



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์



3 1001 00382403 5

20

ระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

THE WATER PUMP MOTOR CONTROL SYSTEM USING
MICROCONTROLLER



นางสาว

18

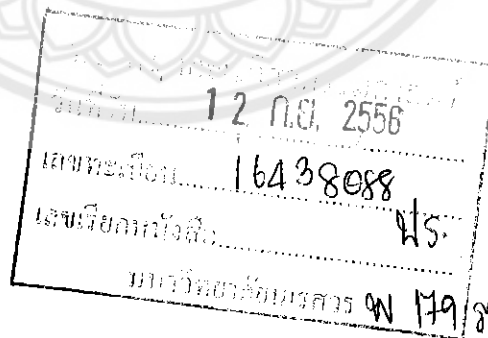
นายเพชร

อินภิรมย์

รหัส 52362014

นายสิทธิพงษ์ คชฤกษ์

รหัส 52362298



18

2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์


ปีการศึกษา 2555




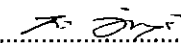
20
ใบรับรองปริญญาโท

16
ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้ดำเนินโครงการ นายพร อินภิรมย์ รหัส 52362014
นายสิทธิพงษ์ คชฤกษ์ รหัส 52362298
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น)


.....กรรมการ
(ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา)


.....กรรมการ
(ดร. พันส์ นัตถกิติ์)

16 16
ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบควบคุมมอเตอร์บีมน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้ดำเนินโครงการ นายพชร อินภิรมย์ รหัส 52362014
นายสิทธิพงษ์ กชฤกษ์ รหัส 52362298
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แอ้มเม่น
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

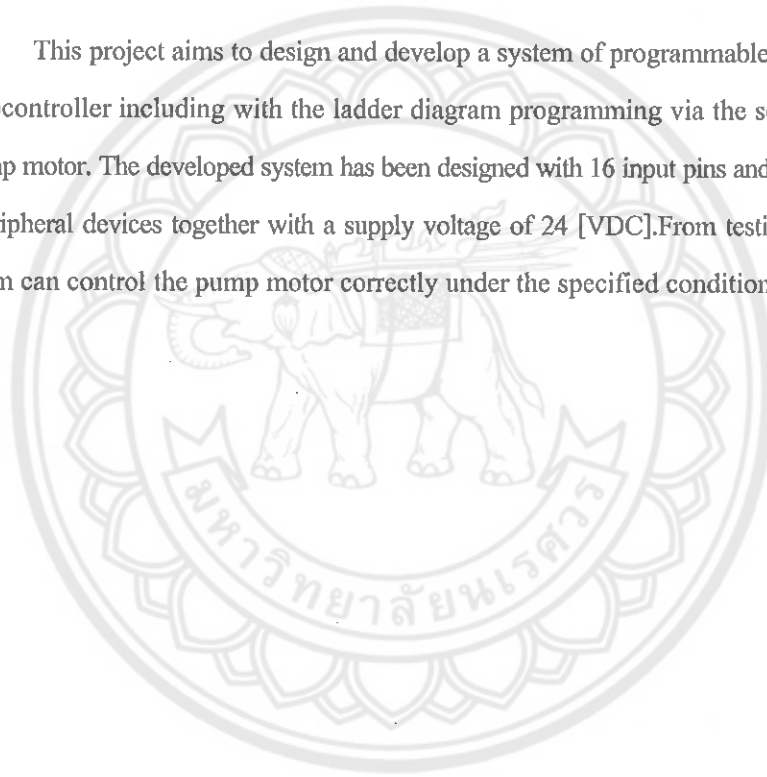
บทคัดย่อ ๒๐

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์รวมทั้งพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาแผนภาพแลคเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์บีมน้ำระบบที่พัฒนาขึ้นได้ถูกออกแบบมี 16 ขาสัญญาณเข้า และ 14 ขาสัญญาณออกที่ต่อกับอุปกรณ์ภายนอกพร้อมกับแหล่งจ่ายไฟแรงดันขนาด 24 [VDC] จากผลการทดสอบระบบนี้สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์บีมน้ำได้อย่างถูกต้องตามเงื่อนไขที่โปรแกรมระบุไว้

Project title The Water Pump Motor Control System using Microcontroller
Name Mr. Pachara Inpirom ID. 52362014
 Mr. Sittipong Kotcharerg ID. 52362298
Project advisor Assistant Professor Suchart Yammen, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2012

Abstract

This project aims to design and develop a system of programmable logic control based on a microcontroller including with the ladder diagram programming via the serial port for controlling a pump motor. The developed system has been designed with 16 input pins and 14 output pins connected to peripheral devices together with a supply voltage of 24 [VDC]. From testing results, the developed system can control the pump motor correctly under the specified conditions.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการดูแลจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ เข้มเม่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ โดยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือรวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ในการพัฒนาชิ้นงาน การทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน จึงทำให้การดำเนินโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้ดำเนินโครงการจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณ ดร.พนัส นัถฤทธิ์ และดร.สุวิทย์ กิระวิทยา ซึ่งเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงการ ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ในโครงการนี้ ทำให้โครงการมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำคำปรึกษาในการจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ รวมถึงแก้ไขปรับปรุงให้รูปเล่มปริญญานิพนธ์ถูกต้องตามแบบที่มหาวิทยาลัยกำหนดไว้ ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ อบรมสั่งสอนตลอดการศึกษาเล่าเรียนในระดับปริญญาตรี ทำให้สามารถนำความรู้และทักษะในหลายๆด้านมาประยุกต์ใช้กับการดำเนินโครงการนี้จนสำเร็จขอขอบคุณนายประทีป สังข์แป้น ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องของการเขียนโปรแกรมแลคเตอร์ไดอะแกรม สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณพระคุณบิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอนให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และคำปรึกษา แก่ผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา นำไปสู่การเป็นบุคคลากรที่มีคุณภาพออกสู่สังคมสืบต่อไป

นายพชร อินภิรมย์
นายสิทธิพงษ์ คชฤกษ์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาบัตร.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	5
2.1 หลักการของพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller)	5
2.1.1 ฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี.....	6
2.1.2 ซอร์ฟแวร์ของพีแอลซี	7
2.2 โปรแกรมแอลดีไมโคร (LDmicro).....	8
2.2.1 เมนู File	9
2.2.2 เมนู Edit.....	9
2.2.3 เมนู Settings.....	10
2.2.4 เมนู Instruction	10
2.2.5 เมนูSimulate	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 เมนู Compile.....	11
2.2.7 เมนู Help.....	11
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	12
2.4 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์.....	16
2.4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพิก้า.....	16
2.4.2 วงจรรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์.....	18
2.4.3 วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมRS-232.....	19
2.4.4 วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	21
2.4.5 วงจรไดโอดเปล่งแสง.....	23
2.4.6 วงจรวัดระดับน้ำ.....	25
2.5 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลยวงจร.....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	28
3.1 ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	28
3.1.1 ศึกษาพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller).....	28
3.1.2 ศึกษาโปรแกรมแอลดีไมโคร.....	28
3.1.3 ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	28
3.1.4 ศึกษาวงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ พีไอซีเบอร์16F877A.....	28
3.1.5 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลยวงจร.....	28
3.2 ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ.....	29
3.2.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำ.....	29
3.2.2 พีแอลซี.....	31
3.2.3 รีเลย์กับส่วนแสดงผล.....	42
3.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยแผนภาพแลดเดอร์.....	45
3.3.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ.....	45
3.3.2 การโปรแกรมไฟล์ .hex ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	51
3.5 จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์.....	51
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	52
4.1 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ.....	52
4.2 ทดสอบการทำงานของพีแอลซี.....	54
4.2.1 วัดระดับแรงดันในส่วนต่างๆของพีแอลซี.....	54
4.2.2 ทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุต.....	57
4.3 ทดสอบการทำงานของชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล.....	58
4.3.1 ทดสอบชุดรีเลย์.....	58
4.3.2 ทดสอบส่วนแสดงผล.....	59
4.4 ทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ.....	59
4.5 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ.....	62
4.5.1 ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ.....	62
4.5.2 ประสิทธิภาพการทำงานของพีแอลซี.....	62
4.5.3 ประสิทธิภาพการทำงานของชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล.....	62
4.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของระบบ.....	63
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผล.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
5.2.1 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาโครงการ.....	65
5.2.2 ข้อเสนอแนะปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Altium Designer 6	67
ภาคผนวก ข รายละเอียดข้อมูลของโปรแกรมควบคุมที่ใช้ในโครงการ.....	75
ภาคผนวก ค รายละเอียดข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A	80
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลของ SN74CH540	94
ภาคผนวก จ รายละเอียดข้อมูลของ PC817.....	100
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดข้อมูลของ ULN2003A	105
ภาคผนวก ช รายละเอียดข้อมูลของ LM2576.....	113
ภาคผนวก ซ รายละเอียดข้อมูลของรีเลย์ 24 VDC	127
ภาคผนวก ฌ รายละเอียดข้อมูลของไดโอดเบอร์ 1N5822	134
ภาคผนวก ฎ รายละเอียดข้อมูลของคริสตัล 20 MHz.....	137
ภาคผนวก ฏ รายละเอียดข้อมูลของตัวต้านทาน (Resistor network).....	141
ภาคผนวก ฐ รายละเอียดข้อมูลของตัววัดระดับน้ำ	144
ภาคผนวก ฑ คู่มือการใช้โปรแกรม LDmicro.....	147
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	166

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน.....	3
2.1 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	13
2.2 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต B ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	14
2.3 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต C ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	14
2.4 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	15
2.5 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต E ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	16
2.6 การเลือกค่า C1 และ C2 ตามโหมด ค่าความถี่ของคริสตอล	17
2.7 ค่าความต้านทานที่เหมาะสมในไดโอดเปล่งแสงที่ระดับแรงดันต่างๆ	24



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงการทำงานของพีแอลซี.....	5
2.2 แผนภาพแสดงโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี	6
2.3 ตัวอย่างการเขียน โปรแกรมภาษาแผนภาพแลคเตอร์.....	7
2.4 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมแอลดีไมโคร	8
2.5 แสดงตำแหน่งของ Cursor และ Run.....	9
2.6 โครงสร้างและตำแหน่งขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A	12
2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์.....	17
2.8 วงจรรีเซตแบบอต์ โนมติไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซี.....	18
2.9 วงจรรีเซตแบบสวิทช์กดและแบบอต์ โนมติไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซี.....	18
2.10 ระดับแรงดันของ TTL	19
2.11 ระดับแรงดันของ RS-232	19
2.12 ตำแหน่งขาสัญญาณและวงจรภายในไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232	20
2.13 วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232.....	21
2.14 วงจรขั้วรีเลย์ใช้ทรานซิสเตอร์ในส่วนของจ่ายไฟให้กับภาคอินพุตและเอาต์พุต	22
2.15 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง (LED).....	23
2.16 วงจรพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสง	24
2.17 โครงสร้างภายในและตำแหน่งขาของไอซี LM 339	25
2.18 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	26
3.1 แผนภาพหลักการ โดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ.....	29
3.2 วงจรอุปกรณ์วัดระดับน้ำ.....	29
3.3 ตำแหน่งอุปกรณ์และลายวงจรวัดระดับน้ำ.....	30
3.4 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบสมบูรณ์.....	30
3.5 ส่วนประกอบของพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A.....	32
3.6 วงจรภาคกระบวนการ.....	33
3.7 วงจรรักษาระดับแรงดัน	34
3.8 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 การต่อใช้งาน MAX232 กับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	35
3.10 ลายวงจรและตำแหน่งของอุปกรณ์ในภาคกระบวนการ	35
3.11 ภาคกระบวนการแบบสมบูรณ์.....	36
3.12 รูปวงจรภาคอินพุต/เอาต์พุต.....	37
3.13 วงจรขั้วรีเลย์เพื่อใช้จ่ายแรงดันให้กับภาคอินพุต/เอาต์พุต	38
3.14 วงจรภาคอินพุต.....	38
3.15 วงจรภาคเอาต์พุต	39
3.16 ลายวงจรและการวางตำแหน่งอุปกรณ์ภาคอินพุต/เอาต์พุต.....	40
3.17 ลายวงจรภาคอินพุต/เอาต์พุต (ด้านบนและด้านล่าง)	40
3.18 ภาคอินพุต/เอาต์พุตแบบสมบูรณ์.....	41
3.19 ภาคกระบวนการกับอินพุต/เอาต์พุตแบบสมบูรณ์	42
3.20 วงจรรีเลย์	42
3.21 วงจรรีเลย์แบบสมบูรณ์	43
3.22 ส่วนแสดงผลการทำงาน	43
3.23 ระบบจำลองทดสอบการทำงานมอเตอร์ปั้มน้ำ (ด้านหน้า)	44
3.24 ระบบจำลองทดสอบการทำงานมอเตอร์ปั้มน้ำ (ด้านข้าง).....	44
3.25 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์	45
3.26 การกำหนดค่าเวลา Cycle Time และความถี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	46
3.27 หน้าต่างสำหรับการตั้งชื่อ Contacts	46
3.28 การกำหนดขาสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก	47
3.29 แสดงข้อมูลรายละเอียดของการแปลงไฟล์	48
3.30 แสดงโปรแกรม Tiny Bootloader	49
3.31 แสดงตรวจสอบพบอุปกรณ์.....	50
3.32 กระบวนการโปรแกรมเสร็จ.....	50
4.1 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ.....	52
4.2 การแสดงผลของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ ก	53
4.2 การแสดงผลของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ ข	53
4.3 แสดงการวัดระดับแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟจ่ายให้กับพีแอลซี.....	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงการวัดแรงดันที่ขาไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์	55
4.5 แสดงการวัดแรงดันที่จ่ายในภาคอินพุต/เอาต์พุต	55
4.6 แสดงการวัดแรงดันที่ขั้วต่ออินพุต	56
4.7 แสดงการวัดแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุต	56
4.8 ขั้วต่ออินพุตและขั้วต่อเอาต์พุตทำงาน โดยมีไดโอดเปล่งแสงแสดงการทำงาน	57
4.9 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบซูคริเลย์	58
4.10 แสดงภาพมอเตอร์บี้มทำงานเมื่อจ่ายไฟกระตุ้นที่ขดลวดของรีเลย์	58
4.11 แสดงการทำงานของไดโอดเปล่งแสงในส่วนแสดงผล	59
4.12 แสดงระบบจำลองทดสอบการทำงานมอเตอร์บีมน้ำ	59
4.13 แสดงตำแหน่งของอินพุตในระบบ	60
4.14 การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์บีมน้ำ	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

พีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC) เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่าง ๆ แทนวงจรรีเลย์แบบเก่า เนื่องจากพีแอลซีใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อกับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้โดยตรง เพียงแก้ไขวงจรการทำงาน และเขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันที แต่อย่างไรก็ตามพีแอลซีเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงพอสมควร ทำให้ไม่สะดวกในการหามาศึกษาเรียนรู้ หรือการนำมาประยุกต์ใช้งานจริงเนื่องจากมีราคาแพงเกินไปสำหรับงานบางงาน จากราคาที่แพงของพีแอลซีโครงการนี้จึงได้ศึกษาหลักการของพีแอลซีและไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้น ซึ่งราคาถูกกว่าพีแอลซีทั่วไปทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อพีแอลซีราคาแพงมาใช้งานหรือศึกษาเรียนรู้ ซึ่งโครงการนี้ได้นำพีแอลซีที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยนำพีแอลซีดังกล่าวไปเป็นส่วนควบคุมทำหน้าที่ประมวลผลและสั่งการในระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมทั้งพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยภาษาแผนภาพแลดเดอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ มีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ อุปกรณ์วัดระดับน้ำ พีแอลซี และชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผลทำงานร่วมกัน โดยมีโครงสร้าง 2 ชั้นมีก้านอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์วัดระดับน้ำวัดระดับน้ำภายในตู้กระจกขนาด 14 นิ้วชั้นล่างมีมอเตอร์ปั้มน้ำขนาดเล็กยี่ห้อ Yamano รุ่น SP1200 จำนวน 2 ตัวอยู่ในตู้ด้านล่าง สำหรับปั้มน้ำจากตู้กระจกด้านล่างไปยังด้านบน มีอุปกรณ์วัดระดับน้ำเป็นตรวจตัววัดส่งสัญญาณไปยังพีแอลซีเพื่อประมวลผลและสั่งงานชุดรีเลย์ทำงานให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงานส่วนแสดงแสดงผลการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ

2. เลือกใช้ไอซี LM339 ที่มีออปแอมป์ชนิดเปรียบเทียบ 4 ตัว ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดระดับน้ำ 4 ระดับ

3. เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ออกแบบและพัฒนาพีแอลซีที่มีขาเข้าสัญญาณ 16 ขา ขาออกสัญญาณ 14 ขา และพอร์ตอนุกรม 1 พอร์ต

4. เลือกใช้โปรแกรมแอลดีไมโครในการเขียน และแก้ไขโปรแกรมควบคุมด้วยภาษา
แผนภาพแลคเคอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

1.4 วิธีการดำเนินโครงการงาน

1.ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1) ศึกษาหลักการของพีแอลซี

1.2) ศึกษาโปรแกรมแอลดีไมโคร

1.3) ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

1.4) ศึกษาวงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5) ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลางวงจร

2.ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ

2.1) ออกแบบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

2.2) ออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

2.3) พัฒนาชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล

3.เขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยแผนภาพแลคเคอร์

4.การทดสอบและวิเคราะห์ผล

5.จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2555							พ.ศ. 2556			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาหลักการของพีแอลซี	↔										
2.ศึกษาโปรแกรมแอลดีไมโคร	↔										
3.ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A		↔									
4.ศึกษาวงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์		↔	↔								
5.ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลายวงจร					↔	↔					
6.ออกแบบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ							↔	↔			
7.ออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A									↔	↔	

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน (ต่อ)

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2555							พ.ศ. 2556			
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
8.พัฒนาชุดรีเลย์และ ส่วนแสดงผลการ ทำงาน									←→		
9.เขียน โปรแกรมควบคุม มอเตอร์ปั้มน้ำด้วย แผนภาพแลคเตอร์									←→		
10.การทดสอบและ วิเคราะห์ผล									←→		
11.จัดทำเล่มปริญญา นิพนธ์											←→

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อพีแอลซีจากท้องตลาดที่มีราคาแพงเพื่อนำมาศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุม และได้พีแอลซีมาใช้ควบคุมระบบมอเตอร์ปั้มน้ำ

1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1. ค่าโครงสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ	1100 บาท
2. ค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1800 บาท
3. ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	600 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันห้าร้อยบาทถ้วน)	3,500 บาท

หมายเหตุ: งบประมาณของโครงการนี้ได้รับเงินสนับสนุนโครงการนิติตระดับปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นจำนวนเงิน 2,000 บาท (สองพันบาทถ้วน)

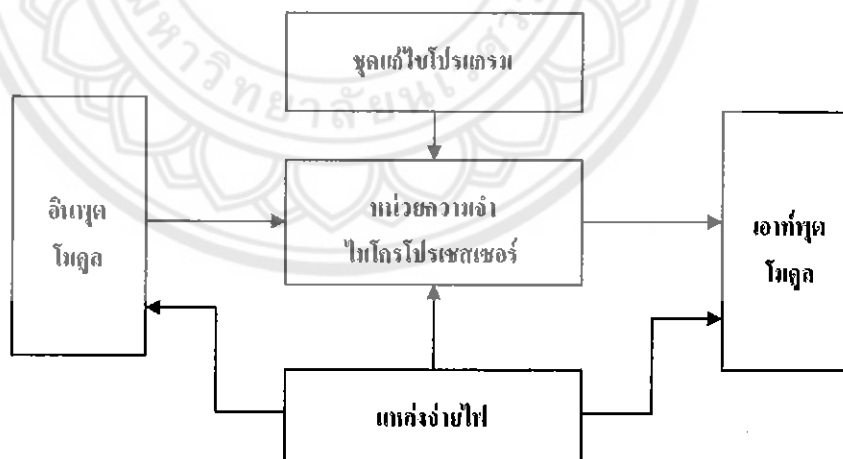
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในการดำเนินโครงการระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นต้อง
ต้องศึกษาหลักการและทฤษฎีเบื้องต้น เพื่อนำความรู้ไปใช้ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุม โดย
แบ่งเป็น 5 หัวข้อ ดังต่อไปนี้ 1) หลักการของพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller)
2) โปรแกรมแอลดีไมโคร 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A 4) วงจรที่ใช้ในการ
ออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซี 16F877A 5) โปรแกรมที่ใช้ในการ
ออกแบบลยวงจร

2.1 หลักการของพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller)

จากแผนภาพแสดงการทำงานของพีแอลซีรูปที่ 2.1 พีแอลซีเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของ
ของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมีไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor)
เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญซึ่งจะเขียนและแก้ไข โปรแกรมเข้าไปในไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านชุด
แก้ไขโปรแกรม และพีแอลซีจะมีส่วนที่เป็นอินพุต โมดูลและเอาต์พุต โมดูลที่สามารถต่อออกไปใช้
งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่างๆ จะต่อเข้ากับอินพุต โมดูล ส่วนเอาต์พุต โมดูลจะใช้ต่อ
ออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย ประกอบด้วยสิ่งที่สำคัญอยู่
สองส่วนด้วยกันคือ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และ ซอฟต์แวร์ (Software)



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการทำงานของพีแอลซี

2.1.1 ฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี

โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของพีแอลซีแสดงดังรูปที่ 2.2 พีแอลซีประกอบไปด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 4 ส่วน แต่ละส่วนจะทำงานร่วมกันเป็นระบบที่สามารถนำไปควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องจักร ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่และความสำคัญอธิบายได้ดังต่อไปนี้

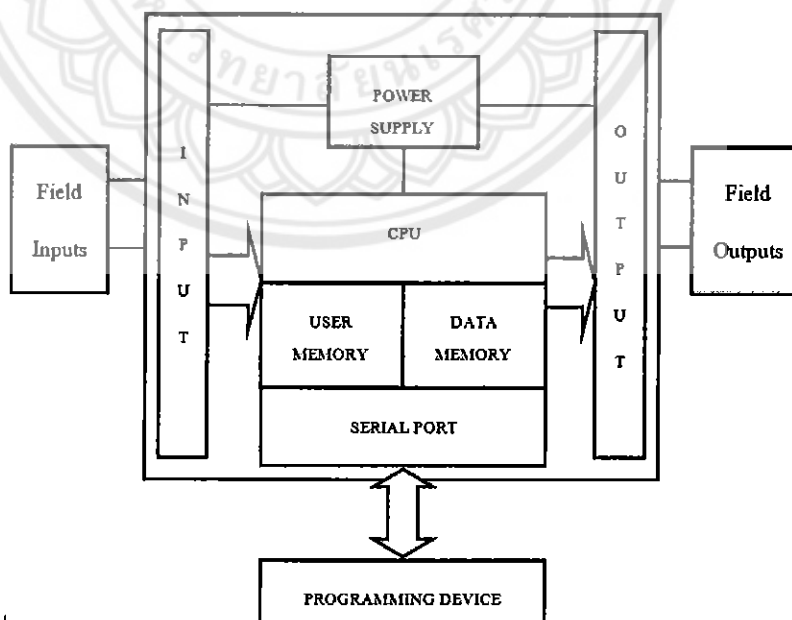
1) ภาคกระบวนการ (Processor Unit) มีหน้าที่ในการประสานงานและควบคุมการทำงานทั้งหมดของ พีแอลซี ในแต่ละส่วน ซึ่งในภาคกระบวนการนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ซีพียู (CPU: Central Processing unit) หน่วยคำนวณและตรรกะ (ALU: Arithmetic logic unit) และหน่วยความจำ (Memory unit)

2) ภาคอินพุต (Input Unit) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกแล้วแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมแล้วส่งให้หน่วยประมวลผลต่อไป เช่น ลิมิตสวิตช์ (Limit switch) สวิตช์เปิดปิด (Pushbutton switch) หรือตัวรับรู้ (Sensor) ชนิดต่าง ๆ

3) ภาคเอาต์พุต (Output Unit) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเช่น ควบคุมหลอดไฟ มอเตอร์ และวาล์ว เป็นต้น

4) ภาคแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit) ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำและหน่วยอินพุต/เอาต์พุต

นอกจากนี้ยังมี อุปกรณ์โปรแกรมมิ่ง (Programming Device) ที่เป็นชุดเครื่องมือสำหรับใช้สร้างหรือแก้ไขการทำงาน โปรแกรมและเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำของพีแอลซี (Bum)

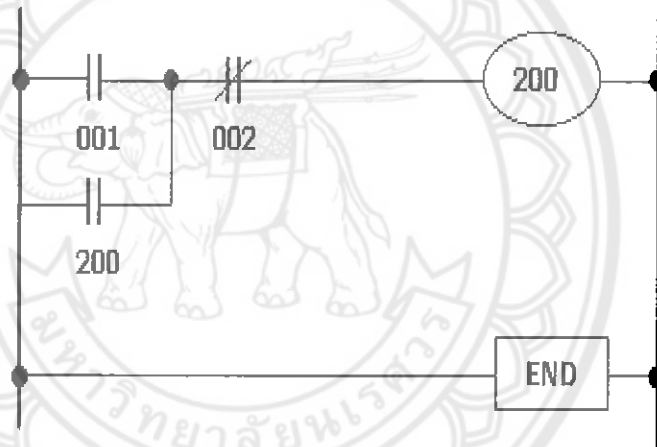


รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี

2.1.2 ซอฟต์แวร์ของพีแอลซี

ซอฟต์แวร์ของพีแอลซี หรือภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมให้กับพีแอลซี มีหลายภาษาด้วยกัน ได้แก่ ภาษาแลดเดอร์ ภาษาบูลีน ภาษาบิตโค้ด ภาษาข้อความภาษาอังกฤษ ภาษาฟังก์ชันชาร์ท และภาษาแผนภาพแลดเดอร์

สำหรับโครงการนี้ใช้ภาษาแผนภาพแลดเดอร์ (Ladder Diagram) ซึ่งเป็นภาษาที่นิยมใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมให้กับพีแอลซีมากที่สุด เพราะเป็นภาษาที่ง่ายมีลักษณะคล้ายวงจรควบคุมแบบรีเลย์ โดยภาษาแผนภาพแลดเดอร์ประกอบด้วยสัญลักษณ์หน้าสัมผัสและขดลวดเพื่อแสดงเงื่อนไขการควบคุมระหว่างอุปกรณ์ หน่วยอินพุต/เอาต์พุตและอุปกรณ์ภายใน ดังรูปที่ 2.3 การเขียนโปรแกรมต้องระบุตำแหน่งชื่อหรือหมายเลขของอุปกรณ์ให้ถูกต้องและตรงกันทุกครั้ง ซึ่งตำแหน่งชื่อหรือหมายเลขของอุปกรณ์ในโปรแกรมจะได้มาจากการกำหนดชื่อหรือหมายเลขให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมจริงๆ

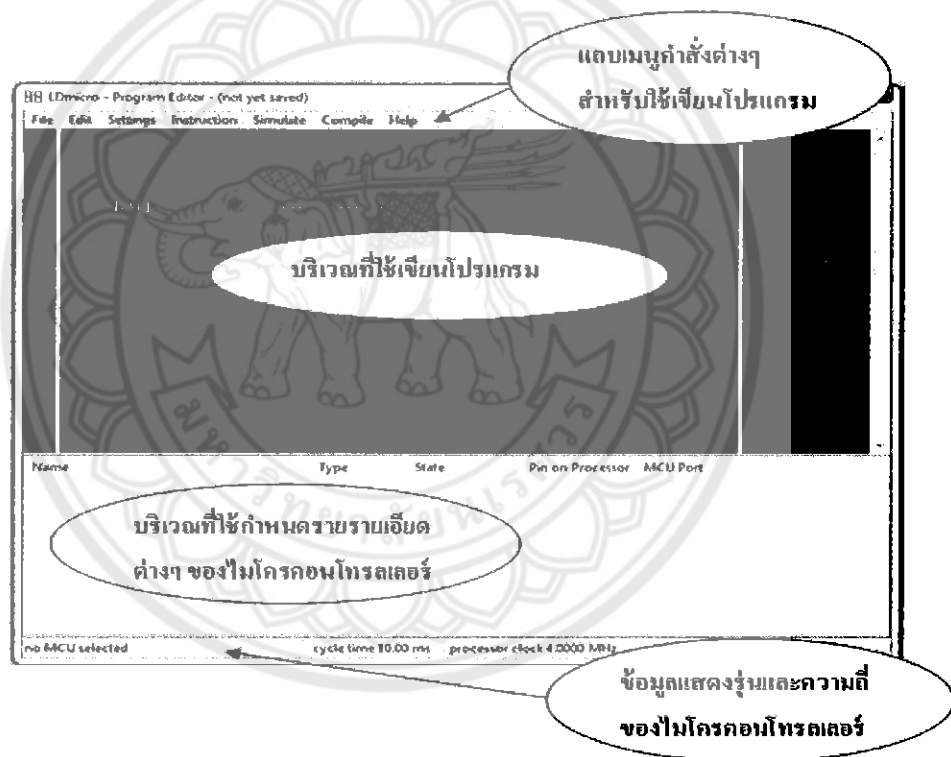


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมภาษาแผนภาพแลดเดอร์

หลังจากที่ศึกษาภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมให้กับพีแอลซีแล้ว หัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงโปรแกรมแอลดีไมโคร ซึ่งเป็นโปรแกรมที่โครงการนี้ใช้เขียนและแก้ไขโปรแกรมควบคุมการทำงานของพีแอลซีบนเครื่องคอมพิวเตอร์

2.2 โปรแกรมแอลดีไมโคร (LDmicro)

โปรแกรมแอลดีไมโครเป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาโดย Mr. Jonathan Westhues เป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาแผนภาพแลคเคอร์ และสามารถ HEX ไฟล์ภาษาแผนภาพแลคเคอร์ให้ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลพีไอซีและเอวีอาร์จากคุณสมบัติดังกล่าว โครงงานนี้จึงเลือกใช้ โปรแกรมแอลดีไมโครมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเนื่องจากโครงงานนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยความจำและหน่วยประมวลผลของพีแอลซี โดยเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะพบกับรูปร่างของโปรแกรมคล้ายกับโปรแกรมของวินโดวส์ทุกอย่าง โดยมีส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 2.4 ได้แก่ บริเวณที่ใช้สร้างหรือเขียนโปรแกรม บริเวณที่ใช้สำหรับกำหนดรายละเอียดต่างๆให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลแสดงรุ่นและความถี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้งาน และแถบเมนูคำสั่งต่างๆสำหรับไว้ใช้สร้างหรือเขียนโปรแกรม



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมแอลดีไมโคร

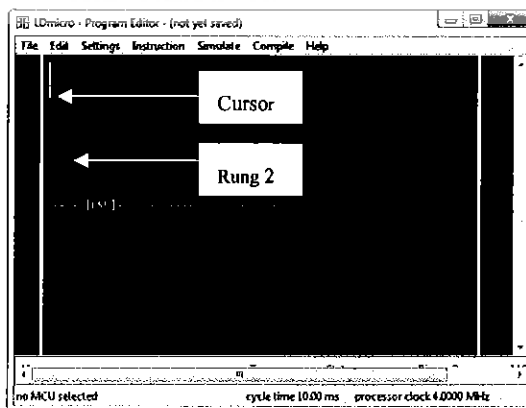
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคำสั่งและหน้าที่เท่านั้น ส่วนวิธีการเขียน โปรแกรมควบคุมจะกล่าวไว้บทที่ 3 ในหัวข้อ 3.3 เขียน โปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยแผนภาพแลคเคอร์ โดยแถบเมนูคำสั่งที่ใช้งานบ่อยและเป็นส่วนสำคัญในการเขียน โปรแกรม มีทั้งหมด 7 เมนูคำสั่ง คือ File, Edit, Settings, Instruction, Simulate, Compile และ Help ซึ่งมีรายละเอียดของคำสั่งดังต่อไปนี้

2.2.1 เมนู File เมื่อคลิกใช้เมนู File จะได้เมนูย่อยอีก 5 เมนูย่อย คือ

1. เมนูย่อย New ใช้สำหรับสร้าง โปรแกรมหรือ File ขึ้นมาใหม่
2. เมนูย่อย Open ใช้สำหรับเปิด File นานสกุลเป็น .ld เท่านั้นที่ถูกบันทึกเอาไว้
3. เมนูย่อย Save /Save As ใช้บันทึก File นานสกุล เป็น .ld
4. เมนูย่อย Export As Text ใช้แปลง File ให้อยู่ในรูปของตัวหนังสือ (เปลี่ยนนามสกุล .ld เป็น .txt)
5. เมนูย่อย Exit ออกจากโปรแกรม

2.2.1 เมนู Edit เมื่อคลิกใช้เมนู Edit จะได้เมนูย่อยอีก 7 เมนูย่อย คือ

1. เมนูย่อย Undo ย้อนถอยหลัง Redo เลื่อน ไปข้างหน้า
2. เมนูย่อย Insert Rung Before ใช้สำหรับเพิ่ม Rung ก่อนหน้า Rung ที่มี Cursor กระพริบ (ในการเขียนแผนภาพแลคเคอร์นิยมเรียก แลว หรือ บรรทัดว่า Rung แสดงดังรูปที่ 2.5)
3. เมนูย่อย Insert Rung After ใช้สำหรับเพิ่ม Rung ได้ Rung ที่มี Cursor กระพริบอยู่
4. เมนูย่อย Move Select Rung Up ใช้สำหรับเลื่อน Rung ที่มี Cursor กระพริบอยู่ขึ้นด้านบน
5. เมนูย่อย Move Select Rung Down ใช้สำหรับเลื่อน Rung ที่มี Cursor กระพริบอยู่ลงล่าง
6. เมนูย่อย Delete Selected Element ใช้สำหรับลบอุปกรณ์ที่มี Cursor กระพริบอยู่
7. เมนูย่อย Delete Rung ใช้สำหรับลบ Rung ที่มี Cursor กระพริบอยู่ออก



รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของ Cursor และ Rung

2.2.3 เมนู Settings เมื่อคลิกใช้เมนู Settings จะได้เมนูย่อยอีก 2 เมนูย่อย คือ

1. เมนูย่อย MCU Parameters กำหนดค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เมนูย่อย Microcontroller เลือกหรือกำหนดเบอร์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (ส่วนเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ได้กับโปรแกรมนี้ได้ระบบอยู่ในคู่มือของโปรแกรมในภาคผนวก ก)

2.2.4 เมนู Instruction เมื่อคลิกใช้เมนู Instruction จะได้เมนูย่อยอีก 11 เมนูย่อย คือ

1. เมนูย่อย Insert Comment ใช้สำหรับเขียนคำอธิบาย ลงไปในโปรแกรม
2. เมนูย่อย Insert Contacts หน้า Comment ชนิด NO. ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงเป็นชนิด NC. ให้กด Enter หรือ Double Click ที่รูปหน้า Contacts ก็จะมีหน้าต่างชื่อว่า Contacts ปรากฏขึ้นมาให้ทำการแก้ไข ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนให้เป็น Internal Relay, Input pin และ Output pin ได้ด้วย และจะต้องทำการเปลี่ยนชื่อใหม่ด้วย โดยจะต้องเปลี่ยนจาก Name ให้เป็นชื่ออื่นๆ ตามที่ท่านต้องการ (ในการตั้งชื่อควรใช้เฉพาะตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขเท่านั้นและให้ขึ้นต้นคำด้วยตัวอักษรก่อนตัวเลขเสมอ และห้ามเว้นช่องว่างถ้าต้องการเว้นช่องว่างก็ให้นำเครื่องหมาย “_” มาใช้งานแทน) ส่วนตัวอักษร R, X และ Y ที่อยู่หน้าชื่อนั้นใช้เป็นตัวยกแยกแยะว่าเป็น Contacts ชนิดใด ซึ่งไม่ต้องพิมพ์ลงไปเนื่องจากโปรแกรมจะทำการใส่ให้เองโดยอัตโนมัติ
3. เมนูย่อย Insert TON (Delayed Turn On) หน้า Contacts ชนิดหน่วงเวลาเปิด
4. เมนูย่อย Insert TOF (Delayed Turn Off) หน้า Contacts ชนิดหน่วงเวลาปิด
5. เมนูย่อย Insert RTO (Retentive delayed Turn On) หน้า Contacts ชนิดหน่วงเวลาเปิดแบบค้างสถานะ
6. เมนูย่อย Insert CTU (Count UP) หน้า Contacts ชนิดหน่วงรอค่าการนับขึ้น
7. เมนูย่อย Insert CTD (Count Down) หน้า Contacts ชนิดหน่วงรอค่าการนับลง
8. เมนูย่อย Insert CTC (Count Circular) ตัวนับแบบรอบวน
9. เมนูย่อย Insert Master Control Relay หน้า Contacts หลักจะต้องใช้เป็นคู่ คือ มีจุดเริ่มต้นและมีจุดปิดท้าย
10. เมนูย่อย Insert Coil เป็น Coil ชนิดปกติไม่ทำงานแต่ถ้าต้องการเปลี่ยนเป็นชนิดปกติทำงานให้กด Enter หรือ Double Click ที่รูป Coil ก็จะมีหน้าต่างชื่อว่า Coil ปรากฏขึ้นมาให้ทำการแก้ไข ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็น Internal Relay หรือ Coil ก็ได้ และจะต้องทำการเปลี่ยนชื่อใหม่ด้วย โดยจะต้องเปลี่ยนจากชื่อ name ให้เป็นชื่ออื่นๆ ตามที่ท่านต้องการ (ในการตั้งชื่อควรใช้เฉพาะตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กและตัวเลขเท่านั้นและให้ขึ้นต้นคำด้วยตัวอักษรก่อนตัวเลขเสมอ และห้ามเว้น

ช่องว่างถ้าต้องการเว้นช่องว่างก็ให้นำเครื่องหมาย “_” มาใช้งานแทน) ส่วนตัวอักษร R, X และ Y ที่อยู่หน้าชื่อนั้นใช้เป็นตัวแยกแยะชนิดของ Coil ซึ่งไม่ต้องพิมพ์ลงไปเนื่องจากโปรแกรมจะทำการใส่ให้เองโดยอัตโนมัติ

11. เมนูย่อย Insert RES (Counter/RTO Reset) ใช้สำหรับ Reset หน้า Contacts ของตัวนับและ Contacts ชนิดช่วงเวลาเปิดแบบค้างสถานะ

2.2.5 เมนู Simulate เมื่อคลิกใช้เมนู Simulate จะได้เมนูย่อยอีก 2 เมนูย่อย คือ

1. เมนูย่อย Simulation Mode เข้าสู่หน้าจอจำลองการทำงานของโปรแกรมควบคุมที่เขียน
2. เมนูย่อย Start Real-Time Simulation จำลองการทำงานต่อเนื่องของโปรแกรมควบคุมที่เขียน

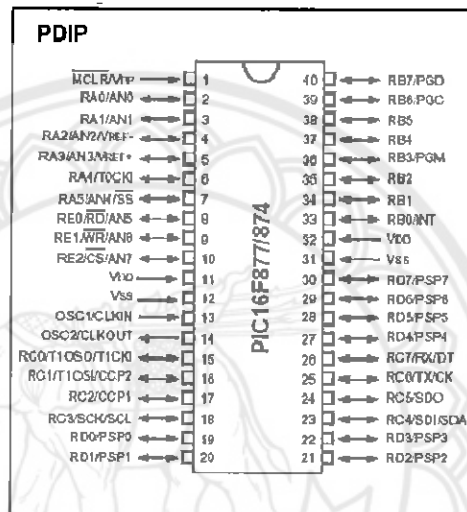
2.2.6 เมนู Compile ใช้แปลงโปรแกรมจาก .ld ให้เป็น .hex โดยจะต้องมีการกำหนดที่จัดเก็บตัวโปรแกรม ซึ่งไฟล์ .hex เป็นไฟล์ที่นำไปโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.7 เมนู Help เมื่อคลิกใช้เมนู Help จะได้เมนูย่อยอีก 1 เมนูย่อย คือ เมนูย่อย Manual เป็นคู่มือการใช้งานโปรแกรม แอลดีไมโคร

หลังจากที่ศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดหลักการทำงาน โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และ โปรแกรมที่ใช้เขียน โปรแกรมควบคุมของพีแอลซีเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนา คือไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

พีไอซี (PIC) ย่อมาจาก Peripheral Interface Controller เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลหนึ่ง ซึ่งจะรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมัน ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I₂C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอกในตัว ของพีไอซีจะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำซึ่งทำให้มันเปรียบได้กับชิพยิวตัวหนึ่ง โครงการนี้จึงนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นชิพยิวของพีแอลซี โดยต้องศึกษาหน้าที่การทำงาน ของขาสัญญาณต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง โดยโครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A โดยมีโครงสร้างและตำแหน่งขาของแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างและตำแหน่งขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

การออกแบบและพัฒนาพีแอลซีด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A เป็นหน่วยความจำและหน่วยประมวลผล ซึ่งมีขาสัญญาณจำนวน 40 ขาหน้าที่ต่างกันซึ่งรายละเอียดการทำงาน ของขาสัญญาณทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก ก. ส่วนในหัวข้อนี้จะกล่าวเพียงหน้าที่ของขาสัญญาณในส่วนประกอบของพีแอลซีที่พัฒนาขึ้นเท่านั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. MCLR/VPP (Master Clear Reset/Programming Voltage Input) ตำแหน่งขา 1 ทำหน้าที่เป็น

- ขารีเซตหลัก (Reset) เมื่อขานี้ได้รับสถานะลอจิก “0” ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซต ขานี้ปกติจะมีสถานะลอจิก “1” ถูกต่อเข้าไฟเลี้ยงผ่านรีซิสเตอร์

- ขาอินพุตรับแรงดันสูงสำหรับการโปรแกรม

2. VDD ตำแหน่งขา 11 และ 32 เป็นขาต่อไฟเลี้ยงบวก 5 [VDC] ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคกระบวนการของพีแอลซี

3. VSS ตำแหน่งขา 12 และ 32 ต่อลงกราวด์ของภาคกระบวนการ

4. OSC1/CLKIN (Oscillator Crystal/ External Clock Source) และ OSC2/CLKOUT (Oscillator Crystal/ External Clock Source) ตำแหน่งขา 12 และ 13 ตามลำดับ ต่อกับคริสตอล ความถี่ 20 MHz เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคกระบวนการของพีแอลซี

5. พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A มีจำนวน 5 พอร์ต คือ พอร์ต A พอร์ต B พอร์ต C พอร์ต D และพอร์ต E โดยทั้งหมดเป็นพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตแบบสองทิศทาง (Bi Directional Input Output Port) ใช้ในการรับและส่งข้อมูล สำหรับโครงงานนี้ใช้พอร์ตดังกล่าวทำหน้าที่เป็นขั้วต่ออินพุตและเอาต์พุต และมีหน้าที่อื่นๆในพีแอลซี แสดงดังตารางที่ 2.1-2.5

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ขาสัญญาณของพอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	หน้าที่
RA0/AN0	2	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 14 และขาเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกช่อง 1
RA1/AN1	3	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 13 และขาเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกช่อง 2
RA2/AN2/VREF-	4	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 12 และขาเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกช่อง 3
RA3/AN3/VREF+	5	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 11 และขาเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกช่อง 4
RA4/TOCK1	6	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 10
RA5/AN4/SS	7	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 9 และขาเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกช่อง 5

ตารางที่ 2.2 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต B ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	หน้าที่
RB0/INT	33	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 9
RB1	34	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 10
RB2	35	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 11
RB3/PGM	36	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 12 และขาอินพุตแรงดันต่ำในการบันทึกโปรแกรม
RB4	37	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 13
RB5	38	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 14
RB6/PGC	39	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 15 และขาสัญญานาฬิกาของการโปรแกรม
RB7/PGD	40	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 16 และขาสัญญาข้อมูลของการโปรแกรม

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต C ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	หน้าที่
RC0/T1OSO/ TICKI	15	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 5
RC1/T1OSI/ CCP2	16	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 4
RC2/CCP1	17	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 3

ตารางที่ 2.3 หน้าที่มาสัญญาณของพอร์ต C ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A (ต่อ)

พอร์ต	ตำแหน่งขา	หน้าที่
RC3/SCK/SCL	18	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 2
RC4/SDI/SDA	23	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 1
RC5/SDO	24	เป็นขาสัญญาณที่ส่งไปยังวงจรรีเลย์ที่ควบคุมในภาคอินพุต/เอาต์พุต
RC6/TX/CK	25	เป็นขาส่งข้อมูลแบบพอร์ตอนุกรม
RC7/RX/DT	26	เป็นขารับข้อมูลแบบพอร์ตอนุกรม

ตารางที่ 2.4 หน้าที่มาสัญญาณของพอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	หน้าที่
RD0/PSP0	19	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 1
RD1/PSP1	20	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 2
RD2/ PSP2	21	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 3
RD3/ PSP3	22	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 4
RD4/ PSP4	27	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 5
RD5/ PSP5	28	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 6
RD6/ PSP6	29	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 7
RD7/ PSP7	30	เป็นขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีช่องที่ 8

ตารางที่ 2.5 หน้าที่ขาสัญญาของพอร์ต E ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

พอร์ต	ตำแหน่งขา	หน้าที่
RE0/AN5/RD	8	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 8 และขาเชื่อมต่อสัญญาณนาฬิกาช่อง 6
RE1/AN6/WR	9	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 7 และขาเชื่อมต่อสัญญาณนาฬิกาช่อง 7
RE2/ AN7/CS	10	เป็นขั้วต่อเอาต์พุตของพีแอลซีช่องที่ 6 และขาเชื่อมต่อสัญญาณนาฬิกาช่อง 8

หลังจากทราบหน้าที่ขาสัญญาของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A แต่ละขาในพีแอลซีที่จะออกแบบและพัฒนาขึ้นแล้ว ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงวงจรที่สำคัญที่โรงงานนี้ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

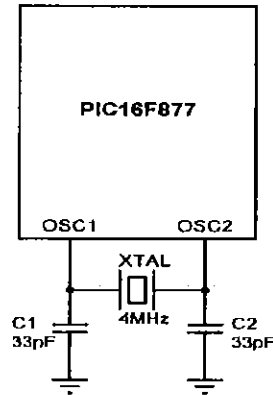
2.4 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

วงจรมกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะของวงจรมกำเนิดสัญญาณนาฬิกา โดยการสร้างวงจรมกำเนิดสัญญาณนาฬิกานั้นจะใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการต่อที่ขา OSC1 และขา OSC2 สามารถกำหนดเลือกใช้แหล่งสัญญาณนาฬิกาได้ 3 โหมด ดังนี้

- โหมด LP (Low Power Crystal Oscillator) ใช้คริสตอลกำลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200KHz
- โหมด XT (Crystal/Resonator) ใช้คริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ ความถี่ตั้งแต่ 100KHz – 4MHz
- โหมด HS (High Speed Crystal/Resonator) ใช้คริสตอลความถี่สูง 4MHz – 20MHz

โดยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ต่อใช้งานในโครงงานนี้แสดงดังรูปที่ 2.7 และค่าตัวเก็บประจุเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการแสดงในตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์

ตารางที่ 2.6 การเลือกค่า C1 และ C2 ตามโหมด ค่าความถี่ของคริสตอล

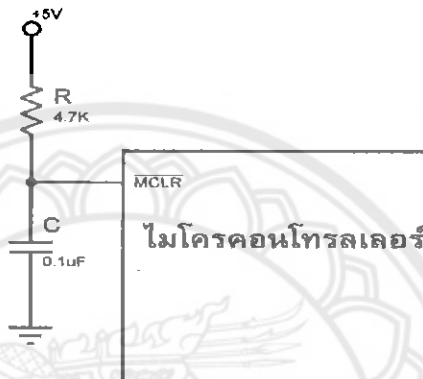
โหมด OSC.	ความถี่	C1	C2
LP	32 KHz	68 - 100 pF	68 - 100 pF
	200 KHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
XT	100 KHz	100 - 150 pF	100 - 150 pF
	2 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	4 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
HS	4 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	8 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	20 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF

สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้โหมด HS ใช้คริสตอลความถี่สูง 20 MHz เนื่องจากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จึงหะการทำงานก็จะสามารถทำได้ดีขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.4.2 วงจรรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์

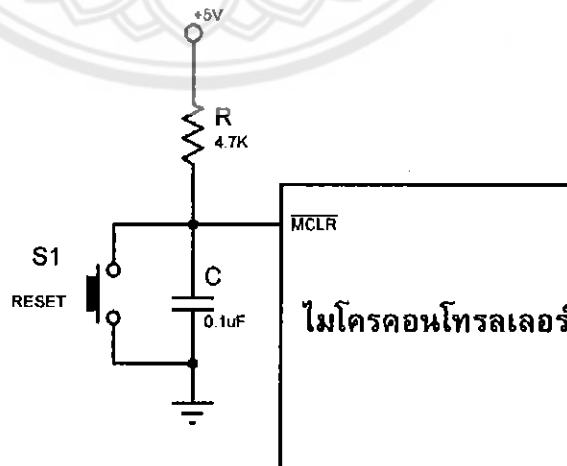
ในการสร้างสัญญาณรีเซต ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีความสำคัญมากเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มต้นของการทำงานของระบบ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องอยู่ในสภาวะรีเซต เพื่อให้ระบบไฟ ต่าง ๆ คงที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่อพ่วงพร้อมที่จะทำงานก่อนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จึงจะเริ่มทำงาน โดยวงจรรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีโดยทั่วไปจะมี 2 แบบคือ

1) รีเซตแบบอัตรโนมิตี มีวงจรดังรูปที่ 2.8 ซึ่งรีเซตอัตรโนมิตีเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.8 วงจรรีเซตแบบอัตรโนมิตีไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซี

2) รีเซตแบบสวิตช์กดและแบบอัตรโนมิตี มีวงจรดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะรีเซตเมื่อจ่ายไฟเลี้ยง ให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นการรีเซตแบบอัตรโนมิตี และรีเซตเมื่อกดสวิตช์ ซึ่งเป็นแบบที่ นิยมซึ่งสำหรับโครงการนี้เลือกใช้เพราะสามารถรีเซตได้ตามที่ต้องการโดยการกดสวิตช์ โดยไม่ ต้องหยุดและจ่ายไฟเลี้ยงวงจร



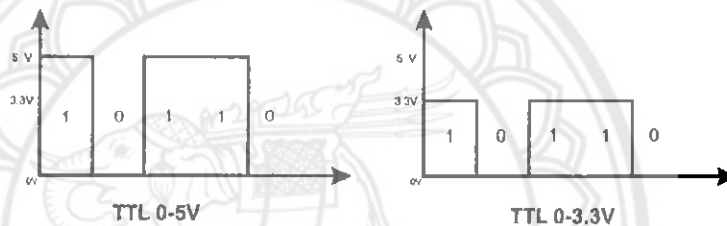
รูปที่ 2.9 วงจรรีเซตแบบสวิตช์กดและแบบอัตรโนมิตีไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซี

2.4.3 วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

1) ระดับแรงดันในการติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

ในการติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์นั้นมีระดับแรงดันที่ควรทราบก่อนการออกแบบวงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม ซึ่งมีด้วยกัน 2 ระดับ คือ

- **TTL (Transistor-Transistor Logic)** เป็นระดับแรงดันที่ถูกกำหนดขึ้นในยุคแรก ๆ เพื่อใช้ระหว่างทรานซิสเตอร์กับทรานซิสเตอร์ ภายในวงจรรวม(IC) ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ส่งออกมาจากพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้น TTL จะใช้ระดับแรงดัน อยู่ที่ 0 – 5 V แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์หลายเบอร์ที่ทำงานในช่วง 0 – 3.3 V เรียกแรงดันระดับนี้ว่า LVTTTL (Low Voltage Transistor-Transistor Logic) ซึ่งผู้ใช้ควรตรวจสอบจากแผ่นข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้เสียก่อนว่าเป็นระดับแรงดันแบบใด เพราะหากใช้ผิดประเภทจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย

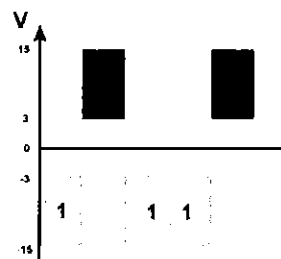


รูปที่ 2.10 ระดับแรงดันของ TTL

- **RS-232 (Recommended Standard-232)** คือ มาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม ใช้เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ให้สามารถส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น โดยมีกรเปลี่ยนระดับแรงดัน ของลอจิกจากเดิมที่จะอยู่ในช่วง 0-5 V หรือ 0-3.3 V เป็นช่วง -15 ถึง 15 V โดยมีรายละเอียดดังนี้

Logic 0 ของ RS-232 จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 15V

Logic 1 ของ RS-232 จะอยู่ในช่วง -3 ถึง -15V

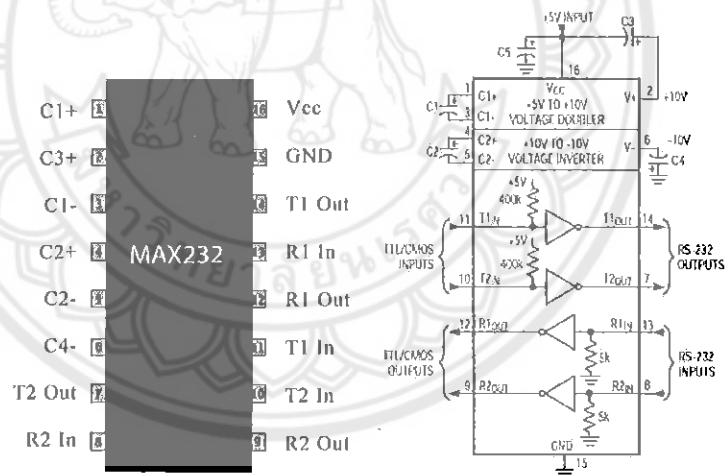


รูปที่ 2.11 ระดับแรงดันของ RS-232

2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

เนื่องจากระดับแรงดันที่ส่งออกจากพอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นแรงดันระดับ TTL แต่ในการติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมต้องใช้ระดับแรงดัน RS-232 จึงต้องมีการปรับระดับแรงดัน TTL ไปเป็นระดับแรงดัน RS-232 และในทำนองเดียวกันก็ปรับระดับแรงดันของ RS-232 มาเป็นระดับ TTL เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ โดยอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว และโครงการนี้เลือกมาใช้ในการปรับระดับแรงดันดังกล่าวคือ ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232

ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 เป็นไอซี 16 ขาที่ใช้ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial) ระหว่างอุปกรณ์ที่มีระดับ TTL กับพอร์ต RS-232 โดยมีช่องทางในการรับข้อมูลแบบอนุกรม (serial) 2 ช่องทางและมีช่องทางในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial) 2 ช่องทาง โครงสร้างภายในของไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232 ยังมีวงจรทวีแรงดัน (voltage double) และ วงจรอินเวอร์สแรงดัน (voltage inverter) วงจรทวีแรงดันเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ยกระดับแรงดันจาก 5 V เป็น 10 V และวงจรอินเวอร์สแรงดันเป็นวงจรที่ทำหน้าที่กลับสัญญาณจาก +10 V เป็น -10 V วงจรทั้งสองทำหน้าที่ขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งออกไปยังพอร์ต RS-232 ซึ่งตำแหน่งขาสัญญาณและวงจรเทียบการทำงานของ MAX 232 แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตำแหน่งขาสัญญาณและวงจรภายในไอซีปรับระดับแรงดัน MAX 232

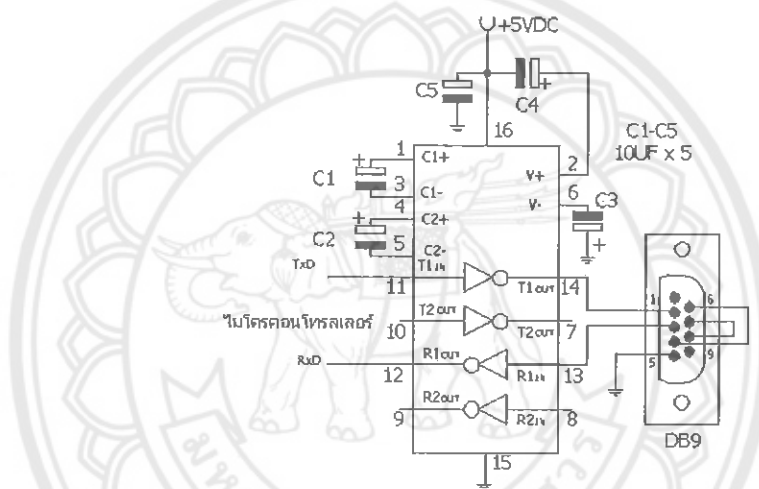
เมื่อทราบระดับแรงดันและอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในวงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 แล้ว ต่อไปจะกล่าวถึงหลักการการทำงานของวงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

3) หลักการทำงานของวงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 มีลักษณะดังรูปที่ 2.13 มีหลักการดังนี้

1. เมื่อส่งข้อมูลออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไอซีปรับระดับแรงดัน MAX232 จะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ TTL เข้ามาที่ขา TX IN ตำแหน่งขา 11 จากนั้นไอซีปรับระดับแรงดัน MAX232 จะทำการยกระดับแรงดันของข้อมูลให้เป็น +10 V หรือ -10 V และส่งออกมาที่ขา TX OUT ตำแหน่งขาที่ 14 ผ่านพอร์ต RS-232 เพื่อส่งข้อมูลต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอก

2. เมื่อรับข้อมูลเข้าจากอุปกรณ์ภายนอก โดยไอซีปรับระดับแรงดัน MAX232 จะรับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ต RS-232 มายังขา RX IN ตำแหน่งขาที่ 13 จากนั้นไอซีปรับระดับแรงดัน MAX232 จะทำการปรับระดับแรงดันของข้อมูลให้เป็น 0 V หรือ 5 V และส่งออกที่ขา RX OUT ตำแหน่งขาที่ 12 เพื่อทำการส่งข้อมูลต่อไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์

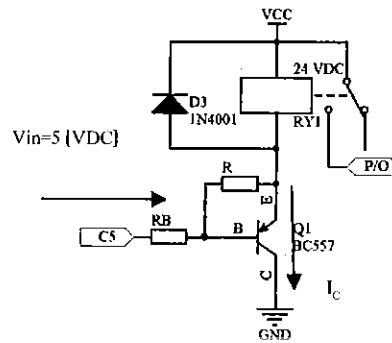


รูปที่ 2.13 วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232

2.4.4 วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรควบคุมการทำงานของรีเลย์ด้วยทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 แบบ คือ ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ NPN และวงจรขั้วรีเลย์ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ PNP สำหรับโครงการนี้ใช้วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบ PNP โดยทรานซิสเตอร์ในวงจรทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขา เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขา เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีส่วนของวงจรทรานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะที่เกิดการขยับตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้ โดยนำไปใช้ในส่วนของการจ่ายไฟให้กับ

ภาคอินพุตและเอาต์พุตเมื่อมีสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ CS เป็นกระแสต่ำถูกขยายด้วยทรานซิสเตอร์ไปกระตุ้นขดลวดของรีเลย์ให้หน้าคอนแทกเตอร์ของรีเลย์เปลี่ยนสถานะจากไฟให้กับภาคอินพุตและเอาต์พุต โดยวงจรที่โครงการนี้ใช้แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรขับรีเลย์ใช้ทรานซิสเตอร์ในส่วนของการจ่ายไฟให้กับภาคอินพุตและเอาต์พุต

วงจรขับรีเลย์ใช้ทรานซิสเตอร์จากรูปที่ 2.14 ในการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ และค่าของความต้านทานที่ขาเบสมีการพิจารณาจากค่าต่างดังต่อไปนี้

1. ค่ากระแสไหลค (I_C) เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสหาเพื่อนำไปหาค่าอัตราการขยายขั้นต่ำของทรานซิสเตอร์ โดยค่ากระแสไหลค (I_C) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างไฟเลี้ยงวงจรและความต้านทานขดลวดของรีเลย์ (ดูได้จาก Data Sheet ของรีเลย์ที่เลือกใช้) แสดงดังสมการ (2.1)

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (2.1)$$

โดยที่ V_{CC} คือ ไฟเลี้ยงของวงจร R_L คือ ความต้านทานขดลวดของรีเลย์

เมื่อทราบค่าของกระแสไหลค (I_C) เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสในวงจรขับรีเลย์แล้วจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการขยายขั้นต่ำของทรานซิสเตอร์ที่จะใช้ในวงจรขับรีเลย์

2. ค่าอัตราการขยายขั้นต่ำของทรานซิสเตอร์ (h_{FE}) เพื่อใช้ในการพิจารณาในการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ให้เหมาะสมกับวงจรขับรีเลย์ โดยอัตราการขยายขั้นต่ำของทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมต้องมีค่าต่ำกว่า 5 เท่าของอัตราส่วนระหว่างกระแสไหลคและกระแสที่ไหลผ่านขาเบสของทรานซิสเตอร์ แสดงดังสมการ (2.2)

$$h_{FE(min)} > 5 \frac{I_C}{I_{B(max)}} \quad (2.2)$$

โดยที่ I_C คือ กระแสไหลคเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส I_{B(max)} คือ กระแสที่ไหลผ่านขาเบสของทรานซิสเตอร์

หลังจากที่เลือกทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมกับวงจรเรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้ยังมีตัวต้านทานที่ต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ (RB) ที่สำคัญในการจำกัดกระแสให้กับทรานซิสเตอร์

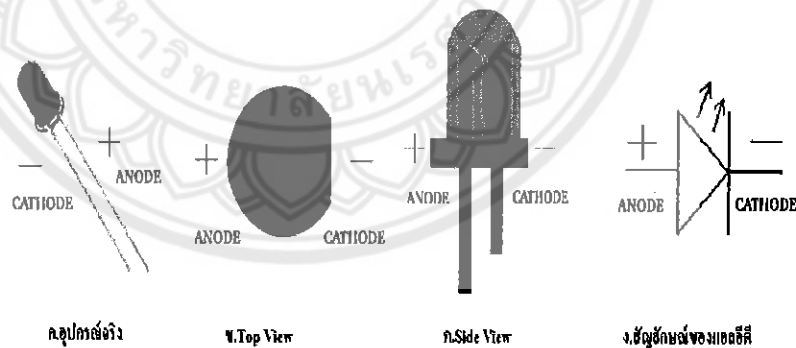
3. ค่าตัวต้านทานที่ต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ (RB) หาค่าที่เหมาะสมเพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย หาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงดันที่ขาเบสคูณกับอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่เลือกใช้กับกระแสไหลคเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส 5 เท่า แสดงดังสมการ (2.3)

$$R_B = \frac{V_{in} h_{EF}}{5 I_C} \quad (2.3)$$

โดยที่ V_{in} คือ แรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ h_{EF} คือ อัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ และ I_C คือ กระแสไหลคเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส

2.4.5 วงจรไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสง (LED: Light emitting Diode) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอด ที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบ เมื่อถูกไบอัสทางไฟฟ้าในทิศทางไปข้างหน้าโดยสีของไดโอดเปล่งแสงมีให้เลือกใช้งาน เช่น สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว สีขาว สีส้ม สีเหลือง ฯลฯ ซึ่งไดโอดเปล่งแสงมีขาต่อใช้งาน 2 ขา คือ ขาแอนโนด (+) และขาแคโทด (-) มีตำแหน่งและสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง (LED)

โดยทั่วไปไดโอดเปล่งแสงจะใช้ไฟ (Forward) ประมาณ 1.2 V กระแส 10-100 mA ยิ่งใช้แรงดันมากก็ยิ่งกินกระแสมาก แต่หากรับกระแสเกินจากที่กล่าวไปจะทำให้ไดโอดเปล่งแสงเสียหาย และอีกประการหนึ่งที่ทำให้ไดโอดเปล่งเสียหาย คือ การต่อไฟกลับขั้ว (Reverse) จะต้องมีค่าไม่เกิน 5 V ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับไดโอดเปล่งแสง เพื่อป้องกันไม่ให้

เสียหาย ซึ่งถ้าใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทาน (R) มากำจัดกระแสจะคิดที่ 10-30 mA มีค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับไดโอดเปล่งแสงชนิดต่างดังตารางที่ 2.7 สำหรับไดโอดเปล่งแสงสีแดงนั้นจะให้ความสว่างมากกว่า สีเขียว สีเหลือง สีส้ม ในระดับที่กระแสเท่ากัน ถ้าต้องการให้ความสว่างเท่ากัน สีแดงจะต้องเปลี่ยนค่าตัวต้านทานลดลงไปประมาณ 10-15%

ตารางที่ 2.7 ค่าความต้านทานที่เหมาะสมในไดโอดเปล่งแสงที่ระดับแรงดันต่าง ๆ

แรงดัน (V)	ความต้านทานที่ใช้กับไดโอดเปล่งแสง (Ω)
3	180
5	270
6	390
9	680
12	1 k
15	1.2 k
18	1.5 k
24	2.2 k

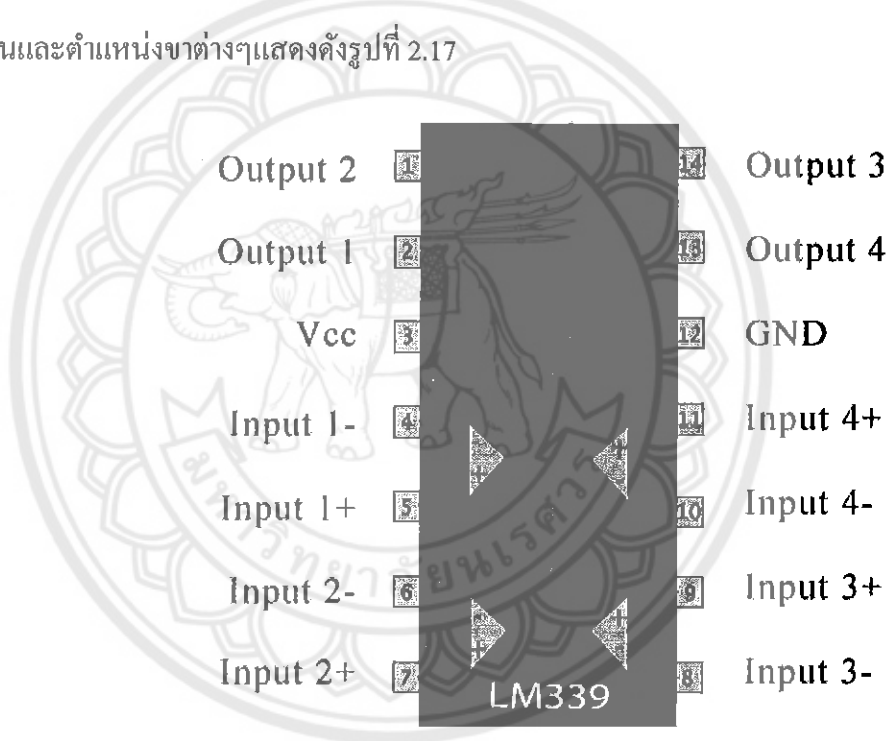
สำหรับโครงการนี้ใช้งานวงจรไดโอดเปล่งแสงเพื่อแสดงผลการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ และแสดงสถานการณ์ทำงานของอินพุต/เอาต์พุต โดยใช้วงจรพื้นฐานต่อตัวต้านทานที่ขาขาแอนโนด (+) เพื่อจำกัดกระแสให้กับไดโอดเปล่งแสง และขาแคโทด (-) ต่อกับกราวด์ แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรพื้นฐานของไดโอดเปล่งแสง

2.4.6 วงจรวัดระดับน้ำ

วงจรวัดระดับน้ำโดยทั่วไปจะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจสอบ แต่ปกติแล้วน้ำที่ไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์ จะสามารถเป็นตัวนำทางไฟฟ้าได้ เนื่องจากน้ำมีความต้านทานทั้งนี้ความต้านทานของน้ำขึ้นอยู่กับกระแสน้ำและสารประกอบที่ละลายอยู่ในน้ำ เพื่อแก้ปัญหาความต้านทานของน้ำไม่เท่ากันซึ่งอาจทำให้เกิดการผิดพลาดในการแสดงผลในการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจสอบ โครงการนี้จึงใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันในการออกแบบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ ซึ่งความต้านทานของน้ำจะไม่มีผลต่อการทำงาน เนื่องจากอินพุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันต้องการกระแสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับในโครงการนี้ออกแบบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ 4 ระดับ โดยใช้ ไอซี LM 339 เป็น ไอซีที่มีออปแอมป์ชนิดเปรียบเทียบจำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบ โดยมีโครงสร้างภายในและตำแหน่งขาต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.17

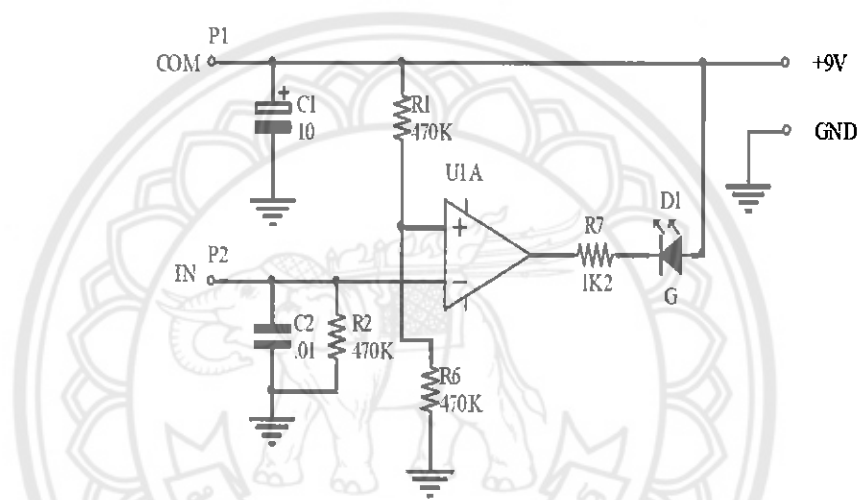


รูปที่ 2.17 โครงสร้างภายในและตำแหน่งขาของไอซี LM 339

หลังจากทราบถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรวัดระดับน้ำแล้วหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้ในการวัดระดับน้ำ

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator circuit)

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน เป็นวงจรที่ใช้เปรียบเทียบแรงดันที่ป้อนให้ที่ขาอินพุตอินเวอร์ต (+) ของออปแอมป์ และขาอินเวอร์ต (-) ของออปแอมป์ โดยระดับแรงดันของเอาต์พุตของออปแอมป์จะถูกจำกัดอยู่ที่แรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์ ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 2.18 มีหลักการทำงาน คือ มี R1, R6 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟเลี้ยงให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงให้กับขาอินเวอร์ต (+) ของออปแอมป์ ดังนั้นหากที่ขาอินเวอร์ต (-) ของออปแอมป์ได้รับแรงดันที่สูงกว่าแรงดันอ้างอิง แรงดันที่เอาต์พุตของจะมีค่าเป็น 0 จะทำให้ ไดโอดเปล่งแสงติด แต่หากแรงดันขาอินเวอร์ต (-) ต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง ไดโอดเปล่งแสงจะไม่ติด



รูปที่ 2.18 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

2.5 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลายวงจร

การออกแบบลายวงจรจะต้องออกแบบวงจร Sch (Schematic) และ PCB (Print Circuit Board) สำหรับโครงการนี้เลือกโปรแกรมแอลเซียมดีไซน์เนอร์ 6 มาใช้ในการออกแบบลายวงจร เนื่องจากมีชุดเครื่องมือที่สามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานง่าย และโปรแกรมแอลเซียมดีไซน์เนอร์ 6 ช่วยทำให้มองเห็นภาพรวมถึงการสร้างแบบวงจรหรือสคีมาติก (Schematic) การนำข้อมูลมาปรับปรุงแบบวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB)

ซึ่งในการออกแบบลายวงจร ต้องสร้าง PCB Project ขึ้นมา ต่อมาให้ทำการติดตั้ง Library ที่ใช้ในการออกแบบ PCB ที่ส่วนของ Libraries (Library ของ Altium จะเป็น Integrated Library ที่

รวม SCH, PCB Footprint, Simulation ไว้ด้วยกัน) ในกรณีที่ต้องการค้นหา Library หรือ Component ใดๆ สามารถใช้คำสั่ง "Search" ในการค้นหาได้ ในการออกแบบลายวงจะจะต้องทำการออกแบบ Schematic (Sch.schdoc) และใส่ PCB Footprint ให้กับอุปกรณ์ต่างให้เรียบร้อย หลังจากนั้นเปิดไฟล์ PCB.Pcbdoc ขึ้นมา และทำการ Save ทั้ง PCB.Pcbdoc และ Sch.schdoc ก่อน และ Update อุปกรณ์จาก Sch.schdoc ไปยัง PCB.Pcbdoc (สามารถตรวจสอบ Status การ Compiles จาก Sch.schdoc ไปยัง Pcb.pcbdoc หากมี Error ให้ตรวจสอบข้อความแจ้งเตือนแล้วกลับไปแก้ไข Error) จากขั้นตอนข้างต้น Footprint จะถูก Update ลงใน PCB.Pcbdoc เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้แล้วจะเป็นขั้นตอนการ PCB Placement ซึ่งเป็นการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตามที่ต้องการและออกแบบลายวงจรตามความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้กัดลายวงจรต่อไป โดยรายละเอียดขั้นตอนในการออกแบบลายวงจรโครงการนี้ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก.



วิธีการดำเนินโครงการ

ระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีขั้นตอนในการดำเนินงานซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ 1) ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2) ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ 3) เขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยแผนภาพแลดเดอร์ 4) การทดสอบและวิเคราะห์ผล 5) จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์ โดยรายละเอียดแต่ละหัวข้อสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลและหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ศึกษาหลักการของพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller) ได้กล่าวถึงหลักการของพีแอลซีส่วนประกอบและหน้าที่ของพีแอลซี ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1 หลักการของพีแอลซี

3.1.2 ศึกษาโปรแกรมแอลดีไมโคร เพื่อใช้เขียนโปรแกรมควบคุม โดยจะกล่าวถึงเมนูคำสั่งที่สำคัญ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2 โปรแกรมแอลดีไมโคร

3.1.3 ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ได้กล่าวถึงคุณสมบัติและหน้าที่ ขาสัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ที่ใช้ในการออกแบบพีแอลซี ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

3.1.4 ศึกษาวงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A โดยกล่าวถึงวงจรที่สำคัญ เช่น วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์วงจรรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์วงจรการต่อใช้งาน MAX232 กับไมโครคอนโทรลเลอร์วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์และการออกแบบไดโอดเปล่งแสง ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4 วงจรที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

3.1.5 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลายวงจร ในโครงการนี้เลือกใช้โปรแกรมแอลเทียมดีไซน์เนอร์ 6 ออกแบบลายวงจรของพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A และอุปกรณ์วัดระดับน้ำ ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนการใช้แอลเทียมดีไซน์เนอร์ 6 ในการออกแบบลายวงจรถวายไว้ในภาคผนวก ก.

3.2 ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ

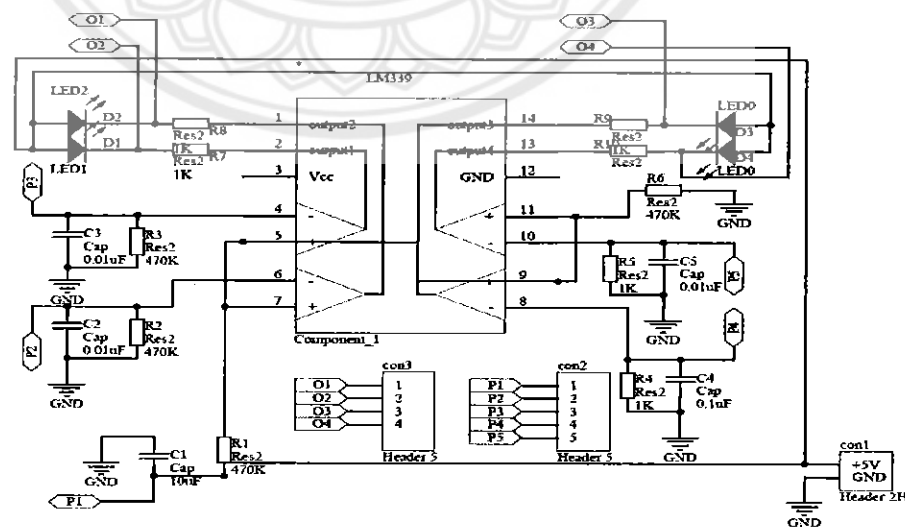
หลักการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำในโครงงานนี้มีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ อุปกรณ์วัดระดับน้ำ พีแอลซี ชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล มีหลักการ โดยรวมของระบบดังรูปที่ 3.1 โดยอุปกรณ์วัดระดับน้ำใช้ก้านอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัววัดระดับน้ำภายในตู้กระจกเพื่อเป็นอินพุตส่งไปยังส่วนควบคุมคือพีแอลซีเพื่อประมวลผลและสั่งงานชุดรีเลย์ให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงานตามเงื่อนไขที่เขียน โปรแกรมควบคุมไว้ และมีส่วนแสดงผลแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดในการออกแบบดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพหลักการ โดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ

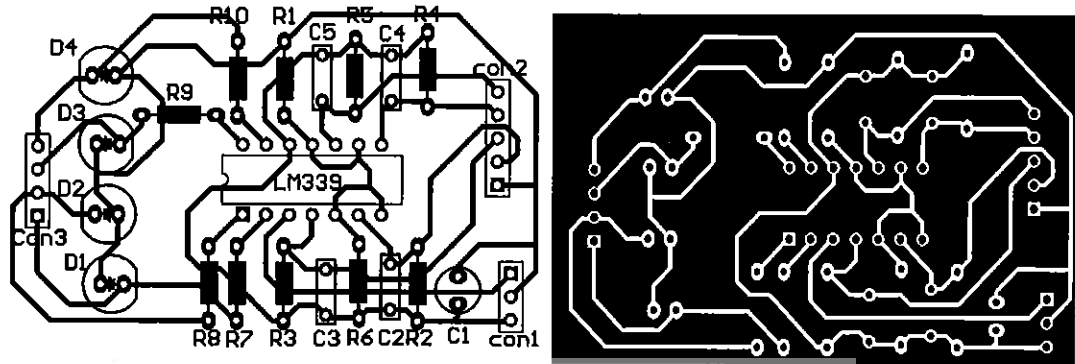
3.2.1 อุปกรณ์วัดระดับน้ำ

เป็นอุปกรณ์อินพุตส่งสัญญาณอินพุตไปยังส่วนประมวลผล (พีแอลซี) ในอุปกรณ์วัดระดับน้ำนี้เลือกใช้ไอซี LM 339 ภายในประกอบด้วยออปแอมป์ชนิดเปรียบเทียบ 4 ตัวออกแบบให้อุปกรณ์วัดระดับน้ำ วัดได้ 4 ระดับ โดยมีวงจรที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.2 และมีหลักการคือ มี R1, R6 ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน ไฟเลี้ยงให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงให้กับขา อิน-อินเวอร์ตติ้ง (+) ของออปแอมป์ ดังนั้นหากที่ขาอินเวอร์ตติ้ง(-) ของออปแอมป์ได้รับแรงดันที่สูงกว่าแรงดันอ้างอิง แรงดันที่เอาท์พุทของจะมีค่าเป็น 0 จะทำให้ ไคโอดเปล่งแสงติด หรือส่งสัญญาณไปยังพีแอลซี แต่หากแรงดันขาอินเวอร์ตติ้ง (-) ต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง ไคโอดเปล่งแสงจะไม่ติด โดยอุปกรณ์วัดระดับน้ำนี้ใช้ก้านอิเล็กทรอนิกส์ในการแบ่งระดับในการวัดระดับน้ำ



รูปที่ 3.2 วงจรอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

หลังจากศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบวงจรอุปกรณ์วัดระดับน้ำข้างต้นแล้ว
ขั้นตอนต่อไปใช้โปรแกรมแอลเธียมดีไซน์เนอร์ 6 ออกแบบลายวงจรอุปกรณ์วัดระดับน้ำซึ่งวาง
ตำแหน่งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งอุปกรณ์และลายวงจรวัดระดับน้ำ

หลังจากกัศลายวงจรตามรูปที่ 3.3 จากนั้นนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จัดวางตามตำแหน่งที่
ออกแบบไว้ จะได้อุปกรณ์วัดระดับน้ำที่สามารถวัดระดับน้ำได้ 4 ระดับ แบบสมบูรณ์ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบสมบูรณ์

จากรูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดระดับน้ำทำหน้าที่รับสัญญาณจากก้านอิเล็กโทรดในตู้กระจก
ขนาด 14 นิ้ว 2 คู่ เพื่อเป็นอินพุตส่งไปยังพีแอลซีเพื่อประมวลผลและสั่งงานให้มอเตอร์ปั้มน้ำ
ทำงานอัตโนมัติ

3.2.2 พีแอลซี

สำหรับการออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A มีส่วนประกอบสำคัญด้วยกันทั้งหมด 4 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่และความสำคัญอย่างไรบ้างได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.1.1 ฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี แล้ว ส่วนในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแต่ละส่วนซึ่งได้ถูกออกแบบให้มีหลักการทำงานดังนี้

1) ภาคกระบวนการ (Processor Unit) มีหน้าที่ในการประสานงานและควบคุมการทำงานทั้งหมดของพีแอลซีสำหรับโครงการนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ของบริษัท Microchip

2) ภาคอินพุต (Input Unit) มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อ (Interface) สัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ภายนอกเข้ากับภาคกระบวนการและเนื่องจากระดับสัญญาณแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าที่ได้มาจากอุปกรณ์ภายนอกอาจจะเป็นได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับ อีกทั้งปริมาณกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพื่อให้ความปลอดภัยต่อภาคกระบวนการดังนั้นจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในระดับและรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งเข้าไปยังภาคกระบวนการซึ่งในโครงการนี้สัญญาณที่ส่งเข้าไปยังภาคอินพุตนั้นจะต้องอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับ 0 และ 24 โวลต์ หลังจากนั้นจะทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับ 0 และ 5 โวลต์ เพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในภาคกระบวนการให้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย

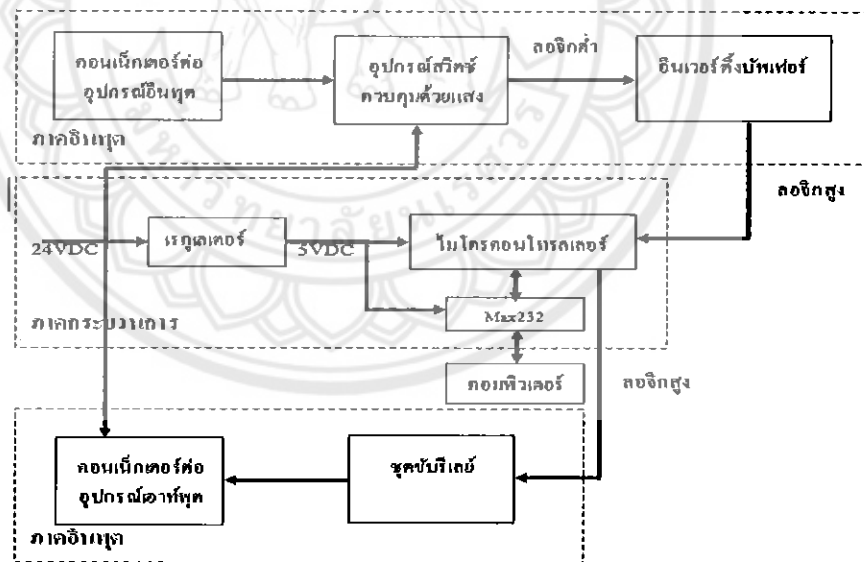
3) ภาคเอาต์พุต (Output Unit) มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างภาคกระบวนการกับอุปกรณ์ภายนอกเนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในภาคกระบวนการจะออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 และ 5 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มระดับแรงดันให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ภายนอกที่จะนำมาต่อร่วมด้วย สำหรับในโครงการนี้จะนำไปส่งงานรีเลย์ขนาด 24 [VDC] ก่อน แล้วจึงนำเอาหน้าสัมผัสของรีเลย์ไปส่งงานอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไป

4) ภาคแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply) คือ ชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องพีแอลซีซึ่งจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าให้เลือกใช้งานอยู่หลายระดับด้วยกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมสำหรับโครงการนี้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆและมีความปลอดภัยต่อตัวผู้ใช้งานจึงเลือกระดับแรงดัน 24 [VDC] และ 5 [VDC] มาใช้งาน

ในส่วนของอุปกรณ์โปรแกรมมิ่ง (Programming Device) ใช้เป็นชุดเครื่องมือสำหรับสร้างหรือแก้ไขการทำงานโปรแกรมและเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำของตัวควบคุม (Burn) ในโครงการนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

1. ออกแบบพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

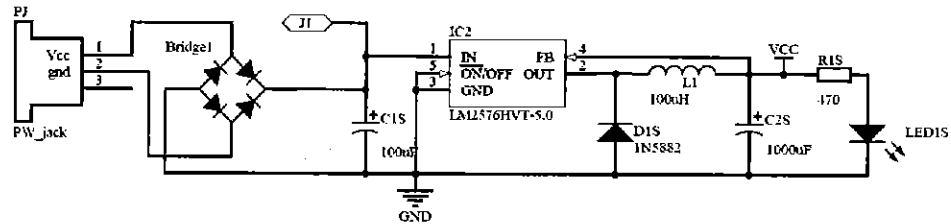
พีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ออกแบบเป็น 3 ส่วนหลักๆคือ ภาคกระบวนการ ภาคอินพุต และภาคเอาต์พุต ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญและหลักการทำงานโดยรวมสามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 3.5 เมื่อจ่ายไฟ 24 [VDC] ให้กับภาคกระบวนการ ซึ่งต่อไปยังภาคอินพุต/เอาต์พุตด้วยกัน โดยในภาคกระบวนการจะแปลงไฟด้วยเรกูเลเตอร์ให้เป็น 5VDC เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Max232 เพื่อแปลงสัญญาณให้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม จากนั้นเมื่อมีสัญญาณจากอุปกรณ์อินพุตจะถูกส่งผ่านอุปกรณ์สวิตช์ควบคุมด้วยแสงเนื่องจากในสภาวะลอจิกต่ำและจะถูกอินเวอร์ตด้วยบัฟเฟอร์กับสถานะให้เป็นลอจิกสูง เพื่อส่งไปยังภาคกระบวนการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล เมื่อประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณในสภาวะลอจิกสูงไปยังภาคเอาต์พุต เข้าสู่ชุดขับรีเลย์เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ พีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A มีคุณสมบัติดังนี้ ขาเข้าสัญญาณ 16 ขา ขาออกสัญญาณ 14 ขา สามารถดัดแปลงให้เป็นอนาล็อกอินพุตได้จำนวน 8 ช่อง สามารถดัดแปลงให้เป็นอนาล็อกเอาต์พุตได้จำนวน 1 ช่อง 1 พอร์ตอนุกรม (RS 232) ใช้งานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟขนาดแรงดัน 24 [VDC] เขียนและแก้ไขโปรแกรมด้วยแผนภาพแลดเจอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ดาวน์โหลดโปรแกรมแผนภาพแลดเจอร์จากคอมพิวเตอร์เข้าพีแอลซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม(RS-232)



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบของพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

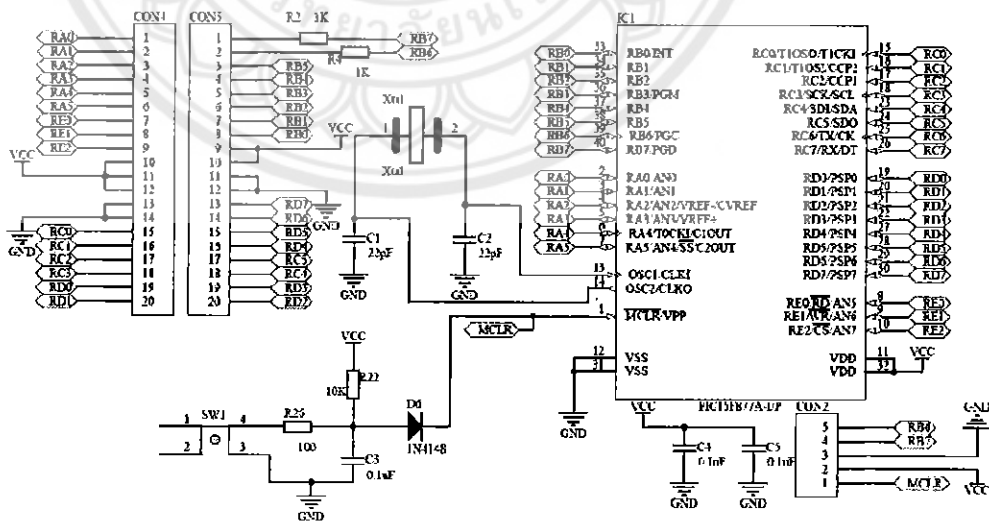
จากหลักการ โดยรวมและคุณสมบัติดังกล่าว โครงการนี้ได้ออกแบบวงจรในแต่ละส่วนซึ่งจะอธิบายหลักการทำงานของวงจรส่วนต่างๆ ไว้ในหัวข้อต่อไป

จากรูปที่ 3.7 เมื่อมีแรงดันไฟฟ้า 24 [VDC] จ่ายเข้ามาที่ PJ Power Jack กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านไดโอดบริดจ์เข้าไปที่ขา 1 ของไอซี2 เรกยูเลเตอร์เพื่อลดแรงดันให้เหลือ 5VDC เพื่อจ่ายให้กับวงจรในส่วนต่างๆ สภาวะของแรงดันแสดงโดย LED1S สำหรับ C1S จะทำหน้าที่กรองแรงดันขาเข้าไอซี2 ส่วน C2S จะเป็นตัวกรองแรงดันด้านขาออก



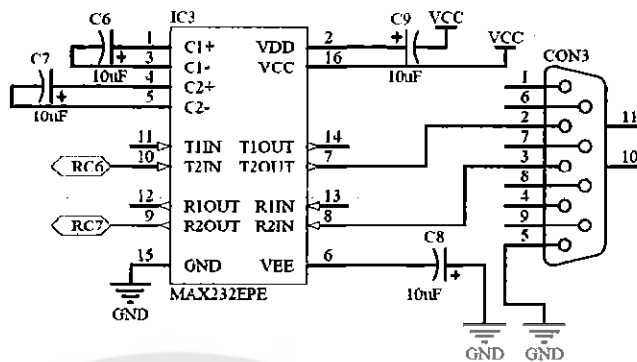
รูปที่ 3.7 วงจรรักษาระดับแรงดัน

จากรูปที่ 3.8 ไอซี1 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้ ขา11(VDD) และ 32(VDD) จะถูกต่อเข้ากับแรงดันไฟฟ้า 5 [VDC] (VCC) ส่วนขา 12(VSS) และ 31(VSS) จะถูกต่อเข้ากับ 0 VDC (กราวด์) ในส่วนของขา 1(MCLR) จะต้องได้รับแรงดันไฟฟ้า 5 [VDC] ด้วย โดยจะมีตัวต้านทาน R22 ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและต่อไดโอด D6 ไว้เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของ SW1 ต่อไว้เพื่อใช้รีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมี R26 ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและ C3 ต่อไว้เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการรีเซ็ตตัวเองทุกครั้งที่มีการจ่ายไฟในครั้งแรก ส่วนขา 39(RB6) และ 40(RB7)ต่อเข้าคอนเน็กเตอร์ CON2 เพื่อไว้ต่อกับเครื่องโปรแกรมขานอื่นๆที่เหลือจะถูกนำไปต่อไว้ใช้งาน โดยจะเข้ากับคอนเน็กเตอร์ CON4, CON5



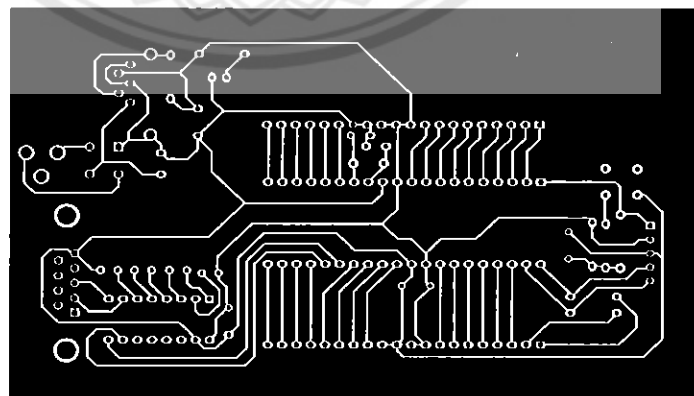
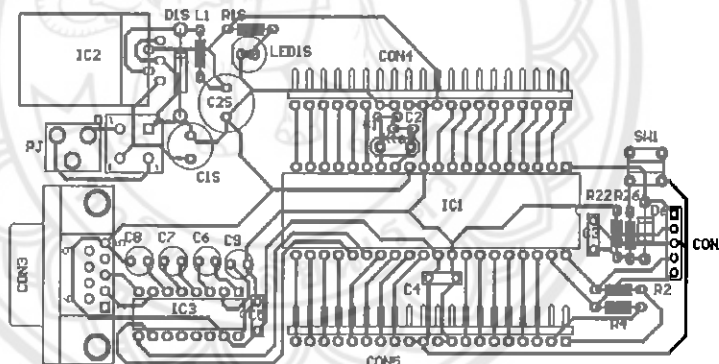
รูปที่ 3.8 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ขา 25 (RC6) และ 26 (RC7) ใช้ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS-232) โดยระดับแรงดันสัญญาณที่ออกมาจาก ไอซี1 จะถูกแปลงสัญญาณด้วย ไอซี 3 MAX232 ก่อน จึงจะสามารถนำไปเชื่อมต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ดังรูปที่ 3.9



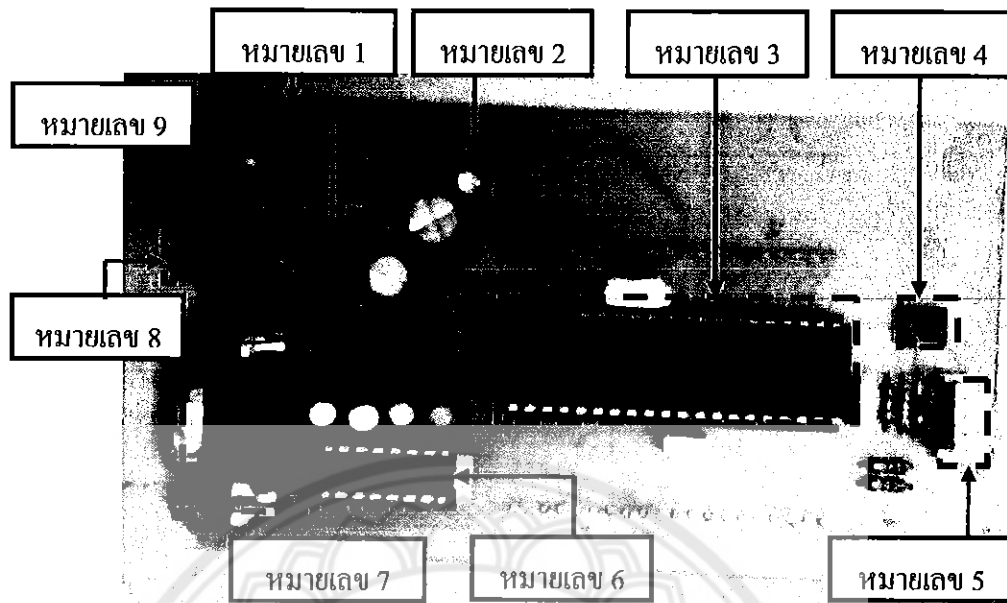
รูปที่ 3.9 การต่อใช้งาน MAX232 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

หลังจากออกแบบวงจรในภาคกระบวนการแล้วทำการออกแบบลายวงจร โดยมีลายวงจร และตำแหน่งของอุปกรณ์ในภาคกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลายวงจรและตำแหน่งของอุปกรณ์ในภาคกระบวนการ

หลังจากกัลดายวงจรจากลายวงจรในรูปที่ 3.10 และนำอุปกรณ์มาบัดกรีตามตำแหน่งที่
ออกแบบไว้จะได้ภาคอินพุตและเอาต์พุตที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.11

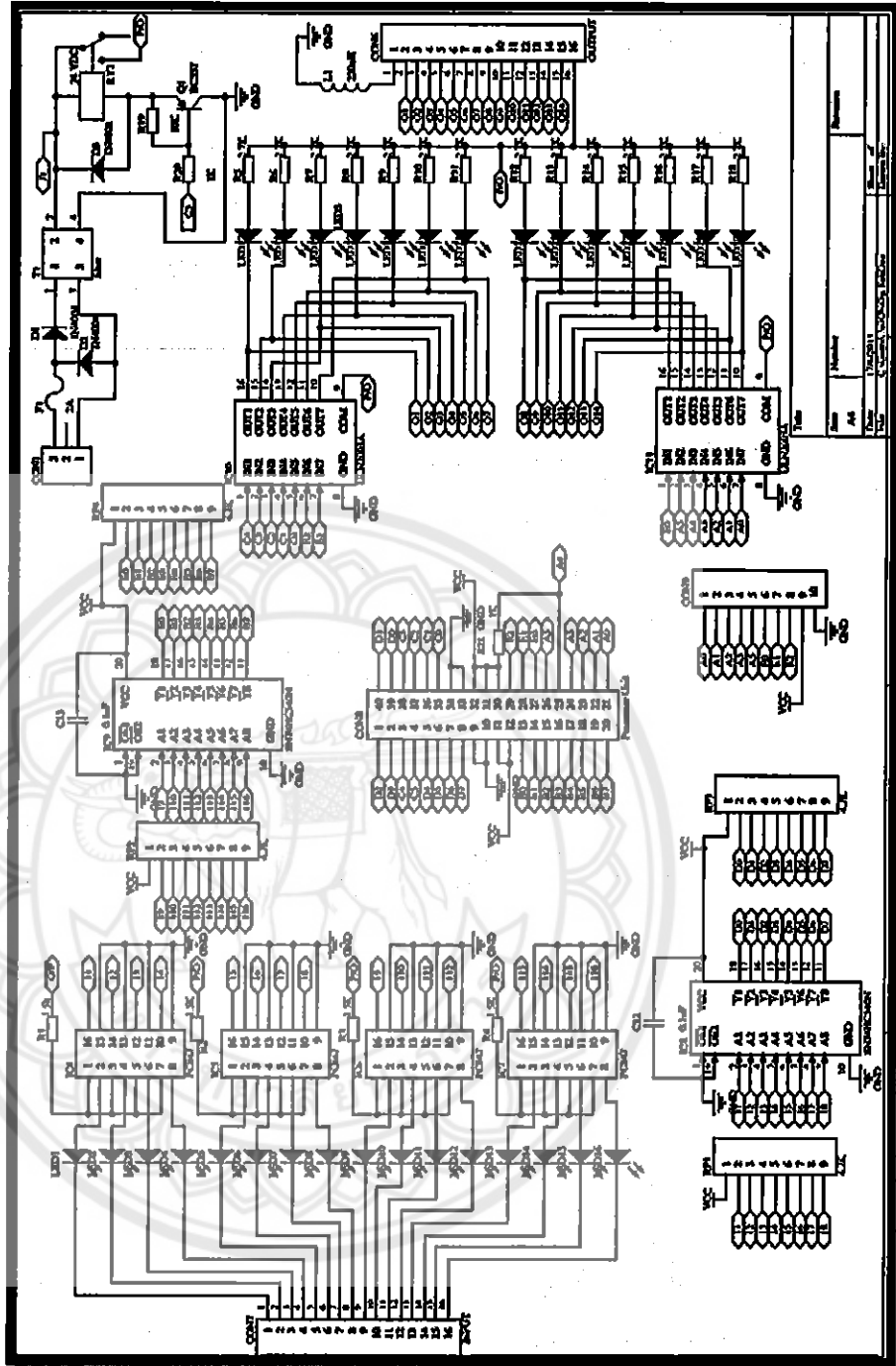


รูปที่ 3.11 ภาคกระบวนการแบบสมบูรณ์

หน้าที่และอุปกรณ์ที่สำคัญในภาคกระบวนการในรูปที่ 3.11

- หมายเลข 1 คือ ไอซี 2 LM2576 พร้อมตัวระบายความร้อน รักษาแรงดันแรงดันกระแสตรง +5 โวลต์
- หมายเลข 2 คือ ไดโอดเปล่งแสง 1S แสดงผล (สีเหลือง) ใช้แสดงสถานะพร้อมการทำงานของภาค
กระบวนการ
- หมายเลข 3 คือ ไอซี 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไอซีเบอร์ 16F877A ทำหน้าที่ประมวลผลและเป็น
หน่วยความจำ
- หมายเลข 4 คือ SW1 ไมโครสวิตช์ที่ใช้ในรีเซต ไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 5 คือ CON2 คอนเน็กเตอร์ ใช้ต่อกับเครื่องโปรแกรม
- หมายเลข 6 คือ ไอซี 3 MAX232 ทำหน้าที่ช่วยให้พีแอลซีติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน
พอร์ตอนุกรม RS-232
- หมายเลข 7 คือ CON3 เป็น DB9 พอร์ตอนุกรมใช้เป็นตัวเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232
- หมายเลข 8 คือ PJ เป็น Power Jack รับไฟ 24 [V] จากแหล่งจ่ายแรงดัน
- หมายเลข 9 คือ บริดจ์ไดโอดทำหน้าที่จัดเรียงกระแสจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

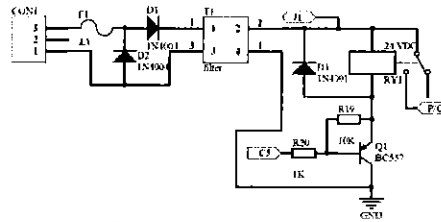
2) วงจรและหลักการทํางานภาคอินพุต/เอาต์พุต โดยรวม



รูปที่ 3.12 รูปวงจรภาคอินพุต/เอาต์พุต

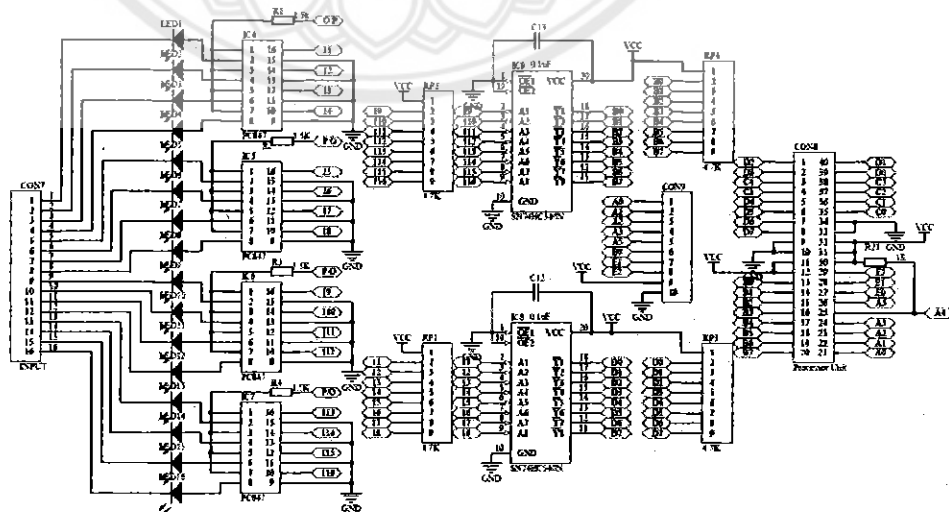
3. การทำงานภาคอินพุต

จากรูปที่ 3.13 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 24 [VDC] เข้ามาที่ขา 1 และ 3 ของ CON1 กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านฟิวส์ F1 ผ่านไดโอด D1 ผ่านขดลวด T1 ไปอยู่ที่รีเลย์ RY1 ส่วนกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลไปที่จุด J1 ซึ่งจะถูกรับไปที่บริดจ์ ในรูปที่ 3.1 เพื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจรส่วนนี้



รูปที่ 3.13 วงจรขั้วรีเลย์เพื่อใช้จ่ายแรงดันให้กับภาคอินพุต/เอาต์พุต

การจ่ายแรงดันให้กับส่วนอินพุตจะต้องกำหนดสถานะลอจิกต่ำ (0 [VDC]) ที่ขา 24(C5) ของภาคกระบวนการ (CON8) ในรูปที่ 3.14 เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ Q1 เริ่มนำกระแส และทำให้รีเลย์ RY1 เริ่มทำงานด้วย เมื่อรีเลย์ทำงานกระแสไฟฟ้าก็จะสามารถไหลไปยังจุด O/P ได้ และในจังหวะเดียวกันนี้เองขา 16 และ 15 ของ ไอซี1 ที่ภายในเป็นทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสเป็นผลทำให้แรงดันที่ขา 1 ของตัวต้านทานเปิดเว็รค (RP1) ในรูปที่ 3.14 ผลที่ได้คือ ทำให้สถานะขา 2 ของ ไอซี1 ได้รับสถานะลอจิกต่ำ และส่งไปยัง ไอซี9 SN74HC540N ที่มีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์ตติ้งบัฟเฟอร์ (inverting buffer) ก็จะทำการให้ที่เอาต์พุตเป็นสถานะตรงข้าม ซึ่งในที่นี้คือ ลอจิกสูง เมื่อกลับสถานะลอจิกแล้วสัญญาณจะถูกส่งไปให้ขา 19 ของภาคกระบวนการ (CON8) เพื่อนำไปประมวลผลในลำดับต่อไป จากที่ได้อธิบายมาเป็นการทำงานของการรับสัญญาณอินพุตเพียง 1 จุดเท่านั้น ซึ่งส่วนที่เหลืออีก 15 จุดก็จะมีการทำงานเหมือนกัน โดยมีวงจรภาคอินพุตดังรูปที่ 3.14

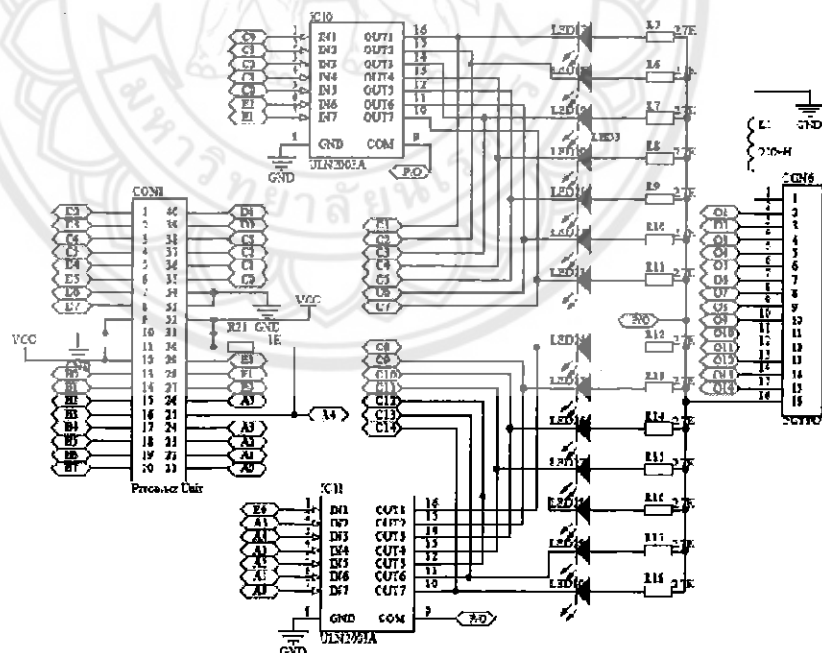


รูปที่ 3.14 วงจรภาคอินพุต

จากรูปที่ 3.14 CON9 เป็นจุดต่อสัญญาณอนาล็อกจำนวน 8 จุด ซึ่งจะถูกเชื่อมต่อไปยังขา 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 และ 10 ของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A โดยตรงดังนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องใช้งานการอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกก็สามารถนำแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 ถึง 5 [VDC] จ่ายเข้าไปได้ แต่หากมีการใช้โหมคอนาล็อกก็จะทำให้ไม่สามารถใช้งานเอาต์พุตได้ครบทั้งหมด 14 จุด และจำเป็นต้องออกแบบระบบการป้องกันไว้ด้วย เนื่องจากในกรณีที่มีกระแสหรือแรงดันไหลเข้าไปที่ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์มากเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ไมโครคอนโทรลเลอร์

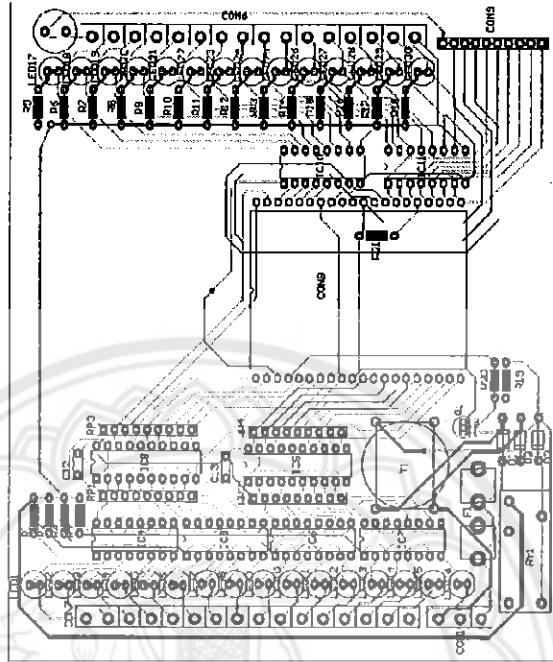
4. การทำงานภาคเอาต์พุต

จากรูปที่ 3.15 การทำงานทางด้านเอาต์พุต เริ่มต้นเมื่อมีสัญญาณลอจิกสูงส่งออกมาที่ขา 23 ของพีไอซีเบอร์ 16F877A สัญญาณจะถูกส่งต่อมาเข้าที่ขา 9 ของชุดขับรีเลย์ ไอซี 10 ในกรณีที่มีการสัญญาณลอจิกสูงจากพีไอซีเบอร์ 16F877A มากระตุ้นที่ขา 1 ของ ไอซี 10 ก็จะทำให้ที่ขา 16 ของ ไอซี 10 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0 VDC ดังนั้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้า 24 [VDC] ที่รอกอยู่ที่จุด O/P สามารถไหลผ่าน R5 ทำให้ LED17 ติดสว่าง ในขณะที่หากมีรีเลย์ 24 [VDC] มาต่อคร่อมเอาไว้ที่ขา 16 และขา 2 ของ CON10 ก็จะทำให้รีเลย์ทำงานด้วย ซึ่งการทำงานอีก 13 จุด ที่เหลือก็จะเป็นรูปแบบเดียวกัน



รูปที่ 3.15 วงจรภาคเอาต์พุต

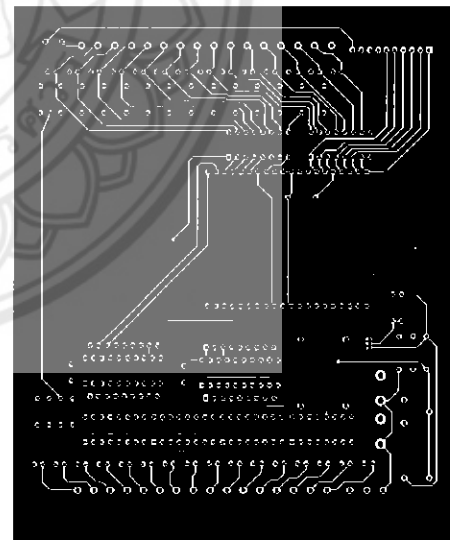
หลังจากออกแบบลายวงจรในส่วนของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต เนื่องจากในภาคอินพุต/เอาต์พุตต้องออกแบบเป็นลายวงจรสองหน้า ซึ่งมีลายวงจรและตำแหน่งอุปกรณ์โดยรวมของภาคอินพุต/เอาต์พุตทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังรูปที่ 3.16 ในส่วนของลายวงจรในภาคอินพุต/เอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 ลายวงจรและการวางตำแหน่งอุปกรณ์ภาคอินพุต/เอาต์พุต



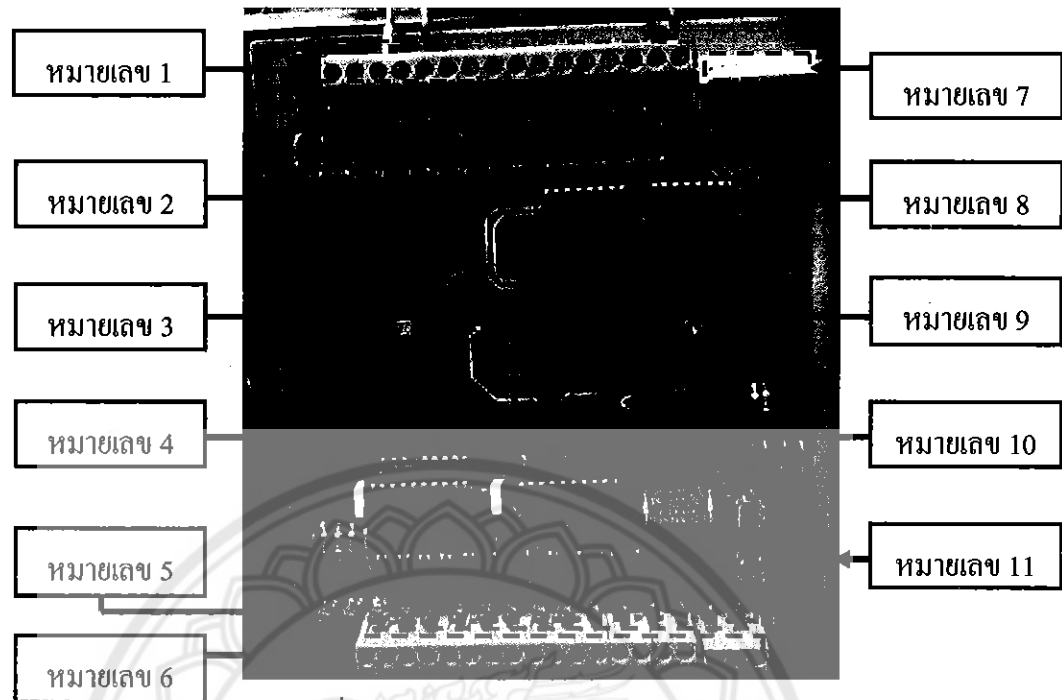
ก.ด้านบน



ข.ด้านล่าง

รูปที่ 3.17 ลายวงจรภาคอินพุต/เอาต์พุต (ด้านบนและด้านล่าง)

หลังจากคัดลายวงจรจากลายวงจรในรูปที่ 3.17 และนำอุปกรณ์มาบัดกรีตามตำแหน่งที่
ออกแบบไว้จะได้ภาคอินพุตและเอาต์พุตที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ภาคอินพุต/เอาต์พุตแบบสมบูรณ์

จากรูปที่ 3.18 หน้าทีและอุปกรณ์ที่สำคัญของภาคอินพุต/เอาต์พุต

หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อเอาต์พุต

หมายเลข 2 คือ ไดโอดเปล่งแสง (สีแดง) แสดงสถานะเอาต์พุต

หมายเลข 3 คือ ไอซีเบอร์ SN74HC540N ทำหน้าที่กลับสัญญาณจากต่ำให้เป็นสูง

หมายเลข 4 คือ ไอซีเบอร์ PC817 ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

หมายเลข 5 คือ ไดโอดเปล่งแสง (สีเขียว) แสดงสถานะอินพุต

หมายเลข 6 คือ ขั้วต่ออินพุต

หมายเลข 7 คือ จุดต่อสัญญาณอนาล็อกจำนวน 8 จุด

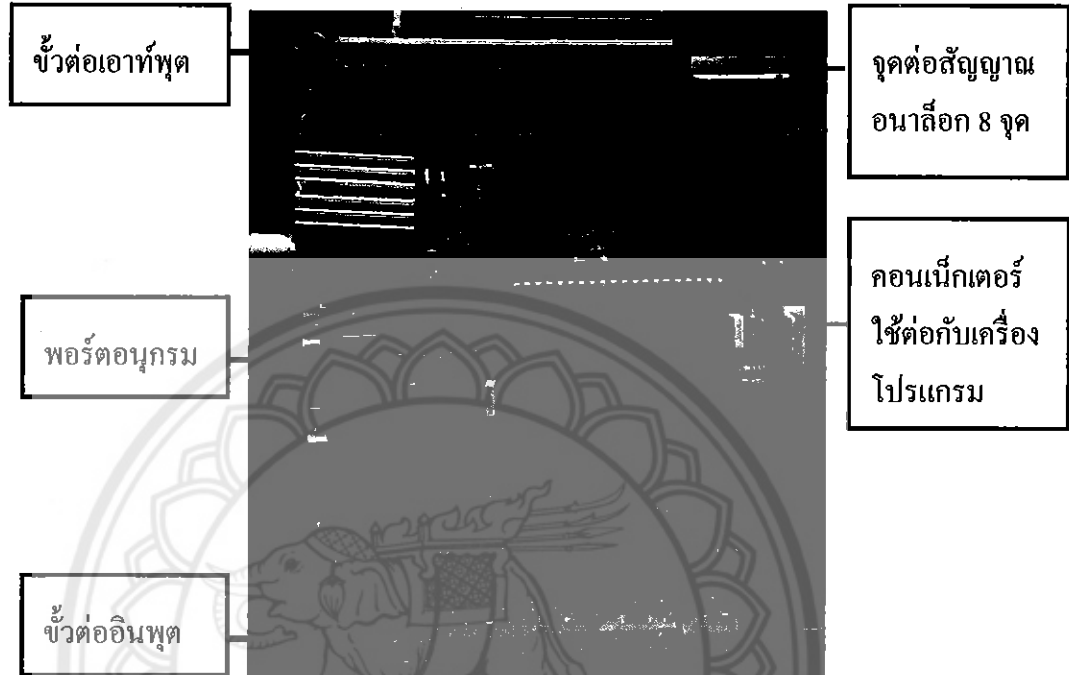
หมายเลข 8 คือ ULN2003AN ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันที่เอาต์พุต

หมายเลข 9 คือ ฟิวเจอร์ทำหน้าที่กรองสัญญาณ

หมายเลข 10 คือ ฟิวส์ทำหน้าที่ตัดวงจรหากกระแสเกิน

หมายเลข 11 คือ รีเลย์ 24 [VDC] ทำหน้าที่จ่ายไฟให้ภาคอินพุต/ภาคเอาต์พุตทำงานเมื่อถูกกระตุ้น

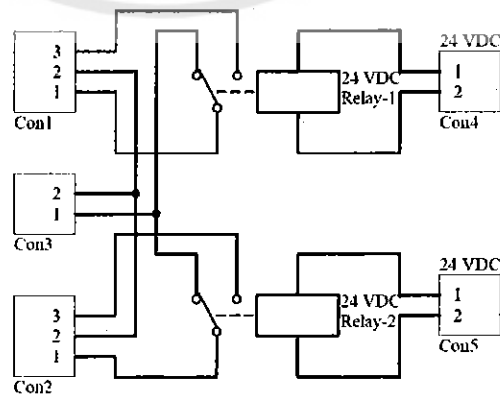
หลังจากการออกแบบวงจรในภาคกระบวนการและภาคอินพุต/เอาต์พุต และลงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตามต้องการแล้ว จะสังเกตเห็นว่าภาคกระบวนการกับภาคอินพุต/เอาต์พุต สามารถถอดและแยกออกจากกันได้ เนื่องจากความสะดวกสบายในการถอดภาคกระบวนการในการเบิร์นโปรแกรม เมื่อนำทั้งสองภาคมาต่อกันจะได้พีแอลซีที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ภาคกระบวนการกับอินพุต/เอาต์พุตแบบสมบูรณ์

3.2.3 ชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล

วงจรรีเลย์ในที่นี้ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสถานะโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพื่อให้มีการเปิดหรือปิดหน้าสัมผัสรีเลย์มีวงจรดังรูปที่ 3.20



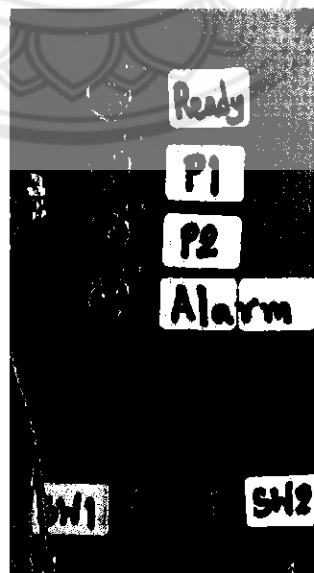
รูปที่ 3.20 วงจรรีเลย์

หลังจากออกแบบวงจรเรียบร้อยแล้วนำอุปกรณ์มาจัดเรียงลงในบอร์ด ไปปลาตามทีออกแบบไว้ โดยหมายเลข 1 รับสัญญาณเอาต์พุตจากพีแอลซีเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์เปลี่ยนสถานะ หมายเลข 2 คือ คอนเน็คเตอร์ที่ต่อกับหน้าสัมผัสรีเลย์ที่มี 3 ขั้วต่อ คือ 1) ขั้วต่อหน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) 2) ขั้วต่อคอมมอน (Common) 3) ขั้วต่อหน้าสัมผัสปกติปิด (NC) หมายเลข 3 ต่อกับไฟ 220 VAC จะได้วงจรสมบูรณ์ดังรูปที่ 3.21



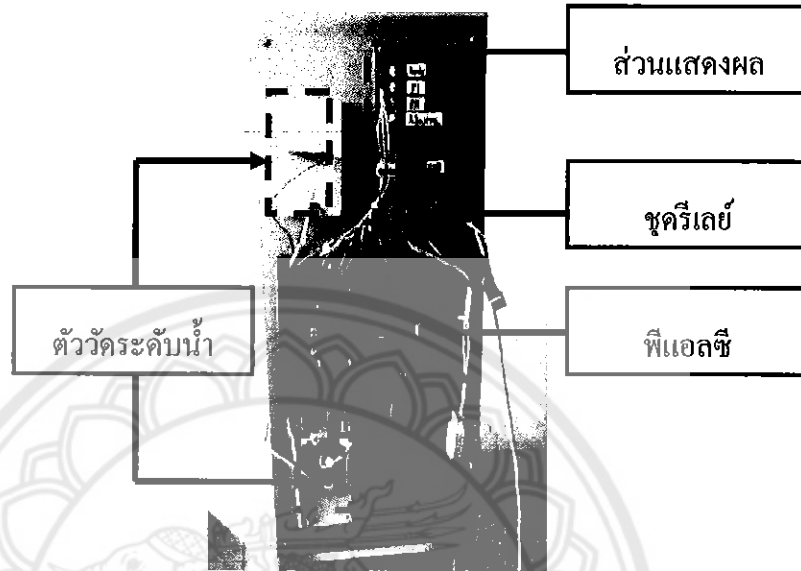
รูปที่ 3.21 วงจรรีเลย์แบบสมบูรณ์

ส่วนแสดงผลทำหน้าที่แสดงการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อให้ผู้ใช้งานเห็นถึงการทำงานได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งในโครงงานนี้ได้อัดแปลงแสงเป็นตัวแสดงผลมี 4 หลอดแสดงการทำงานคือ Ready บอถึงสถานะพร้อมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ P1 บอถึงสถานะมอเตอร์ปั้มน้ำตัวที่ 1 กำลังทำงาน P2 บอถึงสถานะมอเตอร์ปั้มน้ำตัวที่ 2 กำลังทำงาน Alarm บอถึงสถานะการแจ้งเตือนน้ำล้น SW1 เป็นสวิทช์ เปิด/ปิด การทำงานมอเตอร์ปั้มน้ำ SW2 เป็นสวิทช์สลับการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ ดังรูปที่ 3.22



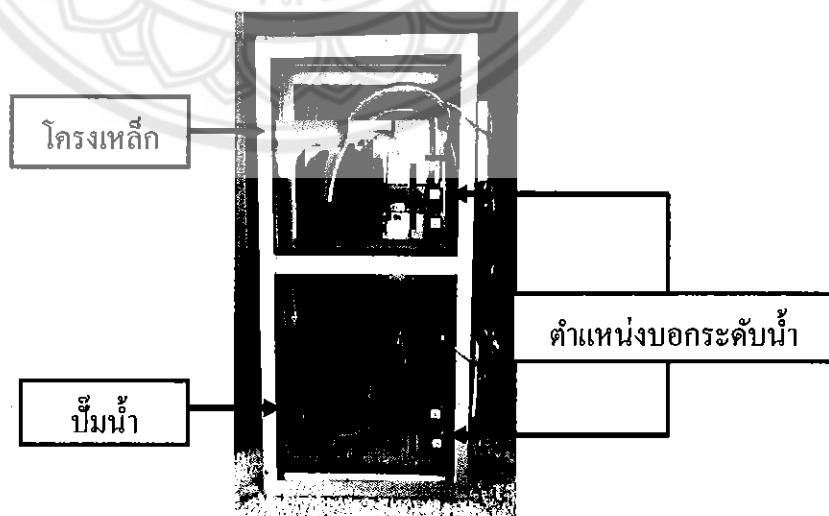
รูปที่ 3.22 ส่วนแสดงผลการทำงาน

จากหลักการ โดยรวมในการออกแบบข้างต้น ได้สร้างระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำขึ้น โดยจะควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ 2 ตัว ปั้มน้ำจากตู้กระจกด้านล่างไปเก็บที่ตู้กระจกด้านบนแล้วนำน้ำจากตู้กระจกด้านบนไปใช้งานซึ่งอิเล็กทรอนิกส์สามารถวัดระดับน้ำ 4 ระดับเป็นสัญญาณอินพุตส่งไปยังส่วนประมวลผลเพื่อให้ชุดควบคุมสั่งงานให้ปั้มน้ำให้ทำงาน โดยอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่เขียนควบคุม โดยแบบจำลองมีส่วนประกอบดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ(ด้านหน้า)

จากรูปที่ 3.24 เป็นโครงสร้างโดยรวมของระบบจำลองทดสอบการทำงานมอเตอร์ปั้มน้ำ ซึ่งจะประกอบด้วย 1) โครงเหล็ก 2 ชั้น ชั้นบนและชั้นล่าง 2) ตำแหน่งบอกระดับน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่บอกระดับน้ำโดยมีอุปกรณ์วัดระดับน้ำรับอินพุตส่งไปยังส่วนประมวลผลเพื่อให้ชุดควบคุมสั่งงานให้ปั้มน้ำให้ทำงาน 3) ปั้มน้ำทำหน้าที่ปั้มน้ำจากชั้นล่างขึ้นชั้นบนจากคำสั่งของพีแอลซี

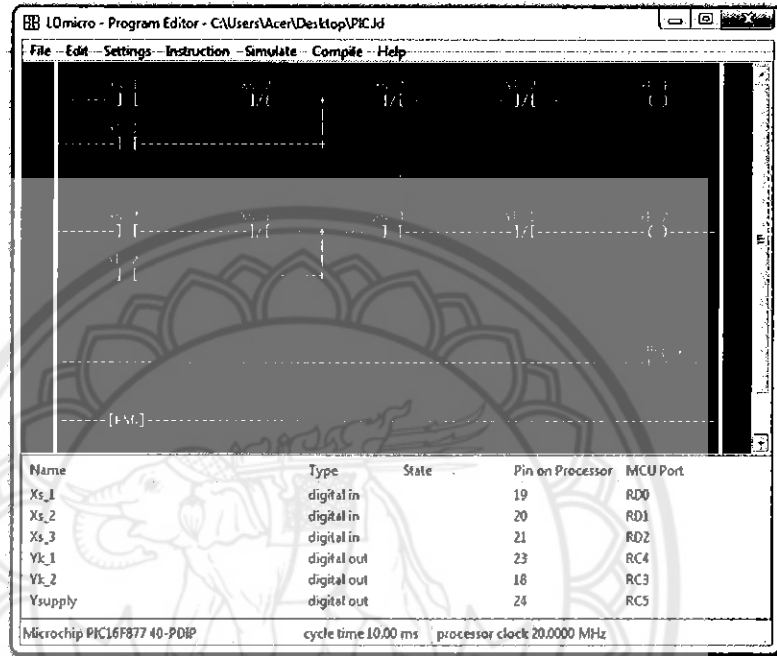


รูปที่ 3.24 ระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ(ด้านข้าง)

3.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยแผนภาพแลคเตอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยแผนภาพแลคเตอร์ในโครงการนี้ใช้โปรแกรมแอลดีไมโครในการเขียนเนื่องจากโปรแกรมแอลดีไมโครเป็นโปรแกรมที่สามารถ hex ไฟล์ ที่เขียนด้วยแผนภาพแลคเตอร์ให้ใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์

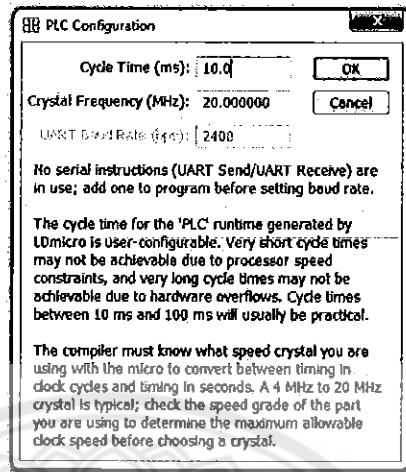
จากรูป 3.25 เป็นแผนภาพแลคเตอร์ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์แบบ After Stop Reversing ซึ่งเงื่อนไขการทำงานมีดังนี้

- Xs_1 เป็นตัวสั่งให้ Yk_1 ทำงาน
- Xs_2 เป็นตัวสั่งให้ Yk_2 ทำงาน
- Xs_3 เป็นตัวสั่งให้ Yk_1 หรือ Yk_2 หยุดทำงาน
- Yk_1 และ Yk_2 ห้ามทำงานพร้อมกัน

มีขั้นตอนการสร้างโปรแกรมในรูปที่ 3.25 ดังนี้

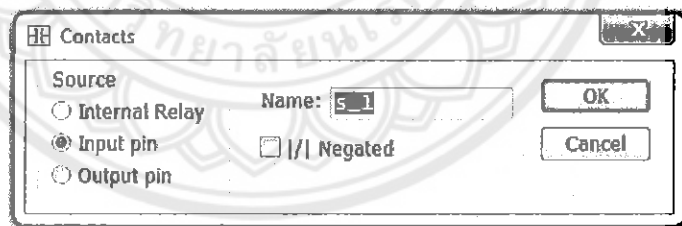
- 1) เปิดโปรแกรมแอลดีไมโคร
- 2) เปิดไฟล์ใหม่โดยเลือกไปที่ File > New
- 3) กำหนดเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกที่ Setting > Microchip > PIC16F877 40-PDIP

4) กำหนดคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกไปที่ Setting > MCU Parameters ก็จะมีหน้าต่าง PLC Configuration ปรากฏขึ้นมาให้ใส่ค่าดังรูปที่ 3.26 เสร็จแล้วกดปุ่ม OK เพื่อยอมรับการตั้งค่า



รูปที่ 3.26 การกำหนดค่าเวลา Cycle Time และความถี่ของไมโครคอนโทรลเลอร์

5) กำหนดโปรแกรมการทำงาน เลือกไปที่ Instruction > Insert Contacts หรือจะกดตัวอักษร "c" บนคีย์บอร์ดก็ได้ (สามารถสังเกตได้ที่ข้างหลังคำสั่งต่างๆ จะมีตัวอักษรหรือสัญลักษณ์เพื่อช่วยให้สามารถเรียกใช้งานคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว) หลังจากนั้นจะมี Contacts ชนิด NO. สีแดงแสดงขึ้นมา ให้กด Enter หรือ Double click จากนั้นหน้าต่าง Contacts จะปรากฏมาให้ทำการพิมพ์ "s_1" ลงในช่องที่อยู่หลังคำว่า name: ดังรูปที่ 3.27 หลังจากนั้นทำการเลือกที่ปุ่ม OK เพื่อยอมรับและปิดหน้าต่าง Contacts ได้ จากนั้นให้ใส่อุปกรณ์ต่างๆ ตามตัวอย่างในรูปที่ 3.25

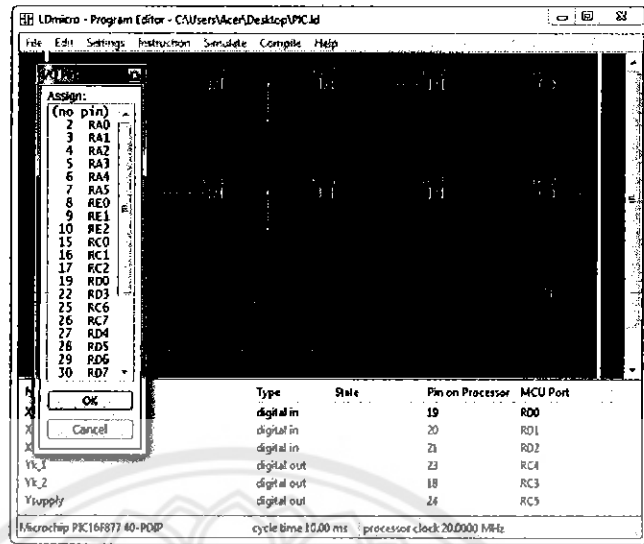


รูปที่ 3.27 หน้าต่างสำหรับการตั้งชื่อ Contacts

6) ก่อนใส่คำสั่ง END ให้ใส่ Coil ชนิดปกติทำงานและตั้งชื่อว่า Supply ในตำแหน่ง Rung สุดท้ายของโปรแกรม (จำเป็นต้องใส่ทุกครั้งเพื่อให้มีไฟ 24 [VDC] ไปจ่ายให้กับภาค Input และ Output ของพีแอลซี)

7) กำหนดขาของโปรแกรมให้ตรงกับขาของฮาร์ดแวร์ของเรา ให้สังเกตบริเวณที่ใช้สำหรับกำหนดรายละเอียดต่างๆ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ท่านก็จะเห็นชื่อต่างๆ ที่เคยตั้งเอาไว้ก่อนหน้านี้ปรากฏขึ้นมา อาทิเช่น Xs_1, Xs_2, Xs_3, Yk_1, Yk_2 และ Ysupply ยกตัวอย่างการกำหนด

ขา Xs_1 หลังจากที่ถูกกดดับเบิลคลิกแล้วจะปรากฏหน้าต่างชื่อ I/O Pin ขึ้นมา ให้เลือกไปที่ขา 19 ซึ่งตรงกับขา RD0 ของพีแอลซีและตามด้วยขาที่เหลืออื่นๆ ทั้งหมดดังรูปที่ 3.28



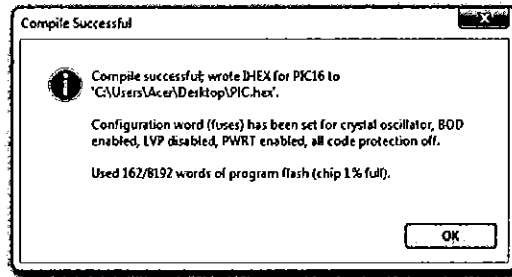
รูปที่ 3.28 การกำหนดขาสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก

8) เมื่อกำหนดขาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาว่าจะสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยให้เลือกไปที่ Simulate > Simulation Mode > Start Real-Time Simulation หลังจากนั้นให้ทดลองดับเบิลคลิกที่ Xs_1 หากถูกต้องจะเห็นว่า Yk_1 ทำงานได้ หลังจากนั้นก็ให้ทดสอบเงื่อนไขต่างๆ ที่เหลือ เมื่อเสร็จแล้วก็ให้เลือกไปที่ Simulate > Simulation Mode ก็จะกลับมาที่หน้าจอการเขียนโปรแกรมตามปกติ

9) เมื่อทุกอย่างครบถ้วนและถูกต้องแล้วให้ทำการบันทึกไฟล์ โดยเลือกไปที่ File > Save As จะมีหน้าต่าง Save As ปรากฏขึ้นมาให้ทำการตั้งชื่อไฟล์ตามต้องการและเก็บไว้ในกระเป๋าดูแล (เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและเป็นระเบียบในการจัดเก็บไฟล์ จึงแนะนำให้บันทึกไฟล์ไว้ที่เดียวกันกับที่เก็บโปรแกรม) ไฟล์ที่ได้จะเป็นนามสกุล .ld ในกรณีที่ต้องการพิมพ์ออกทางหน้าจอกระดาษหรือต้องการแปลงไฟล์เป็น .txt ให้เลือกไปที่ File > Export As Text ซึ่งไฟล์ที่ได้จะสามารถเปิดดูด้วยโปรแกรม Notepad และสามารถสั่งได้

10) ขั้นตอนต่อไปเป็นการแปลงไฟล์จากนามสกุล .ld ให้เป็นนามสกุล .hex โดยให้ผู้ใช้เลือกไปที่ Compile > Compile As จะมีหน้าต่าง Compile To ปรากฏขึ้นมาให้ท่านทำการตั้งชื่อไฟล์และกำหนดตำแหน่งจัดเก็บไฟล์ หลังจากนั้นก็ให้กำหนดเลือกที่ปุ่ม Save ถ้าหากไม่มีข้อผิดพลาดก็จะมีหน้าต่าง Compile Successful ปรากฏขึ้นมา (รูปที่ 3.29) เพื่อบอกรายละเอียดต่างๆ ของการแปลงไฟล์ ให้ผู้ใช้สังเกตข้อความในบรรทัดสุดท้าย ซึ่งเป็นการบอกขนาดของหน่วยความจำของ

โปรแกรมที่เราสามารถสร้างขึ้นมามีขนาดมากกว่า 100% เราจะไม่สามารถนำโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาไฟใช้งานได้เนื่องจากเกินขนาดของหน่วยความจำภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.29 แสดงข้อมูลรายละเอียดของการแปลงไฟล์

3.3.2 การโปรแกรมไฟล์ .hex ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A

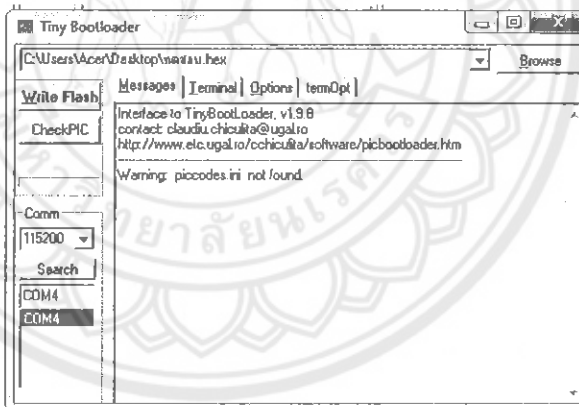
เมื่อได้ไฟล์ .hex ตามที่ต้องการแล้วให้นำไฟล์ที่ได้ไปทำการเขียน (Burn) ลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในการเขียนไฟล์ .hex นี้สามารถทำได้ 2 วิธี อย่างแรกเป็นการเขียนโดยใช้เครื่องโปรแกรมที่มีขายในท้องตลาด อาทิเช่น PICSTART PLUS, PicKit2 หรือ ICD2 เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้จะง่ายสำหรับท่านที่มีเครื่อง โปรแกรมอยู่แล้ว เพียงแค่นำไฟล์ .hex ที่ได้เขียนลงหน่วยความจำพีไอซีเบอร์ 16F877A ก็จะสามารถนำพีแอลซีที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ไปใช้งานได้

1) การสร้าง Boot Loader ให้กับพีแอลซี

โครงการนี้ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของเครื่องพีแอลซีเอาไว้ว่าสามารถโปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมได้ โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า Boot loader เพื่อให้เกิดความสะดวก โปรแกรม Boot Loader ที่จะนำมาใช้งานกับพีแอลซีจะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถตั้งเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ ในโครงการนี้ไม่ได้สร้างโปรแกรม Boot Loader เองแต่ดาวน์โหลดโปรแกรม Boot Loader จากอินเทอร์เน็ตมาใช้ ซึ่งโครงการนี้ใช้งาน Boot Loader ที่มีชื่อว่า Tiny PIC Boot loader[4] ซึ่งเขียนโดย Mr.Claudio Chiculita ซึ่งเป็นโปรแกรมขนาดเล็ก (100 words) และวิธีการใช้ก็ไม่ยุ่งยาก และสิ่งสำคัญในการใช้งาน Boot loader คือ ให้ทำการเขียนไฟล์ชื่อ tinybld_16F876A_20MHz.hex (โดยไฟล์ชื่อ tinybld_16F876A_20MHz.hex จะเก็บไฟล์ไว้ที่ C:\Program Files\tinybld198\picsource\16f) เข้าไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ก่อน เพราะหากเป็นไอซีที่ซื้อใหม่ตัว Boot Loader จะยังไม่ถูกบรรจุในไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำได้โดยการใช้เครื่องโปรแกรมเขียนไฟล์ tinybld_16F876A_20MHz.hex ผ่านโปรแกรม PICkit2 v2.40 เข้าไปในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ขั้นตอนนี้จะทำเพียงแค่ครั้งแรกครั้งเดียวหลังจากนั้นพีแอลซีจะสามารถตั้งเขียนโปรแกรมลงบนหน่วยความจำผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้โดยผ่านโปรแกรม Tiny PIC Boot loader

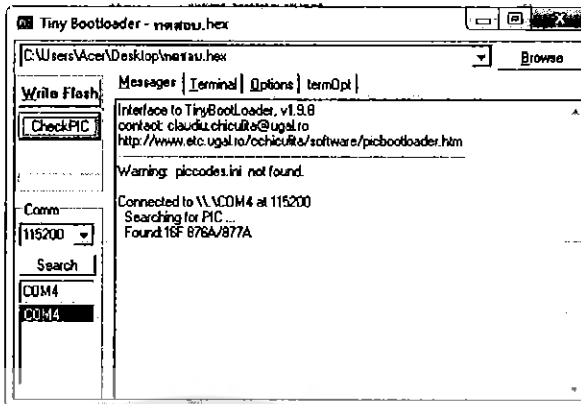
2) วิธีติดตั้งและใช้งาน โปรแกรม Tiny PIC Boot loader

- 1) คัดลอก Folder ที่มีชื่อว่า tinybld198 ไปวางไว้ใน Program Files ในไดรฟ์ C
- 2) คลิกขวาไฟล์ tinybldWin ที่ tinybld19 แล้วเลือก Send To Desktop (create shortcut)
- 3) ใช้สายต่อเชื่อมระหว่างพอร์ตอนุกรมของเครื่องพีแอลซี (ที่ผ่านการบรรจุ Boot loader แล้ว) เข้ากับพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าที่ตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่มีพอร์ตอนุกรม ก็สามารถนำสายแปลงสัญญาณ USB to RS232 มาใช้งานแทนก็ได้
- 4) จ่ายแรงดันเข้าที่เครื่องพีแอลซีจากนั้น LED1 จะติดสว่าง เพื่อแสดงสถานะพร้อมทำงาน
- 5) เปิดโปรแกรม tinybldWin ขึ้นมา (ถ้าใช้สายแปลงสัญญาณ USB to RS232 ในการเริ่มใช้งานครั้งแรกโปรแกรมอาจจะทำงานช้าบ้างเล็กน้อย)
- 6) กดปุ่ม Browse เพื่อเลือกไฟล์ .hex ที่ต้องการโหลดลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์
- 7) กำหนด Baud rate เท่ากับ 11520
- 8) เลือกพอร์ตอนุกรมที่ใช้งาน (COM port) โดยทั่วไปถ้าใช้ขั้วต่อพอร์ตอนุกรมที่ต่อกับคอมพิวเตอร์โดยตรงก็จะเป็นพอร์ต COM1 หรือ COM2 แต่ถ้าต่อโดยใช้สายแปลง USB to RS232 จะเป็นหมายเลขอื่นๆ ให้ตรวจสอบดูได้ที่ Device Manager ของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.30 แสดงโปรแกรม Tiny Bootloader

9) กด SW1 บนพีแอลซีเพื่อรีเซต และหลังปล่อย SW1 ให้กดปุ่ม CheckPIC ใน โปรแกรม Tiny PIC Boot loader ตามทันที ถ้าหากโปรแกรมตรวจสอบพบอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ก็จะมีข้อความแจ้งออกมาดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แสดงตรวจสอบพบอุปกรณ์

10) กด SW1 บนบอร์ดพีแอลซีเพื่อรีเซต และรีบกดปุ่ม Write Flash ตามทันที โปรแกรม Tiny PIC Boot loader ก็จะทำการเขียนไฟล์ .hex ลงบนพีแอลซีถ้าหากกระบวนการโปรแกรมเสร็จจะมีข้อความแจ้งออกมาว่า WRITER OK ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 กระบวนการโปรแกรมเสร็จ

11) เมื่อโหลดโปรแกรมเสร็จสามารถนำพีแอลซีที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A ไปควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติได้ได้ตามที่ออกแบบและเขียนโปรแกรมไว้ ซึ่งในโรงงานได้นำพีแอลซีที่พัฒนาขึ้นใช้เป็นส่วนควบคุมในระบบควบคุมมอเตอร์บีมน้ำ

3.4 การทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้จัดทำได้แบ่งการทดสอบของระบบได้ทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกทดสอบการทำงานของ อุปกรณ์วัดระดับน้ำ ขั้นตอนที่สองทดสอบการทำงานของพีแอลซีที่พัฒนาจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขั้นตอนที่สามทดสอบการทำงานซุ้รึ่ลย์กับส่วนแสดงผล และขั้นตอนสุดท้ายทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ หลังจากทำการทดสอบเมื่อ ได้ผลนำมาสรุปและวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดในการทดสอบแต่ละขั้นตอนจะกล่าวไว้ในบทที่ 4

3.5 จัดทำเล่มปฏิญานิพนธ์

เมื่อศึกษาข้อมูลเพื่อนำไปสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และได้ผลการทดลองออกมาแล้ว ได้นำผลการทดลองที่ได้พร้อมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษา และสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาวิเคราะห์เพื่อสรุปและเรียบเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปเล่มปฏิญานิพนธ์ตามความเหมาะสม



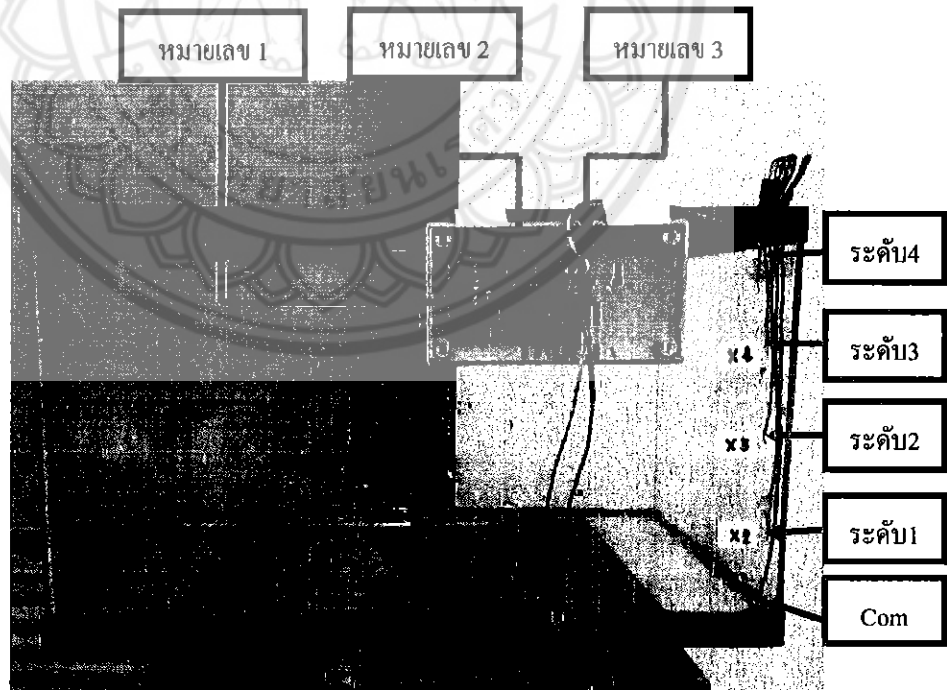
บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

หลังจากการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ ที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2 ออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ ผู้จัดทำโครงการได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ ซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ 1.ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ 2.ทดสอบการทำงานของพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ 3.ทดสอบการทำงานชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล 4.ทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ซึ่งในแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้

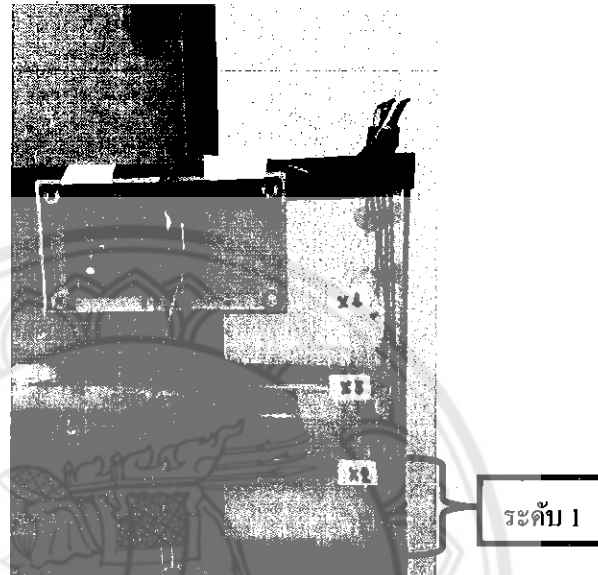
4.1 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

ในการทดสอบการทำงานในส่วนนี้ผู้จัดทำได้นำอุปกรณ์วัดระดับน้ำต่อกับก้านอิเล็กทรอนิกส์ 5 ก้านที่ (หมายเลข 3) โดยจะวัดได้ 4 ระดับ และนำก้านอิเล็กทรอนิกส์ ทั้ง 5 ก้านมาติดลงในตู้กระจกขนาด 14 นิ้ว ให้ก้านที่ลึกที่สุดเป็นขาคอมมอน (Common) และติดไล่ระดับขึ้นมาอีก 4 ระดับ โดยมีไดโอดเปล่งแสง 4 หลอด (หมายเลข 1) แสดงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของระดับน้ำ และมีไฟเลี้ยงต่อกับอุปกรณ์วัดระดับน้ำ 5 [VDC] (หมายเลข 2) ดังรูปที่ 4.1

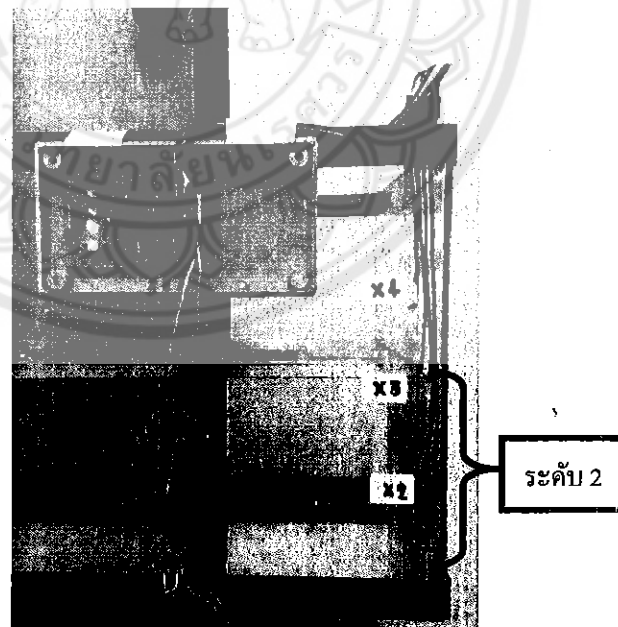


รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

หลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับน้ำเรียบร้อยแล้วผู้จัดทำได้ทำการทดสอบการทำงานโดยจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์วัดระดับน้ำ และเริ่มเติมน้ำลงในตู้ เมื่อน้ำที่เติมถึงระดับใดใด โดคเปล่งแสงที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำของแต่ละระดับจะติดแสดงดังรูปที่ 4.2 ก.ระดับน้ำอยู่ที่ระดับ 1 จะเห็นว่า โดคเปล่งแสงที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำที่ระดับ 1 ติด และ 4.2 ข.ระดับน้ำอยู่ที่ระดับ 2 จะเห็นว่า โดคเปล่งแสงที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำที่ระดับ 1 และระดับ 2 ติด ผลการทดลองอุปกรณ์วัดระดับน้ำบอกได้ถูกต้องตามระดับของน้ำในตู้กระจกที่เปลี่ยนไป



ก. ระดับน้ำอยู่ที่ระดับ 1



ข. ระดับน้ำอยู่ที่ระดับ 2

รูปที่ 4.2 การแสดงผลการทดลองของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

4.2 ทดสอบการทำงานของพีแอลซี

ในการทดสอบการทำงานของพีแอลซีผู้จัดทำได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ วัดระดับแรงดันในส่วนต่างๆของพีแอลซี และทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุต

4.2.1 วัดระดับแรงดันในส่วนต่างๆของพีแอลซี

ในการทดสอบระดับนี้ผู้จัดทำได้วัดระดับแรงดันในส่วนต่างๆของพีแอลซีเทียบกับกราวด์ของระบบทั้งหมด 5 ส่วน คือ ระดับแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟของพีแอลซี แรงดันที่ขาไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ แรงดันที่จ่ายในภาคอินพุต/เอาต์พุต แรงดันที่ขั้วต่ออินพุต และแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุต

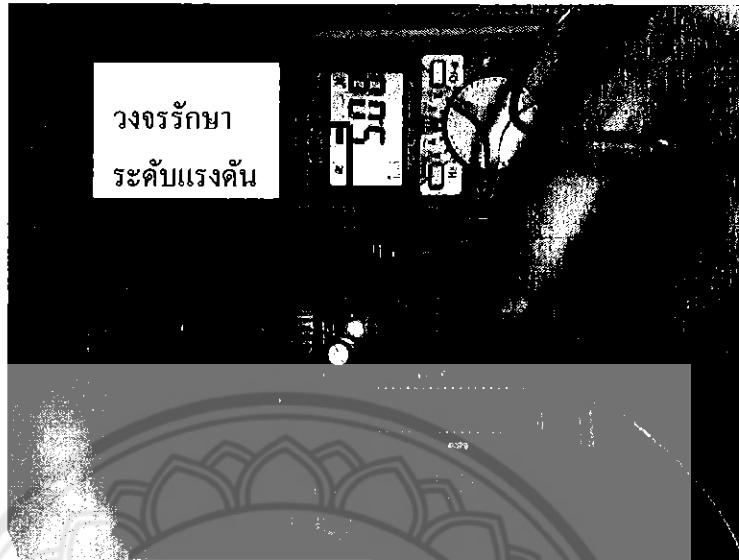
1) ระดับแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟของพีแอลซี โครงการนี้ใช้หม้อแปลงไฟจาก 220 [VAC] ให้เป็น 24 [VDC] ซึ่งจากการวัดระดับแรงดันที่ออกมา มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากหม้อแปลงที่ซื้อมา ประกอบมีระดับแรงสูงกว่าที่ระบุทำให้แรงดันวัดได้จริง มีค่าอยู่ที่ 33.3 [VDC] แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจากผลที่วัดได้ผู้จัดทำได้นำไปใช้กับพีแอลซีที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นพบว่าสามารถได้ใช้กับแรงดันระดับนี้โดยไม่เกิดผลเสีย



รูปที่ 4.3 แสดงการวัดระดับแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟของพีแอลซี

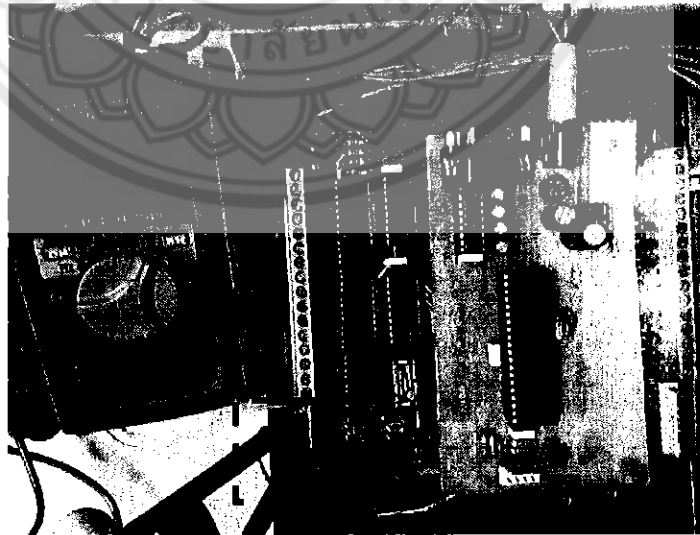
2) แรงดันที่ขาไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ โครงการนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A มาเป็นส่วนประมวลผลของพีแอลซี โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ต้องการไฟเลี้ยงระดับแรงดัน 5 [VDC] และโครงการนี้ได้ออกแบบให้มีวงจรรักษาระดับแรงดันให้ได้ระดับ

แรงดัน 5 [VDC] ซึ่งผู้จัดทำได้ทดสอบโดยการวัดระดับแรงดันระหว่าง ขาไฟเลี้ยงขา 11 (V_{DD}) กับ ขากราวด์ขา 31 (V_{SS}) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคกระบวนการพีแอลซี ระดับแรงดันที่วัดได้ คือ 5.08 [VDC] เป็นไปตามที่ต้องการ และเหมาะสมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 4.4



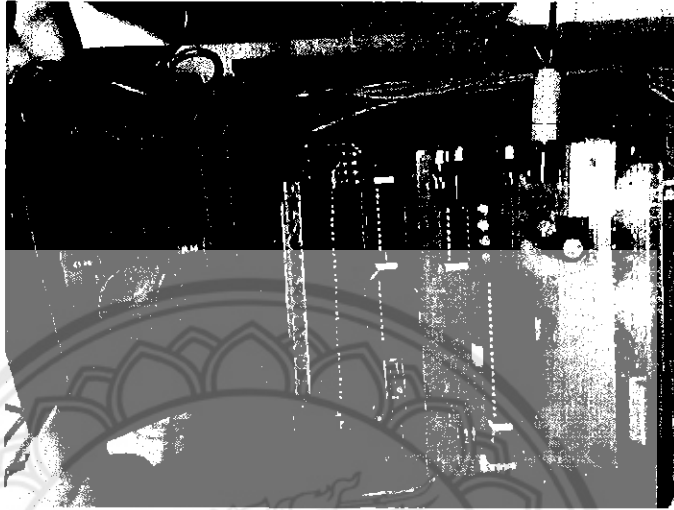
รูปที่ 4.4 แสดงการวัดแรงดันที่ขาไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์

3) แรงดันที่จ่ายในภาคอินพุต/เอาต์พุต โครงงานนี้ออกแบบให้ระดับแรงดันที่จ่ายให้กับ ภาคอินพุต/เอาต์พุต ที่ 24 [VDC] ซึ่งผู้จัดทำได้วัด แรงดันที่จ่ายในภาคอินพุต/เอาต์พุต ที่คอนเน็กเตอร์ที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟให้กับภาคอินพุต/เอาต์พุต ที่ขาได้ระดับแรงดันที่วัดได้ คือ 29.74 [VDC] ซึ่งสูงกว่าที่ตั้งไว้ เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟของพีแอลซีจ่ายไฟเกินแต่ไม่สูงเกินที่จะเกิดความเสียหายกับ อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจร แสดงดังรูปที่ 4.5



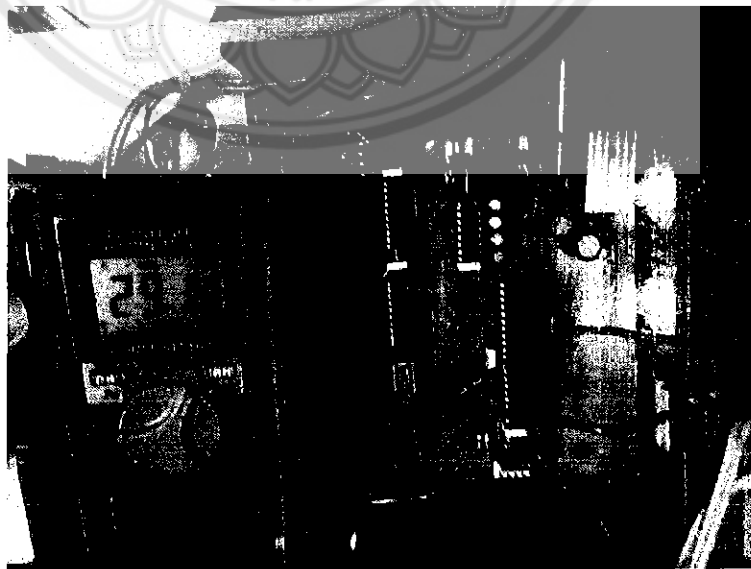
รูปที่ 4.5 แสดงการวัดแรงดันที่จ่ายในภาคอินพุต/เอาต์พุต

4) แรงดันที่ขั้วต่ออินพุต โครงการนี้ออกแบบให้พีแอลซีมีแรงดันที่ขั้วต่ออินพุต 24 [VDC] ที่สามารถต่อกับอุปกรณ์อินพุตภายนอก เช่น สวิตช์ ตัวรับรู้ และอื่นๆ จำนวนทั้งหมด 16 ช่อง โดยจะต่ออุปกรณ์อินพุตด้านหนึ่งต่อกับกราวด์ อีกด้านต่อเข้าขั้วต่ออินพุต ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการวัดแรงดันที่ขั้วต่ออินพุตเทียบกราวด์ของระบบ แรงดันของขั้วต่ออินพุตทั้ง 16 ช่อง ที่วัด ได้เฉลี่ยอยู่ที่ 26-27 [VDC] แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงการวัดแรงดันที่ขั้วต่ออินพุต

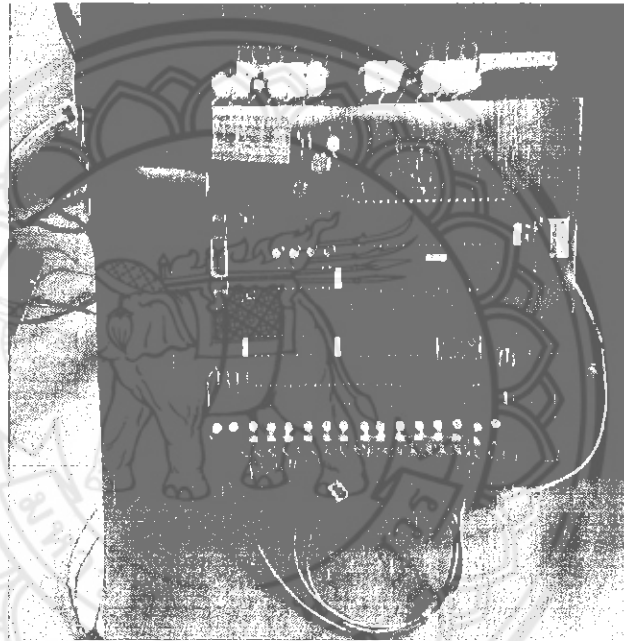
5) แรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุต โครงการนี้ออกแบบให้พีแอลซีมีแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุต 24 [VDC] ที่สามารถต่อกับอุปกรณ์เอาต์พุตภายนอก เช่น ชุดขับเคลื่อน หลอดไฟแสดงผล ต่างๆ จำนวนทั้งหมด 14 ช่อง ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการวัดแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุตเทียบกราวด์ ระดับแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุตที่วัดได้ คือ 29-30 [VDC] สูงกว่าที่ออกแบบ เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟของพีแอลซีจ่ายไฟเกิน โดยการวัดแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการวัดแรงดันที่ขั้วต่อเอาต์พุต

4.2.2 ทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุต

ในการทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุต ผู้จัดทำได้เขียน โปรแกรมควบคุมด้วยการเขียนคำสั่ง ให้เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขั้วต่ออินพุตช่อง 1 ให้ขั้วต่อเอาต์พุตช่อง 1 ทำงาน เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ ขั้วต่ออินพุตช่อง 2 ให้ขั้วต่อเอาต์พุตช่อง 2 ทำงาน ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบทุกขั้วต่อ โดย ควบคุมโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุต อยู่ในภาคผนวก ข. หลังจากที่ได้เขียน โปรแกรมลงพีแอลซีแล้ว ก็เริ่มทำการทดสอบ โดยต่อไฟเข้ากับขั้วต่อเอาต์พุตให้ครบทุกขั้วต่อ และ เมื่อต่อกราวด์ (GND) เข้ากับขั้วต่ออินพุตช่อง 1 ไคโอดเปล่งแสงประจำขั้วต่ออินพุตช่อง 1 ติด และ ทำให้ขั้วต่อเอาต์พุตช่อง 1 ทำงาน โดยไคโอดเปล่งแสงขั้วต่อเอาต์พุตช่อง 1 ติดแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ขั้วต่ออินพุตและขั้วต่อเอาต์พุตทำงาน โดยมีไคโอดเปล่งแสงแสดงการทำงาน

จากผลการทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุตทุกขั้วต่อพบว่าขั้วต่ออินพุตทั้ง 16 ช่องสามารถใช้งานได้ตามปกติ ส่วนขั้วต่อทางด้านเอาต์พุต จะเห็นได้ว่าจะมีไคโอดเปล่งแสงที่ไม่ติดเนื่องจากขั้วต่อเอาต์พุตนั้นใช้งานไม่ได้จำนวน 4 ดวง คือ ขั้วต่อเอาต์พุตช่องที่ 3, 7, 8, 11 ซึ่งสามารถนำพีแอลซีไปใช้งานได้ตามปกติเนื่องจากมีขั้วต่อเอาต์พุตที่ใช้งานได้เหลืออยู่หลายช่อง

4.3 ทดสอบการทำงานชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล

ในการทดสอบการทำงานในส่วนนี้ผู้จัดทำได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือทดสอบชุดรีเลย์ และทดสอบส่วนแสดงผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

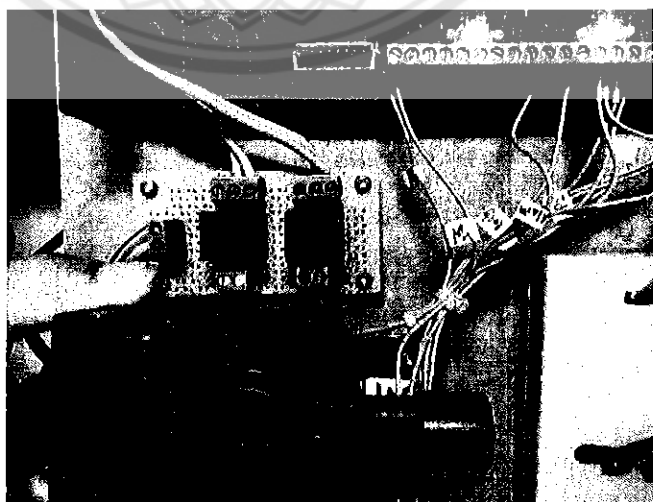
4.3.1 ทดสอบชุดรีเลย์

ในการทดสอบชุดรีเลย์ผู้จัดทำใช้ 220 [VAC] ต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ (หมายเลข 1) จากนั้นนำมอเตอร์ปั้มน้ำต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ (หมายเลข 2) โดยต่อเข้ากับขั้วต่อคอมมอน (Common) และขั้วต่อหน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบชุดรีเลย์

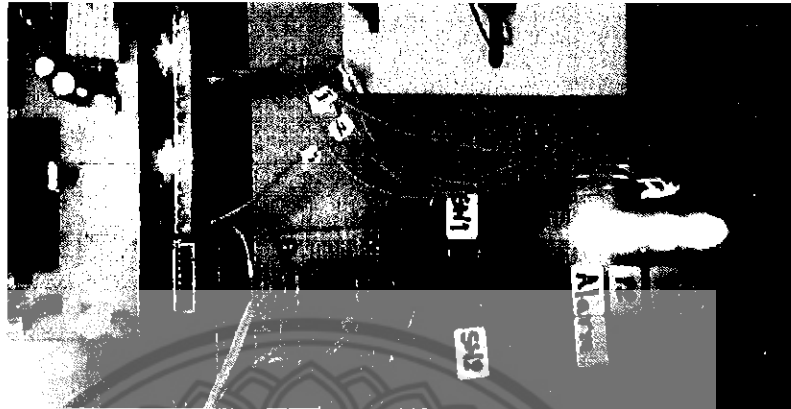
หลังจากนั้นผู้จัดทำได้นำไฟ 24 [VDC] ไปต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ (หมายเลข 3) ที่ต่อกับขดลวดของรีเลย์ จะทำให้รีเลย์เปลี่ยนสถานะทำให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงาน ดังรูปภาพที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงภาพมอเตอร์ปั้มน้ำทำงานเมื่อจ่ายไฟกระตุ้นที่ขดลวดของรีเลย์

4.3.2 ทดสอบส่วนแสดงผล

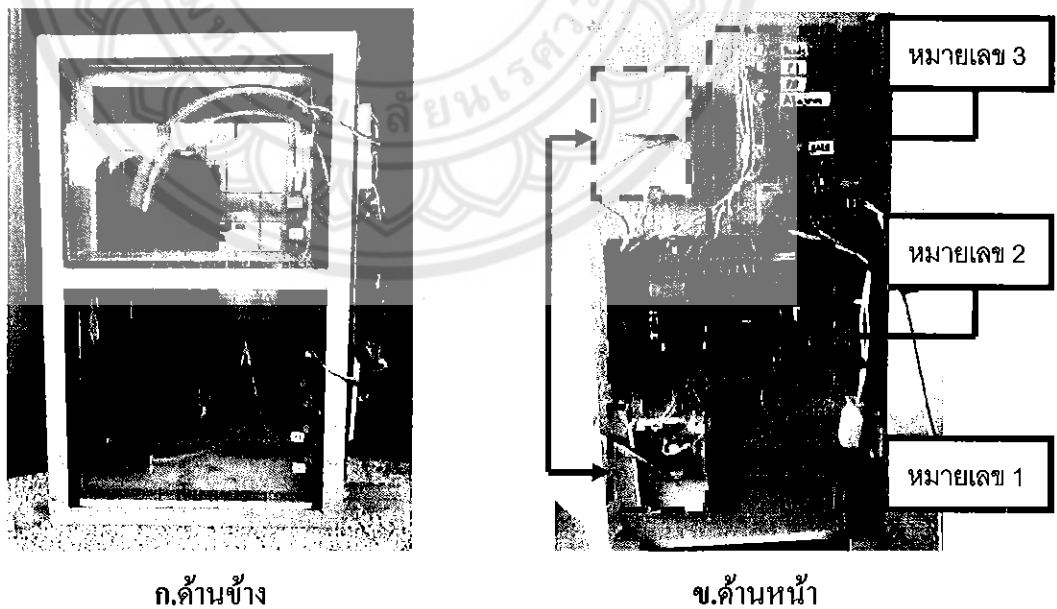
ในการทดสอบส่วนแสดงผลจะมีไดโอดเปล่งแสงเป็นตัวแทนแสดงผล ในการทดสอบในส่วนนี้ผู้จัดทำจึงทดสอบเพียงแค่จ่ายไฟให้กับส่วนแสดงผลให้ไดโอดเปล่งแสงทำงานเท่านั้น โดยใช้ไฟที่จ่ายให้ส่วนแสดงผลระดับแรงดัน 24 [VDC] แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการทำงานของไดโอดเปล่งแสงในส่วนแสดงผล

4.4 ทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ

หลังจากที่ทดสอบของแต่ละส่วนไปแล้วต่อไปผู้จัดทำได้ทำนำทั้งสามส่วนมาประกอบกันเป็นระบบจำลองทดสอบการทำงานมอเตอร์ปั้มน้ำ โดยที่ หมายเลข 1 คืออุปกรณ์วัดระดับน้ำ หมายเลข 2 คือพีแอลซี หมายเลข 3 คือ ชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล แสดงดังรูปที่ 4.12

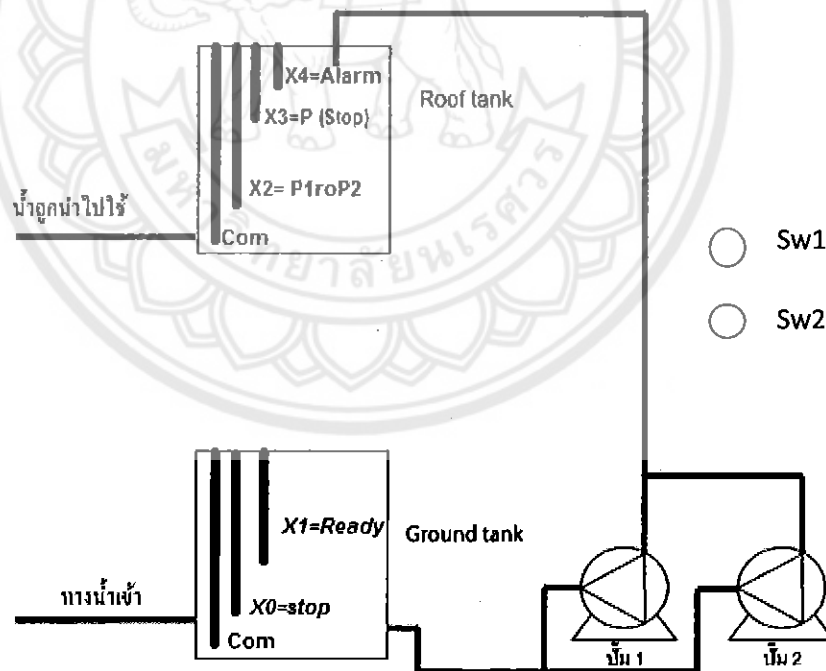


ก. ด้านข้าง

ข. ด้านหน้า

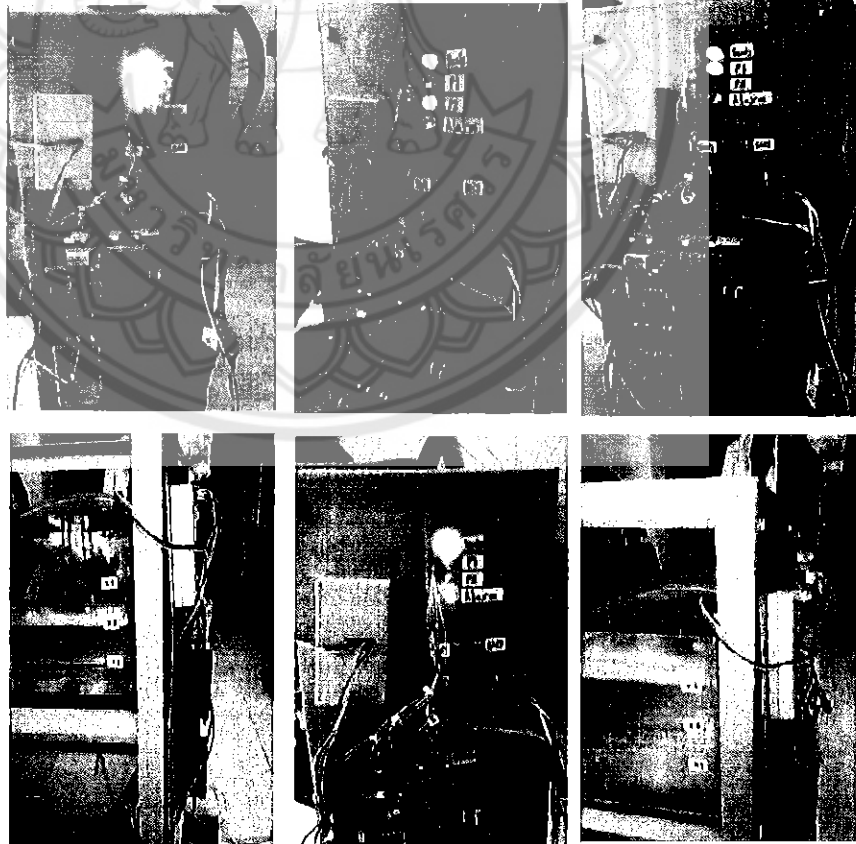
รูปที่ 4.12 แสดงระบบจำลองทดสอบการทำงานมอเตอร์ปั้มน้ำ

จากนั้นเขียนโปรแกรมควบคุมให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงาน 2 ตัว โดยทำงานปั้มน้ำจากตู้กระจกด้านล่างขึ้นสู่ตู้กระจกด้านบน กำหนดให้มีอินพุต 6 ตัว คือ SW2 เป็นสวิตช์กำหนดการทำงานว่าจะให้ทำงานพร้อมกันหรือทำงานสลับกัน X0-X4 ควบคุมเอาต์พุตปั้มน้ำ 2 ตัวทำงาน แสดงตำแหน่งดังรูปที่ 4.13 โดยมีเงื่อนไขว่า เมื่อปิดสวิตช์ SW1 ทำให้ระบบพร้อมใช้งาน และเมื่อปิด SW 2 ปั้มน้ำทำงานได้ก็ต่อเมื่อตู้กระจกน้ำด้านล่างต้องมีน้ำอยู่ในระดับ X1 ก่อน เมื่อมีการขอให้ปั้มน้ำทำงานจากตู้กระจกน้ำด้านบนเนื่องจากน้ำต่ำกว่าระดับ X2 ปั้มน้ำ 1 ทำงาน และปั้มน้ำจะหยุดเมื่อน้ำถึงระดับ X3 และเมื่อมีการใช้น้ำเมื่อน้ำลดต่ำกว่าระดับ X2 อีกครั้งปั้มน้ำ 2 จะทำงาน และปั้มน้ำ 1 จะหยุดเมื่อน้ำถึงระดับ X3 โดยจะสลับกันทำงานไปเรื่อยๆ และถ้าหากน้ำถึงระดับ X3 แล้วปั้มน้ำไม่หยุดทำงานจนน้ำถึงระดับ X4 จะเกิดการเตือนขึ้นว่าน้ำล้นตู้กระจก แต่ในกรณีเปิดสวิตช์ SW2 ปั้มน้ำจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อตู้กระจกด้านล่างต้องมีน้ำอยู่ในระดับ X1 ก่อน เมื่อมีการขอให้ปั้มน้ำทำงานจากตู้กระจกด้านบนเนื่องจากน้ำต่ำกว่าระดับ X2 ปั้มน้ำทั้งสองทำงาน เมื่อน้ำถึงระดับ X3 จะหยุดทำงาน และเมื่อมีการใช้น้ำเมื่อน้ำลดต่ำกว่าระดับ X2 อีกครั้งปั้มน้ำทั้งสอง จะทำงาน หยุดเมื่อน้ำถึงระดับ X3 และถ้าหากน้ำถึงระดับ X3 แล้วปั้มน้ำไม่หยุดทำงานจนน้ำถึงระดับ X4 จะเกิดการเตือนขึ้นว่าน้ำล้นตู้กระจก ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมควบคุมที่เขียนเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำให้เป็นไปตามเงื่อนไขดังที่กล่าวมาข้างต้น ได้ระบุไว้ในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งของอินพุตในระบบ

ผลการทดสอบเมื่อเปิดสวิตช์ SW1 การเปิดระบบ และเปิด SW2 อยู่ เมื่อตู้กระจกบนน้ำต่ำกว่าระดับ X2 แต่ตู้กระจกล่างมีน้ำต่ำกว่าระดับ X1 ป้อนน้ำจะยังไม่ทำงานจนกระทั่งระดับในตู้กระจกล่างถึงระดับ X1 ป้อนน้ำจึงทำงานป้อนน้ำขึ้นไปยังตู้กระจกบน เมื่อน้ำที่ตู้กระจกบนถึงระดับ X2 จะยังทำงานจนกว่าน้ำจะถึงระดับ X3 ป้อนหรือในกรณีที่ตู้กระจกล่างต่ำกว่าระดับ X0 ป้อนน้ำจะหยุดทำงาน และกรณีที่มีการใช้น้ำจากตู้กระจกบน น้ำตู้กระจกล่างอยู่ที่ระดับ X1 เมื่อระดับน้ำตู้กระจกบนลดต่ำกว่า X3 ป้อนจะยังไม่ทำงานจนกว่าน้ำจะต่ำกว่าระดับ X2 ป้อนจึงจะทำงานป้อนน้ำขึ้นไปยังตู้กระจกบน และเมื่อปิดสวิตช์ SW2 เมื่อตู้กระจกบนน้ำต่ำกว่าระดับ X2 แต่ตู้กระจกล่างมีน้ำต่ำกว่าระดับ X1 ป้อนน้ำจะยังไม่ทำงานจนกระทั่งระดับในตู้กระจกล่างถึงระดับ X1 ป้อน 1 จะทำงานป้อนน้ำขึ้นไปยังตู้กระจกบน เมื่อน้ำที่ตู้กระจกบนถึงระดับ X2 จะยังทำงานจนกว่าน้ำจะถึงระดับ X3 หรือในกรณีที่ตู้กระจกล่างต่ำกว่าระดับ X0 ป้อน 1 จึงหยุดทำงาน และกรณีที่มีการใช้น้ำจากตู้กระจกบน น้ำตู้กระจกล่างอยู่ที่ระดับ X1 เมื่อระดับน้ำตู้กระจกบนลดต่ำกว่า X3 ป้อนจะยังไม่ทำงานจนกว่าน้ำจะต่ำกว่าระดับ X2 ป้อน 2 จะทำงานป้อนน้ำขึ้นไปยังตู้กระจกบน เมื่อน้ำที่ถังบนถึงระดับ X2 จะยังทำงานจนกว่าน้ำจะถึงระดับ X3 หรือในกรณีที่ตู้กระจกล่างต่ำกว่าระดับ X0 ป้อน 2 จึงหยุดทำงาน ป้อน 1 และป้อน 2 จะทำงานสลับกันไปแบบนี้เรื่อยๆ แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 4.14 การทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ป้อนน้ำ

4.5 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ

จากการทดสอบการทำงาน โดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ ทำให้เห็นถึงการทำงานของ อุปกรณ์วัดระดับน้ำ พีแอลซี และชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผลที่ทำงานรวมกันเป็นระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ โดยในแต่ละส่วนมีประสิทธิภาพมีดังนี้

4.5.1 ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ

จากการทดสอบพบว่า อุปกรณ์วัดระดับน้ำมีประสิทธิภาพสามารถวัดระดับน้ำได้ถูกต้อง โดยเมื่อน้ำถึงระดับใดอุปกรณ์วัดระดับน้ำสามารถแสดงระดับได้ถูกต้อง และหากต่อเข้ากับพีแอลซี สามารถส่งสัญญาณไปยังพีแอลซีได้ โดยการแสดงผลจะแสดงที่ขั้วต่ออินพุตของพีแอลซีแทน ไดโอดเปล่งแสงที่อุปกรณ์วัดระดับน้ำ ซึ่งมีความปลอดภัยกับผู้ใช้งานและระบบเนื่องจากอุปกรณ์วัดระดับน้ำที่ใช้ในโครงการนี้ใช้ไฟเลี้ยงกระแสตรง 5 [VDC] เท่านั้น

4.5.2 ประสิทธิภาพการทำงานของพีแอลซี

จากการทดสอบพบว่า พีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีประสิทธิภาพในการทำงานในด้านการประมวลผลและสั่งงานได้ถูกต้องตามเงื่อนไขของ โปรแกรมควบคุมที่เขียน ส่วนประสิทธิภาพทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบนั้นมีขั้วต่อเอาต์พุตบางช่องที่ใช้งานไม่ได้ เนื่องจากผู้จัดทำได้ออกแบบให้พีแอลซีมีขั้วต่ออินพุต 16 ช่อง ขั้วต่อเอาต์พุต 14 ช่องเพื่อแก้ไขปัญหานี้ ทำให้สามารถนำพีแอลซีไปใช้งานควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำได้ตามปกติและมีประสิทธิภาพ

4.5.3 ประสิทธิภาพการทำงานของชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล

จากการทดสอบพบว่า ชุดรีเลย์มีประสิทธิภาพในการทำงาน โดยมอเตอร์ปั้มน้ำทั้ง 2 ทำงานได้ตามที่พีแอลซีสั่งงาน ในส่วนแสดงผลไดโอดเปล่งแสงแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำได้ถูกต้องตามระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง

4.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำคังรูปที่ 4.2 พบว่าอุปกรณ์วัดระดับน้ำสามารถวัดระดับน้ำได้ถูกต้อง แสดงผลได้เร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ และปลอดภัยเนื่องจากใช้แรงดันกระแสตรง 5 [V]

จากผลการทดสอบทดสอบการทำงานของพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์หัวข้อ 4.2 มีการทดสอบ 2 ขั้นตอน จากผลที่ได้สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบดังนี้ 1) จากผลการวัดระดับแรงดันในส่วนต่างๆของพีแอลซีแสดงคังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.7 พบว่าระดับแรงดันในส่วนของภาคกระบวนการมีระดับแรงดันที่ตรงตามที่ออกแบบ และในส่วนต่างๆของพีแอลซีนั้นมีระดับแรงดันที่สูงกว่าที่ต้องการ ซึ่งผู้จัดทำได้พิจารณาจากการทดสอบแล้วว่าสามารถนำพีแอลซีมาใช้งานได้ตามปกติ จากผลการทดสอบขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุตคังรูปที่ 4.8 พบว่าขั้วต่ออินพุตสามารถใช้งานได้ทั้ง 16 ช่องตามที่ต้องการ ส่วนขั้วต่อเอาต์พุตมีช่องที่ใช้งานได้ 4 ช่องจากที่ออกแบบไว้ 14 ช่อง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ตามปกติ โดยการเลือกขั้วต่อเอาต์พุตช่องที่ใช้งานได้มาต่อกับอุปกรณ์เอาต์พุต

จากผลการทดสอบการทำงานของซูร์เลย์กับส่วนแสดงผลคังรูปที่ 4.8 จนถึง 4.10 พบว่าซูร์เลย์สามารถเปลี่ยนสถานะหน้าสัมผัสให้มอเตอร์บีบทำงานได้ตาม เมื่อมีแรงดันกระตุ้นที่ขั้วควบคุมของรีเลย์ ในส่วนแสดงผลไดโอดเปล่งแสงสามารถแสดงผลได้ถูกต้อง

จากการทดสอบการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมมอเตอร์บีบน้ำข้อ 4.4 ระบบควบคุมมอเตอร์บีบน้ำสามารถทำงานได้อัตโนมัติเป็นไปตามที่เขียนในโปรแกรมควบคุม โดยและในส่วนประกอบของระบบพบว่า อุปกรณ์วัดระดับน้ำมีประสิทธิภาพสามารถวัดระดับน้ำได้ถูกต้อง และมีความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน และส่วนอื่นของระบบที่เกี่ยวข้องเนื่องจากใช้ไฟเลี้ยงกระแสตรง 5 [VDC] โดยเป็นอุปกรณ์อินพุตที่สามารถสัญญาณให้กับพีแอลซีประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ พีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีประสิทธิภาพในการทำงานในด้านการประมวลผลและส่งงานได้ถูกต้องตรงตามเงื่อนไขของโปรแกรมควบคุมที่เขียน โดยสามารถรับสัญญาณอุปกรณ์อินพุต และส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตได้ด้วยการต่ออุปกรณ์เข้าที่ขั้วต่อได้โดยตรง ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน สามารถนำพีแอลซีไปใช้งานควบคุมการทำงานของมอเตอร์บีบน้ำได้ตามปกติและมีประสิทธิภาพ ซูร์เลย์สามารถทำงานให้มอเตอร์บีบทำงานได้ตามที่พีแอลซีสั่งงานตามเงื่อนไขของโปรแกรมควบคุม ในส่วนแสดงผลแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์บีบน้ำได้ถูกต้องช่วยให้ผู้ใช้งานเห็นถึงการทำงานของมอเตอร์บีบน้ำว่าทำงานหรือไม่ทำงาน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาพีแอลซีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมทั้งพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำด้วยภาษาแผนภาพแลดเดอร์ โดยออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อทดสอบการทำงานของพีแอลซี มีส่วนประกอบคือ อุปกรณ์วัดระดับน้ำ พีแอลซี และชุดรีเลย์กับส่วนแสดงผล ซึ่งในการออกแบบและพัฒนาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

อุปกรณ์วัดระดับน้ำ ออกแบบและพัฒนาจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันสามารถวัดได้ 4 ระดับ โดยการนำก้านอิเล็กทรอนิกส์ในการแบ่งระดับ ใช้ไฟเลี้ยง 5 [VDC] ในโครงการนี้นำอุปกรณ์วัดระดับน้ำเป็นอุปกรณ์อินพุตส่งสัญญาณไปยังพีแอลซีเพื่อประมวลผลและสั่งงานให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงาน ซึ่งจากการทดสอบอุปกรณ์วัดระดับน้ำ ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1 พบว่าอุปกรณ์วัดระดับน้ำมีประสิทธิภาพสามารถวัดระดับน้ำได้ถูกต้องโดยเมื่อน้ำถึงระดับใดอุปกรณ์วัดระดับน้ำสามารถแสดงระดับ ได้ถูกต้อง และมีความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน

พีแอลซี ออกแบบและพัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A เพื่อเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานของระบบมีส่วนประกอบแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆคือ ภาคกระบวนการ ภาคอินพุต และภาคเอาต์พุต และขับพลาซ โดยคุณสมบัติ คือไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A มาทำหน้าที่เป็นซีพียูในภาคกระบวนการ มีขั้วต่ออินพุต 16 ช่อง และขั้วต่อเอาต์พุต 14 ช่อง ใช้งานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ 24 [VDC] ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งจากการทดสอบพีแอลซี ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2 พบว่าพีแอลซีที่พัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับสัญญาณอุปกรณ์อินพุต และส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตได้ด้วยการอุปกรณ์มาต่อเข้าที่ขั้วต่อได้โดยตรงทำให้ง่ายต่อการใช้งาน พีแอลซีสามารถประมวลผลและสั่งงานได้ถูกต้องตามเงื่อนไขของโปรแกรมควบคุม สามารถเป็นอุปกรณ์ควบคุมในระบบควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พัฒนาชุดรีเลย์และส่วนแสดงผล โดยในชุดรีเลย์ประกอบด้วยหน้าสัมผัสดังนี้ 1) ขั้วต่อหน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) 2) ขั้วต่อกอมมอน (Common) 3) ขั้วต่อหน้าสัมผัสปกติปิด (NC) เป็นตัวรับสัญญาณจากพีแอลซีเพื่อให้มอเตอร์ปั้มน้ำทำงาน ในส่วนของส่วนแสดงผลในไดโอดแปลงแสงเป็นส่วนแสดงผลการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ ซึ่งจากการทดสอบชุดรีเลย์และส่วนแสดงผล

ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.3 พบว่าซูคริเลียสามารถทำงานให้มอเตอร์บีบทำงานได้ตามที่พีแอลซีสั่งงานตามเงื่อนไขของโปรแกรมควบคุม ในส่วนแสดงผลแสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์บีบน้ำได้ถูกต้องช่วยให้เห็นถึงการทำงานชัดเจนขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

นอกจากนี้พีแอลซีที่พัฒนาจากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พีไอซีเบอร์ 16F877A สามารถนำไปควบคุมอุปกรณ์หรือระบบอื่นๆได้อีกมากมาย เพียงแค่ออกแบบวงจรภายนอกใหม่และเขียนโปรแกรมควบคุมใหม่ โดยไม่ต้องแก้ไขฮาร์ดแวร์ของพีแอลซีเลย หากผู้ต้องการความกะทัดรัดในการใช้งาน หากรู้จำนวนอินพุต/เอาต์พุตที่มีทั้งหมดในระบบสามารถออกแบบให้พีแอลซีมีขั้วต่ออินพุต/เอาต์พุตตามจำนวนที่ใช้งาน โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นในการออกแบบก็จะทำให้ขนาดของพีแอลซีเล็กลง ซึ่งสามารถอาศัยหลักการในการออกแบบอ้างอิงจากโครงการนี้ได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับปัญหาและวิธีการแก้ไข

1) ปัญหา ในการกัดลายสองหน้านั้นจำเป็นต้องกัดลายวงจรด้านบนและล่างให้ตรงกัน และหลังจากการกัดลายวงจรด้านบนและด้านล่างไม่เชื่อมต่อกัน

วิธีการแก้ไข ต้องเจาะแผ่นทองแดง และแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการกัดลายวงจรให้ทะลุถึงกัน เพื่อให้ลายวงจรด้านบนและล่างตรงกัน และใช้สายไฟเล็กบัดกรีให้ลายวงจรด้านบนและล่างเชื่อมต่อกัน

2) ปัญหา บัดกรีไม่ค่อยติดและลายวงจรที่กันลอกออกง่าย

วิธีการแก้ไข การบัดกรีต้องบัดกรีอุปกรณ์ที่มีระดับสูงต่ำขึ้นไปหาสูงเพื่อให้่ายต่อการใส่อุปกรณ์ และในการบัดกรีให้ใช้หัวแร้งจี้ที่ขาของอุปกรณ์ค้างไว้ให้ร้อนแล้วจึงใส่ตะกั่วลงไปพอประมาณควรใช้เวลาในการบัดกรีน้อยเนื่องจากความร้อนจะทำให้อุปกรณ์บางตัวทนความร้อนได้ไม่นานอาจทำให้เสียหาย นอกจากนี้ต้องทำให้หัวแร้งสะอาดก่อนบัดกรีเสมอโดยการเช็ดเศษตะกั่วที่ติดอยู่ออก

เอกสารอ้างอิง

- [1] เขมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ THE BEST OF PROJECTS เขมิฯ ปี 2553 ฉบับที่ 339-352
- [2] เอกสารประกอบการสอน วิชาช่างไมโครคอนโทรลเลอร์ หลักสูตรวิชาชีพพระยาศรีสุนทร สุทศักราช 2548, วิทยาลัยสารพัดช่างอุตรธานี นายสันทนา สงครินทร์ตำแหน่งครูวิทยฐานะชำนาญการ
- [3] คู่มือการใช้โปรแกรม LD micro (<http://cq.cx/ladder.pl>)
- [4] Tiny PIC (Peripheral Interface Controller) Boot loader ซึ่งเขียนโดย Mr.Claudiu Chiculita (<http://www.etc.ugal.ro/cchiculita/software/picbootloader.htm>)
- [5] ข้อมูลของวงจรMAX232 (<http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/MAX232.htm>)
- [6] หนังสือพื้นฐานการออกแบบวงจรอย่างง่าย โดยทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง ชุคคิก I-Style





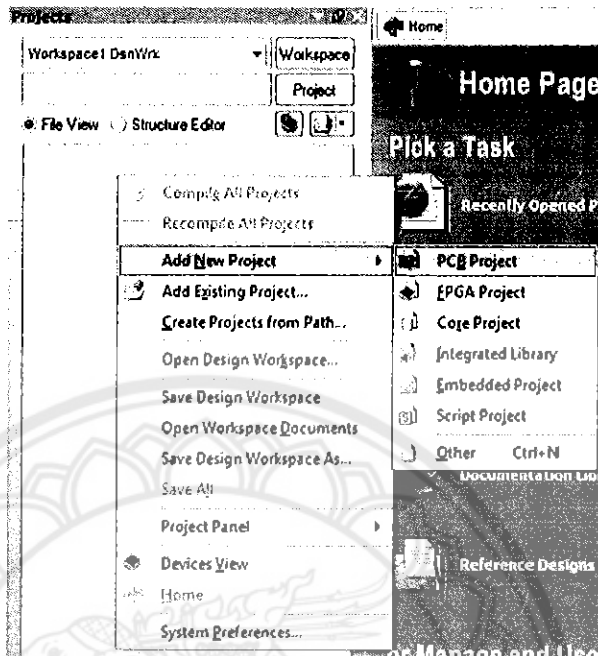
ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Altium Designer 6

มหาวิทยาลัยนเรศวร

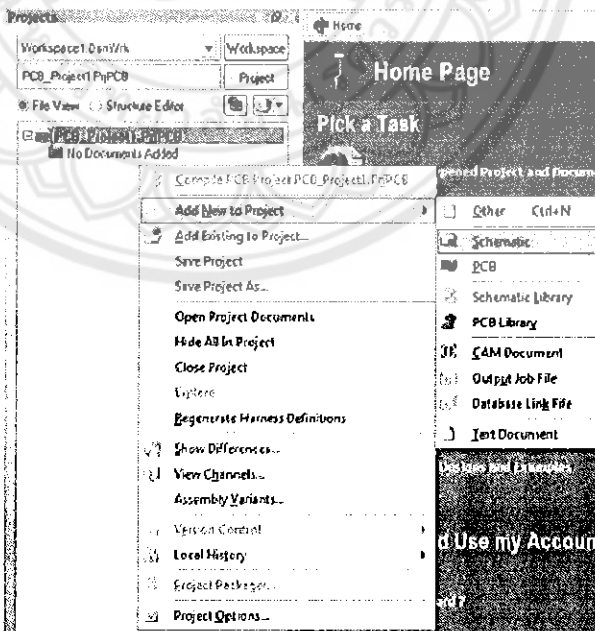
ขั้นตอนเขียนวงจรและออกแบบลายปรี้นโดยใช้โปรแกรม Altium Designer 6

1.เปิดโปรแกรม Altium Designer 6 จากนั้นคลิกขวาที่หน้าต่างด้านซ้ายมือ Add New Project >> PCB Project แสดงดังรูปที่ 1



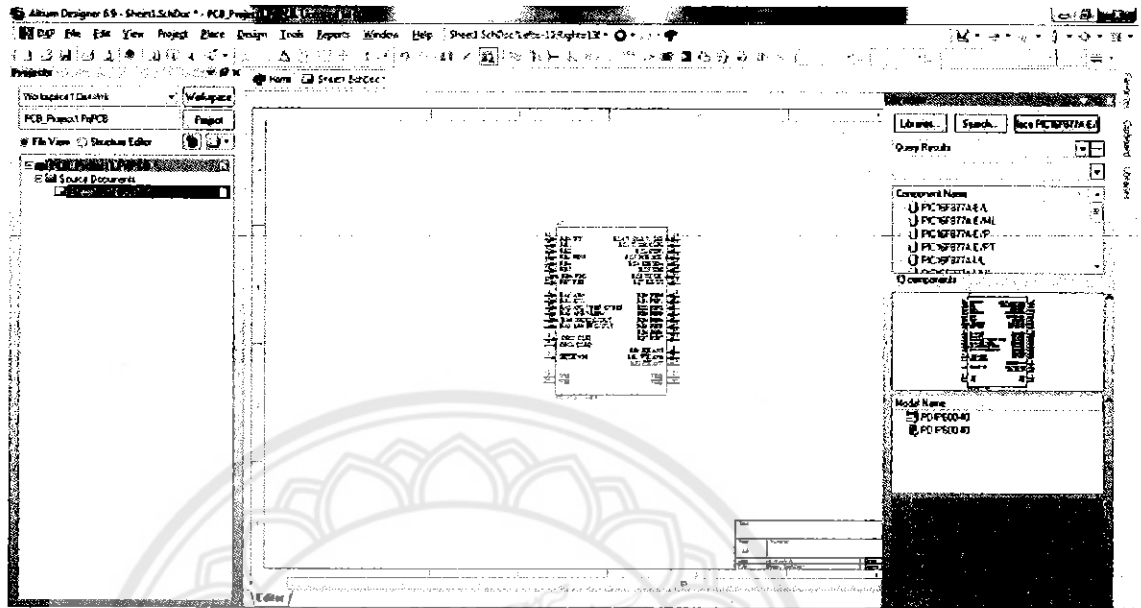
รูปที่ 1 แสดงการเปิด PCB Project

2.เมื่อคลิก PCB_Project1.PrjPCB จะปรากฏดัง รูปที่2 จากนั้นคลิกขวาที่ PCB_Project1.PrjPCB >> Add new project >> Schematic



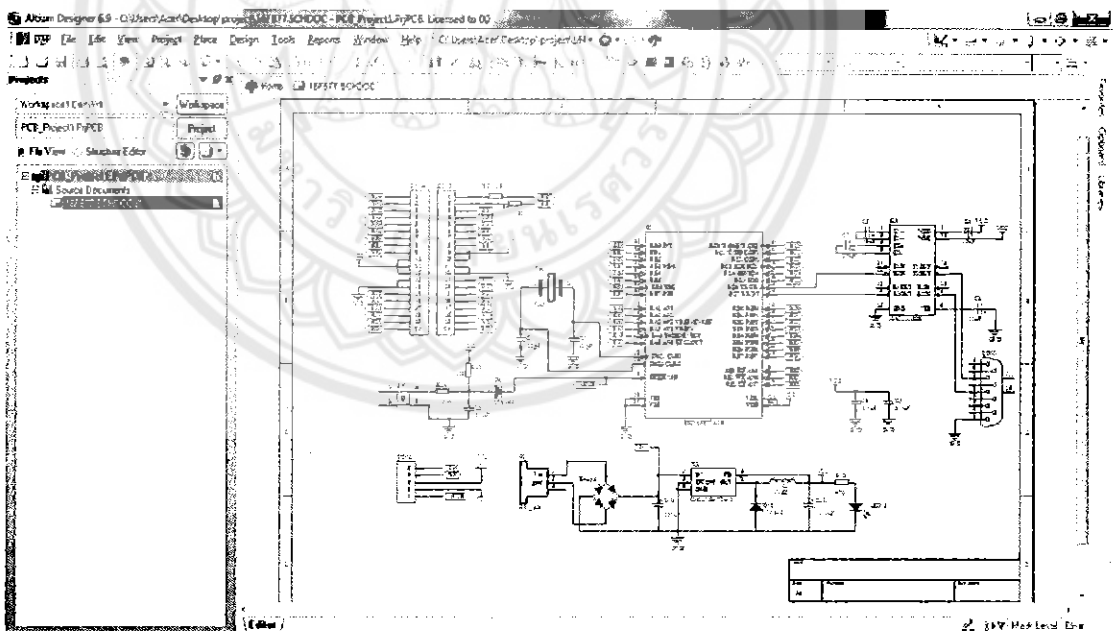
รูปที่ 2 แสดงการเพิ่ม Schematic ลงใน PCB Project

3. หลังจากเปิด Schematic จากนั้นก็สามารถเขียนวงจรใน Schematic ได้โดยการนำอุปกรณ์ที่ต้องการวางในวงจร เพิ่มลงใน Schematic การอุปกรณ์ลงใน Schematic หาได้จากการคลิกแถบเมนูด้านบน Design>>Browse Library แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการวาดวงจรใน Schematic

4. เมื่อวาดวงจรที่ต้องการเสร็จสมบูรณ์ดังรูปที่ 4

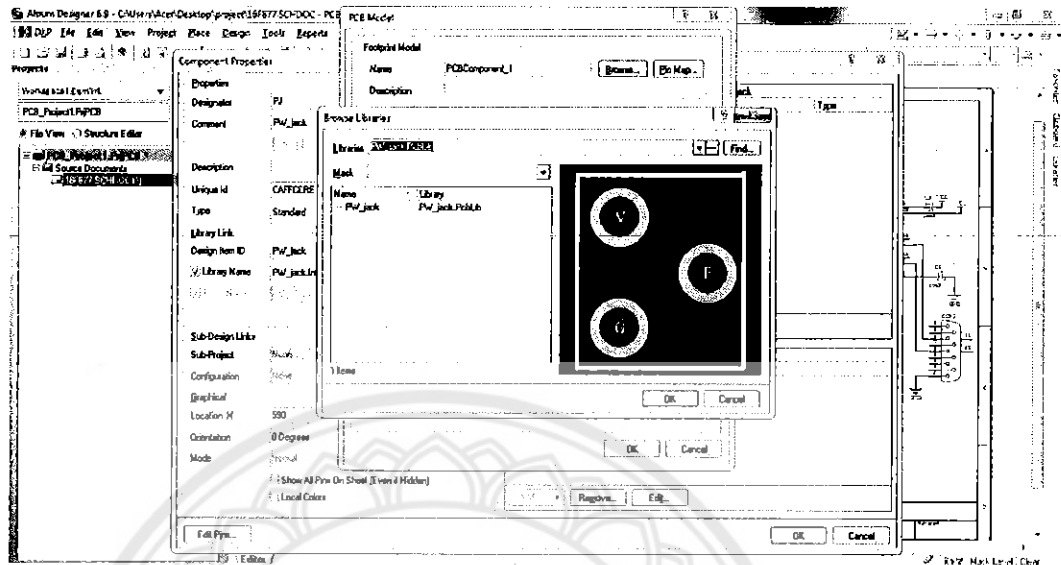


รูปที่ 4 วงจรสมบูรณ์ใน Schematic

5. ใส่ Footprint และกำหนดขาของอุปกรณ์แต่ขึ้น โดยการคลิกขวาที่

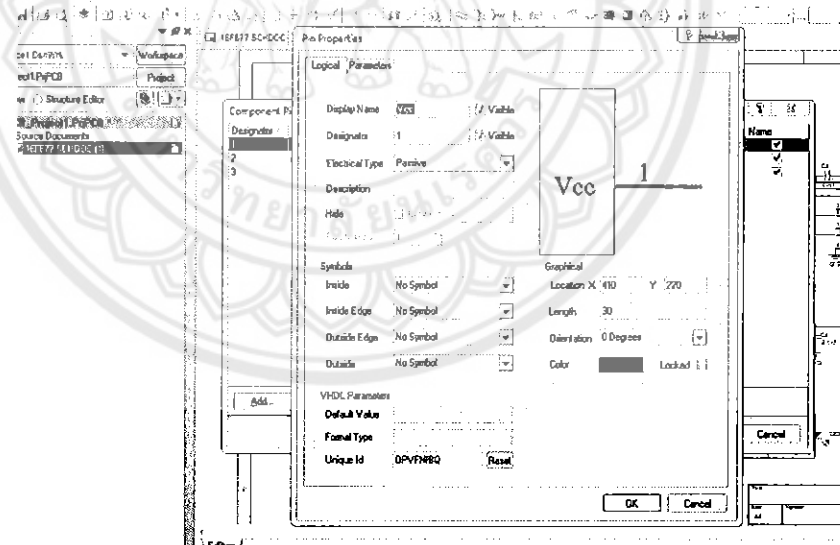
อุปกรณ์>>Properties>>Add>>Footprint>>OK>>Browse>>เลือก Footprint ที่ต้อง แล้วกด OK

แสดงดังรูปที่ 5



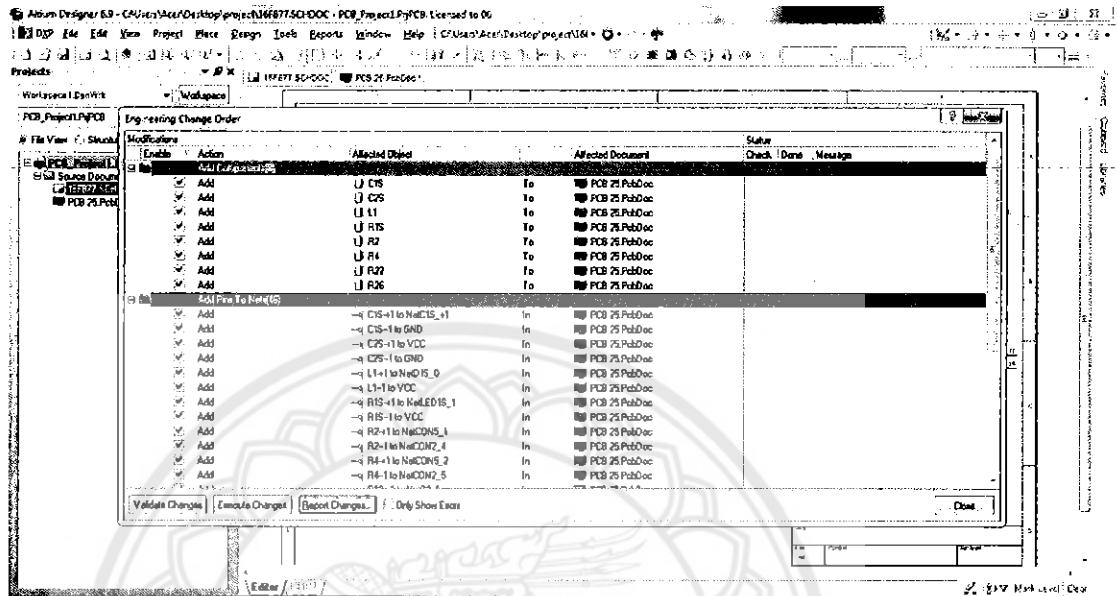
รูปที่ 5 แสดงการใส่ Footprint ให้อุปกรณ์

จากนั้นกำหนดขาให้กับอุปกรณ์โดยคลิกขวาที่อุปกรณ์>>Properties>>Edit Pins>>กำหนดขาให้ถูกต้องตามวงจรที่ออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 6



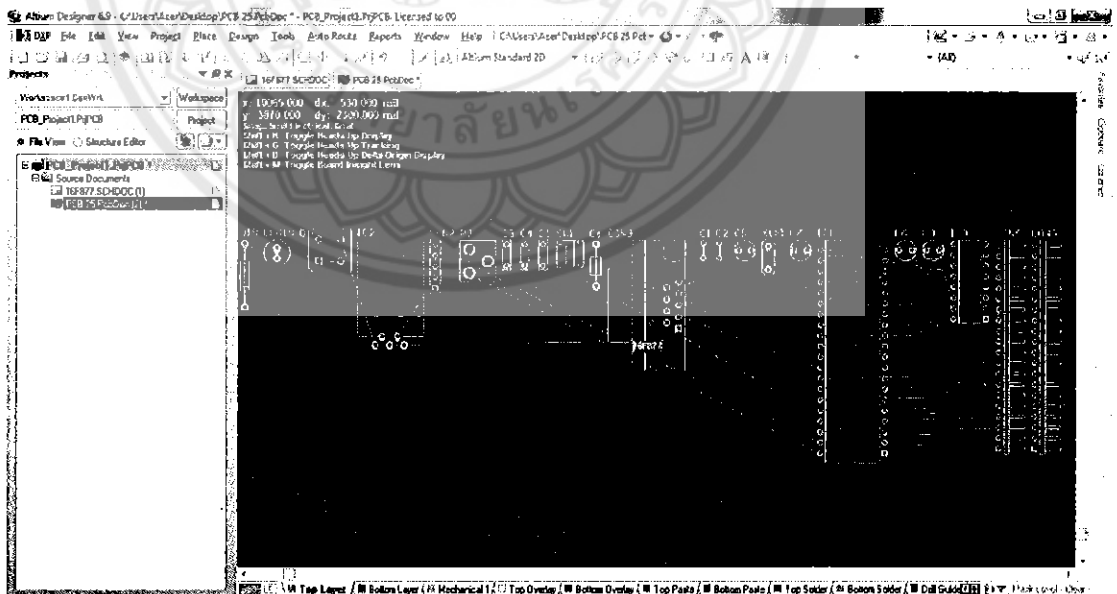
รูปที่ 6 แสดงการกำหนดขาให้กับอุปกรณ์

6.การออกแบบ PCB โดยการโอนย้ายอุปกรณ์ จาก Schematic ไปยัง PCB โดยเปิด PCB ใน PCB Project ที่มี Schematic ที่ต้องการ โอนย้ายแบบวงจร>>Save PCB >> หลังจากนั้นไปที่ Schematic ที่ต้องการ โอนย้ายแบบวงจรคลิกที่เมนู Design>>Utdate PCB>> Excute Changer>>Close แสดงดังรูปที่ 7



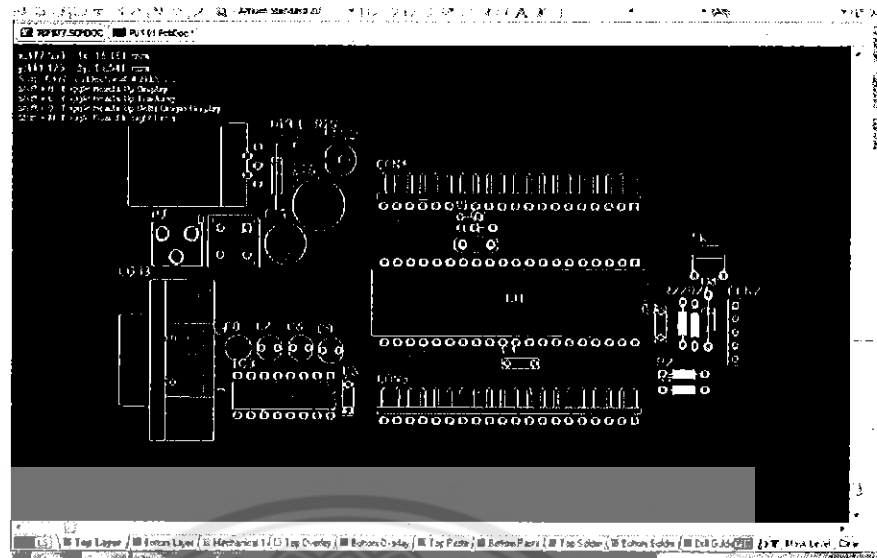
รูปที่ 7 แสดงการ โอนย้ายอุปกรณ์ จาก Schematic ไปยัง PCB

หลังจากที่โอนย้ายแบบวงจร จาก Schematic ไปยัง PCB เรียบร้อยแล้วจากมีอุปกรณ์และเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ให้เห็นในหน้าต่างของ PCB แสดงดังรูปที่ 8



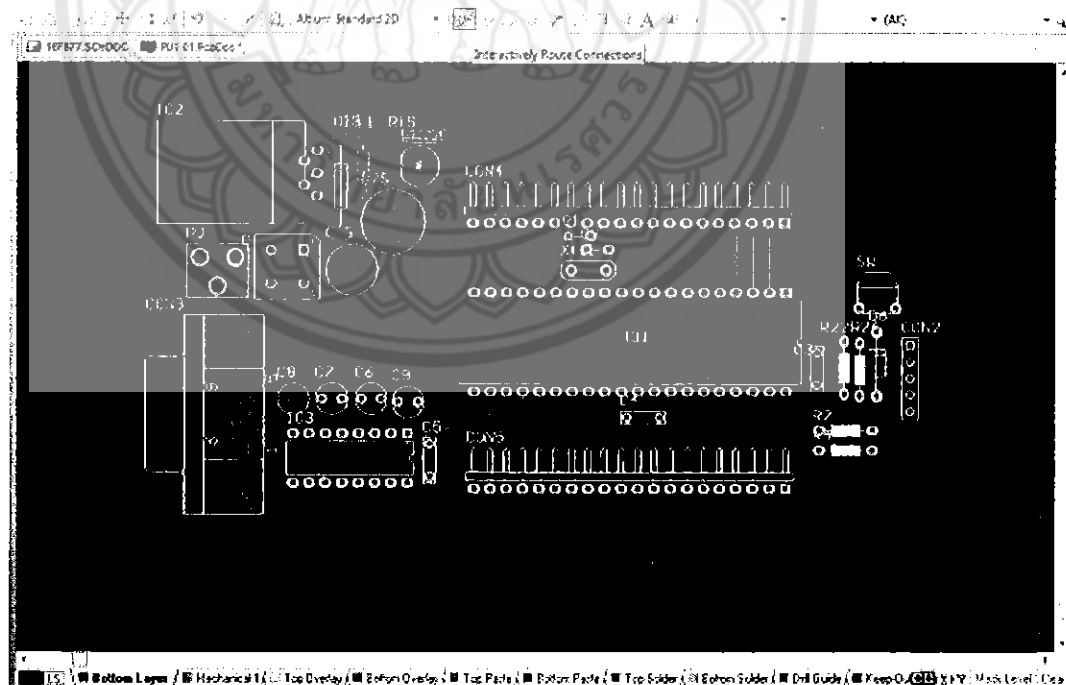
รูปที่ 8 อุปกรณ์และเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ PCB

7. จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตามต้องการ และเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 9



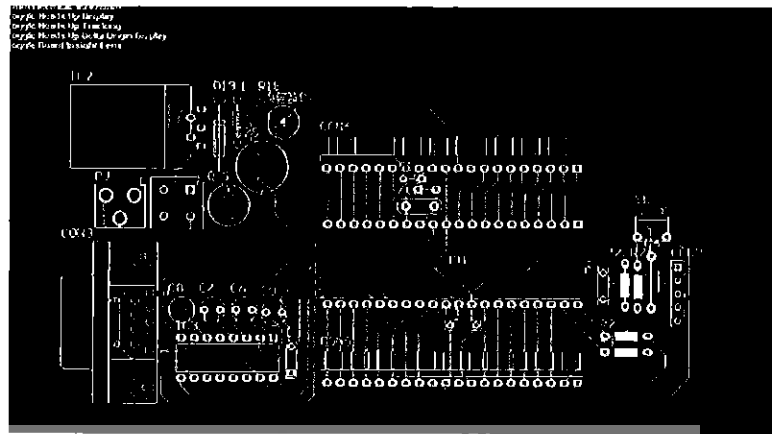
รูปที่ 9 ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่จัดวาง

8. วาดลายปรี้น โดยคลิกที่แท็บ Bottom Layer (สีน้ำเงิน) คือลายปรี้นด้านล่าง ส่วนแท็บ Top Layer (สีแดง) คือลายปรี้นด้านบน >>จากนั้นคลิกที่ Interactively Route Connections ที่แถบเมนู แล้ววาดเส้นไปเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ เมื่อวาดเส้นไปเชื่อมต่อที่อุปกรณ์แล้วเส้นสีขาวเล็กๆที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์จะหายไป แสดงดังรูปที่ 10



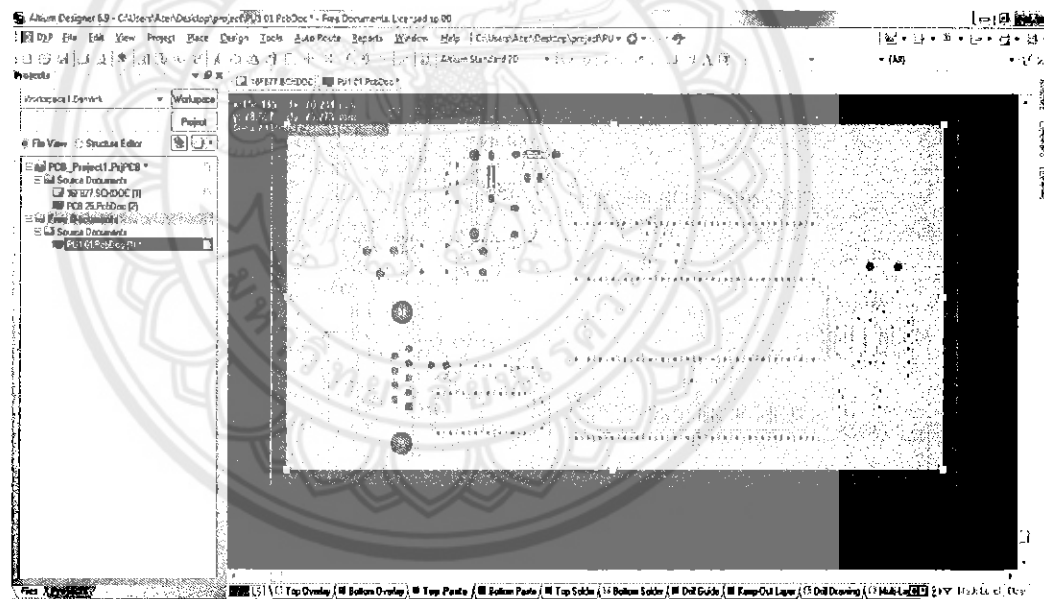
รูปที่ 10 แสดงการวาดลายวงจร

9.ลายวงจรเสร็จสมบูรณ์จะเห็นได้ว่าจะไม่เหลือเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 11



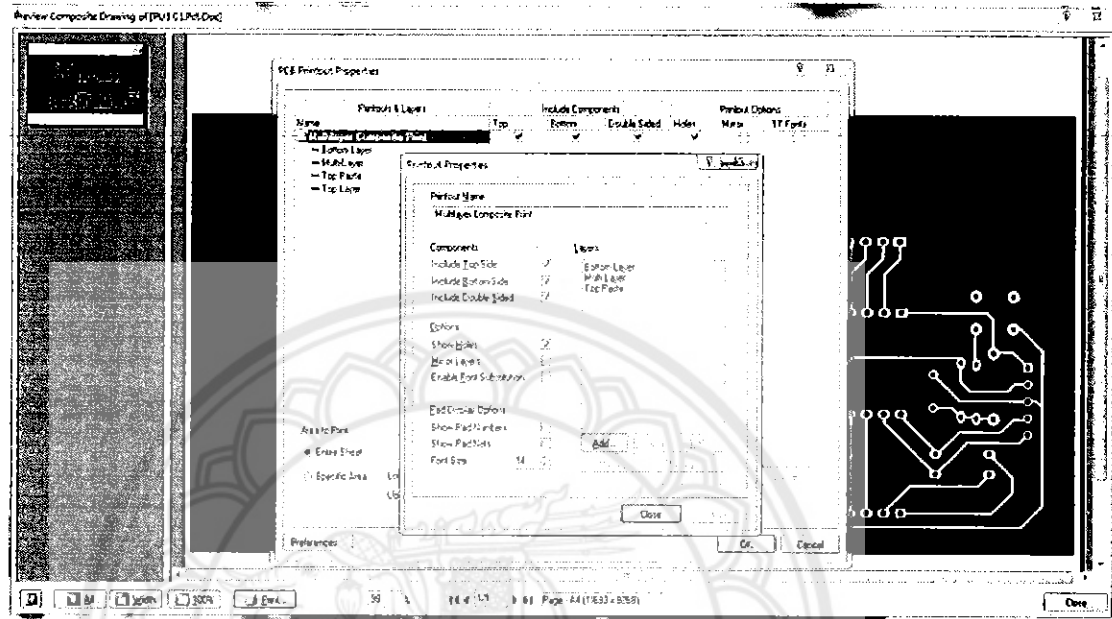
รูปที่ 11 แสดงลายที่ออกแบบได้

10.ดูลายวงจร โดยคลิกที่แท็บ Top Paste (สีเทา) >> ใช้เครื่องมือ Place Fill ลูมให้ที่วงจร แสดงดังรูปที่ 12

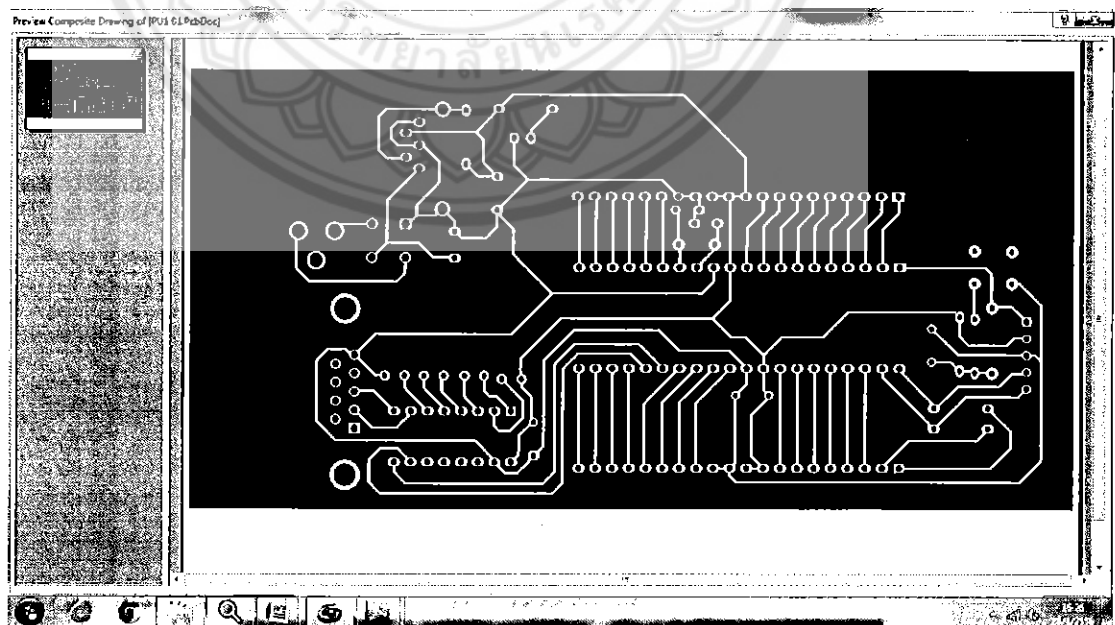


รูปที่ 12 แสดงภาพหลังจากลุม Top Paste บนอุปกรณ์

จากนั้นเข้าไปที่ File >> Print Preview >>คลิกขวาที่หน้าต่าง>>Configuration>>คลิกขวาที่หน้าต่าง PCB Printout Properties >> เลือกและAdd Layer ดังรูปที่13>>OK>>OK จะได้ลายปรินต์ที่ จะพิมพ์นำไปกดปรินต์ดังรูป14



รูปที่ 13 แสดงการตั้งค่าเพื่อปรินต์ลายวงจรที่ออกแบบได้



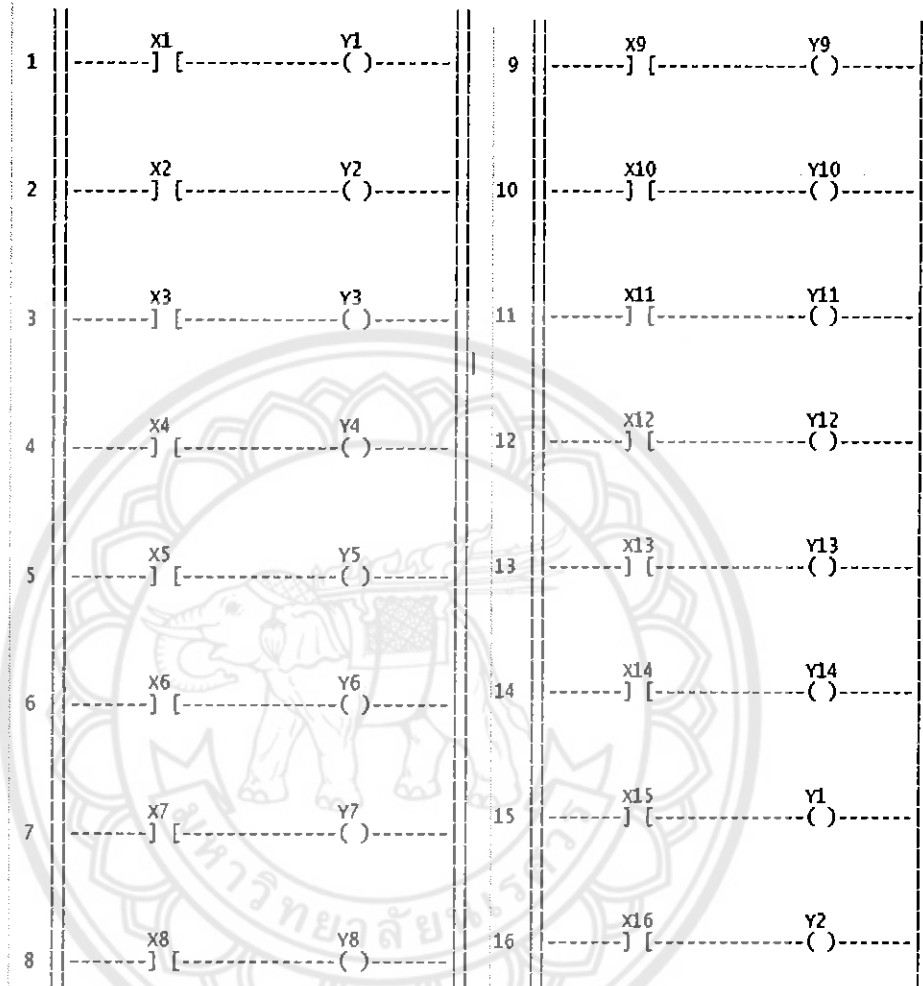
รูปที่ 14 แสดงลายวงจรที่จะปรินต์เพื่อจะนำไปกดลายวงจร



ภาคผนวก ข.
รายละเอียดข้อมูลของโปรแกรมควบคุมที่ใช้ในโครงการ

1. โปรแกรมควบคุมสำหรับทดสอบพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ของพีแอลซี

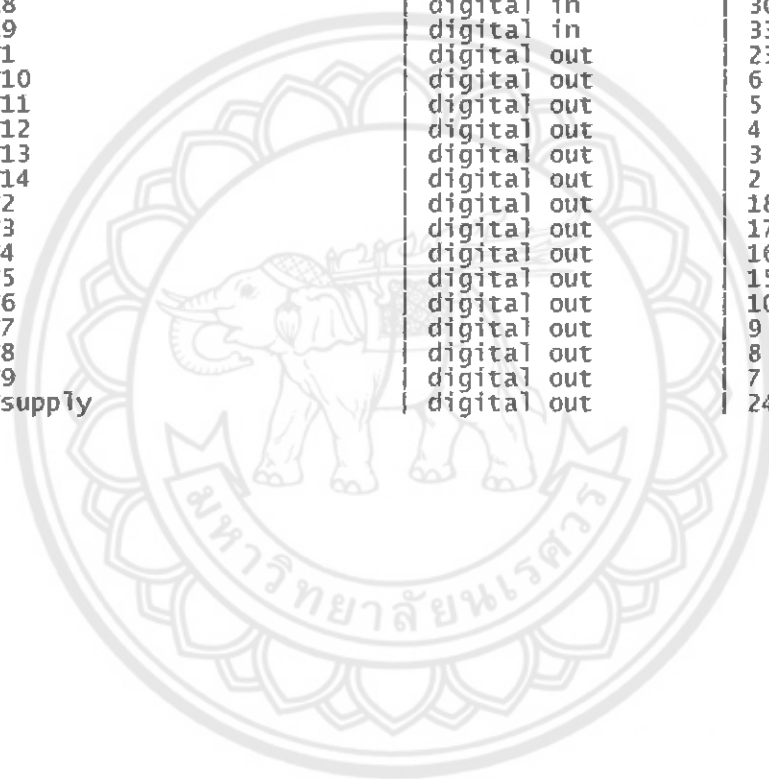
ใช้สำหรับเช็คว่พอร์ตอินพุตเอาต์พุตใดทำงาน ได้ปกติ กำหนดค่าใน โปรแกรม 'Microchip PIC16F877 40-PDIP', 20.000000 MHz crystal, 10.0 ms cycle time เขียนแผนภาพลอคเคอร์ได้ดังนี้



กำหนดตำแหน่งขาดังนี้

I/O ASSIGNMENT:

Name	Type	Pin
X1	digital in	19
X10	digital in	34
X11	digital in	35
X12	digital in	36
X13	digital in	37
X14	digital in	38
X15	digital in	39
X16	digital in	40
X2	digital in	20
X3	digital in	21
X4	digital in	22
X5	digital in	27
X6	digital in	28
X7	digital in	29
X8	digital in	30
X9	digital in	33
Y1	digital out	23
Y10	digital out	6
Y11	digital out	5
Y12	digital out	4
Y13	digital out	3
Y14	digital out	2
Y2	digital out	18
Y3	digital out	17
Y4	digital out	16
Y5	digital out	15
Y6	digital out	10
Y7	digital out	9
Y8	digital out	8
Y9	digital out	7
Ysupply	digital out	24



กำหนดตำแหน่งขาดังนี้

I/O ASSIGNMENT:

Name	Type	Pin
X0	digital in	19
X1	digital in	20
X2	digital in	21
X3	digital in	22
X4	digital in	27
XSW1	digital in	28
XSW2	digital in	29
YH1	digital out	10
YH2	digital out	2
YP1	digital out	23
YP2	digital out	18
Ysupply	digital out	24
R0	int. relay	
RR1	int. relay	
RR2	int. relay	
CC1	counter	





ภาคผนวก ค

รายละเอียดข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A



PIC16F87XA

Data Sheet

28/40/44-Pin Enhanced Flash
Microcontrollers

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoC, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.


AmPLab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

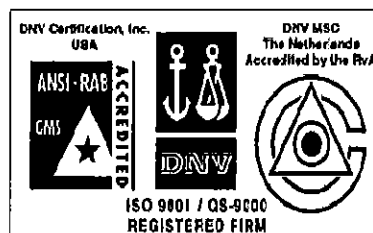
Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICKit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartShunt, SmartTel and Total Encurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.



Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro 8-bit MCUs, KEELoC code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

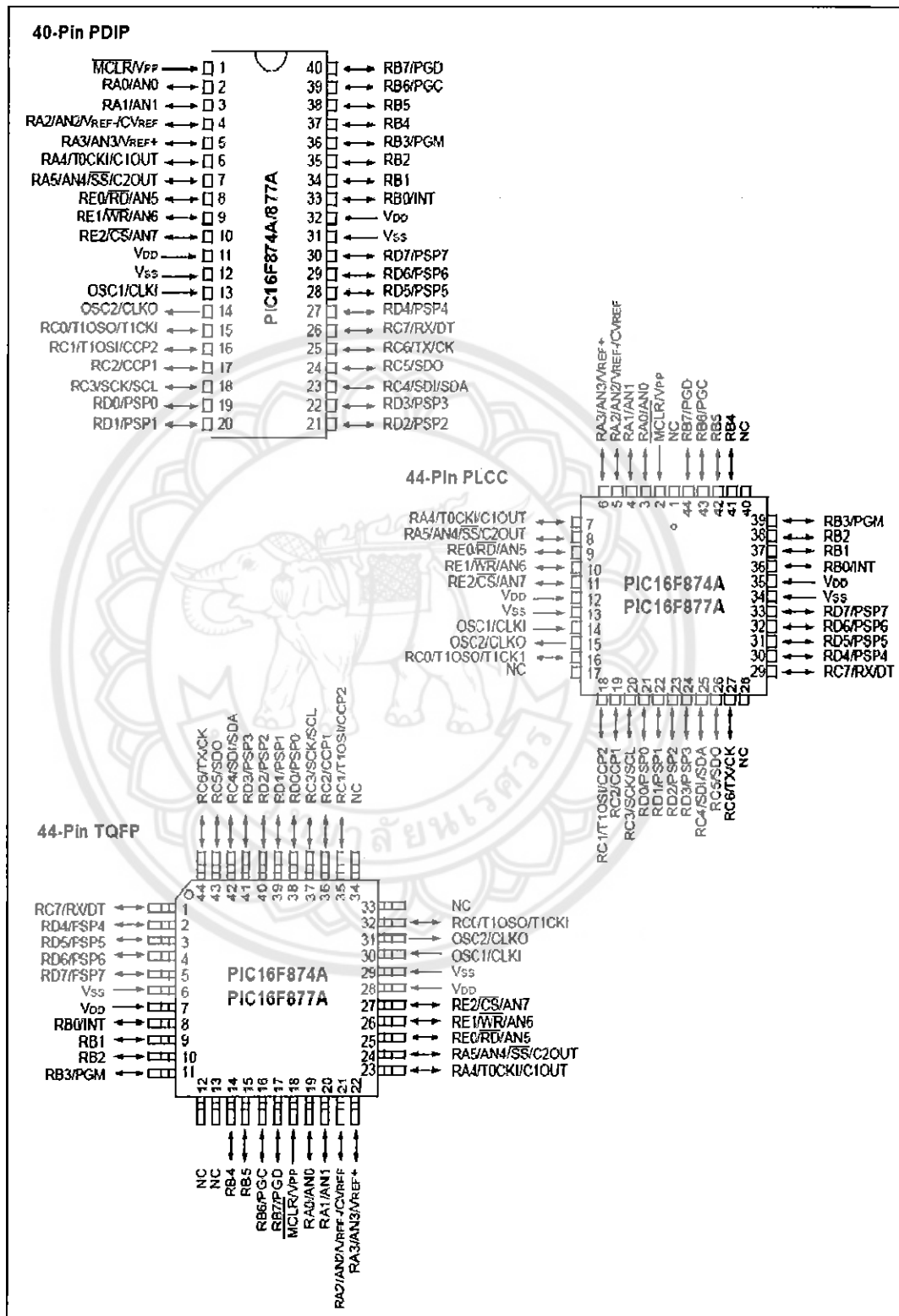
CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

PIC16F87XA

Pin Diagrams (Continued)



PIC16F87XA

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

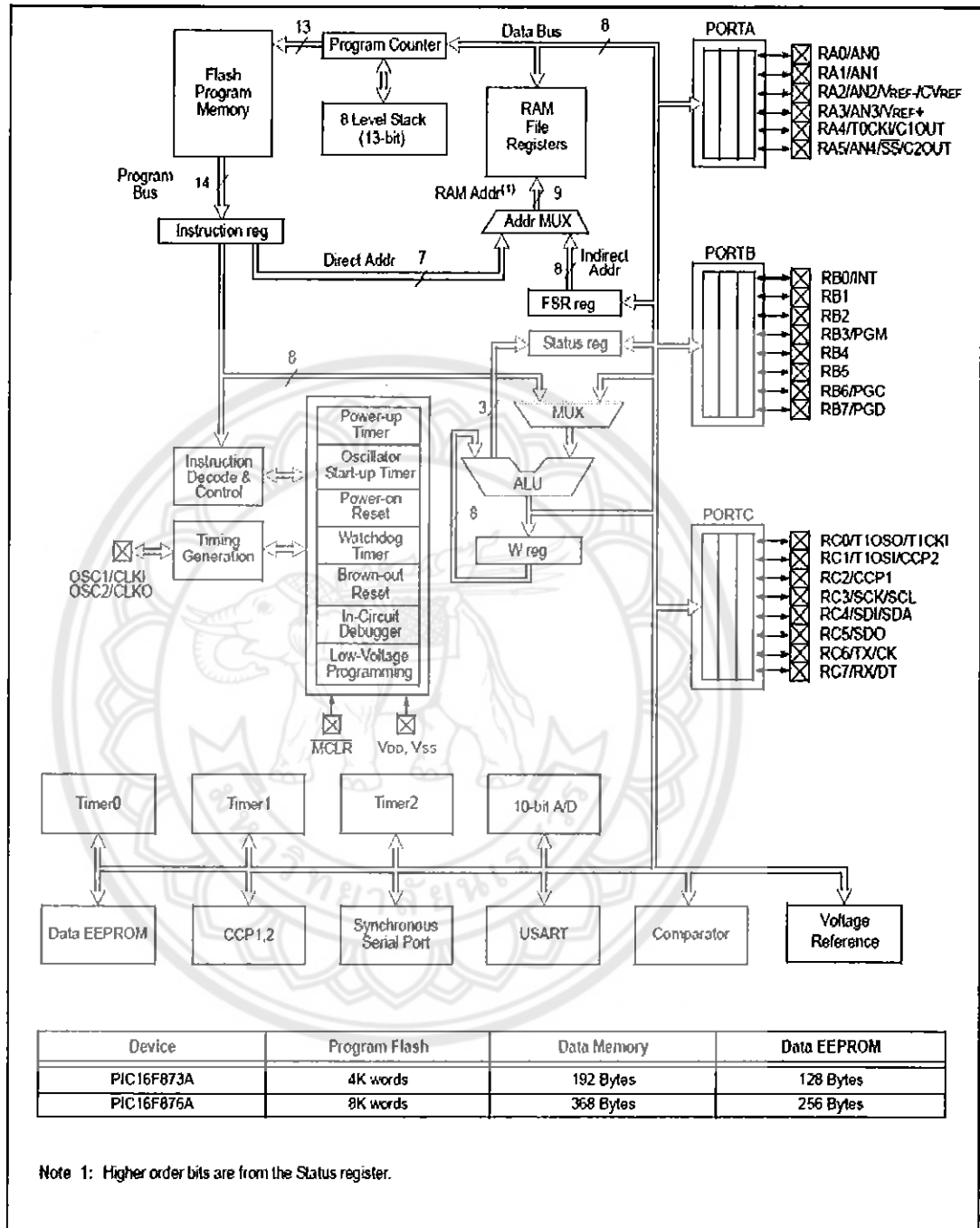
The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

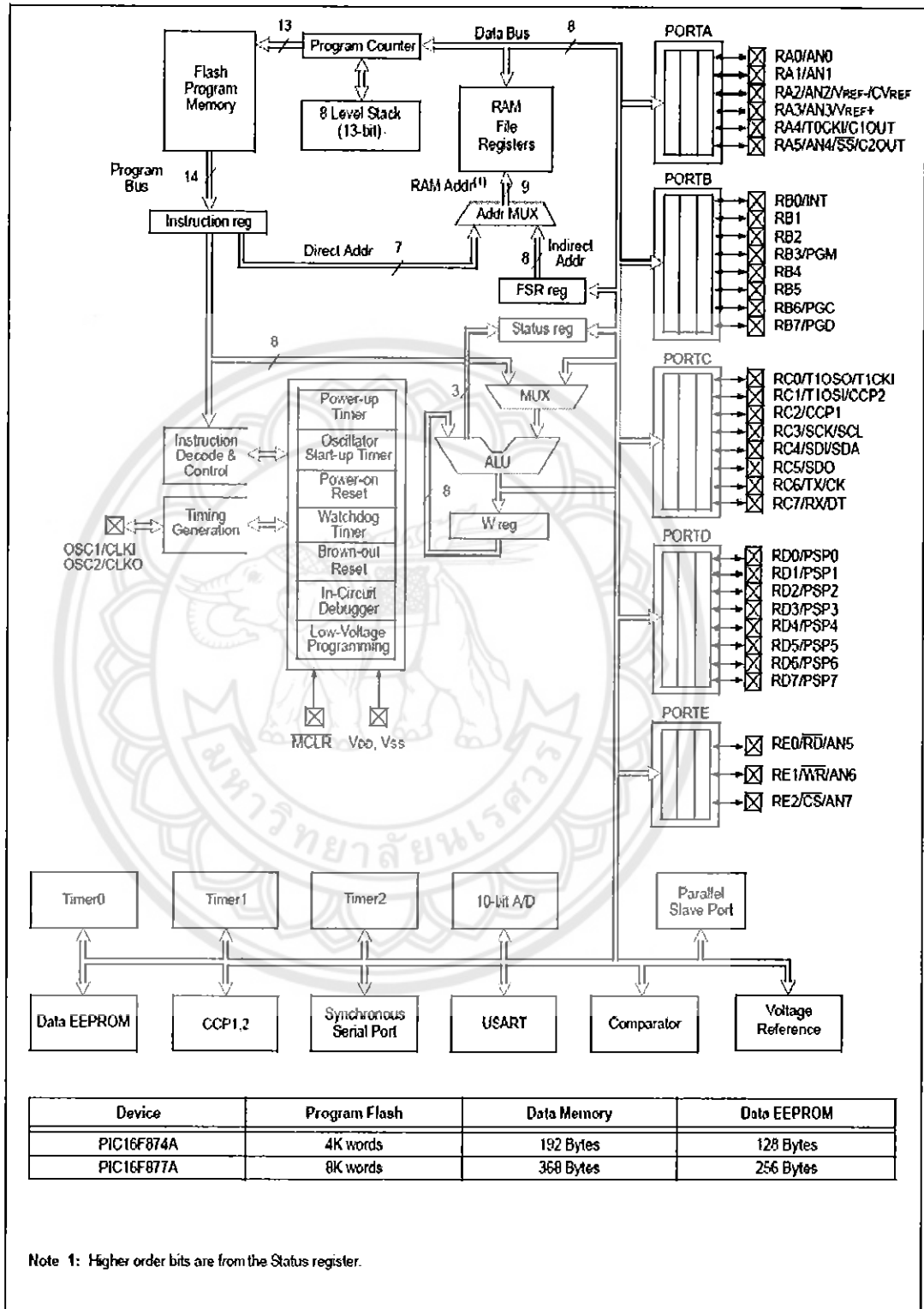
TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

PIC16F87XA

FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM


PIC16F87XA

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM


PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	9	6	I I	ST/CMOS ⁽¹⁾	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2 CLKO	10	7	O O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR VPP	1	26	I P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	27	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	28	I/O I	TTL	Digital I/O. Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-/ CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	1	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	2	I/O I I	TTL	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.
RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT	6	3	I/O I O	ST	Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	4	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL Input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	21	18	I/O I	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	22	19	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	23	20	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	24	21	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage (single-supply) ICSP programming enable pin.
RB4	25	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	26	23	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	27	24	I/O I	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	25	I/O I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	8	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	12	9	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	10	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	11	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	12	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	13	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	14	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	15	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.
V _{SS}	8, 19	5, 6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
V _{DD}	20	17	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	13	14	30	32	I I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2 CLKO	14	15	31	33	O O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/V _{PP} MCLR V _{PP}	1	2	18	18	I P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0 RA1/AN1 RA1 AN1 RA2/AN2/V _{REF} -/CV _{REF} RA2 AN2 V _{REF} - CV _{REF} RA3/AN3/V _{REF} + RA3 AN3 V _{REF} + RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2	3	19	19	I/O I I I/O I I O I/O I I O I/O I I O	TTL TTL TTL ST TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0. Digital I/O. Analog input 1. Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator V _{REF} output. Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input. Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output. Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger Input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TOFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	18	20	37	37	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus. Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/RD/AN5 RE0 RD AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/WR/AN6 RE1 WR AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/CS/AN7 RE2 CS AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
Vss	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = Input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.



SN54HC540, SN74HC540 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

SCLS007B - MARCH 1984 - REVISED MAY 1987

- High-Current 3-State Outputs Drive Bus Lines Directly or up to 15 LSTTL Loads
- Data Flow-Through Pinout (All Inputs on Opposite Side From Outputs)
- Package Options Include Plastic (DW) and Ceramic Flat (W) Packages, Ceramic Chip Carriers (FK), and Standard Plastic (N) and Ceramic (J) 300-mil DIPs

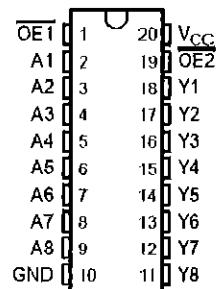
description

These octal buffers and line drivers feature the performance of the popular 'HC240 series and offer a pinout with inputs and outputs on opposite sides of the package. This arrangement greatly enhances printed circuit board layout.

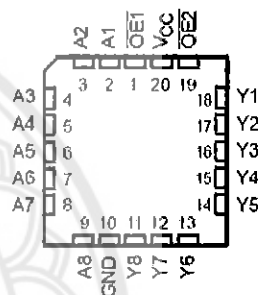
The 3-state control gate is a 2-input NOR. If either output-enable (OE1 or OE2) input is high, all eight outputs are in the high-impedance state. The 'HC540 provide inverted data at the outputs.

The SN54HC540 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74HC540 is characterized for operation from -40°C to 85°C .

SN54HC540 ... J OR W PACKAGE
SN74HC540 ... DW OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54HC540 ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



FUNCTION TABLE
(each buffer/driver)

INPUTS			OUTPUT
OE1	OE2	A	Y
L	L	L	H
L	L	H	L
H	X	X	Z
X	H	X	Z



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 © 1987, Texas Instruments Incorporated

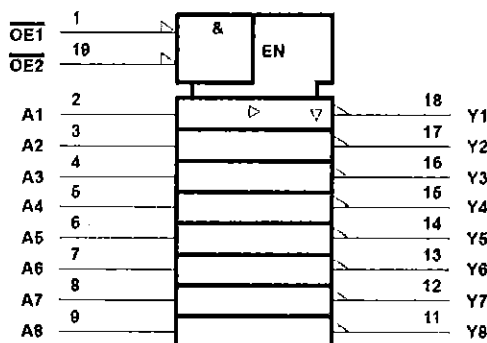
SN54HC540, SN74HC540

OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS

WITH 3-STATE OUTPUTS

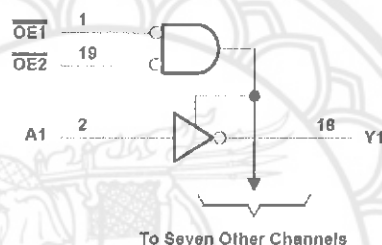
SCLS007B - MARCH 1984 - REVISED MAY 1987

logic symbol†



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

logic diagram (positive logic)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range‡

Supply voltage range, V_{CC}	-0.5 V to 7 V
Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$) (see Note 1)	± 20 mA
Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$) (see Note 1)	± 20 mA
Continuous output current, I_O ($V_O = 0$ to V_{CC})	± 35 mA
Continuous current through V_{CC} or GND	± 70 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): DW package	97°C/W
N package	67°C/W
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. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

SN54HC540, SN74HC540
OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS
WITH 3-STATE OUTPUTS
 SCLS007B - MARCH 1984 - REVISED MAY 1997

recommended operating conditions

		SN54HC540			SN74HC540			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC}	Supply voltage	2	5	6	2	5	6	V
V_{IH}	High-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$	1.5		1.5		V	
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	3.15		3.15			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$	4.2		4.2			
V_{IL}	Low-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$	0	0.5	0	0.5	V	
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	0	1.35	0	1.35		
		$V_{CC} = 6\text{ V}$	0	1.8	0	1.8		
V_I	Input voltage	0	V_{CC}		0	V_{CC}		V
V_O	Output voltage	0	V_{CC}		0	V_{CC}		V
t_t	Input transition (rise and fall) time	$V_{CC} = 2\text{ V}$	0	1000	0	1000	ns	
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	0	500	0	500		
		$V_{CC} = 6\text{ V}$	0	400	0	400		
T_A	Operating free-air temperature	-55	125		-40	85		$^{\circ}\text{C}$

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	V_{CC}	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$			SN54HC540		SN74HC540		UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V_{OH}	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL}	$I_{OH} = -20\ \mu\text{A}$	2 V	1.9	1.996	1.9	1.9	V		
		$I_{OH} = -20\ \mu\text{A}$	4.5 V	4.4	4.499	4.4	4.4			
		$I_{OH} = -20\ \mu\text{A}$	6 V	5.0	5.999	5.0	5.9			
		$I_{OH} = -7.8\ \text{mA}$	4.5 V	3.98	4.3	3.7	3.84			
V_{OL}	$V_I = V_{IH}$ or V_{IL}	$I_{OL} = 20\ \mu\text{A}$	2 V	0.002	0.1	0.1	0.1	V		
		$I_{OL} = 20\ \mu\text{A}$	4.5 V	0.001	0.1	0.1	0.1			
		$I_{OL} = 20\ \mu\text{A}$	6 V	0.001	0.1	0.1	0.1			
		$I_{OL} = 6\ \text{mA}$	4.5 V	0.17	0.26	0.4	0.33			
$I_{OL} = 7.8\ \text{mA}$	6 V	0.15	0.26	0.4	0.33					
I_I	$V_I = V_{CC}$ or 0	6 V	± 0.1	± 100	± 1000	± 1000	nA			
I_{OZ}	$V_O = V_{CC}$ or 0	6 V	± 0.01	± 0.5	± 10	± 5	μA			
I_{CC}	$V_I = V_{CC}$ or 0, $I_O = 0$	6 V		8	180	80	μA			
C_i		2 V to 6 V	3	10	10	10	pF			

SN54HC540, SN74HC540
OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS
WITH 3-STATE OUTPUTS

SCLS007B - MARCH 1984 - REVISED MAY 1997

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, $C_L = 50$ pF
(unless otherwise noted) (see Figure 1)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	V_{CC}	$T_A = 25^\circ\text{C}$			SN54HC540		SN74HC540		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t_{pd}	A	Y	2 V		35	100		149		125	ns
			4.5 V		10	20		30		25	
			6 V		8	17		25		21	
t_{en}	\overline{OE}	Y	2 V		75	150		224		188	ns
			4.5 V		15	30		45		38	
			6 V		13	26		38		32	
t_{dis}	\overline{OE}	Y	2 V		40	150		224		108	ns
			4.5 V		18	30		45		38	
			6 V		17	26		38		32	
t_l		Y	2 V		28	60		90		75	ns
			4.5 V		8	12		18		15	
			6 V		6	10		15		13	

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, $C_L = 150$ pF
(unless otherwise noted) (see Figure 1)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	V_{CC}	$T_A = 25^\circ\text{C}$			SN54HC540		SN74HC540		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t_{pd}	A	Y	2 V		60	150		224		188	ns
			4.5 V		15	30		45		38	
			6 V		13	26		38		32	
t_{en}	\overline{OE}	Y	2 V		100	200		298		250	ns
			4.5 V		20	40		60		50	
			6 V		17	34		51		43	
t_l		Y	2 V		45	210		315		265	ns
			4.5 V		17	42		63		53	
			6 V		13	36		53		45	

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
C_{pd} Power dissipation capacitance per buffer driver	No load	35	pF

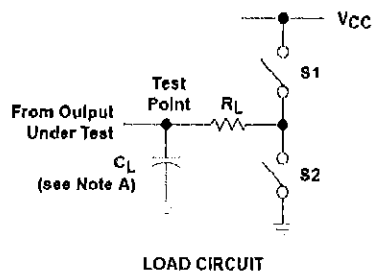
 **TEXAS**
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

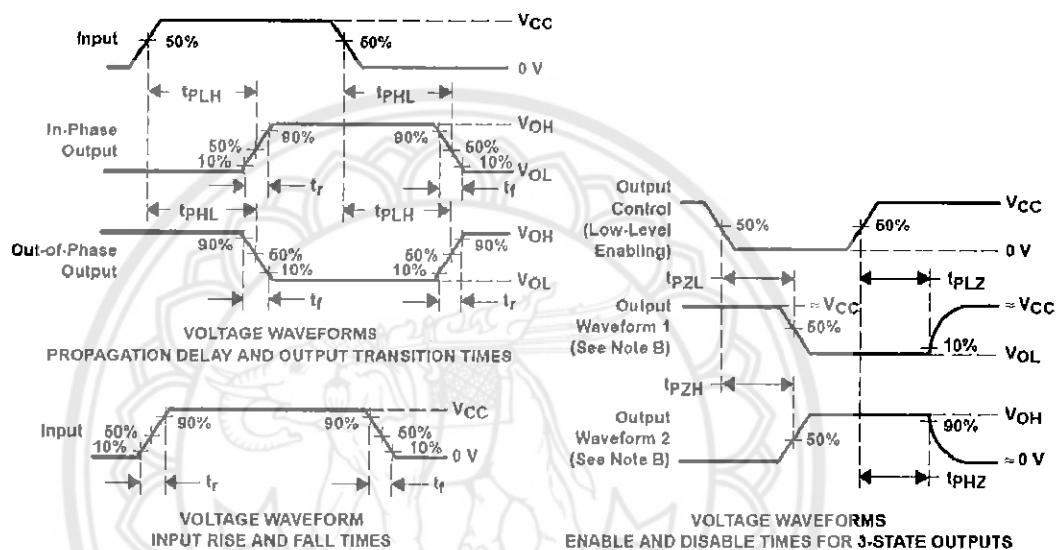
SN54HC540, SN74HC540 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

SCLS007B - MARCH 1984 - REVISED MAY 1997

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



PARAMETER	R_L	C_L	S1	S2
t_{en}	1 k Ω	60 pF or 150 pF	Open	Closed
			Closed	Open
t_{dis}	1 k Ω	60 pF	Open	Closed
			Closed	Open
t_{pd} or t_t	—	50 pF or 150 pF	Open	Open



- NOTES:
- C_L includes probe and test fixture capacitance.
 - Waveform 1 is for an output with internal conditions such that the output is low except when disabled by the output control. Waveform 2 is for an output with internal conditions such that the output is high except when disabled by the output control.
 - Phase relationships between waveforms were chosen arbitrarily. All input pulses are supplied by generators having the following characteristics: PRR \leq 1 MHz, $Z_0 = 50 \Omega$, $t_r = 6$ ns, $t_f = 6$ ns.
 - The outputs are measured one at a time with one input transition per measurement.
 - t_{PLZ} and t_{PHZ} are the same as t_{dis} .
 - t_{PZL} and t_{PZH} are the same as t_{en} .
 - t_{PLH} and t_{PHL} are the same as t_{pd} .

Figure 1. Load Circuit and Voltage Waveforms

 TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265



PC817 Series

High Density Mounting Type Photocoupler

- ◆ Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817/PC817P)
- ◆ TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

■ Features

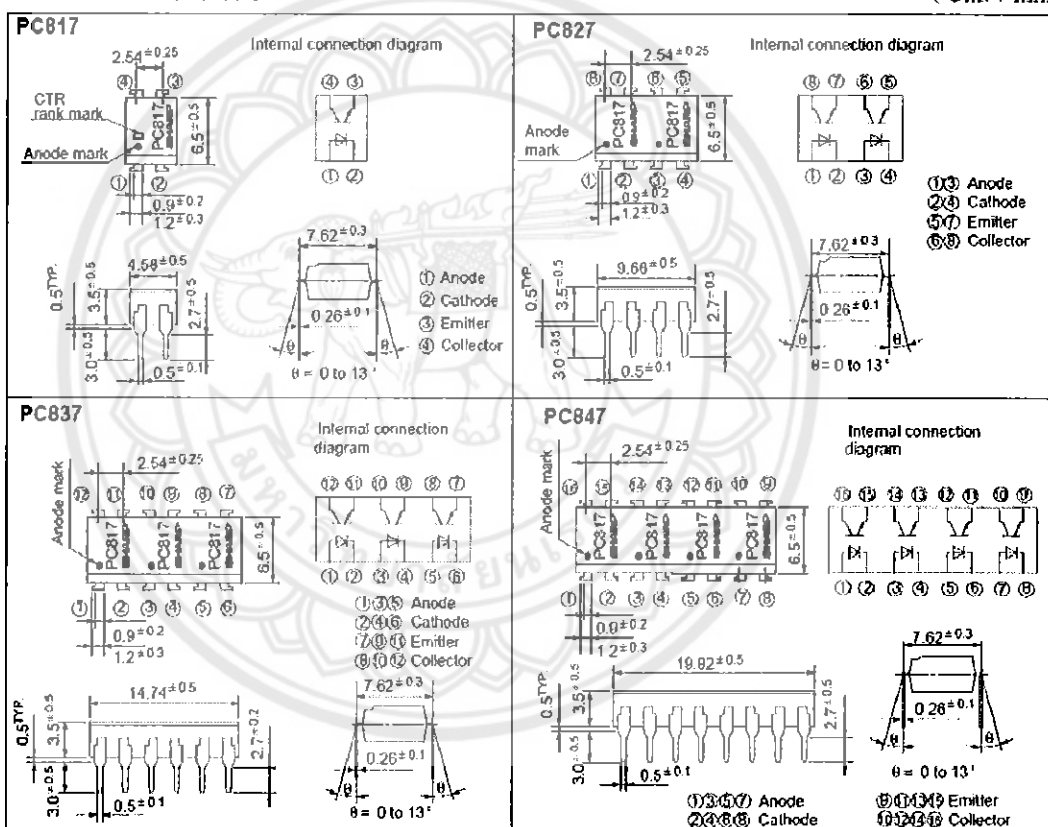
1. Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_F = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output ($V_{iso} : 5000\text{V}_{rms}$)
3. Compact dual-in-line package
 PC817 : 1-channel type
 PC827 : 2-channel type
 PC837 : 3-channel type
 PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL. file No. E64380

■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

■ Absolute Maximum Ratings

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	50 mA
	¹⁾ Peak forward current	I_{FM}	1 A
	Reverse voltage	V_R	6 V
	Power dissipation	P	70 mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35 V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6 V
	Collector current	I_C	50 mA
	Collector power dissipation	P_C	150 mW
	Total power dissipation	P_{tot}	200 mW
	⁴⁾ Isolation voltage	V_{iso}	5 000 V_{rms}
Operating temperature	T_{ops}	-30 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
³⁾ Soldering temperature	T_{sol}	260	$^\circ\text{C}$

*1 Pulse width $\leq 100\mu\text{s}$, Duty ratio : 0.001

*2 40 to 60%RH, AC for 1 minute

*3 For 10 seconds

■ Electro-optical Characteristics

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V_F $I_F = 20\text{mA}$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	V_{FM} $I_{FM} = 0.5\text{A}$	-	-	3.0	V
	Reverse current	I_R $V_R = 4\text{V}$	-	-	10	μA
	Terminal capacitance	C_t $V = 0, f = 1\text{kHz}$	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	I_{CEO} $V_{CE} = 20\text{V}$	-	-	10^{-7}	A
	⁴⁾ Current transfer ratio	CTR $I_F = 5\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}$	50	-	600	%
Transfer characteristics	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$ $I_F = 20\text{mA}, I_C = 1\text{mA}$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	R_{iso} DC 500V, 40 to 60%RH	5×10^{11}	10^{11}	-	Ω
	Floating capacitance	C_f $V = 0, f = 1\text{MHz}$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	f_c $V_{CE} = 5\text{V}, I_C = 2\text{mA}, R_L = 100\Omega, -3\text{dB}$	-	80	-	kHz
		Response time	Rise time t_r	-	4	18
	Fall time t_f		$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 2\text{mA}, R_L = 100\Omega$	-	3	18

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank/mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

* : 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature

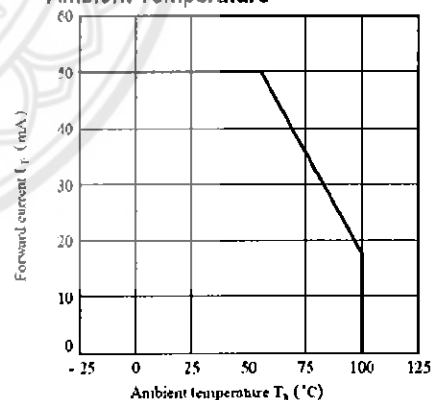


Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

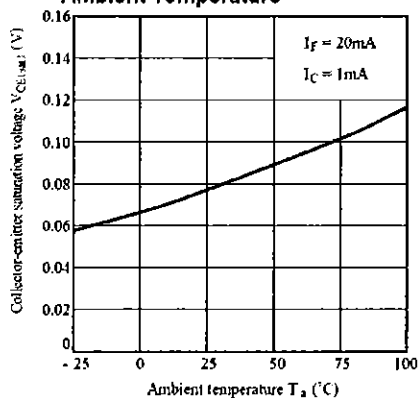


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

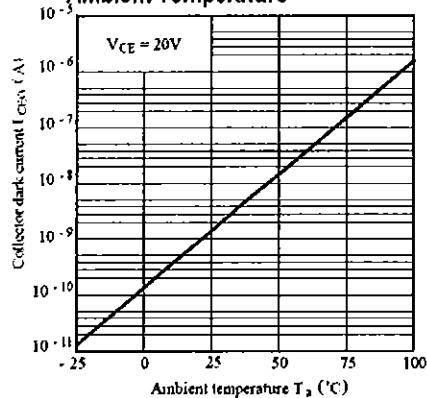


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

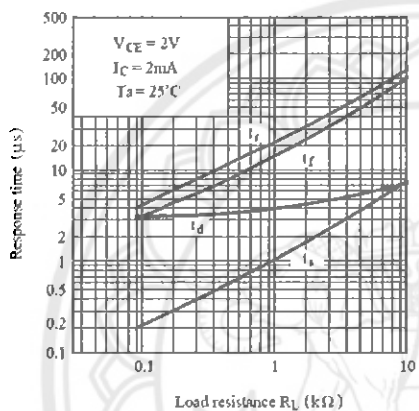
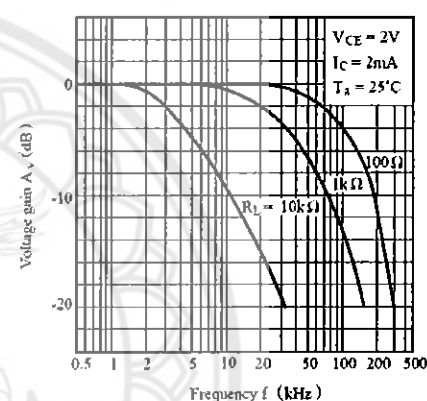
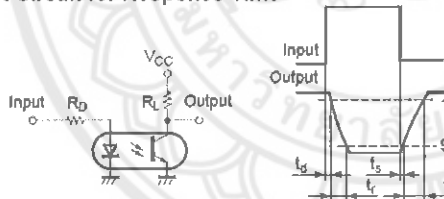


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

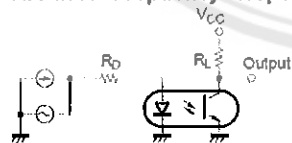
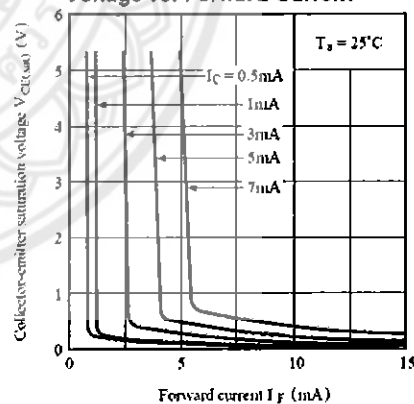


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



● Please refer to the chapter "Precautions for Use"

Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

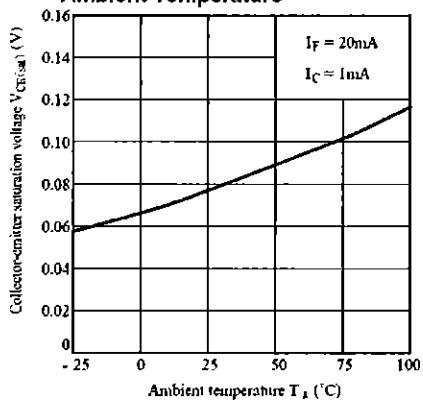


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

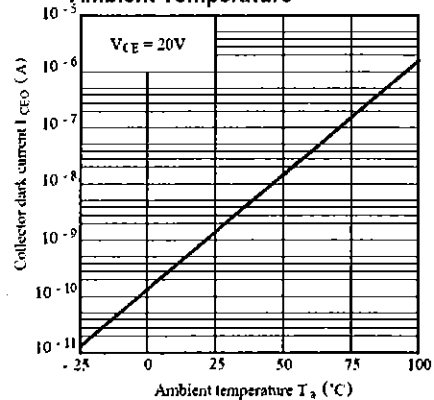


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

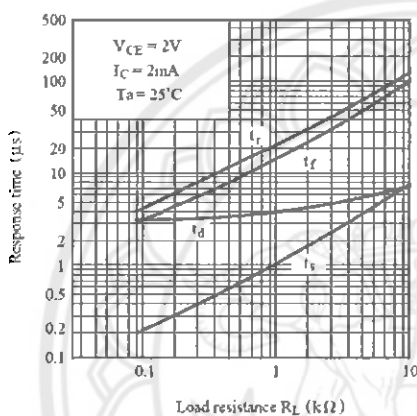
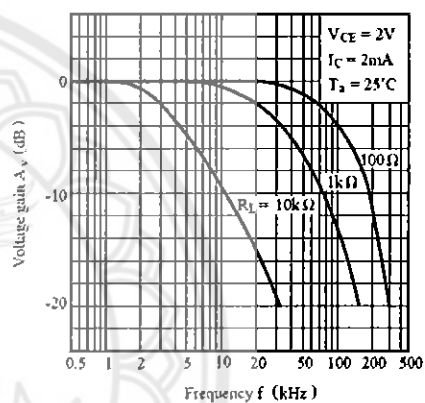
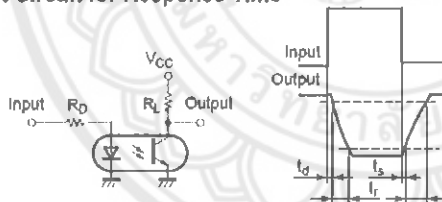


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

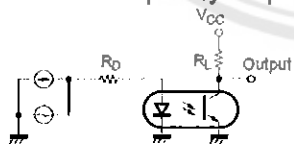
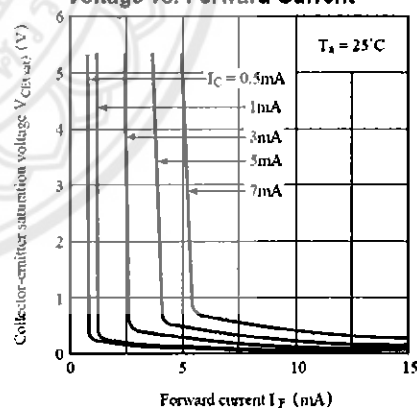


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



● Please refer to the chapter "Precautions for Use"

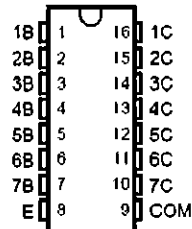


ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A,
 ULQ2003A, ULQ2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY
 SLRS027A - DECEMBER 1976 - REVISED MAY 2001

HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

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

D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)

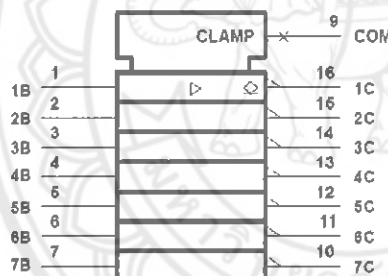


description

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

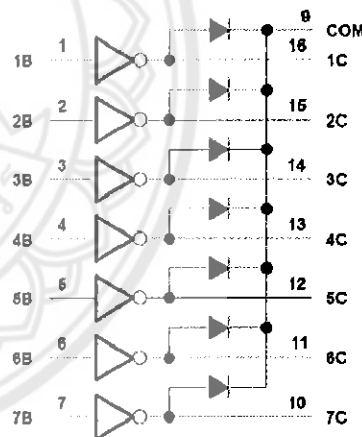
The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is specifically designed for use with 14- to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A and ULQ2003A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

logic symbol†



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

logic diagram



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

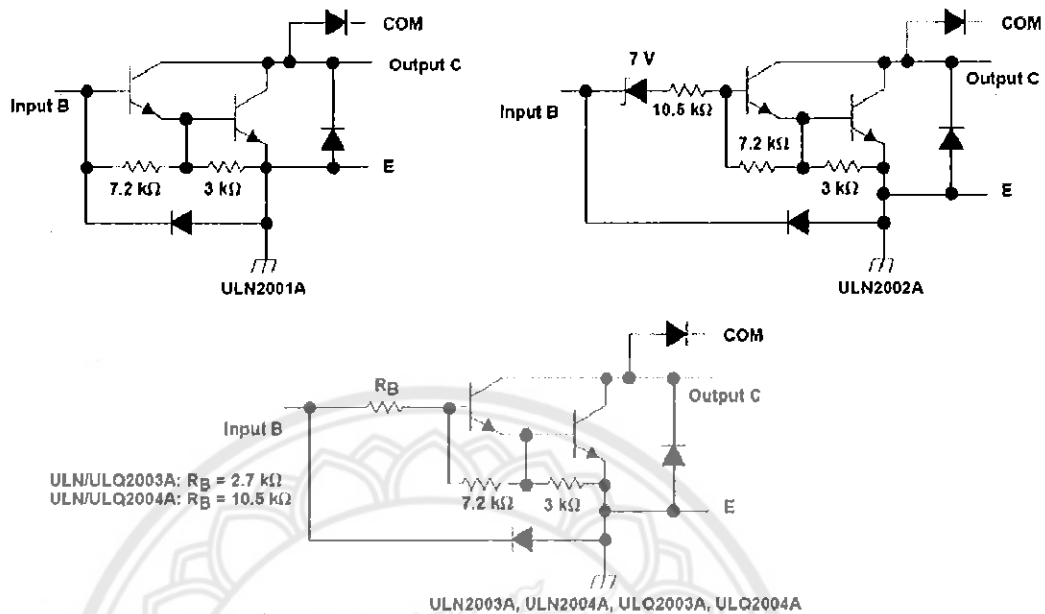


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2001, Texas Instruments Incorporated

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

schematics (each Darlington pair)



All resistor values shown are nominal.

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

Collector-emitter voltage	50 V
Clamp diode reverse voltage (see Note 1)	50 V
Input voltage, V_I (see Note 1)	30 V
Peak collector current (see Figures 14 and 15)	500 mA
Output clamp current, I_{OCl}	500 mA
Total emitter-terminal current	-2.5 A
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature range, T_A	ULN200xA: -20°C to 85°C
	ULQ2003A: -40°C to 85°C
	ULQ2004A: -40°C to 70°C
Operating junction temperature range, T_J	-40°C to 105°C
Storage temperature range, T_{Stg}	-65°C to 150°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

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

DISSIPATION RATING TABLE

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



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

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

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

PARAMETER	TEST FIGURE	TEST CONDITIONS	ULN2001A			ULN2002A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$ On-state input voltage	6	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 300\text{ mA}$						13	V
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	5	$I_I = 250\ \mu\text{A}$, $I_C = 100\text{ mA}$	0.9	1.1	0.9	1.1			V
		$I_I = 350\ \mu\text{A}$, $I_C = 200\text{ mA}$	1	1.3	1	1.3			
		$I_I = 500\ \mu\text{A}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1.2	1.6	1.2	1.6			
V_F Clamp forward voltage	8	$I_F = 350\text{ mA}$	1.7	2	1.7	2		V	
I_{CEX} Collector cutoff current	1	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_I = 0$		50		50			μA
	2	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $V_I = 6\text{ V}$, $I_I = 0$		100		100		500	μA
$I_{I(off)}$ Off-state input current	3	$V_{CE} = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$, $I_C = 500\ \mu\text{A}$	50	65	50	65			μA
I_I Input current	4	$V_I = 17\text{ V}$			0.62	1.25			mA
I_R Clamp reverse current	7	$V_R = 50\text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$		100		100			μA
		$V_R = 50\text{ V}$		50		50			μA
h_{FE} Static forward current transfer ratio	5	$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 350\text{ mA}$	1000						
C_i Input capacitance		$V_I = 0$, $f = 1\text{ MHz}$	15	25	15	25			pF

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

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

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 665303 • DALLAS, TEXAS 75266

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

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

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

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

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

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

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



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

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

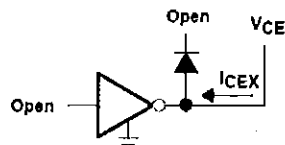


Figure 1. I_{CEX} Test Circuit

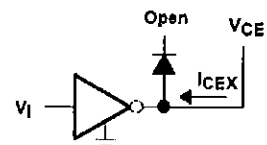


Figure 2. I_{CEX} Test Circuit

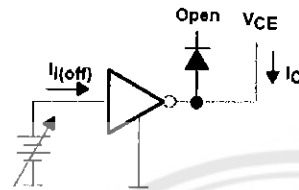


Figure 3. $I_{I(off)}$ Test Circuit

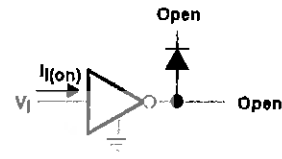
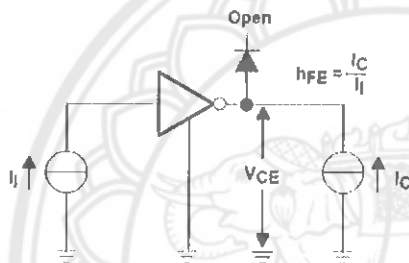


Figure 4. I_I Test Circuit



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

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

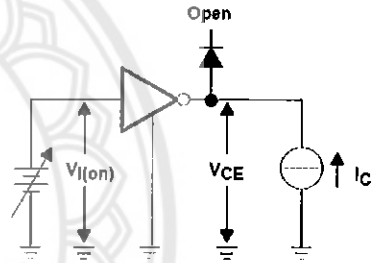


Figure 6. $V_{I(on)}$ Test Circuit

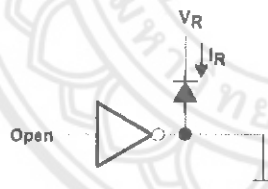


Figure 7. I_R Test Circuit

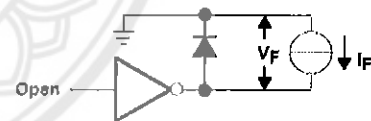
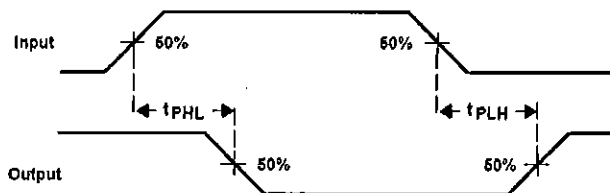


Figure 8. V_F Test Circuit

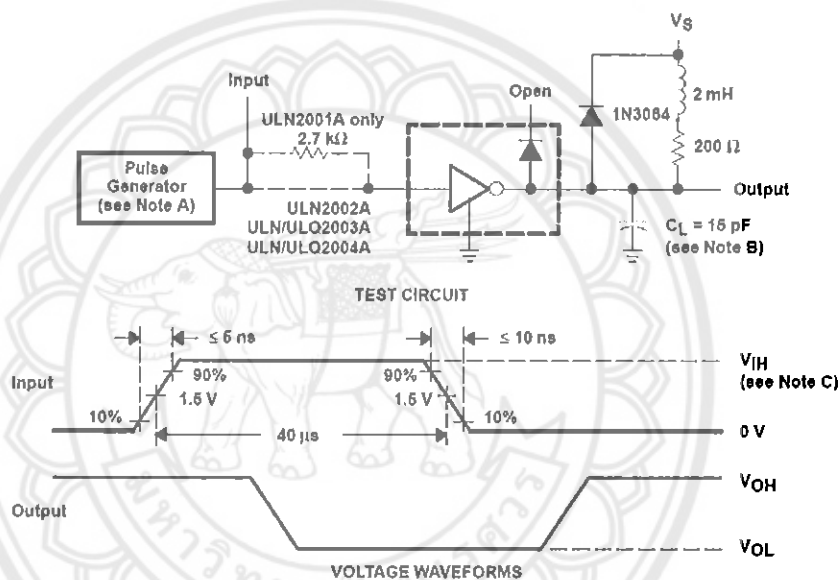
**ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A,
ULQ2003A, ULQ2004A
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY**
SLRS027A – DECEMBER 1976 – REVISED MAY 2001

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



VOLTAGE WAVEFORMS

Figure 9. Propagation Delay Time Waveforms



VOLTAGE WAVEFORMS

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

Figure 10. Latch-Up Test Circuit and Voltage Waveforms

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

APPLICATION INFORMATION

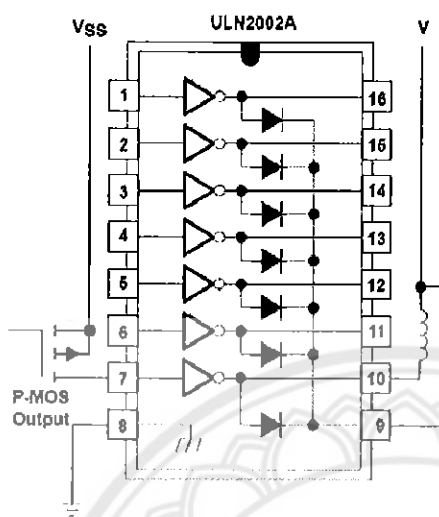


Figure 16. P-MOS to Load

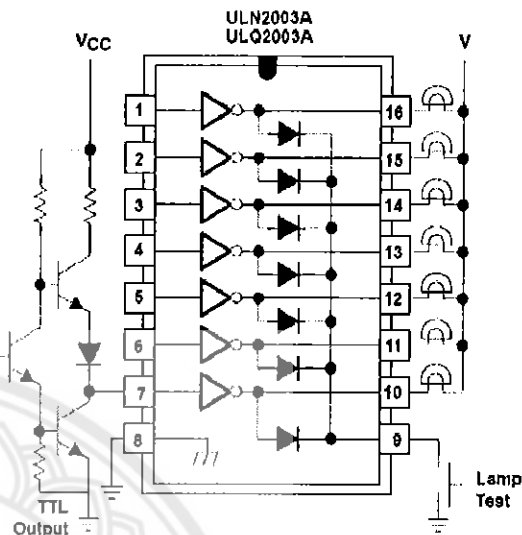


Figure 17. TTL to Load

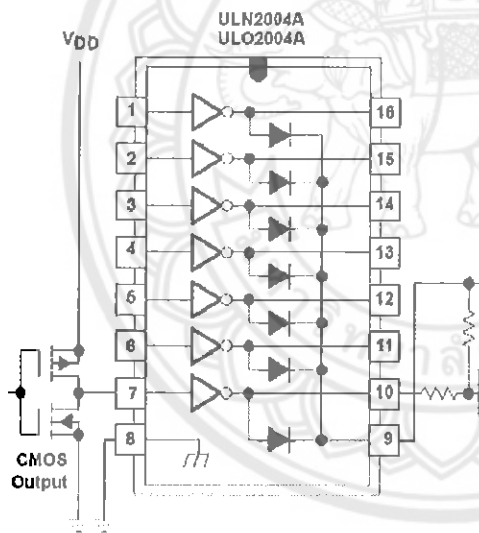


Figure 18. Buffer for Higher Current Loads

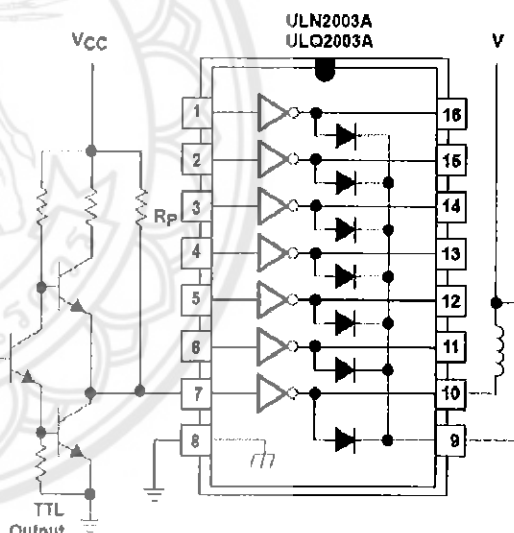


Figure 19. Use of Pullup Resistors to Increase Drive Current



ภาคผนวก ข

รายละเอียดข้อมูลของ LM2576

มหาวิทยาลัยนเรศวร

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 μA (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

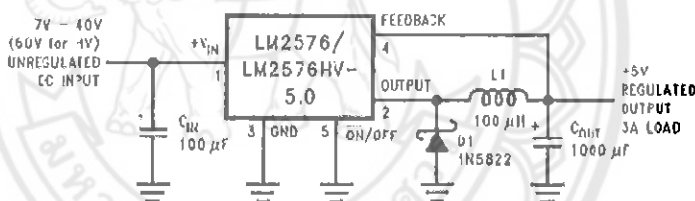
Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version) $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

Applications

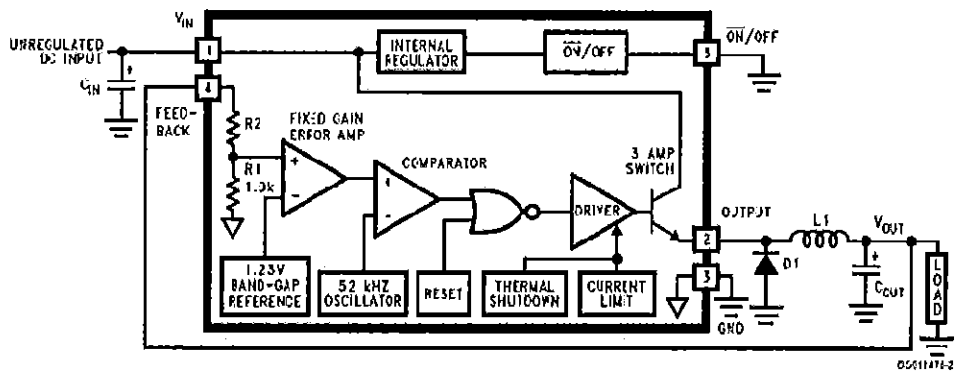
- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Block Diagram



3.3V R2 = 1.7k
 5V R2 = 3.1k
 12V R2 = 3.04k
 15V R2 = 11.3k
 For ADJ. Version
 R1 = Open, R2 = (X)
 Patent Pending

Ordering Information

Temperature Range	Output Voltage					NS Package Number	Package Type
	3.3	5.0	12	15	ADJ		
-40°C ≤ TA ≤ 125°C	LM2576-HVS-3.3	LM2576HVS-5.0	LM2576HVS-12	LM2576HVS-15	LM2576HVS-ADJ	T56B	TO-263
	LM2576S-3.3	LM2576S-5.0	LM2576S-12	LM2576S-15	LM2576S-ADJ		
	LM2576-IVSX-3.3	LM2576IVSX-5.0	LM2576IVSX-12	LM2576IVSX-15	LM2576IVSX-ADJ	T36D Tape & Reel	
	LM2576SX-3.3	LM2576SX-5.0	LM2576SX-12	LM2576SX-15	LM2576SX-ADJ		
	LM2576-HVT 3.3	LM2576HVT 5.0	LM2576HVT 12	LM2576HVT 15	LM2576HVT ADJ	T05A	TO 220
	LM2576T 3.3	LM2576T 5.0	LM2576T 12	LM2576T 15	LM2576T ADJ		
	LM2576-HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05D	
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03		
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03		

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Maximum Supply Voltage	
LM2576	45V
LM2576HV	63V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3V \leq V \leq +V_{IH}$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally Limited
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	150°C

Minimum ESD Rating

(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)

2 kV

Lead Temperature

(Soldering, 10 Seconds)

260°C

Operating Ratings

Temperature Range

LM2576/LM2576HV

 $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$

Supply Voltage

LM2576

40V

LM2576HV

60V

LM2576-3.3, LM2576HV-3.3**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-3.3 LM2576HV-3.3		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of Figure 2	3.3	3.234 3.300	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$8V \leq V_{IN} \leq 40V, 0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 2	3.3	3.168/3.135 3.432/3.465	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$8V \leq V_{IN} \leq 60V, 0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 2	3.3	3.168/3.135 3.460/3.482	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	75		%

LM2576-5.0, LM2576HV-5.0**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **Figure 2 boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of Figure 2	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 40V$ Circuit of Figure 2	5.0	4.800/4.760 5.200/5.260	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 60V$ Circuit of Figure 2	5.0	4.800/4.760 5.225/5.275	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	77		%

LM2576-12, LM2576HV-12 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	12	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	12	11.52/11.40 12.54/12.66	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

LM2576-15, LM2576HV-15 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 2	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 2	15	14.40/14.25 15.60/15.75	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 2	15	14.40/14.25 15.68/15.83	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 18\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Feedback Voltage	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 2	1.230	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)

LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ**Electrical Characteristics** (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2					
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 2	1.230	1.193/1.180 1.267/1.280	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ $V_{OUT} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 2	1.230	1.193/1.180 1.273/1.286	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$, $I_{LOAD} = 3\text{A}$, $V_{OUT} = 5\text{V}$	77		%

All Output Voltage Versions**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
DEVICE PARAMETERS					
I_b	Feedback Bias Current	$V_{OUT} = 5\text{V}$ (Adjustable Version Only)	50	100/500	nA
f_o	Oscillator Frequency	(Note 11)	52	47/42 58/63	kHz kHz (Min) kHz (Max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ (Note 4)	1.4	1.8/2.0	V V(Max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	(Note 5)	98	93	% %(Min)
I_{CL}	Current Limit	(Notes 4, 11)	5.8	4.2/3.5 6.9/7.5	A A(Min) A(Max)
I_L	Output Leakage Current	(Notes 6, 7) Output = 0V Output = -1V Output = -1V	7.5	2 30	mA(Max) mA mA(Max)
I_Q	Quiescent Current	(Note 6)	5	10	mA mA(Max)
I_{STBY}	Standby Quiescent Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	50	200	μA $\mu\text{A}(\text{Max})$
θ_{JA}	Thermal Resistance	T Package, Junction to Ambient (Note 8)	65		'C/W
θ_{JA}		T Package, Junction to Ambient (Note 9)	45		
θ_{JC}		T Package, Junction to Case	2		
θ_{JA}		S Package, Junction to Ambient (Note 10)	50		

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
ON/OFF CONTROL Test Circuit Figure 2					
V_{IH}	ON/OFF Pin	$V_{OUT} = 0\text{V}$	1.4	2.2/2.4	V(Min)
V_{IL}	Logic Input Level	$V_{OUT} = \text{Nominal Output Voltage}$	1.2	1.0/0.8	V(Max)
I_{IH}	ON/OFF Pin Input Current	ON/OFF Pin = 5V (OFF)	12	30	μA $\mu\text{A(Max)}$
I_{IL}		ON/OFF Pin = 0V (ON)	0	10	μA $\mu\text{A(Max)}$

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

Note 3: External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in the Figure 2 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

Note 4: Output pin sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output.

Note 5: Feedback pin removed from output and connected to 0V.

Note 6: Feedback pin removed from output and connected to +12V for the Adjustable, 3.3V, and 5V versions, and +25V for the 12V and 15V versions, to force the output transistor OFF.

Note 7: $V_{IN} = 40\text{V}$ (60V for high voltage version).

Note 8: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/8 inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.

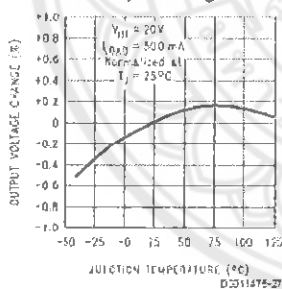
Note 9: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/8 inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.

Note 10: If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PCB copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50°C/W , with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W , and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W .

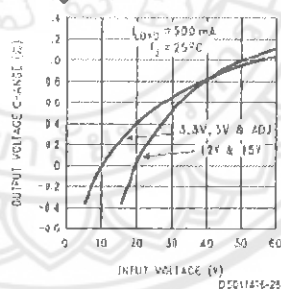
Note 11: The oscillator frequency reduces to approximately 11 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average power dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.

Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2)

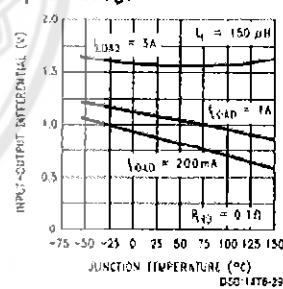
Normalized Output Voltage



Line Regulation

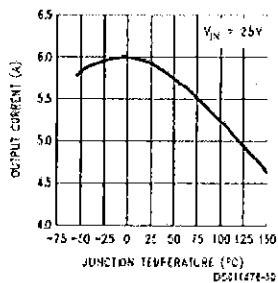


Dropout Voltage

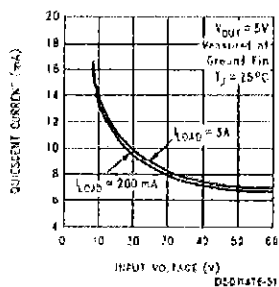


Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2) (Continued)

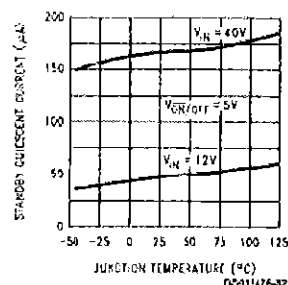
Current Limit



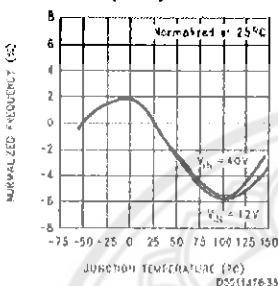
Quiescent Current



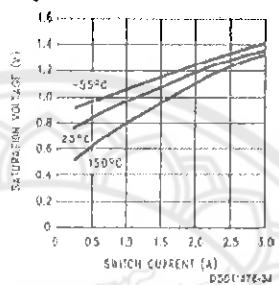
Standby Quiescent Current



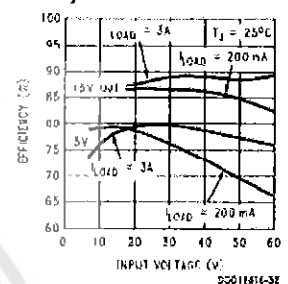
Oscillator Frequency



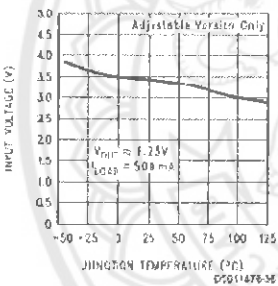
Switch Saturation Voltage



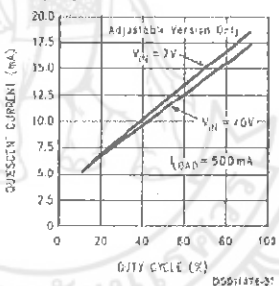
Efficiency



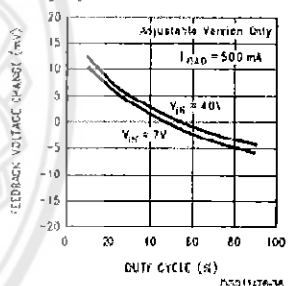
Minimum Operating Voltage



Quiescent Current vs Duty Cycle

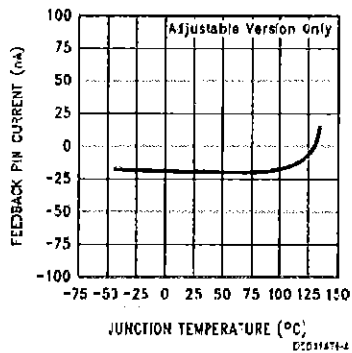


Feedback Voltage vs Duty Cycle

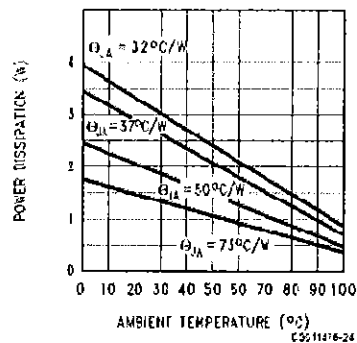


Typical Performance Characteristics (Circuit of Figure 2) (Continued)

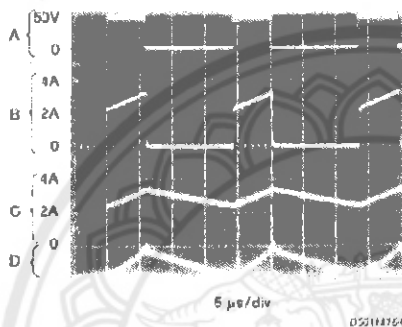
Feedback Pin Current



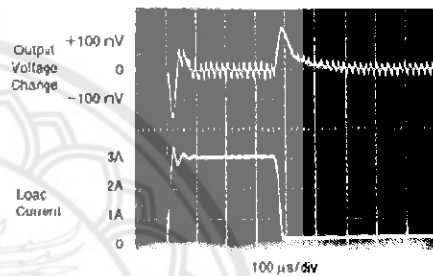
Maximum Power Dissipation (TO-263) (See Note 10)



Switching Waveforms



Load Transient Response



V_{OUT} = 15V
 A: Output Pin Voltage, 50V/div
 B: Output Pin Current, 2A/div
 C: Inductor Current, 2A/div
 D: Output Ripple Voltage, 50 mV/div, AC-Coupled
 Horizontal Time Base: 5 μ s/div

Application Hints

INPUT CAPACITOR (C_{IN})

To maintain stability, the regulator input pin must be bypassed with at least a 100 μF electrolytic capacitor. The capacitor's leads must be kept short, and located near the regulator.

If the operating temperature range includes temperatures below -25°C , the input capacitor value may need to be larger. With most electrolytic capacitors, the capacitance value decreases and the ESR increases with lower temperatures and age. Paralleling a ceramic or solid tantalum capacitor will increase the regulator stability at cold temperatures. For maximum capacitor operating lifetime, the capacitor's RMS ripple current rating should be greater than

$$1.2 \times \left(\frac{I_{ON}}{T} \right) \times I_{LOAD}$$

where $\frac{I_{ON}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ for a buck regulator

and $\frac{I_{ON}}{T} = \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + V_{IN}}$ for a buck-boost regulator.

INDUCTOR SELECTION

All switching regulators have two basic modes of operation: continuous and discontinuous. The difference between the two types relates to the inductor current, whether it is flowing continuously, or if it drops to zero for a period of time in the normal switching cycle. Each mode has distinctively different operating characteristics, which can affect the regulator performance and requirements.

The LM2576 (or any of the SIMPLE SWITCHER family) can be used for both continuous and discontinuous modes of operation.

The inductor value selection guides in Figure 3 through Figure 7 were designed for buck regulator designs of the continuous inductor current type. When using inductor values shown in the inductor selection guide, the peak-to-peak inductor ripple current will be approximately 20% to 30% of the maximum DC current. With relatively heavy load currents, the circuit operates in the continuous mode (inductor current always flowing), but under light load conditions, the circuit will be forced to the discontinuous mode (inductor current falls to zero for a period of time). This discontinuous mode of operation is perfectly acceptable. For light loads (less than approximately 300 mA) it may be desirable to operate the regulator in the discontinuous mode, primarily because of the lower inductor values required for the discontinuous mode.

The selection guide chooses inductor values suitable for continuous mode operation, but if the inductor value chosen is prohibitively high, the designer should investigate the possibility of discontinuous operation. The computer design software *Switchers Made Simple* will provide all component values for discontinuous (as well as continuous) mode of operation.

Inductors are available in different styles such as pot core, toroid, E-frame, bobbin core, etc., as well as different core materials, such as ferrites and powdered iron. The least expensive, the bobbin core type, consists of wire wrapped on a ferrite rod core. This type of construction makes for an inexpensive inductor, but since the magnetic flux is not completely contained within the core, it generates more electro-

magnetic interference (EMI). This EMI can cause problems in sensitive circuits, or can give incorrect scope readings because of induced voltages in the scope probe.

The inductors listed in the selection chart include ferrite pot core construction for AIE, powdered iron toroid for Pulse Engineering, and ferrite bobbin core for Renco.

An inductor should not be operated beyond its maximum rated current because it may saturate. When an inductor begins to saturate, the inductance decreases rapidly and the inductor begins to look mainly resistive (the DC resistance of the winding). This will cause the switch current to rise very rapidly. Different inductor types have different saturation characteristics, and this should be kept in mind when selecting an inductor.

The inductor manufacturer's data sheets include current and energy limits to avoid inductor saturation.

INDUCTOR RIPPLE CURRENT

When the switcher is operating in the continuous mode, the inductor current waveform ranges from a triangular to a sawtooth type of waveform (depending on the input voltage). For a given input voltage and output voltage, the peak-to-peak amplitude of this inductor current waveform remains constant. As the load current rises or falls, the entire sawtooth current waveform also rises or falls. The average DC value of this waveform is equal to the DC load current (in the buck regulator configuration).

If the load current drops to a low enough level, the bottom of the sawtooth current waveform will reach zero, and the switcher will change to a discontinuous mode of operation. This is a perfectly acceptable mode of operation. Any buck switching regulator (no matter how large the inductor value is) will be forced to run discontinuous if the load current is light enough.

OUTPUT CAPACITOR

An output capacitor is required to filter the output voltage and is needed for loop stability. The capacitor should be located near the LM2576 using short pc board traces. Standard aluminum electrolytics are usually adequate, but low ESR types are recommended for low output ripple voltage and good stability. The ESR of a capacitor depends on many factors, some which are: the value, the voltage rating, physical size and the type of construction. In general, low value or low voltage (less than 12V) electrolytic capacitors usually have higher ESR numbers.

The amount of output ripple voltage is primarily a function of the ESR (Equivalent Series Resistance) of the output capacitor and the amplitude of the inductor ripple current (ΔI_{IND}). See the section on inductor ripple current in Application Hints.

The lower capacitor values (220 μF –1000 μF) will allow typically 50 mV to 150 mV of output ripple voltage, while larger-value capacitors will reduce the ripple to approximately 20 mV to 50 mV.

Output Ripple Voltage = $(\Delta I_{IND}) (ESR \text{ of } C_{OUT})$

To further reduce the output ripple voltage, several standard electrolytic capacitors may be paralleled, or a higher-grade capacitor may be used. Such capacitors are often called "high-frequency," "low-inductance," or "low-ESR." These will reduce the output ripple to 10 mV or 20 mV. However, when operating in the continuous mode, reducing the ESR below 0.03 Ω can cause instability in the regulator.

Application Hints (Continued)

Tantalum capacitors can have a very low ESR, and should be carefully evaluated if it is the only output capacitor. Because of their good low temperature characteristics, a tantalum can be used in parallel with aluminum electrolytics, with the tantalum making up 10% or 20% of the total capacitance.

The capacitor's ripple current rating at 52 kHz should be at least 50% higher than the peak-to-peak inductor ripple current.

CATCH DIODE

Buck regulators require a diode to provide a return path for the inductor current when the switch is off. This diode should be located close to the LM2576 using short leads and short printed circuit traces.

Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best efficiency, especially in low output voltage switching regulators (less than 5V). Fast-Recovery, High-Efficiency, or Ultra-Fast Recovery diodes are also suitable, but some types with an abrupt turn-off characteristic may cause instability and EMI problems. A fast-recovery diode with soft recovery characteristics is a better choice. Standard 60 Hz diodes (e.g., 1N4001 or 1N5400, etc.) are also not suitable. See Figure 8 for Schottky and "soft" fast-recovery diode selection guide.

OUTPUT VOLTAGE RIPPLE AND TRANSIENTS

The output voltage of a switching power supply will contain a sawtooth ripple voltage at the switcher frequency, typically about 1% of the output voltage, and may also contain short voltage spikes at the peaks of the sawtooth waveform.

The output ripple voltage is due mainly to the inductor sawtooth ripple current multiplied by the ESR of the output capacitor. (See the inductor selection in the application hints.)

The voltage spikes are present because of the fast switching action of the output switch, and the parasitic inductance of the output filter capacitor. To minimize these voltage spikes, special low inductance capacitors can be used, and their lead lengths must be kept short. Wiring inductance, stray capacitance, as well as the scope probe used to evaluate these transients, all contribute to the amplitude of these spikes.

An additional small LC filter (20 μ H & 100 μ F) can be added to the output (as shown in Figure 15) to further reduce the amount of output ripple and transients. A 10 x reduction in output ripple voltage and transients is possible with this filter.

FEEDBACK CONNECTION

The LM2576 (fixed voltage versions) feedback pin must be wired to the output voltage point of the switching power supply. When using the adjustable version, physically locate both output voltage programming resistors near the LM2576 to avoid picking up unwanted noise. Avoid using resistors greater than 100 k Ω because of the increased chance of noise pickup.

$\overline{\text{ON}}$ /OFF INPUT

For normal operation, the $\overline{\text{ON}}$ /OFF pin should be grounded or driven with a low-level TTL voltage (typically below 1.6V). To put the regulator into standby mode, drive this pin with a high-level TTL or CMOS signal. The $\overline{\text{ON}}$ /OFF pin can be safely pulled up to +V_{IN} without a resistor in series with it. The $\overline{\text{ON}}$ /OFF pin should not be left open.

GROUNDING

To maintain output voltage stability, the power ground connections must be low-impedance (see Figure 2). For the 5-lead TO-220 and TO-263 style package, both the tab and pin 3 are ground and either connection may be used, as they are both part of the same copper lead frame.

HEAT SINK/THERMAL CONSIDERATIONS

In many cases, only a small heat sink is required to keep the LM2576 junction temperature within the allowed operating range. For each application, to determine whether or not a heat sink will be required, the following must be identified:

1. Maximum ambient temperature (in the application).
2. Maximum regulator power dissipation (in application).
3. Maximum allowed junction temperature (125°C for the LM2576). For a safe, conservative design, a temperature approximately 15°C cooler than the maximum temperatures should be selected.
4. LM2576 package thermal resistances θ_{JA} and θ_{JC} .

Total power dissipated by the LM2576 can be estimated as follows:

$$P_D = (V_{IN})(I_Q) + (V_O/V_{IN})(I_{LOAD})(V_{SAT})$$

where I_Q (quiescent current) and V_{SAT} can be found in the Characteristic Curves shown previously, V_{IN} is the applied minimum input voltage, V_O is the regulated output voltage, and I_{LOAD} is the load current. The dynamic losses during turn-on and turn-off are negligible if a Schottky type catch diode is used.

When no heat sink is used, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D)(\theta_{JA})$$

To arrive at the actual operating junction temperature, add the junction temperature rise to the maximum ambient temperature.

$$T_J = \Delta T_J + T_A$$

If the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature determined in step 3, then a heat sink is required.

When using a heat sink, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D)(\theta_{JC} + \theta_{interface} + \theta_{heat\ sink})$$

The operating junction temperature will be:

$$T_J = T_A + \Delta T_J$$

As above, if the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature, then a larger heat sink is required (one that has a lower thermal resistance).

Included on the Switcher Made Simple design software is a more precise (non-linear) thermal model that can be used to determine junction temperature with different input-output parameters or different component values. It can also calculate the heat sink thermal resistance required to maintain the regulators junction temperature below the maximum operating temperature.

Additional Applications

INVERTING REGULATOR

Figure 10 shows a LM2576-12 in a buck-boost configuration to generate a negative 12V output from a positive input voltage. This circuit bootstraps the regulator's ground pin to the

Definition of Terms (Continued)

Most standard aluminum electrolytic capacitors in the 100 μF –1000 μF range have 0.5 Ω to 0.15 Ω ESR. Higher-grade capacitors ("low-ESR", "high-frequency", or "low-inductance") in the 100 μF –1000 μF range generally have ESR of less than 0.15 Ω .

EQUIVALENT SERIES INDUCTANCE (ESL)

The pure inductance component of a capacitor (see Figure 16). The amount of inductance is determined to a large extent on the capacitor's construction. In a buck regulator, this unwanted inductance causes voltage spikes to appear on the output.

OUTPUT RIPPLE VOLTAGE

The AC component of the switching regulator's output voltage. It is usually dominated by the output capacitor's ESR multiplied by the inductor's ripple current (ΔI_{IND}). The peak-to-peak value of this sawtooth ripple current can be determined by reading the Inductor Ripple Current section of the Application hints.

CAPACITOR RIPPLE CURRENT

RMS value of the maximum allowable alternating current at which a capacitor can be operated continuously at a specified temperature.

STANDBY QUIESCENT CURRENT ($I_{\text{Q(DV)}}$)

Supply current required by the LM2576 when in the standby mode (ON/OFF pin is driven to TTL-high voltage, thus turning the output switch OFF).

INDUCTOR RIPPLE CURRENT (ΔI_{IND})

The peak-to-peak value of the inductor current waveform, typically a sawtooth waveform when the regulator is operating in the continuous mode (vs. discontinuous mode).

CONTINUOUS/DISCONTINUOUS MODE OPERATION

Relates to the inductor current. In the continuous mode, the inductor current is always flowing and never drops to zero, vs. the discontinuous mode, where the inductor current drops to zero for a period of time in the normal switching cycle.

INDUCTOR SATURATION

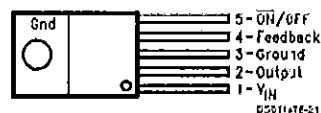
The condition which exists when an inductor cannot hold any more magnetic flux. When an inductor saturates, the inductor appears less inductive and the resistive component dominates. Inductor current is then limited only by the DC resistance of the wire and the available source current.

OPERATING VOLT MICROSECOND CONSTANT ($E \cdot T_{\text{op}}$)

The product (in Volt $\cdot\mu\text{s}$) of the voltage applied to the inductor and the time the voltage is applied. This $E \cdot T_{\text{op}}$ constant is a measure of the energy handling capability of an inductor and is dependent upon the type of core, the core area, the number of turns, and the duty cycle.

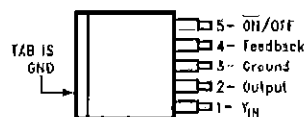
Connection Diagrams (Note 15)

Straight Leads 5-Lead TO-220 (T) Top View



LM2576T-XX or LM2576HVT-XX
NS Package Number T05A

TO-263 (S) 5-Lead Surface-Mount Package Top View



Side View
LM2576S-XX or LM2576HVS-XX
NS Package Number T55B
LM2576SX-XX or LM2576HVSX-XX
NS Package Number T55B, Tape and Reel

Bent, Staggered Leads 5-Lead TO-220 (T) Top View

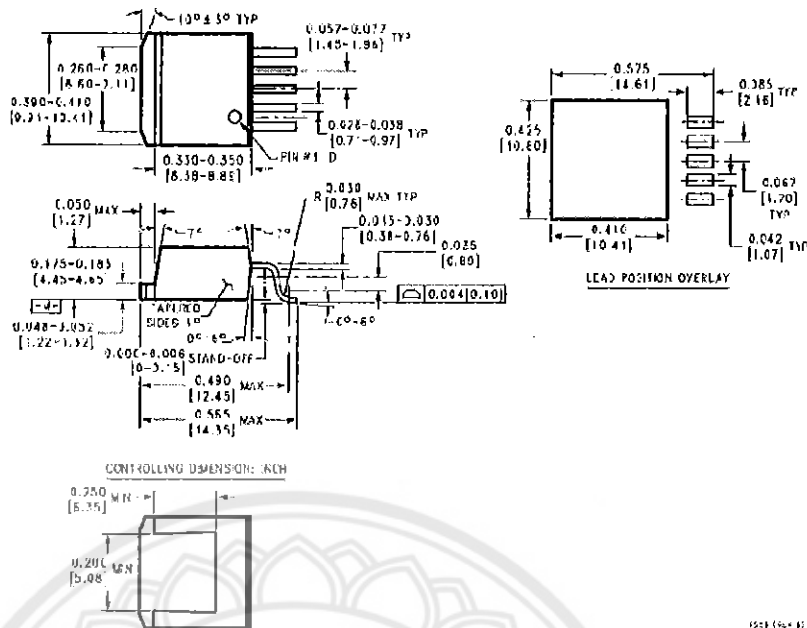


Side View
PINS 1, 3, & 5
PINS 2 & 4
LM2576T-XX Flow LB03
or LM2576HVT-XX Flow LB03
NS Package Number T05D

Note 15: (XX indicates output voltage option. See ordering information table for complete part number.)

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER 3A Step-Down Voltage Regulator

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



CONTROLLING DIMENSION: INCH

- 5-Lead TO-263 (S)
Order Number LM2576S-3.3, LM2576S-5.0,
LM2576S-12, LM2576S-15, LM2576S-ADJ,
LM2576HVS-3.3, LM2576HVS-5.0, LM2576HVS-12,
LM2576HVS-15, or LM2576HVS-ADJ
NS Package Number TS5B
- 5-Lead TO-263 in Tape & Reel (SX)
Order Number LM2576SX-3.3, LM2576SX-5.0,
LM2576SX-12, LM2576SX-15, LM2576SX-ADJ,
LM2576HV6X-3.3, LM2576HV6X-5.0, LM2576HV6X-12,
LM2576HV6X-15, or LM2576HV6X-ADJ
NS Package Number TS5B

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

<p>National Semiconductor Corporation Americas Tel: 1-800-272-9959 Fax: 1-800-737-7011 Email: subson@nsc.com www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe Tel: +49 (0) 1 89-570 35 89 Fax: +49 (0) 1 89-570 35 85 Email: europa@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group Tel: 65-25444666 Fax: 65-25094088 Email: rep@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd Tel: 81-3-6732-7000 Fax: 81-3-5561-7507</p>
---	--	--	---

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described in this circuit patent license is granted and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.



ภาคผนวก ข

รายละเอียดข้อมูลของวีลีย์ 24 VDC

มหาวิทยาลัยนเรศวร

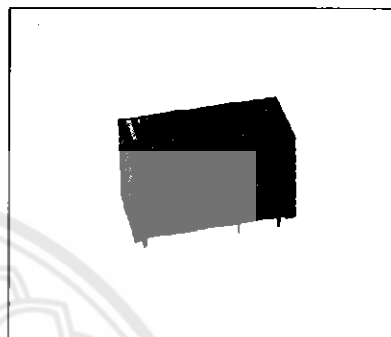
POWER RELAY

1 POLE—10 A LOW PROFILE TYPE

FTR-H1 SERIES

■ FEATURES

- Working class: B (for IMQ)/ C (for VDE)
- Type of service: continuous duty
- Low profile (height 16.5 mm)/ cadmium free contacts
- 1 form A/ 1 form C 10 A, TV-5 rating available
- UL class B (130°C) insulation
- High isolation in small package (between coil and contacts)
 - Insulation distance : 8 mm
 - Dielectric strength : 5,000 VAC
 - Surge strength : 10,000 V
- Plastic materials —UL94 flame class V-0
UL CTI level class 2
- Plastic sealed relay
- Pin configuration compatible to VS/ FBR610 Series
- UL, CCA, BSI, VDE, SEMKO recognized
- Conforms to FIMKO, DENKO
- Environmentally friendly cadmium free contacts type are available



■ ORDERING INFORMATION

[Example] $\frac{\text{FTR-H1}}{\text{(a)}} \frac{\text{A}}{\text{(b)}} \frac{\text{A}}{\text{(c)}} \frac{\text{005}}{\text{(d)}} \frac{\text{V}}{\text{(e)}} \frac{\text{—}}{\text{(f)}}$

(a)	Series Name	FTR-H1: FTR-H1 Series			
(b)	Contact Arrangement	A	: 1 form A (SPST-NO)		
		C	: 1 form C (SPDT)		
(c)	Coil Type	A	: Standard type (0.63 W)		
		D	: High sensitive type (0.4W)		
(d)	Nominal Voltage	005	: 5 VDC	012	: 12 VDC
		006	: 6 VDC	024	: 24 VDC
		009	: 9 VDC	048	: 48 VDC
(e)	Contact Material/TV Type	V	: Gold plate silver alloy (standard type)		
		T	: Gold plate silver alloy (TV-5 rating type, 1 form A standard type only)		
(f)	Custom Designation	Custom specification to be assigned			

Ordering Code Actual Marking
FTR-H1AA005V H1AA005V

FTR-H1 SERIES

■ SAFETY STANDARD AND FILE NUMBERS

UL508, 873 (File No. E63614)

C22.2 No. 14 (File No. LR40304-30/LR107822)

VDE 0435, 0831, 0700, 0880 (File No. 11039-4940-1019)

	Nominal voltage	Contact rating
TV-Rating	6 - 48 VDC	TV-5 120 VAC 1/2 HP 250 VAC 1/3 HP 125 VAC 10 A 30 VDC/250 VAC resistive Plo: duty B 300, Q 300
General		1/2 HP 250 VAC 1/3 HP 125 VAC 10 A 30 VDC/250 VAC resistive 3A 250 VAC inductive (PF=0.4) Plo: duty B 300, Q 300



FTR-H1 SERIES

■ SPECIFICATIONS

Item		Standard Type	Sensitive	TV-5 Rating Type
Contact	Arrangement	1 form A (SPST-NO), 1 form C (SPDT)		1 form A (SPST-NO)
	Material	Gold plate silver alloy		
	Style	Single		
	Resistance (initial)	Maximum 100 m Ω (at 1 A 6 VDC)		
	Rating (Resistive)	10 A 250 VAC/30 VDC		
	Maximum Carrying Current	14 A		
	Maximum Switching Rating	2,500 VA/300 W		
	Maximum Switching Voltage	400 VAC 300 VDC		
	Maximum Switching Current	10 A		
	Minimum Switching Load ^{*1}	10 mA 5 VDC		
	Maximum Inrush Current	—		78 A 120 VAC (at lamp load)
Coil	Operating Range	80 to 110 % \times V nominal		
	Nominal Power (at 20°C)	0.53 W	0.4W	0.53 W
	Operate Power (at 20°C)	0.26 W	0.225W	0.26W
	Operating Temperature	-40°C to +75°C (no frost) (refer to the CHARACTERISTIC DATA)		
Time Value	Operate (at nominal voltage)	Maximum 10 ms		
	Release (at nominal voltage)	Maximum 5 ms		
Insulation	Resistance (at 500 VDC)	Minimum 1,000 M Ω		
	Dielectric Strength	Between open contacts	1,000 VAC 1 minute	
		Between coil and contacts ^{*2}	5,000 VAC 1 minute	
Surge Strength ^{*3}	10,000 V (at 1.2 \times 50 μ s)			
Life	Mechanical	2 \times 10 ⁷ operations minimum		
	Electrical	Contact Rating	1 \times 10 ⁵ operations minimum	
		Lamp Load	—	
Other	Vibration Resistance	Misoperation	10 to 55 Hz (double amplitude of 1.65 mm)	
		Endurance	10 to 55 Hz (double amplitude of 3.3 mm)	
	Shock Resistance	Misoperation	100 m/s ² (11 \pm 1 ms)	
		Endurance	1,000 m/s ² (6 \pm 1 ms)	
	Weight	Approximately 12 g		

^{*1} Minimum switching loads mentioned above are reference values. Please perform the confirmation test with the actual load before production since reference values may vary according to switching frequencies, environmental conditions and expected reliability levels.

^{*2} IMQ

^{*3} IMQ

FTR-H1 SERIES

■ COIL DATA CHART

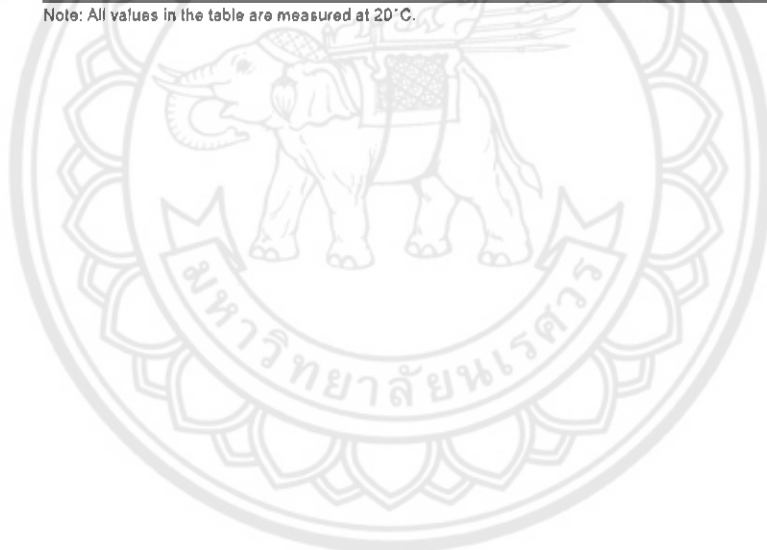
MODEL		Nominal Voltage	Coil Resistance (±10%)	Must Operate Voltage	Must Release Voltage
Standard Type	TV-5 Rating Type				
FTR-H1 (C, A) A005 V	FTR-H1AA005 T	5 VDC	47 Ω	3.5 VDC	0.5 VDC
FTR-H1 (C, A) A006 V	FTR-H1AA006 T	6 VDC	68 Ω	4.2 VDC	0.6 VDC
FTR-H1 (C, A) A009 V	FTR-H1AA009 T	9 VDC	155 Ω	6.3 VDC	0.9 VDC
FTR-H1 (C, A) A012 V	FTR-H1AA012 T	12 VDC	270 Ω	8.4 VDC	1.2 VDC
FTR-H1 (C, A) A024 V	FTR-H1AA024 T	24 VDC	1,100 Ω	16.8 VDC	2.4 VDC
FTR-H1 (C, A) A048 V	FTR-H1AA048 T	48 VDC	4,400 Ω	33.6 VDC	4.8 VDC

Note: All values in the table are measured at 20°C.

Sensitive Type

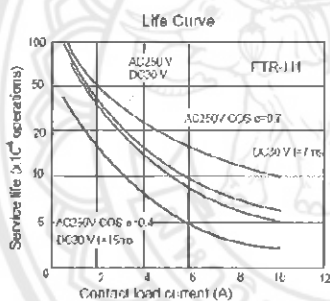
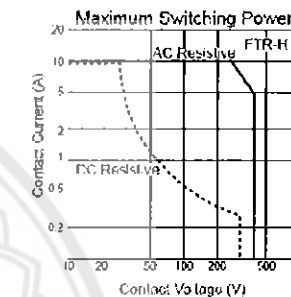
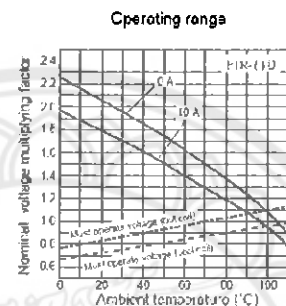
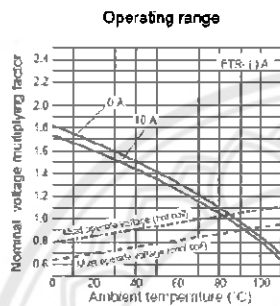
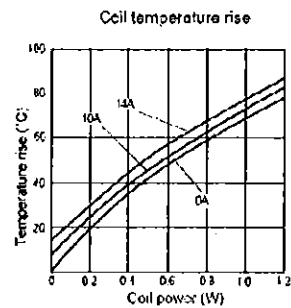
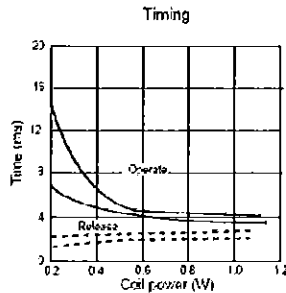
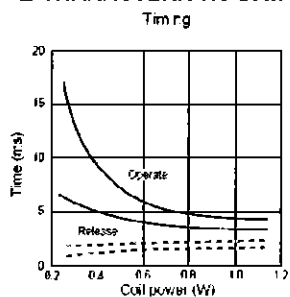
MODEL		Nominal Voltage	Coil Resistance (±10%)	Must Operate Voltage	Must Release Voltage
Standard Type					
FTR-H1 (C, A) D005 V		5 VDC	62 Ω	3.75 VDC	0.6 VDC
FTR-H1 (C, A) D006 V		6 VDC	90 Ω	4.5 VDC	0.6 VDC
FTR-H1 (C, A) D009 V		9 VDC	202 Ω	6.75 VDC	0.9 VDC
FTR-H1 (C, A) D012 V		12 VDC	360 Ω	9.0 VDC	1.2 VDC
FTR-H1 (C, A) D024 V		24 VDC	1,440 Ω	18.0 VDC	2.4 VDC
FTR-H1 (C, A) D048 V		48 VDC	5,760 Ω	36.0 VDC	4.8 VDC

Note: All values in the table are measured at 20°C.



FTR-H1 SERIES

CHARACTERISTIC DATA





ภาคผนวก ฅ

รายละเอียดข้อมูลของไดโอดเบอร์ 1N5822

มหาวิทยาลัยพระนคร



Certificate Number: Q10561

Certificate Number: ED 7276

1N5820 - 1N5822

PRV : 20 - 40 Volts
 I_o : 3.0 Ampere

FEATURES :

- * High current capability
- * High surge current capability
- * High reliability
- * High efficiency
- * Low power loss
- * Low cost
- * Low forward voltage drop
- * Pb / RoHS Free

MECHANICAL DATA :

- * Case : DO-201AD Molded plastic
- * Epoxy : UL94V-0 rate flame retardant
- * Lead : Axial lead solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- * Polarity : Color band denotes cathode end
- * Mounting position : Any
- * Weight : 1.1 grams

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
 Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
 For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	1N5820	1N5821	1N5822	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	20	30	40	V
Maximum RMS Voltage	V_{RRMS}	14	21	28	V
Maximum DC Blocking Voltage	VDC	20	30	40	V
Maximum Average Forward Current 0.375", 0.5mm Lead Lengths at $T_L = 95^\circ\text{C}$	$I_{F(AV)}$		3.0		A
Maximum Peak Forward Surge Current, 8.3ms single half sine wave Superimposed on rated load (JEDEC Method) $T_L = 75^\circ\text{C}$	I_{FSM}		30		A
Maximum Forward Voltage at $I_F = 3.0\text{ A}$ (Note 1)	V_F	0.475	0.500	0.525	V
Maximum Reverse Current at $T_a = 25^\circ\text{C}$	I_R		2.0		mA
Rated DC Blocking Voltage (Note 1) $T_a = 100^\circ\text{C}$	$I_{R(R)}$		20		mA
Typical Thermal Resistance (Note 2)	$R_{\theta JL}$		20		$^\circ\text{C/W}$
Junction Temperature Range	T_J		-65 to +125		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}		-65 to +125		$^\circ\text{C}$

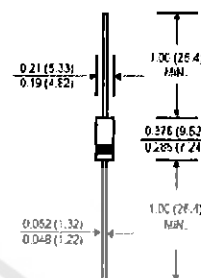
Notes :

(1) Pulse Test : Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle = 2%

(2) Thermal Resistance from Junction to Lead Vertical PC Board Mounting, 0.5" (12.5mm) Lead Lengths with 2.5 mm^2 (63.5 mm^2) copper pads.

SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER DIODES

DO-201AD



Dimensions in Inches and (millimeters)



RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (1N5820 - 1N5822)

FIG.1 - FORWARD CURRENT DERATING CURVE

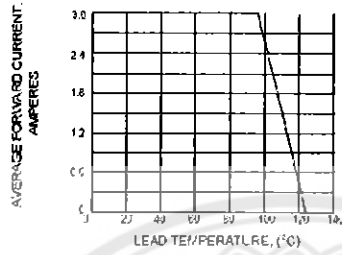


FIG.2 - MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

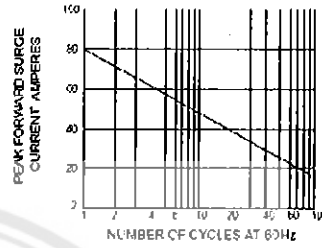


FIG.3 - TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

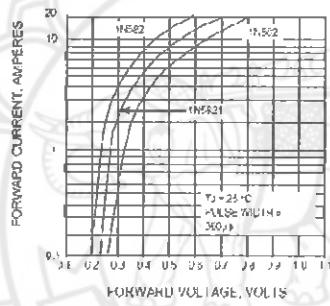
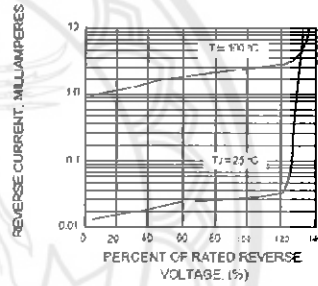


FIG.4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS





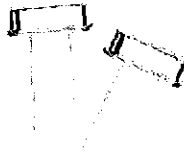
ภาคผนวก ญ

รายละเอียดข้อมูลของคริสตัล 20 MHz



XT49S
Vishay Dale

Low Profile Holder Type Crystal Units



FEATURES

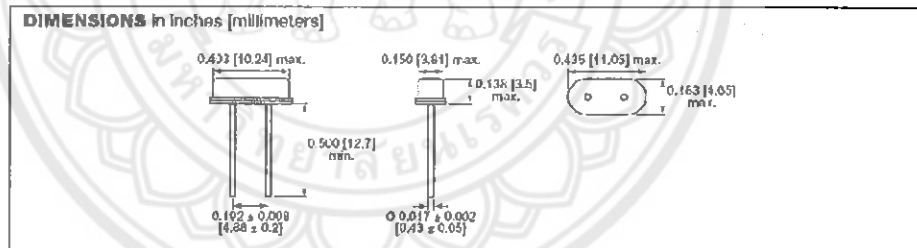
- Low cost
- Industry standard
- Wide frequency range
- Excellent aging
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC



This part is a miniature AT cut strip crystal unit with a low profile package. It is with resistance weld.

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS						
PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	UNIT	MIN.	TYP.	MAX.
Frequency range	f_0		MHz	3.573545	-	66.000
Frequency tolerance	$\Delta F/F_0$	at 25 °C	ppm	-30	-	+30
Temperature stability	T_0	ref. to 25 °C	ppm	-50	-	+50
Operating temperature range	T_{OPK}		°C	-10	-	+70
Storage temperature range	T_{STa}		°C	-55	-	+125
Shunt capacitance	C_0		pF	-	-	7
Load capacitance	C_L	customer specified	pF	10	-	series
Insulation resistance	I_n	100 V_{D0}	MΩ	500	-	-
Drive level	D_L		μW	-	100	500
Aging (first year)	F_a	at 25 °C, per year	ppm	-5	-	+5

EQUIVALENT SERIES RESISTANCE (ESR) AND MODE OF VIBRATION (MODE)					
FREQUENCY RANGE (MHz)	MAX. ESR (Ω)	MODE	FREQUENCY RANGE (MHz)	MAX. ESR (Ω)	MODE
3.579 to 3.999	200	fundamental/A1	10.000 to 13.999	80	fundamental/A1
4.000 to 4.999	160	fundamental/A1	14.000 to 39.999	50	fundamental/A1
5.000 to 5.999	120	fundamental/A1	40.000 to 66.000	80	3 rd overtone
6.000 to 9.999	100	fundamental/A1			



Document Number: 35014
Revision: 19-Mar-10

For technical questions, contact: frequency@vishay.com

www.vishay.com

XT49S

Vishay Dale

Low Profile Holder Type Crystal Units



ORDERING INFORMATION					
XT49S	R	-20	SP	12M	e2
MODEL	OTR blank = standard R = -40 °C to +85 °C	LOAD blank = series -16 = 16 pF -20 = 20 pF standard -30 = 30 pF -32 = 32 pF	OPTIONS blank = standard SP = spacer SL = sleeve	FREQUENCY/MHz	JEDEC LEAD (Pb)-FREE STANDARD

GLOBAL PART NUMBER											
X	T	9	S	2	0	A	N	A	1	2	M
MODEL				LOAD		PACKAGE CODE	OPTION		FREQUENCY		

GLOBAL PART NUMBERING											
X	T	9	S	2	0	A	N	A	4	0	M
MODEL NUMBER				LOAD CAPACITANCE		PACKAGE CODE	OPTIONS		FREQUENCY		
XT9S = XT49S XT9M = XT49M XTU1 = XTUM1				18 = 18 pF 20 = 20 pF NL = series to be specified by customer		Tape and reel G = RF5 (XT9S) H = RF7 (XT9M) Bulk A = B04 (all models)	NA = no additional options RR = extended temperature of -40 °C to +85 °C Contact factory for all other options		4M = 4 MHz 40M = 40 MHz 100M = 100 MHz 12M288 = 12.288 MHz M is used as decimal place holder in frequency		
Example: XT49S-20-40M											
X	T	3	G	2	0	A			1	2	M
MODEL NUMBER				LOAD CAPACITANCE		PACKAGE CODE	OPTIONS		FREQUENCY		
XT46 = XT46C XT36 = XT36C				18 = 18 pF 20 = 20 pF NL = series to be specified by customer		Tape and reel H = RF7 Bulk A = B04 (all models)			4M = 4 MHz 40M = 40 MHz 100M = 100 MHz 12M288 = 12.288 MHz M is used as decimal place holder in frequency		
Example: XT36C-20-12M											



www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.



ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของตัวต้านทาน (Resistor network)

มหาวิทยาลัยบูรพา

Thick Film Chip Resistor Network

Performance Specification

Temperature Coefficient	50Ω ~ 1MΩ : ±200PPM/°C <50Ω & >1MΩ : ±250PPM/°C
Short Time Overload	±(0.5% + 0.1Ω)Max
Insulation Resistance	Min. 10,000 Mega Ohm
Dielectric Withstanding Voltage	No evidence of flashover, mechanical damage, arcing or Insulation breakdown.
Terminal Strength	±(0.5% + 0.1Ω)Max
Resistance to Soldering Heat	±(0.5% + 0.1Ω)Max
Solderability	Min. 95% coverage.
Thermal Shock	±(0.5% + 0.1Ω)Max
Temperature Cycling	±(0.5% + 0.1Ω)Max
Load Life in Humidity	±(3.0% + 0.1Ω)Max
Load Life	±(3.0% + 0.1Ω)Max

Ordering Procedure: Ex.: RNLA-type, 10 Pins, +/-2%, 10KΩ, B/B

R N L A 1 0 G 0 1 0 3 B 0 E

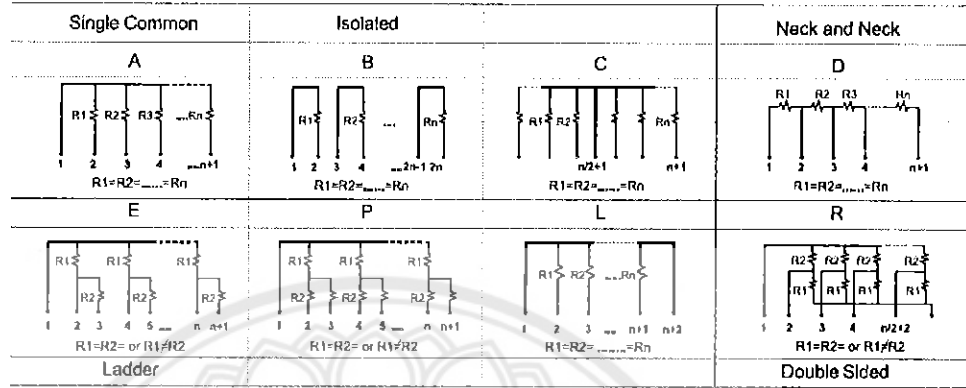
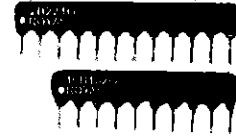
Resistor Size: RNL = Resistors Network Low Profile	Wallage: 04 = 4 pins 05 = 5 pins 08 = 6 pins 07 = 7 pins 08 = 8 pins 09 = 9 pins 10 = 10 pins 11 = 11 pins 12 = 12 pins 13 = 13 pins 14 = 14 pins	Resistance Value: E-24 series: 1 st digit is "0" 2 nd & 3 rd digits are significant figures of the resistance 4 th indicates the number of zeros "J" - 0.1, "K" - 0.01, "L" - 0.001 Ex. 012J - 1Ω, 226K - 2Ω, 20	
Circuit Type: A = Single Common B = Isolated	Tolerance: G = 12% J = ±5%	Packing Type: B = Bulk/Box	Packing Qty: 0 = NIL
		Special Feature: E = Lead (Pb) Free Plating Type/ RoHS compliant	



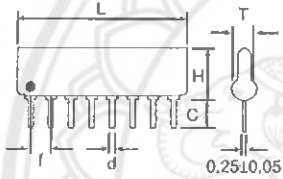
Thick Film Chip Resistor Network

Features

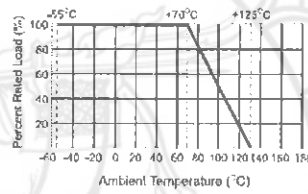
- High reliability with RUO2 paste
- Miniature, high density packaging
- combination of different ohmic values are available



Dimension (mm)



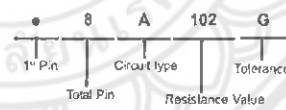
Derating Curve



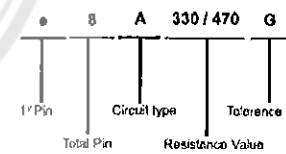
Dual Value (R1/R2)(Ohm)	
160 / 240	330 / 390
180 / 390	330 / 470
220 / 270	1.5K / 3.3K
220 / 330	3.0K / 6.2K

Type	L(Max.)	H(Max.)	T(Max.)	C ^{+0.03} _{-0.02}	d±0.1	f±0.2
4 pins	10.2					
5 pins	12.7					
6 pins	15.3					
7 pins	17.8					
8 pins	20.4					
9 pins	22.9	5.08	2.5	3.2	0.5	2.54
10 pins	25.4					
11 pins	28.2					
12 pins	30.6					
13 pins	31.1					
14 pins	35.6					

Marking (Single Value)



Marking (Dual Value)



Type	Power Rating at 70°C	Operating Temp. Range	Max Working Voltage	Max Overload Voltage	Dielectric Withstanding Voltage	Tolerance %	Resistance Range
B Type	0.2W	-550 - +125°C	100V	150V	200V	±2%	R-Type 100Ω ~ 10KΩ
Other	0.125W	-550 - +125°C	100V	150V	200V	±5%	Others: 10Ω ~ 1MΩ

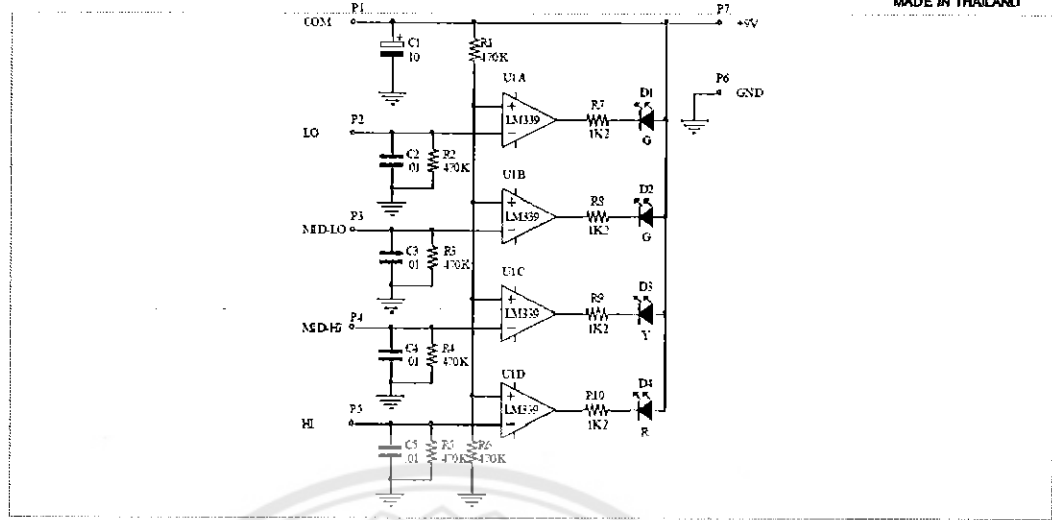




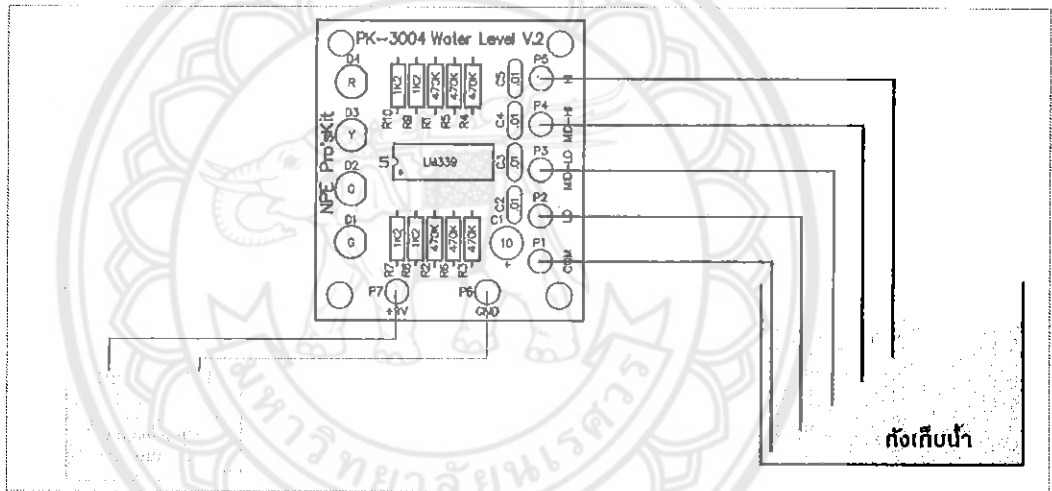
ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลของตัววัดระดับน้ำ

มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 1 วงจรบอร์ดหน้า 3 ระดับ



รูปที่ 2 การลงอุปกรณ์ตามหมายเลขงาน

บริษัท นูฟงษ์ เซลส์แอนด์เซอร์วิส จำกัด

www.mynpe.com

สำนักงานใหญ่ : 119,119A ถนนสีลมเก่า แขวงสีลม เขตบางมด 10900
 โทร : 0-2285-0094, 0-2623-8899 (ในวันวิลา 18 ชั่วโมง) หมายเลข : 0-2286-4028
 http://www.mynpe.com E-Mail: npe@mynpe.co.th

สาขามัธยมรังสิต : ชั้น 3 (ส่วน 100) 99 หมู่ที่ 6 ถนนพหลโยธิน แขวงวงกบ เขตธัญญา
 นครนายก 12130 โทรศัพท์ : 0-2992-7379 หมายเลข 0-2992-7380



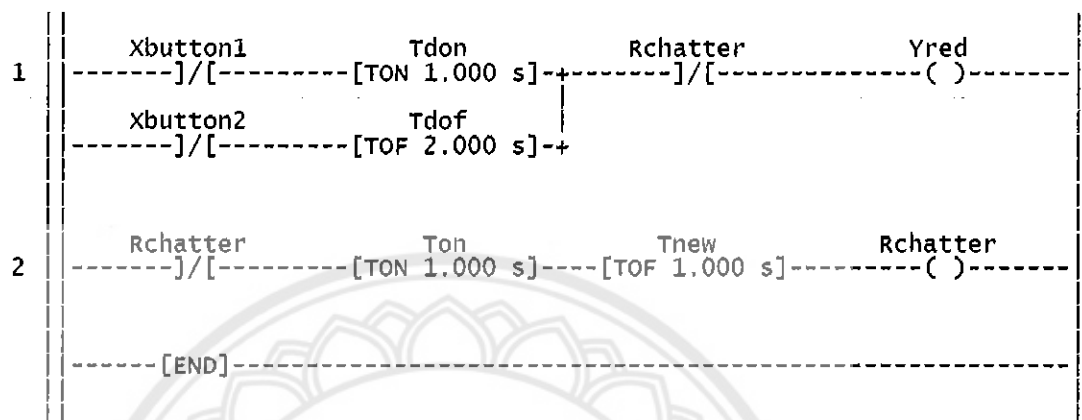
ภาคผนวก ฐ

คู่มือการใช้โปรแกรม LDmicro

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

LDmicro generates native code for certain Microchip PIC16 and Atmel AVR

microcontrollers. Usually software for these microcontrollers is written in a programming language like assembler, C, or BASIC. A program in one of these languages comprises a list of statements. These languages are powerful and well-suited to the architecture of the processor, which internally executes a list of instructions. PLCs, on the other hand, are often programmed in 'ladder logic.' A simple program might look like this:



(TON is a turn-on delay; TOF is a turn-off delay. The --] [-- statements are inputs, which behave sort of like the contacts on a relay. The --()-- statements are outputs, which behave sort of like the coil of a relay. Many good references for ladder logic are available on the Internet and elsewhere; details specific to this implementation are given below.) A number of differences are apparent:

- * The program is presented in graphical format, not as a textual list of statements. Many people will initially find this easier to understand.
- * At the most basic level, programs look like circuit diagrams, with relay contacts (inputs) and coils (outputs). This is intuitive to programmers with knowledge of electric circuit theory.
- * The ladder logic compiler takes care of what gets calculated where. You do not have to write code to determine when the outputs have to get recalculated based on a change in the inputs or a timer event, and you do not have to specify the order in which these calculations must take place; the PLC tools do that for you. LDmicro compiles ladder logic to PIC16 or AVR code. The following processors are supported:

* PIC16F877 * PIC16F628 * PIC16F876 (untested) * PIC16F88 (untested) * PIC16F819

(untested) * PIC16F887 (untested) * PIC16F886 (untested) * ATmega128 * ATmega64

* ATmega162 (untested) * ATmega32 (untested) * ATmega16 (untested) * ATmega8 (untested)

It would be easy to support more AVR or PIC16 chips, but I do not have any way to test them. If you need one in particular then contact me and I will see what I can do. Using LDmicro, you can draw a ladder diagram for your program. You can simulate the logic in real time on your PC. Then when you are convinced that it is correct you can assign pins on the microcontroller to the program inputs and outputs. Once you have assigned the pins, you can compile PIC or AVR code for your program. The compiler output is a .hex file that you can program into your microcontroller using any PIC/AVR programmer. LDmicro is designed to be somewhat similar to most commercial PLC programming systems. There are some exceptions, and a lot of things aren't standard in industry anyways. Carefully read the description of each instruction, even if it looks familiar. This document assumes basic knowledge of ladder logic and of the structure of PLC software (the execution cycle: read inputs, compute, write outputs).

ADDITIONAL TARGETS

It is also possible to generate ANSI C code. You could use this with any processor for which you have a C compiler, but you are responsible for supplying the runtime. That means that LDmicro just generates source for a function PlcCycle(). You are responsible for calling PlcCycle every cycle time, and you are responsible for implementing all the I/O (read/write digital input, etc.) functions that the PlcCycle() calls. See the comments in the generated source for more details. Finally, LDmicro can generate processor-independent bytecode for a virtual machine designed to run ladder logic code. I have provided a sample implementation of the interpreter/VM, written in fairly portable C. This target will work for just about any platform, as long as you can supply your own VM. This might be useful for applications where you wish to use ladder logic as a 'scripting language' to customize a larger program. See the comments in the sample interpreter for details.

COMMAND LINE OPTIONS

ldmicro.exe is typically run with no command line options. That means that you can just make a shortcut to the program, or save it to your desktop and double-click the icon when you want to run it, and then you can do everything from within the GUI. If LDmicro is passed a single filename on the command line (e.g. 'ldmicro.exe asd.ld'), then LDmicro will try to open 'asd.ld', if it exists. An error is produced if 'asd.ld' does not exist. This means that you can associate ldmicro.exe with .ld files, so that it runs automatically when you double-click a .ld file.

If LDmicro is passed command line arguments in the form 'ldmicro.exe /c src.ld dest.hex', then it tries to compile 'src.ld', and save the output as 'dest.hex'. LDmicro exits after compiling, whether the compile was successful or not. Any messages are printed to the console. This mode is useful only when running LDmicro from the command line.

BASICS

=====

If you run LDmicro with no arguments then it starts with an empty program. If you run LDmicro with the name of a ladder program (xxx.ld) on the command line then it will try to load that program at startup. LDmicro uses its own internal format for the program; it cannot import logic from any other tool. If you did not load an existing program then you will be given a program with one empty rung. You could add an instruction to it; for example you could add a set of contacts (Instruction -> Insert Contacts) named 'Xnew'. 'X' means that the contacts will be tied to an input pin on the microcontroller. You could assign a pin to it later, after choosing a microcontroller and renaming the contacts. The first letter of a name indicates what kind of object it is. For example:

- * Xname -- tied to an input pin on the microcontroller
- * Yname -- tied to an output pin on the microcontroller
- * Rname -- 'internal relay': a bit in memory
- * Tname -- a timer; turn-on delay, turn-off delay, or retentive
- * Cname -- a counter, either count-up or count-down
- * Aname -- an integer read from an A/D converter
- * name -- a general-purpose (integer) variable

Choose the rest of the name so that it describes what the object does, and so that it is unique within the program. The same name always refers to the same object within the program. For example, it would be an error to have a turn-on delay (TON) called 'Tdelay' and a turn-off delay (TOF) called 'Tdelay' in the same program, since each counter needs its own memory. On the other hand, it would be correct to have a retentive timer (RTO) called 'Tdelay' and a reset instruction (RES) associated with 'Tdelay', since in that case you want both instructions to work with the same timer. Variable names can consist of letters, numbers, and underscores (_). A variable name must not start with a number. Variable names are case-sensitive. The general variable instructions (MOV, ADD, EQU, etc.) can work on variables with any name. This means that they can access timer and counter accumulators. This may sometimes be useful; for example,

you could check if the count of a timer is in a particular range. Variables are always 16 bit integers. This means that they can go from -32768 to 32767. Variables are always treated as signed. You can specify literals as normal decimal numbers (0, 1234, -56). You can also specify ASCII character values ('A', 'z') by putting the character in single-quotes. You can use an ASCII character code in most places that you could use a decimal number. At the bottom of the screen you will see a list of all the objects in the program. This list is automatically generated from the program; there is no need to keep it up to date by hand. Most objects do not need any configuration. 'Xname', 'Yname', and 'Aname' objects must be assigned to a pin on the microcontroller, however. First choose which microcontroller you are using (Settings -> Microcontroller). Then assign your I/O pins by double-clicking them on the list. You can modify the program by inserting or deleting instructions. The cursor in the program display blinks to indicate the currently selected instruction and the current insertion point. If it is not blinking then press <Tab> or click on an instruction. Now you can delete the current instruction, or you can insert a new instruction to the right or left (in series with) or above or below (in parallel with) the selected instruction. Some operations are not allowed. For example, no instructions are allowed to the right of a coil. The program starts with just one rung. You can add more rungs by selecting Insert Rung Before/After in the Logic menu. You could get the same effect by placing many complicated subcircuits in parallel within one rung, but it is more clear to use multiple rungs. Once you have written a program, you can test it in simulation, and then you can compile it to a HEX file for the target microcontroller.

SIMULATION

=====

To enter simulation mode, choose Simulate -> Simulation Mode or press <Ctrl+M>. The program is shown differently in simulation mode. There is no longer a cursor. The instructions that are energized show up bright red; the instructions that are not appear greyed. Press the space bar to run the PLC one cycle. To cycle continuously in real time, choose Simulate -> Start Real-Time Simulation, or press <Ctrl+R>. The display of the program will be updated in real time as the program state changes. You can set the state of the inputs to the program by double-clicking them in the list at the bottom of the screen, or by double-clicking an 'Xname' contacts instruction in the program. If you change the state of an input pin then that change will not be reflected in how the program is displayed until the PLC cycles; this will happen automatically if you are running a real time simulation, or when you press the space bar.

COMPILING TO NATIVE CODE

Ultimately the point is to generate a .hex file that you can program into your microcontroller. First you must select the part number of the microcontroller, under the Settings -> Microcontroller menu. Then you must assign an I/O pin to each 'Xname' or 'Yname' object. Do this by double-clicking the object name in the list at the bottom of the screen. A dialog will pop up where you can choose an unallocated pin from a list. Then you must choose the cycle time that you will run with, and you must tell the compiler what clock speed the micro will be running at. These are set under the Settings -> MCU Parameters... menu. In general you should not need to change the cycle time; 10 ms is a good value for most applications. Type in the frequency of the crystal that you will use with the microcontroller (or the ceramic resonator, etc.) and click okay. Now you can generate code from your program. Choose Compile -> Compile, or Compile -> Compile As... if you have previously compiled this program and you want to specify a different output file name. If there are no errors then LDmicro will generate an Intel IHEX file ready for programming into your chip. Use whatever programming software and hardware you have to load the hex file into the microcontroller. Remember to set the configuration bits (fuses)! For PIC16 processors, the configuration bits are included in the hex file, and most programming software will look there automatically. For AVR processors you must set the configuration bits by hand.

INSTRUCTIONS REFERENCE

> CONTACT, NORMALLY OPEN Xname Rname Yname

----] [---- ----] [---- ----] [----

If the signal going into the instruction is false, then the output signal is false. If the signal going into the instruction is true, then the output signal is true if and only if the given input pin, output pin, or internal relay is true, else it is false. This instruction can examine the state of an input pin, an output pin, or an internal relay.

> CONTACT, NORMALLY CLOSED Xname Rname Yname

----]/[---- ----]/[---- ----]/[----

If the signal going into the instruction is false, then the output signal is false. If the signal going into the instruction is true, then the output signal is true if and only if the given input pin, output pin, or internal relay is false, else it is false. This instruction can examine the state of an input pin, an output pin, or an internal relay. This is the opposite of a normally open contact.

> COIL, NORMAL Rname Yname

----()----- ()----

If the signal going into the instruction is false, then the given internal relay or output pin is cleared false. If the signal going into this instruction is true, then the given internal relay or output

pin is set true. It is not meaningful to assign an input variable to a coil. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> COIL, NEGATED Rname Yname

----(/)----- (/)----

If the signal going into the instruction is true, then the given internal relay or output pin is cleared false. If the signal going into this instruction is false, then the given internal relay or output pin is set true. It is not meaningful to assign an input variable to a coil. This is the opposite of a normal coil. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> COIL, SET-ONLY Rname Yname

----(S)----- (S)----

If the signal going into the instruction is true, then the given internal relay or output pin is set true. Otherwise the internal relay or output pin state is not changed. This instruction can only change the state of a coil from false to true, so it is typically used in combination with a reset-only coil. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> COIL, RESET-ONLY Rname Yname

----(R)----- (R)----

If the signal going into the instruction is true, then the given internal relay or output pin is cleared false. Otherwise the internal relay or output pin state is not changed. This instruction can only change the state of a coil from true to false, so it is typically used in combination with a set-only coil. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> TURN-ON DELAY Tdon

-[TON 1.000 s]-

When the signal going into the instruction goes from false to true, the output signal stays false for 1.000 s before going true. When the signal going into the instruction goes from true to false, the output signal goes false immediately. The timer is reset every time the input goes false; the input must stay true for 1000 consecutive milliseconds before the output will go true. The delay is configurable. The 'Tname' variable counts up from zero in units of scan times. The

TON instruction outputs true when the counter variable is greater than or equal to the given delay. It is possible to manipulate the counter variable elsewhere, for example with a MOV instruction.

> TURN-OFF DELAY Tdoff

-[TOF 1.000 s]-

When the signal going into the instruction goes from true to false, the output signal stays true for 1.000 s before going false. When the signal going into the instruction goes from false to true, the output signal goes true immediately. The timer is reset every time the input goes false; the input must stay false for 1000 consecutive milliseconds before the output will go false. The delay

is configurable. The 'Tname' variable counts up from zero in units of scan times. The TON instruction outputs true when the counter variable is greater than or equal to the given delay. It is possible to manipulate the counter variable elsewhere, for example with a MOV instruction.

> RETENTIVE TIMER Trto

-[RTO 1.000 s]-

This instruction keeps track of how long its input has been true. If its input has been true for at least 1.000 s, then the output is true. Otherwise the output is false. The input need not have been true for 1000 consecutive milliseconds; if the input goes true for 0.6 s, then false for 2.0 s, and then true for 0.4 s, then the output will go true. After the output goes true it will stay true even after the input goes false, as long as the input has been true for longer than 1.000 s. This timer must therefore be reset manually, using the reset instruction. The 'Tname' variable counts up from zero in units of scan times. The TON instruction outputs true when the counter variable is greater than or equal to the given delay. It is possible to manipulate the counter variable elsewhere, for example with a MOV instruction.

> RESET Trto Citems

----{RES}---- ----{RES}----

This instruction resets a timer or a counter. TON and TOF timers are automatically reset when their input goes false or true, so RES is not required for these timers. RTO timers and CTU/CTD counters are not reset automatically, so they must be reset by hand using a RES instruction. When the input is true, the counter or timer is reset; when the input is false, no action is taken. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> ONE-SHOT RISING _

--[OSR_ /]--

This instruction normally outputs false. If the instruction's input is true during this scan and it was false during the previous scan then the output is true. It therefore generates a pulse one scan wide on each rising edge of its input signal. This instruction is useful if you want to trigger events off the rising edge of a signal.

> ONE-SHOT FALLING _

--[OSF \ _]--

This instruction normally outputs false. If the instruction's input is false during this scan and it was true during the previous scan then the output is true. It therefore generates a pulse one scan wide on each falling edge of its input signal. This instruction is useful if you want to trigger events off the falling edge of a signal.

> SHORT CIRCUIT, OPEN CIRCUIT

-----+-----+-----+-----+

The output condition of a short-circuit is always equal to its input condition. The output condition of an open-circuit is always false. These are mostly useful for debugging.

> MASTER CONTROL RELAY

-{MASTER RLY}-

By default, the rung-in condition of every rung is true. If a master control relay instruction is executed with a rung-in condition of false, then the rung-in condition for all following rungs becomes false. This will continue until the next master control relay instruction is reached (regardless of the rung-in condition of that instruction). These instructions must therefore be used in pairs: one to (maybe conditionally) start the possibly-disabled section, and one to end it.

> MOVE {destvar := } {Tret := }

-{ 123 MOV }- -{ srcvar MOV }-

When the input to this instruction is true, it sets the given destination variable equal to the given source variable or constant. When the input to this instruction is false nothing happens. You can assign to any variable with the move instruction; this includes timer and counter state variables, which can be distinguished by the leading 'T' or 'C'. For example, an instruction moving 0 into 'Tretentive' is equivalent to a reset (RES) instruction for that timer. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> ARITHMETIC OPERATION {ADD kay :=} {SUB Cent :=}

-{ 'a' + 10 }- -{ Cent - 10 }-

> {MUL dest :=} {DIV dv :=}

-{ var * -990 }- -{ dv / -10000 }-

When the input to this instruction is true, it sets the given destination variable equal to the given expression. The operands can be either variables (including timer and counter variables) or constants. These instructions use 16 bit signed math. Remember that the result is evaluated every cycle when the input condition true. If you are incrementing or decrementing a variable (i.e. if the destination variable is also one of the operands) then you probably don't want that; typically you would use a one-shot so that it is evaluated only on the rising or falling edge of the input condition. Divide truncates; $8 / 3 = 2$. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> COMPARE [var ==] [var >] [1 >=]

-[var2]- -[1]- -[Ton]-

> [var /=] [-4 <] [1 <=]

-[var2]- -[vartwo]- -[Cup]-

If the input to this instruction is false then the output is false. If the input is true then the output is true if and only if the given condition is true. This instruction can be used to compare (equals, is greater than, is greater than or equal to, does not equal, is less than, is less than or equal to) a variable to a variable, or to compare a variable to a 16-bit signed constant.

> COUNTER Cname Cname

--[CTU >=5]-- --[CTD >=5]--

A counter increments (CTU, count up) or decrements (CTD, countdown) the associated count on every rising edge of the rung input condition (i.e. what the rung input condition goes from false to true). The output condition from the counter is true if the counter variable is greater than or equal to 5, and false otherwise. The rung output condition may be true even if the input condition is false; it only depends on the counter variable. You can have CTU and CTD instructions with the same name, in order to increment and decrement the same counter. The RES instruction can reset a counter, or you can perform general variable operations on the count variable.

> CIRCULAR COUNTER Cname

--{CTC 0:7}--

A circular counter works like a normal CTU counter, except that after reaching its upper limit, it resets its counter variable back to 0. For example, the counter shown above would count 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0, 2,... This is useful in combination with conditional statements on the variable 'Cname'; you can use this like a sequencer. CTC counters clock on the rising edge of the rung input condition condition. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> SHIFT REGISTER {SHIFT REG }

-{ reg0..3 }-

A shift register is associated with a set of variables. For example, this shift register is associated with the variables 'reg0', 'reg1', 'reg2', and 'reg3'. The input to the shift register is 'reg0'. On every rising edge of the rung-in condition, the shift register will shift right. That means that it assigns 'reg3 := reg2', 'reg2 := reg1', and 'reg1 := reg0'. 'reg0' is left unchanged. A large shift register can easily consume a lot of memory. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> LOOK-UP TABLE {dest := }

--{ LUT[i] }--

A look-up table is an ordered set of n values. When the rung-in condition is true, the integer variable 'dest' is set equal to the entry in the lookup table corresponding to the integer variable 'i'. The index starts from zero, so 'i' must be between 0 and (n-1). The behaviour of this instruction is not defined if the index is outside this range. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

> PIECEWISE LINEAR TABLE {yvar := }

-{ PWL[xvar] }-

This is a good way to approximate a complicated function or curve. It might, for example, be useful if you are trying to apply a calibration curve to convert a raw output voltage from a sensor into more convenient units. Assume that you are trying to approximate a function that converts an integer input variable, x, to an integer output variable, y. You know the function at several points; for example, you might know that

$$f(0) = 2$$

$$f(5) = 10$$

$$f(10) = 50$$

$$f(100) = 100$$

This means that the points

$$(x_0, y_0) = (0, 2)$$

$$(x_1, y_1) = (5, 10)$$

$$(x_2, y_2) = (10, 50)$$

$$(x_3, y_3) = (100, 100)$$

lie on that curve. You can enter those 4 points into a table associated with the piecewise linear instruction. The piecewise linear instruction will look at the value of `xvar`, and set the value of `yvar`. It will set `yvar` in such a way that the piecewise linear curve will pass through all of the points that you give it; for example, if you set `xvar = 10`, then the instruction will set `yvar = 50`.

If you give the instruction a value of `xvar` that lies between two of the values of `x` for which you have given it points, then the instruction will set `yvar` so that $(xvar, yvar)$ lies on the straight line connecting those two points in the table. For example, `xvar = 55` gives an output of `yvar = 75`. (The two points in the table are $(10, 50)$ and $(100, 100)$. 55 is half-way between 10 and 100, and 75 is half-way between 50 and 100, so $(55, 75)$ lies on the line that connects those two points.)

The points must be specified in ascending order by `x` coordinate. It may not be possible to perform mathematical operations required for certain look-up tables using 16-bit integer math; if this is the case, then LDmicro will warn you. For example, this look up table will produce an error: $(x_0, y_0) = (0, 0)$ $(x_1, y_1) = (300, 300)$ You can fix these errors by making the distance between points in the table smaller. For example, this table is equivalent to the one given above, and it does not produce an error:

$(x_0, y_0) = (0, 0)$ $(x_1, y_1) = (150, 150)$ $(x_2, y_2) = (300, 300)$ It should hardly ever be necessary to use more than five or six points. Adding more points makes your code larger and slower to execute. The behaviour if you pass a value of `'xvar'` greater than the greatest `x` coordinate in the table or less than the smallest `x` coordinate in the table is undefined. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

```
> A/D CONVERTER READ Aname
```

```
--{READ ADC}--
```

LDmicro can generate code to use the A/D converters built in to certain microcontrollers. If the input condition to this instruction is true, then a single sample from the A/D converter is acquired and stored in the variable `'Aname'`. This variable can subsequently be manipulated with

general variable operations (less than, greater than, arithmetic, and so on). Assign a pin to the 'Axxx' variable in the same way that you would assign a pin to a digital input or output, by double-clicking it in the list at the bottom of the screen. If the input condition to this rung is false then the variable 'Aname' is left unchanged. For all currently-supported devices, 0 volts input corresponds to an ADC reading of 0, and an input equal to Vdd (the supply voltage) corresponds to an ADC reading of 1023. If you are using an AVR, then connect AREF to Vdd. You can use arithmetic operations to scale the reading to more convenient units afterwards, but remember that you are using integer math. In general not all pins will be available for use with the A/D converter. The software will not allow you to assign non-A/D pins to an analog input. This instruction must be

the rightmost instruction in its rung.

```
> SET PWM DUTY CYCLE duty_cycle
    -{PWM 32.8 kHz}-
```

LDmicro can generate code to use the PWM peripheral built in to certain microcontrollers. If the input condition to this instruction is true, then the duty cycle of the PWM peripheral is set to the value of the variable duty_cycle. The duty cycle must be a number between 0 and 100; 0 corresponds to always low, and 100 corresponds to always high. (If you are familiar with how the PWM peripheral works, then notice that that means that LDmicro automatically scales the duty cycle variable from percent to PWM clock periods.) You can specify the target PWM frequency, in Hz. The frequency that you specify might not be exactly achievable, depending on how it divides into the microcontroller's clock frequency. LDmicro will choose the closest achievable frequency; if the error is large then it will warn you. Faster speeds may sacrifice resolution. This instruction must be the rightmost instruction in its rung. The ladder logic runtime consumes one timer to measure the cycle time. That means that PWM is only available on microcontrollers with at least two suitable timers. PWM uses pin CCP2 (not CCP1) on PIC16 chips and OC2 (not OC1A) on AVRs.

```
> MAKE PERSISTENT saved_var
    --{PERSIST}--
```

When the rung-in condition of this instruction is true, it causes the specified integer variable to be automatically saved to EEPROM. That means that its value will persist, even when the micro loses power. There is no need to explicitly save the variable to EEPROM; that will

happen automatically, whenever the variable changes. The variable is automatically loaded from EEPROM after power-on reset. If a variable that changes frequently is made persistent, then the EEPROM in your micro may wear out very quickly, because it is only good for a limited (~100 000) number of writes. When the rung-in condition is false, nothing happens. This instruction must be the rightmost instruction in its rung.

```
> UART (SERIAL) RECEIVE var
      --{UART RECV}--
```

LDmicro can generate code to use the UART built in to certain microcontrollers. On AVRs with multiple UARTs only UART1 (not UART0) is supported. Configure the baud rate using Settings -> MCU Parameters. Certain baud rates may not be achievable with certain crystal frequencies; LDmicro will warn you if this is the case. If the input condition to this instruction is false, then nothing happens. If the input condition is true then this instruction tries to receive a single character from the UART. If no character is read then the output condition is false. If a character is read then its ASCII value is stored in 'var', and the output condition is true for a single PLC cycle.

```
> UART (SERIAL) SEND var
      --{UART SEND}--
```

LDmicro can generate code to use the UARTs built in to certain microcontrollers. On AVRS with multiple UARTs only UART1 (not UART0) is supported. Configure the baud rate using Settings -> MCU Parameters. Certain baud rates may not be achievable with certain crystal frequencies; LDmicro will warn you if this is the case. If the input condition to this instruction is false, then nothing happens. If the input condition is true then this instruction writes a single character to the UART. The ASCII value of the character to send must previously have been stored in 'var'. The output condition of the rung is true if the UART is busy (currently transmitting a character), and false otherwise. Remember that characters take some time to transmit. Check the output condition of this instruction to ensure that the first character has been transmitted before trying to send a second character, or use a timer to insert a delay between characters. You must only bring the input condition true (try to send a character) when the output condition is false (UART is not busy). Investigate the formatted string instruction (next) before using this instruction. The formatted string instruction is much easier to use, and it is almost certainly capable of doing what you want.

> FORMATTED STRING OVER UART var

-{"Pressure: \3\r\n"}-

LDmicro can generate code to use the UARTs built in to certain microcontrollers. On AVRS with multiple UARTs only UART1 (not UART0) is supported. Configure the baud rate using Settings -> MCU Parameters. Certain baud rates may not be achievable with certain crystal frequencies; LDmicro will warn you if this is the case. When the rung-in condition for this instruction goes from false to true, it starts to send an entire string over the serial port. If the string contains the special sequence '\3', then that sequence will be replaced with the value of 'var', which is automatically converted into a string. The variable will be formatted to take exactly 3 characters; for example, if 'var' is equal to 35, then the exact string printed will be 'Pressure: 35\r\n' (note the extra space). If instead 'var' were equal to 1432, then the behaviour would be undefined, because 1432 has more than three digits. In that case it would be necessary to use '\4' instead. If the variable might be negative, then use '\-3d' (or '\-4d' etc.) instead. That will cause LDmicro to print a leading space for positive numbers, and a leading minus sign for negative numbers. If multiple formatted string instructions are energized at once (or if one is energized before another completes), or if these instructions are intermixed with the UART TX instructions, then the behaviour is undefined. It is also possible to use this instruction to output a fixed string, without interpolating an integer variable's value into the text that is sent over serial. In that case simply do not include the special escape sequence. Use '\w' for a literal backslash. In addition to the escape sequence for interpolating an integer variable, the following control characters are available:

- * \r -- carriage return
- * \n -- newline
- * \f -- formfeed
- * \b -- backspace
- * \xAB -- character with ASCII value 0xAB (hex)

The rung-out condition of this instruction is true while it is transmitting data, else false. This instruction consumes a very large amount of program memory, so it should be used sparingly. The present implementation is not efficient, but a better one will require modifications to all the back-ends.

A NOTE ON USING MATH

Remember that LDmicro performs only 16-bit integer math. That means that the final result of any calculation that you perform must be an integer between -32768 and 32767. It also mean that the intermediate results of your calculation must all be within that range. For example, let us say that you wanted to calculate $y = (1/x)*1200$, where x is between 1 and 20. Then y goes between 1200 and 60, which fits into a 16-bit integer, so it is at least in theory possible to perform the calculation. There are two ways that you might code this: you can perform the reciprocal, and then multiply:

```

||-----{DIV temp :=}-----||
||-----{ 1 / x }-----||
||-----{MUL y :=}-----||
||-----{ temp * 1200 }-----||

```

Or you could just do the division directly, in a single step:

```

||-----{DIV y :=}-----||
||-----{ 1200 / x }-----||

```

Mathematically, these two are equivalent; but if you try them, then you will find that the first one gives an incorrect result of $y = 0$. That is because the variable 'temp' underflows. For example, when $x = 3$, $(1 / x) = 0.333$, but that is not an integer; the division operation approximates this as $temp = 0$. Then $y = temp * 1200 = 0$. In the second case there is no intermediate result to underflow, so everything works. If you are seeing problems with your math, then check intermediate results for underflow (or overflow, which 'wraps around'; for example, $32767 + 1 = -32768$). When possible, choose units that put values in a range of -100 to 100. When you need to scale a variable by some factor, do it using a multiply and a divide. For example, to scale $y = 1.8*x$, calculate $y = (9/5)*x$ (which is the same, since $1.8 = 9/5$), and code this as $y = (9*x)/5$, performing the multiplication first:

```

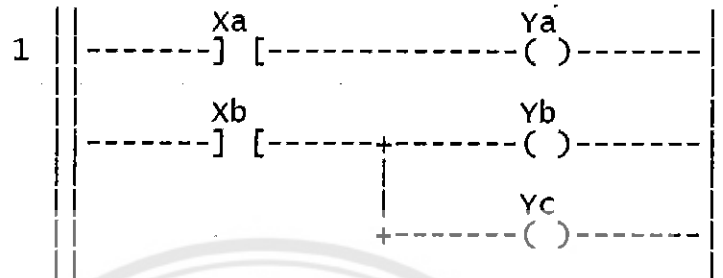
||-----{MUL temp :=}-----||
||-----{ x * 9 }-----||
||-----{DIV y :=}-----||
||-----{ temp / 5 }-----||

```

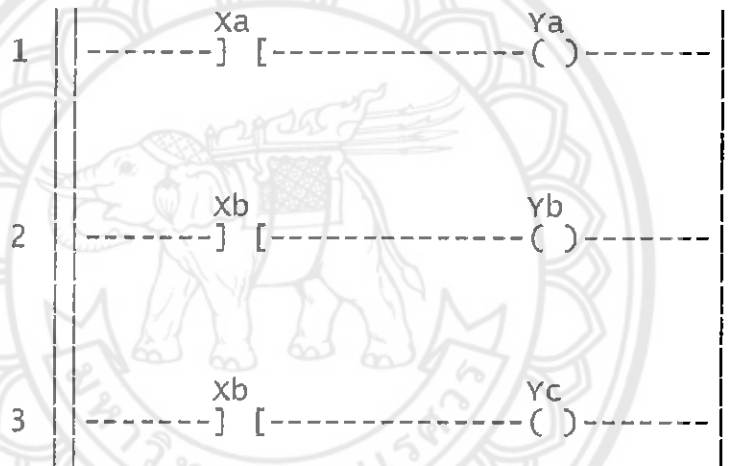
This works for all $x < (32767 / 9)$, or $x < 3640$. For larger values of x , the variable 'temp' would overflow. There is a similar lower limit on x .

CODING STYLE

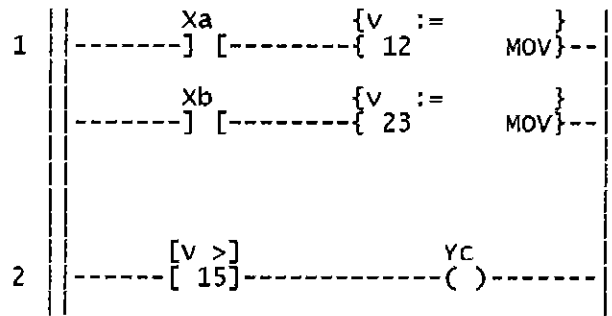
I allow multiple coils in parallel in a single rung. This means that you can do things like this:



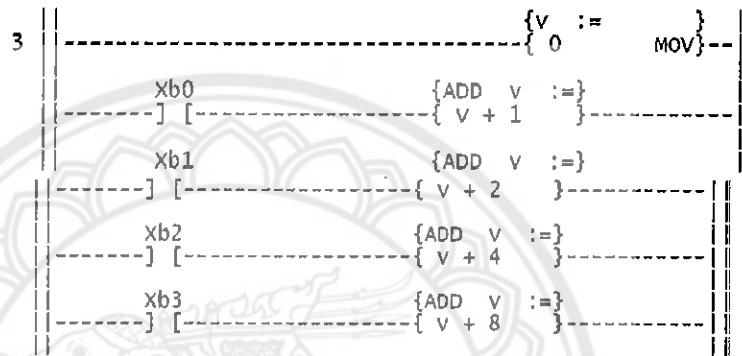
Instead of this:



This means that in theory you could write any program as one giant rung, and there is no need to use multiple rungs at all. In practice that would be a bad idea, because as rungs become more complex they become more difficult to edit without deleting and redrawing a lot of logic. Still, it is often a good idea to group related logic together as a single rung. This generates nearly identical code to if you made separate rungs, but it shows that they are related when you look at them on the ladder diagram. In general, it is considered poor form to write code in such a way that its output depends on the order of the rungs. For example, this code isn't very good if both X_a and X_b might ever be true:



I will break this rule if in doing so I can make a piece of code significantly more compact, though. For example, here is how I would convert a 4-bit binary quantity on Xb3:0 into an integer:



If the MOV statement were moved to the bottom of the rung instead of then top, then the value of v when it is read elsewhere in the program would be 0. The output of this code therefore depends on the order in which the instructions are evaluated. Considering how cumbersome it would be to code this any other way, I accept that.

BUGS

=====

LDmicro does not generate very efficient code; it is slow to execute, and wasteful of flash and RAM. In spite of this, a mid-sized PIC or AVR can do everything that a small PLC can, so this does not bother me very much. The maximum length of variable names is highly limited. This is so that they fit nicely onto the ladder diagram, so I don't see a good solution to that. If your program is too big for the time, program memory, or data memory constraints of the device that you have chosen then you probably won't get an error. It will just screw up somewhere. Careless programming in the file load/save routines probably makes it possible to crash or execute arbitrary code given a corrupt or malicious .ld file. Please report additional bugs or feature requests to the author. Thanks to:

* Marcelo Solano, for reporting a UI bug under Win98

* Serge V. Polubarjev, for not only noticing that RA3:0 on the

PIC16F628 didn't work but also telling me how to fix it

* Maxim Ibragimov, for reporting and diagnosing major problems with the till-then-untested ATmega16 and ATmega162 targets

* Bill Kishonti, for reporting that the simulator crashed when the ladder logic program divided by zero

* Mohamed Tayae, for reporting that persistent variables were broken on the PIC16F628

* David Rothwell, for reporting several user interface bugs and a problem with the "Export as Text" function

COPYING, AND DISCLAIMER

=====

DO NOT USE CODE GENERATED BY LDMICRO IN APPLICATIONS WHERE SOFTWARE FAILURE COULD RESULT IN DANGER TO HUMAN LIFE OR DAMAGE TO PROPERTY. THE AUTHOR ASSUMES NO LIABILITY FOR ANY DAMAGES RESULTING FROM THE OPERATION OF LDMICRO OR CODE GENERATED BY LDMICRO.

This program is free software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or (at your option) any later version. This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details. You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <<http://www.gnu.org/licenses/>>.

Jonathan Westhues

Rijswijk -- Dec 2004

Waterloo ON -- Jun, Jul 2005

Cambridge MA -- Sep, Dec 2005

Feb, Mar 2006

Feb 2007 Seattle WA -- Feb 2009

Email: user jwesthues, at host cq.cx

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพร อินทิมย์
 ภูมิลำเนา 459/31 ค.น้ำรั่ม อ.เมือง จ.ตาก
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
 ภาคเหนือ
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: dream_iezz@hotmail.com



ชื่อ นายสิทธิพงษ์ คชฤกษ์
 ภูมิลำเนา 158/2 ต.บ้านโคก อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเพชรพิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kotchapong14@hotmail.com