ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

Instrument and Dissolved Oxygen Volume Control in Water System

ชื่อนักศึกษา

1. นายเจตน์	ใจโต	รหัสประจำตัว	43035287
2. นายเฉลิมพล	ศรีสุภา	รหัสประจำตัว	43035290
3. นายนภดล	ด่านไชยกูล	รหัสประจำตัว	43035298
4. นายสุรินทร์	ยิ่งยง	รหัสประจำตัว	43035319

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	.....
2. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	.....
3. อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	.....
4. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	.....
4. อาจารย์ไพบูลย์	พวงวงศ์ตระกูล	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันอังคารที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2545 เวลา 09.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.315 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 17 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2545

<BT4401092>
เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

INSTRUMENT AND DISSOLVED OXYGEN VOLUME CONTROL IN WATER SYSTEM



นายเจตน์ ใจโต
นายเฉลิมพล ศรีสุภา
นายนภดล ด่านไชยกูล
นายสุรินทร์ ยิ่งยง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43202
วัน, เดือน, ปี 26 ก.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

Instrument and Dissloved Oxygen Volume Cootrol in Water System

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
2. เพื่อออกแบบเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
3. เพื่อสร้างเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
4. เพื่อทดลองใช้งานและปรับปรุงเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
5. เพื่อนำเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำไปใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจการทำงานของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
2. ได้เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำได้
3. ได้เครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำได้
4. ได้ผลการทดลองและปรับปรุงเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำไปใช้งานได้
5. สามารถนำเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
นักศึกษา	นายเจตน์ ใจโต
	นายเฉลิมพล ศรีสุภา
	นายนภดล ด่านไชยกูล
	นายสุรินทร์ ยิ่งยง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนตรวจวัดค่าออกซิเจนในน้ำและค่าความเป็นกรดด่างหรือค่า pH ซึ่งจะใช้โพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ และโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง ซึ่งโพรบทั้งสองจะบอกปริมาณออกซิเจนในน้ำและค่าความเป็นกรดด่างออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนที่สองคือส่วนควบคุมและแสดงผล เราจะนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากโพรบมาเทียบเป็นค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำและค่าความเป็นกรดด่างอีกครั้งโดยแสดงค่าทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว ส่วนการควบคุมกังหันตีน้ำ จะใช้ภาคโซลิดสเตทรีเลย์เป็นตัวตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับ 220โวลต์ และชุดขับเคลื่อนโพร็บจะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้โพร็บขึ้น-ลงน้ำ ซึ่งในการทำงานของภาคต่างๆ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Instrument and Ddissolved Ooxygen Volume Control in Water System	
Students	Mr.Jate	Jaito
	Mr.Chaleanpol	Srisuta
	Mr.Noppanod	Danchaiyakun
	Mr.Surin	Yingyong
Advisor	Assit.Prof.Dr.Theraphon	Thephasadin na ayuthya
Co-Advisor	Mr.Surapong	Siripongdee
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Telecommunication Engineering	
Academic Year	2001	

ABSTRACT

This thesis is about Instrument and dissolved oxygen volume control in with the function is divided in to 2 parts. First part is inspection about oxygen inside water and the rate of acid, alkalinity or pH. Which the probe is used to measure the oxygen inside water and the other one is used to measure the rate of acid, alkalinity or pH. So these both probes will indicate the quantity of oxygen inside water and the rate of acid which shown in the pattern of " Voltage ".

The second part is the part to control and show .Then the voltage will been referred to the quantity of oxygen inside water and the rate of acid again by the output is shown on the Liquid Crystal Display. And the control of water turbine will use a solid state relay to connect and disconnect alternating current 220 volt and the part for moving probes will use a stepping motor to move probes up and down inside water. So the function at each part will use microcontroller MCS- 51 to compile and control the function of all.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องที่ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ ในการสนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา และอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาและให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการดำเนินงานมาโดยตลอด รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกๆ ท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน การใช้สถานที่ เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการจัดทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณพี่นพพร วัฒนสิทธิ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาในการดำเนินงานในส่วนของโปรแกรม และคำแนะนำในการแก้ปัญหาด้วยดีเสมอมา

นอกจากนี้ ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาในการดำเนินงานในส่วนของการทดลองทางด้านเคมี การวัดคุณภาพน้ำ และเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมีต่างๆ ที่จำเป็นในการจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่งประโยชน์และความคิดดีใดๆ ก็ตามที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้ แก่ บิดา มารดา และอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่ต้น จนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์	3
2.2.1 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	3
2.2.2 แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน	3
2.2.3 แบ่งตามการพันขดลวดบนสเตเตอร์	4
2.2.4 ควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	5
2.2.5 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	8
2.2.6 ไอซีขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	12
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51	19
2.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	19
2.3.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	21
2.3.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	23
2.3.4 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	25
2.4 การเติมอากาศ	26
2.4.1 ออกซิเจนละลาย	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.2 พีเอช(PH)	32
2.4.3 วิธีเทียบสี	33
2.4.4 วิธีวัดไฟฟ้า	33
2.4.5 วิธีวัดพีเอช	34
2.4.6 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	35
2.5 ลักษณะสมบัติและมาตรฐานของน้ำ	35
2.5.1 ลักษณะสมบัติของน้ำดิบตามธรรมชาติ	36
2.5.2 มาตรฐานน้ำใช้เพื่อกิจการต่างๆ	38
2.5.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ	38
2.5.4 ลักษณะสมบัติทางด้านการกัดกร่อนของน้ำ	40
2.5.5 ความจำเป็นในการปรับพีเอชของน้ำ	40
2.5.6 เคมีที่เกี่ยวกับการปรับพีเอชของน้ำ	41
2.6 จอแสดงผลแบบผลึกเหลว	44
2.6.1 คุณสมบัติทั่วไป	44
2.6.2 ข้อดีของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว	47
2.6.3 โครงสร้างของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว	47
2.6.4 แบบต่างๆของจอแสดงผล	47
2.6.5 จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบดอตเมตริกซ์	48
2.7 การใช้งานแอลซีดีโมดูล	48
2.7.1 ชนิดของแอลซีดีโมดูล	48
2.7.2 การต่อแอลซีดีโมดูลเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	50
2.7.3 ชุดคำสั่งควบคุมและการแสดงข้อความ	51
2.7.4 หลักการพื้นฐานของแอลซีดีโมดูล	52
2.7.5 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง	53
2.8 หลักการแปลงสัญญาณ	57
2.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.9.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล	59
2.9.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลใช้ในการอินทิเกรต	60
2.9.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้วงจรนับ	65
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	68
3.1 กล่าวนำ	68
3.2 แผนผังการทำงานของโครงงาน	68
3.3 การออกแบบวงจร	69
3.3.1 โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างและค่าออกซิเจนในน้ำ	69
3.3.2 ภาคจ่ายไฟ	70
3.3.3 ภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	71
3.3.4 ภาคขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	73
3.3.5 ภาคตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์	75
3.3.6 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิ	75
3.3.7 ภาคขยายแรงดัน	76
3.3.8 ภาคแสดงผล	77
3.3.9 ภาคตรวจจับการหมุนของมอเตอร์	79
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	80
4.1 กล่าวนำ	80
4.2 การทดลองการทำงานของโพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ	80
4.3 การทดลองการทำงานของโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง	88
4.4 การทดลองการทำงานของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	95
4.4.1 การทดลองการเทียบค่าออกซิเจนในน้ำของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4.2 การทดลองการเทียบค่าความเป็นกรดด่างในน้ำของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน	96
4.4.3 การทดลองการทำงานของชุดขับเคลื่อนโพรบ	97
4.4.4 การทดลองการทำงานของชุดกังหันตีน้ำและวงจรโซลิดสเตทรีเลย์	98
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	100
5.1 บทสรุป	100
5.2 ปัญหาในการทำงาน	100
5.3 แนวทางการพัฒนา	101
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	102
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์	111
ภาคผนวก ค ผังงานการทำงานและโปรแกรม	124
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	147
ภาคผนวก จ รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์	152
ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน	179
บรรณานุกรม	184
ประวัติผู้แต่ง	185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	6
ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เวฟ	7
ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเตย์	7
ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเตย์	8
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ UCN 5804 B	14
ตารางที่ 2.5 การทำงานของเอาต์พุตทั้ง 4 ของไอซี UCN 5804 B	17
ตารางที่ 2.6 ไมโครคอลโทรเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัท Intel และบริษัท Atmel	20
ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ไมโครคอลโทรเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัท Intel และบริษัท Atmel	21
ตารางที่ 2.7 รายละเอียดของชุดคำสั่งควบคุม	52
ตารางที่ 2.8 ตำแหน่งของ Address แอลซีดีขนาด 4 แถวที่ใช้งานจริง	56
ตารางที่ 2.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ	59
ตารางที่ 4.1 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 25 องศา ± 0.9 องศา	81
ตารางที่ 4.2 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 26 องศา ± 0.9 องศา	81
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 26 องศา ± 0.9 องศา	82
ตารางที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 27 องศา ± 0.9 องศา	82
ตารางที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 28 องศา ± 0.9 องศา	83
ตารางที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 29 องศา ± 0.9 องศา	83
ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 29 องศา ± 0.9 องศา	84
ตารางที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO – 551 ที่อุณหภูมิ 30 องศา ± 0.9 องศา	84
ตารางที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 25 องศา ± 0.9 องศา	88
ตารางที่ 4.8 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 26 องศา ± 0.9 องศา	89
ตารางที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 27 องศา ± 0.9 องศา	89
ตารางที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 28 องศา ± 0.9 องศา	90
ตารางที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 29 องศา ± 0.9 องศา	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 30 องศา ± 0.9 องศา 91
ตารางที่ 4.13 แสดงการทำงานของหลอดไฟเมื่อได้รับลอจิก 0 และ 1 94
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าออกซิเจนที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน 95
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่วัดของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน 95
ตารางที่ 4.15 (ต่อ) แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่วัดของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน 97
ตารางที่ 4.16 แสดงการทำงานของชุดขับเคลื่อนหัวโพรบ 98
ตารางที่ 4.17 แสดงการทำงานของชุดถังหันตีน้ำและวงจรโซลิดสเตทรีเลย์ 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการพัฒนาขดลวดบนสเต็ปปิ้งมอเตอร์	5
รูปที่ 2.2 วงจรทดลองการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	6
รูปที่ 2.3 แผนผังการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์	8
รูปที่ 2.4 การใช้กระแสขับเพื่อเพิ่มโมเมนต์เมื่อมีอัตราเร่งสูง	9
รูปที่ 2.5 การใช้กระแสขับเพื่อเพิ่มโมเมนต์เมื่อมีอัตราเร่งสูง	11
รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายในและการจัดขาของ UCN 5804B	13
รูปที่ 2.7 วงจรประยุกต์การใช้งานเบื้องต้น	16
รูปที่ 2.8 ผังงานทางเวลาที่สัมพันธ์กับตารางที่ 2.5	18
รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	22
รูปที่ 2.10 การรวมตัวมินเทอมตามคาร์โนห์	27
รูปที่ 2.11 แมติคลิดวิดคริสตอลขณะยังไม่มีการไบอัส	45
รูปที่ 2.12 แมติคลิดวิดคริสตอลเมื่อจ่ายไบอัสเข้าไป	45
รูปที่ 2.13 การให้ไบอัสจอแสดงผลแบบผลึกเหลว	46
รูปที่ 2.14 โครงสร้างจอแสดงผลแบบผลึกเหลว	47
รูปที่ 2.15 การต่อแบบ Memory Map	50
รูปที่ 2.16 การต่อแบบผ่านพอร์ต 8255	51
รูปที่ 2.17 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอล	57
รูปที่ 2.18 การต่อวงจรเปรียบเทียบ แบบขนาน หรือแบบเฟส	60
รูปที่ 2.19 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล แบบสโลปเดี่ยว	61
รูปที่ 2.20 ความชันของสัญญาณขั้นบันได	61
รูปที่ 2.21 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบสโลปคู่	62
รูปที่ 2.22 แรงดันขาออกของวงจรอินทริเกรเตอร์เทียบกับเวลา	64
รูปที่ 2.23 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบเดลต้า-ซิกมา	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.24 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง และวงจรแปลงดิจิตอลเป็นแอนะลอก	66
รูปที่ 2.25 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่า	67
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	68
รูปที่ 3.2 ลักษณะของโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างและค่าออกซิเจนในน้ำ	69
รูปที่ 3.3 วงจรภาคจ่ายไฟ	70
รูปที่ 3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	72
รูปที่ 3.5 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	73
รูปที่ 3.6 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	74
รูปที่ 3.7 วงจรสมบูรณ์โซลิคสเตทรีเลย์	75
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อ DS1820 กับไมโครคอนโทรเลอร์ MCS – 51	76
รูปที่ 3.9 วงจรขยายแรงดัน	77
รูปที่ 3.10 วงจรแสดงผลแอลซีดี	78
รูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์	79
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดออกซิเจนในน้ำมาตรฐาน	85
รูปที่ 4.2 ขวด BOD ฝาครอบ ช้อนตักสาร ขวดน้ำฉีดล้างหัวโพรบ และสารโซเดียมซัลไฟต์	85
รูปที่ 4.3 การเติมออกซิเจนในน้ำ โดยการโฟรว์อากาศ	86
รูปที่ 4.4 ขณะการวัดและปรับค่าออกซิเจนในน้ำ	86
รูปที่ 4.5 การวัดค่าออกซิเจนในน้ำ จากน้ำที่ทำการเติมอากาศ	87
รูปที่ 4.6 การวัดแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากโพรบของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	87
รูปที่ 4.7 เครื่องวัด pH มาตรฐาน	92
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างน้ำที่ทำการวัดและปรับค่า	92
รูปที่ 4.9 ขณะทำการวัดแรงดันไฟฟ้า	93
รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.2 ด้านหลังของกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	103
รูปที่ ก.3 ด้านหน้าของกล่องควบคุมชุดขับเคลื่อนและชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	104
รูปที่ ก.4 ด้านหลังของกล่องควบคุมชุดขับเคลื่อนและชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	104
รูปที่ ก.5 การติดตั้งภายในของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	105
รูปที่ ก.6 การติดตั้งภายในกล่องควบคุมชุดขับเคลื่อนและชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	105
รูปที่ ก.7 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคจ่ายไฟ	106
รูปที่ ก.8 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคสเต็ปปิ้งมอเตอร์	106
รูปที่ ก.9 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคตัดต่อไฟ 220 โวลต์	107
รูปที่ ก.10 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคขยายแรงดัน	107
รูปที่ ก.11 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคคอนโทรลเลอร์	108
รูปที่ ก.12 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	108
รูปที่ ก.13 โพรบวัดออกซิเจนในน้ำ	109
รูปที่ ก.14 โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง	109
รูปที่ ก.15 หัววัดอุณหภูมิ	110
รูปที่ ข.1 วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	112
รูปที่ ข.2 วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์	112
รูปที่ ข.3 วงจรภาคจ่ายไฟ	113
รูปที่ ข.4 วงจรสมบรูณ์โซลิดสเตทรีเลย์	113
รูปที่ ข.5 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	114
รูปที่ ข.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	115
รูปที่ ข.7 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ	116
รูปที่ ข.8 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า	116
รูปที่ ข.9 ลายวงจรพิมพ์ของภาคไมโครคอลโทรลเลอร์	117

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ข.10 การวางอุปกรณ์ของภาคไมโครคอลโทรลเลอร์	117
รูปที่ ข.11 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรขยายแรงดัน	118
รูปที่ ข.12 การวางอุปกรณ์ของวงจรขยายแรงดัน	118
รูปที่ ข.13 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์	119
รูปที่ ข.14 การวางอุปกรณ์ของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์	119
รูปที่ ข.15 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	120
รูปที่ ข.16 การวางอุปกรณ์ของวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	120
รูปที่ ข.17 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	121
รูปที่ ข.18 การวางอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	121
รูปที่ ข.19 ลายวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายไฟ	122
รูปที่ ข.20 การวางอุปกรณ์วงจรภาคจ่ายไฟ	122
รูปที่ ข.21 ลายวงจรพิมพ์วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์	123
รูปที่ ข.20 การวางอุปกรณ์วงจรพิมพ์วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์	123
รูปที่ ค.1 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	125
รูปที่ ค.2 ผังการทำงานของโปรแกรมการเลือก Rang	126
รูปที่ ค.2 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมการเลือก Rang	127
รูปที่ ค.3 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่า pH จากโพรบ	128
รูปที่ ค.4 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันตีน้ำ	129
รูปที่ ค.4 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันตีน้ำ	130
รูปที่ ค.4 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันตีน้ำ	131
รูปที่ ค.4 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันตีน้ำ	132
รูปที่ ค.5 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบเวลาขึ้นลงของโพรบ	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันสภาพน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะมีค่าออกซิเจน และค่าความเป็นกรดด่างในน้ำทำให้สภาพน้ำเน่าเสียจึงไม่สามารถที่จะนำน้ำมาประกอบการเกษตร รวมทั้งส่งผลให้สิ่งแวดล้อมจึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาพน้ำที่สามารถใช้ในการเกษตร ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมในการที่จะนำน้ำมาใช้ในการประมง โดยไม่เป็นปัญหาทางมลภาวะ และยังสามารถนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำเนื่องจากในการเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องมีค่าออกซิเจน และความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมจะทำให้สัตว์เจริญเติบโตได้ดี และไม่เป็นโรคจึงทำให้ได้ผลกำไรที่เหมาะสม

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1) สามารถวัดค่าออกซิเจนได้ 0 – 10 มิลลิกรัม/ลิตรและความเป็นกรดด่างของน้ำได้ 0 – 10
2) สามารถนำค่าออกซิเจนที่อ่านได้นำไปควบคุมเครื่องตีน้ำอัตโนมัติได้
3) สามารถใช้มอเตอร์ควบคุมหัวโพรบให้เคลื่อนลงไปวัดค่าออกซิเจนในน้ำได้
4) สามารถส่งสัญญาณเตือนได้ในกรณีที่มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องตีน้ำไม่ทำงาน

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาค้นคว้า และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ กล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของปริญญานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อยๆ 5 เรื่อง คือ หลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 หลักการเติมอากาศ การวัดค่าออกซิเจน และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) การทำงานของจอแสดงผลแอลซีดี การแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน โดยกล่าวถึง แผนผังการทำงานของโครงงาน การออกแบบวงจร หน้าที่ การทำงานของวงจรต่างๆ และการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ของโครงงานนี้ เพื่อตรวจสอบว่าโครงงานสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาโครงงานให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโปรแกรม และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จัดทำโครงงานดั้งนี้

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค ผังการทำงาน และโปรแกรม

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก จ รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎี และหลักการที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วยเรื่องของ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 หลักการเติมอากาศ การวัดค่าออกซิเจน และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) จอแสดงผล และการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะกล่าวโดยละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ประเภทหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานกันมากไม่ว่าจะเป็นส่วนประกอบในหุ่นยนต์ เครื่องจักร เครื่องกลอัตโนมัติ ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยส่วนใหญ่แล้วใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ตัวอย่างใกล้ตัวที่มีให้เห็น เช่น ฟลอบปี้ไดรฟ์ และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ขนาดเล็กในการขับเคลื่อนหัวอ่านเขียนข้อมูลลงไปในพื้นผิวของแผ่นดิสก์เพื่อให้ตรงกับตำแหน่งของแทร็กที่ถูกต้อง

รายละเอียด เกี่ยวกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ สิ่งแรกที่ควรทราบ คงหนีไม่พ้นพื้นฐานทั่วๆ ไป ไม่ว่าจะเป็นชนิด ลักษณะการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ตลอดจนการควบคุมการหมุน และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ หัวข้อต่างๆ เหล่านี้ เป็นเรื่องที่จะต้องทำความเข้าใจก่อนนำไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสม และใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การแบ่งชนิดสเต็ปปิ้งมอเตอร์หากแบ่งตามโครงสร้างพื้นฐานหรือความแตกต่างของรูปแบบโรเตอร์จะแบ่งออกได้ 4 ชนิด แต่ถ้าแบ่งตามวิธีการพันขดลวดบนสเตเตอร์จะแบ่งออกได้ 2 ชนิด อย่างไรก็ตามการแบ่งในลักษณะนี้เพียงยึดหลักที่ว่าหาซื้อง่าย และนิยมนำมาใช้งานกัน

2.2.2 แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน

1) ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance หรือ VR) มีโครงสร้างโรเตอร์แบบมัลติทูธ (Multi-Tooth) ทำจากเหล็กอ่อน จะทราบว่าเป็นมอเตอร์ชนิดนี้โดยการทดสอบได้ง่ายมาก คือ ใช้มือหมุนเพลาของมอเตอร์ และสังเกตเห็นว่าหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด เพราะที่โรเตอร์จะไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กแตกต่างจากชนิด PM และชนิดไฮบริด ซึ่งมีสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ ขณะหมุนจะรู้สึกขัดๆ เหมือนเป็นฟันเฟือง มอเตอร์ชนิดนี้มีจุดด้อยในความถูกต้องของตำแหน่ง และทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง

2) ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet หรือ PM) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็ก บนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวรการควบคุมทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอยล์พันแยกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากขั้วแม่เหล็ก บนสเตเตอร์เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวด โรเตอร์จะอยู่คงที่ที่ขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าอีกต่อไป ทำให้เกิดเป็นแรงยึดหน่วงขึ้น ชนิดนี้มีข้อดีในความถูกต้องของตำแหน่ง แม้ความเร็วจะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น

3) ชนิดไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้กับอุปกรณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โครงสร้างภายในได้จากการรวมเอาโครงสร้างของโรเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ และชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต มาประกอบเข้าด้วยกัน จึงทำให้มอเตอร์ชนิดที่มีแรงยึดหน่วงสูง มีแรงบิดดึง และผลักได้ดีซึ่งมีความคงที่ และทำงานได้ดีถึงแม้ว่าจะมีสเต็ปต่อรอบในการหมุนสูง

4) ชนิดแรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet) เป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบใหม่อีกชนิดหนึ่ง ปรับปรุงมาจากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต มีโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแผ่นยึดติดกับเพลามอเตอร์ มีโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำ อัตราเร่งสูง แรงบิดดึงกำลังทางกล และความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก ความเร็วเริ่มหมุน และหยุดสูง สูญเสียพลังงานต่ำ ชนิดนี้มีชื่อเรียกอีก อย่างว่า ดิสก์แมกเน็ตสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Disc Magnet Steppers)

2.2.3 แบ่งตามการพันขดลวดบนสเตเตอร์

1) แบบไบโพลาร์ (Bipolar) มีการพันขดลวด 1 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามได้โดยกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งกำหนดทิศการไหล และการกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า ทำให้โดยการใช้วงจรสวิตชิ่งกลับขั้วไฟฟ้า

2) แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วของแม่เหล็กเปลี่ยนไปมาทำได้โดยการสวิตชิ่งกระแสไฟฟ้าจากขดลวดขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่ง ขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันหรือมีจุดร่วม เพื่อลดจำนวนของสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยูนิโพลาร์ทำได้ง่ายกว่าชนิดไบโพลาร์ เพราะต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการเปิด และปิดกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการให้หมุนได้ทันที

ลักษณะการพันของขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้งสองแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.1 การพิจารณาว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวใดมีการพันขดลวดแบบใดสังเกตได้ง่าย ถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายไฟต่อออกจากมอเตอร์เพียง 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรือดูได้จากป้ายชื่อที่ติดอยู่กับมอเตอร์ก็ได้



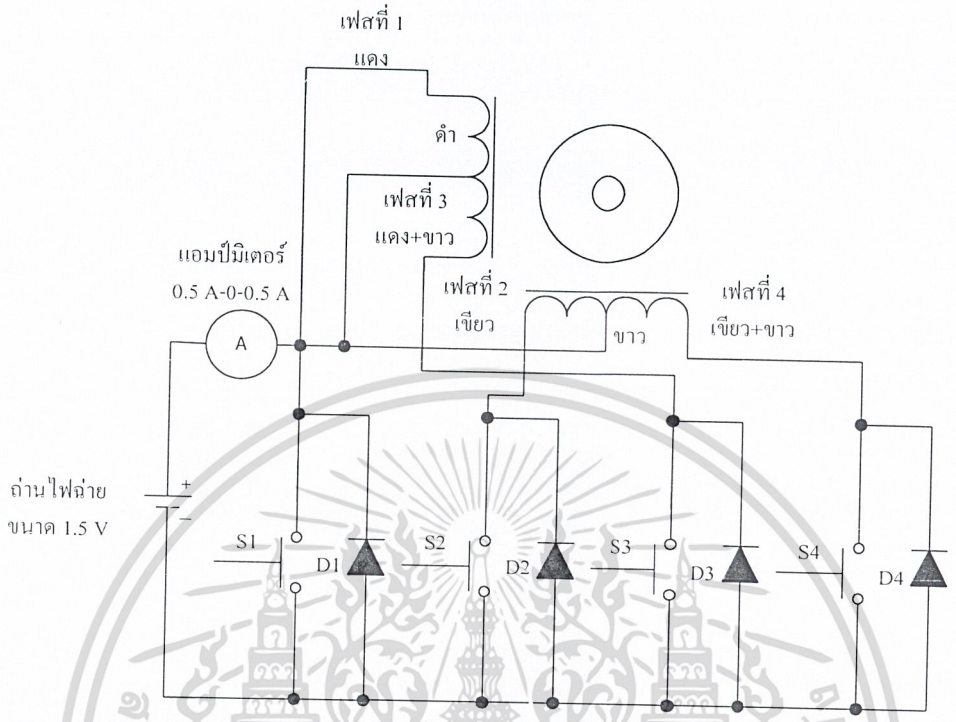
รูปที่ 2.1 ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์

2.2.4 ควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

วิธีศึกษาการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีวิธีง่ายๆ ดังรูปที่ 2.2 โดยป้อนแรงดันขนาด 1.5 โวลต์ มาใช้ขับให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ ใช้สวิตช์กด 4 ตัว ควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานแบบเวฟหรือครึ่งสเต็ป ไดโอด D_1-D_4 ป้องกันการสปาร์กที่หน้าคอนแท็กสวิตช์ และแรงดันย้อนกลับ สมมติว่าขดลวดเฟสที่ 1 สวิตช์ S_1 ปิดวงจรจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 1 ลงกราวด์ และเมื่อสวิตช์ S_1 เปิดวงจรก็จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดเฟสที่ 3 โดยผ่านทางไดโอด D_3 ในขณะเดียวกันก็จะมีแรงดันตกคร่อมขดลวด 2 ขณะเปิดวงจร (เป็นแรงดันตกคร่อมไดโอด) ซึ่งจะมีขนาดแรงดันเป็น 2 เท่าของแรงดันในตอนแรกเพราะฉะนั้นการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ต้องคำนึงถึงข้อนี้ด้วยเมื่อนำมาใช้ในการขับมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

การกระตุ้นเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปในการใช้งานจริงทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้อง แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงจรทดลองการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

1) แบบเวฟ (Wave) เป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่ง และเรียงถัดกันไป เช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1 หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แบบ 2 เฟส (Two Phase) เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟ คือ ขดลวดที่ 12, 23, 34, 41, 12, หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนการเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขด ถัดไป สำหรับข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้ ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

3) แบบครึ่งสเต็ป (Half Step) เป็นรูปแบบผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟ และแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกหนึ่งเท่าตัว จะกระตุ้นขดลวด เรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวด 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องระวังไว้ว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ปเต็มเหมือนกับการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับ 2 เฟส จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-

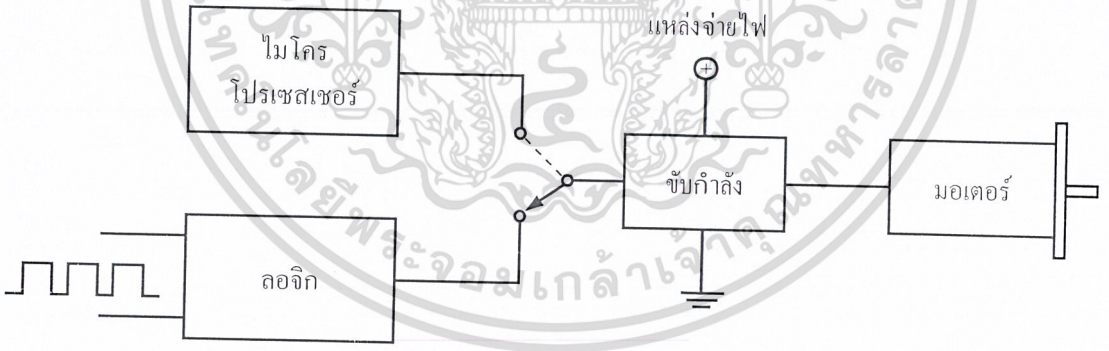
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

2.2.5 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

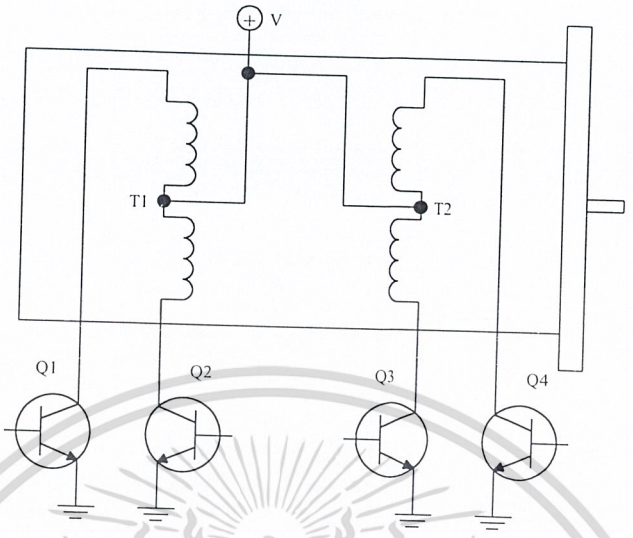
การนำเอาวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาใช้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ แสดงดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.3 การขับด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์นี้ต้องแยกด้วยว่าขับมอเตอร์แบบไบโพลาร์หรือยูนิโพลาร์ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับเฟสของมอเตอร์ด้วยว่ามีจำนวนเฟสมากน้อยแค่ไหน



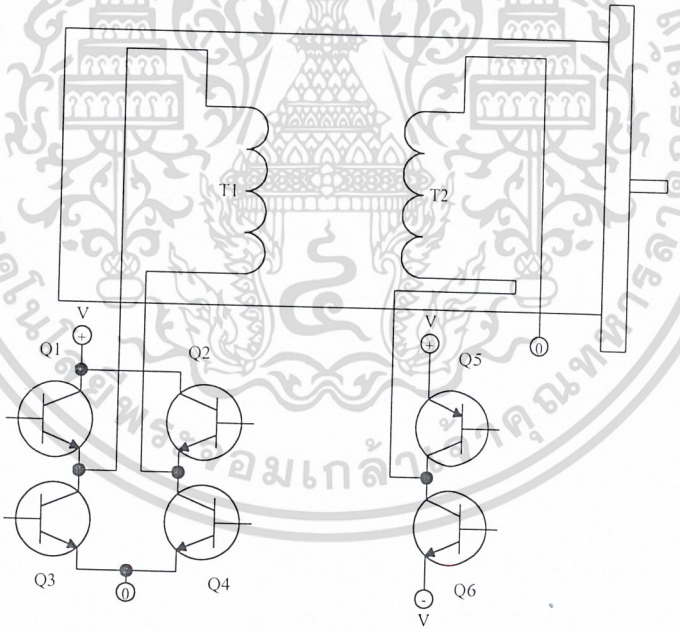
รูปที่ 2.3 แผนผังการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์

จากวงจรจะเห็นว่าใช้ทรานซิสเตอร์ขับขดลวดมอเตอร์ในลักษณะ 1 ขดต่อทรานซิสเตอร์ 1 ตัว ซึ่งจะแตกต่างจากการขับมอเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ขดลวดทางซ้ายมือต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัว ต่อวงจรแบบบริดจ์มาขับขดลวด 1 ขด ส่วนขดลวดทางขวามือนั้นใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว มาขับขดลวด 1 ขด ดังรูปที่ 2.8 (ข) แต่เพาเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชุด จะไม่เหมือนกัน สังเกตดูให้ดีแล้วในขดทางขวามือจะเป็นแรงดันแบบบวก-กราวด์-ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ยูนิโพลาร์



(ข) ไบโพลาร์

รูปที่ 2.4 การขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ และแบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.5 เป็นวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ โดยจะมีกราฟแสดงผล การเพิ่มขึ้นของกระแสที่สเตเตอร์ ซึ่งในรูปที่ 2.5 (ก) ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้าไปนั้น จะไปลดค่าคาบเวลาในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ให้น้อยลง สำหรับใช้กับโหลดที่มีค่าเหนี่ยวนำน้อย ซึ่งก็แน่นอนว่าจะต้องมีการสูญเสียกำลังงานไปบางส่วน

ในรูปที่ 2.5 (ข) เป็นวงจรที่ช่วยชดเชยค่าอินดักแตนซ์ โดยใช้วงจร RC ซึ่งวงจรนี้จะกำเนิดแดมพ์ออสซิลเลชั่น และทำให้ค่าคงที่ในการแดมพ์น้อยสุดกำหนดด้วยค่า R และ C คุณสมบัติเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตสเต็ปปิ้งมอเตอร์

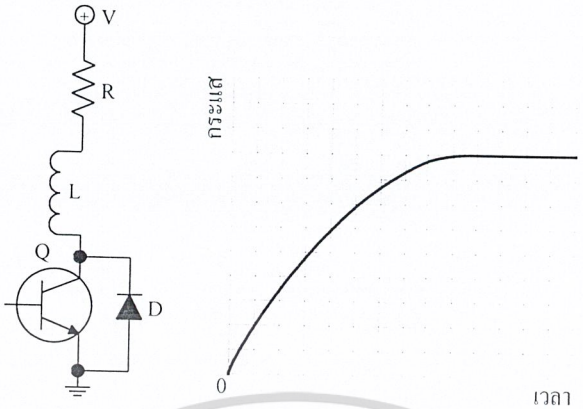
ในรูปที่ 2.5 (ค) การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับกระแส ซึ่งจะทำให้ความชันของการสวิตช์ทำงานมีความชันมาก และจะต้องป้อนแรงดัน ให้สูงอย่างเพียงพอด้วย ขณะที่กระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ในระดับต่ำแล้วตัวทรานซิสเตอร์จะไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวนานนัก วงจรนี้จะสูญเสียพลังงานมาก จึงต้องระบายความร้อนออกมาในช่วงจังหวะนี้

ในรูปที่ 2.5 (ง) เป็นวงจรขับกระแสที่ดีมากวงจรหนึ่ง เพราะเมื่อกระแสไหลจนถึงค่าๆ หนึ่ง ทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน และจะทำให้สนามแม่เหล็กลดลงโดยผ่านไดโอดอย่างช้า ๆ แล้วเมื่อกระแสตกคร่อมมอเตอร์ลดต่ำลงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทรานซิสเตอร์ทำงานอีกครั้งในวงจรนี้ ทรานซิสเตอร์ก็จะไม่สูญเสียพลังงานมากเหมือนในรูปที่ 2.5 (ค)

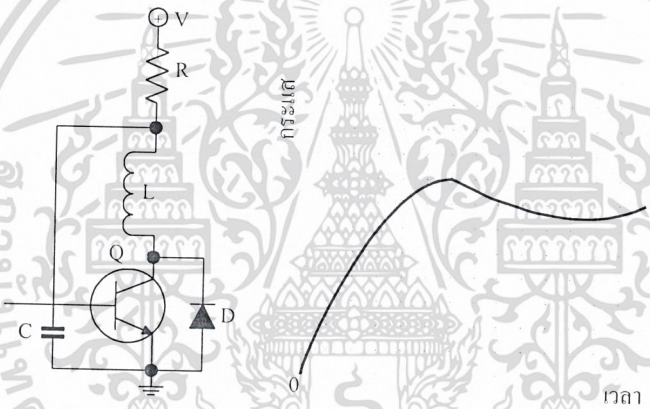
ถ้าต้องการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามต้องการ สามารถต่อเอาต์พุตพอร์ตได้โดยตรง และสามารถสั่งงานโดยการใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อสั่งงานให้มอเตอร์หมุนเดินหน้าหรือถอยหลังได้ตามต้องการ และนอกจากนั้นยังสามารถเลือกได้ว่าจะหมุนเป็นเวฟหรือครึ่งสเต็ปก็ได้ จากการปรับช่วงห่างระหว่างเวลาแต่ละสเต็ป วิธีการควบคุมก็โดยอาศัยวงจรลอจิกนำเอาต์พุตไปควบคุมทรานซิสเตอร์ผ่านวงจร RC ไบสเตเบิล เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น เช่น กรณีของการนำกระแสพร้อมๆ กันของทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว แบบบริดจ์ ในบางกรณีลอจิกเกตจะถูกใช้เป็นตัวเซต และรีเซตวงจรไบสเตเบิลเพื่อกำหนดทิศทางการหมุนก็ได้

มีอุปกรณ์ไอซีที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการออกแบบเป็นวงจรควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ที่ควบคุมความเร็วด้วยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของพัลซ์ และที่มีขายกันตามท้องตลาดก็อย่างเช่น เบอร์ SAA1027, L297 และ L298 หรือ TL376, ULN2002-ULN2005, UCN5804B เป็นต้น

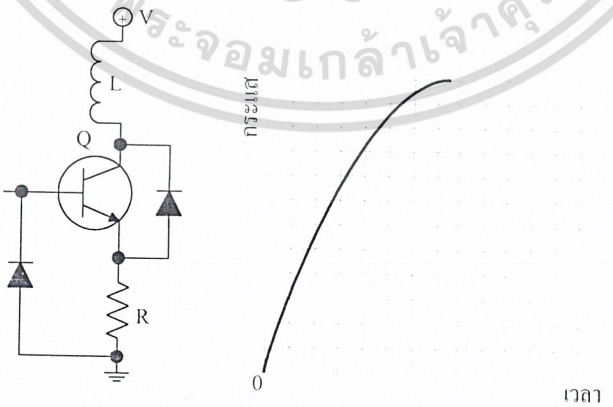
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์



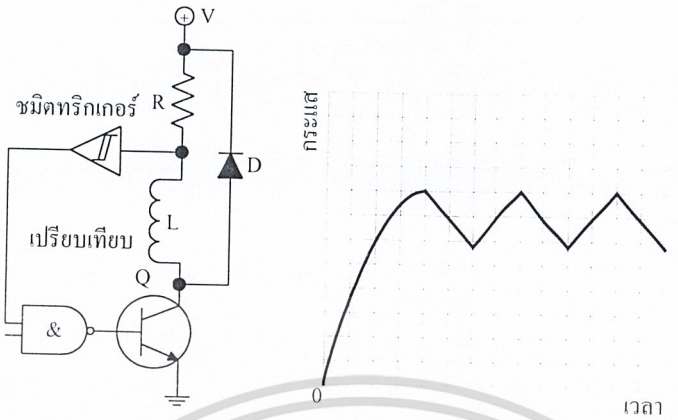
(ข) R-C ชดเชยค่าอินดัคแตนซ์



(ค) การทำงานที่มีความชันของสวิตช์มาก

รูปที่ 2.5 การใช้กระแสขับเพื่อเพิ่มโมเมนต์เมื่อมีอัตราเร่งสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) วงจรขับมอเตอร์ที่ดีที่สุด

รูปที่ 2.5 (ต่อ) การใช้กระแสขับเพื่อเพิ่มโมเมนต์เมื่อมีอัตราเร่งสูง

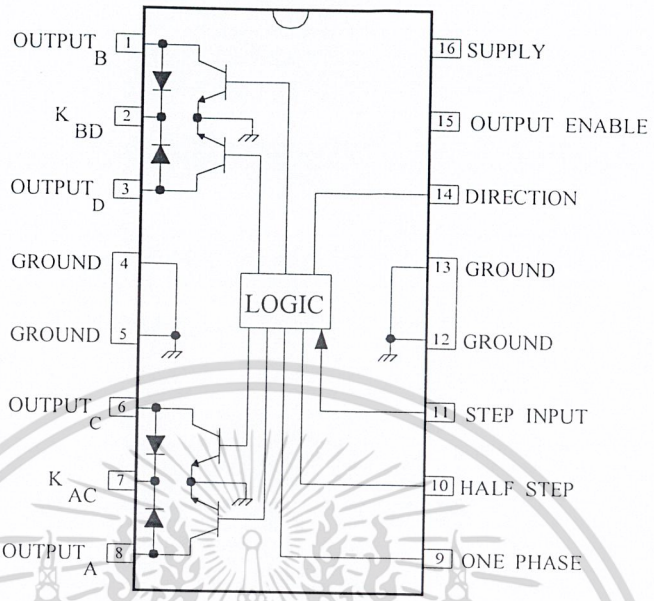
2.2.6 ไอซีขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

จากในอดีตจะขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์นั้นยังใช้ทรานซิสเตอร์เพาเวอร์ต่อเป็นวงจรขับแยกจากวงจรลอจิกควบคุมต่างหากทำให้เกิดความไม่สะดวกเท่าที่ควรในการสร้างหรือการออกแบบวงจร หากแต่ว่าในปัจจุบัน เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้ามากยิ่งขึ้นทำให้วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบเก่านั้นถูกออกแบบรวมมาให้อยู่บนตัวถังบรรจุของไอซี โดยมีทรานซิสเตอร์เพาเวอร์ประกอบรวมอยู่ภายในรวมทั้งขารับลอจิกควบคุมทางอินพุตก็ได้มีการจัดเตรียมไว้เรียบร้อย เรียกได้ว่าต่อไฟเลี้ยงเดินสายแล้วใช้งานได้เลย

1) โครงสร้างพื้นฐานของไอซีขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เบอร์ UCN 5804B

UCN 5804B คือ อุปกรณ์ขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ของปัจจุบัน และอนาคต ที่ภายในรวมเอาวงจรควบคุมลอจิกแบบซีมอสที่มีอัตราการสิ้นเปลืองกำลังงานต่ำเข้าไว้ด้วย โดยที่มุ่งเน้นคุณสมบัติของการขับกระแส และแรงดันออกทางเอาต์พุตที่สูงหรือกำลังงานทางเอาต์พุตสูงด้วยดาร์ลิงตันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ภายใน และให้เอาต์พุตออกมาแบบไบโพลาร์ ไอซีตัวนี้ถูกเรียกว่าเป็นไอซีแบบไบมอส (BiMOS II) ที่ทำหน้าที่แปลงลักษณะการควบคุม และการขับออกเอาต์พุตที่สมบูรณ์ เพื่อขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ยูนิโพลาร์ 4 เฟส ด้วยอัตรากระแสขับทางเอาต์พุตต่อเนื่องสูงถึง 1.25 แอมป์ต่อเฟสที่แรงดัน 35 โวลต์ (กระแสขับขณะเริ่มต้นสูงถึง 1.5 แอมป์) ในรูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างภายใน และการจัดขาใช้งานของ UCN 5804B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายใน และการจัดขาของ UCN5804B

2) คุณสมบัติทั่วๆ ไปของไอซีขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เบอร์ UCN5804B

คุณสมบัติโดยทั่วไปของไอซีนอกจากจะเป็นการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในแบบขับโดยตรงแล้วยังสามารถที่จะควบคุมได้ด้วยลอจิกทางอินพุตอีก คุณสมบัติทางเทคนิคโดยทั่วๆ ไปของไอซีมีดังต่อไปนี้

2.1) ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงสุด (V_{CE}) 50 โวลต์

2.2) ระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่ ($V_{CE(SUS)}$) 30 โวลต์

2.3) กระแสซิงค์เอาต์พุต (I_{OUT}) 1.5 แอมป์

2.4) รูปแบบการขับได้ทั้ง 2 เฟส, ครึ่งสเต็ป และต่อเนื่อง

2.5) มีไดโอดแคลมป์ต่ออยู่ภายในแล้ว

2.6) เอาต์พุตจะทำงานตามสถานะการควบคุมทิศทางทางอินพุต

2.7) มีระบบการทำงานแบบเพาเวอร์ออนรีเซต

2.8) มีวงจรตรวจจับ และควบคุมการทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน

3) คุณสมบัติทางไฟฟ้าของไอซีขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เบอร์ UCN5804B

นอกเหนือจากคุณสมบัติทั่วๆ ไปของไอซีข้างต้นแล้ว ยังมีรายละเอียดข้อมูลของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ UCN5804B อย่างละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ UCN5804B

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
แรงดันเอาต์พุตสูงสุด	50	โวลต์
แรงดันเอาต์พุตต่อเนื่อง	35	โวลต์
กระแสซิงค์เอาต์พุต	1.5	แอมป์
แรงดันไฟเลี้ยงไอซีหรือระดับลอจิก	7.0	โวลต์
แรงดันอินพุต	7.0	โวลต์
กระแสรั่วไหลทางเอาต์พุต	10-50	ไมโครแอมป์
แรงดันเอาต์พุตจุดทำงาน	1.1-1.5	โวลต์
กระแสรั่วไหลในไดโอดแคลมป์	10-50	ไมโครแอมป์
แรงดันไบแอสตรงในไดโอดแคลมป์	1.5-3.0	โวลต์
กระแสอินพุต	0.5-5.0	ไมโครแอมป์
กระแสสำหรับเลี้ยงตัวไอซี	20-30	มิลลิแอมป์
ช่วงเวลาหน่วงขณะหยุดทำงาน	10	ไมโครวินาที
ช่วงเวลาขณะเริ่มทำงาน	10	ไมโครวินาที
ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่จะหยุดทำงานอัตโนมัติ	165	องศาเซลเซียส

ในส่วนของซีมอสลอจิกภายในตัวไอซีจะทำหน้าที่กำหนดลำดับลอจิกควบคุมที่รับเข้ามาทางขาควบคุมอินพุต ขาควบคุมทิศทาง (Direction) และขาควบคุมการขับทางเอาต์พุต (Output Enable) รวมทั้งลอจิกการควบคุมการรีเซตตัวเองเมื่อเริ่มจ่ายแรงดันให้ (Power On Reset) การควบคุมทางเอาต์พุตนั้นจะมีทั้งหมดสามรูปแบบการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ต่ออยู่ทางเอาต์พุต คือ

3.1) แบบ 1 เฟส (One Phase) หรือแบบ Wave-Drive

3.2) แบบ 2 เฟส

3.3) แบบครึ่งสเต็ป

โดยที่การควบคุมการขับทางเอาต์พุตนี้จะถูกทำการเลือกรูปแบบการขับจากสัญญาณหรือสวิตช์เลือกภายนอกสัญญาณการควบคุมทางอินพุตของไอซีนี้ สามารถรับได้ทั้งสัญญาณควบคุมจากเอาต์พุตของอุปกรณ์ในวงจรประเภท CMOS, PMOS, และ NMOS แต่สำหรับสัญญาณควบคุมจากเอาต์พุตของอุปกรณ์ประเภท TTL หรือ LSTTL นั้นในบางครั้งหรือส่วนมากจำเป็นต้องต่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานพูลอัพเพิ่มเข้ามาด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจได้ว่าในระดับลอจิก “High” ทางอินพุตของไอซีมีเสถียรภาพของระดับลอจิกที่แน่นอน

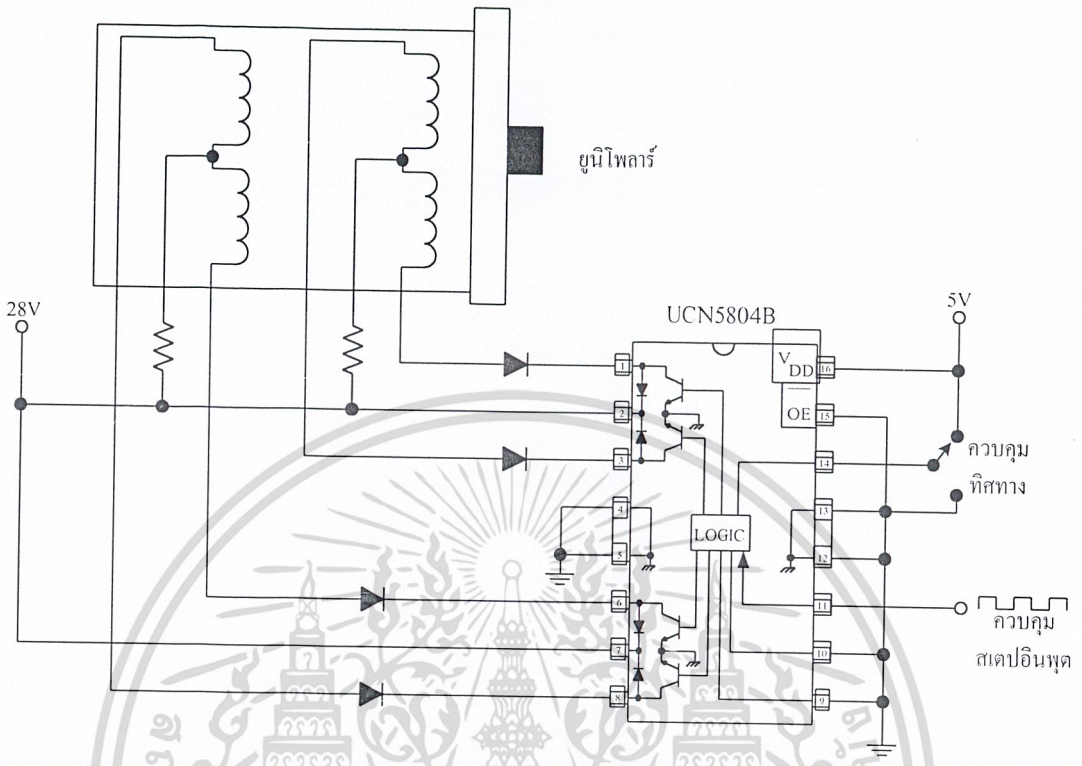
รูปแบบการขับแบบหนึ่งเฟสจะประกอบด้วยการจ่ายกำลังงานไปยังเฟสมอเตอร์หนึ่งเฟสที่เวลาใดๆ ตามลำดับในลักษณะ A-B-C-D (หรือ D-C-B-A) ซึ่งในโหมดการกระตุ้นทำงานหรือโหมดการขับแบบเฟสเดี่ยวนี้จะทำให้มีการสิ้นเปลืองกำลังงานต่ำมากๆ และแน่ใจได้ว่าจะมีความเที่ยงตรงในตำแหน่งของการหมุนโดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงความสมดุลของการหมุนในมอเตอร์ ส่วนรูปแบบการขับแบบสองเฟส จะเป็นการขับกำลังงานไปยังเฟสของมอเตอร์ ซึ่งเป็นเฟสที่ติดกัน และในตำแหน่งที่ลำดับไป คือ AB-BC-CD-DA ลำดับการขับในเฟสติดกันของโหมดนี้ จะเป็นการขับเพื่อรองรับ และปรับปรุงค่าของแรงกับความเร็ว (Torque Speed) ที่เกิดขึ้น และเป็นการหน่วงแรงได้ดีที่สุดและทำให้เกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในมอเตอร์ นอกจากนั้นในรูปแบบการขับแบบครึ่งสเต็ปจะเป็นการขับแบบสลับกันระหว่างรูปแบบหนึ่งเฟสกับสองเฟสโหมดดังนี้ A-AB-B-BC-C-CD-D-DA และก็จะแบ่งออกมาได้ทั้งหมด 8 สเต็ปเป็นลำดับกัน

ทางด้านเอาต์พุตที่เป็นแบบไบโพลาร์นี้จะมีการขับกระแสซิงค์ออกมาสูงถึง 1.5 แอมป์ และที่แรงดันคงที่ 50โวลต์ ขณะที่อยู่ในสภาวะ OFF (จะมีแรงดันเอาต์พุตคงที่หรือต่อเนื่องเท่ากับ 35 โวลต์) การต่อไดโอดแรงดันสูงแคลมป์ถึงกราวด์ภายในเพาเวอร์เอาต์พุตของไอซีนี้จะเป็นการช่วยป้องกันทรานเซียนต์ เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดในสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้ลดลงได้ นอกจากนั้นแล้วยังมีวงจรตรวจจับ และป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน อันเนื่องมาจากการขับกระแสทางเอาต์พุตมีความผิดปกติจนทำให้เกิดความร้อนขึ้นสูงเกิน ซึ่งโดยคุณสมบัติแล้ว UCN8054B สามารถทำงานได้ ในสภาวะของอุณหภูมิที่ตัวไอซีมีค่าระหว่าง – 20°C ถึง + 85°C โดยเฉพาะที่ขากราวด์ (4, 5 และ 12, 13) จะทำหน้าที่เป็นแท็ปฮีตซิงค์ต่อกับกราวด์ เพื่อชดเชยอัตราการสูญเสียกำลังงานทางความร้อนได้อีกด้วย

4) การประยุกต์ใช้งาน

การนำไปประยุกต์ใช้งานนั้น จะคำนึงถึงสภาวะการขับในแต่ละเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์และรูปแบบในการขับมอเตอร์จะต้องสัมพันธ์กันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในแต่ละแบบการใช้งานหรือต้องการความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะหมุนให้ต่ำที่สุด หรือต้องการให้มีแรงบิดมากที่สุดเพื่อใช้ในงานหนักเป็นต้น ทั้งนี้จะแสดงวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบสองเฟสเบื้องต้นไว้ในรูปที่ 2.7 เป็นการควบคุมการขับเฟสมอเตอร์ทางเอาต์พุตให้สามารถเลือกเปลี่ยนทิศทางการหมุนได้อย่างง่ายๆ โดยที่ยังไม่มีอุปกรณ์ภายนอกต่อเพิ่มเติมแต่อย่างใด แต่การประยุกต์ใช้งานจะกล่าวโดยรวมในแต่ละแบบว่าจะให้เอาต์พุตแต่ละเฟสออกมาแบบใดบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น

ในวงจรรีเซตอัตโนมัติ เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับวงจร โดยมีประกอบไว้ภายในตัวไอซีแล้ว โดยสถานะทางลอจิกของวงจรรีเซตอัตโนมัติภายใน (POR) จะอยู่ในสถานะ "ON" หลังจากการรีเซตผ่านไปพร้อมกับทำให้เอาต์พุต A (Output A) มีสถานะ "ON" ต่อจากนั้นการทำงานก็จะเป็นไปตามสภาวะการจ่ายแรงดันลอจิกเข้ามาควบคุมหรือสั่งการ ในกรณีที่เป็นการขับมอเตอร์สองเฟส เอาต์พุต D (Output D) ก็จะให้เอาต์พุตออกมามีสถานะ "ON" เช่นเดียวกับเอาต์พุต A ดังแสดงตารางการทำงานทางเอาต์พุตไว้ในตารางที่ 2.5 และรูปที่ 2.8 จะแสดงไทมิ่งไดอะแกรมที่สัมพันธ์กันกับในตารางที่ 2.5

ที่เอาต์พุตลำดับที่หนึ่งจะเปลี่ยนตำแหน่ง ON จากสภาวะ "High-To-Low" ไปสู่ลำดับตำแหน่งต่อไปนั้นจะขึ้นอยู่กับพัลซ์ทางอินพุต โดยที่ระดับลอจิกทางอินพุตของการขับแบบครึ่งสเต็ป และหนึ่งเฟสจะถูกกำหนดโดยรูปแบบของการขับ (ครึ่งสเต็ป, หนึ่งเฟสหรือสองเฟส) นอกจากนั้นที่ขาควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะเป็นตัวกำหนดลำดับการทำงาน ในทางตรงกันข้ามของเอาต์พุตทั้งหมด กล่าวคือ ที่อินพุตของขา Step Input จะมีสถานะเป็น "Low" เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขับทางเอาต์พุตหรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะทิศทางการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

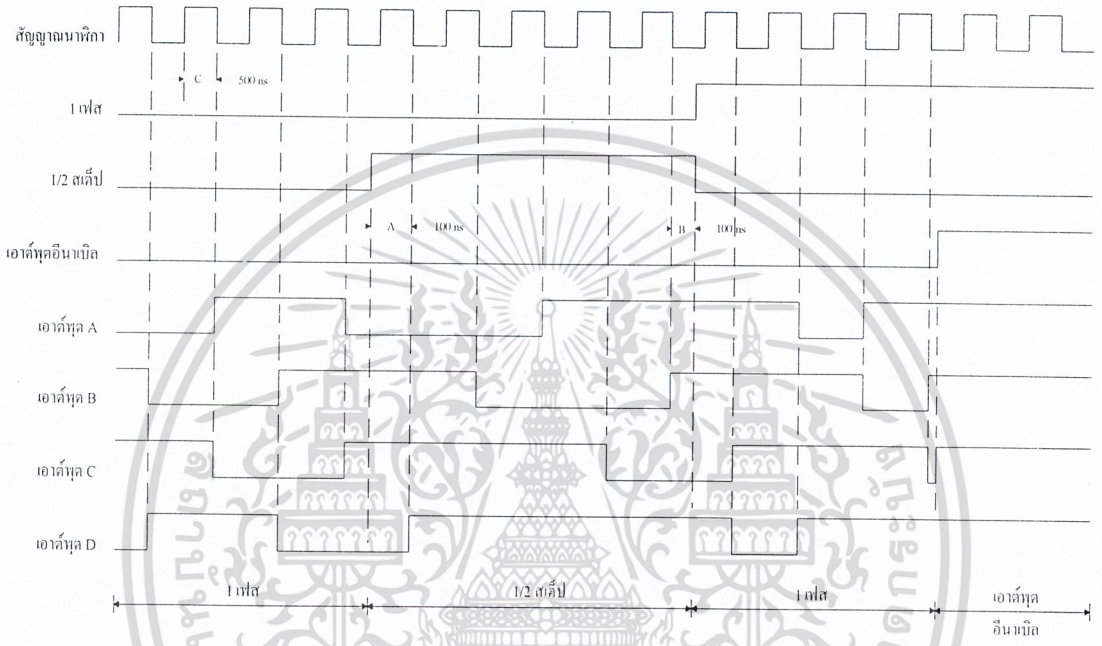
ตารางที่ 2.5 การทำงานของเอาต์พุตทั้ง 4 ของไอซี UCN5804B

การขับลำดับแบบ 1 เฟส				
½ สเต็ป = L, 1 เฟส = H				
ทิศทาง = H, = L				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON
การขับลำดับแบบ 2 เฟส				
½ สเต็ป = L, 1 เฟส = L				
POR	ON	OFF	OFF	ON
1	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON
การขับลำดับแบบ ½ สเต็ป				
½ สเต็ป = H, 1 เฟส = L				
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43202

ต่อมาพิจารณาถึงในเอาต์พุตทั้งหมดจะหยุดทำงาน (OFF) เมื่อขาเอาต์พุตอีนาเบิล (Output Enable) มีสถานะลอจิก “High” และถ้ายังไม่มีการกำหนดฟังก์ชันการทำงาน สถานะที่ขาเอาต์พุตอีนาเบิลนี้จะกลับมามีสถานะลอจิกเป็น “Low” เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วสถานะของเอาต์พุตทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับสถานะของลอจิกควบคุมการทำงานทางอินพุต



รูปที่ 2.8 ผังงานทางเวลาที่สัมพันธ์กับตารางที่ 2.5

ในช่วงระหว่างที่มีการสลับหรือสับเปลี่ยนกันทำงานในแต่ละเฟสของยูนิโพลาร์สเต็ปปิ้งมอเตอร์นี้จะมีความสัมพันธ์กันของการคัปปลิ้งระหว่างขดลวดของมอเตอร์ที่พึ่งผ่านการทำงานหรือที่กำลัง OFF ทางเอาต์พุตของไอซีจะต้องมีการทำให้ลดลงหรือต้องผ่านลงกราวด์ไปเพื่อเป็นการป้องกันทางเอาต์พุตของไอซี ในลักษณะเช่นนี้จะต้องทำการไบแอสตรงขาของคอลเลกเตอร์กับรอยต่อซับสเตรต และแหล่งจ่ายกระแสจากเอาต์พุตในบางครั้งมีการใช้งานในลักษณะควบคุมให้มีการกลับทิศทางกันบ่อยครั้ง และติดต่อกันจะทำให้เกิดค่ากระแสที่ซับสเตรตสูงมากซึ่งจะมีผลเกี่ยวกับระดับลอจิกในวงจรและทำให้ไม่เกิดการสเต็ปปิ้ง การต่อไดโอดอนุกรมภายนอก (การต่อแบบชอตต์กี้ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อใช้ในวงจรแรงดันต่ำ) จะช่วยป้องกันกระแสซับสเตรตจากการที่มีกระแสเริ่มไหลจากแหล่งจ่ายผ่านไปยังเอาต์พุตในทางกลับกันการต่อไดโอดแคลมป์กับกราวด์จะช่วยให้ส่วนของกระแสนี้ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างระดับกราวด์ให้เป็นกราวด์ยิ่งขึ้นหรือผ่านแรงดันย้อนกลับจากขดลวดมอเตอร์ทางเอาต์พุตให้ไหลสู่กราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรป้องกันอุณหภูมิเกินภายในตัวไอซีจะทำการหยุดการทำงานทางเอาต์พุตลง เมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อเพิ่มขึ้นสูงเกินกว่า 160 องศาเซสเซียส และทางเอาต์พุตจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อเย็นหรือลดลงมาต่ำกว่า 145 องศาเซสเซียส

นับได้ว่าให้เกิดความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นกับการนำไปออกแบบหรือต่อการใช้งานของนักออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และที่สำคัญทำให้ระบบที่ออกแบบขึ้นมีขนาดเล็กลง และมีพื้นที่ของวงจรหรือหากออกแบบเป็นบอร์ดทำงานแล้วก็จะเป็นบอร์ดที่มีขนาดเล็กง่ายแก่การติดตั้ง

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลในตระกูล MCS-51 ได้ถูกคิดค้นพัฒนา และผลิตออกสู่ตลาดโดยบริษัทอินเทล เพื่อใช้ในงานควบคุมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นงานควบคุมขนาดเล็ก งานควบคุมขนาดกลางจนถึงงานควบคุมขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน เช่น การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เป็นต้น จากข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการนำวงจรพื้นฐานต่างๆ มารวมไว้ภายในชิปตัวเดียวทำให้วงจรควบคุมที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็ก มีความสะดวก และคล่องตัวสูงจึงเป็นที่นิยม และแพร่หลายอย่างมาก ผู้ผลิตชิปหลายบริษัทได้ติดต่อขอซื้อลิขสิทธิ์การผลิตชิปจากบริษัทอินเทล เพื่อไปผลิตจำหน่าย โดยได้มีการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ทำให้นปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีมาตราฐานเดียวกับ MCS-51 ของบริษัทอินเทลออกจำหน่ายหลายรุ่น ซึ่งจะมีสถาปัตยกรรมที่เหมือนกัน และสามารถใช้งานแทนกันได้ จะต่างกันเพียงขนาดของหน่วยความจำภายใน และหน่วยทำงานภายในเท่านั้น

2.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

1) ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ ชุดเดียว

2) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต

3) หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Program Memory) มีหลายขนาดขึ้นกับเบอร์ไอซี มีทั้งแบบรอม อีพรอม และแบบแฟลช

4) หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Data Memory) เป็นแบบแรม ในบางเบอร์มีหน่วยความจำอีอีพรอมเพิ่มเติม

5) อ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 64 กิโลไบต์

6) อ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลได้ถึง 64 กิโลไบต์

7) หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วย ความจำข้อมูลนั้นจะทำงานแยกออกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) มีพอร์ตรับหรือส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต หรือใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต รวมทั้งหมด 32 บิต ทำงานแยกกันอย่างอิสระ

9) มีวงจรนับ/จับเวลา ขนาด 16 บิต 2 ชุด ทำงานได้ 4 รูปแบบ

10) มีพอร์ตการสื่อสารอนุกรม (Universal Asynchronous Receiver Transmitter: UART) รับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน (Full Duplex) สามารถเลือกรูปแบบการส่งได้ 4 รูปแบบ

11) รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 6 แหล่ง กระโดดไปทำงานตอบสนองได้ 5 ตำแหน่ง

12) มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายใน

13) ประมวลผลข้อมูลได้ทั้งแบบ 1 บิต และ 8 บิต

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ได้มีผู้ผลิตออกมาจำหน่ายมากมาย ในการใช้งานสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ และความเหมาะสม ในตารางที่ 2.6 แสดงถึงคุณสมบัติบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัท Intel และบริษัท Atmel รุ่นต่างๆที่นิยมใช้กัน ซึ่งมีส่วนที่แตกต่างกันบางส่วน คือ ส่วนของหน่วยความจำข้อมูลภายใน หน่วยความจำโปรแกรมภายใน จำนวนของวงจรนับ/จับเวลา เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัท Intel และบริษัท Atmel

เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรมภายใน	หน่วยความจำข้อมูลภายใน	วงจรนับ/จับเวลา 16 บิต
8031	ไม่มี	128 ไบต์ (RAM)	2
8032	ไม่มี	256 ไบต์ (RAM)	3
8051	4 กิโลไบต์ (ROM)	128 ไบต์ (RAM)	2
8052	8 กิโลไบต์ (ROM)	256 ไบต์ (RAM)	3
8751	4 กิโลไบต์ (EPROM)	128 ไบต์ (RAM)	2
8752	8 กิโลไบต์ (EPROM)	256 ไบต์ (RAM)	3
AT89C1051	1 กิโลไบต์ (FLASH)	64 ไบต์ (RAM)	1
AT89C2051	2 กิโลไบต์ (FLASH)	128 ไบต์ (RAM)	2
AT89C51	4 กิโลไบต์ (FLASH)	128 ไบต์ (RAM)	2
AT89C52	8 กิโลไบต์ (FLASH)	256 ไบต์ (RAM)	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัท Intel และบริษัท Atmel

เบอร์	หน่วยความจำ โปรแกรมภายใน	หน่วยความจำ ข้อมูลภายใน	วงจรนับ/จับเวลา 16 บิต
AT89C55	20 กิโลไบต์ (FLASH)	256 ไบต์ (RAM)	3
AT89S8252	8 กิโลไบต์ (FLASH)	256 ไบต์ (RAM) 2 กิโลไบต์(EEPROM)	3
AT89S53	12 กิโลไบต์ (FLASH)	256 ไบต์ (RAM)	3

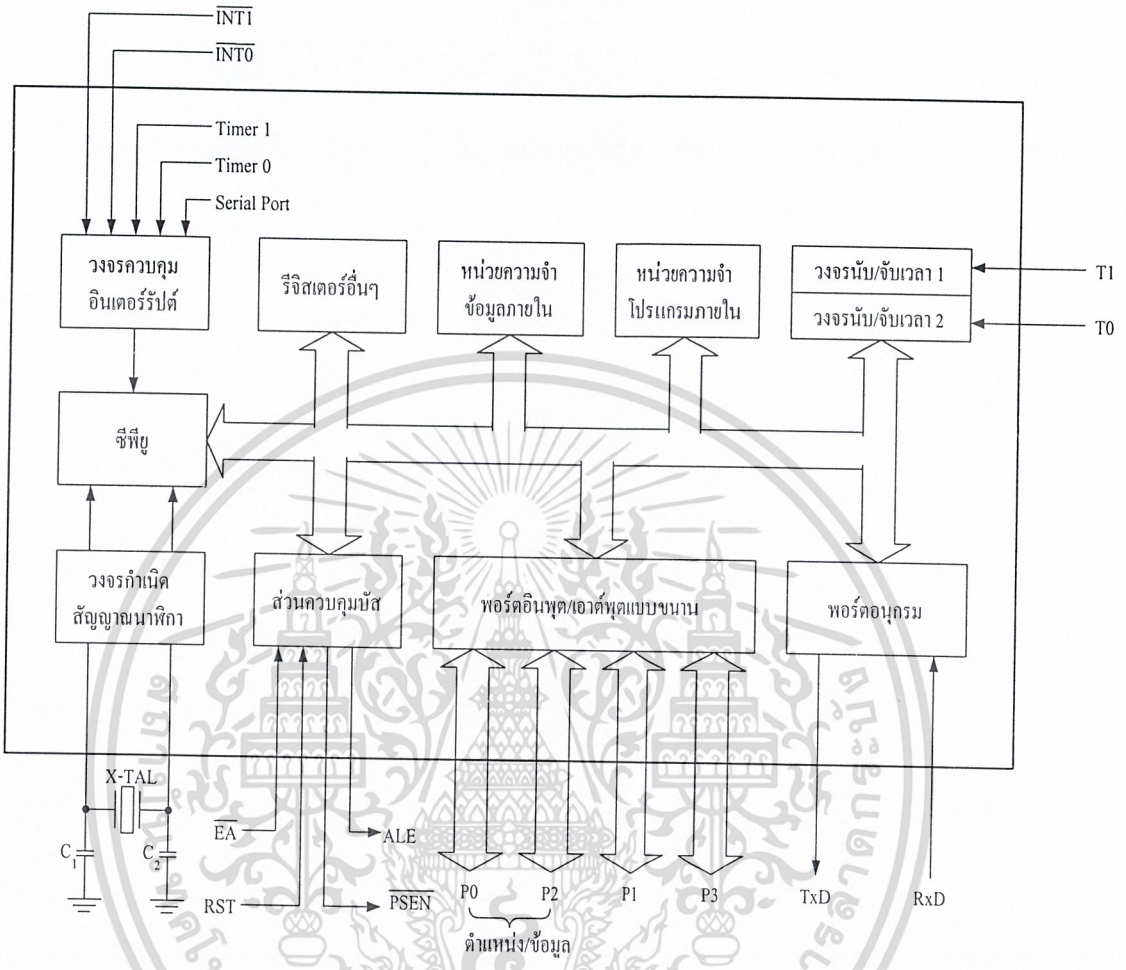
2.3.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบขึ้นด้วยเกตชนิดต่างๆ เช่น AND, OR, NOT ซึ่งเกตเหล่านี้จะนำเอามาออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่างๆ เช่น วงจรบวกเลข, วงจรเลื่อนข้อมูล วงจรถอดรหัสคำสั่ง และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น

ในรูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆดังนี้

1) หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit : ALU) และส่วนควบคุม (Control Unit : CU) ในส่วนของหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่น การบวก, ลบ, คูณ หรือหารข้อมูล แล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ต้องการ และส่วนควบคุมจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุมได้แก่ สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ สัญญาณติดต่อกับอุปกรณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออก รวมทั้งส่วนควบคุมการขัดจังหวะ และส่วนควบคุมบัสด้วย ซึ่งซีพียูจะทำการสร้างสัญญาณควบคุมโดยการถอดรหัสคำสั่งที่มีการกำหนดไว้ และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อให้ทุกๆ ส่วนทำงานประสานกันอย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

2) หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล ซึ่งในการนำข้อมูลเข้า และออกจากหน่วยความจำ เราจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของหน่วยความจำ (Address) ในการนำข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำ เรียกว่า การเขียนข้อมูล และการนำข้อมูลออกจากหน่วยความจำ เรียกว่า การอ่านข้อมูล ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งจะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะสามารถเก็บข้อมูลซึ่งมีค่าระหว่าง 00000000_2 ถึง 11111111_2 หรือ 00H ถึง 0FFH ในการติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

2.1) ตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำซึ่ง MCS-51 สามารถจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลได้สูงสุดชนิดละ 65,536 ตำแหน่ง (64 kBytes) ดังนั้นการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้สายสัญญาณกำหนดตำแหน่งทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ 65,536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ข้อมูลที่อ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำ ในตำแหน่งที่เราต้องการ

2.3) สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล ซึ่งวงจรถอดรหัสคำสั่งจะทำการสร้างสัญญาณควบคุมจากคำสั่งที่อ่านเข้ามาจากหน่วยความจำโปรแกรม

3) อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Device) เป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือนำข้อมูลออกจาก MCS-51 ทำให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ได้แก่

3.1) พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนาน มีทั้งหมด 4 พอร์ต ใช้รับส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าหรือออกจาก MCS-51 โดยแต่ละพอร์ตจะรับส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ต P0, P1, P2 และ P3 บางพอร์ตจะใช้งานมากกว่า 1 หน้าที่

3.2) วงจรนับ/จับเวลา ทำงานได้ 2 หน้าที่ คือ ใช้เป็นวงจรนับหรือจับเวลา เมื่อเป็นวงจรนับจะทำการนับจำนวนรอบของสัญญาณนาฬิกาภายใน MCS-51 หรือจำนวนรอบของสัญญาณที่ต่ออยู่ภายนอกตัว MCS-51 ก็ได้ สามารถตั้งค่าเริ่มต้นของการนับและอ่านค่าการนับได้โดยซีพียู เมื่อเป็นวงจรจับเวลาจะใช้หลักการเดียวกับวงจรนับเพียงแต่จะกำหนดค่าสูงสุดของการนับไว้ ซึ่งค่าสูงสุดของการนับจะคำนวณมาจากค่าเวลาที่ต้องการจับเวลานั่นเอง

3.3) พอร์ตอนุกรม ซีพียูจะอ่าน และเขียนข้อมูลกับพอร์ตอนุกรมเป็นแบบ 8 บิต แต่ละข้อมูลจะถูกส่งออกจาก MCS-51 เรียงไปทีละบิตออกจากขา TxD และในการรับข้อมูลก็จะรับเข้ามาทีละบิตทางขา RxD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิต เพื่อให้ซีพียูอ่านไปใช้งานต่อไป

ใน MCS-51 มีพอร์ตให้ใช้งานได้หลายแบบทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่างๆ ได้มากมาย การจะนำพอร์ตไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุม

2.3.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะภายนอกของ MCS-51 โดยสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบ Pin มี 40 ขา และแบบ Pad มี 44 ขา ซึ่งทั้งสองแบบมีการทำงานที่เหมือนกัน ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะลักษณะแบบ Pin เท่านั้น โดย MCS-51 แบบ Pin จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบตีนตะขาบหรือแบบ Dual Inline Package (DIP) โดยแต่ละขามีหน้าที่การทำงานดังนี้

1) Vcc : (ขา 40) ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลต์

2) Vss : (ขา 20) ต่อลงกราวด์

3) Port 0 : (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P0.0 - P0.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตทั่วไป ใช้เป็นเก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำไบต์ต่ำ (A0-A7) และรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Port 1 : (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P1.0-P1.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตทั่วไป

5) Port 2 : (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P2.0-P2.7 ใช้งานเป็นอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตทั่วไป และใช้เป็นที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำไบต์สูง (A8-A15) เพื่อใช้ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

6) Port 3 : (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ P3.0-P3.7 ใช้เป็น อินพุต/เอาต์พุต พอร์ตทั่วไป และใช้งานในหน้าที่พิเศษดังนี้

6.1) P3.0/RXD (Serial Input Port) : ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

6.2) P3.1/TXD (Serial Output Port) : ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

6.3) P3.2/ $\overline{\text{INT0}}$ (External Interrupt) : ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

6.4) P3.3/ $\overline{\text{INT1}}$ (External Interrupt) : ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

6.5) P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) : ใช้เป็นอินพุตให้วงจรนับ/จับเวลาชุดที่ 0

6.6) P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) : ใช้เป็นอินพุตให้วงจรนับ/จับเวลาชุดที่ 1

6.7) P3.6/ $\overline{\text{WR}}$ (External Data Memory Write Strobe) : ขาควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำภายนอก

6.8) P3.7/ $\overline{\text{RD}}$ (External Data Memory Read Strobe) : ขาควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก

7) RST : (ขา 9) Reset ใช้สำหรับรีเซตวงจรทุกอย่างภายในชิปเพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ ในการรีเซตต้องป้อนลอจิก "1" นานอย่างน้อย 2 รอบการทำงานของคำสั่ง

8) ALE : (ขา 30) Address Latch Enable เป็นขาส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการคงสภาวะเดิมของค่าตำแหน่งหน่วยความจำไบต์ต่ำจากพอร์ต 0

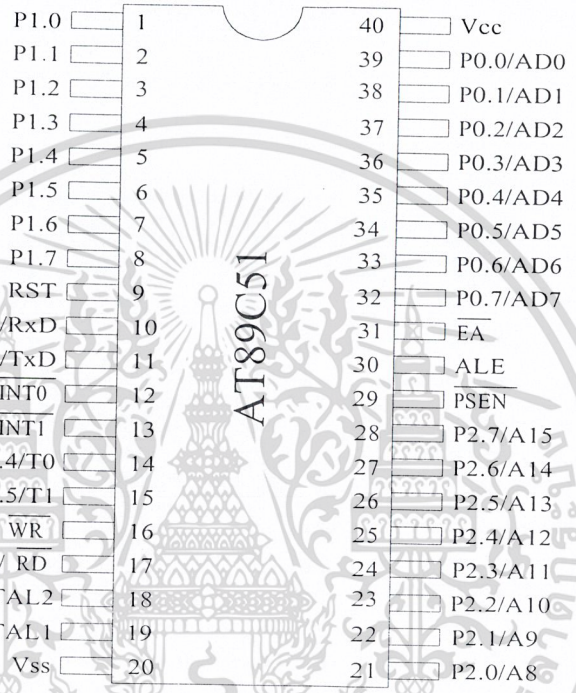
9) $\overline{\text{PSEN}}$: (ขา 29) Program Strobe Enable เป็นขาส่งสัญญาณเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อขานี้ Active มีลอจิกเป็น "0" จะอ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และถ้าเป็นการอ่านหน่วยความจำโปรแกรมภายในขานี้จะไม่ Active

10) $\overline{\text{EA}}$: (ขา 31) External Access เป็นขาที่ใช้สำหรับเลือกว่าให้ทำงานจากหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกชิป เมื่อขานี้ Active มีลอจิกเป็น "0" จะเป็นการทำงานตามคำสั่งในหน่วยความจำโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) XTAL1 : (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

12) XTAL2 : (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก เป็นเอาต์พุตออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 2.10 ลักษณะขาภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ Pin

2.3.4 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คำสั่งแต่ละคำสั่งของ MCS-51 จะใช้เวลาทำงาน 1, 2 หรือ 3 Machine Cycle แล้วแต่ว่าเป็นสั่งประเภทใด 1 Machine Cycle จะใช้เวลา 12 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้น แต่ละคำสั่งของ MCS-51 จะใช้เวลาทำงาน 12, 24 หรือ 36 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกานั่นเอง แต่ Machine Cycle จะถูกแบ่งออกเป็น 6 สถานะ คือ S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 และS_6 แต่ละสภาวะประกอบด้วย 2 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา ในไซเคิลแรกจะเรียกว่าเฟส 1 (P1) และไซเคิลที่ 2 เรียกว่าเฟส 2 (P2) ในแต่ละเฟสจะนับตั้งแต่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกาถึงขอบขาล่างของสัญญาณนาฬิกาที่อยู่ถัดไป เมื่อ MCS-51 ทำงานเสร็จ 1 Machine Cycle จะเริ่มทำงาน State 1 Phase 1 (SIP1) ของไซเคิลต่อไปใน 1 Machine Cycle วงจร Time and Control จะสร้างสัญญาณ ALE ออกมา 2 ไซเคิล เพื่อ Fetch คำสั่งเข้าไป 2 ครั้งเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเติมอากาศ (Aeration)

การเติมอากาศ คือ ขบวนการที่ทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศเพื่อกำจัดสิ่งปะปนที่ไม่พึงประสงค์ออกจากน้ำดิบมักใช้ในวัตถุประสงค์สำคัญ 3 ลักษณะ คือ

1) เพื่อกำจัดเหล็ก และแมงกานิส โดยจะเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำดิบปกติเหล็กและแมงกานิสจะปรากฏในรูปสารละลายในน้ำบาดาลที่ขาดออกซิเจนเมื่อน้ำดิบได้รับออกซิเจนจาการเติมอากาศสารละลาย Fe^{++} (Ferrous ions) กับ Mn^{++} (Magganous ions) ก็จะถูกออกซิไดส์ กลายเป็น จากน้ำได้ ดังสมการ

$$4Fe^{++} + O_2 + 10\ H_2O = 4Fe(OH)_3 + 8\ H^+$$

$$2Mn^{++} + O_2 + 2\ H_2O = 2MnO_2 + 4\ H^+$$

2) เพื่อกำจัดก๊าซที่ละลายปนอยู่ในน้ำดิบ ก๊าซที่สำคัญคือ

2.1) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ดี บางส่วนที่ทำ (น้อยกว่า1%) ปฏิกิริยากับน้ำเป็นกรดคาร์บอนิค หรือแตกตัวออกมาเป็น HCO_3^- และ $CO_3^=$ ซึ่งส่วนที่ทำปฏิกิริยาทั้งหมดนี้ไม่อาจกำจัดไปด้วยวิธีการเติมอากาศ อย่างไรก็ดีปริมาณของ CO_2 ในบรรยากาศทั่วไปมีอยู่น้อยจึงมีความดันร่วม (partial pressure) ส่วนต่ำ คือ 0.033% และ มีค่าความละลายอิ่มตัว (Saturation Value) ที่ 20° เพียง 0.56 มก./ล.

เมื่อใช้วิธีฉีดพ่นน้ำบาดาลซึ่งอาจมี CO_2 สูงถึง 30-50 มก./ล. ไปสัมผัสกับอากาศจะทำให้ก๊าซที่ละลายปนนี้ละเหยออกไปจากน้ำได้มาก จากการทดลองพบว่าระยะสัมผัสอากาศประมาณสองวินาทีจะลดก๊าซ CO_2 จากน้ำดิบได้ถึง 70-80% หรือบางครั้ง 90% ก็เป็นไปได้

เนื่องจาก H_2CO_3 เป็นกรดอ่อนซึ่งมีความสำคัญต่อค่า pH ของน้ำดังนั้นเมื่อ CO_2 ระเหยออกไปจะทำให้ความเข้มของประจุ H^+ ลดลงหรือทำให้ค่า pH ของน้ำเพิ่มขึ้นนั้นเอง

2.2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ยุ่งยากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะ H_2S ละลายน้ำได้ดีมากกว่า CO_2 ถึงสองเท่าอีกทั้งการแยกตัวของก๊าซ H_2S ที่ละลายอยู่ในน้ำยังเป็นลักษณะ

$$H_2S \text{ ----------> } H^+ + HS^-$$

$$HS^- \text{ ----------> } H^+ + S^=$$

ซึ่งทั้ง HS^- และ S^- นี้ไม่อาจจำกัดได้ด้วยการเติมอากาศ นอกจากนี้โดยเหตุที่ก๊าซ CO_2 ระเหยออกจากน้ำได้เร็วกว่า H_2S และการระเหยของ CO_2 จะทำให้จำนวนลดลงดังกล่าวแล้วซึ่งจะมีผลให้จำนวนของ HS^- และ S^- เพิ่มขึ้นเพื่อให้อยู่ในสภาวะสมดุลโดยการแตกตัวของ H_2S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_2S เมื่ออยู่ในน้ำจะมีอยู่ 3 สถานะ คือ H_2S(gas), HS^- และ $S^=$ ขึ้นกับ pH ของน้ำ

$2H^+ + S^= \longrightarrow H_2S$ และ $H^= + S^= \longrightarrow HS^-$

2.2.1) ในสภาพไร้ออกซิเจน แบกทีเรียที่อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนจาก $SO_4^=$,NO_3^-, CO_2^- โดยทำให้ผลลัพธ์สุดท้ายอยู่ในรูป $S^=$, N_2(gas) ดังนั้นในน้ำที่มี DO เป็นศูนย์ (anaerobic) จึงจะพบว่ามี $S^=$ จำนวนมาก (ไม่พบ $SO_4^=$) แต่การปรากฏในรูป H_2S เป็นผลเนื่องจากสมดุลของน้ำที่ pH นั้น ๆ

2.2.2) เมื่อเติม O_2ลงในน้ำจะเกิดปฏิกิริยา $S^=+2\ O_2$-------> $SO_4^=$เนื่องจาก O_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ดี และกลับเป็น H_2S อย่างเดิมเมื่อเกิดสภาพขาดออกซิเจน (anaerobic) ขึ้น ประสิทธิภาพ ในการกำจัด H_2S โดยวิธีการเติมอากาศอาจเพิ่มได้ โดยวิธีแบ่งการเติมอากาศออกเป็น 2 ครั้ง ครั้งแรกกระทำในบรรยากาศที่มีก๊าซ CO_2 สูงกว่าปกติซึ่งอาจได้มาจากท่อไอเสียการเผาไหม้ CO_2 ที่มีอยู่ 10% ในบรรยากาศนี้จะช่วยเพิ่มหรือรักษาระดับในน้ำไว้ทำให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการคงสภาพเป็นก๊าซของ H_2S และสามารถละเหยออกมาได้ ส่วน CO_2 กำจัดออกในการเติมอากาศครั้งที่สอง

ก๊าซ H_2S ไวไฟ และเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังทำให้แบกทีเรียกำมะถัน (Sulfur bacteris) เจริญเติบโตเกาะตามท่อ และผนังของท่อเครื่องเติมอากาศ

2.3) มีเธน CH_4 เป็นก๊าซที่พบตามแถบบ่อน้ำมันหรือบ่อก๊าซธรรมชาติ และอาจปรากฏอยู่ในน้ำบาดาลนอกจากนี้แหล่งน้ำเสียที่มีการเน่าทับถมของตะกอนก็เป็นที่มาของมีเธนด้วย

มีเธนละลายน้ำได้เล็กน้อยแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำสลายตัวในบรรยากาศได้เร็วจึงกำจัดได้ง่ายด้วยวิธีการเติมอากาศ เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไวไฟจึงต้องให้การถ่ายเทอากาศที่ดีเพราะอาจเกิดการระเบิดขึ้นได้ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างมีเธนกับอากาศสูงถึง 5.6 - 13.5% โดยปริมาณ

3) เพื่อกำจัดกลิ่น และรสในน้ำ

การเกิดกลิ่น และรสของน้ำมาจากสารอินทรีย์ น้ำมัน (Oil) ที่มีอยู่ในเซลล์ของสาหร่าย (Algae) เป็นตัวการสำคัญน้ำมันนี้ระเหยออกจากน้ำได้ยากประสิทธิภาพของการกำจัดกลิ่นด้วยวิธีการเติมอากาศมักไม่เกิน 50%

กลิ่น และรสของฟีนอล และเป็นสารอื่นที่มาจากอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่ไม่มีคุณสมบัติในการระเหยพอเพียงสำหรับจะกำจัดด้วยวิธีการเติมอากาศ นอกเสียจากว่าสารนั้นจะมีคุณสมบัติในการละลาย (Solubility) น้ำต่ำมากๆ คลอรีนซึ่งละลายในน้ำได้ดีจะไม่ละเหยออกไปในระหว่างการเติมอากาศ มิหนำซ้ำคลอรีนยังทำปฏิกิริยากับฟีนอลเป็นสารประกอบคลอโรฟีนอลซึ่งเพิ่มกลิ่นและรสที่กำจัดได้ยากขึ้นอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่น และรสของสารบางชนิดอาจลดลงภายหลังการเติมอากาศ และทิ้งไว้หนึ่งวันหรือสองวันทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายอย่างช้าๆ

2.4.1 ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO)

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นดิน และในน้ำสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่ปล่อยออกซิเจนอิสระออกมาละลายอยู่ในน้ำ และจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมาก และไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ การละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิ และปริมาณของแข็งที่ละลายปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมี กายภาพ และกระบวนการชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ค่าออกซิเจนละลายมีความสำคัญใช้บอกให้ทราบได้ว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และใช้ควบคุมระบบน้ำเสีย และมลภาวะทางน้ำ

วิธีออกซิเจนละลายที่นิยมใช้มี 2 วิธี

- วิธีเอไซด์แบบปรุง (Azide Modification)
- วิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำแบบเมมเบรน)

วิธีเอไซด์แบบปรับปรุงเป็นวิธีการหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้ดีเกือบทุกชนิด แม้ว่าจะยังใช้ไม่ได้กับน้ำเสียของโรงงานบางอย่างหรือน้ำที่มีสารลดออกซิเจนหรือมีสารออกซิเจนอยู่วิธีนี้เหมาะที่จะวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในภาคสนามหรือใช้วัดออกซิเจนในแม่น้ำ และระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งต้องวัดออกซิเจนละลายอย่างต่อเนื่อง สำหรับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดหรือเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำแบบเมมเบรนสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งรบกวนต่างๆ จากน้ำโสโครกน้ำที่มีสีมาก และน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียวิธีนี้ยังนิยมที่จะนำไปใช้ในภาคสนามอีกด้วย

1) วิธีเอไซด์แบบปรุง (Azide Modification)

1.1) หลักการ ออกซิเจนจะออกซิไดส์ Mn^{+2} ไปเป็น Mn^{+4} ภายใต้ภาวะความเป็นด่าง Mn^{+4}นี้สามารถที่จะออกซิไดส์ I^- ไปเป็น I2 อิสระภายใต้ภาวะที่เป็นกรดนั้นคือปริมาณของ I2 อิสระที่ถูกขับออกมาจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้น และวัดได้โดยการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธอัลเฟตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

1.1.1) เมื่อเติม $MnSO_4$ และ Alkali – Azide

$$Mn^{+2} + 2OH^- \longrightarrow Mn(H_2O) \text{ ตะกอนสีขาว}$$

ถ้าในน้ำมีจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Mn(H_2O) + 1/2O_2 \longrightarrow MnO_2 + H_2O$$ ตะกอนสีน้ำตาล

1.1.2) เมื่อเติมกรดกำมะถันความเข้มข้นจะถูกออกซิไดส์ไปเป็น

$$MnO_2 + 2I^- + 4H^+ \longrightarrow Mn^{+2} + I_2 + 2H_2O$$

1.1.3) ไตเตรทด้วยเพื่อหาค่าที่เกิดขึ้น

$$I_2 + 2SO_3 = \longrightarrow S_4O_6 + 22I_2^-$$

น้ำที่มีไนไตรต์อยู่จะรบกวนกับค่าออกซิเจนละลายที่ทำให้ค่าสูงกว่าจริง กำจัดไนไตรต์ได้โดยใช้ NaN_3 ซึ่งใส่ร่วมกับน้ำยา Alkali- Iodide

1.2) สิ่งรบกวนการวิเคราะห์ สิ่งรบกวนการวิเคราะห์ออกซิเจนมีสารหลายอย่าง เช่น เกลือของธาตุ เหล็ก สารอินทรีย์ สารแขวนลอยที่มากเกินไป ซัลไฟด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คลอรีนตกค้าง และไซยาไนด์

1.3) เครื่องมือและอุปกรณ์

1.3.1) ขวดบีโอดี ขนาด 300 มล. พร้อมจุกแก้วที่เป็น Ground joint

1.3.2) กระบอกตวงขนาด 250 มล.

1.3.3) ขวดรูปกรวยขนาด 300 มล.

1.3.4) บิวเรตต์

1.4) สารเคมี

1.4.1) สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($MnSO_4.4H_2O$) 480 กรัม หรือ แมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต 400 กรัม หรือ แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.4H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

1.4.2) สารละลายอัลคาไล – ไอโอไดด์ – เอไซด์

ละลายโซเดียมไอดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม) และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม (หรือโปรแตสเซียมไอโอไดด์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

1.4.3) กรดซัลฟุริคเข้มข้น (36 นอร์มัล)

1.4.4) น้ำแป้ง

ละลายแป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มล. เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2 – 3 นาที ตั้งค้างคืนใช้แต่น้ำใส เติมกรดซาลิไซลิค (Salicylic Acid) 1.25 กรัมต่อน้ำแป้ง 1ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.5) เดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($Na_2Sa_2O_5H_2O$) จำนวน 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็นแล้วเติมจนได้ปริมาตร 1ลิตรเก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5มล.หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

1.4.6) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล

เตรียมโดยเจือจางสารโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มล. ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มล. หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standadization) ด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต

1.4.7) สารละลายมาตรฐานโปรแตสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล

สารละลายโปรแตสเซียมไดโครเมตที่ได้ทำการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชม. จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

1.4.8) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโปรแตสเซียมไธโอซัลเฟต

ทำได้โดยละลาย โปรแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ประมาณ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ใส่ขวดเติมกรดซัลฟุริค (1+9) 10 มิลลิลิตรเติมสารละลายมาตรฐานโปรแตสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตรทิ้งค้างไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วจึงไตรเตรด้วยสารละลายโซเดียมไธไอซัลเฟต โดยการใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ (จากสีน้ำเงินจนไม่มีสี) ซึ่งปกติจะปรับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธไอซัลเฟตเท่ากับ 0.0250 นอร์มัล พอดี เพื่อสะดวกในการคำนวณสารละลายโซเดียมไธไอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.250 พอดี ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรตเท่ากับ 20.0 มล. พอดี

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธซัลเฟต(นอร์มัลลิตี้,N) = 0.0250 x 20 / A

ในเมื่อ A= ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธไอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรท, มล.

1.5) วิธีวิเคราะห์

1.5.1) เติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ลงในขวดบีโอดีให้เติมโดยการใช้วิธีกาลักน้ำช้าๆ และปล่อยน้ำให้ล้นพ้นคอขวดออกมาสักพัก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ สำหรับน้ำที่เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่นจากแม่น้ำ ทะเลสาบ เป็นต้น ถ้าเก็บบริเวณผิวน้ำให้คว่ำขวดบีโอดีแล้วกดให้จมลงใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำค่อยๆ เอียงขวดขึ้นให้น้ำไหลเข้าขวดแทนที่อากาศจนเต็มขวดยกขึ้นเหนือผิวน้ำ ถ้าเก็บในบริเวณใต้น้ำลึกๆ จะต้องใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำพิเศษสำหรับดีโอโดยเฉพาะ

1.5.2) เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มล. และสารละลายอัลคาไล – ไอโอไดด์-เอไซด์ 1 มล. โดยให้ปลายปิเปตต์อยู่ใต้ผิวของตัวอย่างน้ำในขวดบีโอดี

1.5.3) ปิดจุกขวดอย่างระวัง อย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าให้แรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะทำให้เกิดตะกอนสีน้ำตาลปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอนสีขาวแสดงว่าตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนละลาย)

1.5.4) เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 2.0 มล. โดยปล่อยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปตามข้างๆ คอขวดโดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำปิดจุก เขย่าให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนทำให้กระทั่งตะกอนละลายหมดตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนนำไปไตเตรต สารละลายนี้จะเก็บไว้ได้ 2 ชั่วโมง

1.5.5) คำนวณปริมาตรของตัวอย่างที่จะใช้ในการไตเตรต โดยการยึดถือปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง 200 มล.เป็นหลักนั่นคือ ถ้าขวดบีโอดีขนาด 300 มล. และเติมแมงกานีสซัลเฟต 1 มล. และ อัลคาไล – ไอโอไดด์ – เอไซด์ อย่างละ 1.5 มล. รวมเป็น 3 มล. ปริมาตรที่นำมาไตเตรตจะเป็น (200x300)/(300-3)=202 มล. ดังนั้นจึงต้องตวงสารละลายตัวอย่าง 202 มิลลิกรัม ใส่ขวดรูปกรวยเพื่อนำไปไตเตรต

1.5.6) การไตเตรตสายละลายตัวอย่าง ด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 มล.นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลง (สีฟางข้าว) เติมน้ำแป้ง 1 มล. จะได้สีน้ำเงิน ไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป อันเนื่องจาก 1 มล. ของโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล สมมูลย์กับออกซิเจนละลาย 0.200 มก. ดังนั้นแต่ละ 1 มล. ของโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ใช้จะสมมูลย์กับออกซิเจนที่ซึ่งละลาย 1 มก./ลิตร เมื่อปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้น 200 มล. เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตในการไตเตรต 5.0 มล. ตัวอย่างน้ำจะมีออกซิเจนละลาย 5.0 มก./ลิตร

2) วิธีวิเคราะห์ออกซิเจนละลายโดยวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด

2.1) หลักการ

ระบบเมมเบรนอิเล็กโทรดที่ใช้หาออกซิเจนละลายอาจจะเป็นแบบโพราโรกราฟิค (polalograpic) หรือแบบกัลวานิค (gavanic) จะประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 อันซึ่งทำด้วยโลหะภายในบรรจุอิเล็กโทรไลท์ (electrolyte) ซึ่งแยกจากตัวอย่างน้ำด้วยเมมเบรน ซึ่งยอมให้ออกซิเจนผ่านโดยกั้นมิให้สิ่งแปลกปลอมผ่านเข้าไปในสภาวะที่มีความสมดุลย์กระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เทียบกับความสัมพันธ์ได้กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย โดยกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับควาวามเข้มข้นของโมเลกุลออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) วิธีวิเคราะห์

2.2.1) การทำคาริบเบชั่น (Calibration) ให้ทำการทำคาริเบชั่น ตามคู่มือตามวิธีของแต่ละบริษัทผู้ผลิตโดยทั่วไปจะทำการ (Calibrate) เมมเบรนอิเล็กโทรด โดยอ่านค่าออกซิเจนในอากาศหรือตัวอย่างน้ำที่ทราบความเข้มข้นออกซิเจนละลาย

2.2.2) การวัดค่าออกซิเจนละลายของตัวอย่างให้ทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

2.4.2 พีเอช (pH)

พีเอชเป็นคุณสมบัติทางเคมีของน้ำอย่างหนึ่งที่สำคัญมาก และมีความสำคัญกับระบบต่างๆ มากมาย งานวิเคราะห์น้ำมักจะวัดพีเอชด้วยทุกครั้งเนื่องจากวัดได้ง่าย วิศวกรสิ่งแวดล้อมจะใช้

พีเอชเป็นตัวควบคุมของกระบวนการต่างๆ ทั้งน้ำดี และน้ำเสีย เช่น ระบบน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย การตกตะกอน กระบวนการโคแอกูเลชั่น การกัดกร่อน เป็นต้น พีเอชสามารถใช้หาค่าความเป็นด่าง ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ และสมดุลย์กรด – เบส อื่นๆ ได้ตลอดจนแสดงค่าความเข้มข้นของการเป็นกรดเป็นด่าง ของสารละลายได้ พีเอช หมายถึง ค่าลบของ Logarlithm ของความเข้มข้นของ H^+ ดังนั้นการวัดค่าพีเอชจึงเป็นการวัดความเข้มข้นของ H^+ ในน้ำ

น้ำบริสุทธิ์มี $H^+ = 10^{-7}$ โมล เพราะฉะนั้น pH ของน้ำบริสุทธิ์ = $-\log[10^{-7}]=7$

$$pH = -\log[H^+]$$

ในทางทฤษฎีถือว่าพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 14 น้ำบริสุทธิ์มีค่าพีเอชเท่ากับ 7 น้ำที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 7 ($[H^+]$ มีค่าน้อยกว่า 10^{-7}) ถือว่าเป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 ($[H^+]$ มีค่ามากกว่า 10^{-7}) ถือว่าเป็นกรด H^+ เกิดขึ้นจากการแตกตัวของกรดในน้ำ

น้ำผิวดินมักมีพีเอชอยู่ช่วง 6.5 – 8.5 น้ำผิวดินอาจมีพีเอชต่ำกว่า 6 เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำอยู่ในปริมาณสูง ในบ่อน้ำหรืออ่างเก็บน้ำอาจมีพีเอชสูงได้ถึง 9 หรือมากกว่านั้น ถ้ามีสาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโต และทำการสังเคราะห์แสงภายในแหล่งน้ำนั้น

การวัดพีเอชอาจทำได้ 2 วิธีคือ คือวิธีเทียบสี (Colorimetric) และวิธีไฟฟ้า (Electrometric) การวัดพีเอชโดยวิธีการเทียบสีเป็นวิธีที่ง่าย และค่าใช้จ่ายน้อย แต่วิธีที่เหมาะสำหรับน้ำสะอาด น้ำไม่มีสี และไม่มีความขุ่นหรือตกตะกอนแขวนลอย เป็นต้น ส่วนการวัดพีเอชโดยวิธีการไฟฟ้า จะได้ผลถูกต้องแน่นอนกว่า แต่อุปกรณ์การวัดจะมีราคาแพงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วิธีเทียบสี (Colorimetric Method)

การวัดพีเอชของตัวอย่างน้ำโดยวิธีการเปรียบเทียบสีเป็นการวัดพีเอชโดยการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซึ่งทราบค่าพีเอช เมื่อใส่อิดิเคเตอร์จำนวนเท่ากันในสารละลายทั้งสอง ในทางปฏิบัติที่นิยมกันอีกแบบคือ ใช้กระดาษวัดพีเอช สีที่เกิดขึ้นจะนำมาเปรียบเทียบกับแถบสีต่างๆ ที่รู้ค่าพีเอช ค่าที่วัดโดยใช้กระดาษวัดพีเอชมักไม่ถูกต้อง และไม่ละเอียดเหมือนวิธีที่ใช้ไฟฟ้า แต่สะดวกในการใช้ จึงเป็นวิธีที่ใช้ในสนาม

2.4.4 วิธีไฟฟ้า (Electrometric Method)

1) หลักการ การวัดพีเอช คือ การวัดสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวละลาย(Aqueous Solution)โดยวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น(Potential)ระหว่างตัวอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด(Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนอิออน(H+) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากอิออน(Ionic Potention)ให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า(Electronic Potention)แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัดพีเอช (Potentionmeter)

2) เครื่องมือ และอุปกรณ์

2.1) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าพีเอชของสารละลาย โดยหลักการความต่างศักย์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ อิเล็กโทรด และตัวเครื่อง

2.2) อิเล็กโทรด ซึ่งทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับค่าในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นอิเล็กโทรดรวม (Combination pH Electrode) ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวมอิเล็กโทรดอ้างอิงและอิเล็กโทรดตรวจวัดมารวมเข้าด้วยกัน อิเล็กโทรดตรวจวัดทำด้วยแก้วพิเศษที่ยอมให้ไฮโดรเจนอิออนผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะ ภายในบรรจุบัฟเฟอร์เอาไว้ อิเล็กโทรดอ้างอิงทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเกิดครบวงจรโดย KCI ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านนออกมาเป็น slat bridge เชื่อมกับอิเล็กโทรดตรวจวัด

2.3) ตัวเครื่อง (Potentiometer) ทำหน้าที่สำคัญสามประการคือ

2.3.1) ปรับความต่างศักย์ให้กับขั้วอิเล็กโทรด ให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

2.3.2) แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของอิออนของตัวอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

2.3.3) ขยายแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเพียงพอให้เข็มหรือตัวเลขแสดงค่า

2.4) บีกเกอร์ขนาด 100 มล.

2.5) Magnetic stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์) การเตรียมสารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์) สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารอินทรีย์จึงอาจเสื่อมคุณภาพเพราะการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือจากการปนเปื้อนของสารอื่น ดังนั้นจึงควรเตรียมใช้ใหม่ๆ เสมอ สำหรับน้ำกลั่นที่นำมาใช้เตรียมควรมีค่า สภาพนำไฟฟ้าที่ 25 องศาเซลเซียส น้อยกว่า 2 ไมโครโอห์ม/เซนติเมตร และมีพีเอชอยู่ในช่วง 5.6 - 6.0 สารละลายบัฟเฟอร์ควรเก็บในขวด Polyethylene

2.4.5 วิธีวัดพีเอช

1) หลังจากเปิดเครื่องวัดพีเอช ควรปล่อยให้เครื่องร้อนอย่างน้อย 15 นาที ก่อนใช้งาน

2) ปรับเทียบมาตรฐานเครื่องให้พร้อม ก่อนจะวัดพีเอชตัวอย่าง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชแน่นอน วิธีปรับเทียบโดยทั่วๆ ไป มี 2 วิธี คือ

2.1) การเปรียบเทียบมาตรฐานพีเอชแบบจุดเดียว (Single Point Standardization) คือการใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานตัวเดียวเป็นตัวเทียบ โดยการจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน ดูค่าพีเอชที่ได้ ถ้าค่าพีเอชที่ได้ไม่เท่ากับค่าพีเอชจริงของสารละลายบัฟเฟอร์ให้ใช้ปุ่ม Calibrate ปรับค่าให้ได้เท่ากัน จากนั้นเครื่องก็พร้อมจะวัดตัวอย่างต่อไป วิธีนี้มีข้อเสียคือ ถ้าตัวอย่างน้ำพีเอชมีค่าไม่ใกล้เคียงกับสารละลายบัฟเฟอร์ ค่าที่ได้จะมีโอกาสผิดพลาดมาก

2.2) การเปรียบเทียบมาตรฐานพีเอชแบบ 2 จุด (Two Point Standardization) คือการใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 2 ตัวเป็นตัวเทียบมาตรฐาน โดยการจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานตัวแรก (มีค่าพีเอชเท่ากับ 7) ใช้ปุ่ม Calibrate ในการปรับค่าให้ได้เท่ากับค่าของสารละลายบัฟเฟอร์ ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นซับด้วยกระดาษนุ่มๆ เบาๆ แล้วจุ่มลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานตัวที่ 2 (มีค่าพีเอช 4 หรือ 10) ถ้าอ่านค่าได้ไม่ตรงให้ใช้ Slope Control ปรับให้ตรง สำหรับเครื่องวัดพีเอชรุ่นใหม่ที่ควบคุมด้วย Microprocessor ก็มีหลักการเช่นเดียวกันนี้ แต่จะสะดวกสบายกว่า ให้ทำตามคู่มือการใช้จากบริษัทผลิต วิธีเทียบมาตรฐานวิธีนี้จะวัดค่าพีเอชได้ถูกต้องกว่าวิธีแรก โดยเฉพาะเมื่อวัดพีเอชของตัวอย่างน้ำที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2 จุด ที่ Standardize ไว้ ควร Calibrate อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

2.3) ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดค่าพีเอชจะต้องปล่อยให้มีค่าอุณหภูมิคงที่เสียก่อน เช่น กรณีที่ตัวอย่างน้ำแช่เย็นไว้ ต้องนำออกจากตู้เย็น ตั้งทิ้งไว้จนหายเย็นจึงจะนำไปวัดพีเอช เพราะค่าพีเอชจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

2.4) ก่อนวัดเขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี เทใส่บีกเกอร์วางบีกเกอร์บนStirrerจุ่มอิเล็กโทรดแล้วเปิดเครื่อง Stirrer ให้หมุนเบาๆ (ถ้าไม่มีเครื่อง Stirrer ให้ขยับอิเล็กโทรดเบาๆ) จนตัวเลขแสดงค่าพีเอชหยุดนิ่ง อ่านค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5) เมื่อจะวัดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น แล้วซับด้วยกระดาษหรือผ้านุ่มๆ แล้วจึงทำการวัดตัวอย่างต่อไปแต่ถ้าจะเลิกวัดหลังจากที่ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด และซับให้แห้งแล้วให้แช่อิเล็กโทรดไว้ในสารละลายที่มีอิออนมากพอควร และมีฤทธิ์เป็นกรด เช่น สารละลายบัฟเฟอร์ 4 หรือที่ดีที่สุดในน้ำยาสำหรับเก็บรักษาอิเล็กโทรด

2.4.6 ข้อเสนอแนะ และข้อควรระวัง

1) ขณะที่วัดค่าพีเอชต้องเปิดช่องอากาศของอิเล็กโทรด เพื่อให้ KCI ซึมผ่านออกมาได้ เมื่อเลิกใช้ควรปิดด้วย

2) การใช้อิเล็กโทรดควรใช้ด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะส่วนด้านปลายสุดที่มีความบอบบางมากซึ่งถ้าเสียเพียงเล็กน้อยก็ทำให้อิเล็กโทรดตัวนั้นเสียเลย

3) ในกรณีไม่ได้ใช้เครื่องพีเอชนานๆ ควรเก็บอิเล็กโทรดใส่กล่อง ซึ่งก่อนเก็บให้สวมปลายอิเล็กโทรดด้วยที่ครอบที่มีความชื้นเพียงพอ เช่น อาจจะใช้สำลีชุบน้ำบัฟเฟอร์ หรือ น้ำยาเก็บรักษาอิเล็กโทรดหุ้มไว้ และควรจะปิดช่องอากาศด้วย ไม่ควรแช่อิเล็กโทรดในบีกเกอร์เพราะอาจเผลอทิ้งไว้นานจนน้ำในบีกเกอร์แห้งหมด ซึ่งจะทำให้อิเล็กโทรดเสีย

4) สารละลายบัฟเฟอร์อาจเสื่อมคุณภาพได้ เพราะการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือเกิดจากที่การปนเปื้อนของสารอื่น จึงควรเตรียมใช้ใหม่

2.5 ลักษณะสมบัติ และมาตราฐานของน้ำ

"น้ำ" เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ แต่น้ำที่มนุษย์สามารถนำไปใช้ในการอุปโภค และบริโภคได้ ควรมีความสะอาด และบริสุทธิ์อย่างเพียงพอ ข้อนี้ทำให้การหาแหล่งน้ำธรรมชาติที่เหมาะสม มิใช่เรื่องง่าย ทั้งนี้เพราะน้ำในน้ำธรรมชาติย่อมมีสิ่งต่างๆละลายหรือปะปนอยู่มากมา ทั้งที่สามารถมองเห็น และมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า สิ่งปะปนเหล่านี้อาจมีคุณประโยชน์ หรือในทางตรงกันข้าม อาจให้โทษต่อผู้บริโภคก็ได้ ด้วยเหตุนี้การทำความสะอาดน้ำก่อนใช้จึงมักเป็นเรื่องหลีกเลี่ยงไม่ได้ ความจำเป็นในการทำความสะอาดน้ำมักแตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้น้ำ และลักษณะสมบัติของน้ำดิบ น้ำดิบที่มีความสกปรกมากย่อมต้องทำความสะอาดมากกว่าน้ำดิบที่สกปรกน้อย วัตถุประสงค์ของการใช้น้ำอาจจำแนกออกได้เป็น2 ประเภทใหญ่ๆ คือการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน (Domestic Uses) และการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Industrial Uses) โดยปกติ กิจการอุตสาหกรรมมักต้องการใช้น้ำที่สะอาดยิ่งกว่าน้ำที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ลักษณะสมบัติของน้ำดิบตามธรรมชาติ

มลทินหรือสิ่งเจือปนในน้ำ มีมากมายหลายชนิด และอาจเป็นสารใดๆ ก็ได้ แต่สิ่งหนึ่งที่เป็นลักษณะร่วมกันของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปาคือ สิ่งเจือปนมักมีความเข้มข้นต่ำมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของมลทินในสารประกอบอื่นๆ ยกตัวอย่าง เช่น น้ำดิบมักมีสารละลายน้ำ (TDS) ไม่เกิน 500 มก./ล. หรือ 0.05% ในทางตรงกันข้าม สารประกอบโซดาไฟซึ่งใช้ในห้องปฏิบัติการ และถือว่ามีความบริสุทธิ์ยังมีมลทินอยู่ถึง 1% อย่างไรก็ตามในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ความเข้มข้นที่ถือว่าต่ำดังกล่าวมักยังต่ำไม่พอ เนื่องจากสามารถก่อปัญหาต่างๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าน้ำดิบมีเหล็กละลายอยู่สูง 0.3 มก./ล. (หรือบางครั้งอาจต่ำกว่านี้) ปัญหาเรื่องน้ำแดงหรือท่ออุดตันจะเกิดขึ้น จึงต้องมีการกำจัดเหล็กออกจากน้ำจนเหลือในระดับที่ไม่ก่อปัญหา โรงงานผลิตยาต้องการน้ำที่สะอาด และบริสุทธิ์มากจนกระทั้งการวิเคราะห์น้ำแบบธรรมดาไม่สามารถวัดสารละลายน้ำต่างๆ ได้เลย

โดยทั่วไป สิ่งที่ต้องวิเคราะห์ในน้ำดิบ และน้ำสะอาด ทั้งนี้เพราะสิ่งเจือปนต่างๆ มักพบได้ในธรรมชาติอย่างไรก็ตามน้ำดิบจากบางแหล่งมีสารแปลกปลอมอื่นๆ เจือปน และอาจก่อปัญหาต่อการใช้น้ำได้ ยกตัวอย่าง เช่น น้ำบาดาลบางท้องที่ของภาคใต้อาจจะพบสารหนูในปริมาณที่สูงกว่า 0.05 มก./ล. ซึ่งเกินกว่าระดับที่ยอมให้มีในน้ำดื่ม ด้วยเหตุนี้ บางครั้งการวิเคราะห์น้ำตามปกติ จึงไม่สามารถบอกได้ถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม นับว่าโชคดีที่สารที่แปลกปลอมที่หายากมักสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการทำความสะอาดน้ำแบบปกติเช่นโคแอกกูเลชัน การกรอง เป็นต้น

1) ลักษณะสมบัติของน้ำบาดาล น้ำบาดาลมักจะมีความความขุ่นต่ำกว่า ปราศจากสี และสารอินทรีย์ ปริมาณสารละลาย (TDS) อาจสูงหรือต่ำก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่ว่าน้ำสัมผัสกับแหล่งเกลือแร่หรือไม่ แหล่งน้ำบาดาลบางแห่ง มีปริมาณสารละลายต่ำมาก แต่อาจสูงมากในแหล่งอื่น น้ำบาดาลมักไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ แต่อาจมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งกำเนิดออกซิเดชันใต้ดินทำให้มีการใช้ออกซิเจน และผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ เหล็กแมงกานีสพบได้ง่ายในน้ำใต้ดิน ซึ่งตัวคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาข้างบน และสัมผัสอากาศ เหล็กและแมงกานีสจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดตกผลึกสีแดงๆ เหลืองๆ หรือสีคล้ำ การตกผลึกอาจเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ถ้าพีเอชของน้ำสูงเพียงพอ ทำให้น้ำบาดาลที่ใสมากเมื่อแรกสูบขึ้นมา กลายเป็นน้ำขุ่นได้ภายใน 10 นาที กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นได้บ่อยๆ กับน้ำบาดาลในบริเวณปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการน้ำที่มีเหล็ก และแมงกานีสสูง มักมีกลิ่นคาวที่ดมสังเกตได้ไม่ยาก น้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง มักมีพีเอชต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำจากภูเขาต่างๆ อาจถือได้ว่าเป็นน้ำใต้ดินที่ซึมออกมาบนผิวดิน และไหลนองลงมาสู่ที่ต่ำ น้ำชนิดนี้มักมีเกลือแร่ต่ำมาก จึงเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ตัวอย่างของน้ำจากภูเขา ได้แก่น้ำตกต่างๆ อย่างไรก็ตาม ลักษณะสมบัติน้ำอาจเปลี่ยนแปลงได้ทุกเมื่อไหลผ่านชั้นแร่ธาตุ และละลายเอาเกลือแร่ต่างๆ ติดมากับน้ำด้วย

2) ลักษณะสมบัติของน้ำผิวดิน น้ำผิวดิน หมายถึงน้ำจากแม่น้ำลำคลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หนอง และบึง เนื่องจากน้ำผิวดินมักมีแหล่งกำเนิดมาจากใต้ดิน ดังนั้น ลักษณะสมบัติของน้ำ จึงขึ้นอยู่กับแหล่งเดิมไม่มากก็น้อย การไหลนองบนพื้นดิน ทำให้น้ำผิวดิน ได้รับความสกปรกจากสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ จึงไม่น่าประหลาดใจว่า น้ำผิวดินอาจมีความขุ่น และสารอินทรีย์ในระดับสูงมาก ปริมาณเกลือแร่ในน้ำอาจสูงหรือต่ำก็ได้ นอกจากนี้ น้ำฝนยังชะล้างสารพิษต่างๆ จากบริเวณเกษตรกรรม สารพิษเหล่านี้ได้แก่ โลหะหนัก ไนเตรต ฟอสเฟต ยาฆ่าแมลง ฯลฯ มาให้กับน้ำผิวดิน เหล็กแมงกานีสมักมีปริมาณต่ำในน้ำผิวดิน ทั้งนี้เนื่องจากมีการตกผลึกของเหล็ก และแมงกานีสเกิดขึ้นในขณะที่น้ำไหลนองบนพื้นดินเป็นตัวอย่างลักษณะสมบัติของน้ำจากแหล่งผิวดินในสถานที่บางแห่ง

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งซึ่งมีผลกระทบ ในทางลบต่อลักษณะคุณสมบัติของน้ำผิวดินคือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งปล่อยน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารพิษหลายชนิด แหล่งรับน้ำเสียหรือน้ำน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมมักเป็นน้ำผิวดิน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่น้ำผิวดินถูกทำให้แปดเปื้อนไปด้วยสารพิษต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย

อ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบ มักตั้งอยู่ในบริเวณที่ต่ำๆ ซึ่งเป็นที่สะสมน้ำผิวดินจากแหล่งต่างๆ การที่น้ำถูกขังอยู่นิ่งเป็นเวลานานๆ จึงมีปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งกายภาย เคมี และชีวเคมีเกิดขึ้นตลอดทั้งชั้นน้ำ ตะกอน แขวนลอยเกิดการตกตะกอน และจมลงสู่ก้นอ่าง สาหร่ายเซลล์เดียว หรือจุลินทรีย์สามารถเจริญพันธุ์ได้ ทำให้เหล็ก และแมงกานีสละลายกลับคืนสู่น้ำ นอกจากนี้ความลึกของอ่างเก็บน้ำทำให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำตามระดับอุณหภูมิซึ่งแตกต่างกัน และทำให้เกิดการพลิกตัว (Turnover) ของน้ำ เป็นผลให้น้ำชั้นล่างเคลื่อนที่ขึ้นข้างบนและน้ำชั้นบนจมตัวข้างล่าง สิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับอ่างเก็บน้ำาดังกล่าว เป็นปัจจัยที่กำหนดลักษณะสมบัติของน้ำในอ่างเก็บอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำชนิดนี้มักมีความความขุ่นต่ำ อาจมีสี และกลิ่นซึ่งเกิดจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์หรือสาหร่าย พีเอชมักสูง ปริมาณเกลือแร่ละลายน้ำอาจสูงหรือต่ำก็ได้ และโดยปกติ น้ำชั้นบนมักไม่มีเหล็กหรือแมงกานีส แต่อาจพบได้ในปริมาณสูงที่ก้นอ่าง การพลิกตัวของชั้นน้ำอาจทำให้เหล็กและแมงกานีสเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน การวางท่อดูดน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำไปผลิตประปา จึงต้องคำนึงถึงระดับของปากท่อดูดให้เหมาะสมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งระหว่างน้ำผิวดิน และน้ำบาดาล คือลักษณะสมบัติของน้ำผิวดินจะแปรปรวนไปตามฤดูกาลมากกว่าของน้ำใต้ดิน โดยปกติน้ำผิวดินจะมีคุณภาพต่ำในฤดูร้อนและฤดูฝน การแปรปรวนคุณภาพน้ำบาดาลก็มีเช่นกัน แต่ไม่มากเท่าของน้ำผิวดิน แหล่งน้ำบาดาลบางแห่งมีคุณภาพเลวเรื่อยๆ เนื่องจากมีการซึมของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นบาดาลหรือสาเหตุอื่นๆ ซึ่งเป็นผลจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้มาก และเร็วเกินไป

2.5.2 มาตราฐานน้ำใช้เพื่อกิจการต่างๆ

มาตราฐานน้ำดื่มของกระทรวงอุตสาหกรรมนั้น ซึ่งมีเป้าหมายของโรงงานผลิตประปาเพื่อชุมชน จะเห็นได้ว่า มาตราฐานน้ำดื่มของประเทศไทยใกล้เคียงกับขององค์การอนามัยโลก

น้ำที่ใช้เพื่อกิจการทางอุตสาหกรรม มักต้องการความบริสุทธิ์มากกว่าน้ำดื่ม ยกตัวอย่างเช่น น้ำดื่มไม่สามารถนำไปใช้เป็นน้ำเลี้ยง (Feed Water) หม้อน้ำที่มีความดันปานกลางหรือสูงของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากยังมีเกลือแร่ละลายน้ำอยู่สูงเกินไป โดยทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า น้ำประปาหรือน้ำดื่มเป็นน้ำดิบสำหรับกิจการอุตสาหกรรม เนื่องจำต้องทำความสะอาดน้ำประปาหรือน้ำดื่มเพื่อกำจัดสารละลายน้ำเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปใช้ เพื่อกิจกรรมอุตสาหกรรมได้ มาตราฐานน้ำบริสุทธิ์เพื่อกิจกรรมอุตสาหกรรม อาจแบ่งได้เป็น 4 ระดับ และอาจสรุปได้อย่างย่อๆ ดังนี้

น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ 4 (ต่ำสุด)	น้ำระดับนี้มีสารละลายแต่มีในปริมาณที่น้อยมาก (trace) อาจมีซิลิกาและคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มากกว่าปริมาณที่ยอมให้มีในหม้อไอน้ำ
น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ 3	น้ำระดับนี้มีสารละลายอินทรีย์และก๊าซในปริมาณน้อยมาก (trace)
น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ 2	น้ำระดับ 2 มีแต่สารอินทรีย์ละลายอยู่ ในปริมาณน้อยมาก (วัดด้วยเครื่อง TOD) เท่านั้น
น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ 1 (ดีที่สุด)	น้ำระดับนี้เป็นน้ำบริสุทธิ์ที่สุดทั้งทางเคมีและชีววิทยา

2.5.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำ เกิดขึ้นจากสารบางอย่าง ซึ่งเราสามารถทราบได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของมนุษย์ สารเหล่านี้สามารถกำจัดออกจากน้ำ ได้ด้วยวิธีสามัญ และมักเป็นอันตรายน้อยกว่าสารในน้ำประเภทอื่น

1) ความขุ่น ความขุ่นของน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากสารพวกที่ลอยแขวนในน้ำ เช่น ดินโคลนปนทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แพลงค์ตอน และไดอะตอม สารดังกล่าวสามารถทำให้แสงเกิดการหักเห และอาจดูดแสงเอาไว้มิให้ผ่านทะลุไป จึงทำให้มองเห็นน้ำมี

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะขุ่น เนื่องจากความขุ่นสามารถสังเกตได้ก่อนเพราะสะดุดตาได้ง่าย จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการตัดสินว่า ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือไม่ และเนื่องจากความขุ่นเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถวัดได้ง่ายวิศวกรสิ่งแวดล้อม จึงนิยมใช้ความขุ่นนี้เป็นเหมือนเครื่องวัดประสิทธิภาพของกระบวนการได้หลายประเภท เช่น กระบวนการกรองน้ำ กระบวนการตกตะกอน เป็นต้น น้ำประปาเพื่อชุมชน ไม่ควรมีความขุนเกิน 5 หน่วย เพื่อมิให้เป็นที่รังเกียจและเพื่อความปลอดภัย เนื่องจากเชื้อโรคอาจเกาะติดมากับความขุ่นได้)

2) สี สีในธรรมชาติ ส่วนใหญ่เกิดจากพืชหรือใบไม้ที่เน่าเปื่อย และมักมีสีชา อย่างไรก็ตาม สีของน้ำอาจเป็นสีที่เกิดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ การที่น้ำมีสีที่ผิดปกติทำให้น้ำไม่น่าดื่ม และไม่น่าใช้ ดังนั้นการกำจัดสีออกจากน้ำ จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานผลิตประปา น้ำดื่มไม่ควรมีสีเกินกว่า 20 หน่วย สีของน้ำอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1) สีที่แท้จริง หมายถึงสีที่ละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ซึ่งสีที่แท้เกิดจากสารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยาก เช่น ประเภทกรดฮิวมิค และฟัลวิค (Humic Acid & Fulvic Acid) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลาพืชต่างๆ กรดอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สลายตัวอีกต่อไปแล้ว การกำจัดสีแท้ออกจากน้ำจึงไม่อาจกระทำได้โดยง่าย

2.2) สีปรากฏ หมายถึงสีของน้ำที่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีกายภาพ เช่น ตกตะกอนหรือกรอง เป็นต้น การกำจัดสีปรากฏออกไปจะทำให้เห็นสีแท้ของน้ำ (ถ้ามี)

2.3) กลิ่น และรส กลิ่นและรสในน้ำเกิดเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

2.3.1) จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น สาหร่าย ไดอะตอม และโปรโตซัว

2.3.2) ก๊าซต่างๆ ที่ละลายในน้ำ เช่นก๊าซไข่เน่า

2.3.3) การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งขาดออกซิเจน

2.3.4) น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

2.3.5) ผลการเติมสารเคมีบางอย่างเช่น คลอรีน

2.3.6) สารอนินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เช่น เหล็ก

มนุษย์รับรู้กลิ่น และรสได้ด้วยการดม และการชิม แต่การบอกเป็นปริมาณตัวเลขว่ามีกลิ่นและรสมากเท่าใดนั้น ยังไม่มีวิธีมาตราฐาน ด้วยเหตุนี้ ขีดจำกัดของกลิ่น และรสในมาตราฐานน้ำดื่มหรือน้ำประปาจึงกำหนดไว้อย่างกว้างๆ ว่าต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจ เท่านั้น

3) อุณหภูมิ น้ำธรรมชาติมักมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงปกติ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ทำให้คุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ลักษณะสมบัติทางด้านการกัดกร่อนของน้ำ

น้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ และมีพีเอชเป็นกลาง มักไม่กัดกร่อนโลหะ ทั้งนี้เพราะไม่มีสารรับอิเล็กตรอนให้กับปฏิกิริยากัดกร่อนโลหะ ดังนั้น จึงไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพอีก แต่อย่างไรก็ดี น้ำประปาหรือน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค และอุปโภคมักมีออกซิเจนละลายอยู่ด้วยเสมอ การป้องกัน และควบคุมการกัดกร่อนโลหะจึงเป็นเรื่องจำเป็น วิธีที่นิยมใช้ได้แก่การสร้างตะกรันหรือฟิล์มของหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) เคลือบผิวโลหะเพื่อมิให้สัมผัสกับน้ำ ฟิล์มเคลือบผิวไม่จำเป็นต้องเป็นหินปูนเสมอไป จะเป็นของสารอื่นก็ได้ ข้อสำคัญคือต้องฟิล์มที่มีเนื้อแน่น และมีความหนาสม่ำเสมอ แต่ต้องไม่หนามากเกินไป อย่างไรก็ดีเนื่องจากน้ำในธรรมชาติมักมีสารประกอบคาร์บอเนต และแคลเซียมมากกว่าสารอื่น ฟิล์มหินปูนจึงมีบทบาทในการป้องกันโลหะจากการกัดกร่อนได่มากกว่าฟิล์มของสารอื่น น้ำที่มีอำนาจต้านทานการกัดกร่อนโลหะเพราะสามารถสร้างฟิล์มหินปูนเคลือบผิวโลหะได้ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) ควรมีหินปูนละลายอยู่ในน้ำสูงกว่าระดับอิ่มตัวพอดี ประมาณ 4-10 มก./ล.

2) ควรมีแคลเซียม และความเป็นด่าง แต่ละอย่างไม่น้อยกว่า 40 มก./ล. วัดในเทอมของหินปูน และทั้งสองอย่างควรมีปริมาณใกล้เคียงกันด้วย

3) อัตราส่วนระหว่างความเป็นด่างต่อผลบวกของคลอไรด์และซัลเฟตไม่ควรน้อยกว่า 5

4) พีเอชควรอยู่ในช่วง 6.8 – 7.3

การทำให้น้ำลักษณะสมบัติครบทั้ง 4 ข้อ มักจำเป็นต้องมีการปรับปรุงแต่งด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ในบางครั้ง เราไม่สามารถผลิตน้ำให้มีลักษณะสมบัติครบถ้วนทั้ง 4 ประการได้พร้อมกัน หากเป็นเช่นนั้น คุณสมบัติที่ควรรักษาที่ควรรักษาไว้คือ 1 2 และ3 ในข้อสุดท้ายอาจยากที่จะรักษาไว้ได้ ในทางปฏิบัติ น้ำจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.8 – 7.3 ได้ก็ต่อเมื่อน้ำดิบมีแคลเซียมและความเป็นด่างสูงมักตั้งแต่ต้น ถ้าน้ำดิบมีแคลเซียม และความเป็นด่างต่ำมาก่อน หลังจากการปรุงแต่งทางเคมีแล้ว น้ำที่ได้มักมีพีเอชสูงกว่า 8.5 อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้ฟิลม์ที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการป้องการกัดกร่อนโลหะน้อยลง ข้อควรระวังอีกประการหนึ่งคือ พีเอชในช่วง 8.0 – 8.5 เป็นระดับที่ควรหลีกเลี่ยงถ้าเป็นไปได้ เพราะน้ำที่มีพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าวมีความสามารถต่ำมาก ในการต้านทานกรดและด่าง ทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

2.5.5 ความจำเป็นในการปรับพีเอชของน้ำ

พีเอชเป็นคุณสมบัติของน้ำที่สามารถวัดได้ง่ายที่สุด แต่ที่มีบทบาท และความสำคัญอย่างต่อการทำงานของระบบต่างเช่น ระบบโคแอกกูเลชัน ดีแอเรชัน ระบบกำจัดความกระด้างด้วยวิธีตกผลึกระบบการปรุงแต่งน้ำ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือการตกผลึก ตลอดจนระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่างๆ นั้นมีค่าไม่แน่นอน และต่างแตกกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ แต่ปกติถ้าเป็นระบบหรือกระบวนการที่ต้องอาศัยจุลินทร์ทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ระบบบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีวทั่วไป มักต้องการพีเอชประมาณ 7 ส่วนในกระบวนการเคมีต่างๆ มักมีความต้องการพีเอชแตกต่างกัน

2.5.6 เคมีที่เกี่ยวกับการปรับพีเอชของน้ำ

1) ความเป็นด่าง (Alkalinity) ค่าความเป็นด่างหมายถึง ความสามารถของน้ำในการทำให้กรดเป็นกลาง และมีค่าเท่ากับปริมาณของกรดแก่ (Strong Acid) ที่ต้องใช้ในการไตเตรตน้ำ จากสภาวะเริ่มต้น จนถึงจุดสุดท้ายของกรดคาร์บอนิค (carbonic Acid End point)

อุณหภูมิของน้ำไม่มีอิทธิพลโดยตรงต่อระดับความเป็นด่าง กล่าวคือ ความเป็นด่างของน้ำจะมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าจะวัดที่อุณหภูมิใดๆ ก็ตาม แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมักมีผลกระทบ ต่อความสามารถในการละลายน้ำ ของสารประกอบคาร์บอเนต เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หินปูน ($CaCo_3$) ตกผลึกได้เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ CO_3^{-2} ลดลง ความเป็นด่างจึงลดลงด้วย ด้วยเหตุผลนี้อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อระดับความเป็นด่าง จึงขึ้นอยู่กับการตกผลึกของหินปูน ($CaCO_3$) หรือสารประกอบคาร์บอนบอเนตตัวอื่น ความเป็นด่างจะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าไม่มีการตกผลึกของหินปูน

2) ความเป็นกรด (Acidity) ความเป็นกรดเป็นพารามิเตอร์ที่มีความหมายคู่ไปกับค่าความเป็นด่าง กล่าวคือ ความเป็นกรดหมายถึงความสามารถในการทำให้ด่างเป็นกลาง ความเป็นกรดไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอเนต(CO_3^{-2}) ดังนั้น ความเป็นกรดจึงไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ไม่ว่าจะมีการตกผลึกหรือการละลายตัวของหินปูนเกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม ในทางตรงกันข้ามความเป็นกรดขึ้นอยู่กับ CO_2 ในน้ำ

ข้อสังเกตที่ควรยกกล่าวข้อหนึ่งคือ ความเป็นด่างหรือความเป็นกรดอาจมีค่าบวกหรือลบก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ แต่การวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการ สามารถวัดได้เฉพาะค่าบวกของความเป็นด่าง หรือความเป็นกรด หรือมิฉะนั้นก็ไม่สามารถวัดได้ ซึ่งมักถือว่าเท่ากับศูนย์

3) พีเอช พีเอชของน้ำมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับความเป็นด่าง และความเป็นกรด การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ 2 ตัว ย่อมกำหนดค่าของพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งเสมอ

Alk , Acid และ H^+ หมายถึงความเข้มของ ความเป็นด่าง ความเป็นกรดและไฮโดรเจนอิออนในน้ำ ตามลำดับ พารามิเตอร์ทุกตัวมีหน่วย มก./ล. หินปูน ปริมาณ H^+ ที่ระดับพีเอชต่างๆ สำหรับน้ำที่มีอุณหภูมิ 25^oC ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งสามได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากน้ำมีพีเอชปกติความเป็นด่างอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) กรดคาร์บอนิคมีความคงตัวต่ำมาก ดังนั้น ประมาณ 99% ของความเป็นกรดหรือ H_2CO_3 จึงประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ

4) หลักเกณฑ์ในการเลือกสารเคมีปรับพีเอช ข้อพิจารณาในการเลือกใช้สารเคมีเพื่อใช้ปรับพีเอชของน้ำ ต้องมีราคาถูก และหาได้ง่าย ใช้งานง่าย ต้องไม่เป็นพิษโดยง่ายต่อผู้ใช้ และต้องคำนึงถึงผลสุดท้ายของปฏิกิริยาด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในการทำให้ พีเอชของน้ำเป็นกลาง สารประกอบโซเดียมต่างๆ เช่น NaOH, Na_2CO_3 มีความเหมาะสมมากกว่าสารประกอบแคลเซียม ทั้งนี้เพราะผลสุดท้ายของปฏิกิริยาที่ใช้สารประกอบแคลเซียม มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำน้อยเช่น $CaCO_3$ $CaCO_4$ เป็นต้น ซึ่งอาจก่อปัญหาอุดตันให้กับท่อน้ำหรือปัญหาอื่นๆ

4.1) การเพิ่มระดับพีเอชด้วยสารต่างๆ การเพิ่มค่าระดับพีเอชอาจจะกระทำได้โดยการใช้ NaOH หรือ ca $(OH)_2$ หรือ $NaHCO_3$ หรือ Na_2CO_3 ในจำนวนสารดังกล่าว ปูนขาวเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกที่สุด แต่ก็เป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ทำให้มีปัญหายุ่งยากในการป้อนสารเคมีตัวนี้ ด้วยเหตุผลนี้ จึงมีข้อแนะนำว่า ถ้าต้องการที่จะใช้สารเคมีจำนวนน้อยในการเพิ่มค่าพีเอชก็ไม่ควรใช้ปูนขาว สารเคมีที่เหมาะสมกว่า คือ NaOH ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี วิศวกรอเมริกันบางคนแนะนำถ้าใช้สารเคมีน้อยกว่า 1000 ปอนด์ต่อวัน ไม่ควรใช้ปูนขาวเพราะไม่คุ้มที่จะซื้ออุปกรณ์เติมปูนขาว

ในกรณีต้องการปรับพีเอชให้เป็นกลาง (ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 7) อย่างเคร่งครัด ด่างอ่อน (Weak Base) เช่น Na_2CO_3, $CaCo_3$, $NaHCO_3$ ใช้ได้ดีกว่าด่างแก่ (Strong Base) เช่น NaOH หรือ Ca $(OH)_2$ ทั้งนี้เพราะสามารถควบคุมระดับได้ง่ายกว่า

4.1.1) การใช้ปูนขาว การที่ใช้ปูนขาวในการที่ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกลางซึ่งมีข้อควรระวังอยู่ 2 ประการ คือ เรื่องการตกผลึกของหินปูนที่อาจเกิดขึ้น และเรื่องปูนขาวที่ใช้ไม่หมด อันเนื่องจากปูนขาวละลายในน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นเมื่อเติมปูนขาวลงในน้ำที่ต้องการปรับพีเอช โอกาสที่จะมีปูนขาวแขวนลอยเป็นตะกอนอยู่ในน้ำเกิดขึ้นได้เสมอ และในขณะเดียวกันปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนตในน้ำกลายเป็นตะกอนแขวนลอยของหินปูน ด้วยเหตุนี้การใช้ปูนขาวเพื่อปรับพีเอช จึงควรมีถังตักตะกอนอยู่ด้วยเสมอ และเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการใช้ปูนขาวได้ไม่หมด มีข้อแนะนำให้หมุนเวียนเอาตะกอนจากก้นถังตะกอนกลับคืนมาใช้ที่ถังปรับพีเอชใหม่อีก

ปัญหาอีกข้อหนึ่งที่ควรกล่าวถึง คือ การจับตัวของสารประกอบปูนขาวภายในท่อน้ำหรือภายในเครื่องสูบน้ำหรือแม้กระทั่งภายในถังต่างๆ ดังนั้น การออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับปูนขาว จึงต้องคำนึงถึงเรื่องการทำความสะอาด เพื่อกำจัดตะกรันหินปูนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2) การใช้หินปูน (Limestone หรือ $CaCO_3$) หินปูน หรือ $CaCO_3$ เป็นสารที่เพิ่มพีเอชให้กับน้ำได้เป็นอย่างดีถ้าผลปฏิกิริยาที่ได้เป็นสารละลายน้ำแต่ถ้าผลปฏิกิริยาเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ (เช่น $CaCO_4$) หรือละลายได้น้อย หินปูนก็อาจถูกเคลือบด้วยสารที่ไม่ละลายน้ำเหล่านั้น ทำให้ไม่สามารถเพิ่มพีเอชได้อีก ภาพที่ 7.10 เป็นการใช้หินปูนในการปรับพีเอชให้กับน้ำจะสังเกตเห็นได้ว่า หินปูนที่ถูกเรียงหรือจัดให้เป็นชั้น และให้น้ำไหลผ่านชั้นหินปูนในอัตราการไหลสูงสุด คือ 40 ลิตร/นาที/ตร.เมตร ของชั้นหินปูน การใช้ตัวเลขสูงกว่าที่กล่าว อาจทำให้เวลาสัมผัสไม่เพียงพอ ถ้าหินปูนมีความบริสุทธิ์ต่ำเช่นเป็น Dolomitic Limestone ซึ่งมีแมกนีเซียมปนอยู่มาก อาจต้องจำกัดอัตราการน้ำไหลผ่านชั้นหินปูนมิให้สูงกว่า 40 ลิตร/นาที-ตร.ม. อย่างไรก็ดีถ้าให้น้ำไหลย้อนจากข้างลางขึ้นข้างบนผ่านชั้นหินปูน อัตราการไหลผ่านชั้นหินปูนก็อาจจะสูงกว่าตัวเลขดังกล่าวได้ ทั้งนี้เพราะ ผลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะถูกพาออกไปจากชั้นหินปูนก่อนที่จะมีการตกผลึกเกิดขึ้น Eckenfelder แนะนำว่าน้ำที่ต้องการปรับพีเอชไม่ควรมีกรดมากกว่า 0.6% (คิดในเทอมของ H_2SO_4) ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้มีการเคลือบชั้นหินปูนโดย $CaCO_4$ และเพื่อมิให้มีปริมาณ CO_2 ผุดมามากเกินไป

4.2) การลดพีเอชด้วยกรด หลักเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการเพิ่มพีเอชด้วยด่างนั้น สามารถนำมาใช้กับการลดพีเอชด้วยกรดได้เช่นเดียวกันกรดที่นำมาใช้ได้แก่ H_2CO_4 ทำให้เกิด $CaCO_4$ ซึ่งละลายน้ำได้จำกัด

ถ้าใช้กรดกำมะถันในการลดพีเอชให้กับน้ำที่มี NaOH จะต้องระลึกไว้ว่าผลปฏิกิริยาที่ได้คือ Na_2SO_4 ซึ่งอาจก่อปัญหาในเรื่องการเกิดผลึกได้ทั้งๆที่ Na_2SO_4 ละลายน้ำได้ดีมาก ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาเป็นกลางเกิดขึ้น จะได้ความร้อนจำนวนมากเกิดขึ้น เป็นผลให้ Na_2SO_4 ละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น ปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อมี Na_2SO_4 ละลายน้ำอยู่มากจะเกิดการอิ่มตัว เมื่อน้ำไหลไปตามท่อและมีอุณหภูมิลดลง ความสามารถในการละลายน้ำของโซเดียมซัลเฟตจะลดลงด้วย ทำให้มีการตกผลึกรูปเข็มเกิดขึ้นภายในเส้นท่อ

Flue gas หรือก๊าซจากเตาเผาต่างๆ ซึ่งเป็นก๊าซเสีย ก็อาจใช้เป็นตัวลดพีเอชของน้ำได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะก๊าซดังกล่าวอาจมี CO_2 มากถึง 14% การใช้ก๊าซเหล่านี้ได้แก่การเป่าก๊าซให้มีเวลาสัมผัสนานพอเพียง CO_2 จะละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิคซึ่งเป็นกรดอ่อน ปฏิกิริยาทำให้เป็นกลางด้วยก๊าซเสียเกิดขึ้นค่อนข้างช้า แต่ก็สามารถทำให้น้ำเป็นกลางได้ ถ้าไม่ใช่วิธีเป่าก๊าซให้กับน้ำก็อาจปล่อยให้น้ำไหลลงมาจาก Spray Tower และ เป่าก๊าซที่มี CO_2 ให้พุ่งย้อนขึ้นไปสวนทางกับน้ำที่ไหลลงมาก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ระบบปรับพีเอชให้กับน้ำ การทำให้น้ำกลายเป็นกลางอาจเป็นแบบทีละเท (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง Eckenfelder แนะนำให้ใช้ระบบแบบทีละเทเมื่อมีอัตราไหลที่ต่ำกว่า 380 ลบ.ม./วัน และใช้ระบบต่อเนื่องสำหรับอัตราไหลของน้ำที่สูงกว่า 380 ลบ.ม./วัน แสดงถึงระบบปรับพีเอชของน้ำด้วยระบบทีละเท

ระบบต่อเนื่องควรมีเครื่องควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติ การกวนน้ำอาจทำได้ด้วยการเป่าอากาศหรือใช้เครื่องกวนก็ได้ถ้าเป็นการเป่าอากาศจะต้องใช้อากาศไม่น้อยกว่า 0.3-0.9 ลบ.ม./นาที ต่อตร.ม. ที่ระดับน้ำลึก แต่ถ้าใช้เครื่องกวนจะต้องการกำลังไม่น้อยกวา 0.04-0.08 กิโลวัตต์/$ม^3$.

การควบคุมพีเอชของน้ำด้วยระบบอัตโนมัติ เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ถ้าพีเอชของน้ำแปรปรวนมาก ทั้งนี้เพราะ

5.1) ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และความเข้มข้นของกรดหรือด่าง (หรืออัตราการเติมด่างหรือกรด) ไม่ได้เป็นเส้นตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพีเอชเข้าใกล้ 7 เป็นตัวอย่างของ Titration Curve ของการปรับพีเอชด้วยปูนขาว

5.2) พีเอชของน้ำอาจเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วมาก เช่น หนึ่งหน่วยภายใน 1 นาที

5.3) อัตราการไหลของน้ำก็อาจเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วเช่นกัน

5.4) ต้องมีการผสมสารละลายด่างหรือกรดจำนวนเล็กน้อย เข้ากับน้ำปริมาณมากภายในระยะเวลาอันสั้น

2.6 จอแสดงผลแบบผลึกเหลว

จอแสดงผลแบบผลึกเหลว (Liquid Cystal Display) ซึ่งเราจะใช้สำหรับวงจรแสดงผลระดับตัวเลขในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ในยุคปัจจุบัน ซึ่งอยู่ในภาคแสดงผล (Display) ของเครื่องคิดเลข นาฬิกา หน้าปัทม์เครื่องรับวิทยุ – โทรทัศน์ เครื่องวัด และทดสอบระบบดิจิตอล วงจรแสดงทางดิจิตอล ฯลฯ

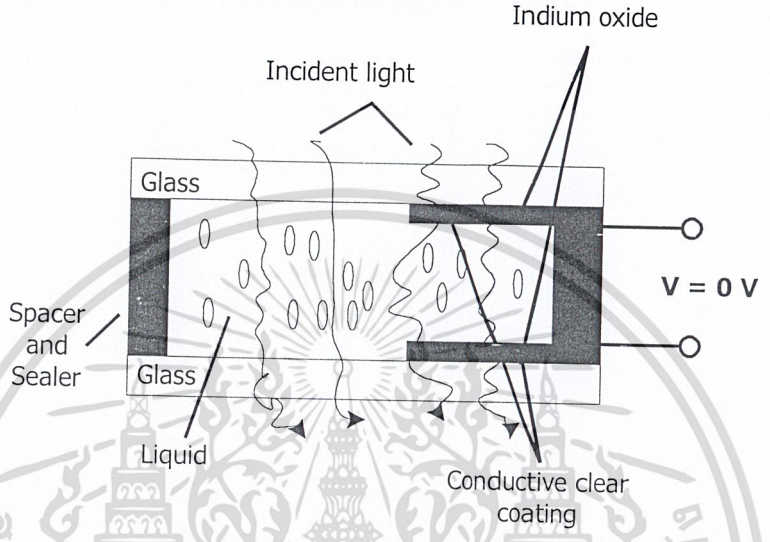
2.6.1 คุณสมบัติทั่วไป

ผลึกเหลว (Liquid Crystal) อันเป็นตัวหลักของการแสดงผลแบบผลึกเหลวนี้ เป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งมีสภาพการไหลเหมือนอย่างของเหลว แต่การรวมตัวของโมเลกุลของมันจะรวมตัวกันแบบโมเลกุลของแข็ง ซึ่งการรวมตัวแบบนี้เรียกว่าการรวมตัวแบบ นีแมติคลิควิดคริสตอล (Nematic Liquid Crystal) ดังแสดงโครงสร้าง และโมเลกุลที่อยู่ภายในจะเป็นโมเลกุลตามที่ปรากฏในรูปที่ 2.11 และ 2.12

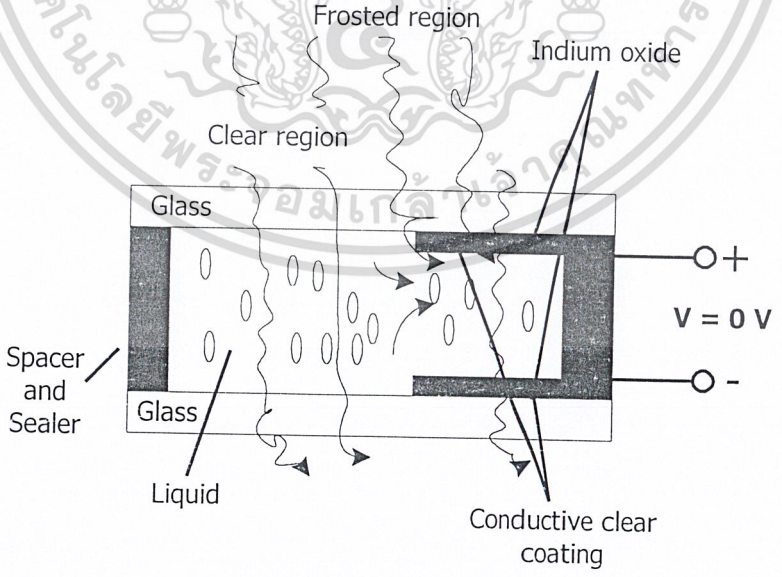
เมื่อเราจ่ายไบอัสเข้า (โดยทั่วไปจอแสดงผลแบบผลึกเหลวที่มีจำหน่ายในปัจจุบันจะให้แรงเคลื่อนไบอัสอยู่ในระดับ 6 หรือ 20 โวลต์สำหรับจอแสดงผลแบบผลึกเหลวขนาดใหญ่) จะทำให้

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดความต่างศักย์ขึ้นภายใน ลักษณะนี้เองที่ทำให้โมเลกุลภายในของผลึกเกิดการสะท้อนแสงผ่านหลอดแก้วคาร์คไลท์ออกมา สำหรับอายุการใช้งานของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 10,000 ชั่วโมง



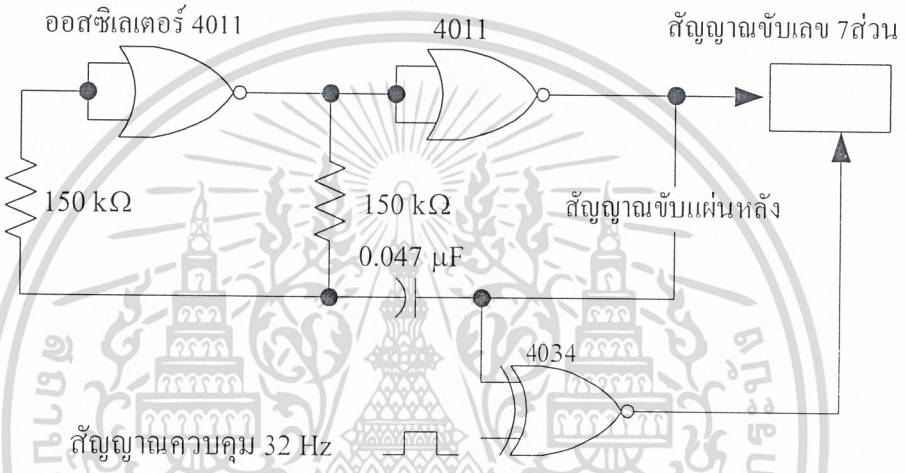
รูปที่ 2.11 แมติคลิควิดคริสตอลขณะที่ยังไม่มีการไบอัส



รูปที่ 2.12 แมติคลิควิดคริสตอล เมื่อจ่ายไบอัสเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอแสดงผลแบบผลึกเหลวที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดไดนามิคสแกทเตอร์ริ่ง (Dynamic Scattering) กับชนิดฟิลด์เอฟเฟ็ค (Field – effect) จอแสดงผลแบบผลึกเหลวชนิดหลังนิยมใช้มากกว่าชนิดแรกเพราะกินกระแสเพียง 20% ของชนิดแรก และยังสามารถให้แสงได้ชัดแม้ในขณะที่แสงสว่างภายนอกจะมาก นอกจากนี้แล้วจอแสดงผลแบบผลึกเหลวชนิดเอฟเฟ็คยังแยกละเอียดออกไปอีกเป็นชนิดสะท้อนแสง, ชนิดให้แสงสว่างผ่านได้ และชนิดสเฟล็คติฟ



รูปที่ 2.13 การให้ไบอัสจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

การป้อนไบอัสให้แก่จอแสดงผลแบบผลึกเหลวต้องเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่พอเหมาะ และมีขนาดแรงเคลื่อนถูกต้อง แต่ไม่จำเป็นจะต้องเป็นรูปไซน์เสมอไป สัญญาณกระแสสลับนี้จะต้องมีค่าเฉลี่ยเป็น “0” หรือค่าดิวตี้ไซเกิล 50% ถ้าไม่เป็น “0” จริง จะทำให้อายุการใช้งานของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวสั้นลง ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปเราใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ผลิตความถี่ และป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังแผ่นแก้วที่เราเรียกว่าแบล็คเพลน และอีกส่วนหนึ่งก็จะเป็นส่วนของภาคแสดงผล

ปัจจุบันจอแสดงผลแบบผลึกเหลวได้ถูกนำมาใช้ในการแสดงผลมากขึ้น เนื่องจากราคาถูกลง และใช้งานได้ง่ายซึ่งเราอาจจะพบเห็นได้ทั่วไปในรูปของ นาฬิกา เครื่องคิดเลข เกมส์กด จนถึงเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ข้อดีของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

1) บางเบาพกพาได้สะดวก

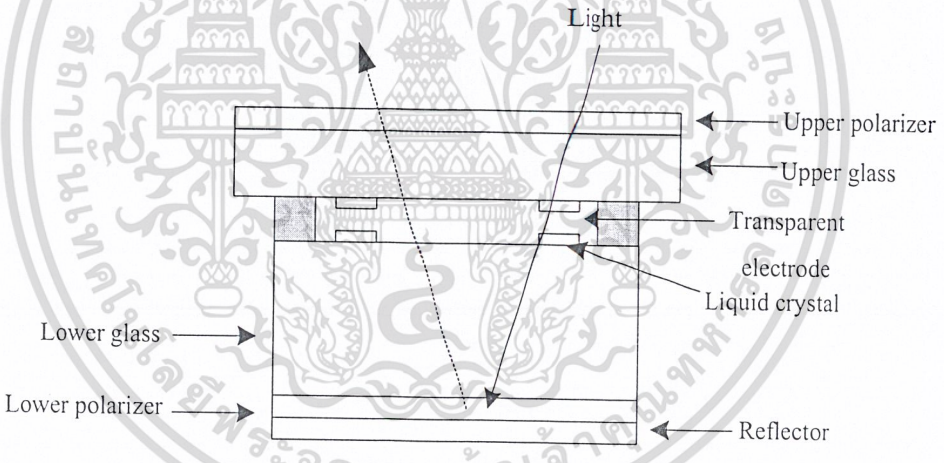
2) ใช้พลังงานน้อย เช่น อาจจะให้แรงดันต่ำขนาด 2 หรือ 3 โวลต์ และกระแสเพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้แล้ว

3) ราคาถูก

4) ใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างได้

2.6.3 โครงสร้างของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

ประกอบด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกัน โดยเว้นช่องตรงกลางไว้ 6 ถึง 10 ไมโครเมตรผิวด้านในของแผ่นแก้วเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าชนิดใสที่ไว้แสดงตัวอักษรระหว่างตัวนำไฟฟ้าชนิดใสกับผลึกเหลว จะมีชั้นสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางของแสงที่สองมา เรียกว่า (Alignment Layer) และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบนีเมติก (Nematic)



รูปที่ 2.14 โครงสร้างจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

2.6.4 แบบต่างๆ ของจอแสดงผล

จอแสดงผลแบบผลึกเหลวสามารถแสดงผลให้เราเห็นได้โดยมีหลักการ 3 แบบคือ

1) แบบสะท้อน (Reflective Mode) แบบนี้จะมีสารประเภทโลหะเคลือบอยู่ตรงแผ่นหลังของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบนี้จะเหมาะสำหรับที่มีแสงสว่างเพียงพอ

2) แบบส่งผ่าน (Transmissive Mode) แบบนี้จะวางหลอดไฟไว้ด้านหลังทำให้การอ่านค่าแสดงผลได้ชัดเจน

3) แบบส่งผ่าน/สะท้อน (Transflective Mode) เป็นการรวมตัวกันระหว่าง 2 แบบที่ผ่านเข้ามาด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบดอตเมตริกซ์

ในแต่ละแบบจะมีส่วนประกอบใหญ่ๆ แบ่งได้เป็น

1) ดอตเมตริกซ์ เป็นตัวแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการปิดและการเปิดตัวเองกับนั่นเองคือ ส่วนที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2) ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณมาจากส่วนควบคุมเพื่อมาขับผลึกจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

3) ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับสัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาและ จัดการควบคุม จอแสดงผลแบบผลึกเหลวโมดูล ให้ทำงานแสดงผลต่างๆ เช่น การลบจอภาพ การเกิดตัวอักษร การเลื่อนข้อมูลบนจอแสดงผลแบบผลึกเหลว เป็นต้น โดยมีเบอร์ไอซีที่นิยมใช้กันคือ HD44780 ซึ่งจะใช้ในแบบคุณสมบัติ คือ จอแสดงผลแบบผลึกเหลวที่แสดงข้อมูลในรูปตัวอักษร ส่วนเบอร์ HD61830 ซึ่งจะใช้ในแบบกราฟฟิกก็ คือ จอแสดงผลแบบผลึกเหลวที่แสดงข้อมูลในลักษณะรูปภาพหรือตัวอักษรก็ได้

2.7 การใช้งานแอลซีดีโมดูล

การใช้งานแอลซีดีสำหรับการแสดงผลในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เป็นที่นิยม เนื่องจากความเหมาะสมหลายๆ ด้าน เช่น การใช้กระแสต่ำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิค แต่จะมีปัญหาในด้านวงจร คือ มีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ในปัจจุบันทางบริษัทผู้ผลิตแอลซีดีได้มีการผลิตแอลซีดีออกมาเป็นแบบโมดูลกล่าว คือ มีทั้งตัวแอลซีดีและส่วนควบคุมมาให้ครบเรียกว่าแอลซีดีโมดูล ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายมากขึ้น

2.7.1 ชนิดของแอลซีดีโมดูล

แอลซีดีโมดูล มีอยู่หลายชนิด หลายรุ่น และมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1) แบบ Dot Matrix จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5×8 จุดและมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันในแต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ขาสัญญาณของแอลซีดีโมดูล

PIN	SYMBOL	LEVEL	FUNCTION
1	Vss	-	0 V GND
2	V_{EE}	-	+5 V Power Supply
3	Vcc	-	+V for Liquid Crystal Drive
4	RS	H/L	Register Select H: Data Input L: Instruction Input
5	R/W	H/L	H: Data read L: Data Write
6	E	H	Enable Signal (L->H)
7	DB0	H/L	Data Bus Bit 1
8	DB1	H/L	Data Bus Bit 2
9	DB2	HH/L	Data Bus Bit 3
10	DB3	H/L	Data Bus Bit 4
11	DB4	H/L	Data Bus Bit 5
12	DB5	H/L	Data Bus Bit 6
13	DB6	H/L	Data Bus Bit 6
14	DB7	H/L	Data Bus Bit 7

ก่อนใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้แบบ Dot Matrix มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และเพียงพอต่อการใช้งานส่วนใหญ่ คุณสมบัติของแอลซีดีโมดูล แบบ Dot Matrix สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1.1) มีให้เลือกหลายรุ่นตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะมีจำนวนตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันออกไป

1.2) ตัวอักษรแสดงด้วย Dot Matrix ขนาด 5×8 จุด

1.3) สามารถต่อเข้ากับระบบการใช้งานได้ 2 แบบ คือ แบบ Memory Map และแบบผ่านพอร์ต 8255 ซึ่งจะใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 14 Pin

1.4) การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบเพียงแต่ส่งข้อมูลให้กับแอลซีดีโมดูลเท่านั้นข้อความก็จะปรากฏบนแผงแสดงผล และจะค้างไว้ตลอดทำให้ไม่ต้องเสียเวลาของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5) มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น Clear, Display, Home, Cursor On Off, Bland Character และอื่นๆ อีก

1.6) สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษร ภาษาอังกฤษ และตัวเลข ได้ 160 ตัว และ สัญลักษณ์พิเศษได้อีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดตัวอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว

1.7) กินกระแสน้อย และมีน้ำหนักเบา ทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงเพียง 5 โวลต์ เท่านั้น

2) แบบ Graphic จะแสดงผลในแบบ Bit Map คือ จะสร้างเป็นภาพใดๆ ก็ได้ตามต้องการ

2.7.2 การต่อแอลซีดีโมดูล เข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

แอลซีดีโมดูล จะต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ 2 แบบ คือ แบบ Memory Map และแบบผ่านพอร์ต 8255 ซึ่งทั้งสองแบบนี้มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน โดยแต่ละแบบมีหลักการดังนี้

1) การต่อแบบ Memory Map

1.1) สามารถต่อเข้ากับ Chip เบอร์ทั่วไปได้ เช่น 8051, 8052 หรือ Z80 โดยจะทำให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มองเห็นแอลซีดีโมดูล ในลักษณะของ Memory ได้ทันที

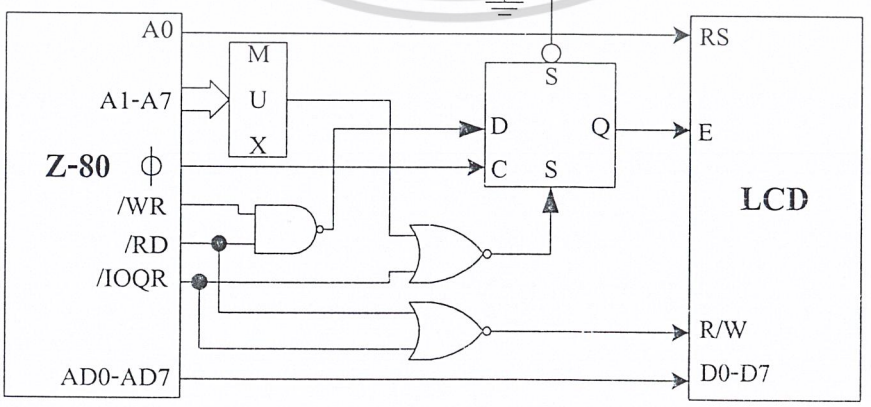
1.2) ผู้ใช้สามารถเขียน และอ่านข้อมูลได้จาก แอลซีดีโมดูลทำให้มองเสมือนว่าเป็น Memory Buffer ไปในตัว

1.3) เนื่องจากสามารถอ่านข้อมูลกลับได้ จึงทำให้สามารถตรวจสอบ Flag ความพร้อมในขณะที่ แอล ซี ดี โมดูล กำลังทำงานได้

1.4) ใช้ได้กับบอร์ดที่มี แอลซีดีบัส มาให้พร้อมเท่านั้น

1.5) ทำให้กินพื้นที่หน่วยความจำไปส่วนหนึ่ง และต้องมีการถอดรหัสที่ละเอียด

1.6) การจัดขาสัญญาณจะต้องเป็นไปตามแบบของ Chip



รูปที่ 2.15 การต่อแบบ Memory Map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การต่อแบบผ่านพอร์ตของ 8255 หรือการต่อแบบ J/O Port

2.1) สามารถต่อเข้ากับพอร์ตอินพุต หรือเอาต์พุตใดๆ ก็ได้ เคยใช้สัญญาณจำนวน 11 เส้น และใช้โปรแกรมเป็นตัวสร้างสัญญาณขึ้นมา ให้ตรงกับค่าของแอลซีดีโมดูล

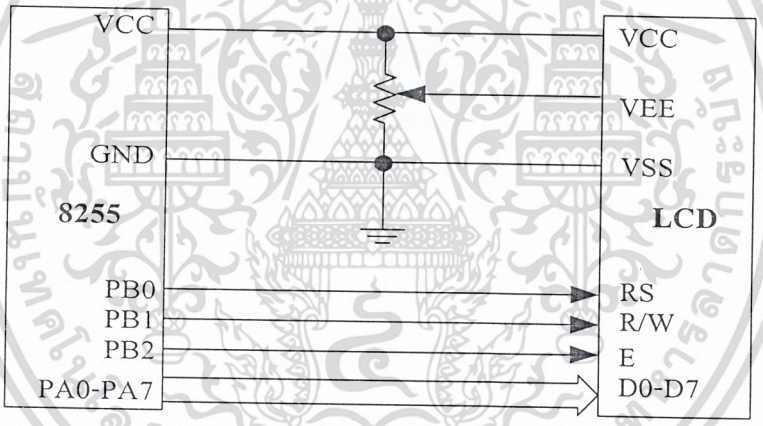
2.2) ผู้ใช้จะเขียนข้อมูลให้ แอลซีดีโมดูลได้อย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้ควรจะกำหนด Memory ส่วนหนึ่งให้เสมือน Buffer ให้กับแอลซีดีโมดูล

2.3) เนื่องจากไม่สามารถอ่านข้อมาลกลับได้ จึงต้องใช้การหน่วงเวลาของระบบเอง เพื่อรอให้แอลซีดีโมดูล กระทำขบวนการต่าง ๆ

2.4) ใช้ได้กับบอร์ดทั่วๆ ไปที่มีพอร์ต

2.5) ไม่เปลืองส่วนของ Memory ในการใช้งาน

2.6) การจัดขาสัญญาณกระทำได้อย่างอิสระ



รูปที่ 2.16 การต่อแบบผ่านพอร์ตของ 8255

2.7.3 ชุดคำสั่งควบคุม และการแสดงข้อความ

ขาสัญญาณ V_{EE} มีไว้สำหรับกำหนดความเข้มของตัวอักษร โดยถ้าต่อกับกราวด์จะมีความเข้มสูงสุด แต่ถ้าต่อกับ V_{CC} จะมีความเข้มต่ำสุด ปกติแอลซีดีรุ่นธรรมดาอาจต่อกับกราวด์ ไว้เลยก็ได้ไม่ต้องใน VR ให้สิ้นเปลือง แต่ถ้าเป็นรุ่น STN (มุมมองกว้าง) ให้ใช้ความต้านทานค่า 2 kΩ ต่อ ลงกราวด์อีกทีเพื่อให้มีความเข้มที่เหมาะสม การเขียนหรืออ่านข้อมูลกับ แอลซีดีโมดูล ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ในการใช้งานของแอลซีดีตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมไปถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงแสดงผลด้วย โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดของชุดคำสั่งควบคุม

INSTRUCTION	RS	R/W	DATA BIT								EXE. TIME
			7	6	5	4	3	2	1	0	
CLEAR DISPLAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1640
CURSOR AT HOME	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1640
ENTRY MODE SET	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40
DISPLAY ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40
INSTRUCTION	RS	R/W	DATA BIT								EXE. TIME
			7	6	5	4	3	2	1	0	
DISPLAY SHIFT	0	0	0	0	0	1	S/	R/	*	*	40
FUNCTION SET	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	40
SET CGRAM ADD.	0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						40
SET DGRAM ADD.	0	0	1	DDRAM ADDRESS							40
BUSY, ADD READ	0	1	BF	ADDRESS							00
CGRAM,DDRAM WR	0	0	WRITE DATA								40
CGRAM,DDRAM RD	0	1	READ DATA								40

2.7.4 หลักการพื้นฐานของแอลซีดีโมดูล

1) การเขียนข้อมูลให้กับแอลซีดีโมดูล จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ Instruction และ Data โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า RS = 0 จะหมาถึงส่งสัญญาณควบคุม (Instruction) หรืออ่านค่า Flag สภาพการทำงานของแอลซีดีโมดูล และถ้า RS มีค่าเท่ากับหนึ่ง จะหมายถึงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับแอลซีดีโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หลักในการเขียนข้อมูลต่างๆ ให้กับแอลซีดีโมดูล คือ เมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้วตัวแอลซีดีโมดูล จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบได้จาก Busy Flag (BF) และถ้าเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถเขียนข้อมูลลำดับต่อไปได้ ในกรณีที่ต่อวงจรแบบ I/O Port คือ ไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จำต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน

3) การเขียนข้อมูลให้กับแอลซีดีโมดูล นี้สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 4 บิต โดยแบบ 4 บิต จะใช้สายสัญญาณ DATA เพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือน 8 บิต แต่ต้องเขียน 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อนแล้วตามด้วย DB0-DB3 และกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง FUNCTION ด้วย

4) DDRAM (Display Data RAM) คือหน่วยความจำภายในตัวแอลซีดีโมดูล ที่เป็น Buffer ของข้อมูลโดยถ้าเขียนรหัส ASCII ใดๆ ลงในหน่วยความจำนี้จะปรากฏที่แผงแสดงผลทันที

5) CGRAM (Character Generator RAM) คือหน่วยความจำภายในตัวแอลซีดีโมดูล สำหรับเก็บภาพอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง โดยจะอ้าง ตำแหน่งได้ทั้งหมด 64 Byte คือ 8 ตัวอักษร และ 8 แถว

2.7.5 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

1) Clear Display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการ Clear Display จะทำการเขียนตัวอักษร Space ลงไปใน DDRAM ทั้งหมด และกำหนดค่า DDRAM Address ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง Cursor จะเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

2) Cursor at Home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับกำหนดค่า DDRAM Address ให้เป็น 0 พร้อมทั้ง Cursor จะเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยข้อมูลใน DDRAM ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Entry Mode Set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

I/D = 0 กำหนดทิศทางของ Cursor และ DDRAM ให้เป็นแบบ Decrement I/D = 1 กำหนดทิศทางของ Cursor และ DDRAM ให้เป็นแบบ Increment

S = 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว Cursor จะถูกเลื่อนไปในทิศทางของค่า I/D

S = 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้ว ตัว Cursor จะอยู่กับที่ และตัวอักษรจะไปในทิศทางของค่า I/D

4) Display On/Off

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

D = 0 กำหนดให้ Off Display

D = 1 กำหนดให้ On Display

C = 0 กำหนดให้ Off Cursor

C = 1 กำหนดให้ On Cursor โดย Cursor จะเป็นเส้นขีดใต้ตัวอักษร

B = 0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่ง Cursor

B = 1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่ง Cursor (เป็นรูปสี่เหลี่ยม)

5) Display Shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

S/C = 0 กำหนดให้ให้เลื่อน Cursor ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 Columm

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L = 1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) Function Set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL = 0 กำหนดให้การติดต่อกับแอลซีดีโมดูล เป็นแบบ 4 บิท

DL = 1 กำหนดให้การติดต่อกับแอลซีดีโมดูล เป็นแบบ 8 บิท

N = 0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 Duty และ 1/11 Duty

N = 1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 Duty

F = 0 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5×7 จุด

F = 1 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5×10 จุด

7) Set CGRAM Address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	CGRAM Address					

สำหรับการกำหนด Address ของ CGRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน DATA ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม Address ที่กำหนดทันที

8) Set DDRAM Address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM Address						

การกำหนด Address ของ DDRAM เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและเขียน Data ที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตาม Address ที่กำหนดทันที

9) Busy Flag and Address Read

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการอ่านค่า Busy Flag ซึ่งบอกถึงความพร้อมของ LCD Module ในการรับข้อมูล ถ้า BF = 0 หมายความว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ ถ้า BF = 1 หมายความว่ายังไม่พร้อมนอกจากนี้ยังเป็นการอ่านค่า Address ของ CGRAM หรือ DDRAM ด้วย

10) Write Data To CGRAM Or DDRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	DATA							

การเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำ CGRAM หรือ DDRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว Address จะถูกเพิ่มหรือลงโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง Entry Mode Set และการเขียนจะเป็น CGRAM หรือ DDRAM ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด Address ที่ใด

11) Read Data From CGRAM Or DDRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	DATA							

การอ่านข้อมูลลงบนหน่วยความจำ CGRAM หรือ DDRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว Address จะถูกเพิ่มหรือลงโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง Entry Mode Setและการอ่านจะเป็น CGRAM หรือ DDRAM ก็ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนด Address ที่ใด

ตารางที่ 2.8 ตำแหน่งของ Address แอลซีดีขนาด 4 แถวที่ใช้งานจริง

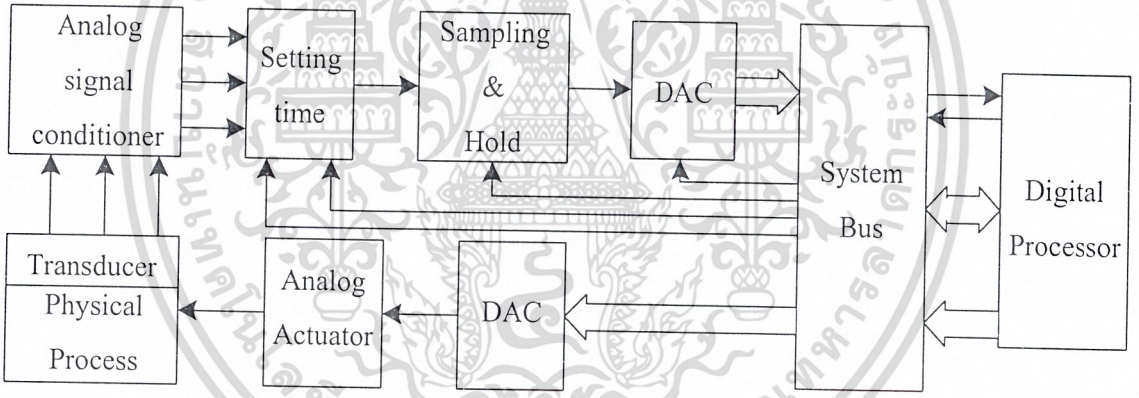
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F	90	91	92	93
C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF	D0	D1	D2	D3
94	95	96	97	98	99	9A	9B	9C	9D	9E	9F	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
D4	D5	D6	D7	D8	D9	DA	DB	DC	DD	DE	DF	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ (Data Acquistion and Conversion)

ในอดีตรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าโดยมากจะอยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอก การนำเอาสัญญาณไฟฟ้ามาประมวลผลเพื่อให้ได้รูปแบบที่ต้องการโดยใช้อุปกรณ์ทางแอนะลอก แต่ปัจจุบันนี้สามารถใช้อุปกรณ์ดิจิตอลได้

ดังนั้นการแปลงรูปแบบสัญญาณ จึงมีความจำเป็นในการแปลงสัญญาณจากแอนะลอกที่มีอยู่แล้วให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณเป็นดิจิตอลและจะถูกประมวลผลโดยตัวประมวลสัญญาณดิจิตอล เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่อาจถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลย หรืออาจถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอกที่ใช้งานได้ การที่จะแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกได้นั้น สามารถทำโดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกสำหรับระบบที่มีการประมวลผลสัญญาณข้อมูลทางดิจิตอลแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอล

จากรูปที่ 2.17 การเปลี่ยนทางกายภาพในลักษณะใดๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็ว จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะลอก โดยทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีการสุ่มมีรูปแบบเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพนั้นๆ จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมก่อน โดยวงจรต่างๆ เช่น วงจรขยาย หรือวงจรกรองสัญญาณ วงจรแซมปลิ้งแอนด์โฮลด์จะสุ่มขนาดของสัญญาณแอนะลอกมา แล้วจะทำการโฮลด์สัญญาณนั้นไว้ชั่วขณะโดยไม่จำเป็นต้องใช้วงจร ADC แล้วข้อมูลทางดิจิตอลจะถูกส่งต่อไปยังบัสของระบบจากนั้นตัวโปรเซสเซอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลกลับมาเพื่อควบคุมกิจการทางกายภาพของระบบโดยผ่านตัวกระทำทางกล (Analog Actuator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การติดต่อระหว่างมนุษย์ส่วนมากจะใช้สัญญาณต่อเนื่อง (Analog) คือ เป็นสัญญาณที่ติดต่อกันแต่ว่าการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณเป็นช่วงดิจิตอลเป็นสัญญาณในการทำงานซึ่งถ้าเราต้องการที่จะให้คอมพิวเตอร์ช่วยเราทำงานแล้ว เราจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกที่เราใช้อยู่ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อให้คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องประมวลผลสัญญาณดิจิตอลรับรู้ได้ เมื่อประมวลสัญญาณเสร็จก็จะส่งข้อมูลที่ออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากที่เราจะเข้าใจข้อมูลนั้น ดังนั้นเราจึงเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะลอก เพื่อให้มนุษย์เข้าใจในข้อมูลนั้นดังนั้น พอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ซึ่งเป็นการประสานโลกของคอมพิวเตอร์เข้ากับโลกมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์ได้ใช้คอมพิวเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเรียกว่า Analog To Digital Conversion (ADC) การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก เรียกว่า Digital To Analog Conversion (DAC) เรียกย่อๆ ว่า D To A

การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล A/D มีขบวนการอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดี และข้อเสียรวมทั้งราคาที่แตกต่างกันออกไป จึงขอกล่าววิธีแปลงสัญญาณอย่างคร่าวๆ ซึ่งมีหลักการดังนี้

1) A/D แบบเซอร์โว (Servo)

เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุด แต่การทำงานไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจากอุณหภูมิ เวลาและความไวในการรับสัญญาณอินพุต

2) A/D แบบดูอัล – สโลป อินทีเกรต (Dual – Slope Intergrator)

เป็นแบบที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ราคาค่อนข้างแพง ทางด้านอุณหภูมิมีผลน้อย แต่มีความเร็วในการทำงานต่ำ

3) A/D แบบซัคเซสซีพ – แอพพร็อกซิเมชั่น (Succesive – Approximation)

เป็นแบบที่ใช้งานกันทั่วไป และเป็นแบบซึ่งทำงานได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องสูง แต่การสร้างวงจรนั้นต้องใช้ D/A

4) A/D แบบคอมพาราเตอร์ขนาน (Parallel – Comparator)

เป็นแบบที่มีความเร็วในการทำงานสูงแบบหนึ่ง แต่ราคาก็สูงที่สุดในบรรดา A/D ทุกชนิด หลักการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องใช้ส่วนประกอบอื่นค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช

วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบนี้ใช้หลักการง่ายๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เร็วที่สุด คือ ใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกันดังรูปที่ 2.18

ในรูปที่ 2.18 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวความต้านทานที่ต่อเอาไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส (Inverting) ให้มีขนาดต่างๆ กัน โดยจากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วๆ ไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส (Non – Inverting) มีค่าแรงดันสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูงสุด ซึ่งผลนั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้ โดยใช้การกำหนดค่าอินพุตให้มีค่าซึ่งเป็นแรงดันขนาดคงที่ตามขนาดของค่าอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบวงจรขนาน

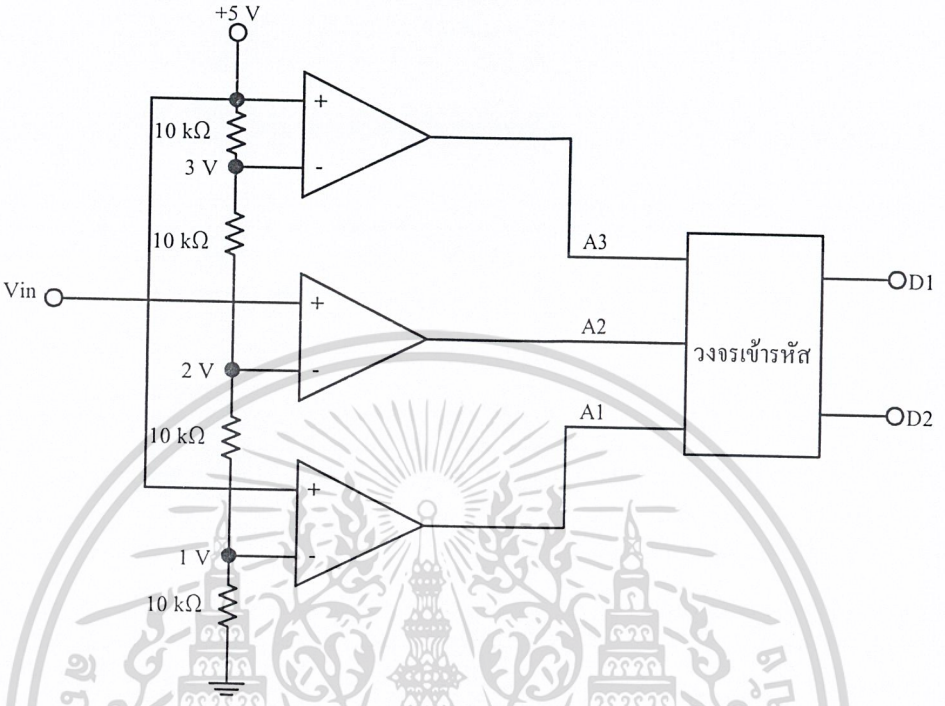
ตารางที่ 2.9 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบขนาน

แรงดันอินพุต Vin (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุตเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0 – 1	0	0	0	0	0
1 – 2	1	0	0	0	1
2 – 3	1	1	0	1	0
3 – 4	1	1	1	1	1

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาวงจรเปรียบเทียบได้จาก 2^N - 1 เมื่อ N แทนจำนวนบิต หรือความละเอียดที่ต้องการ

จะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ เอาต์พุตที่ไม่ได้เป็นเลขฐานสองต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส ข้อดีของวงจรเอทูดีแบบขนานนี้ คือ ความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงเรียกวงจรลักษณะนี้ว่า แฟลช (Flash) จะทำให้วงจรชนิดนี้ใช้เวลาการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การต่อวงจรเปรียบเทียบแบบขนาน หรือแบบแฟลช

2.9.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในการอินทิเกรต

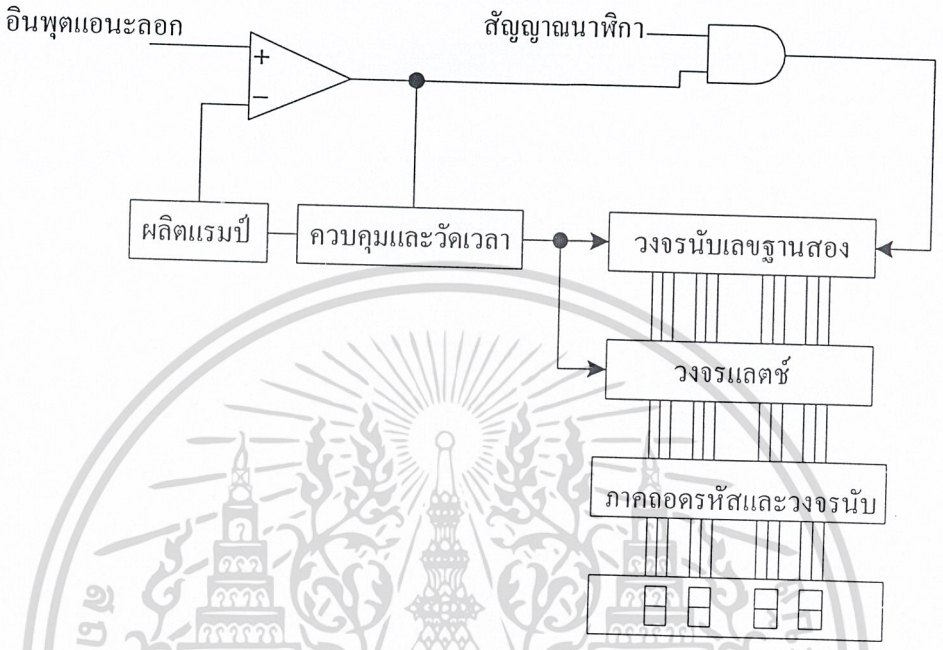
วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

1) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบสโลบหรือแบบแรมป์เดี่ยว

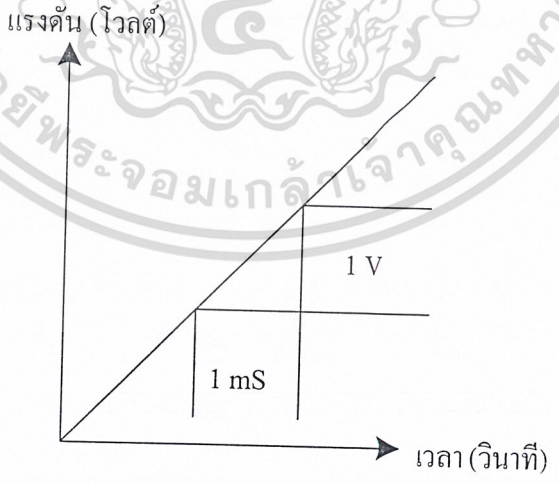
วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบนี้แสดงดังรูป 2.19 ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณขั้นบันได วงจรเปรียบเทียบ วงจรนับ BCD หรือนับเลขฐานสอง

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณขั้นบันได และวงจรนับจะถูกปรับให้เป็นศูนย์แรงดันแอนะลอกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบทางเข้าแบบไม่กลับเฟส เมื่อแรงดันขาเข้าที่ขานี้เป็นบวกมากกว่าที่แรงดันขาเข้าแบบกลับเฟส วงจรเปรียบเทียบให้ระดับขาออกเป็นระดับ 1 ทำให้ไอซีแอนด์เกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรนับได้และทำให้สัญญาณขั้นบันไดมีแรงดันเป็นบวกมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันขาเข้า ระดับแรงดันขาออกจากวงจรเปรียบเทียบจะตกเป็นระดับที่ 0 บิต แอนด์เกตไม่มีสัญญาณผ่านมาในวงจรนับวงจรนับก็จะทำการหยุดนับและเก็บค่าไว้ที่วงจรแลตช์ จากนั้นจึงทำการปรับวงจรนับและวงจรกำเนิดสัญญาณขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบสโลปเดี่ยว

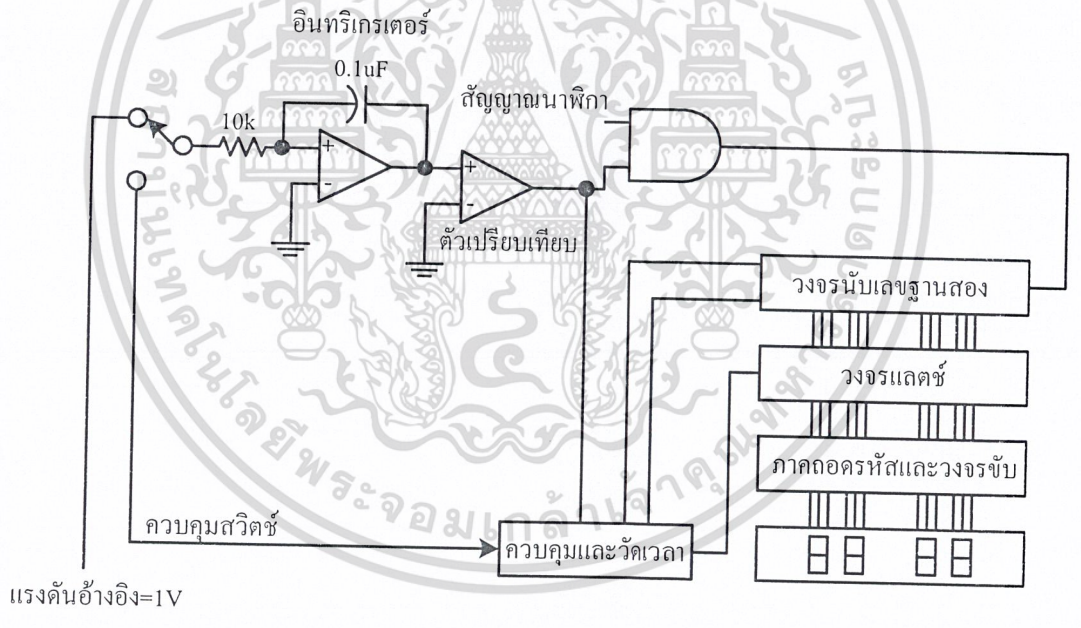


รูปที่ 2.20 ความชันของสัญญาณขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในลักษณะนี้มักนำไปใช้ในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณหรืออาจใช้ในดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง หรือการใช้งานที่ต้องการความละเอียดมากในการใช้งาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณขึ้นบันไดขึ้นกับอุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้า ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงพัฒนาให้วงจรมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น สามารถใช้ในวงจรที่ต้องการความถูกต้องสูงสุด แสดงชดเชยลักษณะการสูญเสียอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นให้ดีขึ้น จึงกลายเป็นวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้การอินทิเกรตแบบสโลปคู่ที่มีการทำงานที่ไม่ยุ่งยากนัก และมีการทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ซึ่งเป็นวงจรที่มีลักษณะเหมาะสมในการใช้งาน การออกแบบไม่มีความยุ่งยากผลกระทบทางอุณหภูมิมีน้อยกว่าวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบอื่นๆ

2) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบสโลปคู่



รูปที่ 2.21 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบสโลปคู่

รูปที่ 2.21 แสดงผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลสโลปคู่ วงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโลปเดี่ยว ซึ่งมีสวิตช์ที่ขาเข้าเพิ่มเติม เพื่อทำการเลือกระหว่างค่าแรงดันขาเข้ากับแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรเปรียบเทียบขาเข้ากับอินพุตกลับเฟสกันกับแบบสโลปเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแรกของวงจร คือ วงจรกำเนิดสัญญาณขั้นบันได หรือวงจรอินทิเกรต ที่แรงดันระดับขาเข้าแบบกลับของออปแอมป์ที่มีสภาพเป็นกราวด์เสมือน (Virtual Ground) ถ้ามีแรงดันขาเข้ามีค่า 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เท่ากับ 0.2 มิลลิแอมป์ ไปยังจุดร่วม (Summing Point) เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุตของออปแอมป์นั้นสูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ

ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ แรงดันที่ขาเข้าของออปแอมป์จะยิ่งเป็นลบมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงได้เป็นสัญญาณขั้นบันไดที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear Ramp)

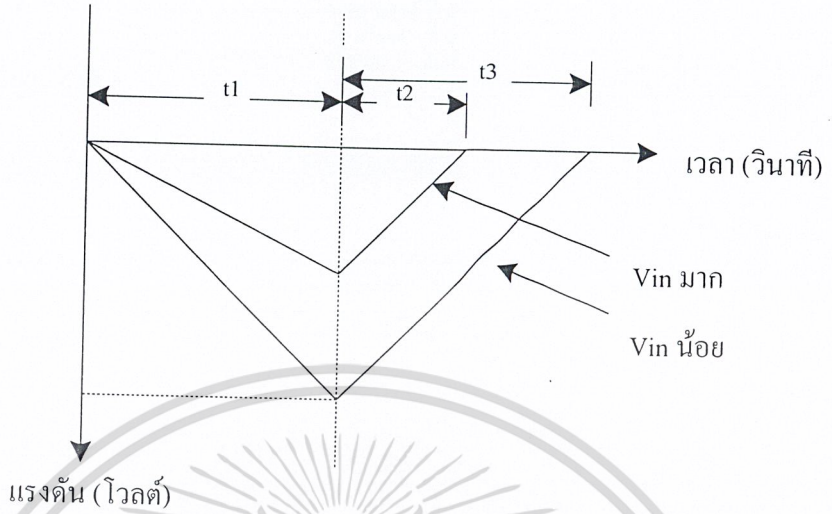
ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวก วงจรอินทิเกรเตอร์จะให้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขั้นบันไดทางลบดังแสดงไว้ในช่วง t_1 ดังรูปที่ 2.22 หากแรงดันขาเข้าเป็นลบ ทำให้แรงดันขาออกเป็นบวก

จากวงจรในรูปที่ 2.21 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มีแรงดันบวกจากขาเข้าป้อนสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ได้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขั้นบันไดทางลบ วงจรเปรียบเทียบจะได้แรงดันทางลบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ แล้วให้แรงดันออกเป็นบวก ทำการเปิดแอนด์เกต ให้สัญญาณนาฬิกาเข้าไปสู่วงจรนับ วงจรนับจะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คงที่ t_1 แล้วทำการสวิตช์ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง ในช่วงที่วงจรนับด้วยค่าคงที่นั้น

วงจรอินทิเกรตจะให้สัญญาณขั้นบันไดทางลบ ที่มีค่าได้สูงสุดตามแต่ระดับแรงดันขาเข้า เมื่อทำการสวิตช์ขาเข้าของวงจรอินทิเกรเตอร์ทำให้ไปที่ค่าแรงดันอ้างอิงค่าลบ แรงดันของวงจรจึงได้เป็นสัญญาณขั้นบันไดทางบวก คือ t_2 ในรูปที่ 2.24 ช่วง พร้อมๆ กับปรับค่าของวงจรนับลงเป็นศูนย์เพื่อเริ่มนับใหม่

เมื่อแรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้น ถึงแรงดันศูนย์อีกครั้ง แรงดันทางขาออกของวงจรเปรียบเทียบจะเป็นลบ หรือเป็นศูนย์ วงจรควบคุมจับการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ส่งสัญญาณสโตรบให้วงจรนับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรเก็บค่า จากนั้นจึงปรับให้เป็นศูนย์ แล้วทำการสวิตช์ให้แก่ค่าอินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุต ซึ่งเป็นการเริ่มเปลี่ยนสัญญาณอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ที่วงจรเก็บค่าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันขาเข้า Vin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา

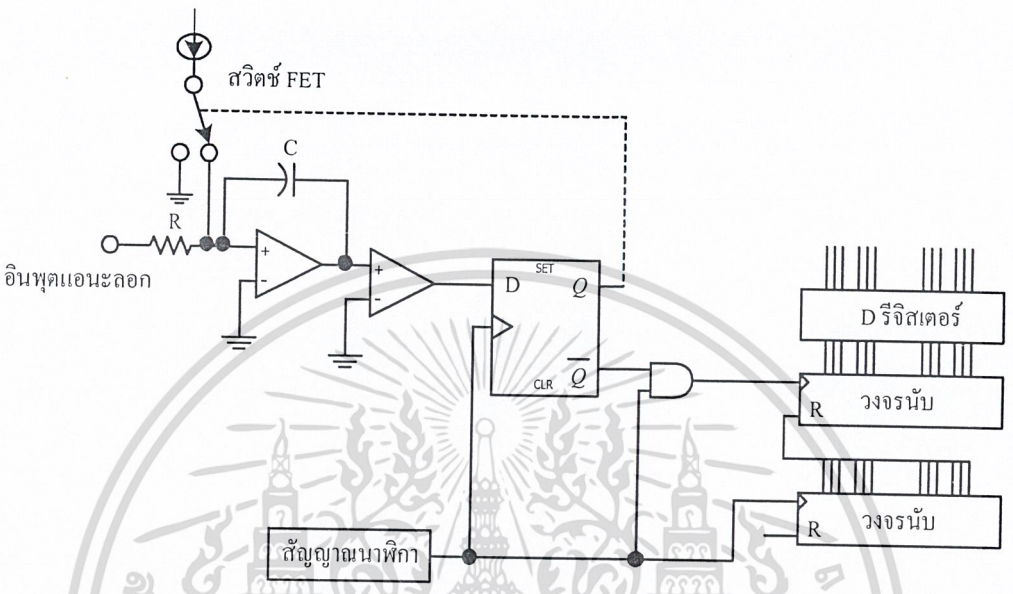
ข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณแบบสโลปคู่ คือ ความถูกต้องสูง ราคาถูก เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิดี ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจใช้เวลาถึง 100 มิลลิวินาที ในขณะที่แบบแฟลชใช้เวลาประมาณ 30 มิลลิวินาที

3) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบประจุสมดุลย์

วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบประจุสมดุลย์ ใช้วงจรสำคัญคล้ายกับแบบสโลปคู่ แต่แทนที่จะใช้ขาเข้าสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง จะทำการแทรกพัลซ์ของกระแสอ้างอิงมาโดยตรงที่จุดรวมของวงจรอินทิเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่ โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์โวลต์ ดังนั้น ทำให้ไม่เกิดการผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลชนิดนี้จึงมีความถูกต้องกว่าแบบสโลปคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบเดลต้า – ซิกม่า



รูปที่ 2.23 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบเดลต้า-ซิกมา

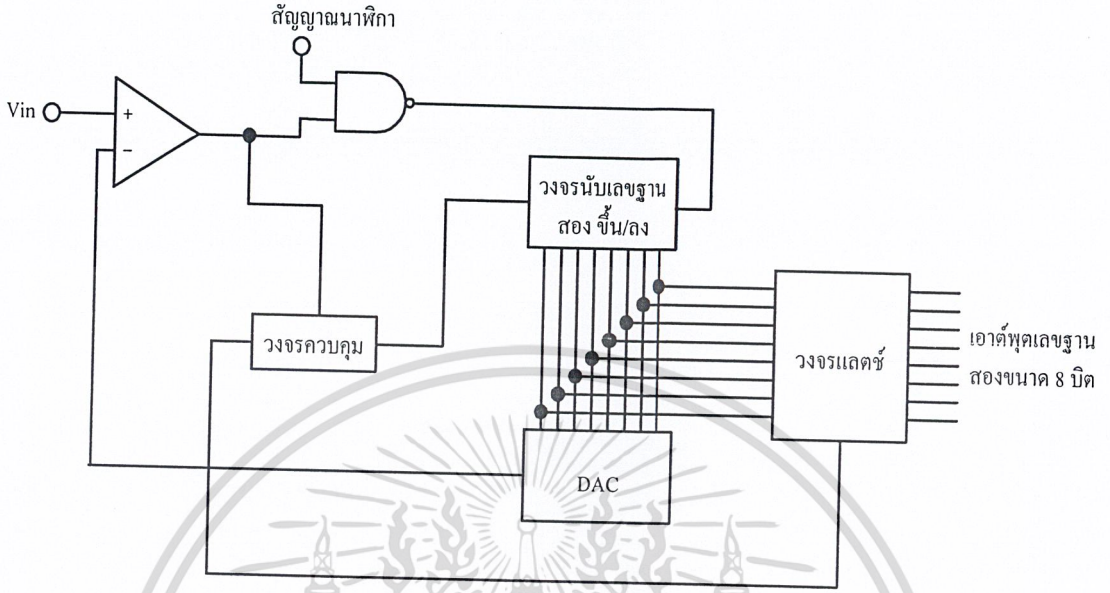
จากวงจรที่ 2.23 เมื่อมีแรงดันอินพุตป้อนเข้ามาที่วงจรอินทิเกรเตอร์ จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคงที่จากกราวด์ โดยที่พัลซ์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำขึ้นจากเฟต (FET) จะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดร่วม หรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรนับจำนวนพัลซ์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน

2.9.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้วงจรนับ

1) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบแทรกกิ้ง

การทำงานจะคล้ายกับใช้วงจรนับเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์ แต่จะทำการนับขึ้นหรือนับลงจากค่าสุดท้ายไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ว่าค่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงหรือต่ำกว่ารอบที่แล้ว ข้อดีของเอทูดีแบบแทรกกิ้ง คือ การทำงานได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

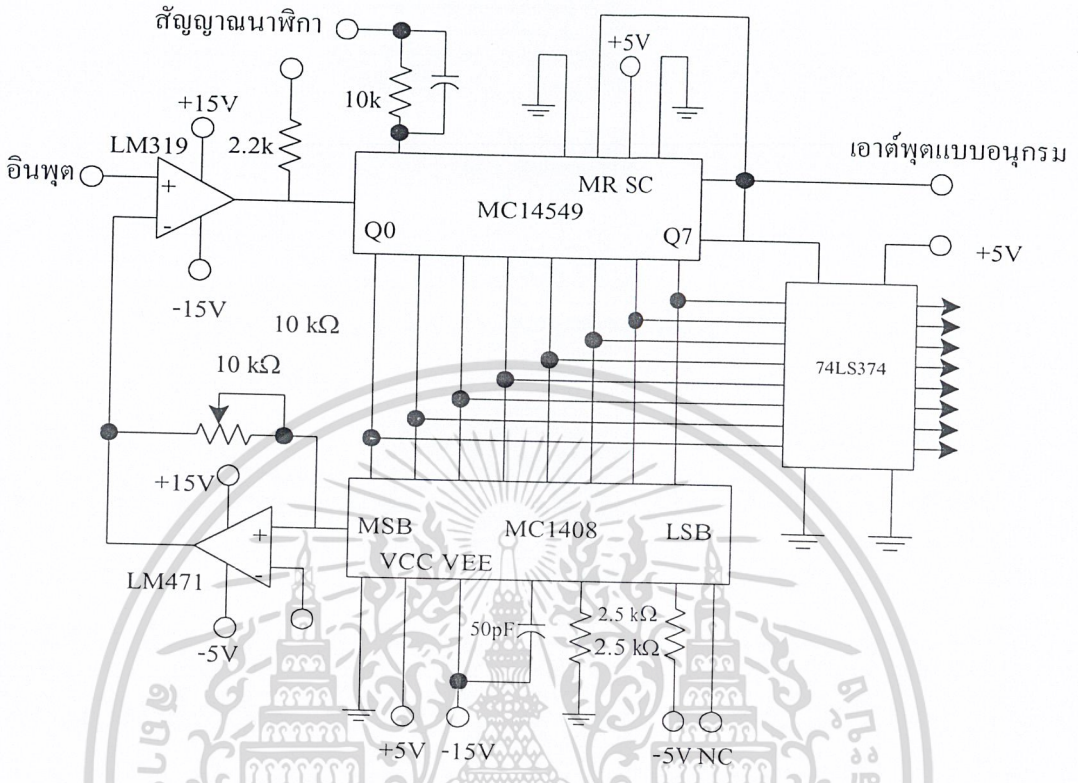
2) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบการปรับค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบนี้ มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะมีความละเอียดเป็น n บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก เช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลซ์นาฬิกา 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรนับต้องการพัลซ์ถึง 256 ลูก วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่าแสดงดังรูปที่ 2.25

2.9.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบการสุ่ม และการคงค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Conversion Time เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณแอนะลอกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาการแปลงเอาต์พุตของค่าวงจรเปลี่ยนสัญญาณ อาจเกิดความผิดพลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยการสุ่ม และคงค่าสัญญาณ เพื่อใช้จับค่าของสัญญาณแอนะลอกที่จุดเริ่มของการเปลี่ยนสัญญาณแล้วเก็บไว้ ตัวเก็บประจุระหว่างช่วงการแปลงหลังจากการเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้นจึงจับค่าสัญญาณแอนะลอกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้ง เป็นเช่นนี้ต่อเรื่อยไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่า

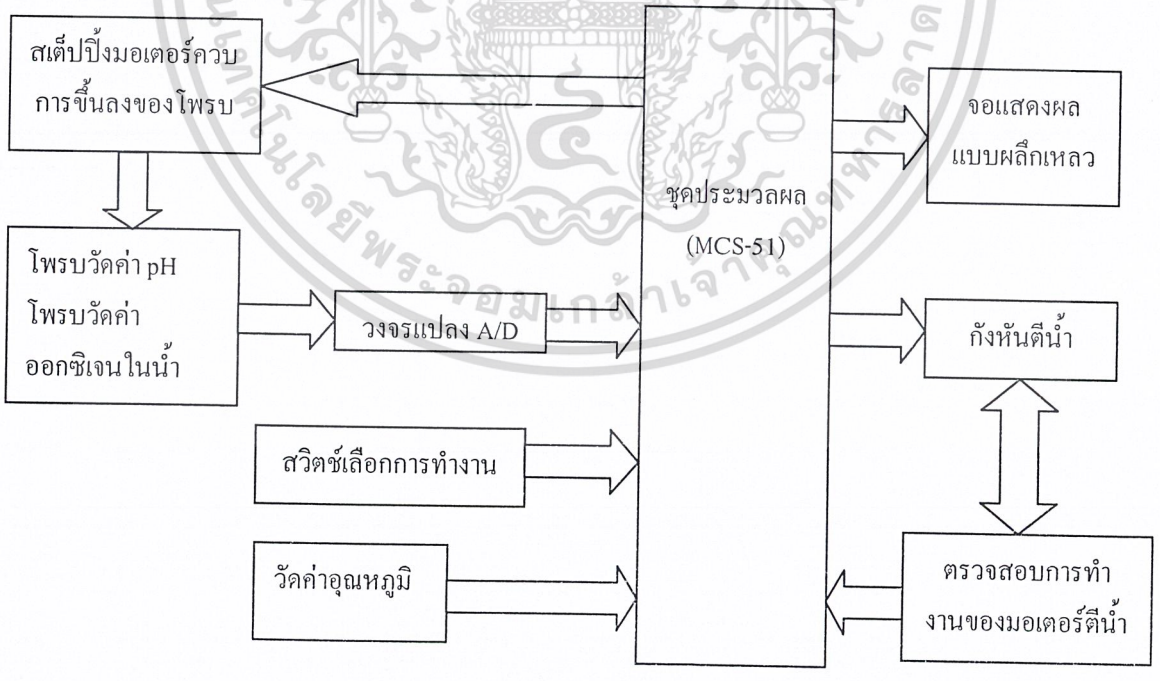
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบ และสร้างเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ ได้แบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ทางด้านฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยส่วนโพรบวัดค่า pH และออกซิเจนในน้ำ การขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล การป้อนข้อมูล (Key Switch) ส่วนการแสดงผล และชุดกังหันตีน้ำ ในส่วนซอฟท์แวร์ ประกอบด้วยโปรแกรมแสดงผลทางแอลซีดี (LCD) และโปรแกรมการควบคุมการทำงานของกังหันตีน้ำ

3.2 แผนผังการทำงานของโครงงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

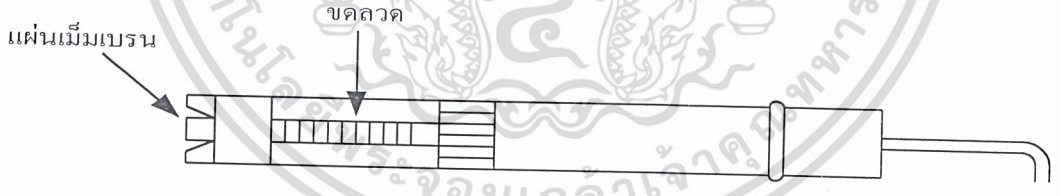
การทำงานของโครงงานตามแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.1 จะเริ่มจากการทำงานของโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างหรือ pH และโพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ โดยโพรบทั้งสองจะกำเนิดแรงดันไฟฟ้าออกมาตามสัดส่วนของค่า pHและออกซิเจน เมื่อได้ค่าแรงดันก็จะนำไปทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อส่งข้อมูลดิจิตอลไปยังส่วนประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลและสั่งให้มอเตอร์ทำงาน

มอเตอร์จะทำงานก็เมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมีค่าต่ำกว่า 4 mg/l หรือ น้อยกว่าค่าที่กำหนด เมื่อปริมาณออกซิเจนมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดชุดประมวลผลก็จะสั่งให้ชุดกังหันนั้นทำการตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ เมื่อถึงเวลาที่กำหนดก็จะทำการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนอีกครั้ง หากปริมาณออกซิเจนมีมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ชุดประมวลผลจะสั่งให้กังหันหยุดทำงาน และจะทำการตรวจสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

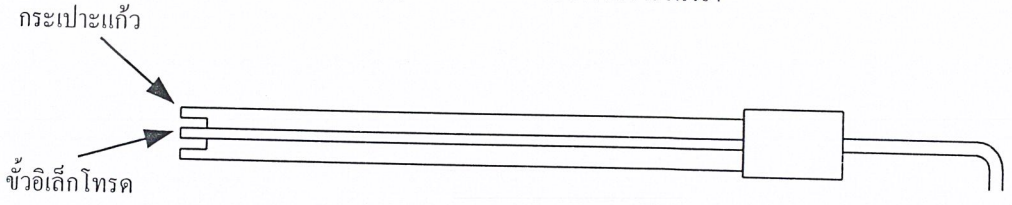
ในส่วนของภาคแสดงผลก็จะแสดงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าอุณหภูมิในน้ำหรือค่าออกซิเจนในน้ำและค่าอุณหภูมิในน้ำ

3.3 การออกแบบวงจร

3.3.1 โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าออกซิเจนในน้ำ



(ก) โพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ



(ข)โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง

รูปที่ 3.2 ลักษณะของโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างและค่าออกซิเจนในน้ำ

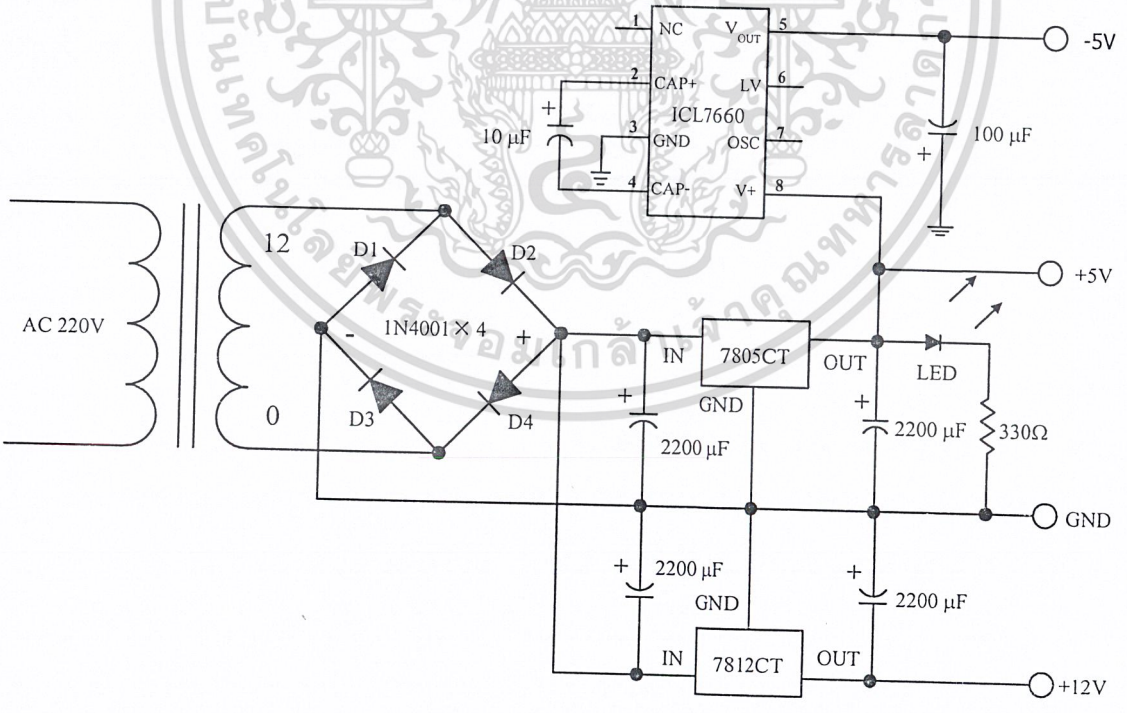
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างและออกซิเจนในน้ำเป็นโพรบของดิจิกอนซึ่งเป็นบริษัทผลิตเครื่องมือวัดโดยเราใช้โพรบวัดค่า pH รุ่น PE-03 และโพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำใช้รุ่น DO-551

โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างและค่าออกซิเจนในน้ำนั้นมีหลักการทำงานที่คล้ายกันคือในตัวโพรบจะมีขั้วอิเล็กโทรดคือขั้วคือขั้วบวกและขั้วลบ และภายในตัวโพรบทั้งสองจะมีสารอิเล็กโตรไลด์เป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้วทั้ง 2

สำหรับโพรบวัดออกซิเจนจะมีการทำงานดังนี้ ซึ่งเมื่อออกซิเจนผ่านแผ่นเมมเบรนเข้าไปจะเกิดปฏิกริยากับสารอิเล็กโตรไลด์และขั้วลบ ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นอัตราซึมผ่านเมมเบรนของออกซิเจนจะแปรผกผันกับความแตกต่างกันของแรงดัน ระหว่างภายนอกกับภายในเมมเบรน ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนจะเกิดปฏิกริยาที่ขั้วลบและสลายไปอย่างรวดเร็วซึ่งเปรียบเสมือนว่าแรงดันของออกซิเจนด้านในเท่ากับศูนย์ ดังนั้นหากค่าก๊าซออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันภายในลดลงซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบของโพรบรุ่นนั้นๆ

3.3.2 ภาคจ่ายไฟ



รูปที่ 3.3 วงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของภาคจ่ายไฟ

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรภาคจ่ายไฟ +12 โวลต์ +5 โวลต์ และ –5 โวลต์ ซึ่งไฟ +12 โวลต์ซึ่งไฟ +12 โวลต์ ได้จากการเร็กกูเลเตอร์ไปของไอซีเบอร์ 7812CT ซึ่งเป็นแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ชุดขับเคลื่อนการขึ้นลงของโพรบ ส่วนแรงดันไฟ +5 โวลต์ที่ได้จากการแปลงของไอซีเบอร์ 7805CT จะป้อนให้กับชุดประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 วงจรแสดงผล (Display) และไฟ –5โวลต์ได้จากการเร็กกูเลเตอร์ของไอซีเบอร์ 7660 ซึ่งจะผลิตแรงดันไฟ –5โวลต์ออกมาเพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ ICL7135

จากรูปที่ 3.3 หม้อแปลงจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ให้เหลือแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 12 โวลต์ แล้วป้อนให้กับวงจรบริดจ์เร็คติไฟเออร์ D1-D4 ได้ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ก็จะถูกฟิลเตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นเส้นตรงมากขึ้นหลังจากนั้นก็จะถูกไอซีเบอร์ต่างๆทำการแปลงแรงดันให้ได้ตามคุณสมบัติของไอซีเบอร์นั้นๆ

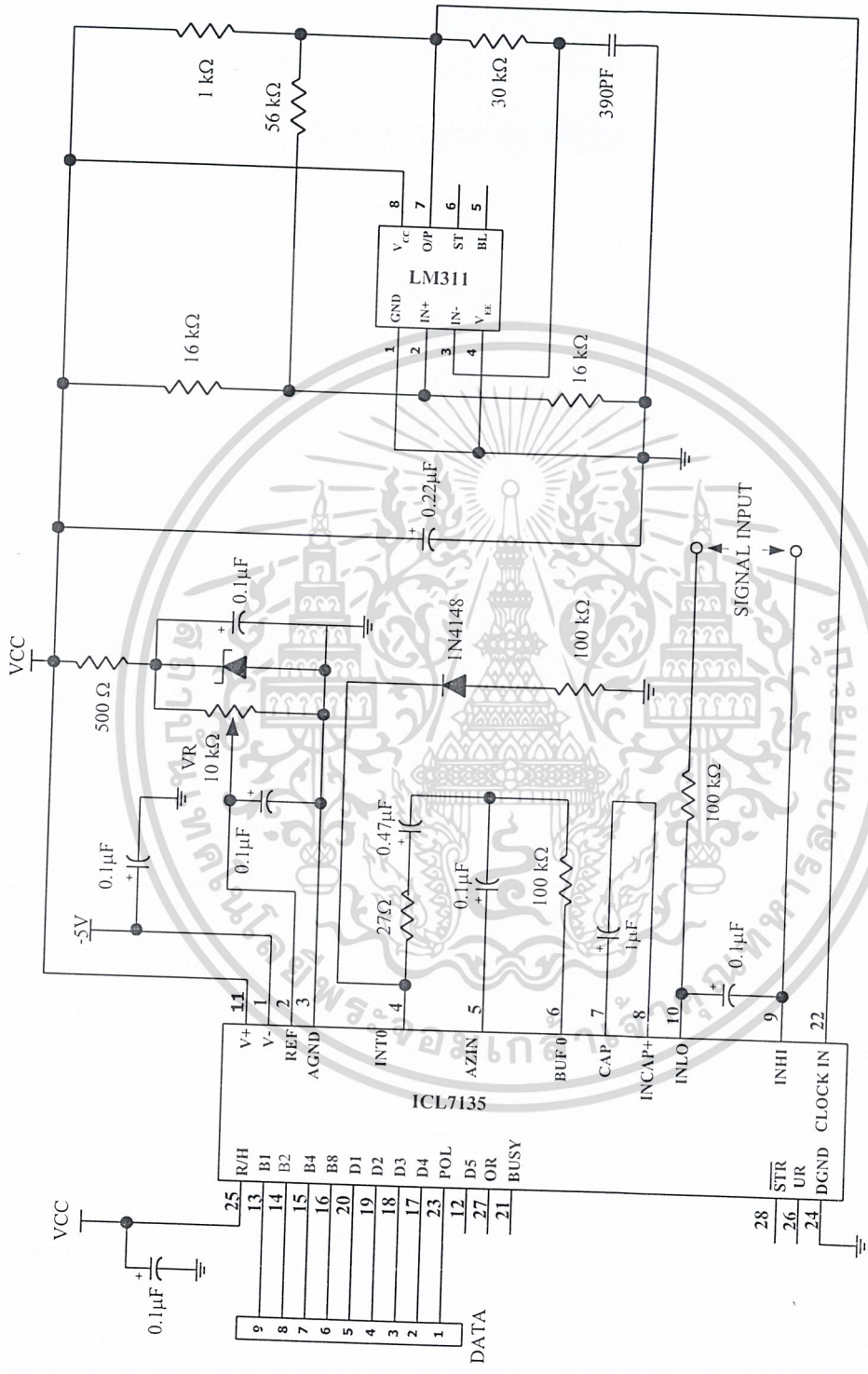
3.3.3 ภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

จากการทำงานของโพรบค่าที่แปลงออกมาจะมีค่าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในการที่จะนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปใช้งานในการบอกค่าออซิเจนหรือค่าความเป็นกรดค่างนั้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเสียก่อนเพื่อที่จะนำข้อมูลที่แปลงได้นั้นไปทำการเปรียบเทียบข้อมูลในชุดประมวลผล

ชุดประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต่อกับไอซีเบอร์ ICL7135 ซึ่งเป็นชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลขา 22 ของไอซีเบอร์ ICL7135 เป็นขาสัญญาณนาฬิกาซึ่งจะต้องต่อกับขา 7 ของไอซีผลิตสัญญาณนาฬิกาซึ่งใช้ไอซีเบอร์ LM311 ซึ่งจากรูปที่ 3.4 ซึ่งจะผลิตสัญญาณนาฬิกาออกมา 120 kHz

จากรูปที่ 3.4 วงจรไอซีเบอร์ ICL7135 สามารถวัดค่าแรงดันได้ตั้งแต่ –2 โวลต์ถึง +2โวลต์ สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ 0 – 70 องศาเซลเซียสทดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ – 5 ถึง 160 องศาเซลเซียส ขาสัญญาณอินพุต คือ ขาที่ 9 และ 10

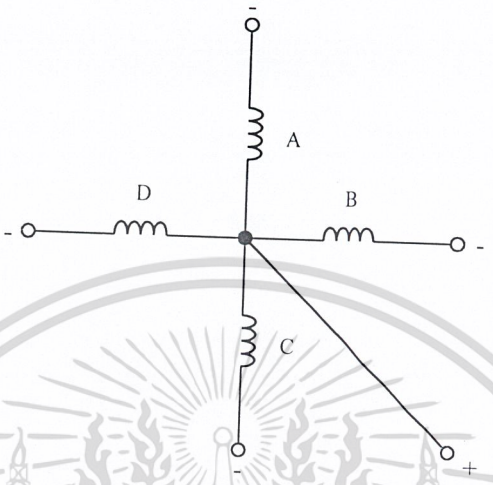
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ภาคขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์



รูปที่ 3.5 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

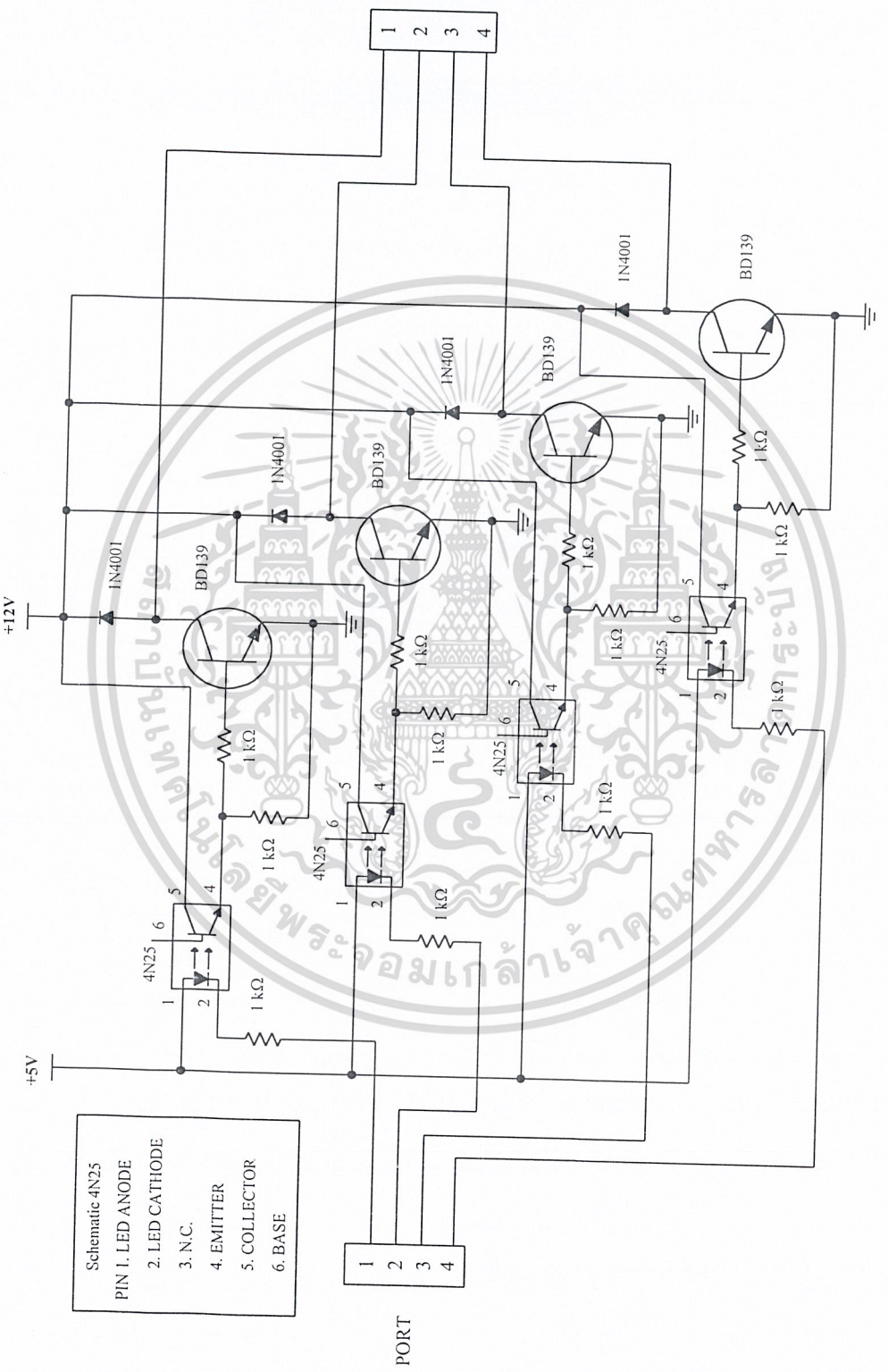
วงจรภาคขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ใช้สำหรับควบคุมการขึ้นลงของชุดขับเคลื่อนหัวโพรบทั้งสองอย่างรวมถึงตัววัดอุณหภูมิ

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบยูนิโพลาร์ โดยการทำงานของวงจรจะป้อนลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กับชุดขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

หลักการทำงานของวงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์อาศัยคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยลอจิกที่สามารถทำให้ชุดสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทำงานคือ ลอจิก "1" เมื่อมีคำสั่งส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นลอจิก "1" LED ภายในไอซีออปโต้ 4N25 จะนำกระแสจะมีกระแสส่วนหนึ่งไหลผ่านตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์มลงกราวด์

และกระแสอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านตัวต้านทาน 1กิโลโอห์ม ไปไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์เบอร์ BD139 ซึ่งสามารถขับกระแสได้ 2 แอมป์เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส ทำให้กระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟผ่านยังขดลวดสเต็ปปิ้งมอเตอร์ครบวงจร ส่วนไดโอด 1N4001 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับในขณะที่มอเตอร์หยุดทำงานวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะมีทั้งหมด 4 ชุดแต่ละชุดไปขับขดลวดแต่ละขดสำหรับชุดจ่ายไฟของขดลวดสเต็ปปิ้งมอเตอร์กับชุดจ่ายไฟของอินพุตจะแยกอิสระต่างกัน เพื่อตัดปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนและปัญหาอื่นๆ ที่อาจจะเข้ามาทำการรบกวนระบบควบคุมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

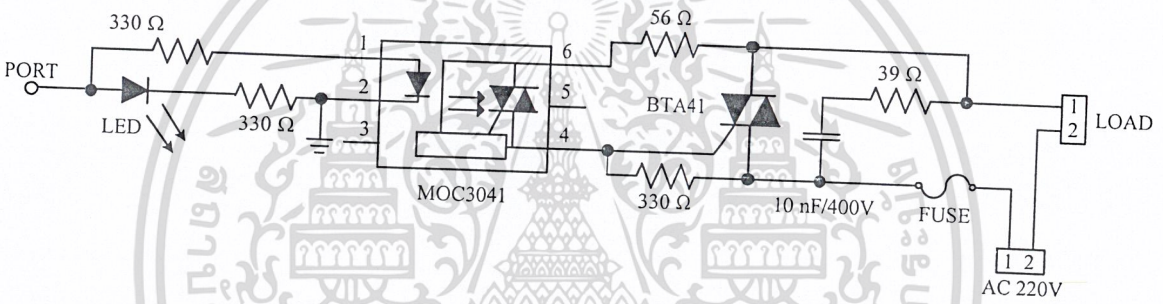


รูปที่ 3.6 วงจรภาคขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 ภาคตัดต่อไฟไฟ้ากระแสสลับ 220โวลต์ โซลิดสเตทรีเลย์

วงจรโซลิดสเตทรีเลย์เป็นวงจรตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับ 220โวลต์โดยอาศัยการควบคุมจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่ง วงจรรูปที่ 3.7 นี้จะทำงานเมื่อขาที่ต่อกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รับลอจิก “1” ซึ่งเป็นการไบอัสทำให้เกิดกระแสไหล LED จะติด เมื่อขา 1 ของไอซี MOC3041 ได้รับลอจิก “1” LED ภายในตัวไอซี MOC3041 จะเปล่งแสงออกมา แสงจะไปตกกระทบที่ตัวโฟโตไตรแอค ทำให้เกิดกระแสไหล ไปทริกไตรแอค BTA41 ซึ่ง BTA41 จะทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ซึ่งเมื่อมีกระแสมาทริกจะทำงานเหมือนสวิทช์ปิดทำให้ครบวงจร ทำให้ไฟฟ้า 220โวลต์ไหลได้ครบวงจร และมอเตอร์กังหันตีน้ำก็จะทำงาน



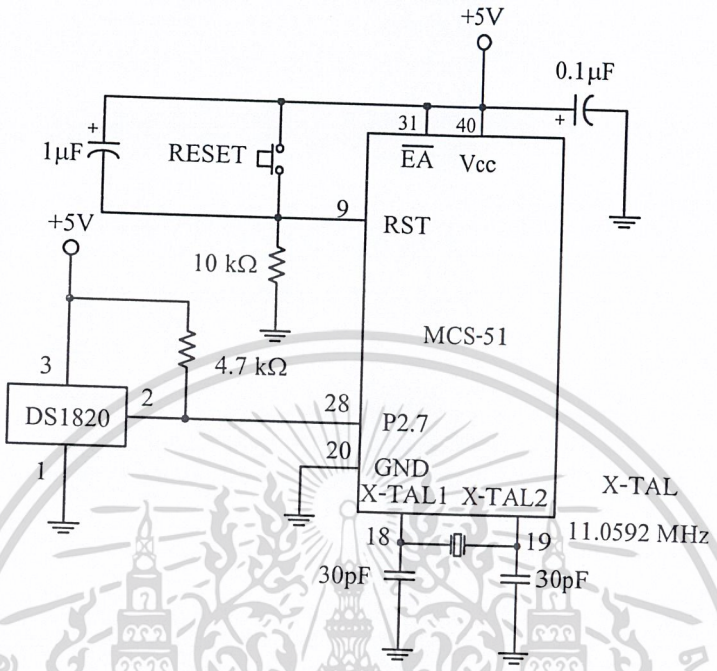
รูปที่ 3.7 วงจรสมบูรณ์โซลิดสเตทรีเลย์

3.3.6 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิ

ภาคตรวจวัดอุณหภูมิใช้ไอซีเบอร์ DS1820 เป็นไอซีตรวจจับที่ใช้การติดต่อแบบระบบบัสหนึ่งสาย มีขาต่อใช้งานเพียง 3 ขา คือ DQ ซึ่งเป็นขาเชื่อมต่อกับระบบบัส , ขาต่อไฟเลี้ยงภายนอกและขากราวน์ DS1820 มีตัวจับอุณหภูมิและหน่วยความจำความเร็วสูงที่เรียกว่า สแครตช์แพด (scatchpad) ซึ่งมีขนาด 9 ไบต์

เมื่อวัดอุณหภูมิได้ก็จะนำค่าที่วัดได้นี้มาเก็บไว้ในสแครตช์แพดที่ไบต์ 0 และ 1 ทั้งนี้เนื่องจากไอซี DS1820 สามารถให้ข้อมูลอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 16 บิต เมื่อนำมาแปลงเป็นข้อมูลเลขฐานสิบจึงสามารถแสดงความละเอียดของค่าอุณหภูมิได้ถึง 0.5 องศาเซลเซียสและ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ โดยมีย่านวัดอุณหภูมิ –55 ถึง +125 องศาเซลเซียส หรือ –67 ถึง +257 องศาฟาเรนไฮต์ โดยค่าขององศาฟาเรนไฮต์ต้องใช้การแปลงหน่วยเข้ามาช่วยในเวลาในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิตอลประมาณ 200 มิลลิวินาที สามารถกำหนดขอบเขตของอุณหภูมิที่ทำการวัดได้และให้แจ้งเตือนเมื่อค่าของอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดต่ำลงถึงค่าที่กำหนด โดยค่าอุณหภูมิที่กำหนดนี้จะเก็บไว้ที่สแครตช์แพดในไบต์ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อ DS1820 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

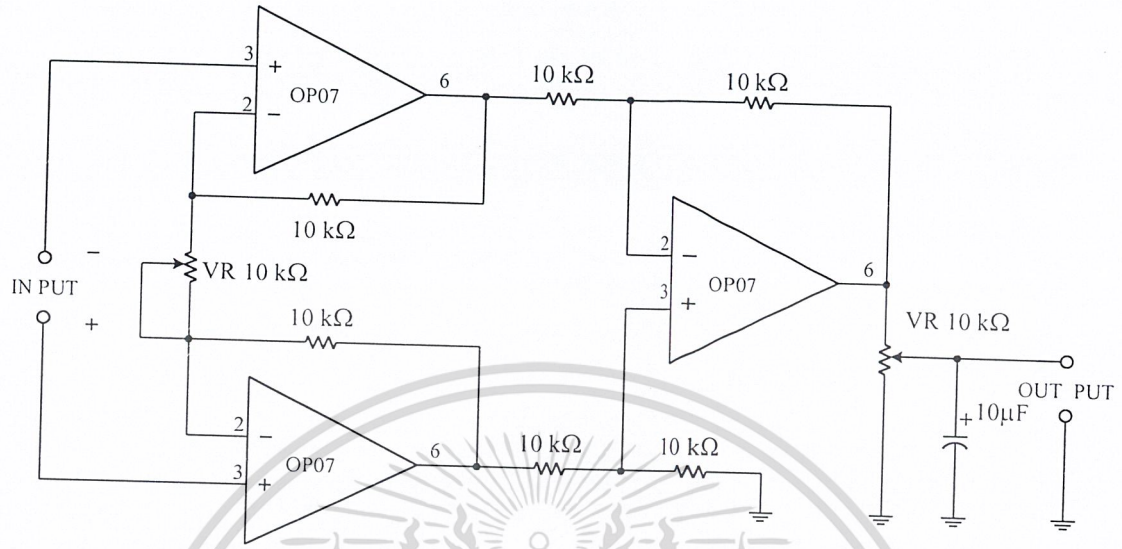
3.3.7 ภาคขยายแรงดัน

ในภาคขยายแรงดันนี้ เป็นภาคขยายแรงดันโดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ OP07 3 ตัว ต่อเป็นวงจรอินสตูเม้นท์แอมป์เป็นตัวขยายแรงดัน โดยสัญญาณอินพุตจะเข้ามาที่ขา 3 ของไอซีออปแอมป์ OP07 ตัวที่ 1 และ 2 ซึ่งจะมีตัวต้านทาน 10 kΩ ต่ออยู่ที่ขา 2 ของ OP07 ตัวที่1และ 2 ซึ่งเป็นตัวปรับอัตราการขยายของวงจรขยายนี้

ขา 4 เป็นขาไฟ –5โวลต์ และขา 7 เป็นขาไฟ +5โวลต์ ขา 6 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรขยายนี้ วงจรขยายนี้ใช้ขยายแรงดันจากโพรบเพื่อให้มีค่าแรงดันมากขึ้นเพื่อที่จะทำให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลทำงานได้เสถียรมากขึ้น

นอกจากนั้นยังทำให้สามารถวัดค่าแรงดันได้ง่ายขึ้นเนื่องจากแรงดันได้ถูกขยายเพิ่มขึ้นจากเดิม ซึ่งในเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนนี้ใช้วงจรขยายแรงดันทั้งหมด 2 ชุดด้วยกัน โดยปรับตัวต้านทาน 10 kΩ เพื่อให้มีอัตราการขยายที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



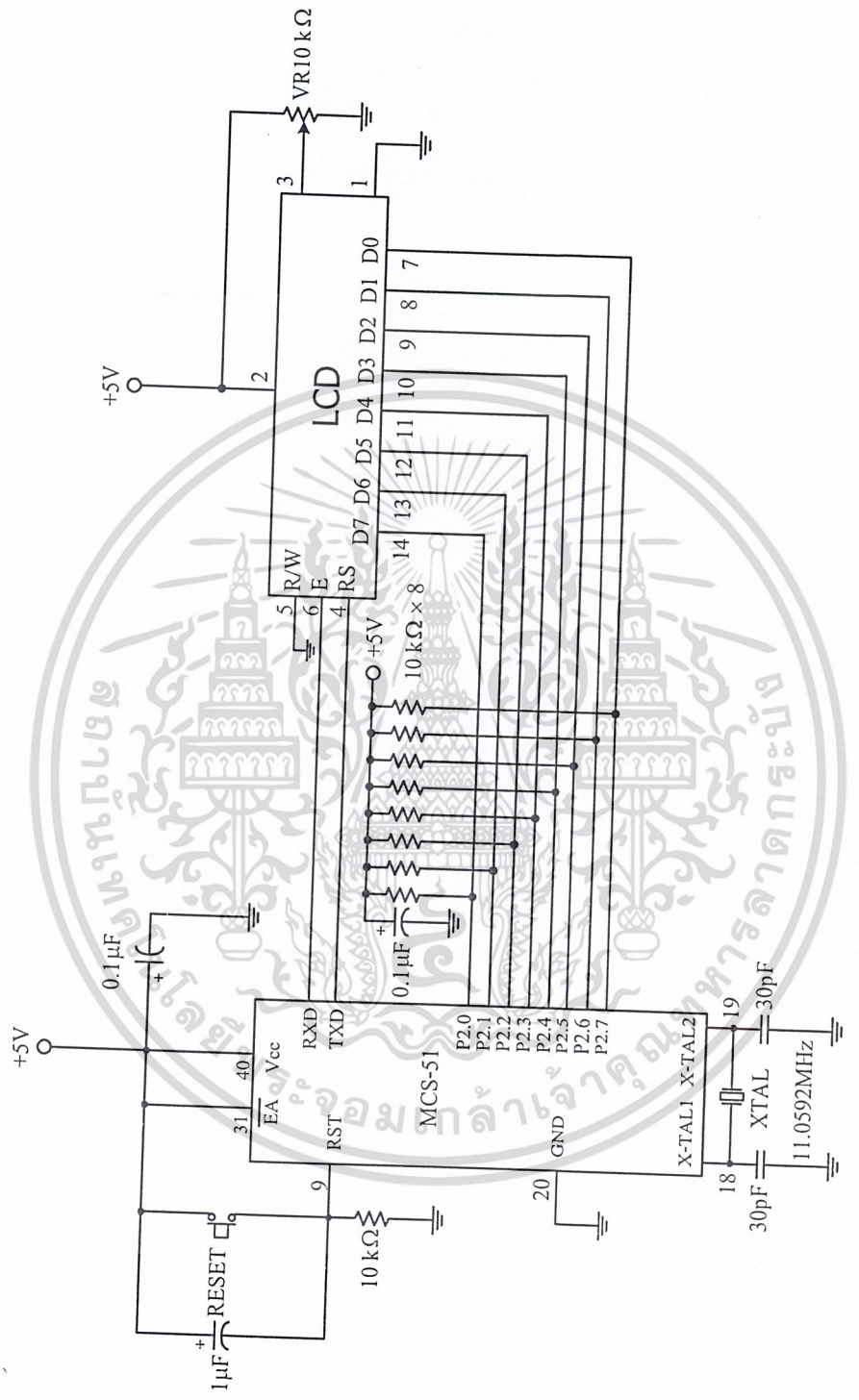
รูปที่ 3.9 วงจรขยายแรงดัน

3.3.8 ภาคแสดงผล

การทำงานของวงจรแสดงผล

การทำงานของวงจรแสดงผลนี้ ซึ่งตัวแสดงผลจะใช้ จอแสดงผลแอลซีดีโมดูลชนิดแสดงผลเป็นภาษาอังกฤษแบบ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด โดยจะรับสัญญาณอินพุตมาจากชุดควบคุมโดยต่อออกทางพอร์ต P2 [0..7] มาแสดงผลออกบนจอแอลซีดีโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรแสดงผล LCD

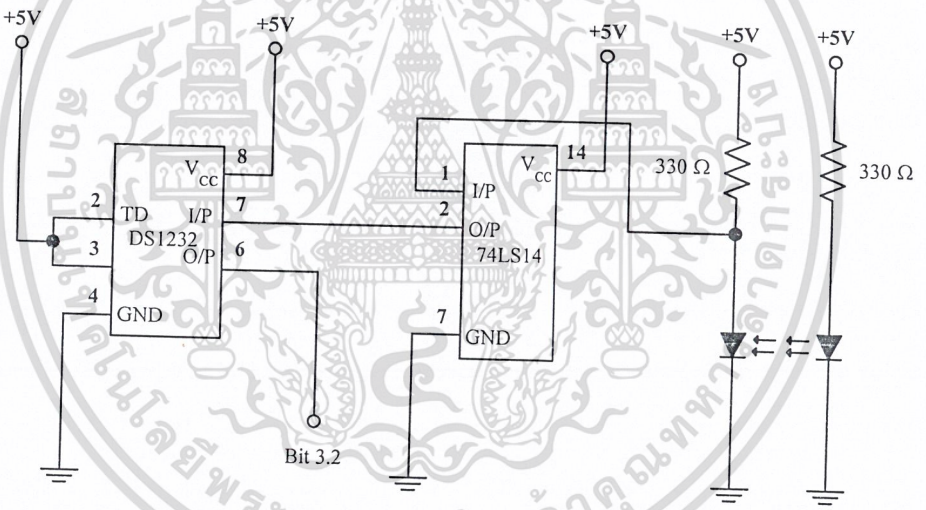
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 ภาคตรวจจับการหมุนของมอเตอร์

การทำงานของวงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์

การทำงานของวงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์นั้นจะประกอบด้วยตัวอินฟาเรดซึ่งเป็นตัวสร้างสัญญาณพัลซ์ เมื่อแกนของพู่เร่หมุนจะเกิดการตัดผ่านแสงอินฟาเรดซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณพัลซ์ สัญญาณพัลซ์จะถูกส่งต่อไปยัง IC74LS14 ขา 1 ซึ่งเป็นไอซีชมิททริกเกอร์ สัญญาณจะออกที่ขา 2 แล้วจะไปเข้าขา 7 ของไอซี DS1232

ไอซี DS1232 จะทำงานเมื่อสัญญาณพัลซ์ที่ป้อนเข้าขา 7 ไม่มีการส่งเข้ามา DS1232 ก็จะทำการส่งลอจิก 0 ออกที่ขา 6 ซึ่งต่ออยู่กับบิต P3.2 ของ MCS-51 เมื่อมีลอจิก 0 เข้ามาที่บิต P3.2 ก็จะทำการส่งสัญญาณเตือน ในรูปของเสียง



รูปที่ 3.11 วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ ของโครงงานเครื่องมือวัดและควบคุมคุณภาพน้ำอัตโนมัติ ว่าทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยใช้เครื่องมือทำการตรวจสอบผลการทำงานในแต่ละส่วนของวงจรที่ได้สร้างขึ้น ได้แก่การทดลองการทำงานของหัวโพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ และค่า pHในน้ำ การทดลองการทำงานเครื่องเก็บสายหัวโพรบ การทดลองการทำงานของกังหันตีน้ำ ซึ่งต่อไฟฟ้า 220โวลต์โดยวงจรโซลิดสเตทรีเลย์ รวมทั้งในส่วนของการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมคุณภาพน้ำอัตโนมัติ

4.2 การทดลองการทำงานของหัวโพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากค่าออกซิเจนในน้ำ จากหัวโพรบ เพื่อที่จะนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้ไปเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้บันทึกไว้นี้ ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ผ่านเข้ามาใหม่ เมื่อนำหัวโพรบจุ่มลงวัดในน้ำค่าออกซิเจนในน้ำ ถ้าตรงกับค่าหนึ่งค่าใดก็แสดงว่า น้ำขณะนั้นมีค่าออกซิเจนตรงกับที่ต้องการให้กังหันทำงานหรือหยุดทำงาน

การทดลองการทำงานของหัวโพรบวัดค่าออกซิเจนในน้ำ

ลำดับขั้นการทดลอง

1) เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องมือวัด Do , ขวด Bod, บิกเกอร์, ดิจิตอลมิเตอร์, ช้อนตักสารเคมี, สารโซเดียมซัลไฟด์, เครื่องปั๊มน้ำ (เติมออกซิเจน)

2) เตรียมน้ำที่ได้ทำการเติมอากาศซึ่งเต็มไปด้วยออกซิเจน โดยการโฟร์ลอากาศทิ้งไว้ 1 คืน

3) บรรจุน้ำที่เติมอากาศใส่ในขวด Bod ปิดฝาที่สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนได้

4) ตั้งเครื่องมือวัด Do ให้พร้อมใช้งาน

5) นำเครื่องมือวัด Do วัดปริมาณออกซิเจนในขวด Bod

6) ทำการเติมสารโซเดียมซัลไฟด์ครั้งละ1 ช้อน(ช้อนตักสารเคมี)เพื่อปรับปริมาณออกซิเจนในน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในขวด Bod ให้ได้ค่าออกซิเจนตามต้องการ

7) นำเครื่องวัด Do วัดค่าออกซิเจนในน้ำ ตามค่าที่ได้ปรับไว้ในขวด Bod เพื่อให้ทราบค่าปริมาณสารละลายออกซิเจนละลายมีค่าเท่าใดแล้วทำการจดบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) นำหัวโพรบ DO-551 ที่เตรียมไว้ทำการจุ่มลงไปในขวด Bod แล้วนำมิเตอร์มาต่อเข้ากับขั้วสายอิเล็กโทรด เพื่อวัดค่าแรงดันที่ได้จากน้ำที่มีค่าออกซิเจนค่าต่างๆ ตามค่าที่เตรียมไว้

ตารางที่ 4.1 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 25°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
0	25.0	3.9
1	25.1	3.8
2	25.2	3.7
3	25.2	3.6
4	25.1	3.5
5	25.4	3.4
6	25.3	3.3
7	25.3	3.2
8	25.1	3.1
9	25.2	3.0
10	25.3	2.9

ตารางที่ 4.2 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 26°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
0	26.0	3.9
1	26.1	3.8
2	26.2	3.7
3	26.2	3.6
4	26.1	3.5
5	26.4	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 26°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
6	26.3	3.3
7	26.3	3.2
8	26.1	3.1
9	26.2	3.0
10	26.3	2.9

ตารางที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 27°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
0	27.0	3.9
1	27.1	3.8
2	27.0	3.7
3	27.2	3.6
4	27.5	3.5
5	27.6	3.4
6	27.4	3.3
7	27.4	3.2
8	27.2	3.1
9	27.1	3.0
10	27.2	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 28°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
0	28.0	3.9
1	28.1	3.8
2	28.2	3.7
3	28.2	3.6
4	28.1	3.5
5	28.4	3.4
6	28.3	3.3
7	28.3	3.2
8	28.1	3.1
9	28.2	3.0
10	28.3	2.9

ตารางที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 29°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
0	29.0	3.9
1	29.1	3.8
2	29.2	3.7
3	29.2	3.6
4	29.1	3.5
5	29.4	3.4
6	29.3	3.3
7	29.3	3.2
8	29.1	3.1
9	29.2	3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 29°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
10	29.3	2.9

ตารางที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ DO-551 ที่อุณหภูมิ 30°C ± .9°C

Dissolve Oxygen (mg / l)	Temp (°C)	Volt (mV)
0	30.2	3.9
1	30.1	3.8
2	30.1	3.7
3	30.1	3.6
4	30.2	3.5
5	30.2	3.4
6	30.1	3.3
7	30.2	3.2
8	30.2	3.1
9	30.1	3.0
10	30.2	2.9

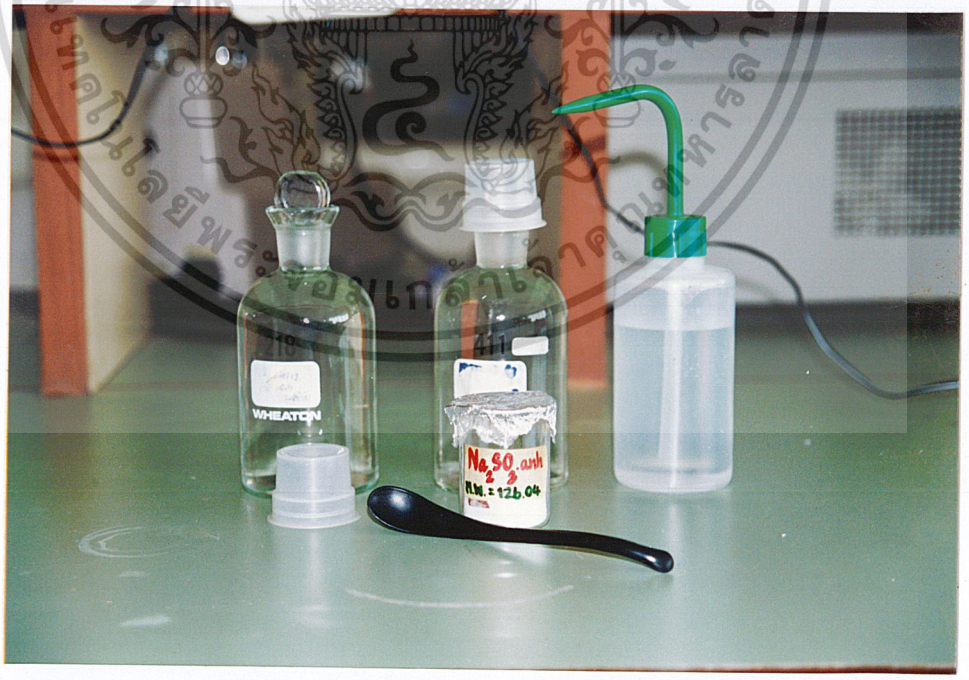
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อทำการวัดค่าแรงดันจากที่หัวโพรบ ผลปรากฏ ค่าออกซิเจนในน้ำจะแปรผกผันกับค่าแรงดันที่วัดได้ คือ เมื่อค่าออกซิเจนในน้ำมีค่าน้อยค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งค่าแรงดันจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณออกซิเจนในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เครื่องวัดออกซิเจนในน้ำมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 ขวด BOD ฝาครอบ ช้อนตักสาร ขวดฉีดน้ำล้างโพรบ และสารโซเดียมซัลไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การเติมออกซิเจนในน้ำโดยการโฟรว์อากาศ



รูปที่ 4.4 ขณะวัดและทำการปรับค่าออกซิเจนในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การวัดค่าออกซิเจนในน้ำ จากน้ำที่ทำการเติมอากาศ



รูปที่ 4.6 วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากโพรบของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการทำงานของหัวโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่างหรือ pH

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองวัด และบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ได้จากค่าความเป็นกรดด่างในน้ำจากหัวโพรบ เพื่อที่จะนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้นำไปเขียนค่าในโปรแกรม เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้บันทึกไว้นี้ ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ผ่านเข้ามาใหม่ เมื่อจุ่มหัวโพรบลงในน้ำวัดค่าความเป็นกรดด่างในน้ำแล้วแสดงค่าตัวเลขออกทางจอแอลซีดี

การทดลองการทำงานของหัวโพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง หรือค่า pH

ลำดับขั้นการทดลอง

1) เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องวัด pH, บีกเกอร์, สารละลาย pH 4, สารละลาย pH 7, ช้อนตักสารเคมี, ดิจิตอลมิเตอร์

2) ตั้งเครื่องมือวัด pH ให้พร้อมใช้งาน

3) ปรับสารละลาย pH ที่ค่าต่างๆที่ควบคุมตามอุณหภูมิห้อง

4) ใช้เครื่องมือวัด pH วัดเทียบดูค่าสารละลายค่าต่างๆ

5) นำหัวโพรบที่เตรียมมาวัดหาค่าแรงดันที่ค่า pH โดยจับมิเตอร์กับขั้วอิเล็กโทรด

6) เปลี่ยนสารละลาย pH ทำการวัดตาม ขั้นตอนที่ 4, 5

7) ทำการวัดที่สารละลาย pH ที่ค่าต่างๆจนครบทุกค่า

ตารางที่ 4.7 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 25°C ± .9°C

pH	Temp (°C)	Volt (V)
0	25.2	0.32
1	25.1	0.30
2	25.1	0.28
3	25.2	0.26
4	25.1	0.24
5	25.2	0.22
6	25.1	0.20
7	25.2	0.18
8	25.1	0.16
9	25.1	0.14
10	25.2	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 26°C ± .9°C

pH	Temp (°C)	Volt (V)
0	26.1	0.32
1	26.2	0.30
2	26.1	0.28
3	26.1	0.26
4	26.2	0.24
5	26.1	0.22
6	26.2	0.20
7	26.2	0.18
8	26.1	0.16
9	26.1	0.14
10	26.2	0.12

ตารางที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 27°C ± .9°C

pH	Temp (°C)	Volt (V)
0	27.2	0.32
1	27.1	0.30
2	27.3	0.28
3	27.2	0.26
4	27.2	0.24
5	27.2	0.22
6	27.1	0.20
7	27.3	0.18
8	27.1	0.16
9	27.2	0.14
10	27.1	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 28°C ± .9°C

pH	Temp (°C)	Volt (V)
0	28.2	0.32
1	28.2	0.30
2	28.2	0.28
3	28.1	0.26
4	28.2	0.24
5	28.1	0.22
6	28.2	0.20
7	28.3	0.18
8	28.2	0.16
9	28.1	0.14
10	28.1	0.12

ตารางที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ 29°C ± .9°C

pH	Temp (°C)	Volt (V)
0	29.2	0.32
1	29.2	0.30
2	29.1	0.28
3	29.1	0.26
4	29.2	0.24
5	29.3	0.22
6	29.1	0.20
7	29.2	0.18
8	29.1	0.16
9	29.1	0.14
10	29.3	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของโพรบ pH ที่อุณหภูมิ $30^{\circ}C \pm .9^{\circ}C$

pH	Temp ($^{\circ}C$)	Volt (V)
0	30.2	0.32
1	30.2	0.30
2	30.1	0.28
3	30.3	0.26
4	30.2	0.24
5	30.1	0.22
6	30.2	0.20
7	30.3	0.18
8	30.1	0.16
9	30.2	0.14
10	30.21	0.12

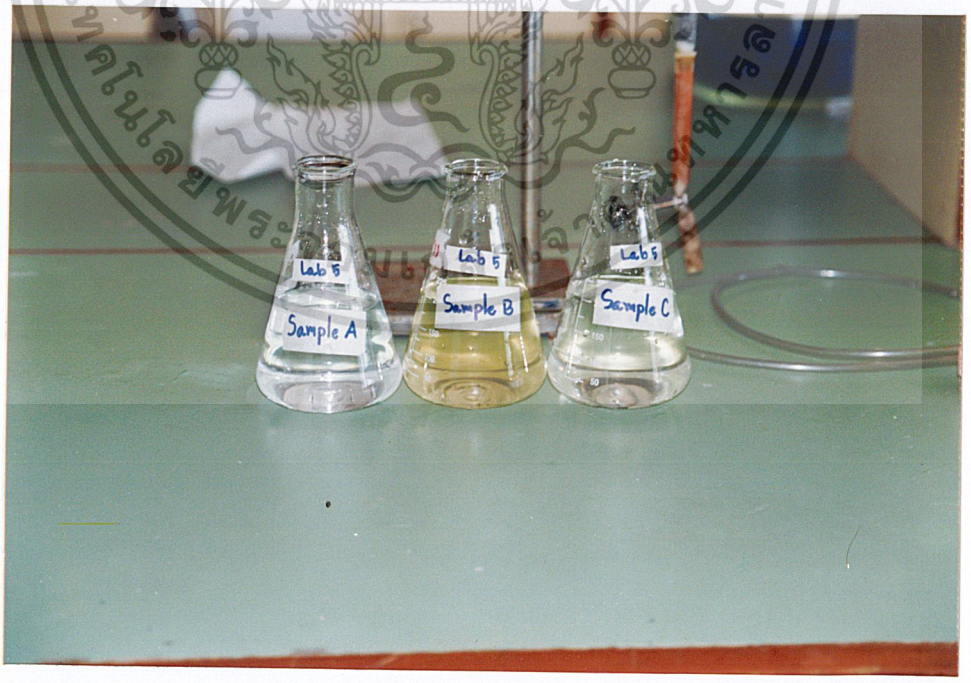
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อทำการวัดค่าแรงดันจากที่หัวโพรบ ผลปรากฏ คือ เมื่อมีค่าความเป็นกรดด่าง เพิ่มขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากโพรบจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปเครื่องวัด pH มาตรฐาน



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างน้ำที่จะทำการวัดและปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ขณะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

4.3 การทดลองการทำงานของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดสอบการทำงานของวงจรตัดต่อไฟฟ้า 220 โวลต์ ใช้วงจรโซลิสสเตทรีเลย์ซึ่งจะตัดต่อไฟฟ้าได้โดยอาศัยการส่งลอจิก "1" เข้าไปที่ขา 1 โซลิดสเตทรีเลย์ ซึ่งเมื่อรับลอจิก "1" เข้ามาวงจรจะทำการต่อวงจรให้ครบวงจร โดยการทริกไตรแอคจากโซลิดสเตทรีเลย์

การทดลองการทำงานของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรสมบูรณ์โซลิดสเตทรีเลย์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

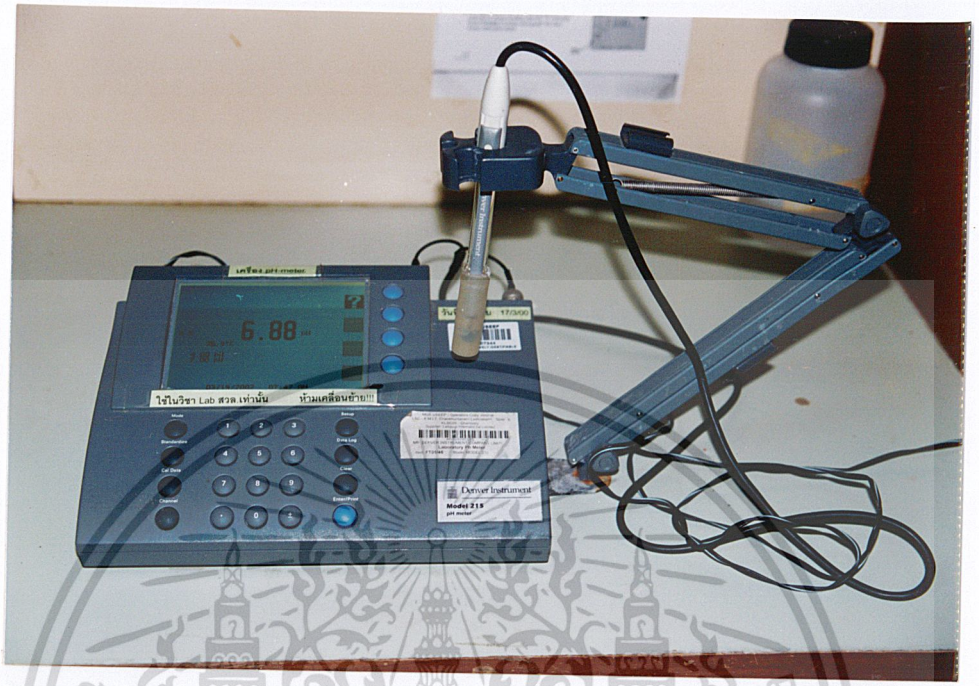
2) นำหลอดไฟแบบใส้มาต่อเป็นโหลดเพื่อแสดงการทำงาน

3) ทำการป้อนลอจิก "1" แล้วสังเกตุหลอดไฟแล้วบันทึกค่าลงในตาราง

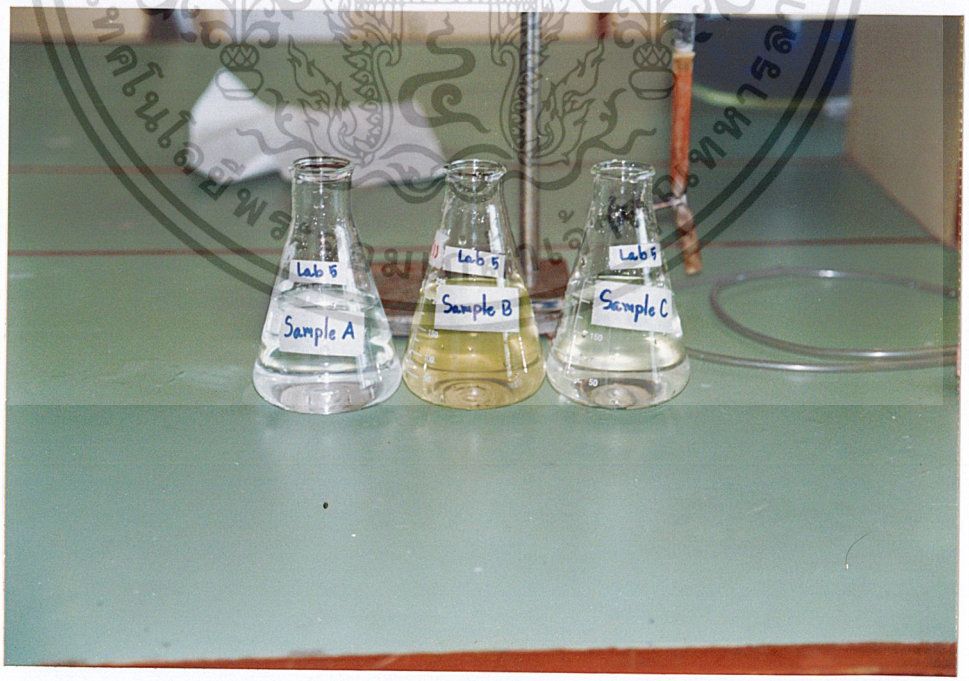
4) ทำการป้อนลอจิก "0" แล้วสังเกตุหลอดไฟแล้วบันทึกค่าลงในตาราง

5) ทำข้อ 3 และ 4 ซ้ำอีกจบครบ 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

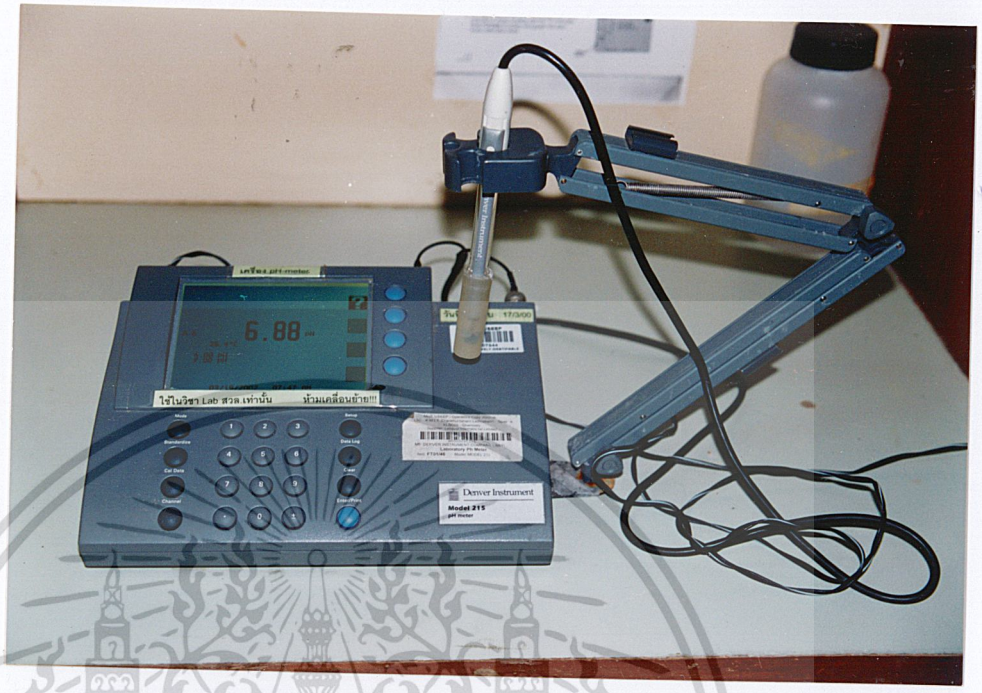


รูปที่ 4.7 รูปเครื่องวัด pH มาตรฐาน

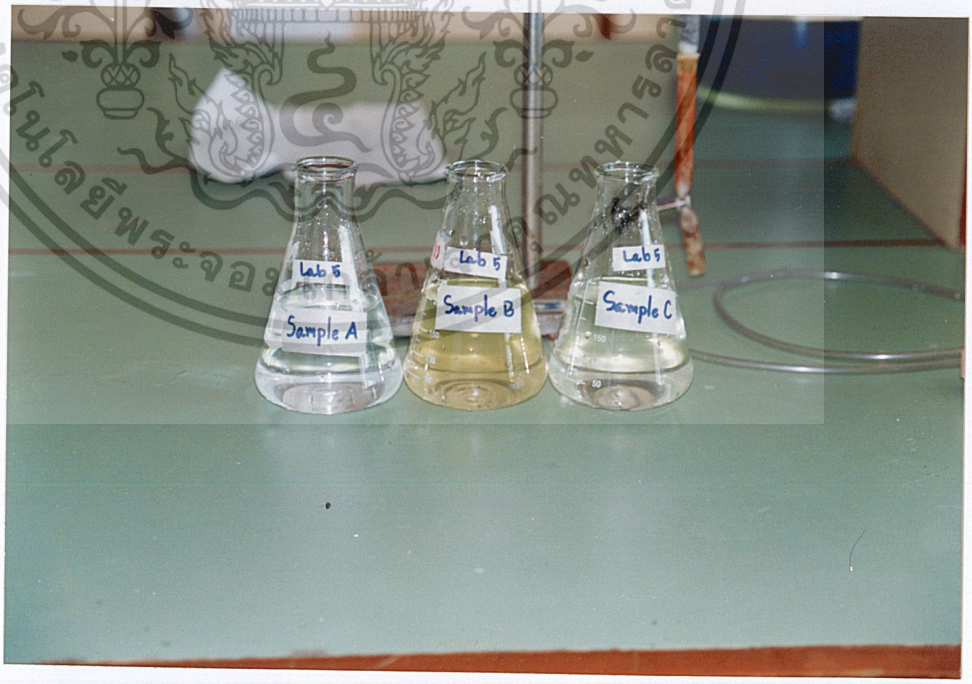


รูปที่ 4.8 ตัวอย่างน้ำที่จะทำการวัดและปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปเครื่องวัด pH มาตรฐาน



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างน้ำที่จะทำการวัดและปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ขณะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

4.3 การทดลองการทำงานของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดสอบการทำงานของวงจรตัดต่อไฟฟ้า 220 โวลต์ ใช้วงจรโซลิสสเตทรีเลย์ซึ่งจะตัดต่อไฟฟ้าได้โดยอาศัยการส่งลอจิก "1" เข้าไปที่ขา 1 โซลิดสเตทรีเลย์ ซึ่งเมื่อรับลอจิก "1" เข้ามาวงจรจะทำการต่อวงจรให้ครบวงจร โดยการทริกไตรแอคจากโซลิดสเตทรีเลย์

การทดลองการทำงานของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ต่อวงจรสมบูรณ์โซลิดสเตทรีเลย์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

2) นำหลอดไฟแบบใส้มาต่อเป็นโหลดเพื่อแสดงการทำงาน

3) ทำการป้อนลอจิก "1" แล้วสังเกตุหลอดไฟแล้วบันทึกค่าลงในตาราง

4) ทำการป้อนลอจิก "0" แล้วสังเกตุหลอดไฟแล้วบันทึกค่าลงในตาราง

5) ทำข้อ 3 และ 4 ซ้ำอีกจบครบ 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงการทำงานของหลอดไฟเมื่อได้รับลอจิก 0 และ 1

สถานะลอจิกที่ป้อน	การทำงานของหลอดไฟ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ
1	หลอดไฟติด
0	หลอดไฟดับ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้แสดงให้ทราบว่าเมื่อได้รับลอจิก “1” วงจรโซลิดสเตทรีเลย์จะทำงาน และเมื่อได้รับลอจิก “0” วงจรโซลิดสเตทรีเลย์จะไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการทำงานของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

4.4.1 การทดลองการเทียบค่าออกซิเจนในน้ำของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำกับเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำมาตรฐาน

การทดลองส่วนนี้เป็นการทดลองการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำมาทำการวัดค่าเพื่อทดสอบการใช้งานและความเที่ยงตรง โดยการวัดค่าออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานโดยทำการวัดในน้ำตัวอย่างที่ทำการเตรียมไว้

ลำดับขั้นการทดลอง

1) เตรียมเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำมาตรฐานให้พร้อม

2) ทำการปรับค่าออกซิเจนในน้ำให้ได้ค่าตามต้องการ

3) ทำการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือวัดและควบคุมออกซิเจนในน้ำและเครื่องวัดออกซิเจนมาตรฐานทำการวัดค่าออกซิเจนในน้ำที่ปรับค่าแล้วทำการจดบันทึกค่าที่แสดง

ตารางที่ 4.14 ค่าออกซิเจนที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องวัดออกซิเจนมาตรฐาน

ค่าที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำมาตรฐาน
0 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร
1 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร
2 มิลลิกรัมต่อลิตร	2.08 มิลลิกรัมต่อลิตร
3 มิลลิกรัมต่อลิตร	3 .22 มิลลิกรัมต่อลิตร
4 มิลลิกรัมต่อลิตร	4 .05 มิลลิกรัมต่อลิตร
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	5.06 มิลลิกรัมต่อลิตร
6 มิลลิกรัมต่อลิตร	6 .10 มิลลิกรัมต่อลิตร
7 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.12 มิลลิกรัมต่อลิตร
8 มิลลิกรัมต่อลิตร	8.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
9 มิลลิกรัมต่อลิตร	9 .11 มิลลิกรัมต่อลิตร
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	10.09 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนแสดงค่าหลักแรกได้ตรงกับเครื่องวัดออกซิเจนมาตรฐานซึ่งวัดและอ่านค่าออกมาได้

4.4.2 การทดลองการเทียบค่าความเป็นกรดด่างในน้ำหรือค่า pH ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำกับเครื่องวัด pHมาตรฐาน

การทดลองส่วนนี้เป็นการทดลองการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำมาทำการวัดค่าเพื่อทดสอบการใช้งานและความเที่ยงตรง โดยการวัดค่าความเป็นกรดด่างในน้ำเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานโดยทำการวัดในน้ำตัวอย่างที่ทำการเตรียมไว้ โดยวัดค่าพร้อมกัน

ลำดับขั้นการทดลอง

1) เตรียมเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่างมาตรฐานให้พร้อม

2) ทำการปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

3) ทำการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือวัด และควบคุมออกซิเจนในน้ำ และเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่างแบบมาตรฐานทำการวัดค่าความเป็นกรดด่างในน้ำที่ปรับค่าแล้วทำการวัดและจดบันทึกค่าที่แสดง

ตารางที่ 4.15 ค่าความเป็นกรดด่างที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องวัด pH มาตรฐาน

ค่าที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดpHในน้ำมาตรฐาน
pH 0	pH 0.2
pH 1	pH 1.09
pH 2	pH 2.08
pH 3	pH 3 .05
pH 4	pH 4 .05
pH 5	pH 5.06
pH 6	pH 6 .03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ค่าความเป็นกรดด่างที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำเทียบกับเครื่องวัด pH มาตรฐาน

ค่าที่วัดได้ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ	ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำมาตรฐาน
pH 7	pH 7.02
pH 8	pH 8.04
pH 9	pH 9 .01
pH 10	pH 10.07

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนแสดงค่าหลักแรกได้ตรงกับเครื่องวัด pH มาตรฐานซึ่งวัดและอ่านค่าออกมาได้

4.4.3 การทดลองการทำงานของชุดขับเคลื่อนโพรบของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

การทดลองส่วนนี้เป็นการทดลองการทำงานของชุดขับเคลื่อนโพรบให้ทำการขับเคลื่นขึ้นลงเมื่อถึงเวลาที่กำหนด โดยจะทำงานทุกๆ 15 นาที โดยโพรบจะจุ่มลงในน้ำ 2 นาที และทำการวัดค่าออกซิเจนเมื่อครบ 2 นาที มอเตอร์จะหมุน ขับเคลื่อนโพรบขึ้นมาจากน้ำแล้วรอการทำงานต่อไป

ลำดับขั้นการทดลอง

1) ติดตั้งชุดขับเคลื่อนให้พร้อมทำงาน

2) สั่งเครื่องทำงานโดยจากโปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์ทำงานทุกๆ 15 นาที โดยการขับเคลื่อนโพรบลงน้ำและอยู่ในน้ำเป็นเวลา 2 นาที

3) สังเกตการทำงานและจดบันทึก

4) ให้เครื่องทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและบันทึกการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงการทำงานของชุดขับเคลื่อนโพรบ

เวลาที่เครื่องทำงาน	สภาวะการทำงาน
11.00 น.	เครื่องเริ่มทำงาน
11.15 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบลงน้ำ
11.17 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบขึ้นจากน้ำ
11.32 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบลงน้ำ
11.34 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบขึ้นจากน้ำ
11.49 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบลงน้ำ
11.51 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบขึ้นจากน้ำ
12.06 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบลงน้ำ
12.08 น.	ชุดขับเคลื่อนทำงานเคลื่อนโพรบขึ้นจากน้ำ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าชุดขับเคลื่อนทำงานตามที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้

4.4.4 การทดลองการทำงานของชุดกังหันตีน้ำและวงจรโซลิดสเตทรีเลย์ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

การทดลองส่วนนี้เป็นการทดลองการทำงานของชุดกังหันตีน้ำของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยเครื่องควบคุมจะสั่งให้กังหันตีน้ำเมื่อถึงค่าออกซิเจนที่ได้ตั้งไว้

ลำดับขั้นการทดลอง

1) เตรียมตัวอย่างน้ำที่ทำการปรับค่าออกซิเจนในน้ำให้ได้ค่าตามต้องการ

2) ตั้งค่าออกซิเจนให้กับเครื่อง

3) จุ่มโพรบลงในน้ำแล้วสังเกตกังหันตีน้ำ

4) ทำการบันทึก

5) ทำตามขั้นตอนที่ 2 – 4 โดยเปลี่ยนน้ำที่มีค่าออกซิเจนต่างไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 แสดงการทำงานของชุดกังหันตีน้ำและวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

ค่าออกซิเจนที่ตั้ง	ค่าออกซิเจนในน้ำ	การทำงานของกังหันตีน้ำ
4 mg / l	3 mg / l	ทำงาน
4 mg / l	4 mg / l	ไม่ทำงาน
4 mg / l	5 mg / l	ไม่ทำงาน
5 mg / l	4 mg / l	ทำงาน
5 mg / l	5 mg / l	ไม่ทำงาน
5 mg / l	6 mg / l	ไม่ทำงาน
6 mg / l	5 mg / l	ทำงาน
6 mg / l	6 mg / l	ไม่ทำงาน
6 mg / l	7 mg / l	ไม่ทำงาน

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่ากังหันตีน้ำจะทำงานเมื่อค่าออกซิเจนในน้ำมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ จะพบว่าเครื่องสามารถทำงานควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำได้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกในการทำงานมากขึ้นเนื่องจากเครื่องถูกโปรแกรมให้ทำงานเองตามอัตโนมัติและมีราคาถูกกว่าท้องตลาดทั่วไปมาก

ข้อดี ของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ คือ มีความสะดวกในการใช้งานโดยไม่ต้องคอยเฝ้าวัดปริมาณออกซิเจนให้ยุ่งยาก โดยเครื่องเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ นี้จะสามารถควบคุมการทำงานของตัวมันเองโดยอัตโนมัติได้ และมีราคาถูกกว่าเครื่องที่มีใช้ในปัจจุบันมาก

ข้อจำกัด ของเครื่องมือวัด และควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ คือ ไม่สามารถที่จะแสดงค่าได้ละเอียดถึง 3 หลักโดยเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำจะแสดงค่าเพียง 1 หลักครึ่ง เท่านั้น เนื่องจากต้องใช้เวลาในการทดลองโพรบเป็นเวลานานเพราะค่าที่ได้นั้นต้องละเอียดซึ่งต้องทดลองเป็นเวลาหลายเดือน

5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

ในการจัดทำเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) ปัญหา การจัดหาโพรบหาซื้อได้ยากและมีราคาแพง

แนวทางการแก้ไข ตรวจสอบราคาและคุณสมบัติของโพร๊บจากบริษัทต่างๆ

2) ปัญหา แรงดันทางเอาต์พุตจากโพรบมีค่าแรงดันต่ำ

แนวทางการแก้ไข ต่อวงจรขยายแรงดันเพื่อให้ค่าแรงดันเพิ่มขึ้น

3) ปัญหา ค่าแรงดันจากโพรบที่ค่าต่างๆ นั้นไม่ทราบค่า

แนวทางการแก้ไข ทำการทดลองเทียบค่าแรงดันที่ค่าต่างๆ กับเครื่องวัดมาตรฐาน โดยการทดลองระบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

1) ควรให้สามารถแสดงค่าได้ละเอียดมากกว่านี้

2) ควรมีการทดลองเพื่อหาค่าและทำการส่งสอบเทียบ

3) ควรติดต่อขอข้อมูลจากสถาบันวิจัยต่างๆ ให้มาก

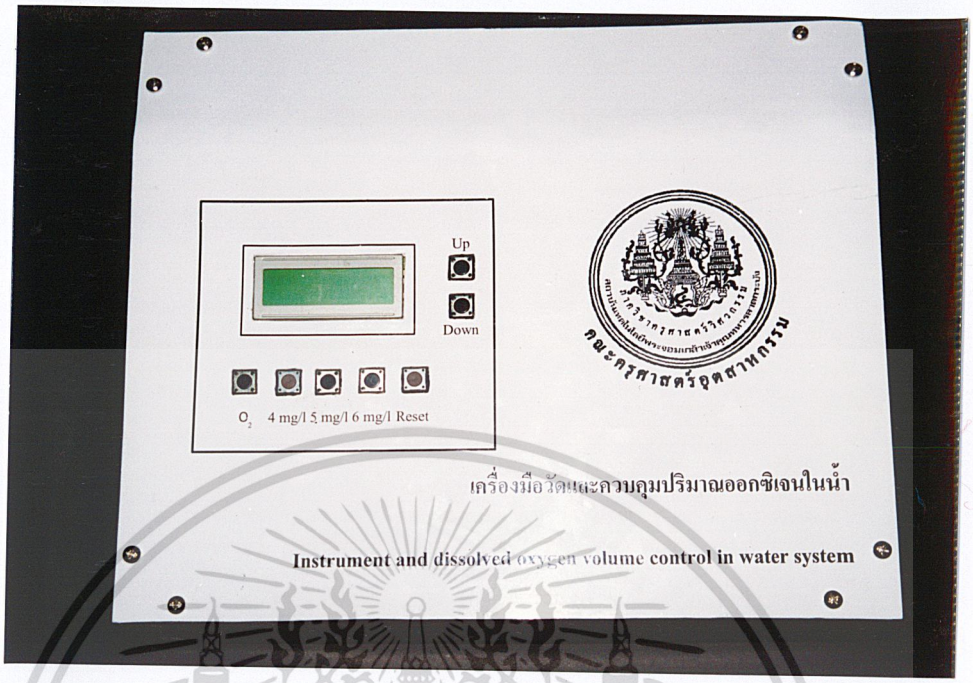
4) ควรให้เครื่องสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลหรือสั่งงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

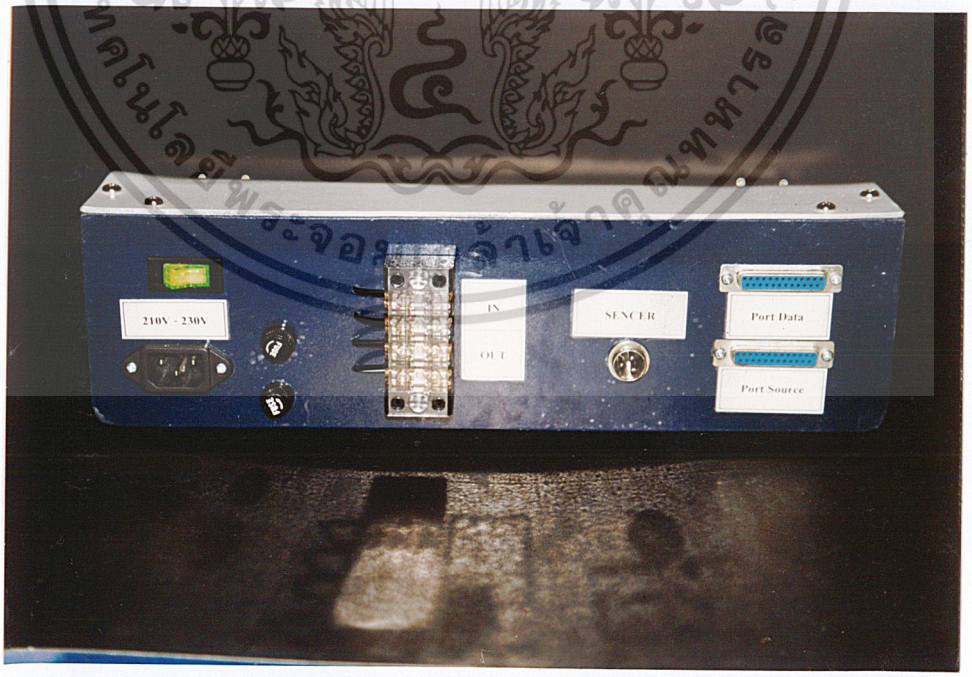


ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ด้านหน้าของกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

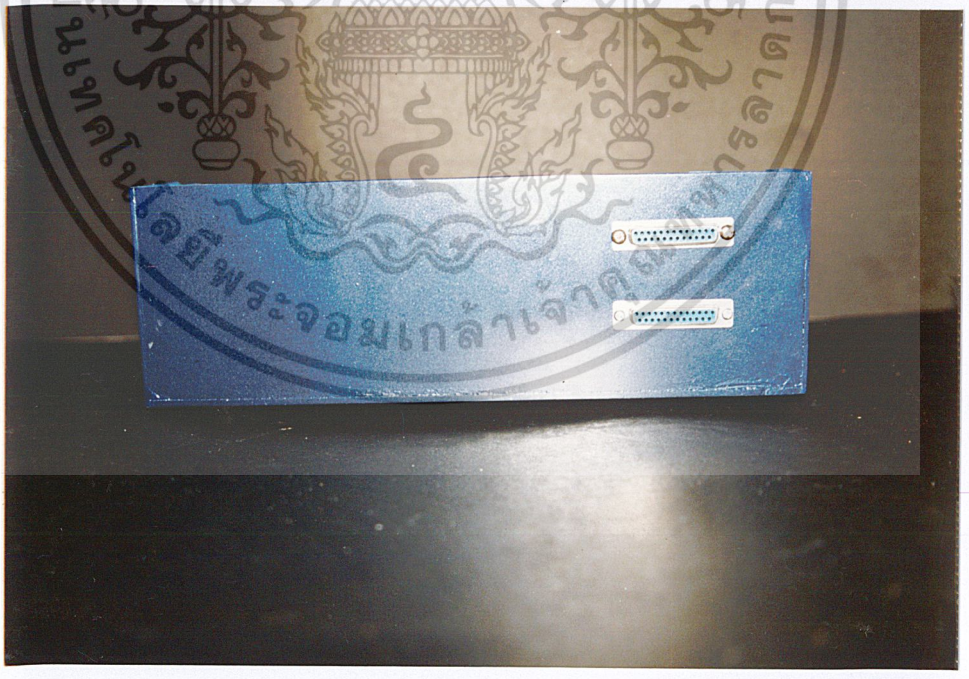


รูปที่ ก.2 ด้านหลังของกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

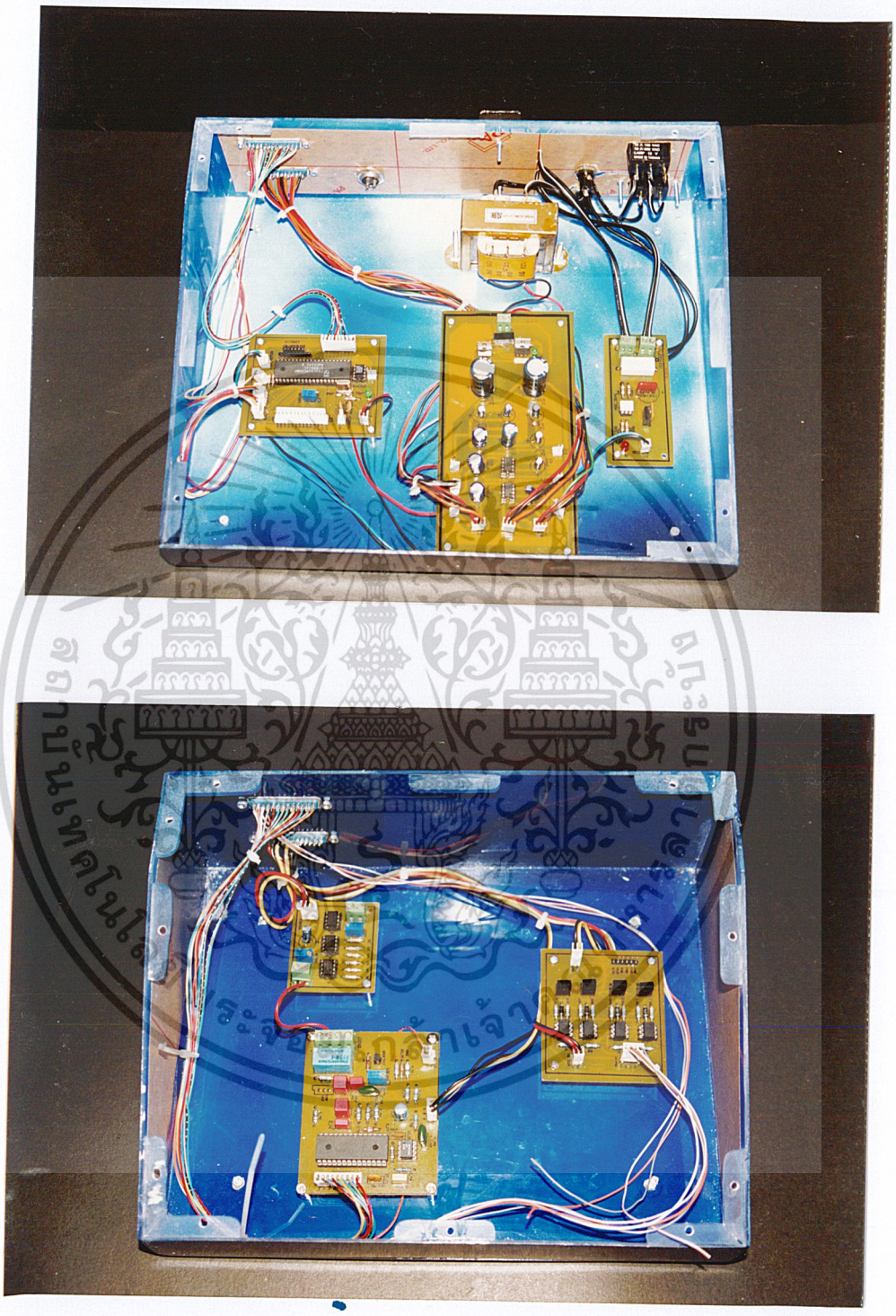


รูปที่ ก.3 ด้านหน้าของกล่องควบคุมชุดขับเคลื่อนและชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล



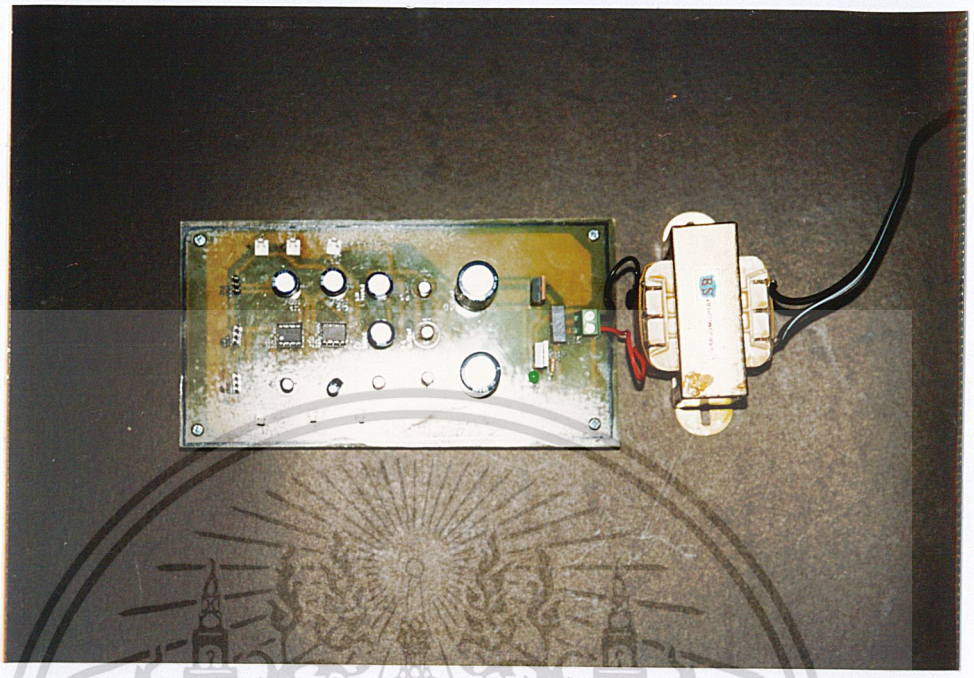
รูปที่ ก.4 ด้านหลังของกล่องควบคุมชุดขับเคลื่อนและชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

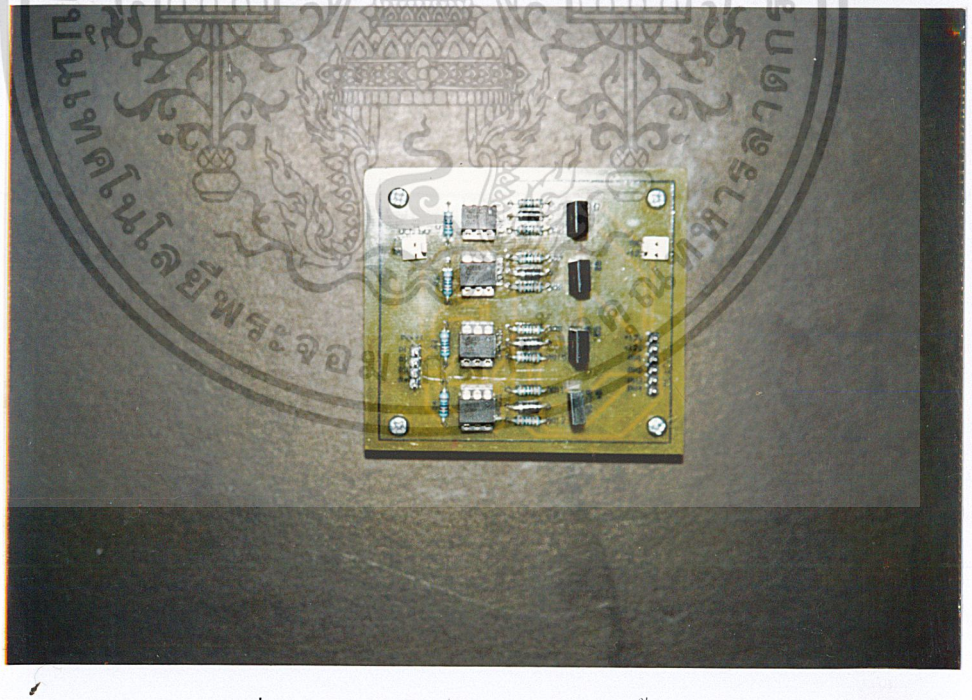


รูปที่ ก.6 การติดตั้งภายในของกล่องควบคุมชุดขับเคลื่อนและชุดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

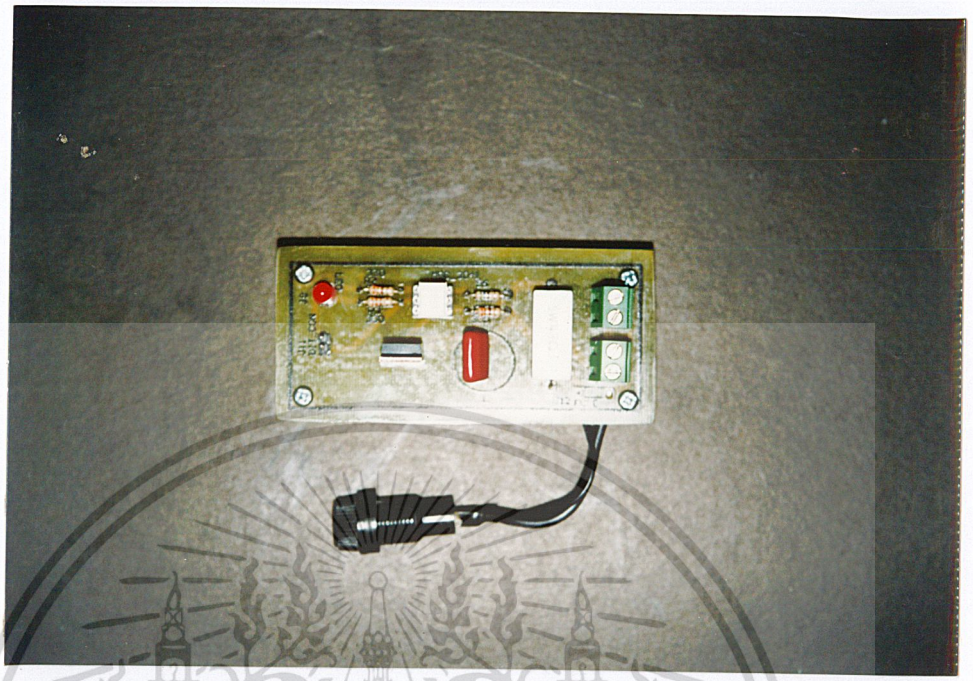


รูปที่ ก.7 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคจ่ายไฟ

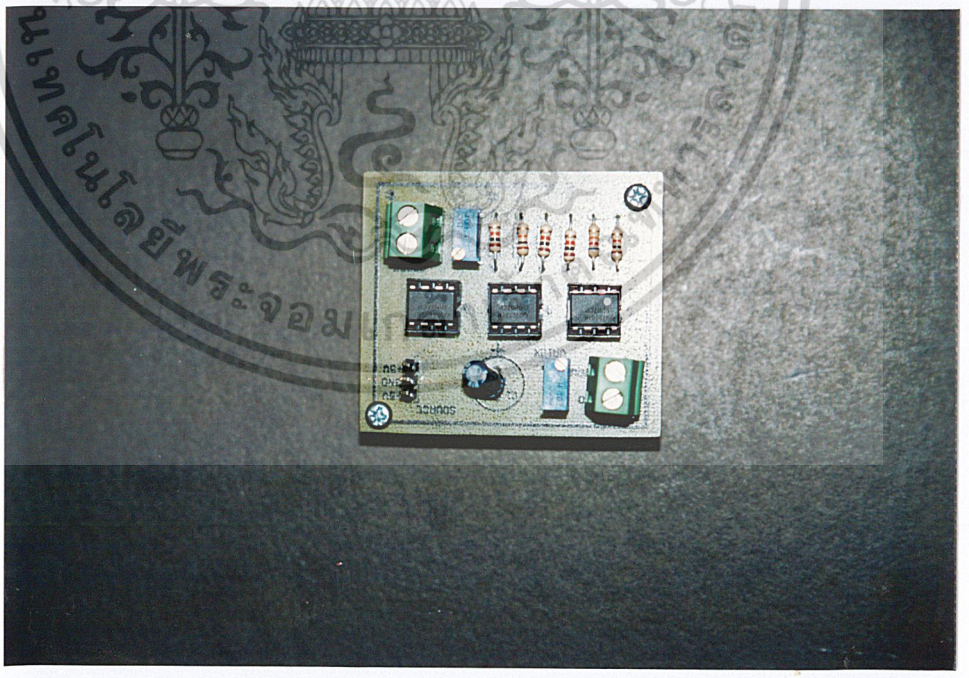


รูปที่ ก.8 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

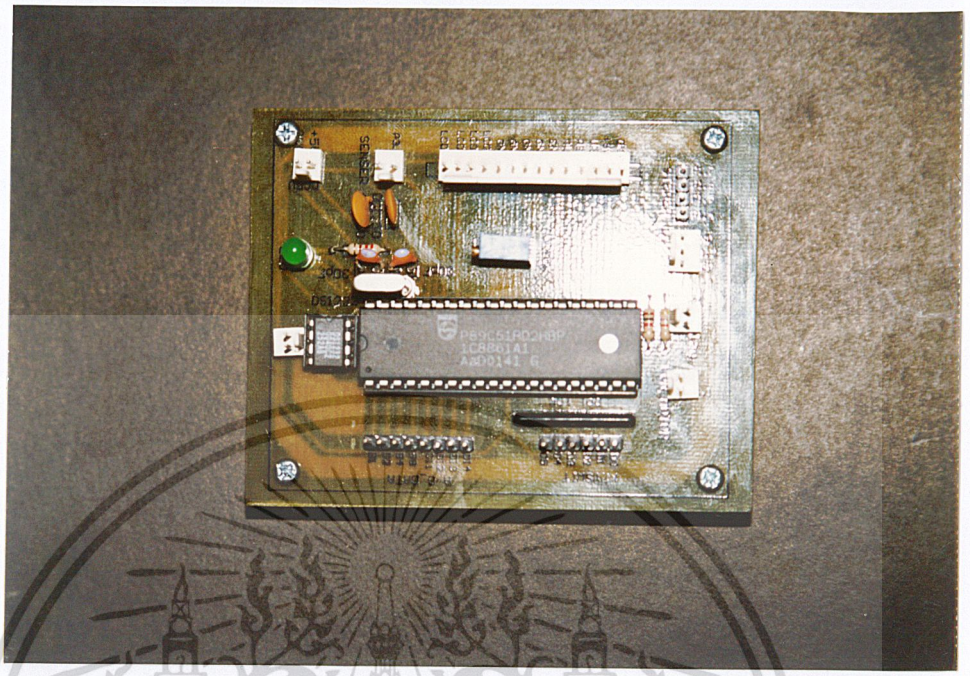


รูปที่ ก.9 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคตัดต่อไฟฟ้า 220 โวลต์

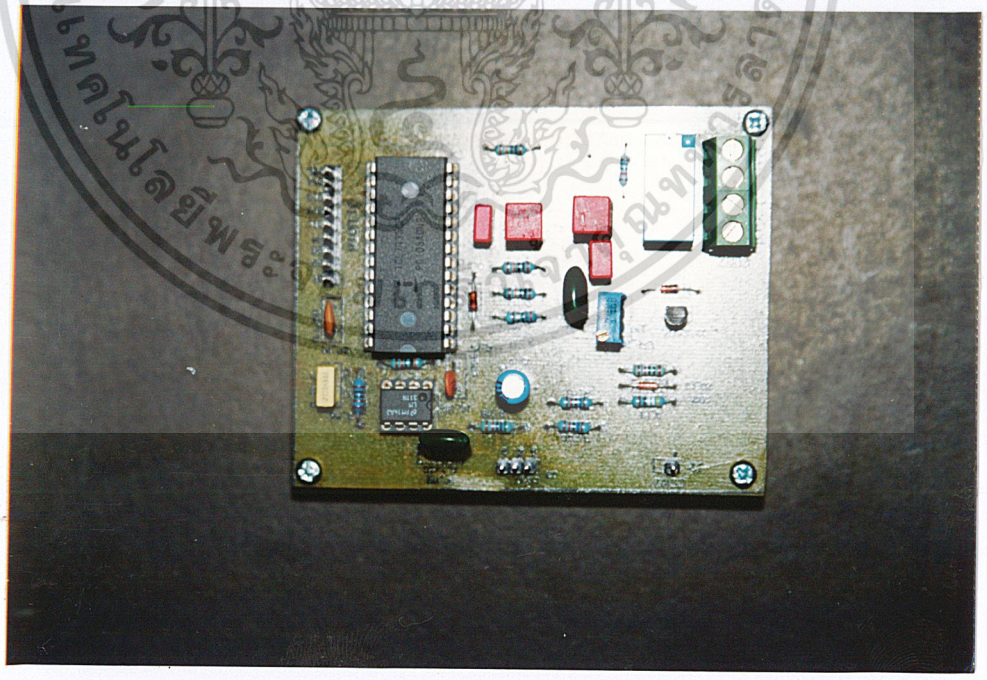


รูปที่ ก.10 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคขยายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

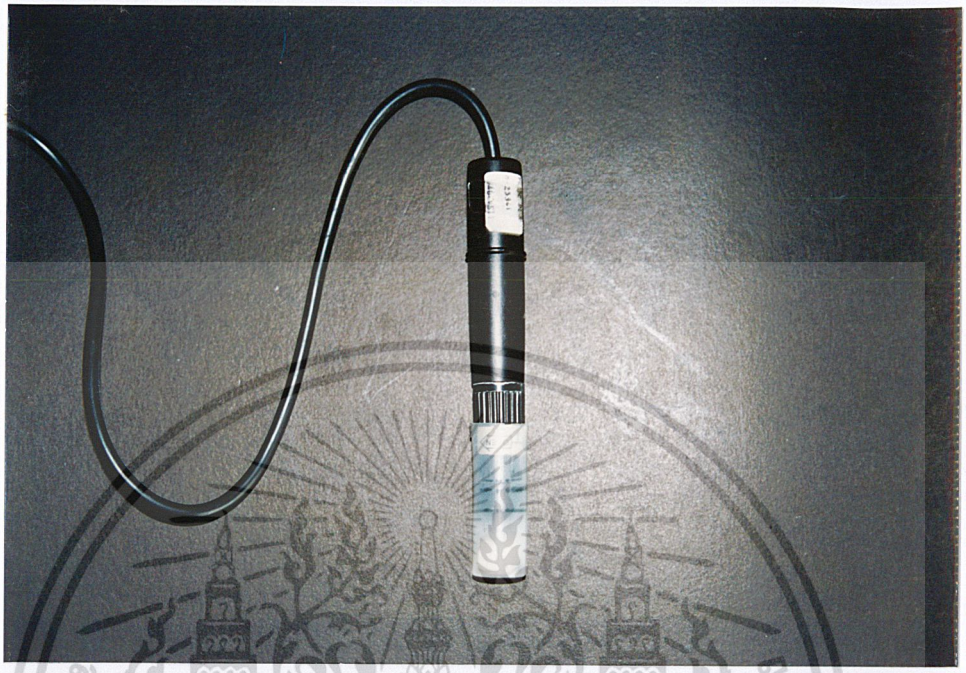


รูปที่ ก.11 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุมคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ก.12 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

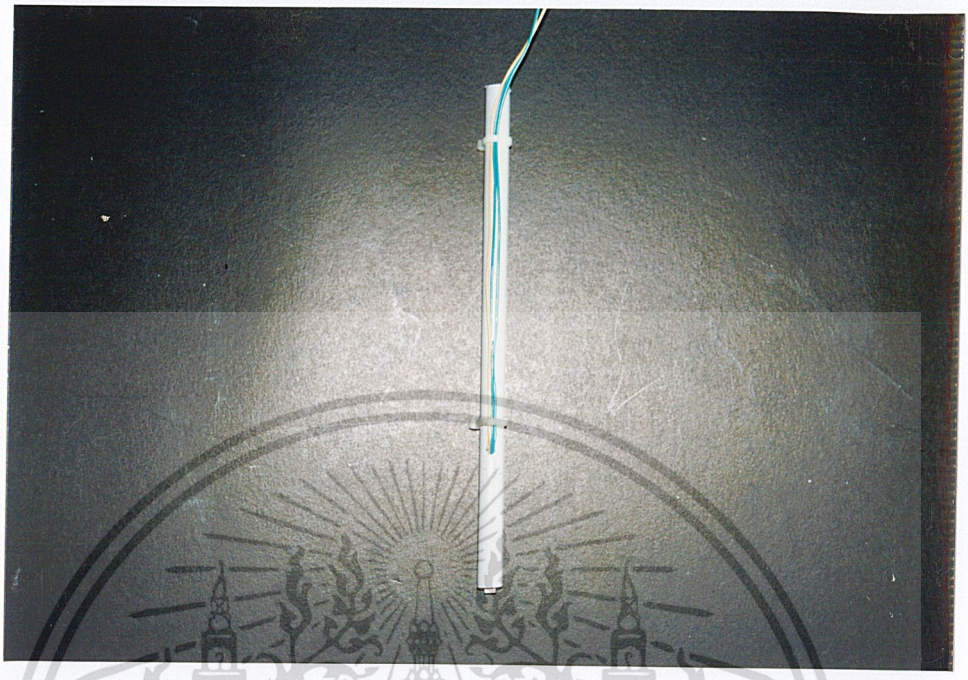


รูปที่ ก.13 โพรบออกซิเจนในน้ำ



รูปที่ ก.14 โพรบวัดค่าความเป็นกรดด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



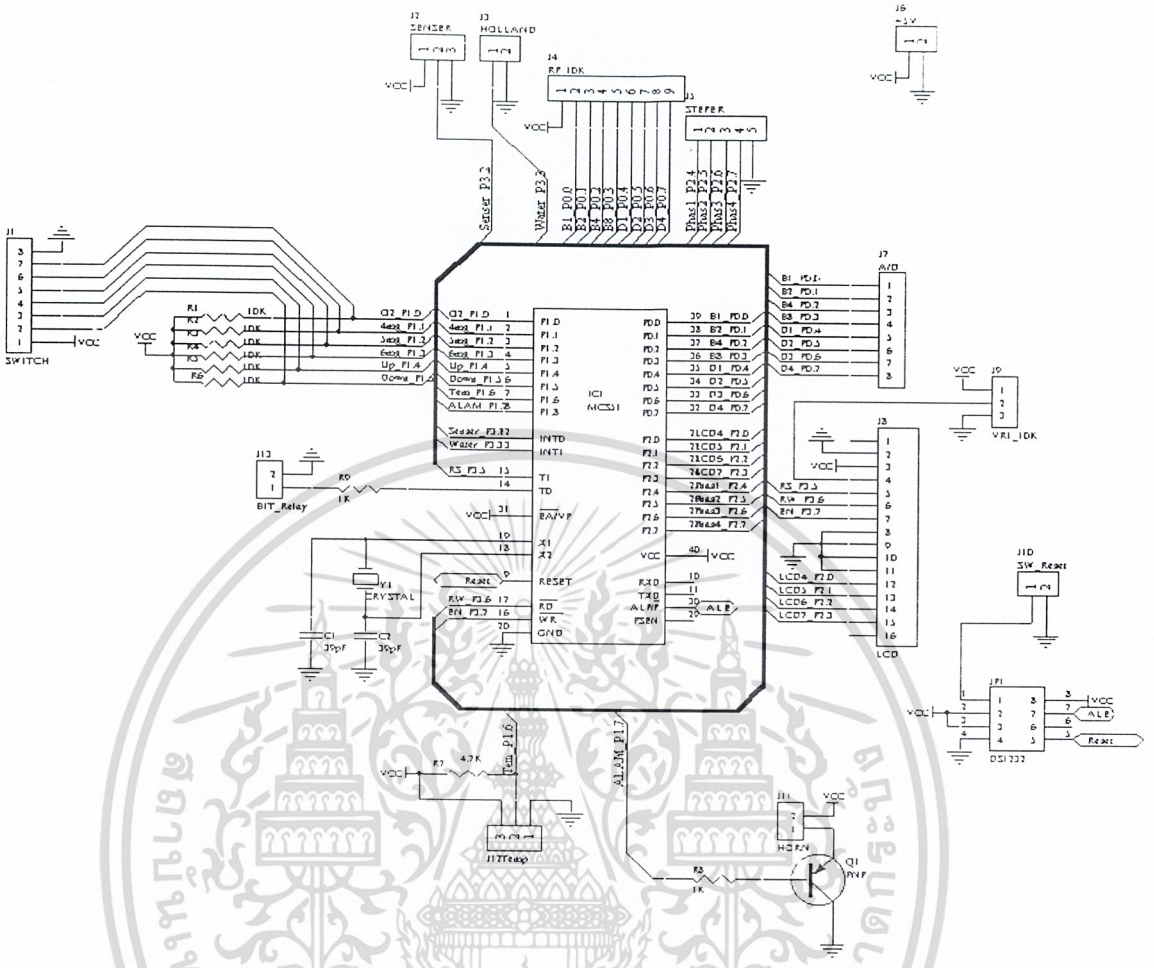
รูปที่ ก.15 หัววัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

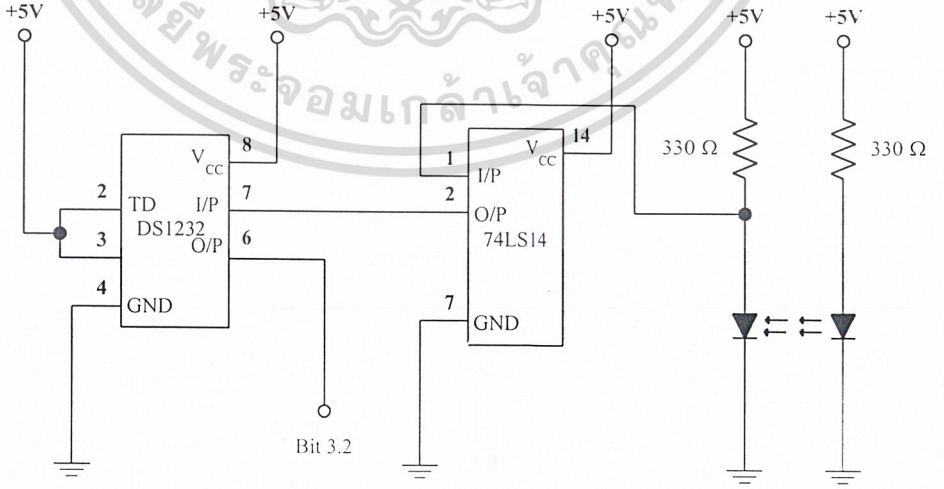
ภาคผนวก ข

วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

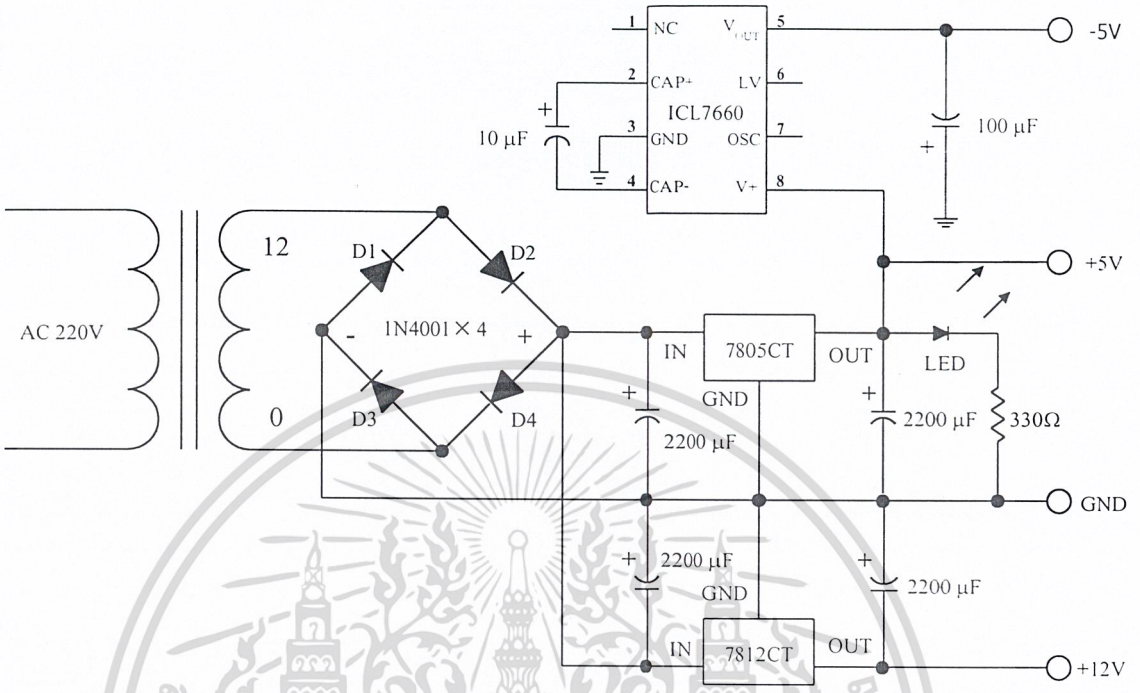


รูปที่ ข.1 วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

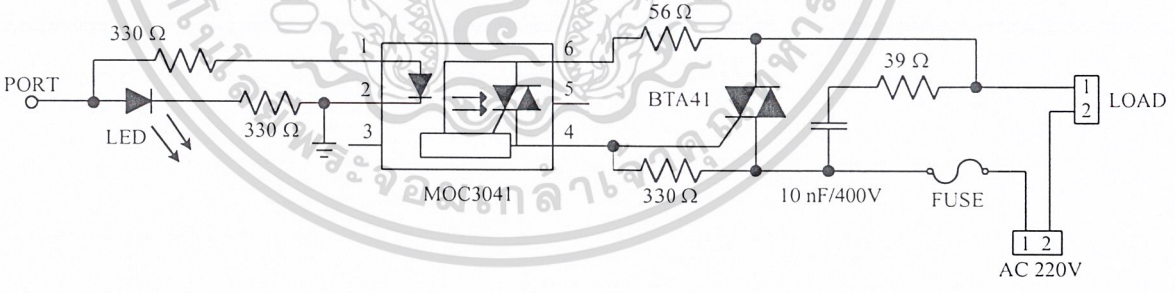


รูปที่ ข.2 วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

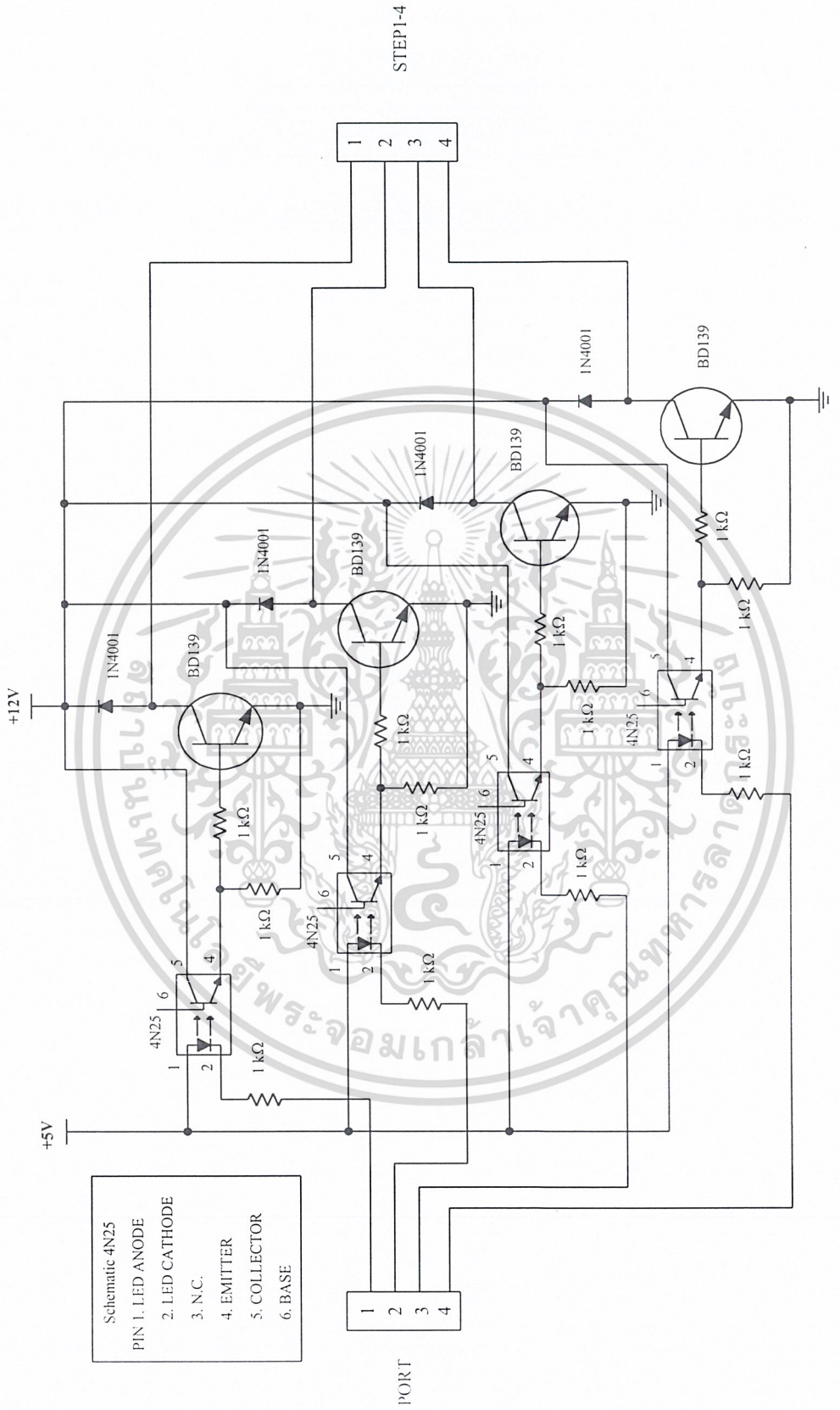


รูปที่ ข.3 วงจรภาคจ่ายไฟ



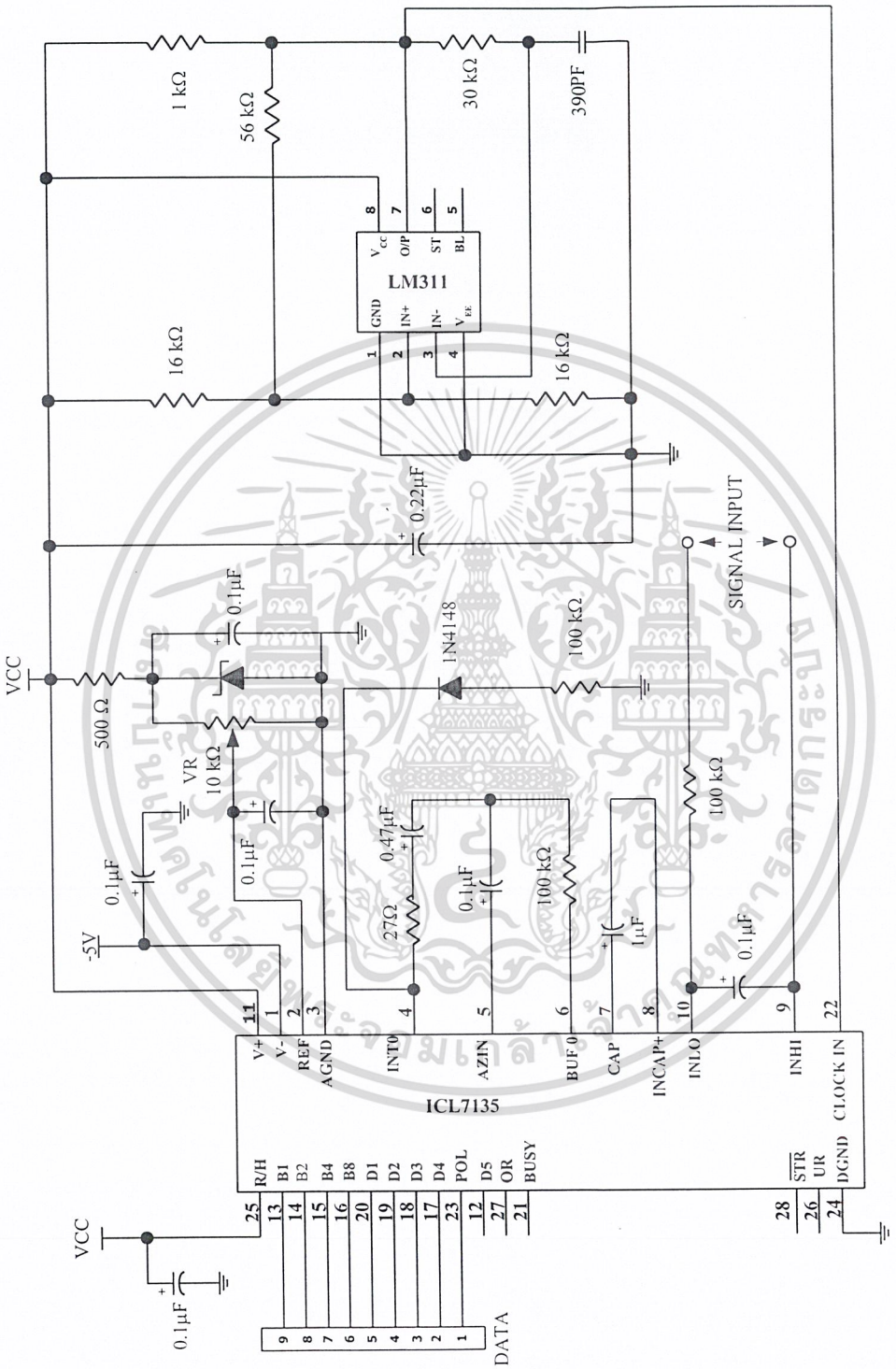
รูปที่ ข.4 วงจรสมบูรณ์โซลิดสเตทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



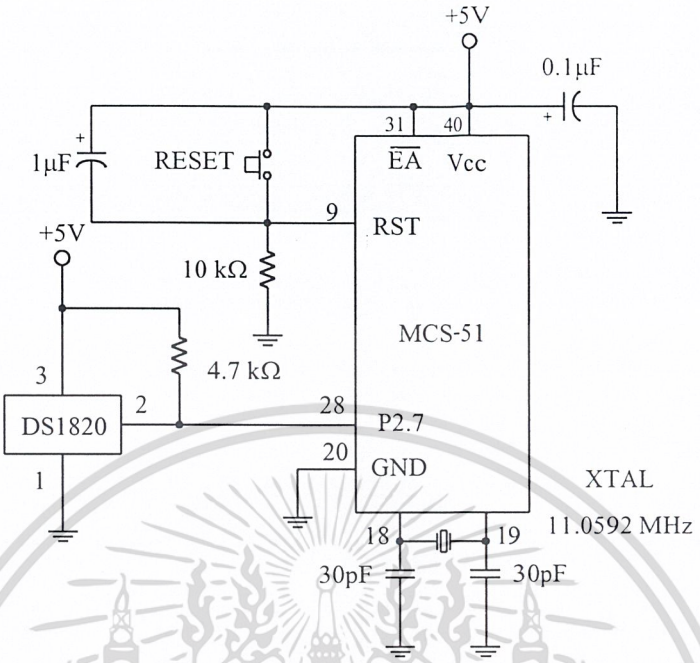
รูปที่ ข.5 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

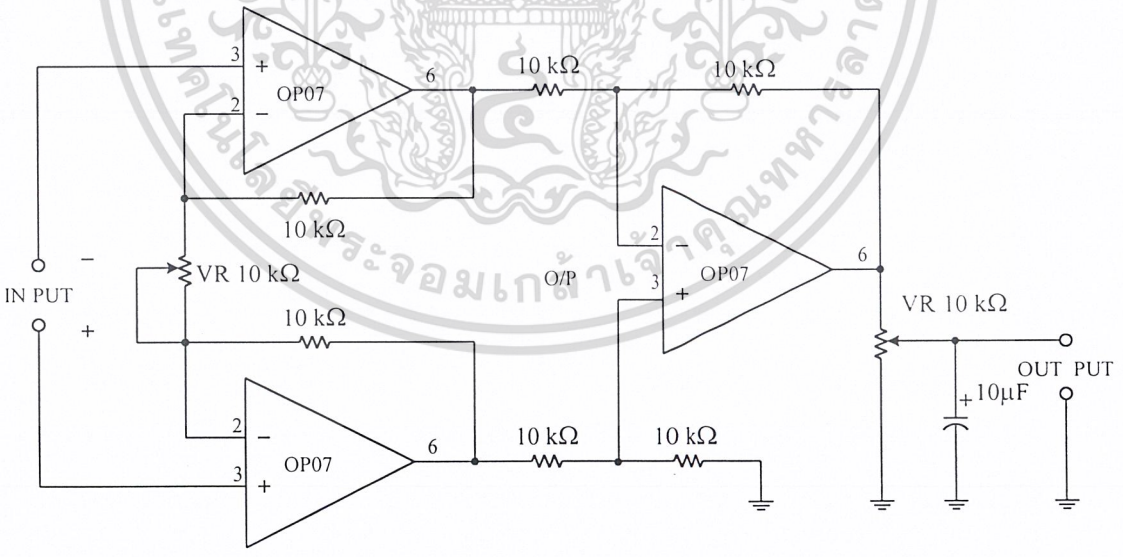


รูปที่ ง.1.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

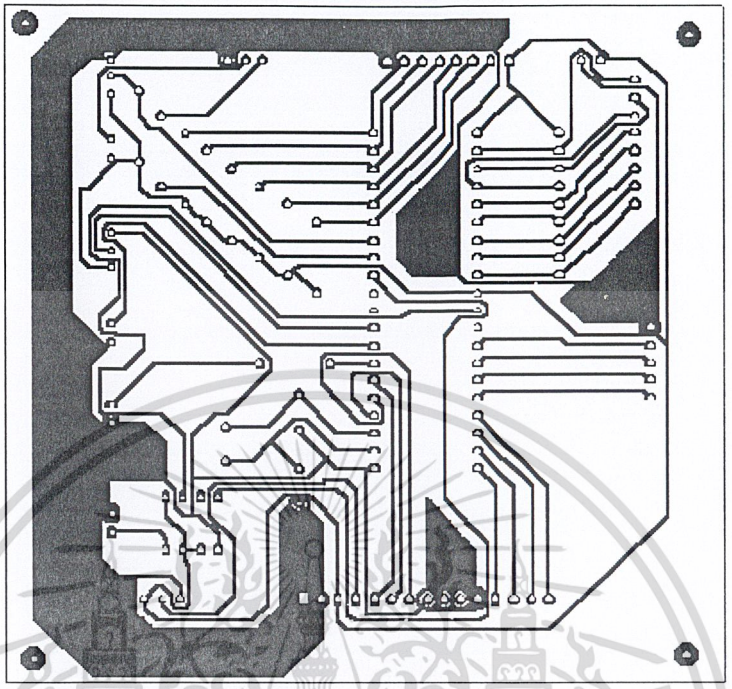


รูปที่ ข.7 วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ

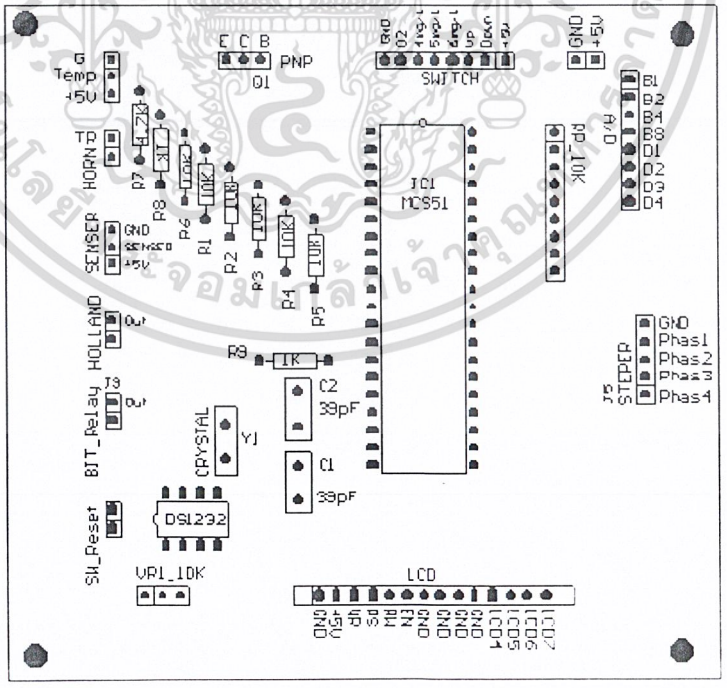


รูปที่ ข.8 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

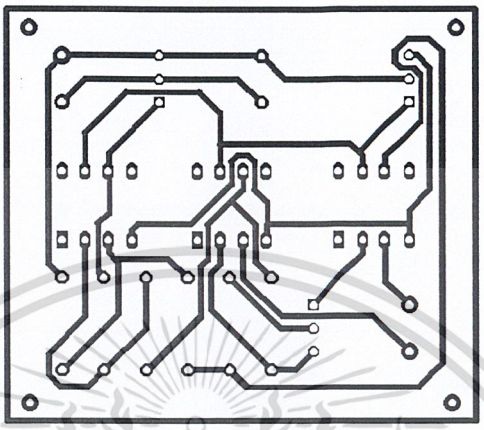


รูปที่ ข.9 ลายวงจรพิมพ์ของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

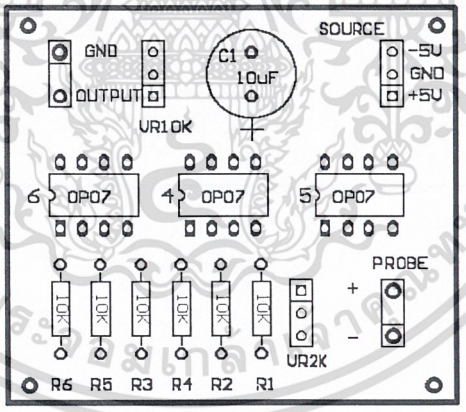


รูปที่ ข.10 การวางอุปกรณ์ของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

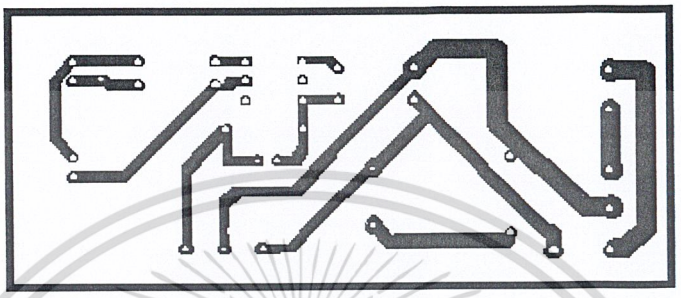


รูปที่ ข.11 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรขยายแรงดัน

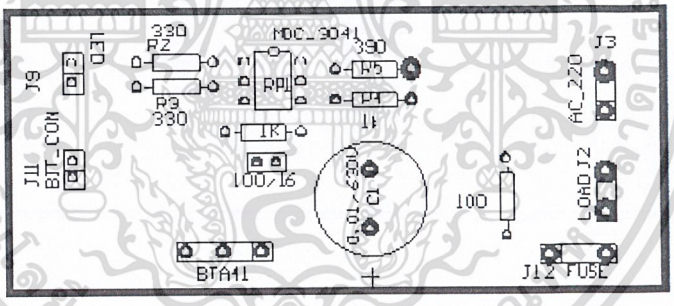


รูปที่ ข.12 การวางอุปกรณ์ของวงจรขยายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

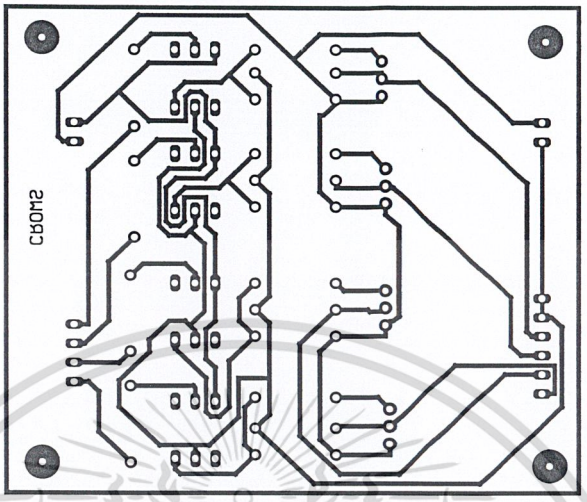


รูปที่ ข.13 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

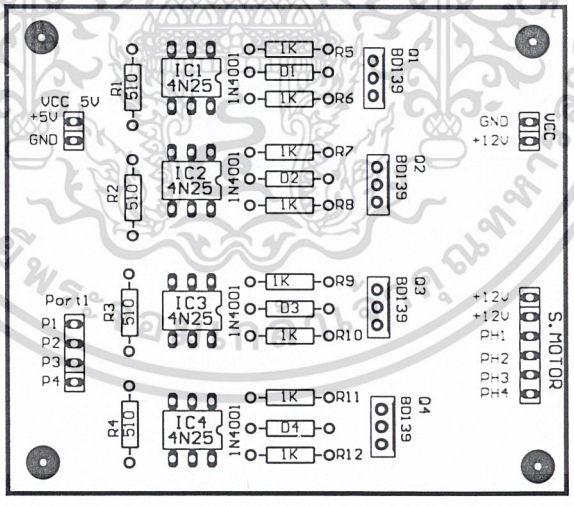


รูปที่ ข.14 การวางอุปกรณ์ของวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

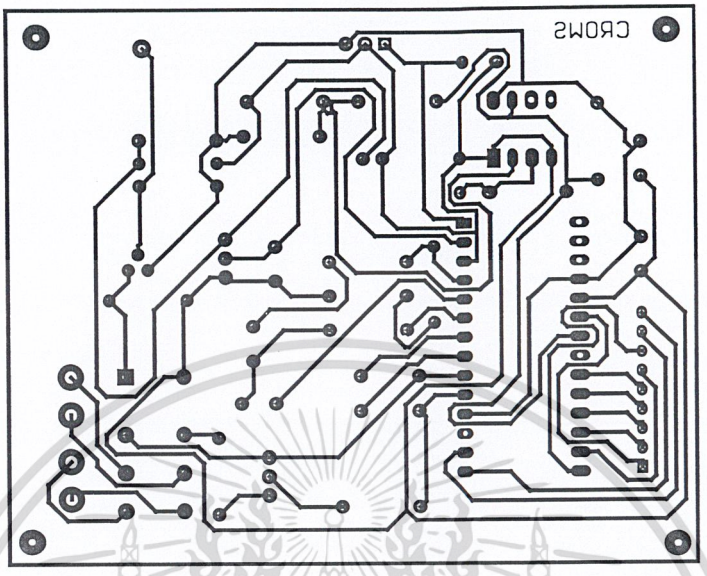


รูปที่ ข.15 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

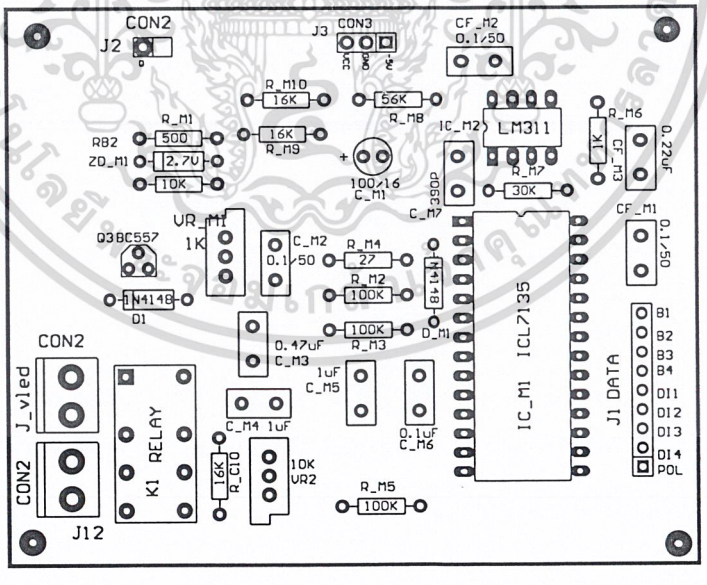


รูปที่ ข.16 การวางอุปกรณ์ของวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

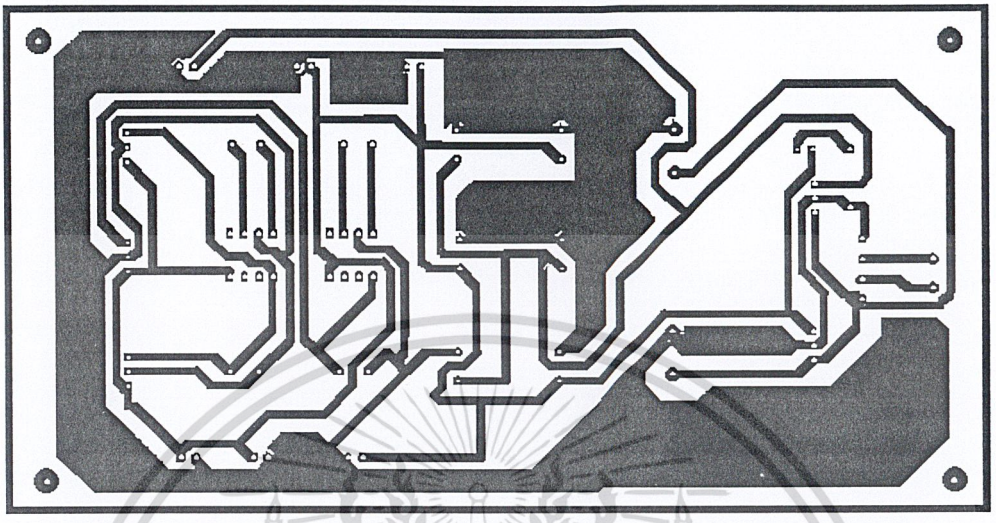


รูปที่ ข.17 ลายวงจรพิมพ์วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

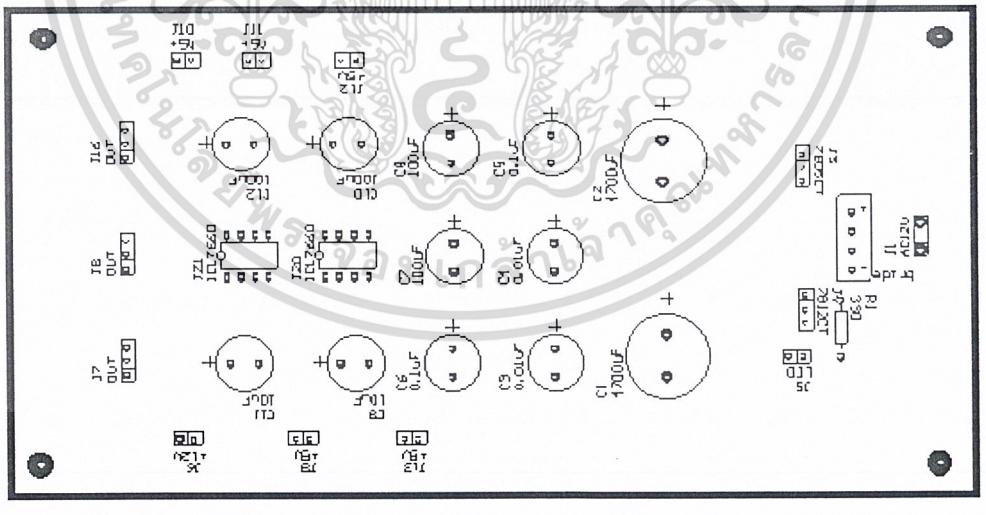


รูปที่ ข.18 การวางอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

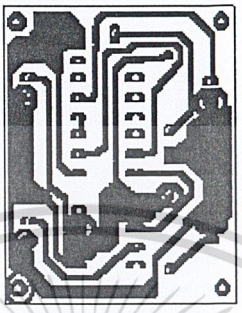


รูปที่ ข.19 ลายวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายไฟ

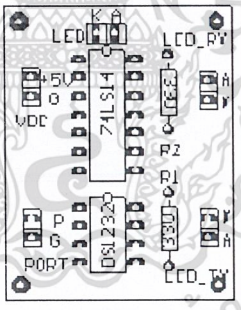


รูปที่ ข.20 การวางอุปกรณ์วงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.21 ลายวงจรพิมพ์วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์

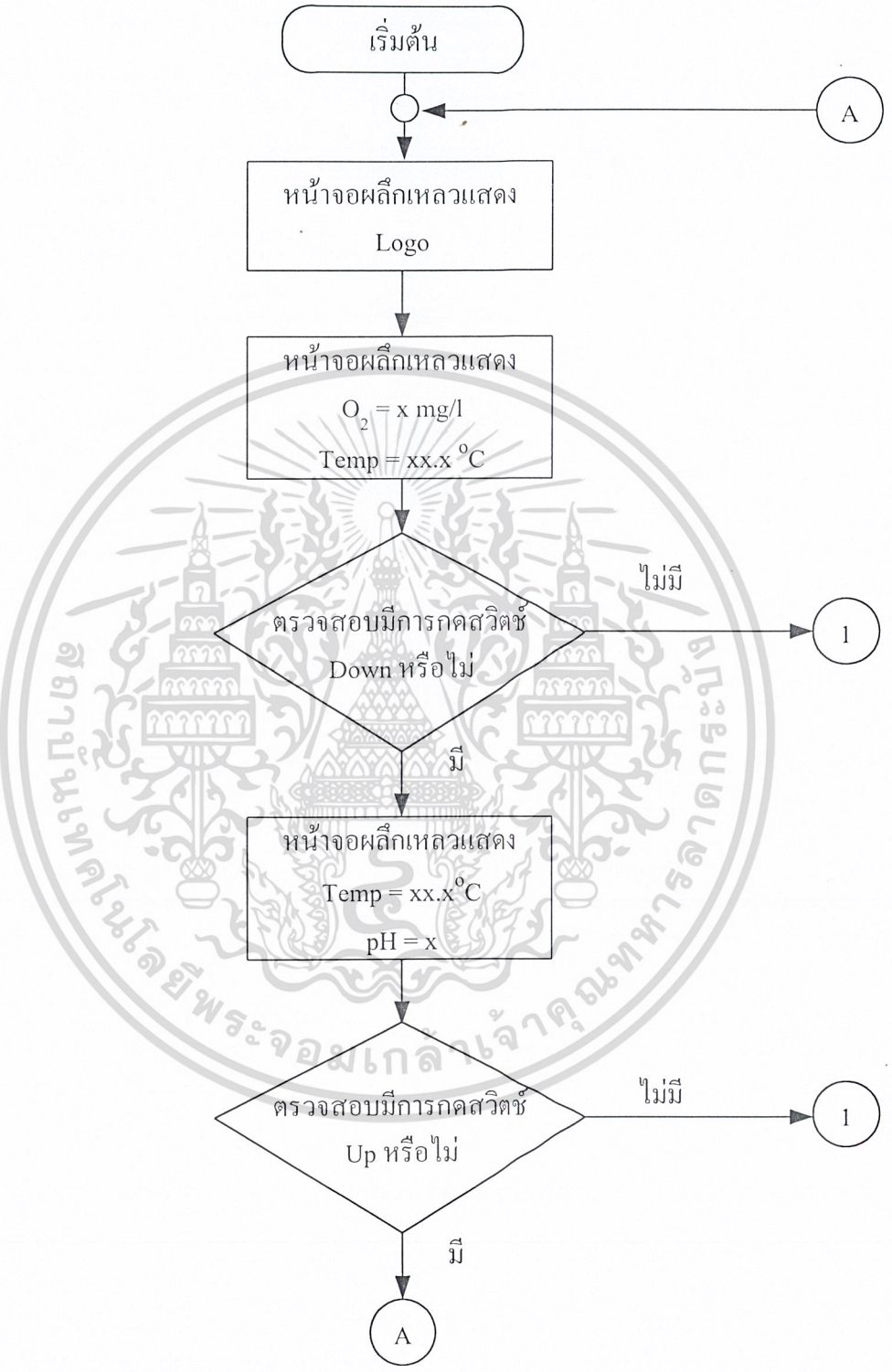


รูปที่ ข.22 การวางอุปกรณ์วงจรตรวจจับการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

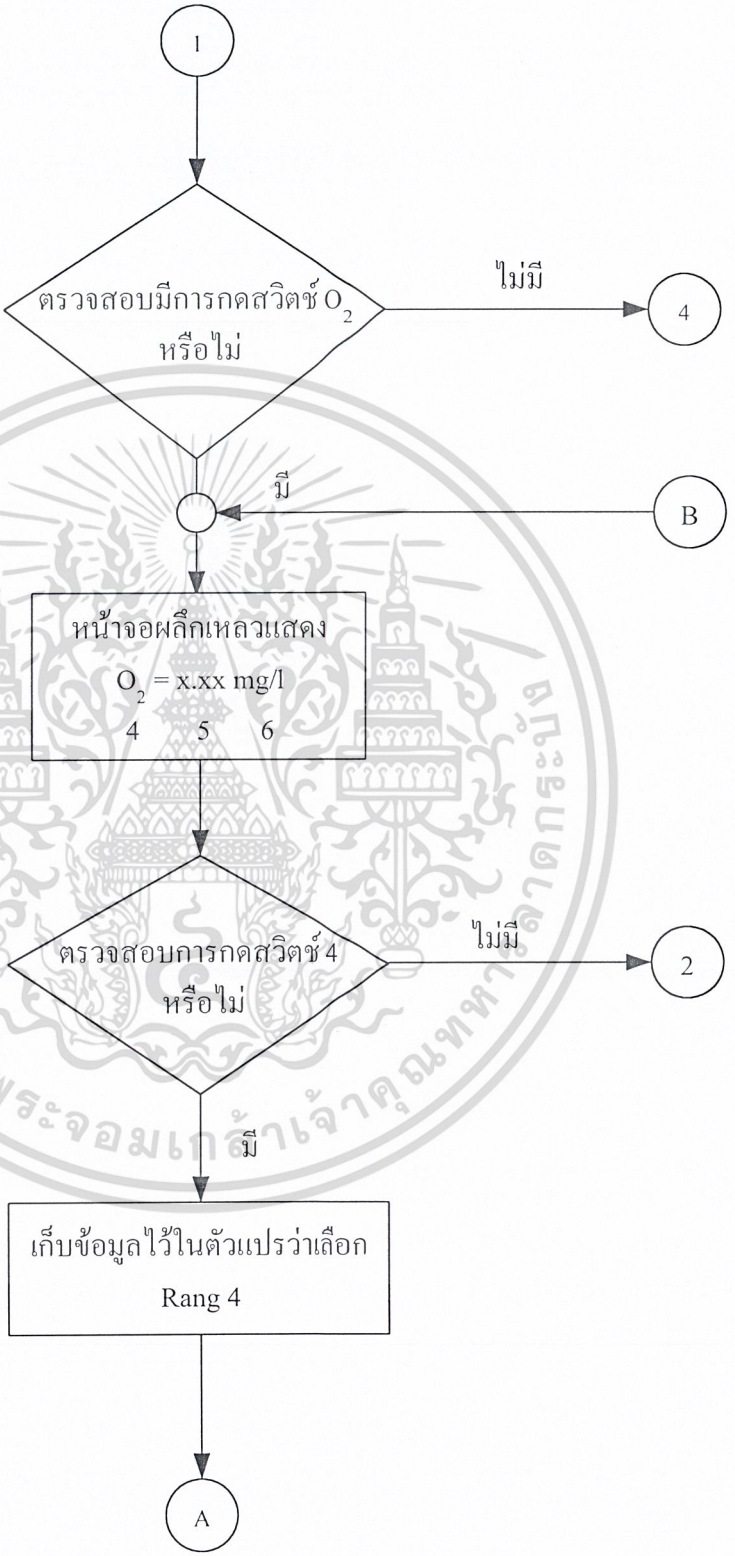
ภาคผนวก ค
ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



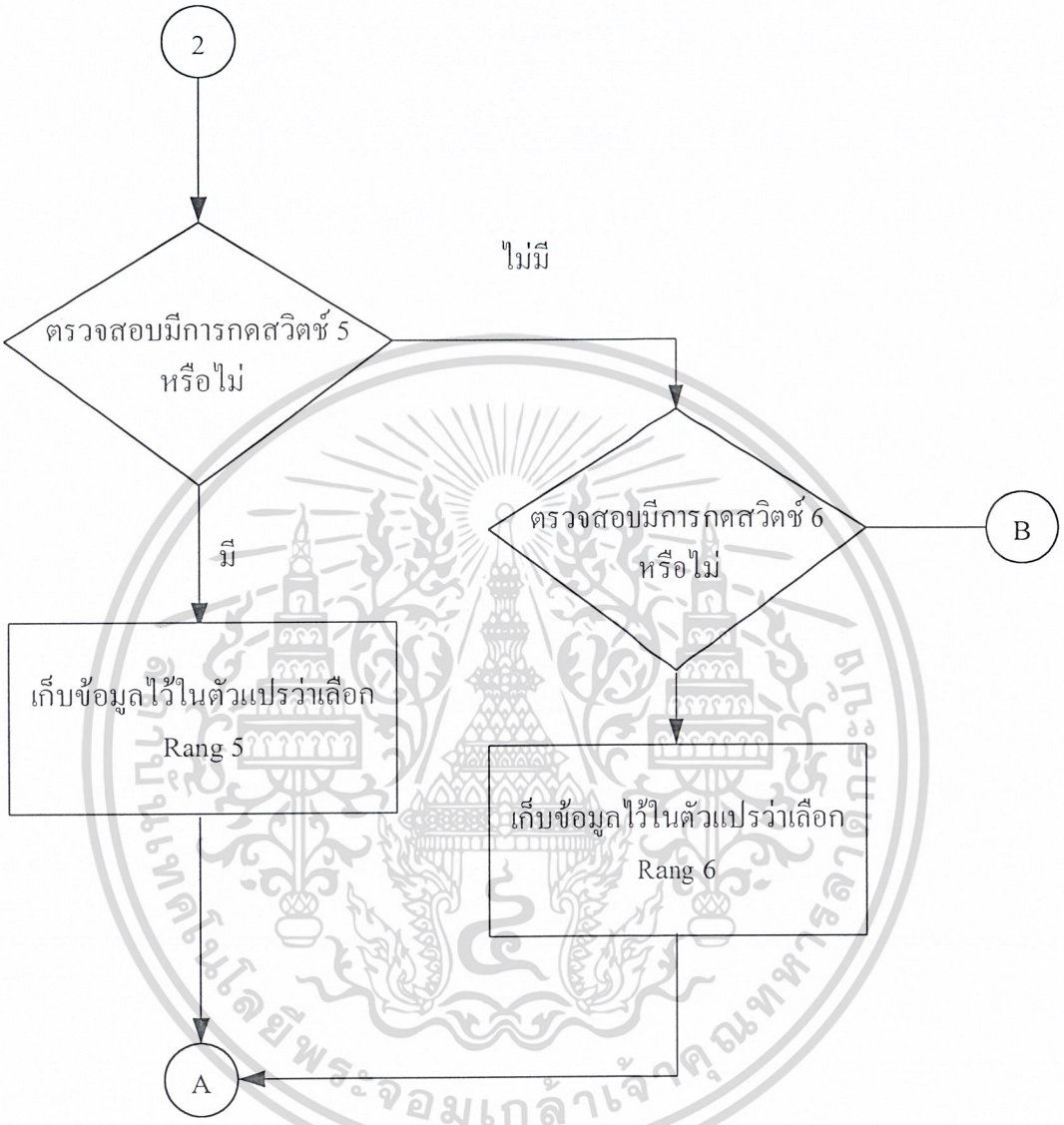
รูปที่ ค.1 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ผังการทำงานโปรแกรมการเลือก Rang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 (ต่อ) ผังการทำงานโปรแกรมการเลือก Rang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่า pH จากโพรบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงาน ของกังหันตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงาน ของกังหันตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 (ต่อ) ผังการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบวัดค่าออกซิเจนจากโพรบเพื่อควบคุมการทำงาน ของกังหันตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 ผังการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบเวลาขึ้นลงของโพรบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------------------
------------
; Program    : Instrument and dissolved oxygen volumn control in water
system
; Description      : display pH, O2 and temperature, check and control
motor
; Assembler : SXA51
; Copyright (C) 1999 Songthai Software Co.,Ltd. IE.ED., KMITL
;-------------------------------------------------------------------
------------
$INCLUDE "ido1.asm"                    ; include file "ido1.asm"

; start program

START:MOV    SP,#0FH                   ; slide stack
      LCALL INIT_SYS                   ; initial system
      LCALL INIT_LCD                   ; initial lcd
      LCALL CLR_LCD                    ; clear lcd
      MOV     A,#80H                   ; show initial hardware
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_IT
      LCALL SHOW
      MOV     A,#0C0H                  ; show wait
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_FM
      LCALL SHOW
      LCALL STEP_OFF                   ; stepping off
      MOV     A,#0C0H                  ; show any key
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_AK
      LCALL SHOW
      LCALL SHOW_LOGO
      LCALL CLR_LCD

WORKING:MOV     A,#80H                 ; show working
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_WK
      LCALL SHOW
      MOV     A,#0C0H                  ; show wait
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_FM
      LCALL SHOW
      LCALL STEP_ON                    ; stepping on
      SETB  TR0                        ; start timer0
      JB    F_2MIN,$                   ; check time 2 minute
      SETB  F_2MIN                     ; inactive flag 2min
      LCALL START_RD
      LCALL STEP_OFF                   ; stepping off
      LCALL CLR_LCD
      LCALL COMPARE                    ; goto compare
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; show step1
SHOW_1ST:                       ; show oxygen and ph
      MOV     A,#80H            ; show oxygen
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_O2
      LCALL SHOW
      MOV     A,#0C0H           ; show ph
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_PH
      LCALL SHOW
      MOV   A,#86H              ; value o2
      LCALL WRITE_INS
      MOV   A,O2_BUF+2
      ADD   A,#30H
      LCALL WRITE_DATA
      MOV   A,#87H
      LCALL WRITE_INS
      MOV   A,O2_BUF+1
      ADD   A,#30H
      LCALL WRITE_DATA
      MOV   A,#0C6H             ; value ph
      LCALL WRITE_INS
      MOV   A,PH_BUF+2
      ADD   A,#30H
      LCALL WRITE_DATA
      MOV   A,#0C8H
      LCALL WRITE_INS
      MOV   A,PH_BUF+1
      ADD   A,#30H
      LCALL WRITE_DATA

SH_OP:JB    F_15MIN,$+16        ; check time 15 minute
      SETB  F_15MIN             ; inactive flag 2min
      CLR   TR0                 ; stop timer0
      MOV     TH0,#HIGH TIME_0      ; load start time
      MOV     TL0,#LOW TIME_0
      LJMP  WORKING
      JNB   SW_O2,SET_RANG      ; check switch o2(set rang)
      JNB   SW_DW,SHOW_2ND      ; check switch down
      LJMP  SH_OP

; show step2
SHOW_2ND:                       ; show ph and temp
      MOV     A,#80H            ; show ph
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_PH
      LCALL SHOW
      MOV     A,#0C0H           ; show temp
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     DPTR,#LD_TP
      LCALL SHOW
      MOV   A,#86H              ; value ph
      LCALL WRITE_INS
      MOV   A,PH_BUF+2
      ADD   A,#30H
      LCALL WRITE_DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV    A,#88H
        LCALL  WRITE_INS
        MOV    A,PH_BUF+1
        ADD    A,#30H
        LCALL  WRITE_DATA

SH_PT:  MOV    A,#0C8H              ; value temp
        LCALL  WRITE_INS
        MOV    A,TP_BUF+2
        ADD    A,#30H
        LCALL  WRITE_DATA
        MOV    A,#0C9H
        LCALL  WRITE_INS
        MOV    A,TP_BUF+1
        ADD    A,#30H
        LCALL  WRITE_DATA
        MOV    A,#0CBH
        LCALL  WRITE_INS
        MOV    A,TP_BUF+0
        ADD    A,#30H
        LCALL  WRITE_DATA
        JB     F_15MIN,$+16         ; check time 15 minute
        SETB   F_15MIN              ; inactive flag 2min
        CLR    TR0                  ; stop timer0
        MOV      TH0,#HIGH TIME_0       ; load start time
        MOV      TL0,#LOW TIME_0
        LJMP   WORKING
        JNB    SW_O2,SET_RANG       ; check switch o2(set rang)
        JB     SW_UP,$+6            ; check switch up
        LJMP   SHOW_1ST
        LCALL  READ_TP
        LJMP   SH_PT

; set rang 4,5,6
SET_RANG:                           ; set rang for o2
        MOV    R5,#25
        LCALL  DELAY_MS
        JNB    SW_O2,$
        MOV      A,#0C0H            ; show rang
        LCALL    WRITE_INS
        MOV      DPTR,#LD_RG
        LCALL  SHOW
        MOV    SW_ALL,#0FFH         ; press switch?
        MOV    A,SW_ALL
        ANL    A,#00001110B
        CJNE   A,#00001110B,$+6
        LJMP   $-10
        JNB    SW_K4,RANG4          ; save rang when you select
        JNB    SW_K5,RANG5
        JNB    SW_K6,RANG6
        LJMP   SHOW_1ST
RANG4:  MOV    R5,#25       ; select 4
        LCALL  DELAY_MS
        JNB    SW_K4,$
        MOV    RANG_RF,#4
        LJMP   SHOW_1ST
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RANG5:MOV    R5,#25                    ; select 5
      LCALL DELAY_MS
      JNB    SW_K5,$
      MOV    RANG_RF,#5
      LJMP   SHOW_1ST

RANG6:       MOV    R5,#25                    ; select 6
      LCALL DELAY_MS
      JNB    SW_K6,$
      MOV    RANG_RF,#6
      LJMP   SHOW_1ST

; sub routine

; -------------------------------
; compare rang and control motor.
; -------------------------------
COMPARE:
      MOV    A,RANG
      CJNE   A,RANG_RF,$+4
      RET                          ; don't care (rang = rang_rf)
      JNC    MOTOR_OFF             ; check > or < (between rang and
rang_rf)
      CLR    MOTOR                 ; motor on (rang < rang_rf)
      MOV    R5,#20                      ; delay 2 sec
      LCALL DELAY_100MS
      SETB   IE.0                  ; enable interrupt ext0
      RET
MOTOR_OFF:                         ; motor off (rang > rang_rf)
      CLR    IE.0                  ; disable interrupt ext0
      SETB   MOTOR
      RET

; --------------------
; control stepping off.
; --------------------
STEP_OFF:
      MOV    DPTR,#OFF_STEP              ; control stepping off(up)
      MOV    A,#00H
      MOVC   A,@A+DPTR
      CJNE   A,#00H,OFF_LP
      LJMP   STEP_OFF

OFF_LP:      MOV    BUS_STP,A
      MOV    R5,#15
      LCALL DELAY_MS
      INC    DPTR
      SETB   LIMIT                 ; check limit
      JB     LIMIT,STEP_OFF+3
      NOP
      RET

OFF_STEP:
      DB     11000000B,01100000B,00110000B,10010000B,00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; --------------------
; control stepping on.
; --------------------
STEP_ON:                        ; control stepping on(down)
      MOV   R3,#250
      MOV   DPTR,#ON_STEP       ; control stepping off(up)
      MOV   A,#00H
      MOVC  A,@A+DPTR
      CJNE  A,#00H,ON_LP
      DJNZ  R3,STEP_ON+2
      RET
ON_LP:MOV   BUS_STP,A
      MOV   R5,#15
      LCALL DELAY_MS
      INC   DPTR
      LJMP  STEP_ON+5
ON_STEP:
      DB    10010000B,00110000B,01100000B,11000000B
      DB    10010000B,00110000B,01100000B,11000000B,00H
; ------------------------
; show data in line lcd.
; ------------------------
SHOW: MOV     R3,#00H           ; show ascii by dptr
      MOV     A,R3
      MOVC    A,@A+DPTR
      CJNE    A,#00H,$+4
      RET
      LCALL WRITE_DATA
      INC     R3
      LJMP  $-10
; ------------------------------
; slide show logo, input : dptr
; ------------------------------
SHOW_LOGO:
      MOV     DPTR,#LOGO        ; show logo, slide style
LOGO_UP1:
      MOV     A,#80H
      LCALL   WRITE_INS
      MOV     R3,#00H
LOGO_UP2:
      MOV     A,R3
      MOVC    A,@A+DPTR
      CJNE    A,#00H,$+6
      LJMP  SHOW_LOGO
      LCALL   WRITE_DATA
      MOV   SW_ALL,#0FFH        ; check press any key
      MOV   A,SW_ALL
      ANL   A,#00111111B
      CJNE  A,#00111111B,SHOW_END
      INC     R3
      CJNE    R3,#16,LOGO_UP2
      MOV     R5,#10
      LCALL   DELAY_MS
      INC     DPTR
      LJMP  LOGO_UP1
SHOW_END:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RET

; ------------------------------
; read data from probe and temp.
; ------------------------------
START_RD:
        CLR   RELAY             ; relay connect o2
        MOV   R5,#10
        LCALL DELAY_100MS
        LCALL RD_10A2D          ; read o2 from probe
        MOV   O2_BUF+3,DIGI+3
        MOV   O2_BUF+2,DIGI+2
        MOV   O2_BUF+1,DIGI+1
        MOV   O2_BUF+0,DIGI+0
        LCALL CD_O2
        SETB  RELAY             ; relay connect ph
        MOV   R5,#10
        LCALL DELAY_100MS
        LCALL RD_10A2D          ; read ph from probe
        MOV   PH_BUF+3,DIGI+3
        MOV   PH_BUF+2,DIGI+2
        MOV   PH_BUF+1,DIGI+1
        MOV   PH_BUF+0,DIGI+0
        LCALL CD_PH
        LCALL RD_TEMP           ; read temp from ds1820
        LCALL CD_TP
        RET

; --------------------
; read data from temp.
; --------------------
READ_TP:
        LCALL RD_TEMP           ; read temp from ds1820
        LCALL CD_TP
        RET

; ------------------------------------
; read 10 data from a2d icl7235, div 10
; output : digi_buf0-3
; ------------------------------------
RD_10A2D:
        LCALL RD_A2D                    ; 1st read
        MOV   DIGI_BUF+3,DIGI+3
        MOV   DIGI_BUF+2,DIGI+2
        MOV   DIGI_BUF+1,DIGI+1
        MOV   DIGI_BUF+0,DIGI+0
        MOV   R7,#09                    ; 9 read next

READ0:  LCALL RD_A2D                    ; 2nd - 9th read
        MOV   A,DIGI+3
        ADD   A,DIGI_BUF+3
        MOV   DIGI_BUF+3,A

        MOV   A,DIGI+2
        ADD   A,DIGI_BUF+2
        MOV   DIGI_BUF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV    A,DIGI+1
        ADD    A,DIGI_BUF+1
        MOV    DIGI_BUF+1,A
        MOV    A,DIGI+0
        ADD    A,DIGI_BUF+0
        MOV    DIGI_BUF+0,A
        DJNZ   R7,READ0
        MOV    A,DIGI_BUF+3        ; 0.5 to 1 for digi4
        MOV    B,#10
        DIV    AB
        MOV    DIGI+3,A
        MOV    A,#05H
        CLR    CY
        SUBB   A,B
        JNC    READ1
        INC    DIGI+3

READ1:  MOV    A,DIGI_BUF+2        ; 0.5 to 1 for digi3
        MOV    B,#10
        DIV    AB
        MOV    DIGI+2,A
        MOV    A,#05H
        CLR    CY
        SUBB   A,B
        JNC    READ2
        INC    DIGI+2

READ2:  MOV    A,DIGI_BUF+1        ; 0.5 to 1 for digi2
        MOV    B,#10
        DIV    AB
        MOV    DIGI+1,A
        MOV    A,#05H
        CLR    CY
        SUBB   A,B
        JNC    READ3
        INC    DIGI+1

READ3:  MOV    A,DIGI_BUF+0        ; 0.5 to 1 for digi1
        MOV    B,#10
        DIV    AB
        MOV    DIGI+0,A
        MOV    A,#05H
        CLR    CY
        SUBB   A,B
        JNC    RD_END
        INC    DIGI+0
RD_END: RET

; ---------------------------
; read data from a2d icl7235.
; output : digi0-3
; ---------------------------
RD_A2D:CLR  CT_BUF              ; enable buffer
       SETB A2DD4               ; read data digi4
       JNB  A2DD4,$
       MOV  BUS_A2D,#0FFH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        NOP
        NOP
        MOV   A,BUS_A2D
        ANL   A,#0FH
        MOV   DIGI+3,A

        SETB  A2DD3              ; read data digi3
        JNB   A2DD3,$
        MOV   BUS_A2D,#0FFH
        NOP
        NOP
        MOV   A,BUS_A2D
        ANL   A,#0FH
        MOV   DIGI+2,A

        SETB  A2DD2              ; read data digi2
        JNB   A2DD2,$
        MOV   BUS_A2D,#0FFH
        NOP
        NOP
        MOV   A,BUS_A2D
        ANL   A,#0FH
        MOV   DIGI+1,A

        SETB  A2DD1              ; read data digi1
        JNB   A2DD1,$
        MOV   BUS_A2D,#0FFH
        NOP
        NOP
        MOV   A,BUS_A2D
        ANL   A,#0FH
        MOV   DIGI+0,A

        SETB  CT_BUF             ; disable buffer
        RET

; ----------------------
; read data from ds1820.
; output : temp
; ----------------------
RD_TEMP:                         ; read data from ds1820
        LCALL DS1820_RST         ; reset ds1820
        LCALL DS1820_PRES        ; check presence ds1820

        MOV   TEMP,#0CCH         ; skip rom command
        LCALL DS1820_WR

        MOV   TEMP,#44H          ; initial temperature conversion
        LCALL DS1820_WR

        JNB   DQ_TEMP,$          ; check finish convert
        NOP                      ; 4 us
        NOP
        NOP
        NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      LCALL DS1820_RST          ; reset ds1820
      LCALL DS1820_PRES         ; check presence ds1820

      MOV   TEMP,#0CCH          ; skip rom command
      LCALL DS1820_WR

      MOV   TEMP,#0BEH          ; read scratchpad command
      LCALL DS1820_WR

      LCALL DS1820_RD           ; read eeprom byte 0 (temperature lsb)
      LCALL DS1820_RST          ; reset ds1820
      LCALL DS1820_PRES         ; check presence ds1820
      RET

; ----------------------
; read data from ds1820.
; output : temp
; ----------------------
DS1820_RD:
      MOV   R3,#8               ; read 1 byte
      LCALL READ_LOOP
      RRC     A                 ; rotate right
      DJNZ    R3,$-4            ; decrement round
      MOV   TEMP,A
      RET

READ_LOOP:
      CLR     DQ_TEMP           ; master clear dq line
      NOP                       ; 4 us
      NOP
      SETB    DQ_TEMP           ; master set dq line
      NOP                       ; 4 us, slave clear or set dq line
      NOP
      NOP
      NOP
      MOV     C,DQ_TEMP         ; read bit from dq line

      MOV     R2,#15            ; 65 us
      NOP
      NOP
      DJNZ    R2,$-2
      RET

; ---------------------
; write data to ds1820.
; input : temp
; ---------------------
DS1820_WR:
      MOV   R3,#8               ; write 1 byte
      MOV   A,TEMP
WRITE_LOOP:
      RRC     A
      JC      $+7               ; check bit
      LCALL   WRITE_LOW         ; bit "0"
      SJMP    $+5
      LCALL   WRITE_HIGH              ; bit "1"
TEWB3:DJNZ    R3,WRITE_LOOP
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      RET


; write data "0" to dq_temp
WRITE_LOW:
      CLR     DQ_TEMP          ; master clear dq line
      MOV     R2,#15           ; 65 us, slave read "0" from dq line
      NOP
      NOP
      DJNZ    R2,$-2
      SETB    DQ_TEMP          ; master set dq line
      NOP                      ; 4 us
      NOP
      NOP
      NOP
      RET

; write data "1" to dq_temp
WRITE_HIGH:
      CLR     DQ_TEMP          ; master clear dq line
      NOP                      ; 4 us
      NOP
      NOP
      NOP
      SETB    DQ_TEMP          ; master set dq line
      MOV     R2,#15           ; 65 us, slave read "1" from dq line
      NOP
      NOP
      DJNZ    R2,$-2
      RET

; -------------
; reset ds1820.
; -------------
DS1820_RST:
      CLR     DQ_TEMP          ; master clear dq line
      MOV     R2,#200          ; approx. 900 us
      NOP
      NOP
      DJNZ    R2,$-2
      SETB    DQ_TEMP          ; master set dq line
      MOV     R2,#8
      DJNZ    R2,$
      RET

; ----------------------
; check presence ds1820.
; ----------------------
DS1820_PRES:
      JB      DQ_TEMP,$        ; check level "1"
      JNB     DQ_TEMP,$        ; check level "0"
      MOV     R2,#8
      DJNZ    R2,$
      RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; ------------------------
; change data to o2 value.
; output : xx.0 mg/l
; ------------------------
CD_O2:MOV   A,O2_BUF+2        ; change data from probe to o2 value
      SWAP  A
      MOV   R0,#O2_BUF+1
      XCHD  A,@R0
      MOV   B,A

      MOV   R1,#00H
      MOV   DPTR,#O2_RANG
LOOP0:      MOV   00H,01H
      MOV   A,R0
      MOVC  A,@A+DPTR         ; assign low
      MOV   LOW,a
      INC   R0
      MOV   A,R0
      MOVC  A,@A+DPTR         ; assign high
      MOV   HI,a

      MOV   A,LOW             ; compare
      CJNE  A,B,$+8
      MOV   B,R1
      LJMP  CDO2_END          ; yes.
      INC   A
      CJNE  A,HI,$-9
      INC   R1
      CJNE  R1,#11,LOOP0      ; next compare
      MOV   B,#10             ; over rang
      LJMP  CDO2_END          ; over rang

O2_RANG:  DB     19H,21H,23H,25H,27H,29H,31H,33H,35H,37H,39H,41H

CDO2_END:
      MOV   RANG,B            ; ok rang
      MOV   A,B
      MOV   DPTR,#DATA_O2
      MOVC  A,@A+DPTR         ; load from table
      MOV   B,A
      SWAP  A
      ANL   A,#0FH
      MOV   O2_BUF+2,A        ; digit 2
      MOV   A,B
      ANL   A,#0FH
      MOV   O2_BUF+1,A        ; digit 1
      RET

DATA_O2:  DB      00H,01H,02H,03H,04H,05H,06H,07H,08H,09H,10H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; ------------------------
; change data to pH value.
; output : x.x ph
; ------------------------
CD_PH:MOV   A,PH_BUF+2          ; change data from probe to ph value
      SWAP  A
      MOV   R0,#PH_BUF+1
      XCHD  A,@R0
      MOV   B,A

      MOV   R1,#00H
      MOV   DPTR,#PH_RANG
LOOP1:MOV   00H,01H
      MOV   A,R0
      MOVC  A,@A+DPTR           ; assign low
      MOV   LOW,a
      INC   R0
      MOV   A,R0
      MOVC  A,@A+DPTR           ; assign high
      MOV   HI,a

      MOV   A,LOW               ; compare
      CJNE  A,B,$+8
      MOV   B,R1
      LJMP  CDPH_END            ; yes.
      INC   A
      CJNE  A,HI,$-9
      INC   R1
      CJNE  R1,#17,LOOP1        ; next compare
      MOV   B,#16               ; over rang
      LJMP  CDPH_END            ; over rang

PH_RANG:  DB
      01H,05H,10H,15H,20H,25H,28H,30H,32H,41H,43H,45H,47H,51H,56H,99H

CDPH_END:
      MOV   A,B
      MOV   DPTR,#DATA_PH
      MOVC  A,@A+DPTR           ; load from table
      MOV   B,A
      SWAP  A
      ANL   A,#0FH
      MOV   PH_BUF+2,A          ; digit 2
      MOV   A,B
      ANL   A,#0FH
      MOV   PH_BUF+1,A          ; digit 1
      RET

DATA_PH:  DB
      00H,05H,10H,15H,20H,25H,30H,35H,40H,45H,50H,60H,70H,75H,80H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; -------------------------
; change data to temp value.
; output : xx.x 'c
; -------------------------
CD_TP:MOV     A,TEMP    ; change data from probe to ph value
      CLR   C                 ; clear carry flag
      RRC   A                 ; check decimal notation
      JNC   $+7
      MOV   TP_BUF+0,#05      ; digit 0 (.5)
      SJMP  $+5
      MOV   TP_BUF+0,#00      ; digit 0 (.0)
      MOV   B,#10             ; div temp by 10
      DIV   AB
      MOV   TP_BUF+2,A        ; digit 2
      MOV   TP_BUF+1,B        ; digit 1
      RET

; --------------------
; initial system.
; data 4 bit, 2 lines
;---------------------
INIT_SYS:
      MOV   IE,#10000010B     ; enable interrupt t0
      CLR   IT0               ; check level "0" at ex0
      MOV   TMOD,#00000001B   ; timer0 mode 16 bit
      MOV   TH0,#HIGH TIME_0  ; load start time
      MOV   TL0,#LOW TIME_0
      SETB  F_2MIN            ; inactive flag 2min
      SETB  F_15MIN           ; inactive flag 15min
      MOV   08H,#T_ROUND
      MOV   09H,#00H
      MOV   RANG_RF,#04       ; default rang_ref=05
      MOV   FS_T2,#SL_T2
      MOV   FS_T15,#SL_T15
      RET

$INCLUDE "ido2.asm"                  ; include file "ido2.asm"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

1. ภาคจ่ายไฟ

ตัวความต้านทาน

330 Ω	2 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.01 µF 25V Electrolyte	2 ตัว
0.1 µF 25V Electrolyte	2 ตัว
10 µF 25V Electrolyte	2 ตัว
100 µF 25V Electrolyte	4 ตัว
4700 µF 25V Electrolyte	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี ICL7660	2 ตัว
ไอซี 7812 CT	1 ตัว
ไอซี 7805 CT	1 ตัว
ไดโอดบริดจ์ FI202	1 ตัว

หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลง 12-0-12 V / 3A	1 ตัว

2. ภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ตัวความต้านทาน

27 Ω	1 ตัว
500 Ω	1 ตัว
1 kΩ	2 ตัว
16 kΩ	2 ตัว
100 kΩ	4 ตัว
56 kΩ	1 ตัว
30 kΩ	1 ตัว
ตัวความต้านทานปรับค่า 1 kΩ	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ

220 nF 25V Wima	2 ตัว
0.1 μF 25V Wima	2 ตัว
39 PF Ceramic	2 ตัว
0.47 μF 25V Electrolyte	1 ตัว
1 μF 25V Electrolyte	2 ตัว
100 μF 25V Electrolyte	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไดโอด 4148	1 ตัว
ซีเนอร์ไดโอด 2.7 V	1 ตัว
FI202	1 ตัว
ไอซี LM311	1 ตัว
ไอซี ICL 7135	1 ตัว

3. ภาคขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ตัวความต้านทาน

1 kΩ	12 ตัว
ตัวความต้านทนปรับค่า10 kΩ	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

โฟโตทรานซิสเตอร์ 4N25	4 ตัว
ทรานซิสเตอร์ BD 139	4 ตัว
ไอโอด	4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ภาคขยายแรงดัน

ตัวความต้านทาน

10 kΩ	12 ตัว
ตัวต้านทานปรับค่า 10 kΩ	4 ตัว

ตัวเก็บประจุ

10 μF 25V Electrolyte	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ออปแอมป์ OP07CP	6 ตัว

5. ภาคควบคุมการทำงานของมอเตอร์ตีน้ำ

ตัวความต้านทาน

43 Ω	1 ตัว
56 Ω	1 ตัว
330 Ω	3 ตัว

ตัวเก็บประจุ

0.01 μF 400 V Wima	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไตรแอค BTA 41	1 ตัว
โฟโตไตรแอคMOC3041	1 ตัว

6. ภาคควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ตัวความต้านทาน

330 Ω	2 ตัว
ตัวความต้านทานปรับค่า 10 Ω	1 ตัว
330 Ω	3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ

39 PF Ceramic	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี DS 1232	1 ตัว
ไอซี AT89C51	1 ตัว

7. ภาคแสดงผล

ตัวความต้านทาน

ตัวความต้านทานปรับ 10 kΩ	1 ตัว

จอแสดงผล

จอแสดงผลผลึกเหลวแบบ 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร	1 ตัว

8. ภาคตรวจสอบ

โพรบวัดออกซิเจน DO 551	1 ตัว
โพรบวัดค่า pH	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี DS 1820	1 ตัว

9.ภาคตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ตีน้ำ

ตัวความต้านทาน

330 Ω	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

ไอซี DS 1232	1 ตัว
ไอซี 74LS14	1 ตัว
โฟโตไอโอด ส่ง	1 ตัว
โฟโตไอโอด รับ	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MOC3041/D

GlobalOptoisolator™

VDE | UL | CSA | SETI | SEMKO | DEMKO | NEMKO | BABT

6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output
(400 Volts Peak)

MOC3041
[IFT = 15 mA Max]
MOC3042
[IFT = 10 mA Max]
MOC3043*
[IFT = 5 mA Max]

*Motorola Preferred Device

The MOC3041, MOC3042 and MOC3043 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a Zero Voltage Crossing bilateral triac driver.

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

- Simplifies Logic Control of 115 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 2000 V/µs Typical, 1000 V/µs Guaranteed
- ***To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.***

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

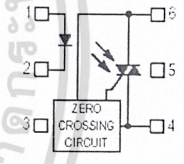
- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A–04

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
   DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

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

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120 1.41	mW mW/°C
OUTPUT DRIVER			
Off–State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 µs, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	150 1.76	mW mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage(1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T_J	−40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range(2)	T_A	−40 to +85	°C
Storage Temperature Range(2)	T_{stg}	−40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	°C

1. Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3040/D)

© Motorola, Inc. 1995

MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3041 MOC3042 MOC3043

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED						
Reverse Leakage Current (V_R = 6 V)		I_R	—	0.05	100	uA
Forward Voltage (I_F = 30 mA)		V_F	—	1.3	1.5	Volts
OUTPUT DETECTOR (I_F = 0 unless otherwise noted)						
Leakage with LED Off, Either Direction (Rated V_{DRM}(1))		I_{DRM1}	—	2	100	nA
Peak On–State Voltage, Either Direction (I_{TM} = 100 mA Peak)		V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off–State Voltage(3)		dv/dt	1000	2000	—	V/µs
COUPLED						
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V(2))	MOC3041 MOC3042 MOC3043	I_{FT}	— — —	— — —	15 10 5	mA
Holding Current, Either Direction		I_H	—	250	—	uA
Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec)		V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
ZERO CROSSING						
Inhibit Voltage (I_F = Rated I_{FT}, MT1–MT2 Voltage above which device will not trigger.)		V_{IH}	—	5	20	Volts
Leakage in Inhibited State (I_F = Rated I_{FT}, Rated V_{DRM}, Off State)		I_{DRM2}	—	—	500	uA

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT}. Therefore, recommended operating I_F lies between I_{FT} (15 mA for MOC3041, 10 mA for MOC3042, 5 mA for MOC3043) and absolute max I_F (60 mA).
3. This is static dv/dt. See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load–driving thyristor(s) only.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS
T_A = 25°C

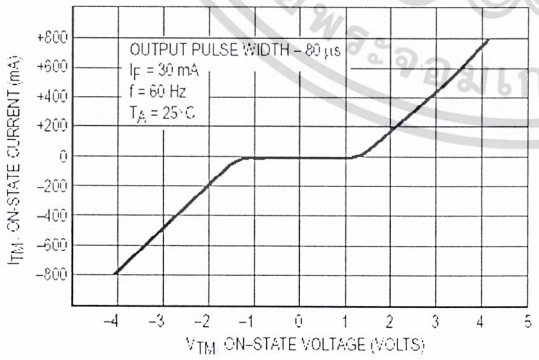


Figure 1. On–State Characteristics

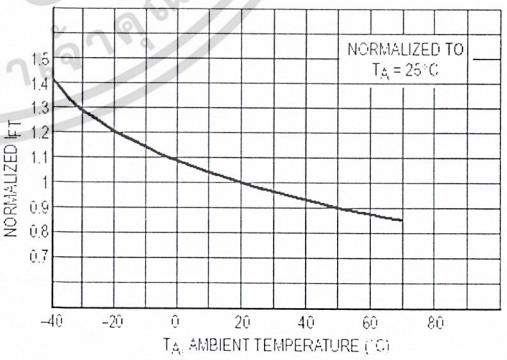


Figure 2. Trigger Current versus Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

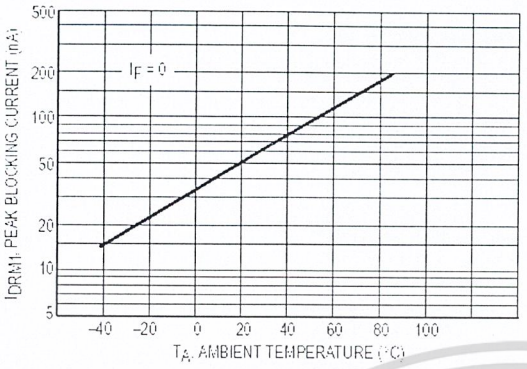


Figure 3. I_{DRM1}, Peak Blocking Current versus Temperature

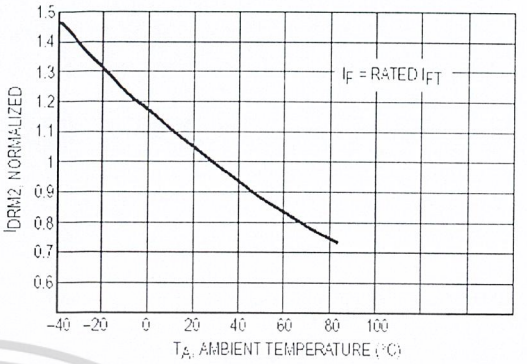


Figure 4. I_{DRM2}, Leakage in Inhibit State versus Temperature

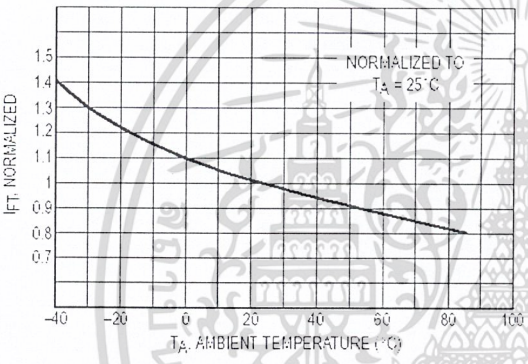


Figure 5. Trigger Current versus Temperature

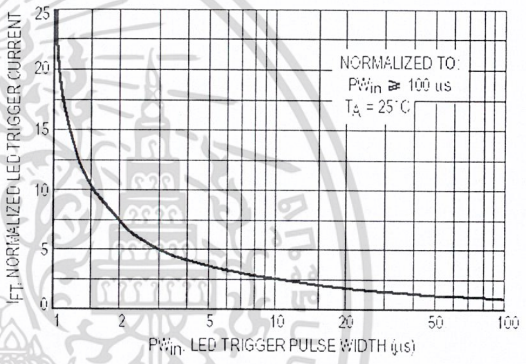
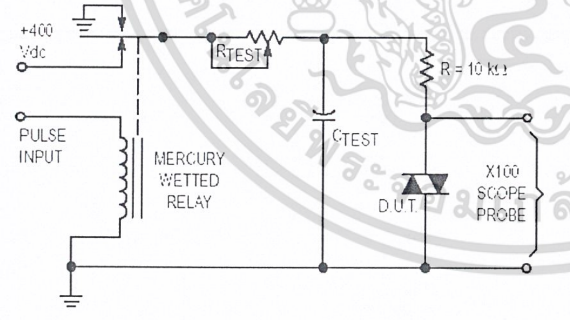


Figure 6. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width



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

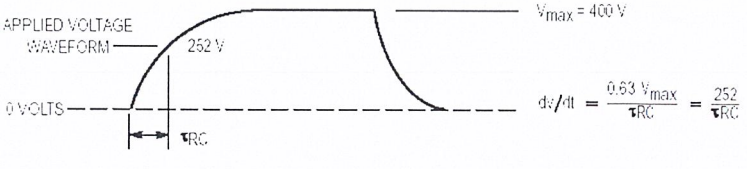
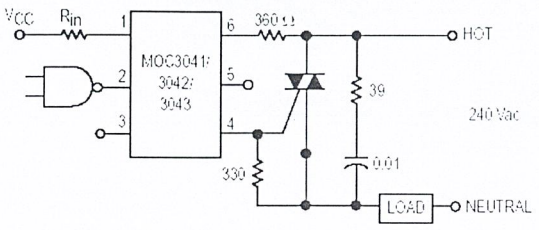


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

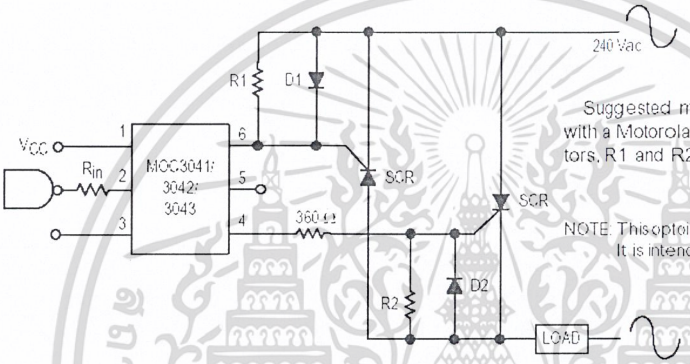


* For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms

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

R_{in} is calculated so that I_F is equal to the rated I_{FT} of the part, 5 mA for the MOC3043, 10 mA for the MOC3042, or 15 mA for the MOC3041. The 39 ohm resistor and 0.01 µF capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Hot–Line Switching Application Circuit



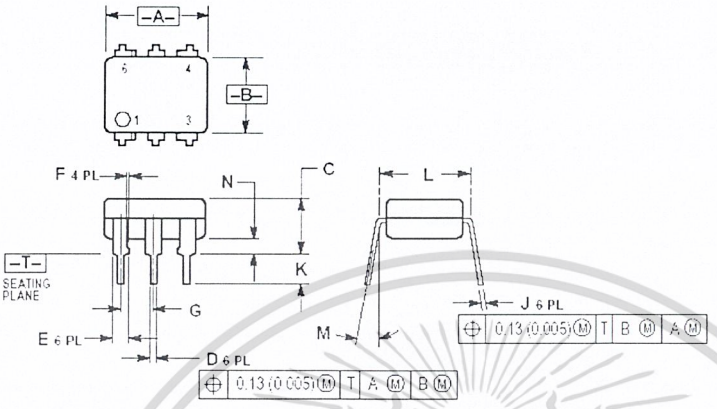
Suggested method of firing two, back–to–back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms.

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

Figure 9. Inverse–Parallel SCR Driver Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

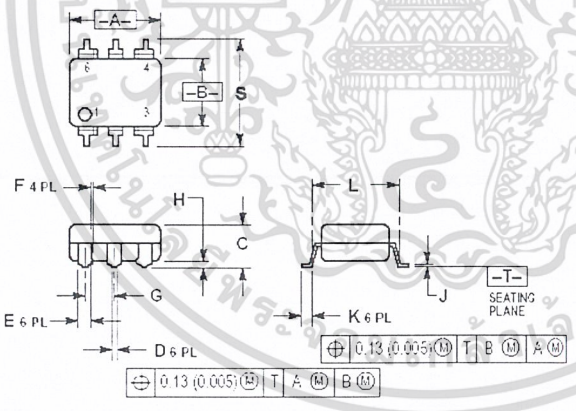


NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.015	0.100	0.38	2.54

STYLE 6:
PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
6. MAIN TERMINAL

CASE 730A–04
ISSUE G



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

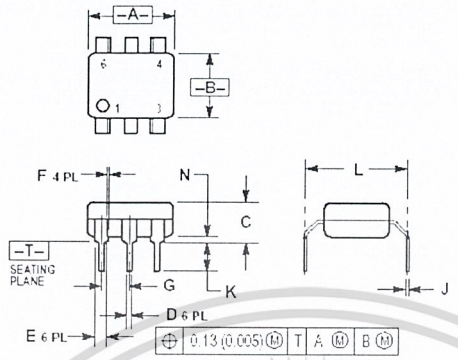
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.020	0.025	0.51	0.63
J	0.008	0.012	0.20	0.30
K	0.006	0.035	0.16	0.88
L	0.320 BSC		8.13 BSC	
S	0.332	0.390	8.43	9.90

*Consult factory for leadform option availability

CASE 730C–04
ISSUE D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3041 MOC3042 MOC3043



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D–05
ISSUE D

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and Ⓜ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1–800–441–2447

MFAX: RMIFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE (602) 244–6609
INTERNET: http://Design–NET.com

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi–SPD–JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu–Butsuryu–Center, 3–14–2 Tatsumi Koto–Ku, Tokyo 135, Japan. 03–3521–8315

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852–26629298

MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-4667; Rev 3; 7/94

MAXIM

Switched-Capacitor Voltage Converters

General Description

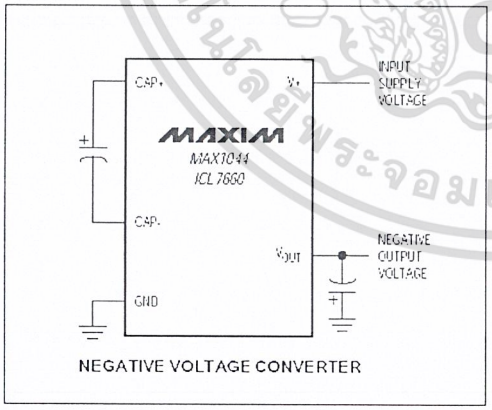
The MAX1044 and ICL7660 are monolithic, CMOS switched-capacitor voltage converters that invert, double, divide, or multiply a positive input voltage. They are pin compatible with the industry-standard ICL7660 and LTC1044. Operation is guaranteed from 1.5V to 10V with no external diode over the full temperature range. They deliver 10mA with a 0.5V output drop. The MAX1044 has a BOOST pin that raises the oscillator frequency above the audio band and reduces external capacitor size requirements.

The MAX1044/ICL7660 combine low quiescent current and high efficiency. Oscillator control circuitry and four power MOSFET switches are included on-chip. Applications include generating a -5V supply from a +5V logic supply to power analog circuitry. For applications requiring more power, the MAX660 delivers up to 100mA with a voltage drop of less than 0.65V.

Applications

-5V Supply from +5V Logic Supply
Personal Communications Equipment
Portable Telephones
Op-Amp Power Supplies
EIA/TIA-232E and EIA/TIA-562 Power Supplies
Data-Acquisition Systems
Hand-Held Instruments
Panel Meters

Typical Operating Circuit



NEGATIVE VOLTAGE CONVERTER

Features

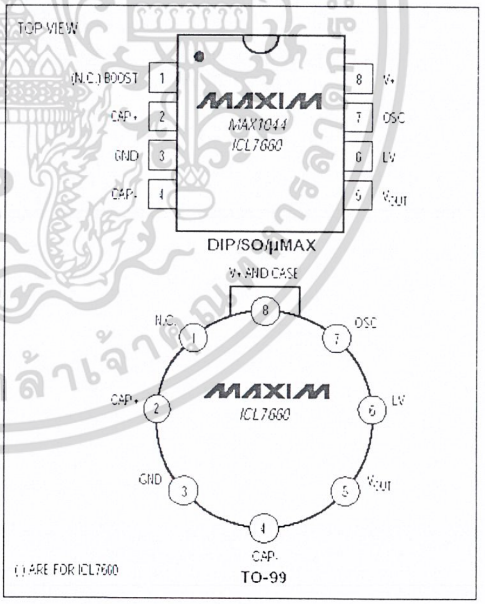
- Miniature µMAX Package
- 1.5V to 10.0V Operating Supply Voltage Range
- 98% Typical Power-Conversion Efficiency
- Invert, Double, Divide, or Multiply Input Voltages
- BOOST Pin Increases Switching Frequencies (MAX1044)
- No-Load Supply Current: 200µA Max at 5V
- No External Diode Required for Higher-Voltage Operation

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX1044CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX1044CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX1044C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX1044EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP

Ordering information continued at end of data sheet.
** Contact factory for dice specifications.*

Pin Configurations



Call toll free 1-800-998-8800 for free samples or literature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switched-Capacitor Voltage Converters

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V+ to GND, or GND to V_{OUT}) 10.5V
Input Voltage on Pins 1, 6, and 7 ..... $-0.3V \le V_{IN} \le (V+ + 0.3V)$
LV Input Current 20µA
Output Short-Circuit Duration ($V+ \le 5.5V$) ..... Continuous
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C) 727mW
SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) 471mW
µMAX (derate 4.1mW/°C above +70°C) 330mW
CERDIP (derate 8.00mW/°C above +70°C) 640mW
TO-99 (derate 6.67mW/°C above +70°C) 533mW
Operating Temperature Ranges
MAX1044C_ _/ICL7660C_ _ ..... 0°C to +70°C
MAX1044E_ _/ICL7660E_ _ ..... -40°C to +85°C
MAX1044M_ _/ICL7660M_ _ ..... -55°C to +125°C
Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10sec) ..... +300°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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Circuit of Figure 1, V+ = 5.0V, LV pin = 0V, BOOST pin = open, I_{LOAD} = 0mA, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MAX1044 MIN	MAX1044 TYP	MAX1044 MAX	ICL7660 MIN	ICL7660 TYP	ICL7660 MAX	UNITS
Supply Current	$R_L = \infty$, pins 1 and 7 no connection, LV open	T_A = +25°C		30	200		80	175	µA
		T_A = 0°C to +70°C			200			225	
		T_A = -40°C to +85°C			200			250	
		T_A = -55°C to +125°C			200			250	
	$R_L = \infty$, pins 1 and 7 = V+ = 3V			10					
Supply Voltage Range (Note 1)	R_L = 10kΩ, LV open					3.0		10.0	V
	R_L = 10kΩ, LV to GND		1.5		10	1.5		3.5	
Output Resistance	I_L = 20mA, f_{OSC} = 5kHz, LV open	T_A = +25°C		65	100		55	100	Ω
		T_A = 0°C to +70°C			130			120	
		T_A = -40°C to +85°C			130			140	
		T_A = -55°C to +125°C			150			150	
	f_{OSC} = 2.7kHz (ICL7660), f_{OSC} = 1kHz (MAX1044), V+ = 2V, I_L = 3mA, LV to GND	T_A = +25°C			325			250	
		T_A = 0°C to +70°C			325			300	
		T_A = -40°C to +85°C			325			300	
		T_A = -55°C to +125°C			400			400	
Oscillator Frequency	C_{OSC} = 1pF, LV to GND (Note 2)	V+ = 5V	5				10		kHz
		V+ = 2V	1						
Power Efficiency	R_L = 5kΩ, T_A = +25°C, f_{OSC} 5kHz, LV open		95	98		95	98		%
Voltage Conversion Efficiency	$R_L = \infty$, T_A = +25°C, LV open		97.0	99.9		99.0	99.9		%
Oscillator Sink or Source Current	V_{OSC} = 0V or V+, LV open	Pin 1 = 0V		3					µA
		Pin 1 = V+		20					
Oscillator Impedance	T_A = +25°C	V+ = 2V		1.0			1.0		MΩ
		V+ = 5V		100			100		kΩ

Note 1: The Maxim ICL7660 and MAX1044 can operate without an external output diode over the full temperature and voltage ranges. The Maxim ICL7660 can also be used with an external output diode in series with pin 5 (cathode at V_{OUT}) when replacing the Intersil ICL7660. Tests are performed without diode in circuit.

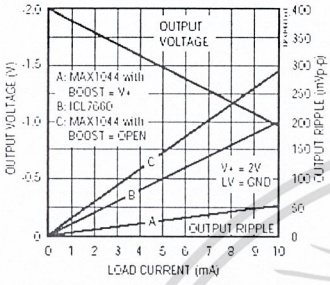
Note 2: f_{OSC} is tested with C_{OSC} = 100pF to minimize the effects of test fixture capacitance loading. The 1pF frequency is correlated to this 100pF test point, and is intended to simulate pin 7's capacitance when the device is plugged into a test socket with no external capacitor. For this test, the LV pin is connected to GND for comparison to the original manufacturer's device, which automatically connects this pin to GND for (V+ > 3V).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

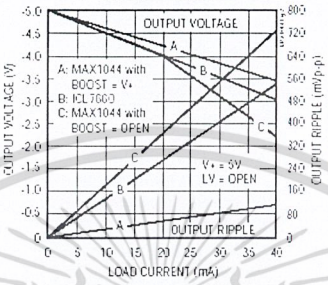
Typical Operating Characteristics

(V+ = 5V; C_{BYPASS} = 0.1µF; C1 = C2 = 10µF; LV = open; OSC = open; T_A = +25°C; unless otherwise noted.)

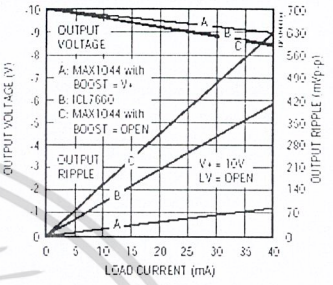
OUTPUT VOLTAGE and OUTPUT RIPPLE vs. LOAD CURRENT



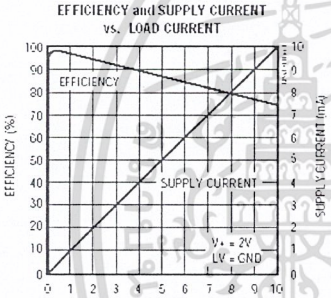
OUTPUT VOLTAGE and OUTPUT RIPPLE vs. LOAD CURRENT



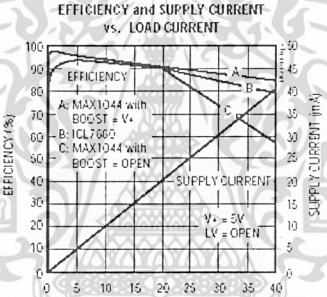
OUTPUT VOLTAGE and OUTPUT RIPPLE vs. LOAD CURRENT



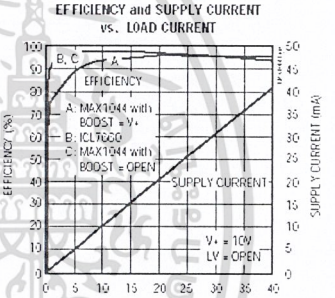
EFFICIENCY and SUPPLY CURRENT vs. LOAD CURRENT



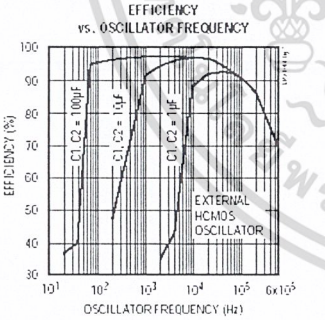
EFFICIENCY and SUPPLY CURRENT vs. LOAD CURRENT



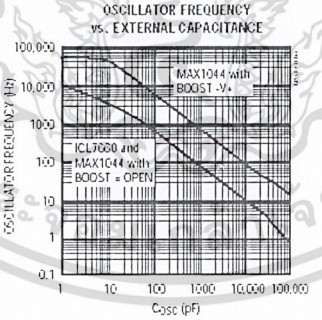
EFFICIENCY and SUPPLY CURRENT vs. LOAD CURRENT



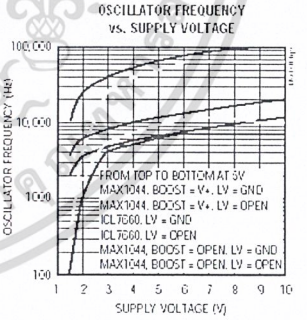
EFFICIENCY vs. OSCILLATOR FREQUENCY



OSCILLATOR FREQUENCY vs. EXTERNAL CAPACITANCE



OSCILLATOR FREQUENCY vs. SUPPLY VOLTAGE

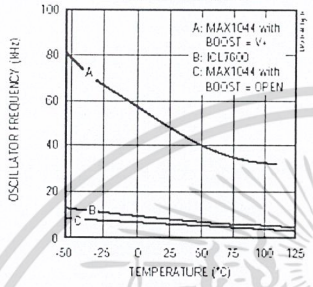


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

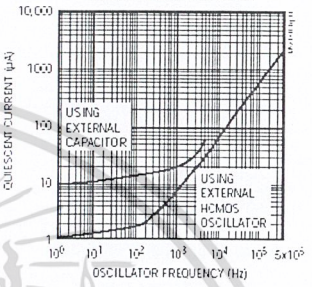
Typical Operating Characteristics (continued)

(V+ = 5V; C_{BYPASS} = 0.1µF; C1 = C2 = 10µF; LV = open; OSC = open; T_A = +25°C; unless otherwise noted.)

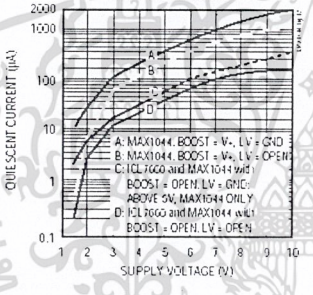
OSCILLATOR FREQUENCY vs. TEMPERATURE



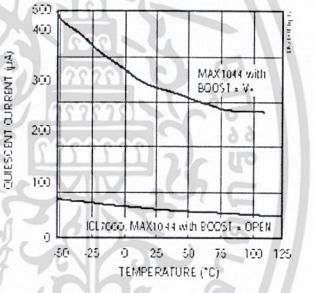
QUIESCENT CURRENT vs. OSCILLATOR FREQUENCY



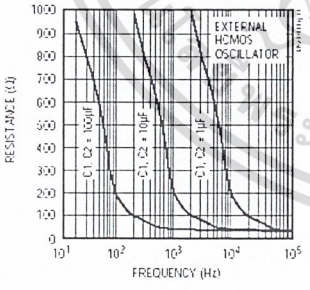
QUIESCENT CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



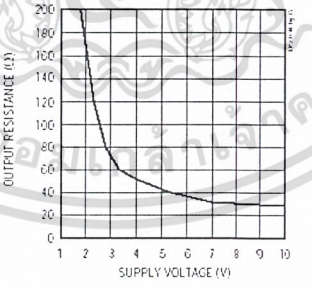
QUIESCENT CURRENT vs. TEMPERATURE



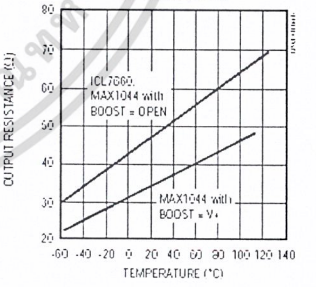
OUTPUT RESISTANCE vs. OSCILLATOR FREQUENCY



OUTPUT RESISTANCE vs. SUPPLY VOLTAGE



OUTPUT RESISTANCE vs. TEMPERATURE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switched-Capacitor Voltage Converters

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	BOOST (MAX1044)	Frequency Boost. Connecting BOOST to V+ increases the oscillator frequency by a factor of six. When the oscillator is driven externally, BOOST has no effect and should be left open.
	N.C. (ICL7660)	No Connection
2	CAP+	Connection to positive terminal of Charge-Pump Capacitor
3	GND	Ground. For most applications, the positive terminal of the reservoir capacitor is connected to this pin.
4	CAP-	Connection to negative terminal of Charge-Pump Capacitor
5	V_{OUT}	Negative Voltage Output. For most applications, the negative terminal of the reservoir capacitor is connected to this pin.
6	LV	Low-Voltage Operation. Connect to ground for supply voltages below 3.5V. ICL7660: Leave open for supply voltages above 5V.
7	OSC	Oscillator Control Input. Connecting an external capacitor reduces the oscillator frequency. Minimize stray capacitance at this pin.
8	V+	Power-Supply Positive Voltage Input. (1.5V to 10V). V+ is also the substrate connection.

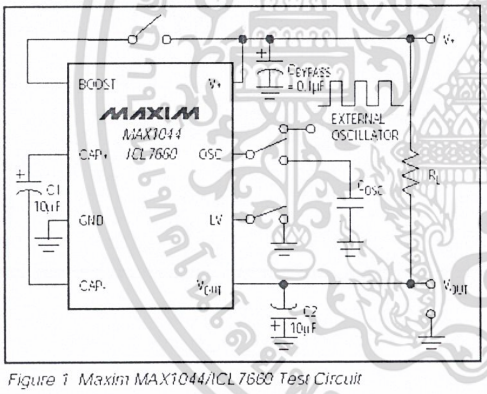


Figure 1. Maxim MAX1044/ICL7660 Test Circuit

Detailed Description

The MAX1044/ICL7660 are charge-pump voltage converters. They work by first accumulating charge in a bucket capacitor and then transfer it into a reservoir capacitor. The ideal voltage inverter circuit in Figure 2 illustrates this operation.

During the first half of each cycle, switches S1 & S3 close and switches S2 & S4 open, which connects the bucket capacitor C1 across V+ and charges C1. During the second half of each cycle, switches S2 & S4 close and switches S1 & S3 open, which connects the positive terminal of C1 to ground and shifts the negative terminal to V_{OUT}. This connects C1 in parallel with the reservoir capacitor C2. If the voltage across C2 is smaller than the voltage across C1, then charge flows from C1 to C2 until the voltages across them are equal. During successive cycles, C1 will continue pouring charge into C2 until the voltage across C2 reaches - (V+). In an actual voltage inverter, the output is less than - (V+) since the switches S1–S4 have resistance and the load drains charge from C2.

Additional qualities of the MAX1044/ICL7660 can be understood by using a switched-capacitor circuit model. Switching the bucket capacitor, C1, between the input and output of the circuit synthesizes a resistance (Figures 3a and 3b.)

When the switch in Figure 3a is in the left position, capacitor C1 charges to V+. When the switch moves to the right position, C1 is discharged to V_{OUT}. The charge transferred per cycle is: $\Delta Q = C1(V+ - V_{OUT})$. If the switch is cycled at frequency f, then the resulting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switched-Capacitor Voltage Converters

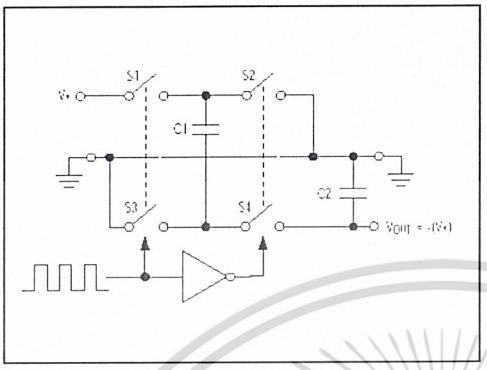


Figure 2. Ideal Voltage Inverter

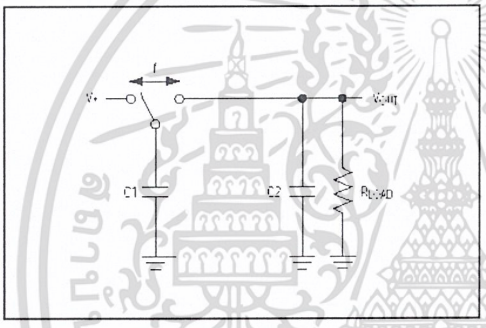


Figure 3a. Switched-Capacitor Model

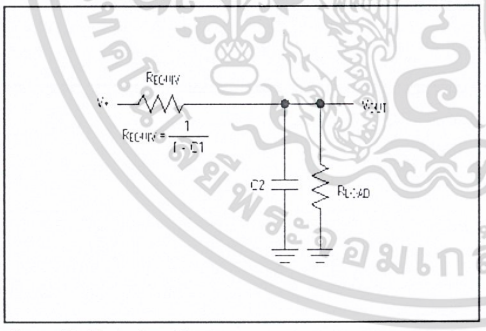


Figure 3b. Equivalent Circuit

current is: $I = f \times \Delta Q = f \times C1(V+ - V_{OUT})$. Rewriting this equation in Ohm's law form defines an equivalent resistance synthesized by the switched-capacitor circuit where:

$$I = \frac{(V+ - V_{OUT})}{1 / (f \times C1)}$$

and

$$R_{EQUIV} = \frac{1}{f \times C1}$$

where f is one-half the oscillator frequency. This resistance is a major component of the output impedance of switched-capacitor circuits like the MAX1044/ICL7660.

As shown in Figure 4, the MAX1044/ICL7660 contain MOSFET switches, the necessary transistor drive circuitry, and a timing oscillator.

Design Information

The MAX1044/ICL7660 are designed to provide a simple, compact, low-cost solution where negative or doubled supply voltages are needed for a low low-power components. Figure 5 shows the basic negative voltage converter circuit. For many applications, only two external capacitors are needed. The type of capacitor used is not critical.

Proper Use of the Low-Voltage (LV) Pin

Figure 4 shows an internal voltage regulator inside the MAX1044/ICL7660. Use the LV pin to bypass this regulator, in order to improve low-voltage performance.

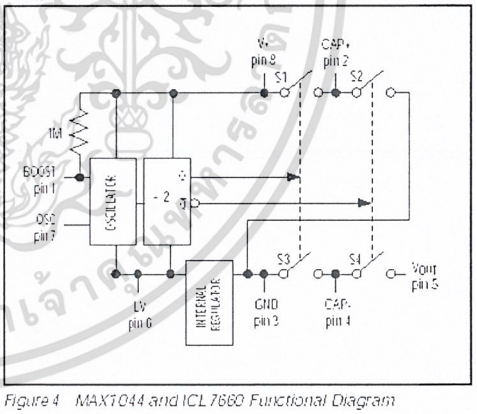


Figure 4. MAX1044 and ICL7660 Functional Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

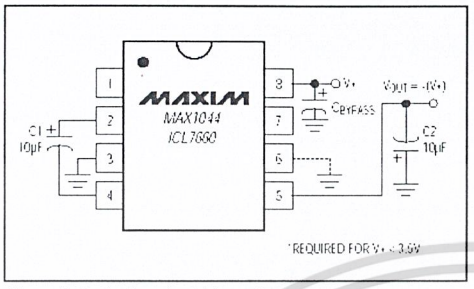


Figure 5. Basic Negative Voltage Converter

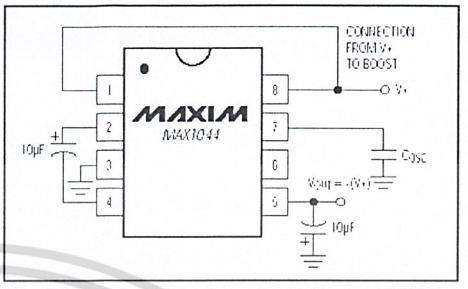


Figure 6. Negative Voltage Converter with C_{OSC} and BOOST

and allow operation down to 1.5V. For low-voltage operation and compatibility with the industry-standard LTC1044 and ICL7660, the LV pin should be connected to ground for supply voltages below 3.5V and left open for supply voltages above 3.5V.

The MAX1044's LV pin can be grounded for all operating conditions. The advantage is improved low-voltage performance and increased oscillator frequency. The disadvantage is increased quiescent current and reduced efficiency at higher supply voltages. For Maxim's ICL7660, the LV pin must be left open for supply voltages above 5V.

When operating at low supply voltages with LV open, connections to the LV, BOOST, and OSC pins should be short or shielded to prevent EMI from causing oscillator jitter.

Oscillator Frequency Considerations

For normal operation, leave the BOOST and OSC pins of the MAX1044/ICL7660 open and use the nominal oscillator frequency. Increasing the frequency reduces audio interference, output resistance, voltage ripple, and required capacitor sizes. Decreasing frequency reduces quiescent current and improves efficiency.

Oscillator Frequency Specifications

The MAX1044/ICL7660 do not have a precise oscillator frequency. Only minimum values of 1kHz and 5kHz for the MAX1044 and a typical value of 10kHz for the ICL7660 are specified. If a specific oscillator frequency is required, use an external oscillator to drive the OSC pin.

Increasing Oscillator Frequency Using the BOOST Pin

For the MAX1044, connecting the BOOST pin to the V+ pin raises the oscillator frequency by a factor of about 6. Figure 6 shows this connection. Higher frequency operation lowers output impedance, reduces output ripple, allows the use of smaller capacitors, and shifts switching noise out of the audio band. When the oscillator is driven externally, BOOST has no effect and should be left open. The BOOST pin should also be left open for normal operation.

Reducing the Oscillator Frequency Using C_{OSC}

An external capacitor can be connected to the OSC pin to lower the oscillator frequency (Figure 6). Lower frequency operation improves efficiency at low load currents by reducing the IC's quiescent supply current. It also increases output ripple and output impedance. This can be offset by using larger values for C1 and C2.

Connections to the OSC pin should be short to prevent stray capacitance from reducing the oscillator frequency.

Overdriving the OSC Pin with an External Oscillator

Driving OSC with an external oscillator is useful when the frequency must be synchronized, or when higher frequencies are required to reduce audio interference. The MAX1044/ICL7660 can be driven up to 400kHz. The pump and output ripple frequencies are one-half the external clock frequency. Driving the MAX1044/ICL7660 at a higher frequency increases the ripple frequency and allows the use of smaller capacitors. It also increases the quiescent current.

The OSC input threshold is V+ - 2.5V when V+ ≥ 5V, and is V+ / 2 for V+ < 5V. If the external clock does not swing all the way to V+, use a 10kΩ pull-up resistor (Figure 7).

Output Voltage Considerations

The MAX1044/ICL7660 output voltage is not regulated. The output voltages will vary under load according to the output resistance. The output resistance is primarily

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switched-Capacitor Voltage Converters

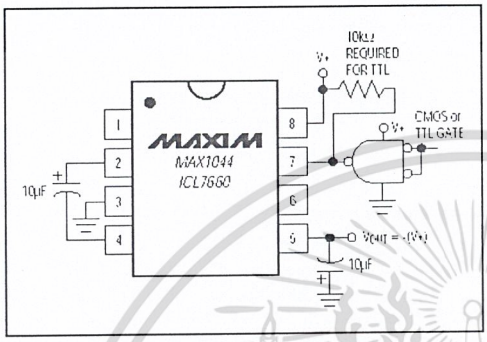


Figure 7. External Clocking

a function of oscillator frequency and the capacitor value. Oscillator frequency, in turn, is influenced by temperature and supply voltage. For example, with a 5V input voltage and 10µF charge-pump capacitors, the output resistance is typically 50Ω. Thus, the output voltage is about -5V under light loads, and decreases to about -4.5V with a 10mA load current.

Minor supply voltage variations that are inconsequential to digital circuits can affect some analog circuits. Therefore, when using the MAX1044/ICL7660 for powering sensitive analog circuits, the power-supply rejection ratio of those circuits must be considered. The output ripple and output drop increase under heavy loads. If necessary, the MAX1044/ICL7660 output impedance can be reduced by paralleling devices, increasing the capacitance of C1 and C2, or connecting the MAX1044's BOOST pin to V+ to increase the oscillator frequency.

Inrush Current and EMI Considerations

During start-up, pump capacitors C1 and C2 must be charged. Consequently, the MAX1044/ICL7660 develop inrush currents during start-up. While operating, short bursts of current are drawn from the supply to C1, and then from C1 to C2 to replenish the charge drawn by the load during each charge-pump cycle. If the voltage converters are being powered by a high-impedance source, the supply voltage may drop too low during the current bursts for them to function properly. Furthermore, if the supply or ground impedance is too high, or if the traces between the converter IC and charge-pump capacitors are long or have large loops, switching noise and EMI may be generated. To reduce these effects:

1) Power the MAX1044/ICL7660 from a low-impedance source.
2) Add a power-supply bypass capacitor with low effective series resistance (ESR) close to the IC between the V+ and ground pins.
3) Shorten traces between the IC and the charge-pump capacitors.
4) Arrange the components to keep the ground pins of the capacitors and the IC as close as possible.
5) Leave extra copper on the board around the voltage converter as power and ground planes. This is easily done on a double-sided PC board.

Efficiency, Output Ripple, and Output Impedance

The power efficiency of a switched-capacitor voltage converter is affected by the internal losses in the converter IC, resistive losses of the pump capacitors, and conversion losses during charge transfer between the capacitors. The total power loss is:

$$\sum P_{LOSS} = P_{INTERNAL\ LOSSES} + P_{SWITCH\ LOSSES} + P_{PUMP\ CAPACITOR\ LOSSES} + P_{CONVERSION\ LOSSES}$$

The internal losses are associated with the IC's internal functions such as driving the switches, oscillator, etc. These losses are affected by operating conditions such as input voltage, temperature, frequency, and connections to the LV, BOOST, and OSC pins.

The next two losses are associated with the output resistance of the voltage converter circuit. Switch losses occur because of the on-resistances of the MOSFET switches in the IC. Charge-pump capacitor losses occur because of their ESR. The relationship between these losses and the output resistance is as follows:

$$P_{PUMP\ CAPACITOR\ LOSSES} + P_{SWITCH\ LOSSES} = I_{OUT}^2 \times R_{OUT}$$

where:

$$R_{OUT} = \frac{1}{(f_{OSC} / 2) \times C1} + 4[2R_{SWITCHES} + ESR_{C1}] + ESR_{C2}$$

and f_{OSC} is the oscillator frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The first term is the effective resistance from the switched-capacitor circuit.

Conversion losses occur during the transfer of charge between capacitors C1 and C2 when there is a voltage difference between them. The power loss is:

$$P_{CONV\ LOSS} = \left[\frac{1}{2} C1 \left((V+)^2 - V_{OUT}^2 \right) + \frac{1}{2} C2 \left(V_{RIPPLE}^2 - 2 V_{OUT} V_{RIPPLE} \right) \right] \times f_{OSC} / 2$$

Increasing Efficiency

Efficiency can be improved by lowering output voltage ripple and output impedance. Both output voltage ripple and output impedance can be reduced by using large capacitors with low ESR.

The output voltage ripple can be calculated by noting that the output current is supplied solely from capacitor C2 during one-half of the charge-pump cycle.

$$V_{RIPPLE} = \left(\frac{1}{2 \times f_{OSC} \times C2} + 2 \times ESR_{C2} \right) I_{OUT}$$

Slowing the oscillator frequency reduces quiescent current. The oscillator frequency can be reduced by connecting a capacitor to the OSC pin.

Reducing the oscillator frequency increases the ripple voltage in the MAX1044/ICL7660. Compensate by increasing the values of the bucket and reservoir capacitors. For example, in a negative voltage converter, the pump frequency is around 4kHz or 5kHz. With the recommended 10µF bucket and reservoir capacitors, the circuit consumes about 70µA of quiescent current while providing 20mA of output current. Setting the oscillator to 400Hz by connecting a 100pF capacitor to OSC reduces the quiescent current to about 15µA. Maintaining 20mA output current capability requires increasing the bucket and reservoir capacitors to 100µF.

Note that lower capacitor values can be used for lower output currents. For example, setting the oscillator to 40Hz by connecting a 1000pF capacitor to OSC provides the highest efficiency possible. Leaving the bucket and reservoir capacitors at 100µF gives a maximum I_{OUT} of 2mA, a no-load quiescent current of 10µA, and a power conversion efficiency of 98%.

General Precautions

1) Connecting any input terminal to voltages greater than V+ or less than ground may cause latchup. Do not apply any input sources operating from external supplies before device power-up.
2) Never exceed maximum supply voltage ratings.
3) Do not connect C1 and C2 with the wrong polarity.
4) Do not short V+ to ground for extended periods with supply voltages above 5.5V present on other pins.
5) Ensure that V_{OUT} (pin 5) does not go more positive than GND (pin 3). Adding a diode in parallel with C2, with the anode connected to V_{OUT} and cathode to LV, will prevent this condition.

Application Circuits

Negative Voltage Converter

Figure 8 shows a negative voltage converter, the most popular application of the MAX1044/ICL7660. Only two external capacitors are needed. A third power-supply bypass capacitor is recommended (0.1µF to 10µF).

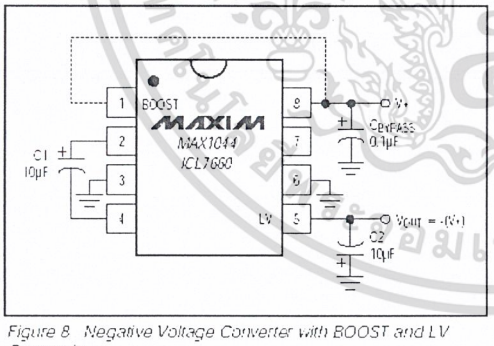


Figure 8. Negative Voltage Converter with BOOST and LV Connections

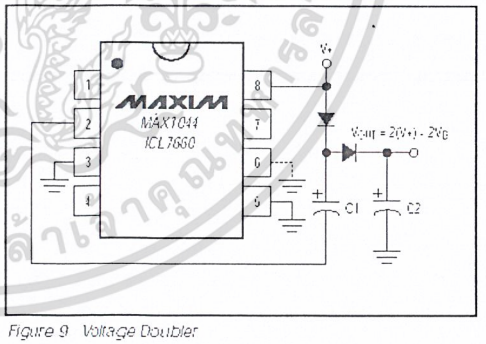


Figure 9. Voltage Doubler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switched-Capacitor Voltage Converters

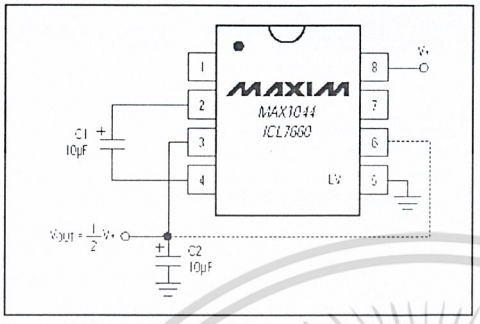


Figure 10. Voltage Divider

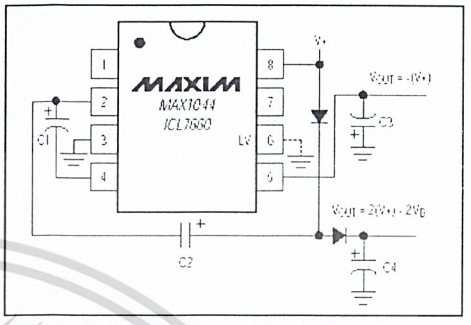


Figure 11. Combined Positive and Negative Converter

Positive Voltage Doubler

Figure 9 illustrates the recommended voltage doubler circuit for the MAX1044/ICL7660. To reduce the voltage drops contributed by the diodes (V_D), use Schottky diodes. For true voltage doubling or higher output currents, use the MAX660.

Voltage Divider

The voltage divider shown in Figure 10 splits the power supply in half. A third capacitor can be added between V+ and V_{OUT}.

Combined Positive Multiplication and Negative Voltage Conversion

Figure 11 illustrates this dual-function circuit. Capacitors C1 and C3 perform the bucket and reservoir functions for generating the negative voltage. Capacitors C2 and C4 are the bucket and reservoir capacitors for the doubled positive voltage. This circuit has higher output impedances resulting from the use of a common charge-pump driver.

Cascading Devices

Larger negative multiples of the supply voltage can be obtained by cascading MAX1044/ICL7660 devices (Figure 12). The output voltage is nominally $V_{OUT} = -n(V+)$ where n is the number of devices cascaded. The output voltage is reduced slightly by the output resistance of the first device, multiplied by the quiescent current of the second, etc. Three or more devices can be cascaded in this way, but output impedance rises dramatically. For example, the output resistance of two cascaded MAX1044s is approximately five times the output resistance of a single voltage converter. A better solution may be an inductive switching regulator, such as the MAX755, MAX759, MAX764, or MAX774.

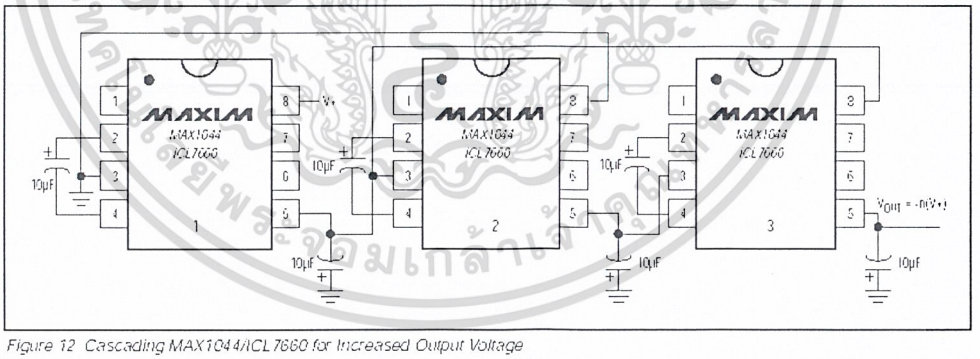


Figure 12. Cascading MAX1044/ICL7660 for Increased Output Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

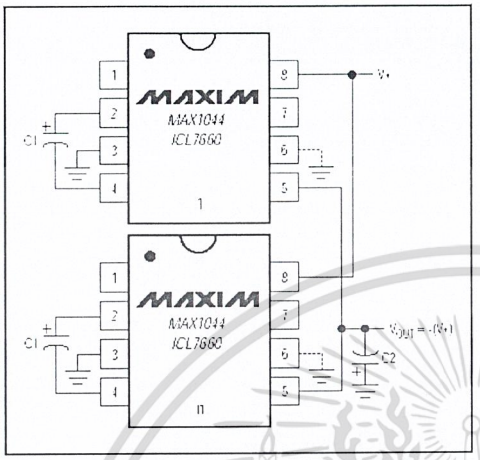


Figure 13. Paralleling MAX1044/ICL7660 to Reduce Output Resistance

Paralleling Devices

Paralleling multiple MAX1044/ICL7660s reduces output resistance and increases current capability. As illustrated in Figure 13, each device requires its own pump capacitor C1, but the reservoir capacitor C2 serves all devices. The equation for calculating output resistance is:

$$R_{OUT} = \frac{R_{OUT} \text{ of MAX1044 or ICL7660}}{n \text{ (number of devices)}}$$

Shutdown Schemes

Figures 14a–14c illustrate three ways of adding shutdown capability to the MAX1044/ICL7660. When using these circuits, be aware that the additional capacitive loading on the OSC pin will reduce the oscillator frequency. The first circuit has the least loading on the OSC pin and has the added advantage of controlling shutdown with a high or low logic level, depending on the orientation of the switching diode.

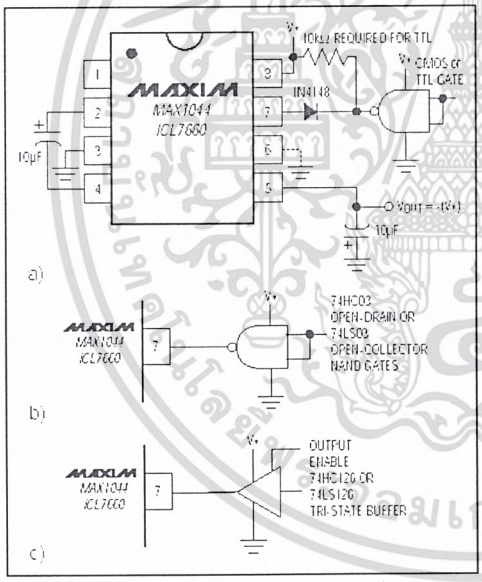


Figure 14a-14c. Shutdown Schemes for MAX1044/ICL7660

Ordering Information (continued)

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX1044ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX1044MJA	-55°C to +125°C	8 CERDIP**
ICL7660CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
ICL7660CSA	0°C to +70°C	8 SO
ICL7660CUA	0°C to +70°C	8 µMAX
ICL7660C/D	0°C to +70°C	Dice*
ICL7660EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
ICL7660ESA	-40°C to +85°C	8 SO
ICL7660AMJA†	-55°C to +125°C	8 CERDIP**
ICL7660AMTV†	-55°C to +125°C	8 TO-99**

* Contact factory for dice specifications.
** Contact factory for availability.
† The Maxim ICL7660 meets or exceeds all "A" and "S" specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-5041; Rev 0; 1987

MAXIM

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

General Description

The Maxim ICL7135 is a high precision monolithic 4½ digit A/D converter. Dual slope conversion reliability is combined with ±1 in 20,000 count accuracy and a 2.0000V full scale capability. It features high impedance differential inputs, nearly ideal differential linearity, true ratiometric operation, auto zero and auto-polarity. The multiplexed BCD outputs and digit drivers provide easy interface to external display drivers like the Maxim ICM7211A. The only other external components needed to make precision DVM/DPMs are a reference and a clock. For more complex systems the BCD outputs are enhanced by STROBE, OVERRANGE, UNDERRANGE, RUN/HOLD and BUSY lines providing easy interface to microprocessors and UARTs. This interfacing capability makes the ICL7135 an ideal device for use in microprocessor based data acquisition and control systems.

The ICL7135 has auto-zero accuracy better than 10μV, zero drift of 0.5μV/°C, input bias current of 10pA max. and rollover error of less than 1 count.

Features

- Improved 2nd Source (See our "Maxim Advantage™" Page 3)
- ± 20,000 Count Resolution
- Guaranteed ±1 Count accuracy
- Over-range, under-range signals for auto-range capability
- Easy Interface to UARTs and μPs
- TTL compatible, Multiplexed BCD outputs
- True differential input. Zero reading guaranteed for 0 volt input
- True polarity at zero for precise null detection
- Monolithic CMOS design

Applications

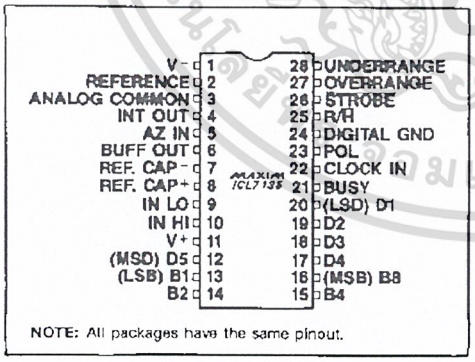
This device is used in a wide range of measurement applications involving the manipulation and display of analog data:

Pressure	Weight
Voltage	Current
Resistance	Speed
Temperature	Material Thickness

Ordering Information

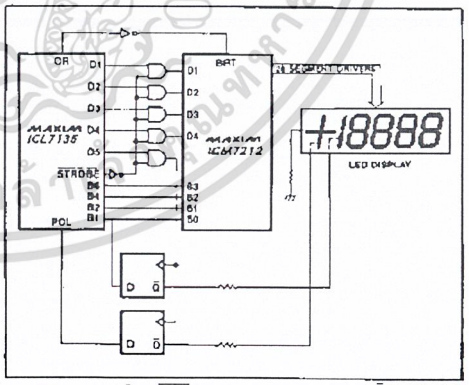
PART	TEMP. RANGE	PACKAGE
ICL7135CJI	0°C to 70°C	28 Lead CERDIP
ICL7135CPI	0°C to 70°C	28 Lead Plastic DIP
ICL7135CQI	0°C to 70°C	28 Lead Plastic chip carrier
ICL7135C/D	0°C to 70°C	Dice

Pin Configuration



NOTE: All packages have the same pinout.

Typical Operating Circuit



The "Maxim Advantage™" signifies an upgraded quality level. At no additional cost we offer a second-source device that is subject to the following: guaranteed performance over temperature along with tighter test specifications on many key parameters; and device enhancements, when needed, that result in improved performance without changing the functionality.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Dissipation (Note 2)
- CERDIP Package 1000mW
- Plastic Package 800mW

Operating Temperature ..... 0°C to +70°C
Storage Temperature ..... −65°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec) ..... 300°C
Supply Voltage V+ ..... +6V
V− ..... −9V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1) ..... V+ to V−
Reference Input Voltage (either input) ..... V+ to V−
Clock Input ..... Gnd to V+

Note 1: Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to ±100μA.

Note 2: Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.

Stresses above 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 above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ICL7135 ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 1)

($V^+ = +5V$, $V^- = -5V$, $T_A = 25°C$, Clock Frequency Set for 3 Reading/Sec

		CHARACTERISTICS	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ANALOG (Note 1) (Note 2)		Zero Input Reading		$V_{IN} = 0.0V$ Full Scale = 2.000V	−0.0000	±0.0000	+0.0000	Digital Reading
		Ratiometric Reading (2)		$V_{IN} = V_{REF}$ Full Scale = 2.000V	+0.9998	+0.9999	+1.0000	Digital Reading
		Linearity over ± Full Scale (error of reading from best straight line)		$-2V \le V_{IN} \le +2V$		0.5	1	Digital Count Error
		Differential Linearity (difference between worse case step of adjacent counts and ideal step)		$-2V \le V_{IN} \le +2V$		.01		LSB
		Rollover error (Difference in reading for equal positive & negative voltage near full scale)		$-V_{IN} = +V_{IN} \approx 2V$		0.5	1	Digital Count Error
		Noise (P-P value not exceeded 95% of time)	e_n	$V_{IN} = 0V$ Full Scale = 2.000V		15		μV
		Leakage Current at Input	I_{ILK}	$V_{IN} = 0V$		1	10	pA
		Zero Reading Drift		$V_{IN} = 0V$ $0° \le T_A \le 70°C$		0.5	2	μV/°C
		Scale Factor Temperature Coefficient (3)	TC	$V_{IN} = +2V$ $0° \le T_A \le 70°C$ (ext. ref. 0 ppm/°C)		2	5	ppm/°C
DIGITAL	INPUTS	Clock In, Run/Hold	V_{INH} V_{INL} I_{INL} I_{INH}	 $V_{IN} = 0$ $V_{IN} = +5V$	2.8	2.2 1.5 0.02 0.1	 0.8 0.1 10	V mA μA
	OUTPUTS	All Outputs B_1, B_2, B_4, B_8 D_1, D_2, D_3, D_4, D_5	V_{OL} V_{OH}	$I_{OL} = 1.6mA$ $I_{OH} = -1mA$	 2.4	0.25 4.2	0.40	V V
		BUSY, STROBE OVER-RANGE, UNDER-RANGE POLARITY	V_{OH}	$I_{OH} = -10\mu A$	4.9	4.99		V
	SUPPLY	+5V Supply Range	V^+		+4	+5	+6	V
		−5V Supply Range	V^-		−3	−5	−8	V
		+5V Supply Current	I^+	$f_c = 0$		1.1	3.0	mA
		−5V Supply Current	I^-	$f_c = 0$		0.8	3.0	
		Power Dissipation Capacitance	C_{PD}	vs. Clock Freq		40		pF
	Clock	Clock Freq. (Note 4)			DC	2000	1200	kHz

Note 1: Tested in 4½ digit (20,000 count) circuit shown in Fig. 1, clock frequency 120kHz.

Note 2: Tested with a low dielectric absorption integrating capacitor. See Component Selection Section.

Note 3: The temperature range can be extended to +70°C and beyond as long as the auto-zero and reference capacitors are increased to absorb the higher leakage of the ICL7135.

Note 4: This specification relates to the clock frequency range over which the ICL7135 will correctly perform its various functions. See "Max Clock Frequency" below for limitations on the clock frequency range in a system.

The electrical characteristics above are a reproduction of a portion of Intersil's copyrighted (1983/1984) data book. This information does not constitute any representation by Maxim that Intersil's products will perform in accordance with these specifications. The "Electrical Characteristics Table" along with the descriptive excerpts from the original manufacturer's data sheet have been included in this data sheet solely for comparative purposes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

ICL7135

- Guaranteed 2mA Max Supply Current
- Key Parameters Guaranteed Over Temperature
- Significantly Improved ESD Protection (Note 6)
- Low Noise
- Maxim Quality and Reliability

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS: This device conforms to the Absolute Maximum Ratings on adjacent page.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS Specifications below satisfy or exceed all "tested" parameters on adjacent page.

($V^+ = +5V$, $V^- = -5V$, $T_A = 25°C$, Clock Frequency Set for 3 Reading/Sec

		Characteristics	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG		Zero Input Reading		$V_{IN} = 0.0V$, Full Scale = 2.000V $0° \le T_A \le +70°C$	−0.0000	±0.0000	+0.0000	Digital Reading
		Ratiometric Reading (Note 2)		$V_{IN} = V_{REF}$, Full Scale = 2.000V $T_A = 25°C$ $0° \le T_A \le +70°C$	+0.9998 +0.9995	+0.9999 +0.9999	+1.0000 +1.0005	Digital Reading
		Linearity over ± Full Scale (error of reading from best straight line)		$-2V \le V_{IN} \le +2V$		0.5	1	Digital Count Error
		Differential Linearity (difference between worse case step of adjacent counts and ideal step)		$-2V \le V_{IN} \le +2V$		.01		LSB
		Rollover error (Difference in reading for equal positive & negative voltage near full scale)		$-V_{IN} = +V_{IN} \approx 2V$		0.5	1	Digital Count Error
	(Note 1)	Noise (P-P value not exceeded 95% of time)	e_n	$V_{IN} = 0V$, Full Scale = 2.000V		15		μV
	(Note 2)	Leakage Current at Input	I_{LK}	$V_{IN} = 0V$ $T_A = 25°C$ $0° \le T_A \le +70°C$		1	10 250	pA pA
		Zero Reading Drift		$V_{IN} = 0V$ $0° \le T_A \le +70°C$		0.5	2	μV/°C
		Scale Factor Temperature Coefficient (Note 3)	TC	$V_{IN} = +2V$ $0° \le T_A \le +70°C$ (ext. ref. 0 ppm/°C)		2	5	ppm/°C
INPUTS		Clock In, Run/Hold	V_{INH} V_{INL} I_{INL} I_{INH}	$0° \le T_A \le +70°C$ $0° \le T_A \le +70°C$ $V_{IN} = 0$ $0° \le T_A \le +70°C$ $V_{IN} = +5V$ $0° \le T_A \le +70°C$	2.8	2.2 1.6 0.02 0.1	 0.8 0.1 10	V V mA μA
DIGITAL	OUTPUTS	All Outputs B_1, B_2, B_4, B_8 D_1, D_2, D_3, D_4, D_5	V_{OL} V_{OH}	$I_{OL} = 1.6mA$ $I_{OH} = -1mA$	 2.4	0.25 4.2	0.40	V V
		BUSY, STROBE OVER-RANGE, UNDER-RANGE POLARITY	V_{OH}	$I_{OH} = -10\mu A$	4.9	4.99		V
	SUPPLY	+5V Supply Range	V^+		+4	+5	+6	V
		−5V Supply Range	V^-		−3	−5	−8	V
		+5V Supply Current	I^+	$f_c = 0$ $T_A = 25°C$ $0° \le T_A \le +70°C$		1.1	2.0 3.0	mA mA
		−5V Supply Current	I^-	$f_c = 0$ $T_A = 25°C$ $0° \le T_A \le +70°C$		0.8	2.0 3.0	mA mA
		Power Dissipation Capacitance	C_{PD}	(Note 5)		40		pF
CLOCK		Clock Freq. (Note 4)			DC	2000	1200	kHz

Note 1: Tested in 4½ digit (20,000 count) circuit shown in Fig. 1, clock frequency 120kHz.

Note 2: Tested with a low dielectric absorption integrating capacitor. See Component Selection Section.

Note 3: The Temperature range can be extended to +70°C and beyond as long as the auto-zero and reference capacitors are increased to absorb the higher leakage of the ICL7135.

Note 4: This specification relates to the clock frequency range over which the ICL7135 will correctly perform its various functions. See "Clock Frequency" below for limitations on the clock frequency range in a system.

Note 5: +5V Supply current for $f_c \neq 0$ is $I^+ = I^+_{(f_c = 0)} + C_{PD} \times 5V \times f_c$.

Note 6: All pins are designed to withstand electrostatic discharge (ESD) levels in excess of 2000V. (Test circuit per Mil Std 883, Method 3015.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

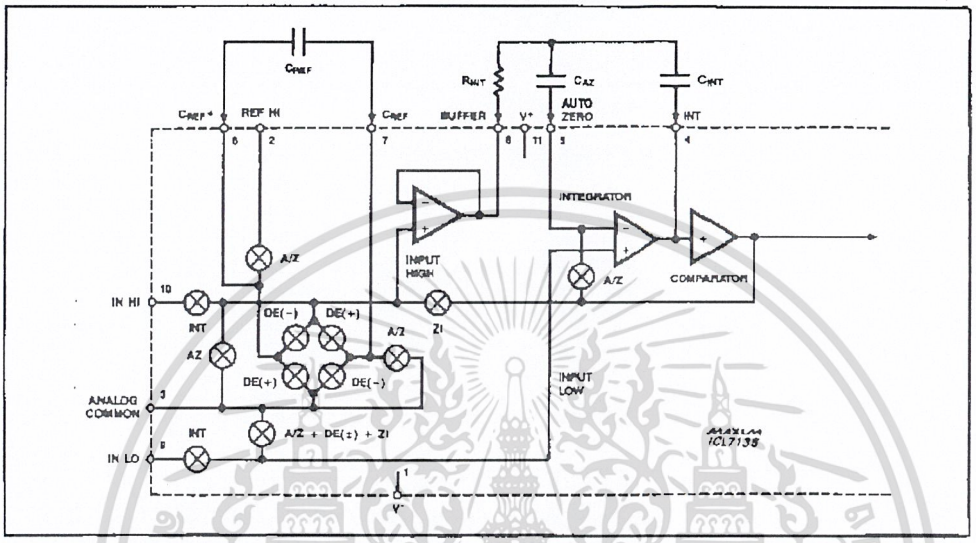


Figure 2. Analog Section of ICL7135

COMMON a common mode voltage will be introduced and, although the ICL7135 has an excellent CMRR, Input Low and Analog COMMON should be connected together whenever possible. Analog COMMON is also the reference point for the reference voltage. The Analog Common voltage is normally connected to the system ground when using ±5V supplies. When the ICL7135 is operated from a single supply voltage the Analog Common should be connected to a voltage source approximately halfway between V+ and ground.

Input Buffer

The ICL7135 input buffer is a CMOS buffer with a common mode input voltage range of approximately V+–1.0V to V–+1.5V. The quiescent current is approximately 100μA and the buffer can deliver up to 40μ of output current with excellent linearity.

Integrator

The integrator amplifier, similar to the buffer amplifier, can deliver 20μA of output current with high linearity while swinging to within 0.3V of either supply rail. The integrator's non-inverting terminal is connected to IN LO during the signal integrate phase, so the voltage on the IN LO terminal sets the starting point for the integrator output during signal integrate. If IN LO is at a voltage other than ground, this will limit the maximum allowable swing at the integrator output, and the value of the integrating capacitor should be increased. (Refer to Component Selection)

Comparator

The comparator monitors the voltage on the integrator capacitor during deintegrate. The digital section samples the comparator output once per clock cycle and terminates the deintegrate cycle when the comparator changes its state as the integrator voltage passes through zero. The offset voltage of the comparator is not critical since the auto-zero phase compensates for the offset. The output of the comparator is the only output from the analog section to the digital section.

Digital Section

As shown in Figure 3, the digital section consists of counters, latches, output multiplexer, and control logic. The control logic monitors the counters and the comparator to determine the start of each phase, and sends control signals to the analog section to drive the analog switches to the proper state for each measurement phase. The control section also responds to the external input, RUN/$\overline{\text{HOLD}}$, and creates the control outputs; OVERRANGE, UNDERRANGE, BUSY, and $\overline{\text{STROBE}}$.

RUN/$\overline{\text{HOLD}}$

When RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ is high or open the ICL7135 will continuously perform conversions with each measurement being 40,002 clock cycles long. When RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ goes low, the ICL7135 will complete the measurement in progress then remain in the auto-zero cycle, holding the last reading. If RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ goes high after the maximum period assigned to deintegrate, a new conversion will start, with a delay of 1 to 10,001 clock cycles between the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

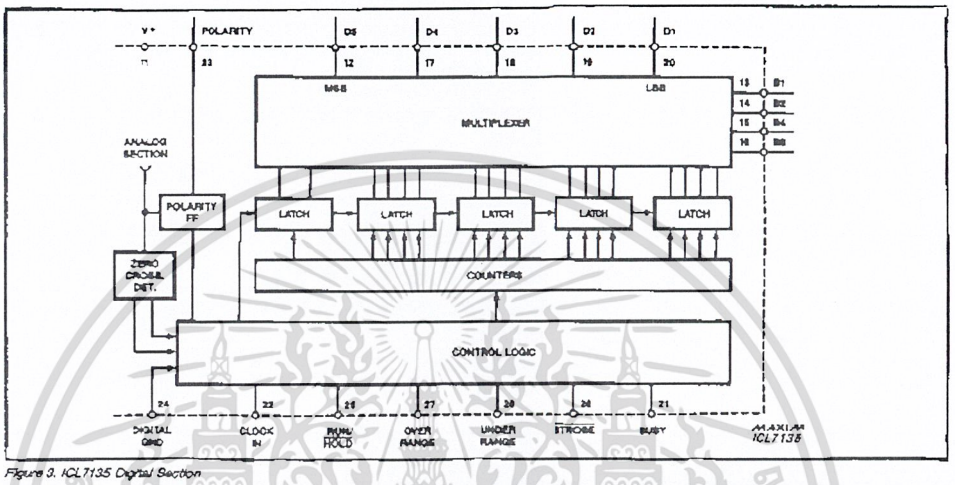


Figure 3. ICL7135 Digital Section

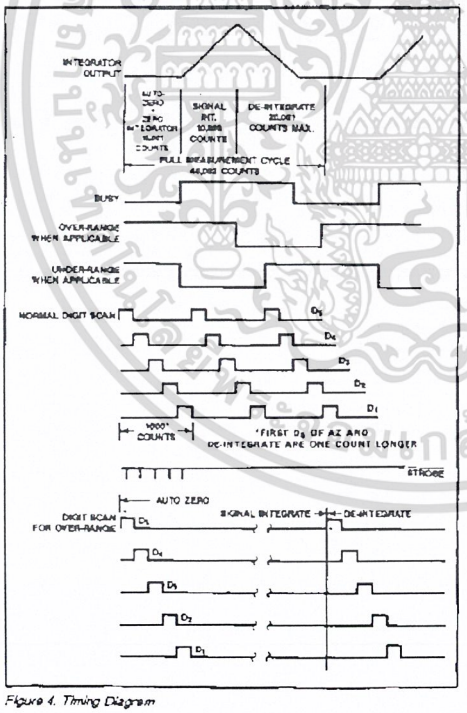


Figure 4. Timing Diagram

rising edge of the RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ input and the BUSY output. A RUN/$\overline{\text{HOLD}}$ pulse during the unused portion of deintegrate phase will be ignored, but when in the auto-zero phase a positive pulse of only 300ns (typical) will start the conversion. Figure 5 shows a simple method of obtaining one, and only one, conversion for each measurement request.

BUSY

BUSY is a status output that goes high at the beginning of signal integrate and stays high until the first clock pulse after zero crossing during De-integrate (or end of De-Integrate if overranged). The internal data latches are loaded during the next clock cycle after the falling edge of BUSY. Since BUSY is high for the 10,000 counts of signal integrate + number of counts during De-Integrate + 1 clock cycle, a simple way of sending conversion data down a single pair of wires is to logically 'AND' BUSY with the clock and to subtract 10,001 counts from the number received. Figure 6 shows a system using this method to remotely display data.

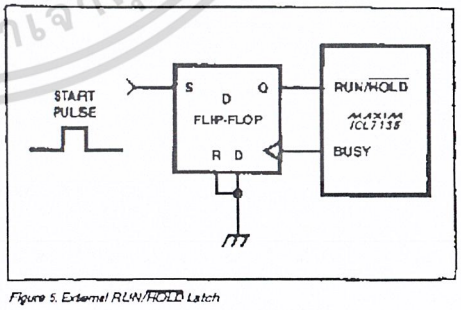


Figure 5. External RUN/HOLD Latch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

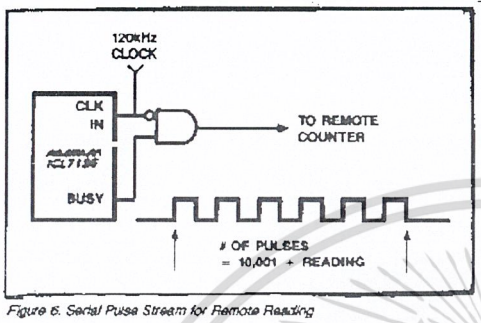


Figure 6. Serial Pulse Stream for Remote Reading

Digit Outputs

The digit outputs go high sequentially, D5 to D1, for a period of 200 clock cycles per digit. The 5 digits are continuously scanned except after an over-range measurement. After an over-range reading the digit scan stops after the strobe sequence, and remains stopped until the start of De-Integrate. For a continuous series of over-range readings, the digits will be scanned for 21,000 counts out of 40,002, resulting in a flashing display as an over-range indicator. D5 is the most significant digit.

BCD Outputs

The 4 BCD output pins are positive logic signals whose BCD data corresponds to the currently active digit strobe. The ICL7135 does not have inter-digit blanking and the BCD data changes simultaneously with the edges of the digit outputs.

STROBE

The $\overline{\text{STROBE}}$ output is a negative going pulse that is useful for latching the multiplexed BCD outputs into external BCD latches. Five negative going $\overline{\text{STROBE}}$ pulses occur in the center of the data corresponding to each of the 5 digits of measurement results, once and only once after the end of each conversion (immediately after the falling edge of BUSY). The BCD data is valid at both edges of $\overline{\text{STROBE}}$, and data can be latched in either a level sensitive latch, or an edge triggered latch. Figures 11, 12 and 14 show the use of $\overline{\text{STROBE}}$ to latch the BCD data. $\overline{\text{STROBE}}$ pulse width is 1μs less than ½ clock period.

Over-range and Under-range Outputs

These active high status outputs are set to a high level at the end of BUSY if the measurement result is 1800 or less (Under-range), or greater than 19,999 (Over-range). Under-range is reset at the beginning of the signal integrate phase; over-range is reset at the beginning of the de-integrate phase.

Polarity

The Polarity output is updated at the beginning of each de-integrate phase, and is high for a positive input signal. The Polarity output is valid for all inputs, including ±0 and overrange signals.

Component Selection

The analog component values must be selected with care to achieve optimum performance in each application. Factors that affect the proper values include the reading rate, input common mode voltage, the full scale and reference voltages, and the power supply voltages.

Integrating Resistor

Good linearity is obtained when the integrating resistor value is chosen such that the buffer's maximum output current is between 5 and 40μA. The quiescent current of the buffer is 100μA, and it can supply 20μA of output current with excellent linearity. The buffer's maximum output current occurs with a full scale input voltage, and the integrating resistor value may be calculated as:

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu A}$$

Integrating Capacitor

The maximum swing of the integrator during the signal integrate phase can be calculated as:

$$V_{swing} = \frac{I_{INT} \times T_{INT}}{C_{INT}}$$

Where $I_{INT} = 20\mu A$ if R_{INT} is chosen as described above and $T_{INT} = 10{,}000$ clock periods (83.3ms for 120kHz clock frequency). The integrator swing range should be maximized while avoiding saturation of the integrator output. Normally the integrator will not saturate until its output is within 0.3V of either supply, but for the best integral linearity the integrator's output should remain at least 1V away from either supply. For ±5V supply and Analog Common and IN LO connected to ground, a ±3.5V to ±4V swing range is optimum. Rearranging the above formula and inserting values as described above, C_{INT} may be calculated as:

$$C_{INT} = \frac{20\mu A \times 83.3ms}{3.5V} = 0.47\mu F$$

The integrator swing must be reduced if either Analog Common or IN LO is not grounded, or if the supply voltage is less than ±5V.

The integrating capacitor must have low dielectric absorption to obtain low integral nonlinearity, rollover, and ratiometric errors. The result of measurements with the reference tied to the IN HI is a good indication of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

amount of dielectric absorption in the integrating capacitor. A good integrating capacitor will result in a reading of 9999, and any deviation from this reading is probably due to dielectric absorption. Polypropylene capacitors have been found to be suitable, as have Teflon capacitors. Polystyrene and polycarbonate capacitors may also be used in less critical applications.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor will have a significant effect on the overall system noise, with larger auto-zero capacitors resulting in a quieter system. The dielectric absorption of the auto-zero capacitor affects only the speed of settling at power-up or recovery from overload and nearly any capacitor type can be used. The zero integrator phase of the ICL7135 allows the use of large auto-zero capacitors while avoiding the "over-range hangover" and hysteresis effects that occur in A/D converters without the zero integrator phase.

Reference Capacitor

Like the auto-zero capacitor, the reference capacitor's dielectric absorption is rarely critical. Low dielectric absorption reference capacitors are only required where fast settling time is needed in systems with a rapidly changing reference voltage such as ratiometric ohms measurement in multimeters.

The reference capacitor DOES need to be a low leakage capacitor since it must store the reference voltage while floating during both the signal integrate and the reference deintegrate phases. Any leakage or charge loss during these two phases results in an effective change in the scale factor of the ICL7135. Low cost film capacitors such as polyester or polystyrene have been found to be suitable in most applications.

In addition to leakage requirements, another effect that sets a lower limit on the value of the reference capacitor is the "charge suckout" caused by stray capacitance on the reference capacitor terminals. For a negative polarity input signal, the reference capacitor does not shift its common mode voltage, but with a positive polarity input signal it undergoes a negative common mode shift equal to the reference voltage. If there are stray capacitances on the reference capacitor terminals, some of the charge on the reference capacitor will be used to charge these stray capacitances as the reference capacitor makes this common mode voltage shift. This loss of charge reduces the voltage on the reference capacitor, and causes positive polarity signals to have a higher measured result than a corresponding negative voltage. This error can be reduced by minimizing the stray capacitance on the reference capacitor terminals, and by increasing the value of the reference capacitor.

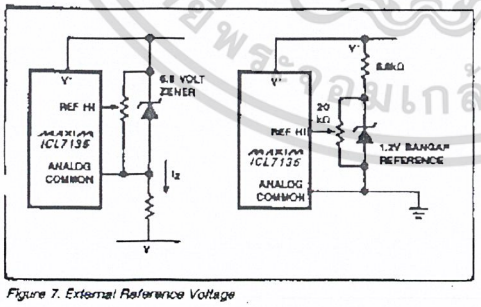


Figure 7. External Reference Voltage

Reference Voltage

The full scale reading of 20,000 will occur when $V_{IN} = 2 \times V_{REF}$. Since the 20,000 count resolution of the ICL7135 is equivalent to a 50ppm resolution, a high stability reference is recommended for high accuracy absolute measurements. Figure 7 shows two suitable methods of generating the reference voltage.

Rollover Resistor and Diode

The ICL7135 is tested for rollover using the circuit of Figure 1, with the 100kΩ resistor and diode in the circuit. The diode is noncritical, and is typically a low cost 1N4148. The resistor value is dependent on many factors including integrator swing, clock frequency, and the amount of rollover error due to "charge suckout" on the reference capacitor. 100kΩ is the optimum value for most circuits and is the value used in testing the ICL7135.

Speedup Resistor

The 27Ω speedup resistor in series with the integrating capacitor adds a pedestal voltage on top of the integrating capacitor voltage. This pedestal voltage causes zero crossing to occur earlier than would occur without the resistor. The effect of the earlier zero crossing is to give the comparator an overdrive voltage, speeding its response and reducing the conversion error due to comparator delay. If the integrator current is changed, the speedup resistor value should be changed so that the $I_{INT} \times R_{SPEEDUP} = 500\mu V$.

Clock Frequency

The clock source should be free of short-term phase and frequency jitter during the conversion period, but long term stability is not critical. The clock frequency is chosen to obtain the desired conversion rate, and to maximize the normal mode rejection of power line frequency interference. The conversion rate is directly proportional to the clock frequency, with each conversion taking 40,002 clock cycles. For maximum normal mode rejec-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

Generating a Negative Supply from +5V

Figures 10A and 10B show two methods of generating a negative supply for the ICL7135. The Maxim ICL7660 will supply 2mA (the maximum supply current of the ICL7135) at 4.85V drop, while the circuit using the CMOS inverter will deliver approximately −3.5V. If the CMOS inverter is used to generate a minus supply, the integrator swing should be reduced to 2.5 to 3V.

Noise

The normal system noise around zero is about 15μV peak-to-peak (not exceeded 95% of the time). Near full scale, the noise increases to about 30μV. The main noise source is the auto-zero loop, and increasing the value of the auto-zero capacitor will reduce the noise. Other noise sources include the buffer and integrator noise; comparator noise; and stray pickup in the input circuitry, the integrator, and the reference capacitor. The noise caused by stray pickup of interfering signals can be reduced by a tight layout and shielding. If the interfering signal frequency is constant, the effects of stray pickup in the input and integrator can be reduced by choosing a clock frequency such that the signal integration period is an integral multiple of the interfering signal's period. Since the length of the de-integration period depends on the input signal level, no single clock frequency can be chosen to reject interfering signals during the de-integrate phase.

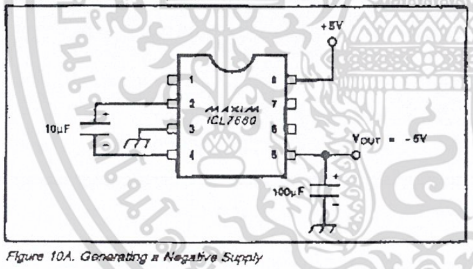


Figure 10A. Generating a Negative Supply

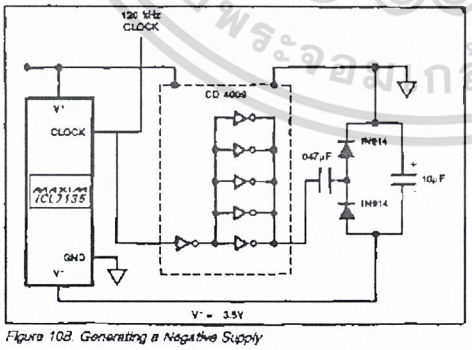


Figure 10B. Generating a Negative Supply

Typical Applications

Figure 11 uses Maxim's ICL7211 LCD display driver to drive 4 digits of LCD display. The backplane signal of the ICL7211 and the CMOS exclusive OR gates are used to drive the ½ digit and the polarity sign. The four AND gates combine the digit outputs with the STROBE output to generate the digit select signals that latch data into the ICL7211. Since the Strobe occurs in the middle of each digit's data there is ample data setup and hold time to ensure that valid data is latched. The OR gates will force the BCD data to all ones when over-range goes high. The ICL7211A will blank the display when all ones (hex F) is loaded.

The typical operating circuit on the first page of this data sheet shows a 4½ digit A/D with LED drive using the Maxim ICL7212 display driver. In this case the polarity and ½ digit segments are driven by D flip-flops that latch polarity and ½ digit data at the end of each measurement. The ICL7135 Overrange output drives the ICM7212 Brightness input, blanking the four least significant digits when the input voltage is greater than full-scale.

Some applications require non-multiplexed, latched BCD outputs. The circuit shown in Figure 12 will demultiplex and latch the ICL7135 output. If only the first rank of latches is used, the data should not be used during the 800 clock cycle update period that takes place at the end of each conversion since during this update period the

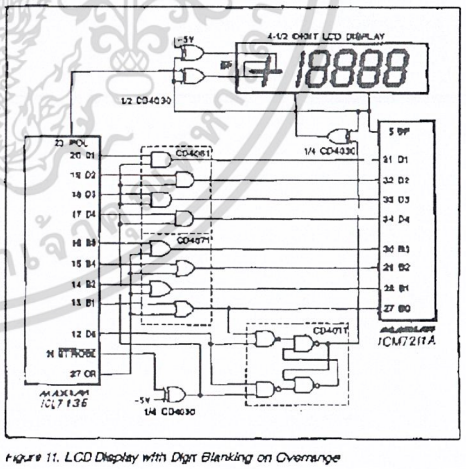


Figure 11. LCD Display with Digit Blanking on Overrange

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4½ Digit A/D Converter with Multiplexed BCD Outputs

most significant digit (MSD) data will correspond to the new reading and the least significant digit (LSD) data will be old data from the previous conversion. The second rank of latches shown in dotted lines will eliminate this problem by updating all digits simultaneously with the rising edge of D5.

There are many different possible ways of interfacing the ICL7135 to a microprocessor. Figure 13 shows a method that uses only 8 I/O lines. The digit outputs drive a priority encoder, which converts the 1-of-5 format of the digit outputs to a 3 bit binary code. When no digit is active (as in over-range), the binary output code is 0, otherwise the output corresponds to the digit number of the active digit. By sensing BUSY as either an input or as an interrupt, the microprocessor can detect when new data is available.

Another possible interface scheme is to sense only digit D5, then use time delays to choose when to read the other digits' data.

Interfacing With UARTs and Microprocessors

Figure 14 shows a simple interface between a UART and a free running ICL7135. The transmission of the five data words is started by the five STROBE pulses. The digit 5 word is 0000XXXX, digit 4 is 1000XXXX, digit 3 is 0100XXXX, etc. The polarity is transmitted indirectly by using it to drive the Even Parity Enable Pin (EPE). A parity flag at the receiver can be decoded as a positive signal, no flag as negative, if EPE of the receiver is held low. Figure 15 shows a more complex arrangement. DR goes high when the UART receives a byte via the send input, RRL. Since DR is connected to the ICL7135's RUN/HOLD input this starts a new conversion. At the end of the conversion the falling edge of BUSY resets DR via the UART's DRR input. The transmit sequence is again started by STROBE. A quad 2-input multiplexer is used to superimpose polarity, over-range, and under-range onto the D5 word since in this instance it is known that $B_2 = B_4 = B_8 = 0$.

To insure proper operation, it is necessary that the UART clock be fast enough that each word is transmitted before the next STROBE pulse arrives.

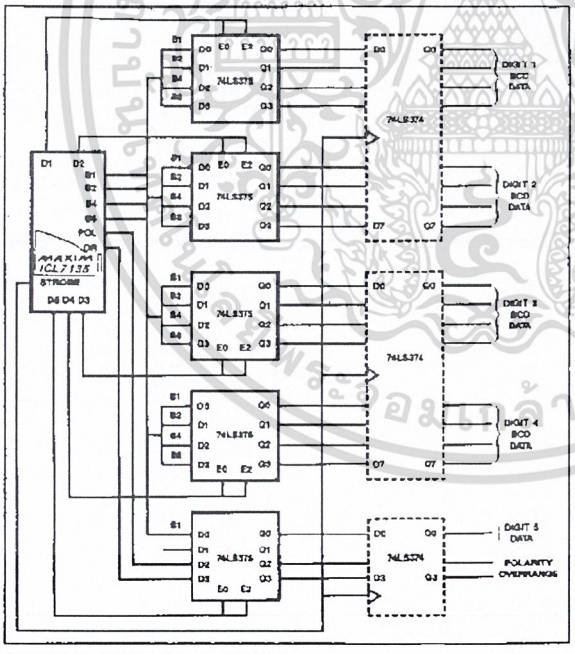


Figure 12. Non-Multiplexed, Latched BCD Output

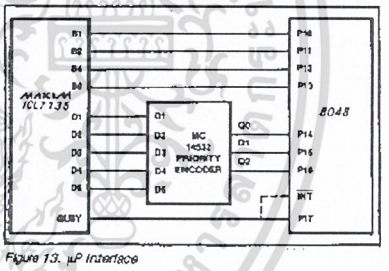


Figure 13. µP Interface

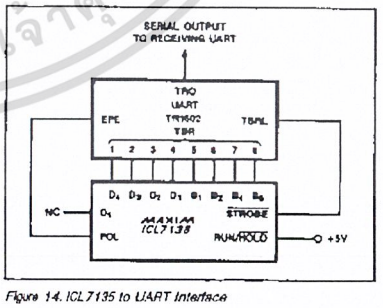


Figure 14. ICL7135 to UART Interface

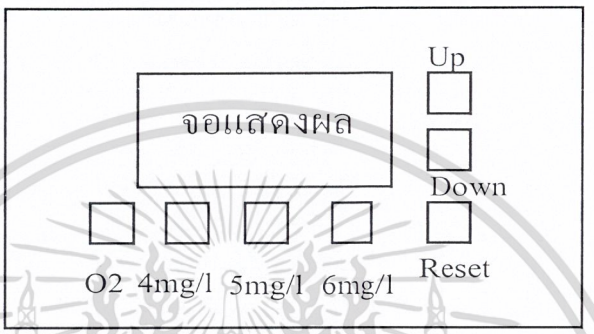
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือใช้งาน
เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ
INSTRUMENT AND DISSOLVED OXYGEN VOLUME CONTROL IN WATER SYSTEM



รูปที่ 1 แสดงด้านหน้าของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

จากรูปที่ 1 แสดงด้านหน้าของเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. จอแสดงผลผลึกเหลว ใช้สำหรับแสดงผลปริมาณค่าออกซิเจน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าอุณหภูมิของน้ำ และแสดงสถานะต่างๆ ของเครื่อง

2. สวิตช์ O_2 ใช้สำหรับเลือกเข้าสู่ฟังก์ชั่นการทำงานในการควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำต่างๆ

3. สวิตช์ 4 mg/l ใช้สำหรับเลือกสถานะเพื่อกำหนดค่าที่ใช้ในการควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ค่า 4 mg/l

4. สวิตช์ 5 mg/l ใช้สำหรับเลือกสถานะเพื่อกำหนดค่าที่ใช้ในการควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ค่า 5 mg/l

5. สวิตช์ 6 mg/l ใช้สำหรับเลือกสถานะเพื่อกำหนดค่าที่ใช้ในการควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ค่า 6 mg/l

6. สวิตช์ Reset ใช้สำหรับปรับตั้งค่าเริ่มต้นในการทำงานใหม่

7. สวิตช์ Up ใช้สำหรับเลื่อนขึ้นเพื่อดูการแสดงปริมาณค่าออกซิเจน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าอุณหภูมิของน้ำ ที่จอแสดงผลผลึกเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

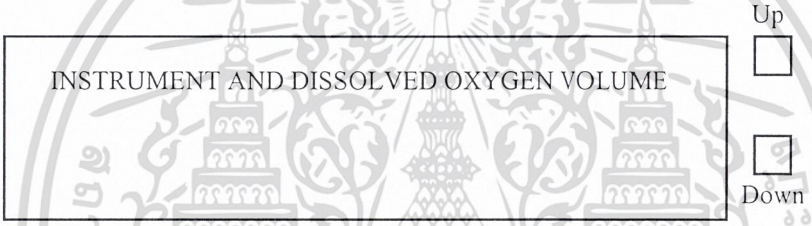
8. สวิตช์ Down ใช้สำหรับเลื่อนลงเพื่อดูการแสดงปริมาณค่าออกซิเจน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าอุณหภูมิของน้ำ ที่จอแสดงผลผลึกเหลว

2. ขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ

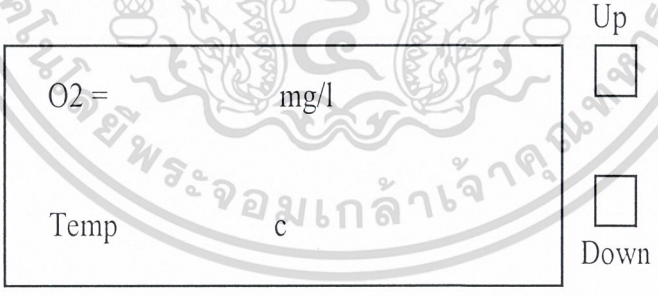
1. เสียบปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

2. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟของเครื่องเครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำ มอเตอร์ที่เคลื่อนหัวโพรบจะเคลื่อนหัวโพรบลงน้ำทุกๆ 20 นาที และแช่ในน้ำ 8 นาที

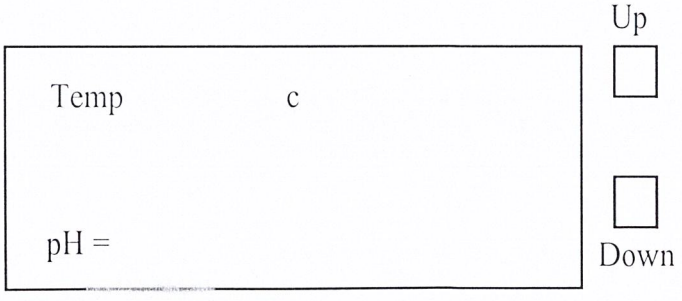
3. เครื่องมือวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในพร้อมที่จะใช้งานจอแสดงผลผลึกเหลวจะแสดง " INSTRUMENT AND DISSOLVED OXYGEN VOLUME CONTROL IN WATER SYSTEM " โดยตัวอักษรจะวิ่งจากขวาไปซ้ายของจอแสดงผล



4. เมื่อจอแสดงผลผลึกเหลว แสดงชื่อโครงงานเสร็จจอแสดงผลผลึกเหลวจะแสดง

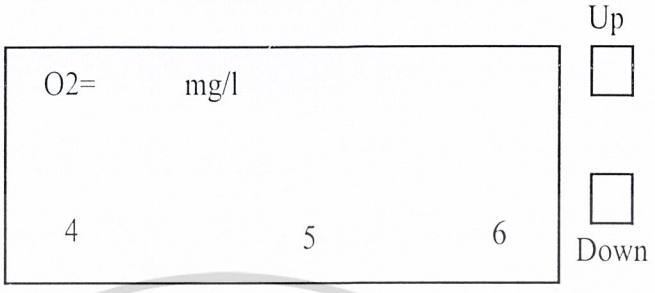


เมื่อกดสวิตช์ Down จอแสดงผลผลึกเหลวจะแสดง

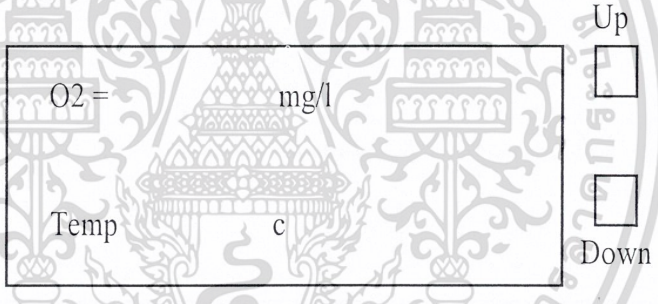


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

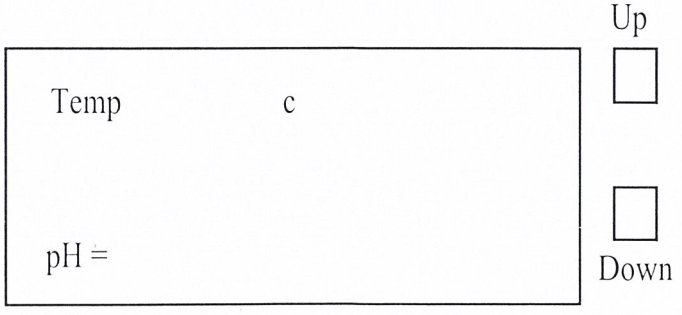
5. กดสวิตช์ O_2 เพื่อเลือกการทำงานของเครื่องในโหมดออกซิเจนจอแสดงผลผลึกเหลวจะแสดง



6. กดสวิตช์ 4 mg/l, 5 mg/l , 6 mg/l เพื่อเลือกค่าที่ใช้การควบคุมและเปรียบเทียบการปรับปรับสภาพออกซิเจนละลายในน้ำอัตโนมัติจอแสดงผลผลึกเหลวจะแสดง



เมื่อกดสวิตช์ Down จอแสดงผลผลึกเหลวจะแสดง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องจะทำการประมวลผล โดยนำค่าออกซิเจนในน้ำที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กำหนดไว้ผลที่ได้จะเป็นดังนี้ เช่นถ้าเลือกกำหนดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ 4 mg/l

กรณีที่ 1 ถ้าค่าที่รับได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้เครื่องจะสั่งให้กังหันตีน้ำทำงาน

กรณีที่ 2 ถ้าค่าที่รับได้มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้เครื่องจะสั่งให้กังหันตีน้ำหยุดทำงาน

8. ถ้าต้องการเลือกค่าที่จะใช้ในการควบคุมการปรับสภาพปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำใหม่ให้กดสวิตช์ Reset แล้วเริ่มต้นทำตามขั้นตอนที่ 5 ใหม่อีกครั้ง

2. ขั้นตอนการทำงานของชุดเซนเซอร์การหมุนของมอเตอร์ชุดกังหันตีน้ำ

1. เมื่อมอเตอร์ได้รับสัญญาณจากชุดควบคุมให้ทำงานมอเตอร์จะทำการหมุนให้กังหันตีน้ำทำงาน

2. เมื่อชุดกังหันตีน้ำไม่ทำงานชุดตรวจจับจะทำการหมุนของมอเตอร์จะส่งสัญญาณบอกว่าชุดกังหันตีน้ำไม่ทำงานโดยสัญญาณเตือนเป็นเสียงออกมาที่ชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เกษมสุข อมรพันธ์. **วิศวกรรมประปา**. กรุงเทพมหานคร : วัฒนาพานิช. 2533

ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด.**เข้าใจ / สร้าง / เล่นไมโครโปรเซสเซอร์ 2**.กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 2539

ชัยวัตน์ ลิ้มพรจิตรวิลัย และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 Flash Microcontroller.** กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ ม.ป.ป.

ปรีชา อูปคำ. **เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ.** ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542

สมศักดิ์ สินธุระเวชญ์. **การบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538

สมยศ จุณณะปิยะ, ร.ศ. **Microcontroller Applications MCS-51.** กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายเจตน์ ใจโต
วันเดือนปีเกิด	25 เมษายน 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	57/2 หมู่ 2 แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
ที่อยู่ปัจจุบัน	57/2 หมู่ 2 แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์	0-2327-4064
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพลมานีย์ จ.กรุงเทพมหานคร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพรตพิทยพยัต จ.กรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนเทคโนโลยีฉะเชิงเทรา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายเฉลิมพล ศรีสุภา
วันเดือนปีเกิด	17 กรกฎาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ภูมิลำเนาเดิม	121 หมู่ 2 ต.บ้านดง จ.ขอนแก่น 40250
ที่อยู่ปัจจุบัน	121 หมู่ 2 ต.บ้านดง จ.ขอนแก่น 40250
โทรศัพท์	0-1493-7826
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านดงไทรวิทยาคาร จ.ขอนแก่น
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบึงไทรพิทยาคม จ.ขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น จ.ขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น จ.ขอนแก่น
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	คนล้มอย่าข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนภดล ด่านไชยกูล
วันเดือนปีเกิด	15 เมษายน 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดจันทบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	127 หมู่ 9 ต.จันทนิมิต อ.เมือง จ.จันทบุรี 22000
ที่อยู่ปัจจุบัน	127 หมู่ 9 ต.จันทนิมิต อ.เมือง จ.จันทบุรี 22000
โทรศัพท์	0-9550-1503
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนสตรีมารดาพิทักษ์ จ.จันทบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีมารดาพิทักษ์ จ.จันทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี จ.จันทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี จ.จันทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ต้องรอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายสุรินทร์ ยิ่งยง
วันเดือนปีเกิด	22 พฤษภาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	100/70 หมู่ 4 ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี 71000
ที่อยู่ปัจจุบัน	100/70 หมู่ 4 ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี 71000
โทรศัพท์	0-3451 –7123 , 0-1428-7633
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนโชตินันท์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวิสุทธรังษี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคกาญจนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคกาญจนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ทำสิ่งใดต้องทำให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้