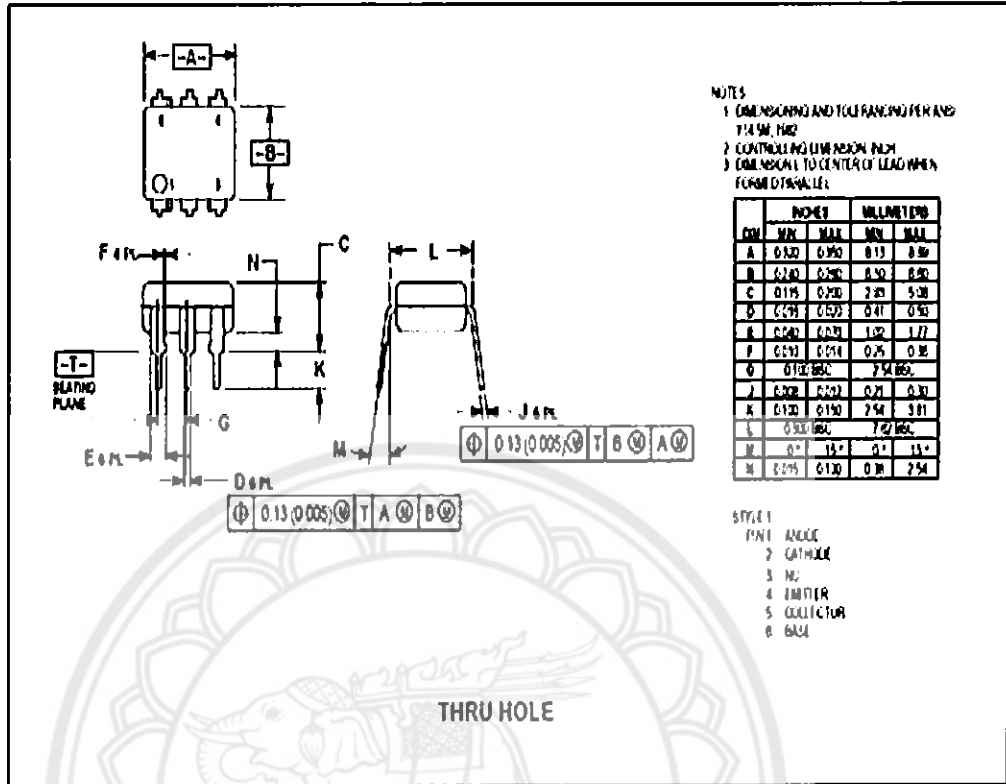


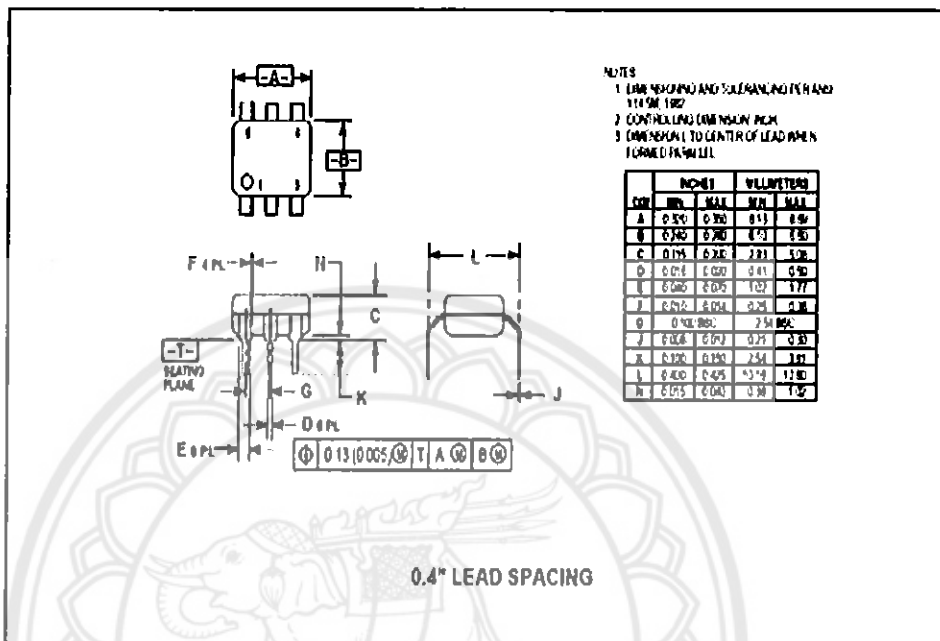
Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

PACKAGE DIMENSIONS



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

4N25 4N26 4N27 4N28



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายบุญญฤทธิ์ วังอน
 ภูมิลำเนา 4 หมู่ 5 ต. วังใต้ อ. วังเหนือ จ. ลำปาง
 ประวัติการศึกษา
 – จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนวังเหนือวิทยา
 จ.ลำปาง
 – ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: maxaee_@hotmail.com



ชื่อ นายปรเมศวร์ อนุพันธิกุล
 ภูมิลำเนา 143 หมู่ 9 ต.บ้านขอ อ. เมืองปาน จ. ลำปาง
 ประวัติการศึกษา
 – จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนทุ่งอุดมวิทยา
 จ.ลำปาง
 – ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: por_ra_mad@hotmail.com