สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ แบบจำลองการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้อัตราการไหล

LIQUD FLOWING CONTROLLOR MODEL

ชื่อนักศึกษา

1. นายเบญฑูร	บุญประสิทธิ์	รหัสประจำตัว	41031512
2. นายภาสกร	เจริญกิจกำจร	รหัสประจำตัว	41031521
3. นายเอกสิทธิ์	ทับศรีนวล	รหัสประจำตัว	41031541

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาลี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์วรวิทย์ สมหา

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุระชัย	พิมพ์สาลี	.....
2. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	.....
3. อาจารย์อำพล	ทองระอา	.....
4. อาจารย์สุชิน	อาจหาญ	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 เวลา 12.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37178
วัน, เดือน, ปี 5 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

แบบจำลองการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้อัตราการไหล

LIQUID FLOWING CONTROLLER MODEL

นายเบญฑูร บุญประสิทธิ์

นายภาสกร เจริญกิจกำจร

นายเอกสิทธิ์ ทับศรีนวล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง แบบจำลองการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้อัตราการไหล
LIQUID FLOWING CONTROLLER MODEL

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ MCS8251 มาประยุกต์ใช้งานจริง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการใช้งานจริง
3. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมการจ่ายปริมาณของของเหลว
4. เพื่อศึกษาหลักการวัดอัตราการไหลของของเหลว
5. เพื่อสร้างเป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ MCS8251 ไปประยุกต์ใช้งานจริงได้
2. ได้เรียนรู้โครงสร้างและหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ MCS8251
3. สามารถอธิบายหลักการทำงานของระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ
4. ได้รับความรู้เกี่ยวกับระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการใช้งานจริง
5. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการควบคุมการจ่ายปริมาณของไหล
6. สามารถนำไปใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	แบบจำลองการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้อัตราการไหล
นักศึกษา	นายเบญฑูร บุญประสิทธิ์
	นายภาสกร เจริญกิจกำจร
	นายเอกสิทธิ์ ทับศรีนวล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาลี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วรวิทย์ สมหา
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแบบจำลองการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้อัตราการไหล ชุดทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของ ตัวแปลงคลื่นความถี่ให้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ส่วนที่สองเป็นส่วนของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น ส่วนที่สามเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และส่วนสุดท้ายเป็นตัวคอนโทรลเลอร์ MCS - 8251 ซึ่งเป็นชุดทดลองและสาธิตให้เข้าใจถึงหลักการของเครื่องมือวัดและควบคุมในงานอุตสาหกรรม ชุดทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์และในการควบคุมงานขนาดเล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Liquid Flowing Controller Model
Students	Mr.Benthoon Boonprasit
	Mr.Passakorn Charoenkitkumjorn
	Mr.Eakasit Thupsrinual
Advisor	Mr.Surachai Pimsalee
Co-Advisor	Mr.Worawit Somha
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Industrial Instrument Technology
Academic Year	1999

ABSTRACT

This thesis presents a Liquid Flowing Controller Model . The project can be devided into four parts : Frequency to Voltage, Voltage Amplifier, Analog to Digital, and IC MCS - 8251. The project helps the user to easier understand the principle of instrumentation and process control. The project can be applied for transmission with computer and use in the small controlling.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ทั้งที่ควรค่าแก่การจดจำและไม่น่าจดจำ สิ่งต่างๆเหล่านี้จะอยู่ในใจของผู้จัดทำตลอดไปไม่มีวันลืมเพราะถือเป็นประสบการณ์ชีวิตที่จะยึดถือเป็นแนวทางในการดำเนินชีวิตต่อไปในอนาคต

มีหลายบุคคลที่ผู้จัดทำได้รับน้ำใจจากท่านเหล่านั้นมากมายเสียจนไม่อาจกล่าวได้หมดในที่นี้ที่ท่านเหล่านั้นได้มีส่วนร่วมช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน ให้คำแนะนำ เหนือสิ่งอื่นใดคือกำลังใจ

ขอบคุณ นายภาณุวัฒน์ ศรีเกตุ สำหรับคำแนะนำต่างๆที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เกิดขึ้นและสำเร็จลุล่วงได้

ขอบคุณ นายปิยะบุตร สมวิทูร ที่ได้ช่วยเหลือในส่วนที่สำคัญที่สุดของงานนี้ ได้ให้ที่พักอาศัยสำหรับทำงาน

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับอาจารย์ สุระชัย พิมพ์สาลี อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้มีเมตตาให้การช่วยเหลืออย่างเต็มที่

และขอขอบคุณสำหรับทุกท่านที่เหลือที่ไม่สามารถนำมากล่าวถึงไว้ในที่นี้ได้ทั้งหมดขอขอบคุณจากใจ ขอบคุณจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 ตัวแปรพื้นฐานที่มีผลต่อการวัดการไหล	3
2.2 เครื่องมือวัดการไหล	5
2.3 หรีดรีเลย์	9
2.4 วงจรแปลงความถี่ให้เป็นแรงดัน	15
2.5 ออปแอมป์	17
2.6 ออปแอมป์ในเชิงปฏิบัติ	23
2.7 หลักการของตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	28
2.8 โซลิดสเตทรีเลย์แบบไร้หน้าสัมผัส	34
2.9 โซลินอยด์	37
2.10 ทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่	40
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	42
3.1 กล่าวนำ	42
3.2 ส่วนตรวจจับ	42
3.3 ส่วนการปรับแต่งสภาวะของสัญญาณ	43
3.4 ส่วนประมวลผลสัญญาณ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5 ส่วนควบคุมกระบวนการตัวสุดท้าย	45
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	47
4.1 บทนำ	47
4.2 การทดลองวงจรภาคขยายแรงดัน	45
4.3 การทดลองวงจรภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	46
4.4 การทดลองวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า	49
4.5 การทดลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว	50
4.6 การทดลองการควบคุมการจ่ายของเหลว	50
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา	52
5.1 บทสรุป	52
5.2 ปัญหา	52
5.3 แนวทางการแก้ไข และพัฒนา	52
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	53
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	56
ภาคผนวก ค ผังการทำงาน และโปรแกรมการทำงาน	66
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน	79
บรรณานุกรม	83
ประวัติผู้แต่ง	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรภาคขยายแรงดัน	47
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของวงจรสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	48
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองของวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า	49
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการควบคุมการจ่ายของเหลว	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของรีเลย์หน้าสัมผัสแบบ A	10
รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของรีเลย์หน้าสัมผัสแบบ B	11
รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของรีเลย์หน้าสัมผัสแบบ C	11
รูปที่ 2.4 รีเลย์แบบ A ที่มีจำนวนหน้าสัมผัส 1 ชุด	12
รูปที่ 2.5 รีเลย์แบบ B ที่มีจำนวนหน้าสัมผัส 1 ชุด	12
รูปที่ 2.6 รีเลย์แบบ A ที่มีจำนวนหน้าสัมผัส 2 ชุด	12
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของออปแอมป์อย่างง่ายแทนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน	18
รูปที่ 2.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	19
รูปที่ 2.9 วงจรขยายโคลสลูปแบบต่าง ๆ	21
รูปที่ 2.10 วงจรขยายอินเวอร์ติ้งเฟสของสัญญาณทางเอาต์พุตจะกลับเฟสกับสัญญาณอินพุต	23
รูปที่ 2.11 วงจรขยายนอนอินเวอร์ติ้งเฟสของสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นเฟสเดียวกัน	23
รูปที่ 2.12 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลขยายความแตกต่างระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง	24
รูปที่ 2.13 ใช้ออปแอมป์มาทำเป็นวงจรออดิโอมิกเซอร์แบบ 3 อินพุต	24
รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass) แบบออร์เดอร์ที่ 2	25
รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass) แบบออร์เดอร์ที่ 2	25
รูปที่ 2.16 วงจรแบ่งแรงดันไฟเลี้ยงจากชุดเดียวกันให้เป็น 2 ชุด	25
รูปที่ 2.17 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ปรับแรงดันได้	26
รูปที่ 2.18 วงจรแปลงไฟ เอซี/ดีซี มีออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้สัญญาณด้วย	26
รูปที่ 2.19 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบวีนบริดจ์ให้คลื่นรูปไซน์ระดับสัญญาณเอาต์พุต	26
รูปที่ 2.20 วงจรมัลติไวเบรเตอร์กำเหนิดคลื่นสี่เหลี่ยม	27
รูปที่ 2.21 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ให้เอาต์พุตได้ทั้งคลื่นรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม	27
รูปที่ 2.22 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D Converter	28
รูปที่ 2.23 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลด้วย A/D Converter	29
รูปที่ 2.24 วงจรแซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์	30
รูปที่ 2.25 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์	31
รูปที่ 2.26 ตัวแปลงสัญญาณ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบแรมป์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.27 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/S คอนเวอร์เตอร์	32
รูปที่ 2.28 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR	33
รูปที่ 2.29 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณ	34
รูปที่ 2.30 แสดงวงจรสมบูรณ์ของโซลิดสเตทรีเลย์	35
รูปที่ 2.31 ทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า	41
รูปที่ 2.32 รูปแบบสัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า	41
รูปที่ ก.1 แสดงส่วนตรวจจับและส่วนควบคุมกระบวนการตัวสุดท้าย	54
รูปที่ ก.2 กล่องควบคุม	54
รูปที่ ก.3 แสดงการจัดวางแผ่นวงจรพิมพ์	55
รูปที่ ข.1 วงจรภาคควบคุม	57
รูปที่ ข.2 วงจรภาคปรับแต่งสภาวะสัญญาณ	58
รูปที่ ข.3 วงจรภาคแสดงผล	59
รูปที่ ข.4 วงจรภาคส่วนควบคุมกระบวนการตัวสุดท้าย	60
รูปที่ ข.5 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ	61
รูปที่ ข.6 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม	62
รูปที่ ข.7 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคควบคุม	63
รูปที่ ข.8 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ภาคปรับแต่งสภาวะสัญญาณ	64
รูปที่ ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคปรับแต่งสภาวะสัญญาณ	65
รูปที่ ค.1 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	67
รูปที่ ค.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งระบบ	78
รูปที่ ง.1 แสดงภาพกล่องควบคุม	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ตัวแปรที่สำคัญในระบบควบคุมตัวหนึ่งคือ การไหล เพราะตัวแปรอื่นๆที่ต้องการควบคุมจะถูกควบคุมโดยปริมาณของการไหลเกือบทั้งสิ้นโดยส่งผลไปที่วาล์วควบคุมหรือเพลา เมื่อของไหลของระบบเป็นของเหลวหรือก๊าซ วิธีการและเครื่องมือวัดการไหลมีหลายชนิดแต่ละวิธีก็มีหลักการแตกต่างกันออกไปส่วนใหญ่แล้วมิใช่เป็นการหาค่าการไหลโดยตรงแต่จะวัดหาความเร็วของการไหลแล้วคำนวณออกมาเป็นอัตราการไหล เช่น วิธีการหาค่าความดันแตกต่างโดยใช้ออริฟิส, แบบใช้หลักการแม่เหล็ก, แบบใช้อัลตราโซนิค, แบบใช้เวอเท็กซ์, แบบใช้เทอไบน์ หรือแบบโรตามิเตอร์ จะเห็นว่าวิทยาการหลายแขนงสามารถประยุกต์เข้ามาวัดค่าการไหลได้ซึ่งก็มีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันไปขึดความสามารถในการใช้งานแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของเครื่องมือวัดและของไหล ที่ต้องการวัดนั้นๆ แบบที่สามารถวัดปริมาตรได้โดยตรงคือแบบ Positive Displacement

ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้มีหลักการคือในแต่ละรอบของการหมุนของเครื่องมือวัดจะแบ่งปริมาตรของของไหลออกเป็นห้วงๆซึ่งแต่ละห้วงที่ไหลจะมีปริมาตรแน่นอน ดังนั้นอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับจำนวนห้วงที่ไหลผ่านในหนึ่งหน่วยเวลา อุปกรณ์การตรวจวัดอัตราการไหลประเภทนี้นิยมใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำและน้ำมันซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน

ปริญญานิพนธ์นี้จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดการไหลประเภทนี้มาเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างแบบจำลองควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้การไหลเพื่อให้เห็นถึงหลักการในการวัดและควบคุมการไหลในการใช้งานจริง

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1) สามารถวัดอัตราการไหลของของเหลวได้

2) สามารถวัดปริมาณการไหลของของเหลวได้

3) สามารถแสดงค่าของอัตราการไหลและปริมาณการไหลออกทางจอแสดงผลแบบ Led 7 Segment ได้

4) สามารถรับคำสั่งจาก Keyboard Input เพื่อสั่งให้ควบคุมการจ่ายของเหลวตาม ปริมาณที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัดการไหล, ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวัดการไหล และหลักการวัดการไหล

บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงาน กล่าวถึงส่วนเซนเซอร์ การออกแบบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน. วงจรขยายแรงดันและวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล การออกแบบภาคคอนโทรลเลอร์ การทำงานของวงจรทั้งหมด และการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5 บทสรุปปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา กล่าวสรุปการทำปริญญานิพนธ์ คือ ปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มทำปริญญานิพนธ์. วิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น, ข้อเสนอแนะและแนวทางในการนำปริญญานิพนธ์ไปพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ตัวแปรพื้นฐานที่มีผลต่อการวัดการไหล

คุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของของไหลแต่ละชนิดที่ควรทราบ ทั้งนี้ก็เพื่อว่าจะเป็นตัวพิจารณาเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เช่น ค่าความหนืด, ค่าความหนาแน่น, ความดัน, อุณหภูมิและค่าตัวเลขของเรโนลด์ ค่าต่างๆดังกล่าวในข้างต้นนี้จะมีความสัมพันธ์กัน ตัวอย่าง เช่น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปค่าต่างๆเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเกือบทั้งสิ้น

2.1.1 อุณหภูมิ

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ตัวแปรอื่นๆอีกหลายตัว เช่น ค่าความหนืด, ค่าความหนาแน่น, การถัดตัวเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ในการวัดของไหลที่เป็นของเหลวเนื่องจากอุณหภูมิในช่วงไหลผ่านตัววัดมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยดังนั้นจึงประมาณว่ามีค่าคงที่ แต่ในของไหลที่เป็นก๊าซหรือไออุณหภูมิจะต้องวัดและนำมาเป็นตัวแก้ไขหรือชดเชยค่าของการไหลด้วย ในการวัดอัตราการไหลของปริมาตรค่าอุณหภูมิพื้นฐานหรืออ้างอิงจะมีค่าอยู่ที่ $60^{\circ}F$ ค่าการไหลในระบบที่มีอุณหภูมิต่างๆจะต้องเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงนี้เพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบและเป็นมาตรฐานเดียวกัน

2.1.2 ความดัน

การเปลี่ยนแปลงค่าของความดันในของเหลวจะมีผลต่อตัวแปรอื่นๆน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ค่าความดันพื้นฐานอ้างอิงมีค่า 14.7 psia สำหรับการวัดแบบค่ากำหนดปริมาตร เช่นค่าการไหลของลมกำหนดไว้ 15 SCFM หมายความว่าค่าการไหลของลมขณะนั้นมีค่าเท่ากับ 15 ลูกบาศก์ฟุต/นาที ที่อุณหภูมิ $60^{\circ}F$ และความดัน 14.7 psia

2.1.3 ค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่น คือ ค่ามวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรซึ่งเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ว่า $\rho = m/v$ ค่าความหนาแน่นของของเหลวจะเปลี่ยนค่าตามอุณหภูมิแต่เกือบจะไม่มีผลเมื่อความดันเปลี่ยนไป ยกเว้นในช่วงความดันสูงมากๆ โดยปกติจะเรียกของเหลวว่าเป็นสารประเภทอัดตัวไม่ลง แต่ในกรณีที่เป็นก๊าซหรือไอความหนาแน่นจะเปลี่ยนตามทั้งค่าความดันและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ค่าการอัดตัว

ของเหลวเมื่อเพิ่มความดันในส่วนของปริมาตรถือได้ว่าแทบจะไม่มีการเปลี่ยน ดังนั้นในการคำนวณจึงให้เป็นค่าคงที่แต่ในกรณีที่เป็นก๊าซหรือไอค่าการอัดตัวนี้ถือเป็นตัวประกอบที่มีความสำคัญมาก ความสำคัญระหว่างความดันและปริมาตรของก๊าซจะเป็นไปตามกฎของก๊าซที่ว่า

$$PV = RT \qquad \text{สมการที่ (2.1)}$$

โดยที่ P = ความดันสัมบูรณ์

V = ปริมาตรจำเพาะ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

ในของเหลวความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณถูกกำหนดโดยค่า Bulk Modulas

$$\text{Bulk Moduls} = \frac{\text{ค่าความดันที่เปลี่ยนไป}}{\text{ปริมาตรที่เปลี่ยนไป / ปริมาตรเดิม}} \qquad \text{สมการที่ (2.2)}$$

2.1.5 ค่าความหนืด

ค่าความหนืดก็คือคุณสมบัติต่อต้านการไหลของของเหลวเราจะพบว่าของเหลวที่มีความหนืดมากจะไหลช้ากว่าของเหลวที่มีความหนืดน้อย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้เกิดจากผลของการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโครงสร้างของของเหลวนั้นๆ ในขณะที่อุณหภูมิต่ำๆ โมเลกุลของของเหลวจะยึดเหนี่ยวกันอย่างใกล้ชิดทำให้มีแรงยึดเกาะมาก แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลแยกตัวออกจากกันแรงยึดเกาะก็จะน้อยลงเป็นเหตุให้ความหนืดลดลงด้วย ดังนั้นเราก็พอที่จะกล่าวได้ว่าอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อความหนืด

2.1.6 ความเร็วของการไหล

ความเร็วของการไหล เป็นความเร็วในทิศทางการไหล ความเร็วหรืออัตราการไหลจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของการไหล กล่าวคือเมื่อความเร็วเฉลี่ยถูกทำให้ช้าลงการไหลจะเป็นแบบราบเรียบ และหากเพิ่มความเร็วในการไหลให้สูงขึ้นการไหลก็จะกลายเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)}} \qquad \text{สมการที่ (2.3)}$$

ในการวัดอัตราการไหลของของไหลนั้นธรรมชาติของการไหลสามารถอธิบายได้ด้วยตัวเลขของเรย์โนลด์

$$R = \frac{VD\rho}{\mu} \qquad \text{สมการที่ (2.4)}$$

โดยที่

V = ความเร็วเฉลี่ย

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

ρ = ความหนาแน่นของของไหล

μ = ความหนืด

ค่าตัวเลขของเรย์โนลด์สามารถที่จะบอกได้ว่าการไหลของของไหลนั้นจะเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน กล่าวคือถ้าตัวเลขของเรย์โนลด์มีค่าน้อยกว่า 2000 จะแสดงการไหลแบบราบเรียบและหากตัวเลขมากกว่า 4000 จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวเลขที่อยู่ระหว่างทั้งสองจำนวนนั้นไม่สามารถที่จะทำนายธรรมชาติของการไหลได้ว่าเป็นแบบไหน

2.2 เครื่องมือวัดการไหล

2.2.1 เครื่องมือวัดการไหลแบบ Positive Displacement

เครื่องมือวัดการไหลแบบ Positive Displacement เป็นเครื่องมือวัดปริมาตรของการไหลโดยแต่ละรอบของการหมุนของเครื่องมือวัดจะแบ่งปริมาตรของของเหลวออกเป็นห้วงๆแต่ละห้วงที่ไหลผ่านมีปริมาตรที่แน่นอน ดังนั้นอัตราการไหลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนห้วงที่ไหลผ่านในหนึ่งหน่วยเวลาลักษณะของเครื่องมือวัดแบบนี้เป็นหลักการดิจิตอลในยุคแรกๆอาศัยชุดเฟืองที่ติดกับแกนทำให้อ่านค่าการไหล รวมที่หน้าปัดได้โดยตรงแต่ในปัจจุบันสามารถต่อเข้ากับระบบดิจิตอลได้โดยตรง ถ้าเราติดตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเป็นห้วงๆให้ผลิตสัญญาณตามจำนวนรอบของการหมุน ดังสมการที่ (2.5)

$$Q = K \times n \qquad \text{สมการที่ (2.5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q = ปริมาตรทั้งหมดที่ไหลผ่านเครื่องมือวัด

K = ค่าคงที่

n = จำนวน Pulse ที่วัดได้

แต่ถ้าต้องการทราบค่าอัตราการไหล ก็สามารถทำได้โดยผ่านภาคคำนวณหา

$$Q = C \times \frac{n}{T}$$ สมการที่ (2.6)

เมื่อ Q = อัตราการไหล มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อหน่วยเวลา เช่น ลูกบาศก์เมตร/ชม.

C = ค่าคงที่

n = จำนวน Pulse ที่วัดใน 1 หน่วยเวลา T

รูปแบบของเครื่องมือวัดการไหล ชนิด Positive Displacement มีหลายแบบแบ่งตามลักษณะการหมุนของตัววัดได้ดังนี้ แบบนิวเตติ้งดิสก์, แบบลูกสูบหมุน, แบบโอวอล

1) แบบนิวเตติ้งดิสก์

นิวเตติ้งดิสก์เป็นแบบที่นิยมใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ หรือน้ำมันหนืดๆ ตัวดิสก์ถูกติดตั้งอยู่บนบอลแบริ่งในตำแหน่งเอียงพอดีที่ขอบทั้งสองด้านสัมผัสกับกล่องที่บรรจุอยู่ทำให้ปริมาตรถูกแบ่งเป็น 2 ห้อง คือด้านล่างและด้านบนของตัวดิสก์

การทำงาน ด้านข้างของกล่องบรรจุดิสก์ถูกเจาะเป็น 2 ช่อง ช่องหนึ่งเป็นทางเข้าของของเหลวอีกช่องหนึ่งเป็นทางออก เมื่อมีของเหลวไหลเข้าสู่กล่องทำให้ดิสก์หมุนไปขอบดิสก์ด้านที่สัมผัสกับกล่องทำหน้าที่เป็นตัวกั้นของเหลวที่ไหลเข้าไปในกล่องแล้วมิให้รั่วออกทิศทางการหมุนของดิสก์จะเป็นไปตามทิศทางการไหลของของเหลว เนื่องจากความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่เกิดขึ้นที่ด้านเข้าและด้านออกของตัววัดในหนึ่งรอบที่ดิสก์หมุนไปจะมีปริมาตรของเหลวไหลผ่านตัววัดแบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงบนและช่วงล่างของดิสก์ดังนั้นปริมาตรที่ไหลผ่านตัววัดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบที่ดิสก์หมุนไปแกนที่ติดกับบอลแบริ่งสามารถนำไปขับเฟืองอ่านค่าการไหลรวมได้โดยตรง หรืออาจต่อไปเข้ากับตัวสร้าง Pulse ผลิตสัญญาณไฟฟ้าให้สัญญาณเป็นดิจิตอลได้

2) แบบลูกสูบหมุน

หลักการทำงานของแบบนี้คล้ายๆกับแบบนิวเตติ้งดิสก์แต่ใช้ลูกสูบที่ถูกวางเยื้องศูนย์กับกรอบวงกลมหมุนส่ายไปรอบๆโรลเลอร์ โดยด้านเข้าและด้านออกของของเหลวจะถูกกั้นด้วยไดอะแฟรมแผ่นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะการทำงาน ของเหลวที่มีความดันจะไหลเข้าตัววัดทางช่องรับของเหลวสู่ห้องถัดไปทางขวามือและผลักดันให้ลูกสูบหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเมื่อตำแหน่งของลูกสูบหมุนจะทำให้ช่องรับของเหลวถูกปิดมากขึ้นจนกระทั่งช่องรับของเหลวปิดสนิท ต่อจากนั้นช่องของเหลวออกจะถูกเปิดออกของเหลวในห้องจะถูกลูกสูบอัดให้ออกทางช่องของเหลวออกออกในจังหวะเดียวกันนั่นเองช่องรับของเหลวก็เริ่มเปิดออกรับของเหลวเข้าและผลักดันให้ของเหลวที่เข้าไปในจังหวะก่อนไหลออกสู่ทางออกจนหมด จังหวะการทำงานก็จะวนเวียนไปตลอดในลักษณะนี้การวัดปริมาตรของเหลวที่ไหลผ่านตัววัดนี้จะใช้การวัดจำนวนรอบของลูกสูบที่หมุนไปเนื่องจากลูกสูบถูกออกแบบให้หมุนไปติดกับกรอบนอกและสัมผัสกับไดอะแฟรมอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการรั่วไหลของเหลวจะมีน้อยมากยกเว้นในช่วงอัตราการไหลต่ำๆเท่านั้น ขณะไม่ใช้งานควรมีวาล์วปิดไว้ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการรั่ว

3) เครื่องวัดอัตราการไหลแบบโอวอล

ลักษณะเป็นเฟืองรูปวงรีสองอันขบกันอยู่ในตัววัดเฟืองนี้จะถูกผลักให้หมุนไปเนื่องจากความดันของของเหลาทางด้านเข้า เมื่อเฟืองทั้งคู่หมุนไปจะเกิดจังหวะรับและคายของเหลวสลับกันไป จังหวะที่เฟืองตัวที่สองคายของเหลวออกและเฟืองตัวแรกรับของเหลวเข้าเต็มที่พร้อมที่จะคายออกเมื่อเฟืองหมุนต่อไป จังหวะที่เฟืองตัวแรกคายของเหลวออกและเฟืองตัวที่สองเริ่มรับของเหลวเข้า จนเฟืองตัวที่สองรับของเหลาเข้าเต็มที่พร้อมที่จะคายออกเป็นเช่นนี้ตลอดไป การหมุนของเฟืองแต่ละรอบจะส่งผ่านของเหลวไปได้ 4 ช่วงของปริมาตรที่ช่องว่างระหว่างเฟืองกับกรอบตัววัดการที่ออกแบบตัวหมุนเป็นเฟืองขบกันเพื่อป้องกันการเลื่อนของตัวโอวอลและเพื่อให้เป็นตัวกั้นระหว่างของเหลาทางด้านและด้านออกได้ดียิ่งขึ้น การวัดอัตราการไหลด้วยวิธีนี้สามารถลดค่าผิดพลาดลงเหลือต่ำกว่า 0.5% เท่านั้น

การสร้างสัญญาณเอาต์พุตทางไฟฟ้า จะตรวจวัดที่เฟืองตัวใดตัวหนึ่งโดยยึดแม่เหล็กถาวรไว้ที่เฟืองโรเตอร์ที่หมุนไปตามอัตราการไหลเมื่อจุดที่ติดตั้งแม่เหล็กหมุนผ่านเจนเนอเรเตอร์ตัวเล็กจะเกิดสัญญาณไฟฟ้าขึ้นเป็นห้วงๆ จำนวนห้วงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลสามารถกำหนดได้เช่น 100 cc/Pulse เมื่อผ่านภาคปรีแอมพลิฟายเออร์จะได้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมออกมาซึ่งสามารถต่อโดยตรงเข้ากับคอมพิวเตอร์ได้ วัสดุที่ใช้ทำเฟืองโรเตอร์มีหลายชนิดสามารถเลือกใช้ได้ตามของเหลวที่ต้องการวัด เช่น คาร์บอนพิเศษ แบบมาตรฐานทำด้วยสแตนเลสสตีล 316 ขนาดของอัตราการไหลต่ำสุดที่สามารถวัดได้ตั้งแต่ 4 ลิตร/ชั่วโมง จนถึงย่านหมื่นลิตร/ชั่วโมงมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm$ 0.5% ของค่าสูงสุดเหมาะสำหรับใช้วัดปริมาตรของของเหลวที่ต้องการบรรจุหีบห่อ เช่น ใช้ควบคุมการบรรจุน้ำนม , น้ำผลไม้ลงในกล่องบรรจุเพราะให้ค่าความถูกต้องสูงและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความเชื่อถือได้สูงกว่าเครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Positive Displacement แบบอื่นๆ ที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไป

4) มิเตอร์ชนิดใบพัดหมุน

มิเตอร์ชนิดใบพัดหมุนถูกใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและถูกใช้เพื่อการวัดน้ำมันเบนซินและน้ำมันดิบ ซึ่งจะประกอบด้วยตัวหมุนทรงกระบอกหนึ่งตัวที่ตัวหมุนรอบเพลากลางและลูกเบี้ยวที่อยู่กับที่ เมื่อของเหลวไหลต้านกับใบพัดที่ยื่นออกมาเป็นผลให้มีการหมุนของตัวหมุนและการกระทำของลูกเบี้ยวจะเป็นเหตุให้ใบพัดทำหน้าที่เหมือนกับตัวติดตามลูกเบี้ยวและสร้างห้องวัดเพื่อวัดการไหลผ่านของของไหลการกระทำที่เป็นรูเล็กๆของของไหลที่ถูกวัดจะอุดรูรั่วของใบพัดอย่างได้ผลเพื่อสร้างช่องว่างที่ใช้ในการวัด

มิเตอร์ชนิดนี้จะให้ความเที่ยงตรงมากทีเดียวและสามารถนำไปใช้กับท่อที่ขนาดถึง400 มม. ซึ่งมีความเที่ยงตรงโดยปกติประมาณ $\pm 0.1\%$ ส่วนที่มีความเที่ยงตรงประมาณ $\pm 0.5\%$ จะพบในมิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่

มิเตอร์เหล่านี้ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุหลายชนิดและสามารถใช้กับอุณหภูมิและความดันที่สูงพอสมควร ซึ่งจำกัดด้านบนสุดอยู่ที่ประมาร 177 ^{o}C และ 1000 psig (6.9Mpa) มิเตอร์ชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในการวัดการไหลของของเหลวที่สะอาดความหนืดต่ำ ในย่านตั้งแต่ไม่กี่แกลลอนต่อนาทีไปจนถึง 17.500 แกลลอน/นาที (66.5 ลิตร/นาที)

ข้อดี

1. ความดันสูญเสียต่ำ
2. ใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งในแก๊สและของเหลว รวมทั้งของไหลที่มีความหนืด
3. ใช้ได้กับความดันและอุณหภูมิที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์ชนิดอื่น
4. สร้างได้จากวัสดุหลายชนิด
5. ให้ความเที่ยงตรงสูง

ข้อเสีย

1. มีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก
2. มีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์ชนิดอื่น
3. ง่ายต่อการเสียหายเนื่องจากไอที่ติดมากับของไหล
4. ค่าความเที่ยงตรงจะลดลงที่อัตราการไหลต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หรีดรีเลย์

หรีดรีเลย์เป็นรีเลย์ประเภทหนึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เป็นโลหะที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็กเรียกว่าหรีด โดยปกติหรีดจะมีสองอันหรีดทั้งสองจะอยู่ในหลอดแก้วซึ่งมีก๊าซเฉื่อยบรรจุอยู่ หลอดแก้วที่บรรจุหรีดจะถูกนำไปใส่ไว้ในขดลวดอีกทีหนึ่ง เมื่อจ่ายกระแสผ่านขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก มีผลทำให้หรีดในหลอดแก้วต่อกันหรือแยกออกจากกันได้

หรีดรีเลย์ มี 3 ชนิด ด้วยกันคือ

1. Dryreed Relay

2. Ferreed Relay

3. Mercury-wetted contact Relay

นอกจากหรีดรีเลย์ทั้ง 3 แบบที่กล่าวถึงแล้วยังมีรีเลย์อีกประเภทหนึ่ง คือ Resonantreed Relay รีเลย์แบบนี้แม้ว่าจะมีคำว่าหรีดอยู่ด้วยก็ตามแต่จะไม่จัดให้อยู่รวมกับรีเลย์ทั้ง 3 แบบรีเลย์ประเภทนี้เป็นรีเลย์ที่มีความไวต่อความถี่

ย้อนหลังไปเมื่อปี พ.ศ. 2479 ระยะนั้นบริษัทเบลาบอราตอรีส์ ได้เริ่มศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการทำงานของหน้าสัมผัสของรีเลย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและมีการทำงานรวดเร็วยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาจากการศึกษาดังกล่าว คือการนำหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับแม่เหล็กมาใช้งานอันเป็นที่มาของหรีดรีเลย์

หรีดรีเลย์ประกอบด้วยหลอดแก้ว , ลิ้นโลหะ หรือหรีดและขดลวดเมื่อเอาหลอดแก้วบรรจุหรีดไปสวมเข้ากับขดลวดก็จะกลายเป็นหรีดรีเลย์ขึ้นมาปลายของหรีดทั้งสองที่อยู่นอกหลอดแก้วเป็นส่วนที่ต่อออกไปใช้งาน

หลอดแก้ว ใช้บรรจุหรีดปลายทั้งสองข้างของหลอดแก้วเป็นตัวยึดหรีดไว้อย่างมั่นคงภายในหลอดแก้วจะใส่ก๊าซเฉื่อยประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน ผู้ผลิตรีเลย์หลายแห่งอาจบรรจุส่วนผสมของก๊าซเฉื่อยฮีเลี่ยมเป็นส่วนใหญ่ ก๊าซที่ใส่ไว้ในหลอดแก้วมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมแรงดันเบรคดาวน์ พร้อมกันนั้นอาร์กที่เกิดขึ้นจะถูกขจัดไป

หรีด ทำด้วยสารแม่เหล็กอย่างอ่อนโดยจะใช้โลหะผสมระหว่างเหล็กกับนิเกิ้ล ปกติในหลอดแก้ว 1 หลอดจะมีหรีดอยู่ 2 อัน (แต่ไม่เสมอไป) เมื่อมีสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการจ่ายกระแสผ่านขดลวดที่อยู่รอบหลอดแก้วมากระทำต่อหรีด หรีดทั้งสองก็จะกลายเป็นแม่เหล็กด้วยเหตุว่าหรีด 2 อัน ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะต่างกันหรีดจะดึงดูดเข้าหากันหรีดทำหน้าที่หลายๆอย่างภายในตัวเอง คือ เป็นหน้าสัมผัส , เป็นสปริง และเป็นอาร์เมเจอร์แม่เหล็ก ตอนปลายของหรีดทั้งสองที่อยู่ภายในหลอดแก้วและทำหน้าที่เป็นหน้าสัมผัสนั้นจะชุบไว้ด้วยโลหะประเภท ทอง เงิน หรือโรเดียม โลหะแต่ละชนิดที่ใช้ทำเป็นหน้าสัมผัสจะเหมาะสมกับโหลดขนาดต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่หรีดทั้งสองยังไม่ต่อกันถ้าเราจ่ายกระแสผ่านขดลวดเมื่อถึงจุดที่มีเส้นแรงแม่เหล็กมากพอพื้นที่ส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสของหรีดจะต่อกันพอเราลดกระแสของขดลวดลงสนามแม่เหล็กก็จะลดลงด้วยทำให้แรงดึงดูดระหว่างหรีดลดลงเมื่อถึงจุดหนึ่งที่แรงดึงดูดไม่สามารถจะเอาแรงสปริงของหรีดได้ หรีดก็จะแยกออกจากกันด้วยแรงสปริงภายในตัวเอง หน้าสัมผัสก็จะเปิด

การที่นำหรีดไปใส่ไว้ในหลอดแก้วและยังมีก๊าซเฉื่อยบรรจุอยู่อีกทำให้หรีดกับอากาศภายนอกถูกแยกจากกันโดยสิ้นเชิง ดังนั้นสิ่งสกปรกต่างๆจากภายนอกจึงไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการทำงานของหรีดรีเลย์เลย ซึ่งถ้าเป็นรีเลย์แบบอาร์เมเจอร์ แม้ว่าเวลาใช้งานจะมีฝาพลาสติกครอบอยู่ สิ่งสกปรกจำพวกฝุ่นละอองจากภายนอกก็ยังมีโอกาสเข้าไปเกาะตามหน้าสัมผัสต่างๆ อันจะเกิดผลเสียต่อการใช้งานได้

ระยะห่างระหว่างหรีดทั้งสองซึ่งกำหนดให้เท่ากับ X นั้น จะเป็นฉนวนระหว่างหรีดทั้งสองได้อย่างดีในกรณีที่หรีดยังไม่ต่อกัน ฉนวนนี้มีค่าถึงประมาณ 5×10^{5} MΩ ซึ่งนับว่ามีค่าสูงมาก ขนาดของหลอดแก้วที่บรรจุหรีดมีขนาดเล็กมากเมื่อใช้ร่วมกับขดลวดแก้วก็จะมีขนาดโตขึ้นอีกไม่มากนักดังนั้นหรีดรีเลย์จึงมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับรีเลย์แบบอื่น อุปกรณ์ที่ออกแบบโดยใช้หรีดรีเลย์จำนวนมากๆ จึงมีขนาดเล็กลง

วัสดุประเภทพลาสติกทำแกนของขดลวดจะมีช่องไว้สำหรับใส่หลอดแก้วที่บรรจุสำหรับขดลวดที่ใช้ร่วมกับหรีดนั้นก็เป็นขดลวดอาบน้ำยาธรรมดานี่เองพันไว้บนแกนที่ทำด้วยหรีด

2.3.1 แบบของหน้าสัมผัส

ในสเปกของรีเลย์บริษัทผู้ผลิตจะบอกสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ใช้เอาไว้เช่น ค่าแรงดันใช้งาน, ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ, ค่ากระแสและค่าความต้านทานเป็นต้น นอกจากนี้สิ่งที่จะลืมเสียไม่ได้ก็คือแบบของหน้าสัมผัส หรือคอนแทค

เราสามารถหาขนาดหน้าสัมผัสของรีเลย์ได้โดยการดูแบบของหน้าสัมผัสมารวมไว้เป็นตาราง พร้อมทั้งให้ชื่อไว้ด้วยว่าชื่อของตัวอักษรตัวใดจะตรงกับหน้าสัมผัสแบบใด

สมมติว่าผู้ผลิตเขียนมาในสเปกว่ารีเลย์ตัวนั้นเป็นแบบ A ก็หมายถึง หน้าสัมผัสของ รีเลย์ตัวนั้นในสภาพปกติจะเปิดอยู่ และหน้าสัมผัสเป็นแบบ SPST จะเขียนสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของรีเลย์หน้าสัมผัสแบบ A

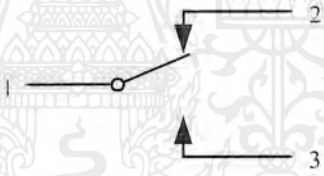
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาทำงานหน้าสัมผัสถึงจะต่อกันหน้าสัมผัสในแบบ A นี้เราจะเรียกว่า "Make" ก็ได้ ถ้าเป็นหน้าสัมผัสแบบ B หมายถึง หน้าสัมผัสของรีเลย์ในสภาพปกติจะปิด และเป็นแบบ SPST เขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของรีเลย์หน้าสัมผัสแบบ B

หน้าสัมผัสแบบนี้เวลาทำงานหน้าสัมผัสจะแยกออกจากกัน หน้าสัมผัสแบบ B นี้เรียกว่า "Break" ก็ได้

หน้าสัมผัสแบบ C แบบนี้เรียกว่า "Break , Make" หรือ Transfer เป็นหน้าสัมผัสแบบ SPDT เขียนสัญลักษณ์ได้รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของรีเลย์หน้าสัมผัสแบบ C

หน้าสัมผัสในแบบ C จะมีอยู่ด้วยกัน 3 อันในขณะที่รีเลย์ยังไม่ทำงานหน้าสัมผัส 1 และ 2 จะต่อกันอยู่เมื่อรีเลย์ทำงานหน้าสัมผัส 1 และหน้าสัมผัส 2 จะแยกกัน เมื่อแยกกันแล้วหน้าสัมผัส 1 จะมาต่อกับหน้าสัมผัส 3 แทน พอรีเลย์หยุดทำงานหน้าสัมผัส 1 กับ 2 ก็จะต่อกันตามเดิม

สำหรับจำนวนของชุดหน้าสัมผัสนั้นจะบอกเป็นตัวเลขและเขียนไว้หน้าตัวอักษรที่แสดงแบบของหน้าสัมผัส เช่น 1A, 1B, 2B และ 2A เป็นต้น

1A หมายถึง หน้าสัมผัสเป็นแบบ A และมีจำนวนหน้าสัมผัส 1 ชุด

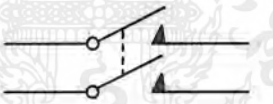
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 รีเลย์แบบ A ที่มีจำนวนหน้าสัมผัส 1 ชุด

1B หมายถึง หน้าสัมผัสแบบ B และมีจำนวนหน้าสัมผัส 1 ชุด

รูปที่ 2.5 รีเลย์แบบ B ที่มีจำนวนหน้าสัมผัส 1 ชุด

2A หมายถึง หน้าสัมผัสเป็นแบบ A มีจำนวนหน้าสัมผัส 2 ชุด เมื่อรีเลย์ทำงานหน้าสัมผัสทั้งสองจะทำงานพร้อมกัน



รูปที่ 2.6 รีเลย์แบบ A ที่มีจำนวนหน้าสัมผัส 2 ชุด

หน้าสัมผัสของรีเลย์ตัวเดียวอาจจะมีจำนวนถึงเป็นสิบๆ ชุด เท่าที่ยกตัวอย่างให้เห็นนั้นเป็นเพียงตัวอย่างที่ต้องการให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงวิธีสังกเกตแบบของหน้าสัมผัสและจำนวนของหน้าสัมผัสที่มักใช้กันบ่อยๆ

2.3.2 การทำงานของหรีดรีเลย์

หรีดรีเลย์แบบ A คือ หน้าสัมผัสแบบปกติเปิดยังไม่ต่อกันเป็นรีเลย์ในสภาพปกติยังไม่มีกระแสผ่านขดลวดซึ่งอยู่รอบๆหลอดแก้วหรีดทั้งสองที่อยู่ในหลอดแก้วมีความยาวเท่ากันและจะเคลื่อนตัวได้เมื่อเกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นพอจ่ายกระแสผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นพอจ่ายกระแสผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหรีดจะกลายเป็นแม่เหล็กและมีขั้วต่างสนามแม่เหล็กเมื่อมีค่ามากพอหรีดทั้งสองก็จะต่อกันเมื่อหยุดจ่ายกระแสให้ขดลวดสนามแม่เหล็กก็จะลดลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถจะเอาชนะแรงสปริงของหรีดได้หรีดก็จะแยกออกจากกันกลับสู่สภาพเดิมอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรีดรีเลย์ซึ่งมีหน้าสัมผัสเป็นแบบ B หรือ "Break" หน้าสัมผัสในสภาพปกติจะต่อกันอยู่จะสังเกตได้ว่าหรีดรีเลย์ในรูปนี้มีความยาวของหรีดไม่เท่ากัน หรีดที่อยู่ส่วนบนจะสั้นกว่าหรีดอันล่าง ขณะที่รีเลย์ทำงานจะมีหรีดเพียงอันเดียวเท่านั้นที่เคลื่อนที่คือหรีดอันล่างส่วนหรีดอันบนนั้นจะถูกตรึงอยู่กับที่

หรีดทั้งสองต่อกันได้ด้วยแรงบังคับทางกลไกดังนั้นจึงอาจเรียกรีเลย์แบบนี้ว่า "Mechanically Biased" หลักการทำงานของหรีดรีเลย์แบบนี้ก็เช่นเดียวกับหรีดเรเลย์หน้าสัมผัสแบบ A ต่างกันตรงที่ว่าหรีดรีเลย์แบบ B นี้เมื่อจ่ายกระแสผ่านขดลวดจะทำให้หน้าสัมผัสอันล่างแยกออกจากหน้าสัมผัสอันบน พอหยุดจ่ายกระแสหน้าสัมผัสก็จะกลับมาต่อกันอีก

หรีดรีเลย์แบบ C เป็นแบบ Break Make หรือ Transfer หรีดรีเลย์แบบ C มีหน้าสัมผัสอยู่ 3 อันสองอันบนมีความเท่ากันอันล่างยาวที่สุดและจะเป็นตัวเคลื่อนที่ระหว่างหรีดสองอันข้างบนที่อยู่กับที่

เมื่อรีเลย์ยังไม่ทำงานหน้าสัมผัส 1 และ 2 จะต่อกันอยู่โดยการบังคับทางกลไกเมื่อจ่ายกระแสผ่านขดลวดทำให้หรีดทั้ง 3 อันกลายเป็นแม่เหล็กหรีดอันบนทั้งสองจะมีขั้วเหมือนกันส่วนหรีดอันล่างจะมีขั้วต่างกับสองอันข้างบนเมื่อสนามแม่เหล็กมีค่ามากพอหรีด 1 จะไปต่อกับหรีด 3

หรีด 2 กับหรีด 3 นั้นต่างก็มีความยาวเท่ากันมีขั้วแม่เหล็กเหมือนกัน มิหนำซ้ำหรีด 2 กับหรีด 1 ก็ต่อกันอยู่แล้วขณะที่เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นหรีด 1 กับหรีด 2 น่าจะต่อกันได้แน่นยิ่งขึ้นแต่หรีด 1 จะเคลื่อนไปต่อกับหรีด 3 ได้การที่หรีด 1 ไปต่อกับหรีด 3 ได้เนื่องจากโครงสร้างของหรีด 2 และหรีด 3 ไม่เหมือนกัน กล่าวคือหรีด 2 นั้นเฉพาะที่ผิวของหรีดจะติดไว้ด้วยสารที่ไม่เป็นแม่เหล็กดังนั้นหรีด 3 จึงมีผลตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กได้ดีกว่าหรีด 2 แม้ว่าหรีด 2 กับหรีด 1 จะมีแรงบังคับให้ต่อกันอยู่ก็ตามพอหยุดจ่ายกระแสผ่านขดลวดหรีด 1 ก็จะกลับไปต่อกับหรีด 2 ตามเดิม

หรีดรีเลย์ที่มีหน้าสัมผัสเป็นแบบ C แต่หรีด 1 กับหรีด 2 ถูกบังคับให้ต่อกันโดยอาศัยอำนาจของแม่เหล็กถาวรซึ่งติดอยู่ตอนกลางของหรีด 2

หรีดรีเลย์แบบนี้เป็นแบบ "Magnetically Biased" คืออาศัยอำนาจแม่เหล็กถาวรบังคับให้หรีดต่อกันสนามแม่เหล็กอันเกิดจากการจ่ายกระแสผ่านขดลวดจะทำให้หรีด 1 ไปต่อกับหรีด 3

การทำงานให้หรีดต่อกันโดยใช้แม่เหล็กถาวรช่วย หรือที่เรียกว่า "Magnetically Bias" นอกจากจะใช้กับหรีดรีเลย์ที่มีหน้าสัมผัสแบบ C แล้ว ยังใช้ได้กับหน้าสัมผัสแบบ B ด้วย

แม่เหล็กถาวร ซึ่งวางแนบอยู่ทางด้านข้างของหลอดแก้ว เมื่อมีสนามแม่เหล็กจากขดลวดมากระทำต่อหรีดจะทำให้ขั้วแม่เหล็กของหรีดเปลี่ยนไปในทิศทางตรงกันข้าม สนามแม่เหล็กจากขดลวดจะทำให้หรีดที่ต่อกันอยู่แยกออก พอหยุดจ่ายกระแสให้ขดลวดแม่เหล็กถาวรก็จะมีอำนาจดึงดูดทำให้หรีดต่อกันอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 หรีดรีเลย์แบบอื่นๆ

หรีดรีเลย์นั้นประกอบด้วยหลอดแก้วบรรจุหรีดและขดลวดหลอดจะสวมอยู่ในขดลวดอีกทีหนึ่ง ขดลวด 1 ชุดไม่จำเป็นต้องมีหลอดแก้วบรรจุหรีดเพียงหลอดเดียวอาจมีจำนวนหลายๆ อันก็ได้

ภายในขดลวด 1 ชุดประกอบด้วยกันหรีดรีเลย์ในรูปนี้มีหน้าสัมผัสอยู่ 2 แบบ คือแบบ A และแบบ B หรีด 3 ชุดบนเป็นหน้าสัมผัสแบบ A อันล่างสุดเป็นหน้าสัมผัสแบบ B หรีดรีเลย์ตัวนี้จึงเขียนสัญลักษณ์เป็น 3A-1B หน้าสัมผัสแบบ B ที่อยู่ล่างสุดนั้นต่อกันได้โดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กถาวรที่วางไว้ใต้หลอดแก้วแม่เหล็กถาวรดังกล่าวไม่มีผลต่อการทำงานของหรีดอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียงหรีดที่อยู่ล่างสุดจึงได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรเพียงอันเดียว

หรีดรีเลย์อีกแบบหนึ่ง ประกอบด้วยหรีด 2 ชุด มีหน้าสัมผัสแบบ A และแบบ B ต่อกันได้ด้วยแม่เหล็กถาวรที่วางไว้ส่วนบนหน้าสัมผัสแบบ A อยู่ข้างล่างเมื่อรีเลย์ทำงานหน้าสัมผัสแบบ B จะเปิดและหน้าสัมผัสแบบ A จะปิด ทั้งแบบ A และแบบ B ต่างก็มีหน้าสัมผัส 1 ชุดจึงเขียนสัญลักษณ์เป็น 1A - 1B

ภายในขดลวด 1 ชุดจะสามารถใส่ "Pole" ไว้ได้หลายๆอันดังได้กล่าวมาแล้ว(คำว่า "Pole" ในที่นี้หมายถึงแต่ละคู่ของหน้าสัมผัสที่อยู่ในหลอดแก้วของตัวเอง) การที่ใส่ "Pole" หลายๆ อันไว้ในขดลวดเพียงชุดเดียวอาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้ กล่าวคือเนื่องจาก Pole มีหลายอันจึงเป็นการยากที่จะทำให้หรีดทุกอันภายในขดลวดจะไม่เท่ากันโดยตลอด สนามแม่เหล็กจะแรงที่สุดที่ขอบนอกสุดของขดลวดและจะอ่อนลงเมื่อใกล้สุดที่ขอบนอกสุดของขดลวดและจะอ่อนลงเมื่อใกล้ศูนย์กลางของขดลวดผลของสนามแม่เหล็กจะทำให้หรีดที่อยู่ริมทำงานก่อนหรีดที่อยู่กลางโดยจะเอาหรีดที่มีความไวกว่าใส่ไว้ตรงกลาง(สนามแม่เหล็กอ่อนที่สุด)และเอาหรีดที่มีความไวน้อยกว่าไว้ริม (สนามแม่เหล็กแรงที่สุด)

แม้ว่าหรีดรีเลย์ถูกสร้างขึ้นมานานแต่การใช้งานของมันยังคงเป็นไปอย่างกว้างขวางและได้รับการพัฒนาอยู่เสมอ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆไปเป็นจำนวนไม่น้อยที่มีหรีดรีเลย์เข้าไปเกี่ยวข้องกับวงจรบางวงจรในเครื่องชุมสายโทรศัพท์ที่ต้องการความรวดเร็วในการทำงานก็ใช้หรีดรีเลย์ช่วยไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์ระบบครอสบาร์หรือโทรศัพท์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ตามจะประกอบด้วยหรีดรีเลย์เป็นจำนวนมากนอกเหนือไปจากรีเลย์แบบธรรมดา และอุปกรณ์ประเภทโซลิดสเตทอื่นๆ

หรีดรีเลย์มีข้อได้เปรียบอยู่อย่างหนึ่งคือความเล็กด้วยเหตุนี้บริษัทผู้ผลิตนาฬิกาข้อมือประเภทที่แสดงเวลาเป็นตัวเลขหรือรู้กันโดยทั่วไปว่านาฬิกาคอมพิวเตอร์ บางบริษัทจึงนำเอาหรีดเข้าไปใส่ไว้ในตัวเรือนนาฬิกาเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยแสดงเวลาการใช้งานของหรีดในนาฬิกาประเภทนี้ไม่ใช้สนามแม่เหล็กจากขดลวดไปทำงานแต่จะใช้แม่เหล็กถาวรแท่งเล็กๆช่วย เช่นถ้าจะใช้หรีดต่อกันก็เลื่อนแท่งเหล็กไว้ที่ตำแหน่งที่ถูกต้องหรีดก็จะต่อกัน ถ้าต้องการให้หรีดแยกกันก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลื่อนแท่งแม่เหล็กออกให้ห่างจะเห็นว่าการทำงานของหรีดขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็ก ดังนั้นหรีดประเภทนี้จึงเรียกว่า หรีดสวิตช์

นอกจากนี้หรีดรีเลย์ถูกนำไปใช้เป็นสเต็ปปิ้งสวิตช์หรือแซมปลิ้งสวิตช์ของระบบคอนเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยนระบบจากแอนาลอกให้เป็นดิจิตอลอีกด้วย

2.4 วงจรแปลงความถี่ให้เป็นแรงดัน

วงจรแปลงความถี่ให้เป็นแรงดันนี้เราจะใช้ IC เบอร์ LM2907 เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณจากความถี่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า IC เบอร์ LM2907 นี้ถูกออกแบบให้มีอัตราขยายสูงและมีวงจรเปรียบเทียบสำหรับส่งสัญญาณไปที่ รีเลย์, หลอดไฟ หรือโหลดอื่นๆเมื่อความถี่อินพุตมีขนาดเข้าใกล้หรือเกินค่าอัตราที่กำหนด ซึ่งเครื่องวัดความถี่ของ IC ตัวนี้จะใช้เทคนิคการชาร์จปั๊มและมันจะบอกค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการกระเพื่อมของสัญญาณขนาดต่ำๆ ข้อได้เปรียบของ IC เบอร์ LM2907 นี้คือ

1. มีวงจรป้องกันทางด้านอินพุต และค่าเอาต์พุตจะแกว่งเข้าหาค่ากราวด์เมื่อความถี่ทางด้านอินพุตมีค่าเป็นศูนย์
2. ง่ายต่อการใช้งาน
3. คำนวณค่าแรงดันได้ง่ายโดย Vout = fIN × Vcc × R1 × C1
4. สามารถกำหนดค่าความถี่โดยใช้วงจร RC เพียงวงจรเดียว

2.4.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์

เมื่อความถี่อินพุตถูกแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วสัญญาณแรงดันอินพุตก็จะมาอยู่ที่ตัวชาร์จปั๊มจะต้องมีตัวเก็บประจุสำหรับตั้งค่าเวลา, ตัวต้านทานเอาต์พุตและตัวเก็บประจุรวมหรือกรองค่าสัญญาณ เมื่อระยะอินพุตถูกเปลี่ยนสถานะของสัญญาณ(เปลี่ยนเป็นค่าศูนย์หรือค่าของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปของสัญญาณอินพุต) ตัวเก็บประจุตั้งค่าเวลาก็จะทำการชาร์จหรือคายประจุเป็นเส้นตรงระหว่างแรงดันสองค่าซึ่งมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ Vcc/2 ดังนั้นครึ่งไซเกิลหนึ่งของความถี่อินพุตหรือเวลาก็จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่อินพุต การเปลี่ยนแปลงในการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุตั้งค่าเวลาจะเท่ากับ Vcc/2 × C1 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลเข้าสู่หรือไหลออกจากตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta Q}{T} = i_{c(AVG)} = C1 \times \frac{Vcc}{2} \times (2 f_{IN}) = Vcc \times f_{IN} \times C1 \qquad \text{สมการที่ (2.7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสจะไหลอย่างคงที่ตรงไปในโหลดตัวต้านทาน R1 ซึ่งต่ออยู่กับกราวด์ ดังนั้นถ้าพัลซ์ของกระแสถูกนำมารวมเข้าด้วยกันโดยตัวเก็บประจุกรองความถี่ ดังนั้นค่า $Vo = i_c \times R1$ และสมการรวมทั้งหมดจะมีค่าเป็น

$$Vo = Vcc \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K \qquad \text{สมการที่ (2.8)}$$

เมื่อค่า K เป็นค่าคงที่ กำหนดให้มีค่าเป็น 1.0

ขนาดของ C2 จะขึ้นอยู่กับแรงดันกระเพื่อมที่ยอมได้และเวลาในการตอบสนองที่ต้องการเท่านั้น

สำหรับการเลือกค่าของตัวต้านทาน R1 และตัวเก็บประจุ C1 นั้น ตัวเก็บตั้งค่าเวลาจะถูกจัดเตรียมไว้ชดเชยภายในสำหรับชาร์จปั๊ม และควรจะมีค่ามากกว่า 500 pF เพื่อการทำงานที่ละเอียดเที่ยงตรง ถ้ามีค่าน้อยกว่านี้จะเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดของกระแสที่ไหลผ่าน R1 โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำๆ กระแสเอาต์พุตที่ขา 3 จะถูกตั้งค่าไว้ภายใน และดังนั้นค่า Vo/R1 จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่ากระแสที่ตั้งไว้นี้ ถ้า R1 มีค่ามากเกินไปจะทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ขา 3 มีค่าลดลงจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงมีค่าลดลง ดังนั้นการกระเพื่อมของแรงดันเอาต์พุตจะต้องถูกนำมาพิจารณาด้วยและขนาดของ C2 จะแปรผันตามค่าของ R1 จำนวนแรงดันกระเพื่อมที่ขา 3 สำหรับการรวม R1 และ C2 เข้าด้วยกันจะเป็น

$$V_{RIPPLE} = \frac{Vcc}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \frac{(1 - Vcc \times f_{IN} \times C1)}{I_2} pk - pk \qquad \text{สมการที่ (2.9)}$$

จะได้ว่า R1 จะไม่มีผลต่อการกระเพื่อม อย่างไรก็ดีสำหรับเวลาในการตอบสนองหรือเวลาที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ในขณะที่แรงดันใหม่เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของ C2 มีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นการเลือกค่ากระเพื่อม, เวลาในการตอบสนอง, และความเที่ยงตรงควรจะเลือกอย่างระมัดระวัง และค่าความถี่ อินพุตสูงสุดสามารถคำนวณได้โดย

$$f_{MAX} = I_2 / (C1 \times Vcc) \qquad \text{สมการที่ (2.10)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5 ออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ขยายแรงดันที่ถูกออกแบบมาให้ทำงานขยายสัญญาณใกล้เคียงกับวงจรขยายในทางอุดมคติมากที่สุด คือให้อัตราขยายสูงและอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงในขณะที่ให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำ เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีอินพุตสองขั้ว คืออินเวอร์ติ้งอินพุตหรืออินพุตกลับเฟสสัญญาณ) และนอนอินเวอร์ติ้งอินพุต (หรืออินพุตไม่กลับเฟสสัญญาณ) ซึ่งการมี 2 อินพุตเช่นนี้จะทำให้ออปแอมป์นำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น เช่นใช้ทำงานเป็นวงจรขยายความแตกต่าง, วงจรกรองความถี่, วงจรกำเนิดความถี่ และวงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นต้น

ในส่วนที่เป็นการประยุกต์ใช้งานออปแอมป์เบื้องต้นที่สามารถนำไปดัดแปลงให้ทำงานอื่นๆ ได้หลากหลาย ปัจจุบันออปแอมป์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันแยกออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

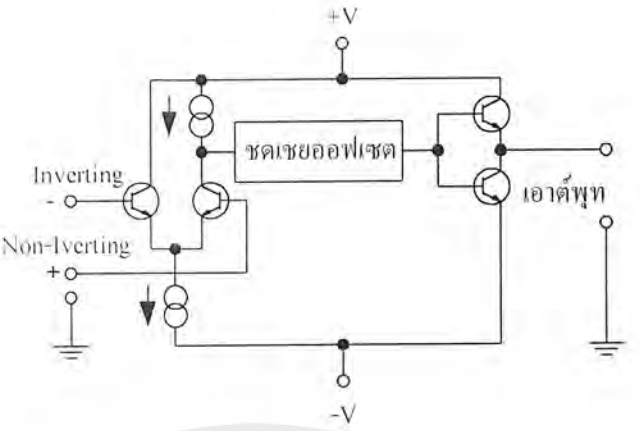
1. ออปแอมป์ทำงานขยายแรงดัน
2. ออปแอมป์ขยายผลต่างกระแส หรือ นอร์ตันออปแอมป์
3. ออปแอมป์ OTA

2.5.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์

ออปแอมป์ชนิดพื้นฐานที่สุดจะจัดวงจรดังในรูปที่ 2.7 ประกอบไปด้วยวงจรขยายความแตกต่างซึ่งอาจทำงานด้วยทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ธรรมดาหรือทรานซิสเตอร์แบบเฟต , ขั้วปรับชดเชยออฟเซตให้วงจรทางเอาต์พุตและส่วนของวงจรขยายภาคเอาต์พุต อัตราขยายของออปแอมป์ปกติจะมีค่าประมาณ 100 เดซิเบล สัญญาณทางด้านอินพุตจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรดิฟเฟอเรนเชียลทางขาอินเวอร์ติ้งหรือนอนอินเวอร์ติ้ง เอาต์พุตที่ได้จะถูกป้อนสู่ภาคขยายเอาต์พุตโดยผ่านทางโครงข่ายการชดเชยออฟเซตเสียก่อนซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมให้แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์มีจุดกึ่งกลางอยู่ที่ศูนย์โวลต์ตลอดเวลาแหล่งจ่ายแรงดันที่จ่ายให้แก่ ออปแอมป์ปกติจะเป็นแหล่งจ่ายไฟคู่ คือใช้ทั้งแรงดันไฟบวกและแรงดันไฟลบโดยมีจุดกราวด์เป็นจุดร่วมกันของแหล่งจ่ายไฟทั้งสองเพื่อให้เอาต์พุตของออปแอมป์สามารถที่จะทำงานสวิงแรงดันได้ทั้งในซีกบวกและซีกลบและมีค่าศูนย์โวลต์เมื่อแรงดันที่ป้อนเข้าทางดิฟเฟอเรนเชียลอินพุตมีค่าศูนย์โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37178



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของออปแอมป์อย่างง่ายแทนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

2.5.2 การจัดวงจรเบื้องต้น

เราทราบมาแล้วว่าออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ขยายแรงดันแบบต่อรองที่มีอัตราขยายสูงมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ โดยแรงดันทางเอาต์พุตของออปแอมป์จะแปรผันกับค่าความแตกต่างระหว่างขาอินพุตทั้งสองตามความสัมพันธ์

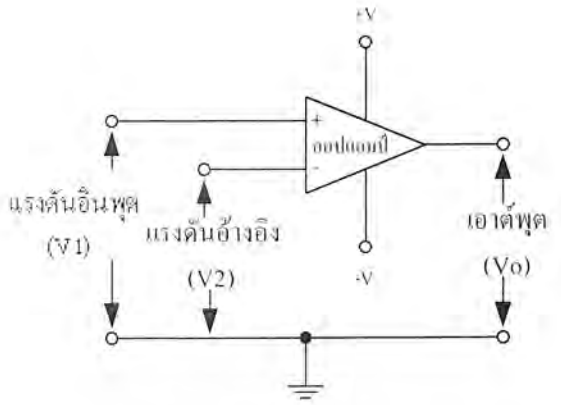
$$V_{OUT} = A_0 (V1-V2) \qquad \text{สมการที่ (2.11)}$$

โดยที่ A_0 คือ อัตราขยายของออปแอมป์ขณะที่ยังไม่มีการป้อนกลับ

V1 คือ ค่าแรงดันอินพุตที่ขานอนอินเวอร์ติ้ง

V2 คือ ค่าแรงดันอินพุตที่ขาอินเวอร์ติ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

ออปแอมป์สามารถนำมาใช้งานขยายสัญญาณในลักษณะกลับเฟสทางเอาต์พุตได้โดยการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าทางขาอินเวอร์ติ้งและจัดให้ขานอนอินเวอร์ติ้งลงกราวด์ไป แต่ถ้าต้องการจัดวงจรขยายปกติไม่กลับเฟสทางเอาต์พุตก็ทำได้โดยการป้อนอินพุตเข้าทางขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์และจัดให้ขาอินเวอร์ติ้งลงกราวด์หรือจะใช้เป็นวงจรขยายผลต่างโดยการป้อนอินพุตที่ต้องการขยายจากทั้งสองแหล่งเข้าที่ขาอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าเท่ากันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์โวลต์ด้วย

ประโยชน์ในการใช้งานอีกอย่างหนึ่งของออปแอมป์ คือใช้เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันที่มีค่าแตกต่างกัน เช่นตัวอย่างในรูปที่ 2.8 ค่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้จะถูกป้อนเข้าที่ขานอนอินเวอร์ติ้ง เนื่องจากอัตราขยายแรงดันโอเพ่นลูปของออปแอมป์มีค่าสูงมากเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตที่อิ่มตัวมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันไฟเลี้ยง +V (เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงเพียงเล็กน้อย) ในทางตรงกันข้ามเมื่อแรงดันอินพุตมีค่าต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงเพียงเล็กน้อยเอาต์พุตจะเป็นแรงดันอิ่มตัว ทางด้านไฟเลี้ยง -V

2.5.3 วงจรขยายแบบโคลสลูป

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์อีกอย่างหนึ่งก็คือใช้เป็นตัวขยายสัญญาณแบบเชิงเส้นโดยจัดวงจรให้มีการป้อนกลับสัญญาณหรือเป็นวงจรขยายแบบโคลสลูป วงจรในรูปที่ 2.9 จะใช้การป้อนกลับสัญญาณแบบลบจากทางด้านเอาต์พุตเข้ามายังขาอินเวอร์ติ้งอินพุตด้วยวิธีการจัดวงจรขยายแบบมีการป้อนกลับนี้จะทำการควบคุมอัตราขยายในวงจรกำหนดได้ตามต้องการด้วยโครงข่ายอุปกรณ์ป้อนกลับที่ต่ออยู่ภายนอก

รูปที่ 2.9 ก. เป็นวงจรขยายสัญญาณไดเรกต์คัปเปิลแบบกลับเฟสสัญญาณ อัตราขยายของวงจรกำหนดโดยอัตราส่วนของตัวต้านทาน R1 และ R2 โดยที่อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับตัวต้านทาน R1 ถึงแม้ว่าตัวต้านทาน R1 และ R2 จะเป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของออปแอมป์ แต่ก็ไม่มีผลกระทบใดๆ กับค่าตัวแปรต่างๆ ในทางปฏิบัติ ขาอินเวอร์ติ้งอินพุตยังคงมีค่าอิมพีแดนซ์สูงอยู่ การคำนวณสามารถที่จะละทิ้งค่ากระแสที่ไหลมายังขาอินพุตของออปแอมป์ได้ จึงถือว่าค่ากระแส I1 และ I2 มีค่าประมาณว่าเท่ากันดังในวงจรในรูปที่ 2.3 เป็นที่น่าสังเกตว่าที่จุดต่อตัวต้านทาน R2 ทางขาอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ จะมีค่าอิมพีแดนซ์จุดนี้เป็น R2/A (A = ค่าอัตราขยายของวงจร) ซึ่งก็คือรอยต่อระหว่าง R1 และ R2 มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเป็นจุดที่เรียก่าจุดกราวด์เสมือน ในรูปที่ 2.9 ข. แสดงการใช้ออปแอมป์มาต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบนอนอินเวอร์ติ้งที่ให้อัตราขยายตามที่เราต้องการได้ โดยค่าอัตราขยาย (แรงดัน) มีค่าเท่ากับ (R1+R2)/R2 และค่าอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าประมาณ $(A_0/A)\ Z_{IN}$ โดยที่ Z_{IN} คือ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์เมื่อโอเพ่นลูป

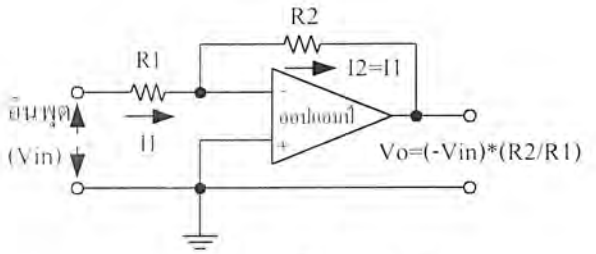
จากวงจรในรูปที่ 2.9 ข. สามารถนำมาต่อเป็นวงจรตามแรงดัน ได้โดยการต่อวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ติ้งดังในรูปที่ 2.9 ค. เป็นการต่อวงจรให้ป้อนกลับ 100 เปอร์เซ็นต์ค่าแรงดันเอาต์พุต และแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากัน แต่จะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก ประมาณเท่ากับ $A_0 \times Z_{IN}$

2.5.4 ค่าพารามิเตอร์ของออปแอมป์

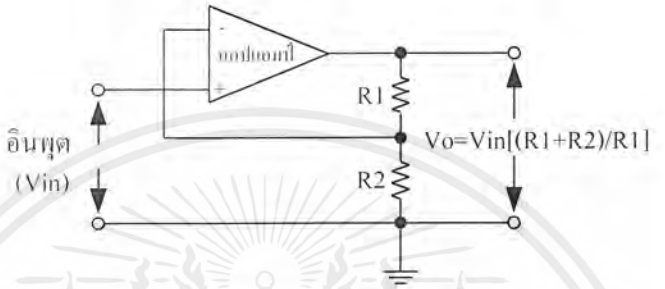
ออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์อัตราขยายและแบนด์วิดธ์เป็นอนันต์ ส่วนเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ถือว่าเป็นศูนย์แต่ออปแอมป์ในทางปฏิบัติจะแตกต่างออกไปซึ่งจะดูได้จากพารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงในข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตที่ให้มาซึ่งจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละเบอร์ ซึ่งมีรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) อัตราขยายโอเพ่นลูป คือ อัตราขยายแรงดันในทางความถี่ต่ำเปรียบเทียบระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีหน่วยเป็นเดซิเบลโดยทั่วไปแล้วออปแอมป์จะมีอัตราขยายโอเพ่นลูปประมาณ 100,000 เท่าหรือ 100 เดซิเบล

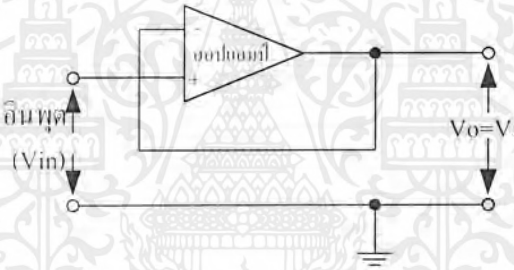
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรขยายไดเร็กเคเบิลคัปเปิล



(ข) วงจรขยายนอนอินเวอร์ติ้ง



(ค) วงจรขยายโวล์ต์เตจฟอลโลเวอร์

รูปที่ 2.9 วงจรขยายแบบโคลสลูปแบบต่างๆ

2) อินพุตอิมพีแดนซ์ คือค่าความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์เมื่อยังไม่ได้มีการป้อนกลับใดๆหรือในขณะโอเพ่นลูปโดยปกติแล้วจะมีค่ามากกว่า 1 เมกะโอห์มในกรณีของโพลาร์ออปแอมป์ และมีค่ามากกว่าล้านเมกะโอห์มในกรณีที่อินพุตออปแอมป์เป็นเฟต

3) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ คือค่าความต้านทานทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์ขณะโอเพ่นลูปโดยทั่วไปมีค่า 200-300 โอห์ม

4) กระแสไบแอสอินพุต คือค่ากระแสที่ซิงก์ หรือ ซอร์ส ทางขาอินพุตของออปแอมป์ เป็นค่ากระแสที่มีค่าจำกัดเมื่อถูกไบแอสให้ทำงานในลักษณะเชิงเส้น ขนาดของกระแส IB นี้จะมีค่าน้อยมาก มีค่าเป็นเศษส่วนในหน่วยของไมโครแอมป์ ในกรณีของไบโพลาร์ออปแอมป์ (1 ไมโครแอมป์เท่ากับ 1/1000000 แอมป์) และมีค่าเพียง 2 - 3 พิโกแอมป์ในกรณีที่เป็นเฟตออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) แรงดันไฟเลี้ยง ไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ออปแอมป์เป็นไฟเลี้ยงคู่ออปแอมป์จะทำงานเป็นปกติในย่านแรงดันขนาดหนึ่ง ถ้าป้อนแรงดันให้ออปแอมป์สูงมากเกินไปก็จะทำให้ออปแอมป์เสียหาย แต่ถ้าป้อนไฟเลี้ยงต่ำเกินไป ออปแอมป์ก็ไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยทั่วไปแล้วแรงดันไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ออปแอมป์จะมีค่าประมาณ 3 ถึง 15 โวลต์

6) แรงดันอินพุต ค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนให้ออปแอมป์ทำงาน ปกติค่าอินพุตสูงสุดป้อนให้ออปแอมป์จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟเลี้ยงประมาณ 1-2 โวลต์ หรือ $V_{I(max)}$ น้อยกว่า V_S ประมาณ 1-2 โวลต์

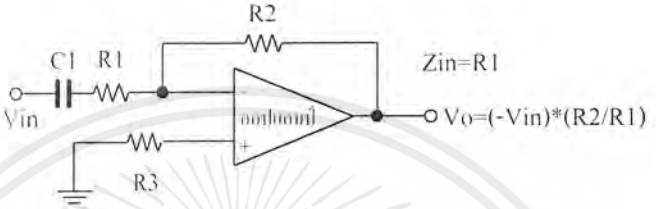
7) แรงดันอินพุตออฟเซต ออปแอมป์ในทางอุดมคติจะมีการแทรคกิ้งกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างขั้วอินพุตและเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์โวลต์ แต่ว่าในเชิงปฏิบัติจะมีความ ไม่สมดุลบางอย่างเล็กน้อยในตัวออปแอมป์ทำให้เอาต์พุตไม่เป็นศูนย์โวลต์ตามทฤษฎี ดังนั้น จะต้องมีการชดเชยแรงดันชดเชยแรงดันเล็กน้อยหรือมีการให้แรงดันไบแอสระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง โดยทั่วไปแล้วค่าแรงดันชดเชยที่อินพุตหรือแรงดันอินพุตออฟเซตนี้จะมีค่าเล็กน้อยในหน่วยมิลลิโวลต์เท่านั้น แต่ค่าแรงดันน้อยๆนี้เมื่อถูกขยายโดยออปแอมป์จึงมีขั้วออฟเซตนูลลิ่งมาให้เพื่อปรับชดเชยให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์โวลต์

8) อัตราคอมมอนโหมดรีเจกชัน ออปแอมป์จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่แปรผันไปตามระดับแรงดันที่ขั้วอินพุตทั้งสอง โดยทางอุดมคติแล้ว ค่าสัญญาณอินพุตทั้งสองเมื่อป้อนให้เท่ากันจะต้องมีค่าเอาต์พุตเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณที่ป้อนเข้ามาอาจไม่สามารถหักล้างภายในตัวของออปแอมป์ได้อย่างสมบูรณ์จึงทำให้เกิดค่าแรงดันค่าน้อยๆทางเอาต์พุตความสามารถของออปแอมป์ที่จะขจัดสัญญาณคอมมอนโหมดนี้ก็คืออัตราคอมมอนโหมดรีเจกชันหรืออัตราส่วนของอัตราขยายออปแอมป์ในทางอินพุตแบบดิฟเฟอเรนเชียลและสัญญาณคอมมอนโหมดทางเอาต์พุต โดยปกติแล้วค่า CMMR นี้จะมีค่าประมาณ 90 เดซิเบล

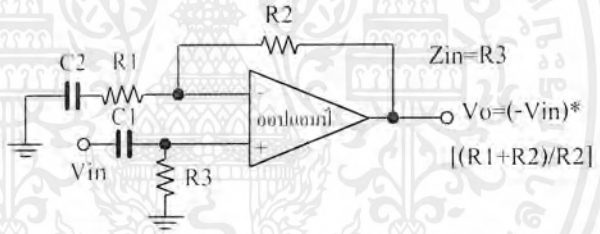
9) ความถี่ทรานสิชั่น ออปแอมป์จะมีอัตราขยายในทางความถี่ลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นและจะมีค่าเป็นหนึ่งเมื่อถึงความถี่ทรานสิชั่นโดยปกติแล้วจะมีอัตราการตอบสนองความถี่ตกลงที่ 6 เดซิเบลต่อออปเตฟ เมื่อออปแอมป์ถูกนำมาต่อใช้งานในลักษณะโคลสลูปแบนด์วิดธ์ของวงจรจะขึ้นอยู่กับอัตราขยายโคลสลูปค่าอัตราขยายนี้จะมีค่าลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นและจะมีค่าลดเมกะเฮิรตซ์เมื่อลดอัตราขยายลง 60 เดซิเบล จะมีค่าแบนด์วิดธ์ 1 กิโลเฮิรตซ์ แต่ถ้าลดอัตราขยายลงไปอีกเหลือแบนด์วิดธ์จะกว้างขึ้นอีกเป็น 100 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นสามารถกล่าวได้อีกอย่างว่าความถี่ ทรานสิชันหรือ fT ก็คือผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดธ์ของออปแอมป์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) สลูว์เรต คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดของเอาต์พุตเมื่อเทียบกับเวลา นิยามในหน่วยโวลต์ต่อไมโครวินาที โดยมากแล้วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 โวลต์ต่อไมโครวินาที ถึง 10 โวลต์ต่อไมโครวินาที ผลที่เกิดจากค่าสลูว์เรตก็คือแบนด์วิดธ์ เอาต์พุตของออปแอมป์จะมีค่ากว้างถ้าค่าสลูว์เรตสูงและแคบลงถ้ามีค่าสลูว์เรตต่ำ



รูปที่ 2.10 วงจรขยายอินเวอร์ติ้งเฟสของสัญญาณทางเอาต์พุตจะกลับ 180 องศาจากสัญญาณอินพุต



รูปที่ 2.11 วงจรขยายนอนอินเวอร์ติ้งเฟสของสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นเฟสเดียวกัน

2.6 ออปแอมป์ในเชิงปฏิบัติ

ออปแอมป์มีหลายชนิดทั้งไบโพลาร์, มอสเฟต, เจเฟต และอื่นๆในรูปร่างแพ็กเกจที่แตกต่างกันออกไป เช่น แบบดีนตะขา หรือตัวถังโลหะ เป็นต้นในแต่ละแพ็กเกจก็อาจจะประกอบด้วยออปแอมป์ภายในหนึ่งตัว, สองตัว หรือ 4 ตัว จะแสดงลักษณะเฉพาะของออปแอมป์เบอร์ที่นิยมใช้กันในรูปร่างแบบ DIP 8 ขา

2.6.1 การปรับแรงดันออฟเซตนูลลิ่ง

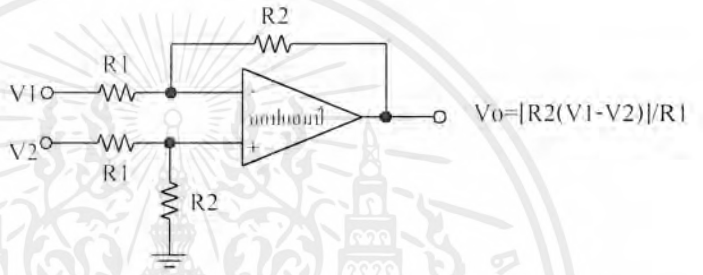
จะเป็นการปรับแรงดันออฟเซตเพื่อให้แรงดันทางเอาต์พุตของออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์โวลต์อย่างแท้จริง ทำได้โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์มไว้ระหว่างขา 1 และขา 5 จะต่อโดยตรงหรือต่อผ่านตัวต้านทาน 4.7 กิโลโอห์มเข้าทางไฟลบ ในกรณีของออปแอมป์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเฟต เช่น ออปแอมป์เบอร์ CA3130 จะใช้ตัวต้านทานปรับค่า ได้ค่าสูงขึ้นขนาด 100 กิโลโอห์ม แทน

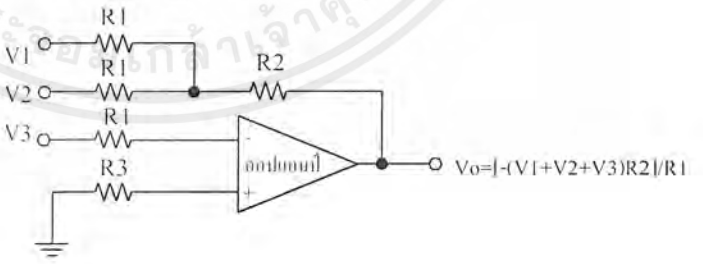
2.6.2 การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์

ในรูปที่ 2.12 ถึงรูปที่ 2.21 จะเป็นตัวอย่างที่นำออปแอมป์ไปใช้งานต่างๆ รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึงการนำออปแอมป์มาใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณไฟสลับแบบอินเวอร์ติ้ง และนอนอินเวอร์ติ้ง ที่สามารถกำหนดอัตราขยายได้ในทั้งสองกรณี เราสามารถควบคุมอัตราขยายและค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้โดยการเลือกใช้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม



รูปที่ 2.12 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลขยายความแตกต่างระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง

รูปที่ 2.12 เป็นวงจรขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายเท่ากับ R2/R1 ถ้า R1 และ R2 มีค่าเท่ากันค่าความต่างของสัญญาณอินพุตทั้งสองแม้เพียงนิดเดียวก็ส่งผลที่เอาต์พุตได้

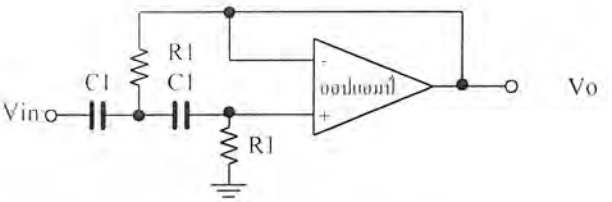


รูปที่ 2.13 ใช้ออปแอมป์มาทำเป็นวงจรออดิโอมิกเซอร์แบบ 3 อินพุต

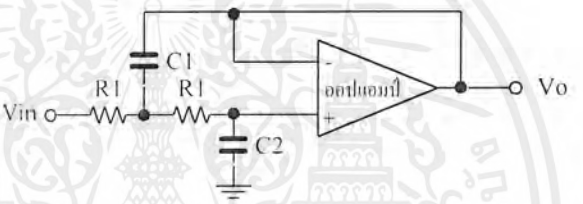
จากรูปที่ 2.13 แสดงวงจรของอินเวอร์ติ้งแอดเดอร์หรือออดิโอมิกเซอร์ ถ้า R1 และ R2 มีค่าเท่ากัน เอาต์พุตจะเท่ากับผลรวมของโวลต์เตจที่อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

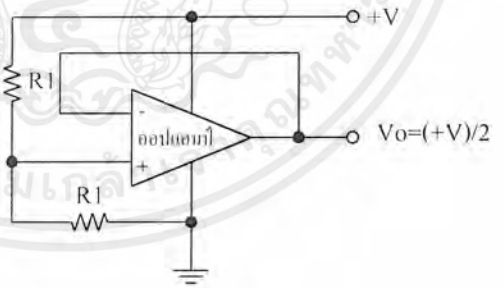
เราสามารถนำออปแอมป์มาสร้างเป็นแอกติฟฟิลเตอร์ที่มีความแม่นยำสูงได้ โดยการต่อฟิลเตอร์ที่เหมาะสมเข้ากับฟีดแบกเนตเวอร์กของมัน



รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบออร์เดอร์ที่ 2

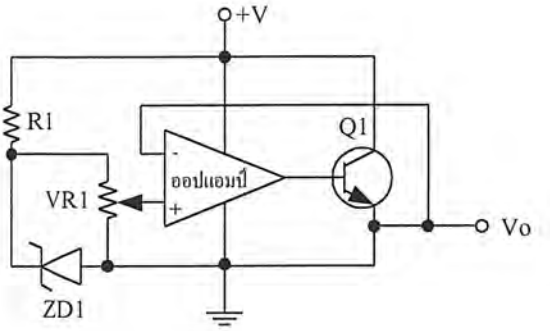


รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบออร์เดอร์ที่ 2

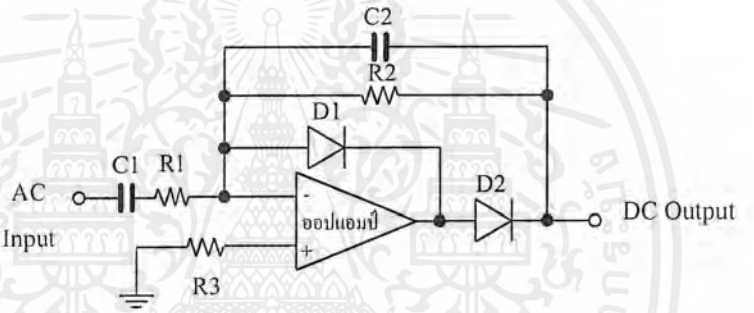


รูปที่ 2.16 วงจรแบ่งแรงดันไฟเลี้ยงจากชุดเดียวให้เป็น 2 ชุด โดยมีจุดกึ่งกลางแรงดันเป็นจุดร่วมของแรง ดันทั้ง 2

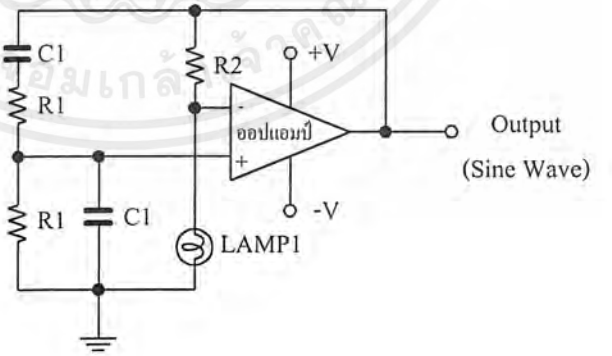
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ปรับแรงดันได้

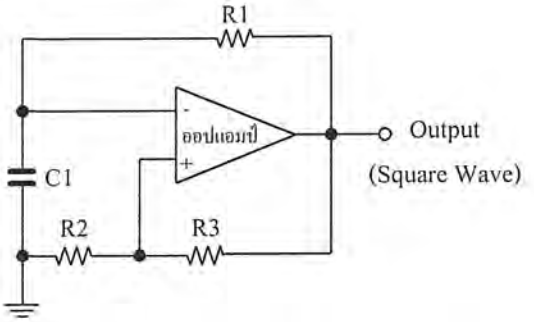


รูปที่ 2.18 วงจรแปลงไฟ เอซี/ดีซี มีออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้สัญญาณด้วย

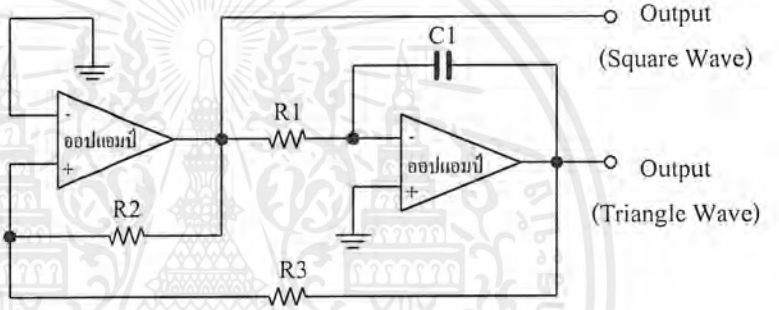


รูปที่ 2.19 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบวีนบริดจ์ให้คลื่นรูปไซน์ระดับสัญญาณเอาต์พุตควบคุมหลอดไฟขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 วงจรมัลติไวเบรเตอร์กำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.21 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ให้เอาต์พุตได้ทั้งคลื่นรูปสามเหลี่ยมและคลื่นรูปสี่เหลี่ยม

รูปที่ 2.15 และ 2.16 แสดงการต่อวงจรเบื้องต้นเพื่อให้ได้วงจรกรองความถี่สูงผ่านและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง ตามลำดับวงจรที่ให้ไว้จะมีความถี่ตอบสนองโรลออฟที่ 12 เดซิเบลต่อออกเตฟ

จากวงจรในรูปที่ 2.17 เป็นซัพพลายไลน์สปิตเตอร์ ซึ่งมีประโยชน์ในการสร้างแรงดันไฟคู่จากแรงดันไฟชุดเดียว

รูปที่ 2.17 มีกระแสเอาต์พุตที่ถูก "บูสต์" ดังนั้นวงจรนี้จะถูกใช้เป็นตัวจ่ายกำลังปรับค่าโวลต์เตจได้โดยการปรับค่า VR1

รูปที่ 2.18 เป็นวงจรแปลง AC เป็น DC แบบครึ่งคลื่นที่มีความแม่นยำสูงวงจรจะให้สัญญาณ AC ถูกเปลี่ยนเป็น DC และใช้เป็นบัฟเฟอร์สำหรับสัญญาณอินพุต

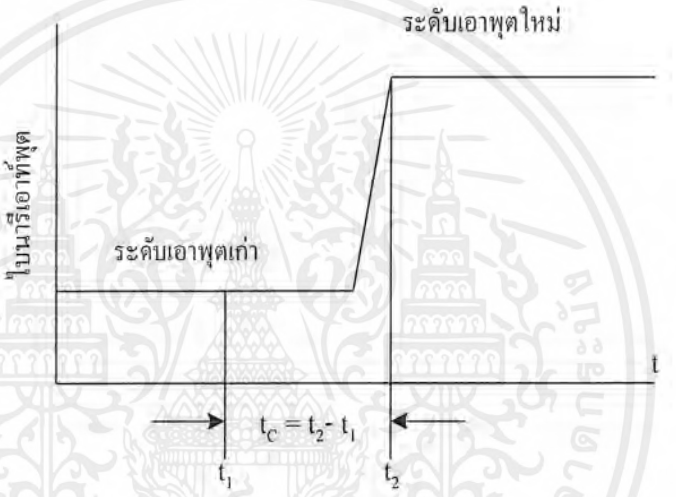
สุดท้ายวงจรในรูปที่ 2.19 ใช้โครงข่ายแบบวีนบริดจ์เพื่อสร้างสัญญาณรูปไซน์แอมปลิจูดจะถูกทำให้มีเสถียรภาพโดยหลอดไฟกระแสต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 เป็นวงจรกำเนิดคลื่นรูปเหลี่ยมซึ่งสามารถควบคุมความถี่โดยเลือกค่าใดๆ ของอุปกรณ์พาสซีฟก็ได้

วงจรในรูป 2.21 เป็นฟังก์ชั่นเจเนอเรเตอร์ซึ่งสามารถสร้างได้ทั้งรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม

2.7 หลักการของตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล



รูปที่ 2.22 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D Converter

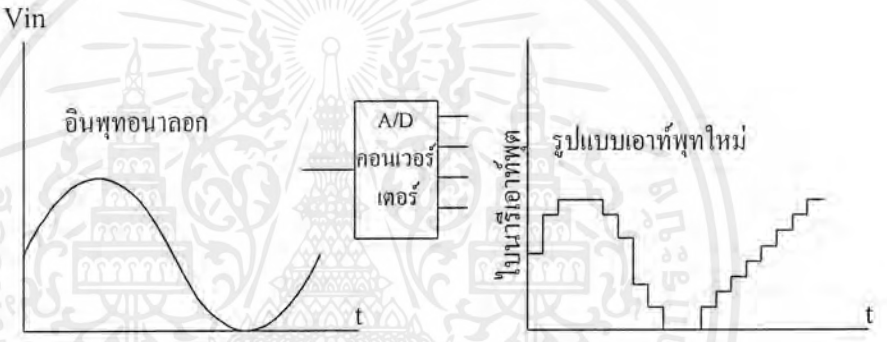
A/D converter มีสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณแอนะลอกและมีสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณเอาท์พุทจำนวน n บิต อินพุตของ A/D Converter เป็นสัญญาณแอนะลอกที่ผ่านออกมาจากวงจรแซมเปิ้ลโฮลด์ซึ่งส่วนของวงจรนี้ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนะลอกที่ต้องการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้ามาในวงจรแล้วนำเอาต์พุตไม่ต่อเชื่อมกับอินพุตของ A/D Converter โดยการแปลงสัญญาณจาก A/D Converter แต่ละครั้งวงจรนี้รับสัญญาณแอนะลอกแล้วส่งเข้าที่ขาอินพุตของ A/D Converter ในช่วงเวลาที่เท่ากับเวลาแซมเปิ้ลที่กำหนดจากความถี่แซมเปิ้ลที่กำหนดในวงจร ดังนั้นในการควบคุมการทำงานของ A/D Converter

ในการแปลงสัญญาณจะมีค่าจำนวนข้อมูลเท่าใด พิจารณาได้จากความถี่แซมเปิ้ลภายในชุดวงจรแซมเปิ้ลและโฮลนี้อย่างไรก็ตามการพิจารณาเวลาการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์นี้ยังขึ้นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับผลของเวลาในการแปลงสัญญาณภายใน A/D คอนเวอร์เตอร์ คือ เวลาที่ใช้ในระหว่างที่อินพุตเข้ามาจนถึงการแสดงค่าระดับเอาท์พุตใหม่

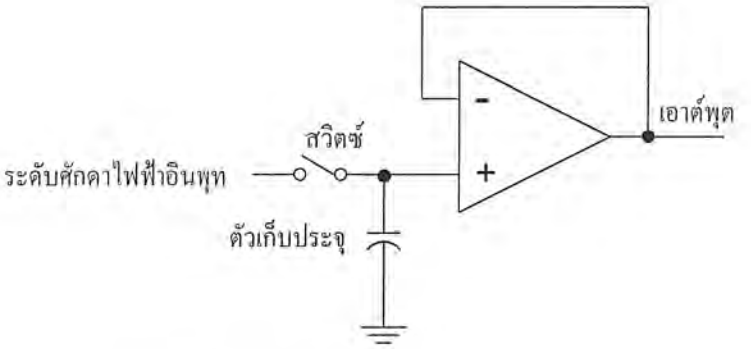
พิจารณาตามรูปที่ 2.22 อินพุตจากสัญญาณแอนะลอกที่เข้าใน A/D คอนเวอร์เตอร์จะอยู่ ณ เวลา t1 และสัญญาณตอบสนองของอินพุตจะเกิดขึ้นจากผลต่างของเวลาทั้งสอง คือ เวลาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณซึ่งเวลาดังกล่าวนี้เป็นเวลาที่ใช้จริงของ A/D คอนเวอร์เตอร์ในการแปลงสัญญาณแอนะลอก เป็นดิจิตอล ดังนั้นการกำหนดเวลาแซมเปิ้ลจากความถี่แซมเปิ้ลควรมีเวลามากกว่าเวลาในการแปลงสัญญาณจึงจะได้ค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่ถูกต้องและเพื่อให้ทราบถึงผลของการแซมเปิ้ลจนสัญญาณอินพุตแอนะลอกไปเป็นดิจิตอลเอาต์พุต พิจารณาจากกราฟ รูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลด้วย A/D Converter

ทั้งตัวแปลงสัญญาณที่ปรับค่าต่อเนื่องและตัวแปลงสัญญาณที่ประมาณค่าผลสำเร็จจะเปลี่ยนค่าในแต่ละครั้งเมื่อมันได้รับคำสั่งจากไมโครโปรเซสเซอร์เท่านั้น ซึ่งก็หมายความว่าตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ประมาณค่าผลสำเร็จขนาด 8 บิต (ที่ใช้เวลา 1 ไมโครวินาทีในการทำงานแต่ละ ขั้นตอน) จะใช้เวลาทั้งหมด 8 ไมโครวินาทีในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ในช่วงเวลา 8 ไมโครวินาทีนี้ สัญญาณแอนะลอกที่ไม่ทราบค่าที่ป้อนเข้าตัวแปลนั้นจะต้องมีระดับศักดาไฟฟ้าที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรแซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์

มิฉะนั้นค่าเอาต์พุตที่ได้อาจไม่ถูกต้อง เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจึงได้มีการนำวงจร แซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์มาใช้ โดยวงจรนี้จะเก็บระดับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณที่รับเข้ามาในตัวเก็บประจุก่อนที่ตัวแปลงสัญญาณจะเริ่มการทำงานเมื่อสวิตช์ถูกปิด ตัวเก็บประจุจะได้รับประจุจนมีระดับประจุจนมีระดับศักดาไฟฟ้าตกคร่อมเท่ากับระดับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณที่ป้อนเข้ามาและเมื่อสวิตช์ถูกเปิด ระดับศักดาไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะคงอยู่ที่ค่านี้จนกว่าสวิตช์จะถูกปิดอีกครั้ง โดยปกติสวิตช์แบบ FET ที่ทำงานได้ด้วยความเร็วสูงจะถูกนำมาใช้ในวงจรนี้

2.7.1 วงจร A/D คอนเวอร์เตอร์

ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 แบบ คือ

1) แบบสโลปคู่

2) แปลงสัญญาณเป็นความถี่

3) แบบประมาณทีละบิต

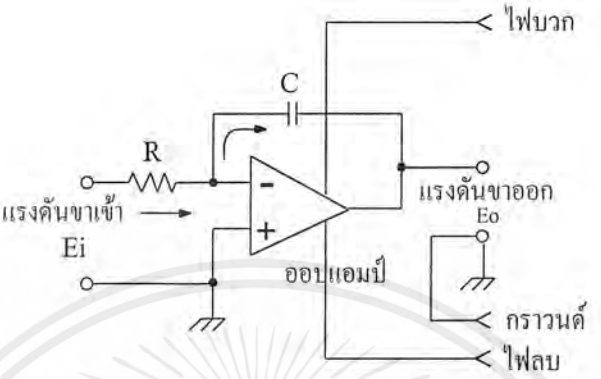
วงจร A/D แบบสโลปคู่เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียนิดเดียวตรงที่ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานมากไป จึงไม่เหมาะในการใช้แรงดันในช่วงเวลาสั้นๆ และจะขอกล่าวถึง วงจร A/D แบบสโลปคู่

1) สโลปคู่ของ A/D คอนเวอร์เตอร์

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียตรงที่ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานมากไป จึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้นๆ และจะขอกล่าวถึงวงจร A/D แบบสโลปคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 2.25 ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบพื้นฐาน ประกอบด้วยออปแอมป์ ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง



รูปที่ 2.25 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์

2) แรมป์เอาต์พุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์

เป็น A/D คอนเวอร์เตอร์ ที่เข้าใจการทำงานง่ายที่สุดโดยแสดงโครงสร้างการทำงานดัง รูปที่ 2.26 เมื่อพิจารณาตามรูปแล้วสามารถอธิบายการทำงานหลักการได้ดังนี้

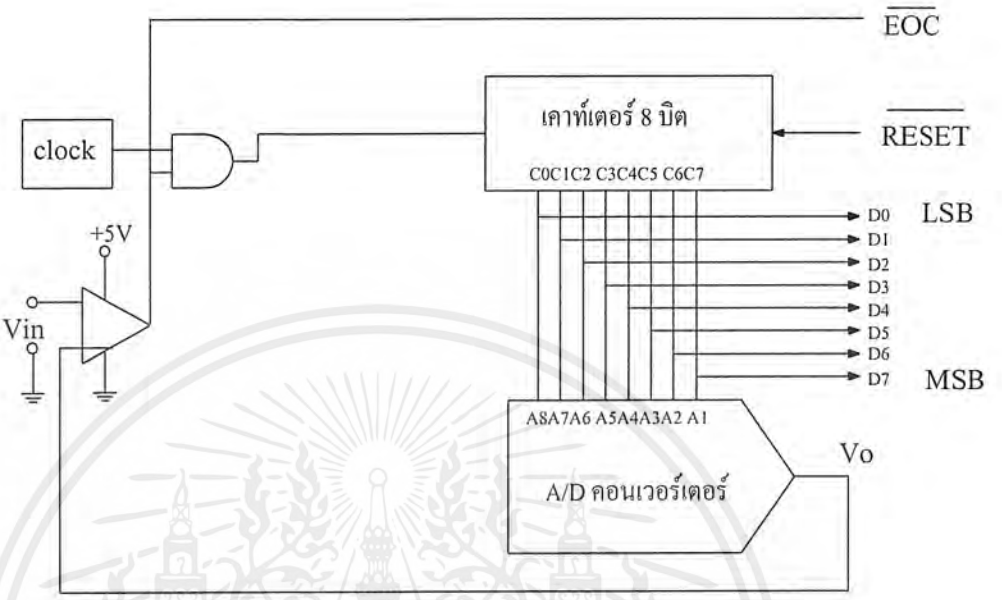
2.1) คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณรีเซทไปที่เคาท์เตอร์เพื่อให้สามารถรับสัญญาณอินพุตได้โดยขณะนั้น ผลเอาต์พุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำสุด

2.2) การทำงานของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณนาฬิกาซึ่งสัญญาณอินพุตถูกนำมา AND กับสัญญาณนาฬิกานี้แล้วจึงส่งไปยังเคาท์เตอร์เป็นผลให้ V_o แสดงระดับแรงดันที่สูงขึ้นทีละ1 LSB

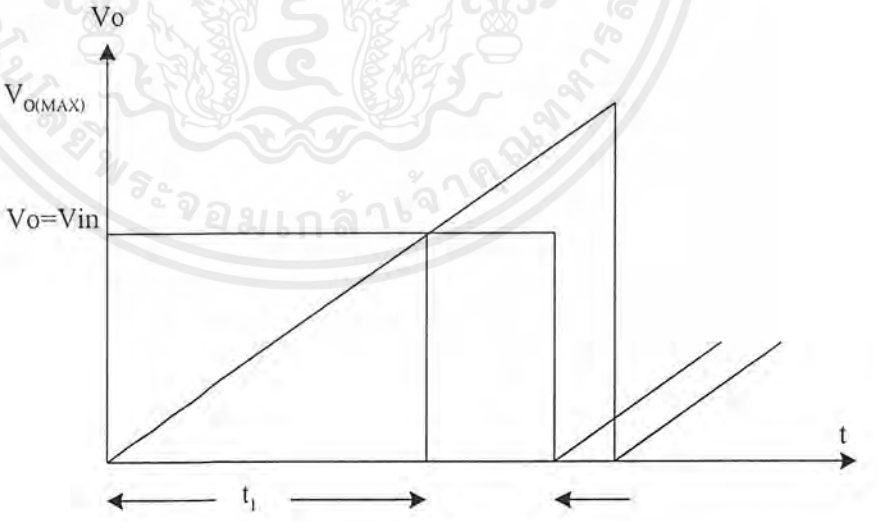
2.3) ณ จุดเดียวกันนั้น ตัวเคาท์เตอร์จะนับเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเอาต์พุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ สูงกว่าค่าแรงดันอินพุต V_{in} เมื่อถึงจุดนี้ของคอมพาราเตอร์จะแสดงค่าไปจนกระทั่งเป็น 0 โวลต์ เมื่อถึง 0 โวลต์ที่จะหยุดสัญญาณนาฬิกาจะหยุดการนับที่จุดซึ่ง V_o เริ่มมากกว่า V_{in} ขา EOC จะลดระดับเป็นระดับต่ำและส่งสัญญาณไปให้คอมพิวเตอร์วางข้อมูลขณะนี้พร้อมที่จะอ่านได้แล้ว ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยผ่านไปทางอินพุตพอร์ท

2.4) หลังจากคอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลเสร็จคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรีเซทมาที่ A/D คอนเวอร์เตอร์หลังจากนั้นก็เริ่มทำกระบวนการแบบเดิมอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ตัวแปลงสัญญาณ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบแรมป์



รูปที่ 2.27 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/D คอนเวอร์เตอร์

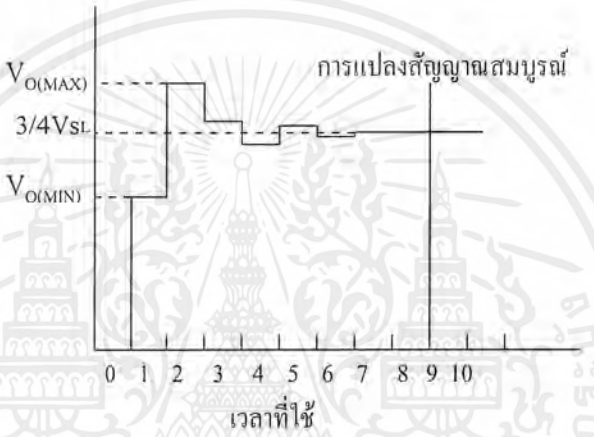
กราฟนี้แสดงการทำงานของแรมป์ โดย t_1 แทนเวลาที่นับใช้เพื่อแรมป์เอาต์พุตของ D/A คอนเวอร์เตอร์ที่เริ่มจะเลย V_{in} และ t_2 แทนเวลาระหว่างที่คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลและส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเซตกลับมาให้ A/D คอนเวอร์เตอร์ เริ่มต้นกระบวนการเดิมอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นในการเก็บข้อมูล 1 ค่า จะต้องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณ 2 ช่วงด้วยกัน คือ เวลา t_1 ถูกกำหนดโดยอ่านข้อมูลและส่งสัญญาณรีเซตกลับ

3) วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

SAR เป็นตัวเลขหลักของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งลักษณะใกล้เคียงกับแบบแรมป์ โดยโครงสร้างการทำงาน เป็นการแสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับ A/D คอนเวอร์เตอร์ แบบ SAR



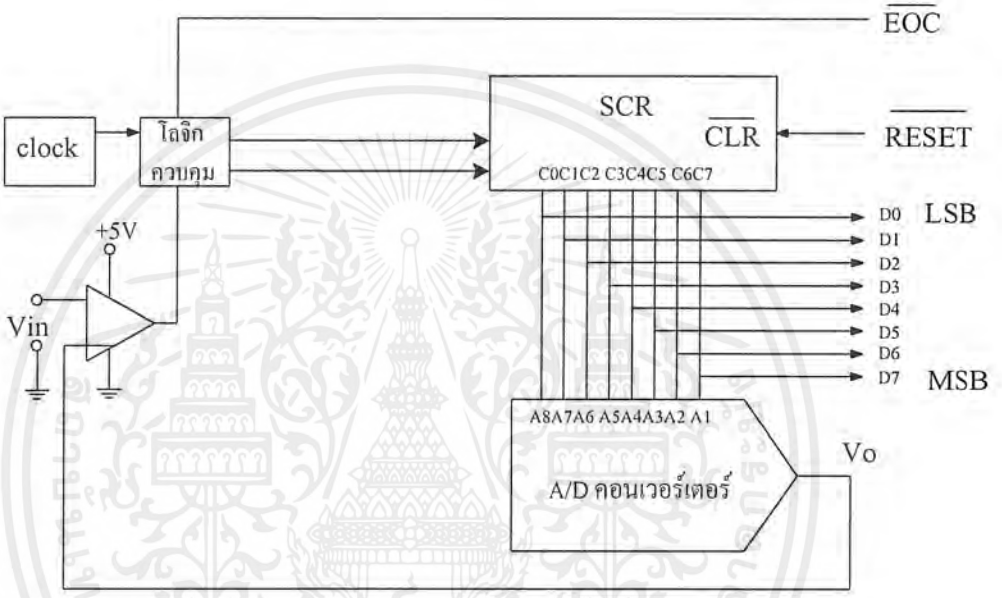
รูปที่ 2.28 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR

SAR คอนเวอร์เตอร์ ต้องใช้ D/A คอนเวอร์เตอร์ และคอมพาราเตอร์ในการทำงานเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างได้แก่ ส่วนของเคาท์เตอร์ วิธีที่แรมป์ทำงานโดยอาศัยการนับขึ้นในลำดับไบนารีจนกระทั่ง V_{in} การทำงาน SAR คอนเวอร์เตอร์จะอธิบายต่อไป

3.1) การเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล พิจารณาจากสัญญาณนาฬิกาที่ส่งไปยังระบบควบคุมลอจิก โดยเอาต์พุตของระบบควบคุมลอจิกจะส่งพัลซ์หนึ่งลูกให้กับ SAR เพื่อเซตค่าของ MSB และลบล้างค่าเอาต์พุตที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้ค่าของ V_o เท่ากับค่า $V_{fs/2}$ ซึ่งจะน้อยกว่าค่า V_{in} และเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์จะยังคงอยู่ในระดับ "1" ระบบควบคุม ลอจิกจะตรวจสอบว่าด้วยคอมพาราเตอร์ยังคงเป็น "1" อยู่ที่จะส่งสัญญาณไปที่ SAR ซึ่งจะค้างค่าของ MSB เป็นลอจิก "1" ที่ Q7 เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาถูกตัดไป MSB ตัวใหม่ ซึ่งอยู่ที่ Q6 ของ SAR จะถูกเซตค่าเป็น "1" ดังรูปที่ 2.29 เอาต์พุตของ D/A จะเกินค่าของ Vin ทำให้เอาต์พุตของคอมพาราเตอร์เปลี่ยนระดับระบบควบคุมลอจิกตรวจสอบทราบก็จะไม่ทำการค้างค่า Q6 นั่นคือค่าที่ค้างที่ตำแหน่ง Q6 มีค่าเท่ากับ "Q"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) สัญญาณนาฬิกาลูกถัดมา Q6 จะถูกเคลียร์ และ Q5 จะถูกเซต จากการเปรียบเทียบได้เอาต์พุตของคอมพาราเตอร์เป็น "1" ส่วนควบคุมลอจิกก็จะไม่ทำการค้างค่า Q5 ไว้เพราะยังสูงกว่า ค่าของVin โดยปกติแล้ววงจรจะทดสอบเอาต์พุต โดยเริ่มต้นที่ MSB ของ AR ถ้าเอาต์พุตของ D/A คอนเวอร์เตอร์ เกินค่า V_{in} แล้วบิตนั้นจะค้างค่าลอจิก "1" ไว้ หลังจากการตรวจสอบหมดแล้ว



รูปที่ 2.29 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณ

ไบนารี่เอาต์พุตจะเป็นอัตราส่วนกับ V_{in} จะเห็นว่า A/D แบบนี้ดีกว่าแบบแรมป์ คือ เวลาในการแปลงสัญญาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนบิตของเคาท์เตอร์แบบ SAR แต่ SAR A/D คอนเวอร์เตอร์ มีข้อเสียแบบเดียวกับแรมป์ คือข้อผิดพลาดทางอัตราการขยายออฟเซต และความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเกิดขึ้นในส่วน D/A คอนเวอร์เตอร์

2.8 โซลิดสเตทรีเลย์แบบไร้หน้าสัมผัส

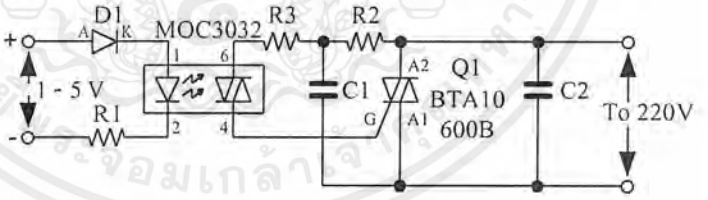
รีเลย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายโดยนำมาใช้เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แรงดันไฟตรงควบคุมระดับต่ำประมาณ 5 - 24 โวลต์ และมีหน้าสัมผัสที่ทำงานเหมือนสวิตซ์สำหรับต่อไปใช้ควบคุมการป้อนกำลังไฟให้กับโหลดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันไฟสูงรีเลย์จึงมักถูกนำมาใช้ในวงจรควบคุมโหลดที่เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านที่มีการควบคุมด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นวงจรตั้งเวลา , วงจรสวิตซ์สัมผัส เป็นต้น

รีเลย์ มีข้อดีคือ สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย หาซื้อง่าย มีหลายรุ่นหลายแบบให้เลือกใช้ ซึ่งบางรุ่นภายในตัวเดียวอาจมีหน้าสัมผัสให้ต่อใช้งานมากกว่า 1 ชุด ทำให้สามารถต่อควบคุมโหลดหลายๆ ตัวได้ในเวลาเดียวกัน แต่ข้อเสียที่สำคัญของรีเลย์ก็คือ ใช้หลักการทำงานแบบกลไก การตัดและต่อหน้าสัมผัสทำได้จากการเคลื่อนหน้าสัมผัสไปเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ ทำให้เกิดการสึกหรอของ กลไก และอาจมีประกายไฟเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสขณะตัดต่อหรือต่อวงจร สาเหตุเหล่านี้จึงทำให้รีเลย์มีอายุการใช้งานสั้นลงและมีเสียงดังขณะทำงาน

เพื่อแก้ไขปัญหาของรีเลย์แบบกลไกจึงได้มีการคิดค้นรีเลย์แบบใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาทำหน้าที่แทนหน้าสัมผัสรีเลย์แบบกลไก ซึ่งทำให้การทำงานทั้งหมดไม่มีส่วนที่ต้องมีกลไกการเคลื่อนที่อีกและไม่มีประกายไฟ ตลอดจนไม่มีเสียงดังขณะทำงาน รีเลย์แบบนี้เรียกว่า โซลิดสเตทรีเลย์ นอกจากนั้นยังปลอดภัยกับผู้ใช้งานและส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมมากขึ้นด้วย โดยออกแบบให้มีการส่งผ่านการควบคุมระหว่างด้านแรงไฟต่ำและแรงดันไฟสูงผ่านทางแสดงทำให้การทำงานทั้ง 2 ส่วนแยกจากกรันอย่างสิ้นเชิง ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือ โซลิดสเตทรีเลย์สามารถนำไปต่อร่วมในวงจรแทนรีเลย์แบบกลไกได้โดยตรงจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการนำไปใช้ในวงจรเดิมที่ใช้งานอยู่แล้วแต่ต้องการเปลี่ยนมาใช้เป็นโซลิดสเตทรีเลย์



รูปที่ 2.30 แสดงวงจรสมบูรณ์ของโซลิดสเตทรีเลย์

2.8.1 หลักการทำงาน

วงจรสมบูรณ์ของโครงงานโซลิดสเตทรีเลย์ ดังในรูปที่ 2.30 นี้ วงจรด้านควบคุมแรงดันไฟต่ำจะมี D1 , R1 และ IC1 ทำงานร่วมกัน โดย D1 ทำหน้าที่ป้องกันการต่อแรงดันไฟควบคุม 5 - 15 โวลต์ผิดขั้ว R1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟที่ไหลผ่าน ส่วน IC1 จะเชื่อมต่อกับขา 1 และ 2 ซึ่งภายในจะเป็น LED เพื่อใช้ในการกำเนิดแสงภายในตัวไอซีเชื่อมโยงการควบคุมทางแสงไปยังด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IC1 เบอร์ MOC3032 ในที่นี้จึงจัดอยู่ในกลุ่มประเภทไอซีออปโต้คัปเปลอร์ที่มี อินพุตเป็น LED ในขณะที่เอาต์พุตเป็น ไดแอก

วงจรด้านแรงดันไฟสูงประกอบด้วย R2 – R3 , C1 – C2 , Q1 และ IC1 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมคือ เอาต์พุตที่เป็นไดแอกของ IC1 ทำหน้าที่ในการควบคุมการทริกของ Q1 ซึ่งเป็น ไทรแอก เบอร์ BTA10-600B มีพิกัดในการทำงานสูงสุดที่ 10A , 600V ให้ทำงานโดยกระแสจะสามารถไหลผ่าน Q1 ผ่านไปยังโหลดได้เสมือนเป็นสวิตซ์ปิดวงจร

การทำงานของวงจรทั้งหมดจะเริ่มต้นจากเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟตรง 5 - 15 โวลต์ ผ่านเข้ามาทางอินพุตจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน D1 , IC1 และ R1 LED ภายใน IC1 จะทำงานส่งผลให้ไดแอกภายใน IC1 ทำงานตามไปด้วย ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านไปทริกขาเกตของไทรแอก Q1 และทำให้ไทรแอกเริ่มทำงานนำกระแสไฟด้านเอาต์พุตไหลผ่านไปยังโหลดได้แต่เมื่อหยุดการป้อนแรงดันไฟตรงควบคุม IC1 จะหยุดทำงานและส่งผลให้ไทรแอก Q1 หยุดทำงานไม่นำกระแสไฟไปยังโหลด ข้อสังเกตประการหนึ่งก็คือ การเชื่อมโยงการควบคุมระหว่างแรงดันไฟต่ำและไฟสูงภายใน IC1 ใช้หลักการทางแสงจึงเสมือนการควบคุมทั้ง 2 ส่วนแยกจากกันอย่างสิ้นเชิงในทางไฟฟ้า จึงเชื่อมั่นได้ถึงความปลอดภัยของวงจรในส่วนควบคุมแรงดันไฟต่ำว่าจะไม่เสียหายจากการรั่วของแรงดันไฟสูง และนั่นหมายถึงความปลอดภัยที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้งานด้วย

2.8.2 การสร้างวงจรโซลิดสเตทรีเลย์

การสร้างวงจรโซลิดสเตทรีเลย์รายละเอียดทั่วไปจะเหมือนกับการสร้างโครงงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป คือ เริ่มจากจัดเตรียมอุปกรณ์ตามรายการให้ครบพร้อมทั้งแผ่นวงจรพิมพ์ จากนั้นก็เริ่มลงอุปกรณ์ทั้งหมดโดยไล่ตามความสูงจากต่ำสุดไปหาสูงสุดเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้ง สำหรับ IC1 ซึ่งมีจำนวน 6 ขา ในวงจรให้ใส่ซ็อกเก็ตไอซีเป็นแบบ 8 ขา แล้วจึงเสียบไอซีให้อยู่ที่ด้านบนของซ็อกเก็ตหรือที่ตำแหน่งขา 1 ของไอซี ส่วนซ็อกเก็ตไอซีอีก 2 ขาด้านล่างที่เหลือให้ปล่อยว่างทิ้งไว้

ส่วนไทรแอก Q1 ให้ติดตั้งแผ่นระบายความร้อนขนาดเล็กด้วย ถ้าใช้โหลดไม่เกิน 2 แอมป์ แต่ถ้าใช้โหลดมากกว่า 3 แอมป์ ควรใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่และการเชื่อมต่อ Q1 กับแผ่นวงจรพิมพ์ให้ใช้การเดินสายแทน และควรลองแผ่นไมก้าระหว่าง Q1 กับแผ่นระบายความร้อนในการติดตั้งด้วยเสมอ อย่างไรก็ตามการนำโหลดมาต่อใช้งานต้องอย่าลืมว่าวงจรนี้สามารถขับโหลดได้สูงสุดไม่เกิน 10 แอมป์เท่านั้น

ก่อนที่จะเริ่มทดสอบให้ตรวจสอบความถูกต้องของวงจรทั้งหมดจนแน่ใจอีกครั้ง จากนั้นให้นำโหลดซึ่งอาจเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าบ้านอะไรก็ได้มาต่อแต่ในที่นี้ขอแนะนำว่าควรจะใช้หลอดไฟแสงสว่างขนาดวัตต์ต่ำๆมาทดลองจะปลอดภัยและเห็นผลการทำงานชัดเจนกว่า หลังจากเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดแล้วก็ป้อนแรงดันไฟบ้าน 220 โวลต์เข้าสู่วงจร ในขณะแรกโหลดจะยังไม่ทำงาน ถ้าโหลดทำงานทันทีอาจเกิดจากมีการลัดวงจรที่ C1 , C2 , IC1 หรือ Q1 หากโหลดไม่ทำงานให้ทดลองต่อไปโดยป้อนแรงดันไฟตรง 5-15 โวลต์เข้าทางด้านอินพุตให้ถูกขั้ว ขณะนี้โหลดจะทำงานซึ่งถ้าเป็นหลอดไฟก็จะติดสว่าง ในกรณีถ้าโหลดไม่ทำงานอาจเกิดจาก D1 , R1 หรือ IC 1 ขาดวงจรหรือต่อไฟตรงผิดขั้ว อย่างไรก็ตามถ้าการทำงานเป็นไปอย่างถูกต้องก็สามารถนำโซลิดสเตทรีเลย์นี้ไปใช้งานได้ทันที

สำหรับคำเตือนที่ควรระมัดระวังอย่างยิ่งในการสร้างและทดสอบโครงงานนี้คือภายในแผ่นวงจรพิมพ์และอุปกรณ์บางตัวมีแรงดันไฟสูง 220 โวลต์ ไหลผ่านอยู่จึงควรแน่ใจก่อนทุกครั้งว่าปลดแรงดันไฟสูงออกจากวงจรแล้วก่อนที่จะจับต้องวงจรส่วนใดๆ เสมอเพื่อความปลอดภัย

2.8.3 การนำไปใช้งาน

การนำโซลิดสเตทรีเลย์ไปใช้งานสามารถทำได้โดยการนำโหลดที่ไม่เกิน 10 แอมป์ มาเชื่อมต่อด้านเอาต์พุต ส่วนการควบคุมให้โหลดทำงานหรือหยุดทำงานทำได้โดยการป้อนหรือหยุดป้อนแรงดันไฟตรง 5 - 15 โวลต์ ทางด้านอินพุตซึ่งอาจต่อมาจากวงจรควบคุมภายนอกอีกทีหนึ่งหรือแหล่งจ่ายไฟตรงอื่นๆ แล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้งานของแต่ละท่าน สำหรับในกรณีที่ต้องการใช้แรงดันไฟตรงควบคุมมากกว่า 15 โวลต์ ทำได้โดยการเปลี่ยนค่า R1 เป็น 2 กิโลโอห์ม แรงดันไฟตรงควบคุมจะใช้ได้ในช่วง 16 - 30 โวลต์แทน

2.9โซลินอยด์

รากศัพท์ของโซลินอยด์น่าจะมาจากคำว่า “โซเลน” ซึ่งมีความหมายทางแพทย์เป็นคล้ายๆ เฝือกหุ้มอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บซึ่งก็อาจจะอยู่ในลักษณะของปลอกแขนหรือปลอกขาเมื่อมีประดิษฐ์กรรมตัวนี้เกิดขึ้นซึ่งโครงสร้างของมันก็คือขดลวดพันรอบๆแกนสารแม่เหล็กลักษณะก็เป็นคล้ายๆ ทรงกระบอกเช่นกัน ศัพท์โซลินอยด์จึงถูกเรียกมาเป็นเช่นนี้

เราใช้โซลินอยด์มาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานโดยตรงโดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้เข้ามาทางขดลวดจะทำให้แกนสานแม่เหล็กของโซลินอยด์เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น การเคลื่อนที่นี้เองเรานำไปใช้ประโยชน์เช่น ขัดกลอนประตูเอาไว้, ไปถีบกระเดื่องทำให้กลไกทำงานหรือหยุดทำงาน ฯลฯ โซลินอยด์ที่ใช้กันซึ่งมีทั้งชนิดกับไฟฟ้ากับไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง

2.9.1 หลักการทำงานของโซลินอยด์

เออร์สเตดเป็นผู้ตั้งกฎว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำใดๆก็ตามจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวนำนั้นและยังออกกฎมือขวามาให้ดูทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กด้วย คือถ้าเอามือขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำรอบเส้นลวด (อย่าเอาไปใช้กับไฟ 220 V หรือสูงกว่า) โดยนิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางกระแสไหล นิ้วที่เหลือทั้งหมด (ซึ่งมี 4 นิ้ว และจะหันไปทางเดียวกัน) จะแสดงทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วใต้ไปขั้วเหนือ

เมื่อเราเอาเส้นลวดมาขดเป็นวงๆหลายๆวงก็จะเกิดลักษณะของขดลวดขึ้นสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดแต่ละขดจะอยู่ในทิศทางเสริมกันและก่อกำเนิดเป็นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กรวมมีทิศเหนือใต้ ซึ่งก็แปลว่าในขณะนี้ขดลวดชุดนี้จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับแม่เหล็กถาวรแท่งหนึ่ง ซึ่งพร้อมที่จะดูดสารแม่เหล็กทันที แต่เนื่องจากสภาพรอบๆขดลวดเป็นอากาศเส้นแรงแม่เหล็กจึงไม่เข้มข้นมากนัก

เพื่อที่จะไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกระจัดกระจายจึงใส่แกนเหล็กอ่อนรูปตัว C เข้ามารอบๆขดลวดเพื่อให้สนามแม่เหล็กมากขึ้นถ้าเอาแกนกระทุ้งมาใส่เข้าไปตรงกลางขดลวดแกนกระทุ้งจะถูกดูดให้ลึกเข้ามาจนสนิท ยิ่งระยะทางใกล้มากเท่าไร แรงดูดก็จะมากขึ้นเท่านั้น

มีข้อแตกต่างอยู่ระหว่างโซลินอยด์ไฟตรงและโซลินอยด์ไฟสลับ คือ ในโซลินอยด์ไฟตรงกระแสที่ไหลในขดลวดจะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าแกนกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตาม แต่ในโซลินอยด์ไฟสลับกระแสในขณะที่แกนกระทุ้งอยู่นอกขดลวดจะมีค่าสูงและเมื่อแกนกระทุ้งถูกดูดเข้ามาจนสุดขดลวดกระแสจะลดต่ำลง ลักษณะแบบนี้นี้เองที่ทำให้เราต้องระวังอย่างให้เกิดการติดขัดของแกนกระทุ้งในโซลินอยด์ไฟสลับเพราะจะทำให้เกิดกระแสมากๆ ไหลค้างอยู่ ทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและอาจจะไหม้เสียหายได้

ในโครงสร้างของโซลินอยด์แบบไฟสลับนั้นจะต้องพันขดลวด Shaded Coil หรือแหวนซึ่งเป็นลวดพันรอบแกนเหล็กเพียงรอบเดียวหรือไม่กี่รอบลัดวงจรเอาไว้เลย จุดประสงค์ที่พันไว้เพราะในไฟสลับกระแสจะลดลงมาเป็นศูนย์ 2 ครั้ง ทุกๆ ไซเกิ้ลช่วงที่กระแสเป็นศูนย์นี้เองทำให้แรงดูดแม่เหล็กลดลงและทำให้เกิดเสียงหึ่งๆขึ้นและการดูดก็ไม่แน่นแฟ้นขดลวดแหวนที่เพิ่มเติมเข้าไปนี้จะทำให้วงจรแม่เหล็กเกิดเป็นสภาพ 2 เฟส คือ แม้ในขณะที่กระแสเป็นศูนย์ก็ตามขดลวดแหวนซึ่งมีกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำกับสนามแม่เหล็กจะยังคงมีแรงแม่เหล็กมาเสริมการดูดในช่วงนี้ได้ แต่ก็จะทำให้เกิดการสูญเสีย ของความร้อนในขดลวดบ้างเป็นข้อแลกเปลี่ยน

2.9.2 ขั้นตอนการเลือกใช้โซลินอยด์

ควรคำนึงถึงหลักใหญ่ๆ คือ

1) แรงดันใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นไฟตรงหรือไฟสลับ ถ้าเป็นไฟสลับก็ต้องดูความถี่ใช้งานให้ตรงตามต้องการด้วย

2) ช่วงชักใช้งานของโซลินอยด์ จะต้องเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าใด (จะกำหนดเป็นมิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ขนาดของโหลด ว่าต้องใช้แรงขนาดเท่าใด มักจะบอกเป็นกรัม

4) ใช้งานต่อเนื่องหรือไม่ การใช้งานต่อเนื่อง หมายถึงเราอาจจะใส่แรงดันไฟเข้า ขดลวดค้างไว้ได้เลย โดยขดลวดไม่ไหม้ หรือเป็นแบบจังหวะๆ

2.9.3 แนวความคิดในการนำเอาโซลินอยด์ไปประยุกต์ใช้

สำหรับโซลินอยด์ที่แรงดึงไม่มากนัก

1) ทำเป็นกลอนล็อกประตู เมื่อมีแรงดันมาที่ขดลวดโซลินอยด์จะดึงแกนกระทุ้งกลับเป็นการปลอดล็อก

2) ชูป้ายโฆษณา ในกรณีนี้ถ้าโซลินอยด์ยังไม่ทำงานสปริงจะดึงป้ายให้ตั้งฉากกับหน้าต่างป้าย ทำให้เราไม่เห็นตัวหนังสือแต่ถ้าโซลินอยด์ได้รับแรงดันเข้ามาแกนกระทุ้งจะถูกดูดทำให้คานดีดงัดหน้าป้ายโฆษณาออกมาให้เห็นได้

3) ใช้กับกลไกของเล่น ที่ทำด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ต่างๆ เช่น หุ่นยนต์ รถยนต์เด็กเล่นและอื่นๆ อีกมาก

4) สำหรับโซลินอยด์ที่มีแรงดึงมาก (เช่นในงานอุตสาหกรรม) ประกอบด้วยกลไกอินเตอร์ล็อก ใช้กับพวกเครื่องหยอดเหรียญต่างๆ, เครื่องเล่นทางอิเล็กทรอนิกส์, กระเดื่องทริปของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ฯลฯ

5) ควบคุมลิ้นของไหล พวกลิ้นปิดเปิดทางเดินของลมหรือน้ำมัน ในระบบนิวเมติกส์ และไฮดรอลิกส์, ควบคุมลิ้นน้ำทิ้งของเครื่องซักผ้า ฯลฯ

6) ช่วยในการนับจำนวนสินค้า โดยวงจรนับจะส่งแรงดันมาที่โซลินอยด์วาล์วเป็นช่วงเวลาตามจำนวนที่ต้องการโซลินอยด์จะดูดและเบนทิศทางสินค้าไปลงหีบห่อตามจำนวนที่ถูกต้อง

7) ระบบเบรค ใช้ควบคุมระบบเบรคในเครื่องจักรกล, เครื่องมือช่างไม้, ลิฟต์, รอก ฯลฯ

8) ควบคุมการทำงานของคลัตช์ โดยการดึงให้หน้าคลัตช์เข้ามาแตะกัน เป็นการถ่ายทอดกำลัง ผ่านไปได้

9) ควบคุมกลไกคานงัดแรง ในเครื่องมือสำนักงาน, เครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์, เครื่องบันทึกสัญญาณ

10) ควบคุมการเจาะและพิมพ์ของเครื่องจักร ก็โดยการดัดแปลงติดตั้งหัวเจาะและพิมพ์เข้าบนแกนของโซลินอยด์

11) ควบคุมการปิดเปิดของฮอปเปอร์ (คล้ายกับปากกรวย มีหน้าที่เป็นทางไหลของวัตถุที่อยู่ในไซโล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 ข้อระวังในการใช้โซลินอยด์เพื่อให้อายุยืนยาวที่สุด

1) ถ้าใช้โซลินอยด์ไฟสลับ จะต้องทำกลไกให้มั่นใจได้ว่าโซลินอยด์จะดูดแกนกระทุ้งเข้ามาหาสุดตัวเต็มที่ ถ้าไม่เช่นนั้นกระแสในโซลินอยด์จะสูงและเกิดความร้อนและขดลวดอาจจะไหม้ได้ การดัดแปลงแก้ไขก็กระทำกัน โดยถ้าเกิดมีการติดขัดด้านโหลดสปริงเชื่อมต่อเพิ่มเติมนี้จะยืดตัวให้แกนเคลื่อนที่เข้าไปสุดได้

2) ควรระวังให้แนวการเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้งในแนวแกนเสมอ ในกรณีที่การเคลื่อนที่จะเป็นส่วนโค้งก็อาจเพิ่มข้อต่อเข้ามา เพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้งอยู่ในแนวแกนมากขึ้น

3) พยายามอย่าวางตำแหน่งโซลินอยด์อยู่ใกล้หรือติดกับสารแม่เหล็ก เพราะอาจจะมีสนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งรั่วไหลออกไปได้อันจะเป็นเหตุให้แรงดึงดูดลดลง ควรแก้ไขโดยเพิ่มฉนวนแม่เหล็กแทรกเข้าไปด้วย

4) ต้องติดตั้งตัวถังโซลินอยด์ให้แน่นหนา เนื่องจากโซลินอยด์เป็นตัวส่งกำลังทางกลฉะนั้นเมื่อมีแรงกริยาออกมา ก็ย่อมต้องมีแรงปฏิกริยาเกิดขึ้นกับตัวถังของโซลินอยด์ถ้ายึดไม่แน่นพอในระยะยาวอาจจะทำให้เกิดการสั่น หรือหลุด หรือหลวมได้

2.10 ทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่

เอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะอยู่ในรูปของสัญญาณพัลซ์ หรือ Sinusoidal Wave Forms ความถี่ของมันก็คือ ขนาดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ถูกวัดและความถี่สามารถวัดได้โดยตัววัดความถี่ หรือตัวนับพัลซ์

2.10.1 ทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า

ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้สามารถนำไปใช้เพื่อการวัดความเร็ว ดังรูปที่ 2.31 ซึ่งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กไฟฟ้า เพลาหมุนที่ต้องการวัดความเร็วจะต้องติดด้วยเกียร์ที่ทำด้วยวัสดุจำพวก Ferromagnetic เมื่อฟันของเกียร์แต่ละอันที่ผ่านด้านหน้าของแม่เหล็กระยะห่างของช่องว่างจะเปลี่ยนแปลงไปทำให้ความหนาแน่นฟลักซ์เปลี่ยนแปลงพัลซ์แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำในขดลวด ความถี่ของพัลซ์จะเท่ากับความเร็วคูณกับจำนวนของฟัน รูปแบบของสัญญาณเอาต์พุตแสดงไว้ในรูปที่ 2.26 ดังนั้นความถี่ของพัลซ์ก็คือการวัดความเร็วของการหมุน ดังสมการที่ (2.12)

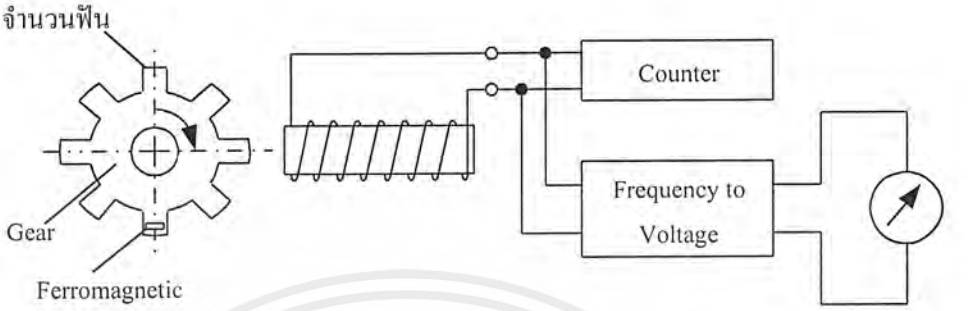
$$f = N \times T \qquad \text{สมการที่ (2.12)}$$

เมื่อ f = ความถี่

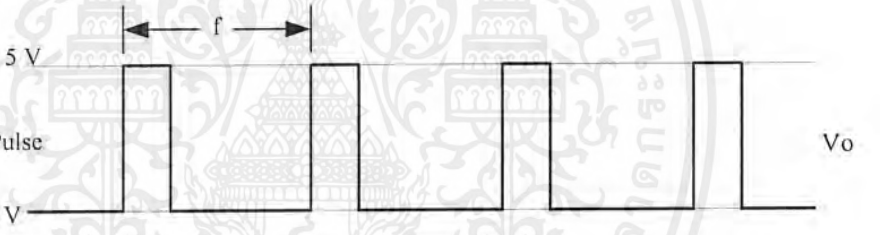
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = จำนวนรอบของการหมุน

T = จำนวนฟันของเกียร์



รูปที่ 2.31 ทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.32 รูปแบบสัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์โดเมนความถี่ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 3 นี้จะได้กล่าวถึงอุปกรณ์สำคัญในโครงงานนี้ คือ มาตรวัดน้ำ และ หรีดสวิตช์ที่นำมาประกอบเป็นส่วนตรวจจับ ขั้นตอนในการออกแบบวงจรส่วนต่างๆ คือ ส่วนการปรับแต่งสภาวะสัญญาณ ในส่วนของวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดัน ภาคขยายแรงดัน ภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล การออกแบบวงจรส่วนคอนโทรลเลอร์ การกำหนดพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต การรับข้อมูลการแสดงผลการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก รวมถึงการทำงานของวงจรทั้งหมดของโครงงานนี้

3.2 ส่วนตรวจจับ

ส่วนตรวจจับนี้จะเป็นส่วนที่สัมผัสกับกระบวนการและให้ค่าเอาต์พุตซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการในการวัดที่มีการเปลี่ยนแปลง

มาตรวัดน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองนี้จะเป็นมาตรวัดน้ำแบบใบพัดหมุนที่ใช้ตามบ้านทั่วๆ ไป ซึ่งมีค่าของอัตราการไหลสูงสุดอยู่ที่ 50 ลิตรต่อนาที หรือ 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เรานำมาตรวัดน้ำนี้มาใช้ในการทดลองโดยให้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ตรวจจับก็คือค่าอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อน้ำเข้าสู่มาตรวัดน้ำ

วิธีการทำเพื่อใช้ในการตรวจจับจะใช้แผ่นแม่เหล็กบาง 2 แผ่นติดกับแกนใบพัดของมาตรวัดน้ำเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำกับหน้าสัมผัสของหรีดรีเลย์จากนั้นใช้กาวอีพอกซี่ทาปิดทับตรงรอยต่อเพื่อกันไม่ให้แผ่นแม่เหล็กหลุดออกมาจากใบพัดนอกจากนี้ก็จะต้องติดหรีดสวิตช์ที่ด้านใต้ของส่วนที่เป็นตัวขับเฟืองและตัวแสดงผลเพื่อใช้เป็นตัวส่งสัญญาณพัลซ์ไปให้วงจรนับและวงจรแปลงสัญญาณความถี่ให้เป็นแรงดันอีกทีหนึ่ง โดยจะต้องเจาะรูที่ด้านบนและด้านล่างของส่วนที่เป็นเฟืองและตัวแสดงผล 2 รู แล้วติดหรีดสวิตช์ลงไปแล้วต่อสายไฟออกมาข้างนอกบนจอแสดงผล 2 เส้น จากนั้นก็ทากาวอีพอกซี่ปิดตรงรอยรั่วทั้งข้างบนและข้างล่างเพื่อกันไม่ให้น้ำไหลไปถูกสายไฟและป้องกันไม่ให้น้ำไหลออกมาข้างนอก สายไฟที่ต่อออกมาข้างนอกก็จะไปต่อกับแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ เพื่อเป็นสัญญาณอินพุตป้อนให้กับวงจรนับและวงจรแปลงสัญญาณความถี่ให้เป็นแรงดันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนการปรับแต่งสภาวะของสัญญาณ

ส่วนนี้จะทำหน้าที่โดยนำค่าเอาต์พุตจากส่สนตรวจจับมาทำการแปลงให้มีรูปเหมาะสมกับส่วนประมวลสัญญาณ เช่น แปลงเป็นแรงดันไฟตรง, กระแสไฟตรง หรือแปลงเป็นสัญญาณความถี่

3.3.1 การออกแบบวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดัน

โดยปกติแล้ววงจรของภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันนี้ส่วนใหญ่จะถูกบรรจุอยู่ในตัวไอซีอยู่แล้วการใช้งานก็สามารถทำได้โดยเพียงแค่การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้าไปเพียงไม่กี่ตัว เช่น ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน ส่วนค่าของตัวอุปกรณ์เหล่านี้เราสามารถนำค่าจากดาต้าชีทของตัวไอซีมาใช้ได้เลย แต่ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้วงจรในแบบที่มีการกรองสัญญาณเพื่อลดค่าแรงไฟกระเพื่อม ของวงจรเพื่อให้ได้ค่าที่มีความเที่ยงตรงมากที่สุด โดยวงจรกรองสัญญาณนี้ใช้หลักการกรองสัญญาณโดยใช้ OP-Amp เป็น Active Filter ในแบบ Low pass filter

วิธีการคำนวณข้างล่างนี้เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อนำมาประกอบเป็นวงจรฟิลเตอร์

Sol"

กำหนด $f_c = 50Hz$

$$\xi = \sqrt{\frac{C2}{C1}}$$

$$0.707 = \sqrt{\frac{C2}{0.47\mu F}}$$

$$0.707^2 = \frac{C2}{0.47\mu F}$$

$$C2 = (0.707)^2 (0.47\mu F)$$

$$= 0.235\mu F$$

หา $\omega C = \frac{1}{R\sqrt{C1C2}}$

$$50 = \frac{1}{R\sqrt{(0.47\mu F)(0.235\mu F)}}$$

$$R = \frac{1}{50\sqrt{(0.47\mu F)(0.235\mu F)}}$$

$$= 60k\Omega$$

$$R1 = R2 = 60k\Omega \approx 56k\Omega, 62k\Omega$$

$$C1 = 0.47\mu F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C2 = 0.235\mu F$$

3.3.2 การออกแบบวงจรภาคขยายแรงดัน

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตที่ได้วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันนั้นมีค่าน้อยมาก คือ ไม่ถึง 1 โวลต์ (0.75 V) ซึ่งไม่เพียงพอที่จะนำไปเป็นอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งต้องการสัญญาณที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแอนะลอกอยู่ในย่าน 0 - 5 V เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการขยายค่าแรงดันอินพุตให้สูงขึ้นเพียงพอที่จะอยู่ในย่านที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลเสียก่อน

วงจรภาคขยายแรงดันนี้ ใช้หลักการของวงจร Op-Amp มาทำหน้าที่ในการขยายแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจากรูปจะมี Op-Amp ต่อกันเป็นวงจรอยู่ 3 ตัว โดยที่ตัวที่1 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เพื่อลดอิมพีแดนซ์ของแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามาก่อนที่จะผ่านไปถึง Op-Amp ตัวที่2 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวขยายแรงดันให้มีค่าเป็น 0-5 V จากนั้นส่งผ่านไปยัง Op-Amp ตัวที่ 3 ซึ่งก็จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เหมือน Op-Amp ตัวที่ 1 จากนั้นจึงส่งผ่านแรงดันไฟฟ้าที่ทำการขยายแล้วไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณ แอนะลอกเป็นดิจิตอลต่อไป

วิธีการคำนวณข้างล่างนี้เป็นการคำนวณเพื่อเลือกค่าความต้านทานที่จะนำมาจัดเป็นวงจรขยายแรงดัน

$$Vcc = \pm 15V$$
$$RS = 5K\Omega$$
$$RL = 2K\Omega$$

Sol^{n}

$$Vcc = \pm 15V$$

เลือก $R_{IN} = 5K\Omega$

$$AV = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{5}{0.75} = 6.67 \text{ เท่า}$$

$$I_{in} = \frac{Vin}{RS + Z_{in} + R_1} = \frac{0.75}{(5K) + (1M) + (5K)} = 0.74\mu A$$

$$I_{out} = \frac{V_o}{RL} = \frac{5}{2K} = 2.5mA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_i = \frac{I_O}{I_{in}} = \frac{2.5mA}{0.74\mu A} \approx 3378 \text{ เท่า}$$

$$R_f = AV \cdot R_{in} - R_{in}$$

$$= 6.67(5K) - (5K)$$

$$= 28.35K\Omega \approx 30K\Omega$$

3.4 ส่วนประมวลผลสัญญาณ

3.4.1 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

ในวงจรส่วนนี้จะใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ ADC0504 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลโดยเฉพาะซึ่งในการทำงานนั้น สัญญาณจะถูกแปลงเป็นจำนวนทางดิจิตอลโดยการสุ่มหรือแซมปลิ้ง ถ้าสมมุติว่ามีเอาต์พุต 8 เส้น โดยเอาต์พุตแต่ละเส้นแสดงสถานะทางลอจิกเป็น "0" หรือ "1" จะมีความแตกต่างทางรหัสไบนารีทั้งหมด 2^8 หรือ 256 รหัส

สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับวงจรนี้ทำได้ 2 ทางคือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกค่า 100 – 800 KH_z ป้อนเข้าขา 4 อีกวิธีหนึ่งคือ ใช้สัญญาณนาฬิกาภายในจากขา 19 โดยสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาได้จาก RC ภายนอก โดยค่าความถี่หาได้จากสมการที่ (3.1)

$$f = \frac{1.1}{RC} \qquad \text{สมการที่ (3.1)}$$

โดยที่

f คือ ความถี่เอาต์พุต

R คือ ค่าความต้านทาน

C คือ ค่าตัวเก็บประจุ

ความถี่สัญญาณนาฬิกายิ่งมีค่ามากเท่าใดมีผลทำให้ข้อมูลดิจิตอลทางเอาต์พุตมีค่าสอดคล้องกับสัญญาณแอนะลอกทางอินพุตมากขึ้นด้วย

ขา 5 ของ ไอซี ADC 0804 เป็นขา $\overline{INTR}$ หรือเรียกอีกอย่าหนึ่งว่าขา EOC จะทำให้เอาต์พุตเป็นลอจิก "0" เมื่อการแปลงเสร็จสิ้นสมบูรณ์

การกำหนดแรงดันอ้างอิงสามารถกำหนดได้ที่ขา 9 โดยที่ค่าแรงดันอ้างอิงต้องเท่ากับค่าครึ่งหนึ่งของค่าสแปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมให้ไอซีสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องนั้นขา $\overline{CS}$ และขา $\overline{RD}$ จะต้องต่อลงกราวนด์ ส่วนขา $\overline{WR}$ จะต้องต่อเข้ากับขา $\overline{INTR}$ กลับมาอยู่ในสถานะ "1" อีกครั้ง ขา $\overline{VR}$ ก็พลอยเป็น "1" ไปด้วย การแปลงสัญญาณก็จะเริ่มต้นอีกครั้ง บางครั้งกระบวนการแปลงสัญญาณอาจจะไม่ทำงานเมื่อเริ่มจ่ายไฟก็ได้จึงต้องป้อนพัลซ์ลบเข้าทางขา $\overline{WR}$ เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ไอซีเริ่มทำงาน

3.5 ส่วนควบคุมกระบวนการตัวสุดท้าย

ส่วนนี้จะเป็นส่วนสุดท้ายที่จะกระทำกระบานการ เช่น มอเตอร์, วาล์ว เป็นต้นสำหรับในโครงงานนี้จะใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นส่วนควบคุมตัวสุดท้ายเพื่อใช้ในการควบคุมการเปิด - ปิดน้ำในระบบ ซึ่งขดลวดเหนี่ยวนำของโซลินอยด์วาล์วนี้จะใช้ไฟกระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟตรงที่จะใช้ควบคุมตัวโซลินอยด์วาล์ว จะใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ 5 โวลต์ จากส่วนประมวลสัญญาณ ซึ่งโดยปรกติแล้วจะใช้รีเลย์เป็นตัวควบคุม แต่ข้อเสียที่สำคัญของรีเลย์คือใช้หลักการทำงานแบบกลไกการตัดและต่อหน้าสัมผัสทำได้จากการเคลื่อนหน้าสัมผัสไปเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ ทำให้เกิดการสึกหรอของกลไกและอาจมีประกายไฟเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสขณะตัดหรือต่อวงจร สาเหตุเหล่านี้จึงทำให้รีเลย์มีอายุการใช้งานสั้นลงและมีเสียงดังขณะทำงาน

เพื่อเป็นการตัดปัญหาเหล่านี้ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์ประเภทเชื่อมโยงทางแสงซึ่งเป็นไอซีประเภทออปโต้คัปเปลอร์ มาใช้แทนรีเลย์แบบธรรมดา เรียกว่า "โซลิดสเตทรีเลย์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 บทนำ

บทที่ 4 นี้จะได้กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของภาคต่างๆของโครงงานนี้ซึ่งประกอบด้วยการทดลองวงจรภาคขยายแรงดัน การทดลองวงจรภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล การทดลองวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า การทดลองอุปกรณ์โซลินอยด์วาล์วและการทดลองใช้งานโครงงานนี้ในการควบคุมการจ่ายของเหลวด้วย

4.2 การทดลองวงจรภาคขยายแรงดัน

วงจรภาคขยายแรงดันนี้จะมีหน้าที่รับแรงดันอินพุตจากวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในย่าน 0 - 0.75 โวลต์ และทำหน้าที่ขยายแรงดันทางเอาต์พุตให้อยู่ในช่วง 0 - 5 โวลต์

วิธีการทดลอง คือใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มาทำการปรับค่าแรงดันอินพุตให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 5 โวลต์ โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรภาคขยายแรงดัน

ระดับแรงดันอินพุตของวงจรขยายแรงดัน (V)	ระดับแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแรงดัน (V)	ค่าเทียบเท่าความถี่อินพุตวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันจากการคำนวณ (Hz)
0	0	0
0.071	0.526	4.73
0.142	1.05	9.46
0.200	1.48	13.33
0.278	2.05	18.53
0.319	2.35	21.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรภาคขยายแรงดัน (ต่อ)

ระดับแรงดันอินพุตของวงจรขยายแรงดัน (V)	ระดับแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแรงดัน (V)	ค่าเทียบเท่าความถี่อินพุตวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันจากการคำนวณ (Hz)
0.417	3.08	27.80
0.484	3.57	32.26
0.557	4.11	37.13
0.630	4.65	42.00
0.723	5.34	48.20
0.750	5.53	50.00

4.3 การทดลองวงจรภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

วงจรภาคแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนี้จะมีหน้าที่รับแรงดันอินพุตที่เป็นสัญญาณแอนะลอกจากวงจรภาคขยายแรงดันที่อยู่ในย่าน 0 - 5 โวลต์ โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ระดับแรงดันอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (V)	ผลทางลอจิกของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0	ระดับเลขฐาน 16
0	0 0 0 0 0 0 0 0	00
0.5	0 0 0 1 1 1 1 1	1F
1	0 0 1 1 1 1 1 1	3F
1.5	0 1 0 0 1 1 1 1	4F
2	0 1 1 0 1 1 1 1	6F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ต่อ)

ระดับแรงดันอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (V)	ผลทางลอจิกของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0	ระดับเลขฐาน 16
2.5	0 1 1 1 1 1 1 1	7F
3	1 0 1 1 1 1 1 1	BF
3.5	1 0 1 1 1 1 1 1	BF
4	1 1 0 1 1 1 1 1	DF
4.5	1 1 1 1 1 1 1 1	FF
5	1 1 1 1 1 1 1 1	FF

4.4 การทดลองวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดัน ไฟฟ้า

วงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้านี้มีหน้าที่รับสัญญาณความถี่ที่เข้ามาจากส่วนตรวจจับแล้วนำมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านไปยังวงจรขยายแรงดันต่อไป

ในการทดลองนั้นได้ทำการทดลองโดยใช้ไอซีเบอร์ LM2907N-8 ประกอบเป็นวงจรทดลองบนโฟโต้บอร์ดได้ผลปรากฏว่าวงจรทำงานได้ตามหลักการทางทฤษฎี ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองของวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซีเบอร์ LM2907N-8

ความถี่อินพุต (Hz)	แรงดันเอาต์พุตจากการทดลอง (V)	แรงดันเอาต์พุตจากการคำนวณ (V)
0	0	0
5	0.08	0.075
10	0.20	0.15
15	0.30	0.225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองของวงจรภาคแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซีเบอร์ LM2907N-8 (ต่อ)

ความถี่อินพุต (Hz)	แรงดันเอาต์พุตจากการทดลอง (V)	แรงดันเอาต์พุตจากการคำนวณ (V)
20	0.35	0.3
25	0.40	0.375
30	0.48	0.45
35	0.55	0.525
40	0.60	0.6
45	0.70	0.675
50	0.80	0.75

4.5 การทดลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์วเป็นส่วนควบคุมตัวสุดท้ายของโครงงานนี้มีหน้าที่รับคำสั่งจากส่วนคอนโทรลเลอร์ คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ MCS-8252 ให้ทำการปิดหรือเปิดการจ่ายน้ำของระบบ

ได้ทำการทดลองโดยการป้อนโปรแกรมให้กับภาคคอนโทรลเลอร์ให้ทำการปิด-เปิดโซลินอยด์วาล์วเป็นจังหวะโดยการหน่วงเวลา จากการทดลองไม่ปรากฏว่าพบปัญหาแต่ประการใดโซลินอยด์วาล์วสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

4.6 การทดลองการควบคุมการจ่ายของเหลว

เมื่อทุกส่วนของโครงงานอยู่สภาพที่เรียบร้อยและพร้อมที่จะทำงานแล้วนำทุกส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงทำการทดลองโดยทำการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยให้ตรงกับปริมาณที่กำหนด

ในการตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณของเหลวที่ได้ออกมาจากเครื่องควบคุมการจ่ายของเหลวนั้นจะใช้ตู้ปลาขนาดเล็กนำมาเทียบสเกลให้เที่ยงตรง โดยใช้หน่วยเป็นลิตรและของเหลวที่ใช้ก็คือน้ำธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งด้วยกัน โดยจะกำหนดค่าปริมาณของเหลวให้แตกต่างกันไปในแต่ละครั้ง ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการควบคุมการจ่ายของเหลวโดยใช้เครื่องควบคุมการจ่ายของเหลว

ค่าปริมาณของเหลวที่กำหนด (ลิตร)	ค่าปริมาณของเหลวที่วัดได้ (ลิตร)
0.5	0.7
0.7	0.8
1.3	1.5
1.7	1.7
2.5	2.6
2.8	2.7
3.0	3.2
3.4	3.5
3.8	3.7
4.0	4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหาแนว ทางการแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์เรื่องแบบจำลองการควบคุมการจ่ายของไหลนี้เกิดขึ้นมาได้บนพื้นฐานความตั้งใจที่ว่าต้องเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับเนื้อหาวิชาในการเรียนหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมสาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงได้เลือกเอาตัวแปรหนึ่งในสี่ตัวแปรของระบบวัดและควบคุมในทางอุตสาหกรรม คือ การไหลนำมาประยุกต์ทำเป็นวิทยานิพนธ์นี้

5.2 ปัญหา

1) ผู้จัดทำขาดความรู้เกี่ยวกับวิชาทางด้านเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมจึงต้องเสียเวลาในการค้นคว้าหาข้อมูลไปมาก

2) อุปกรณ์ในส่วนตรวจจับยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างทำให้ขาดความเที่ยงตรงในการควบคุม

3) เนื่องจากคุณภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางตัวมีคุณภาพไม่ดีนักจึงส่งผลกระทบให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

5.3 แนวทางการแก้ไขและพัฒนา

1) พยายามรวมกลุ่มกับผู้ที่มีความรู้ทางเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม หรือ หมั่นสอบถามทั้งจากเพื่อนและอาจารย์

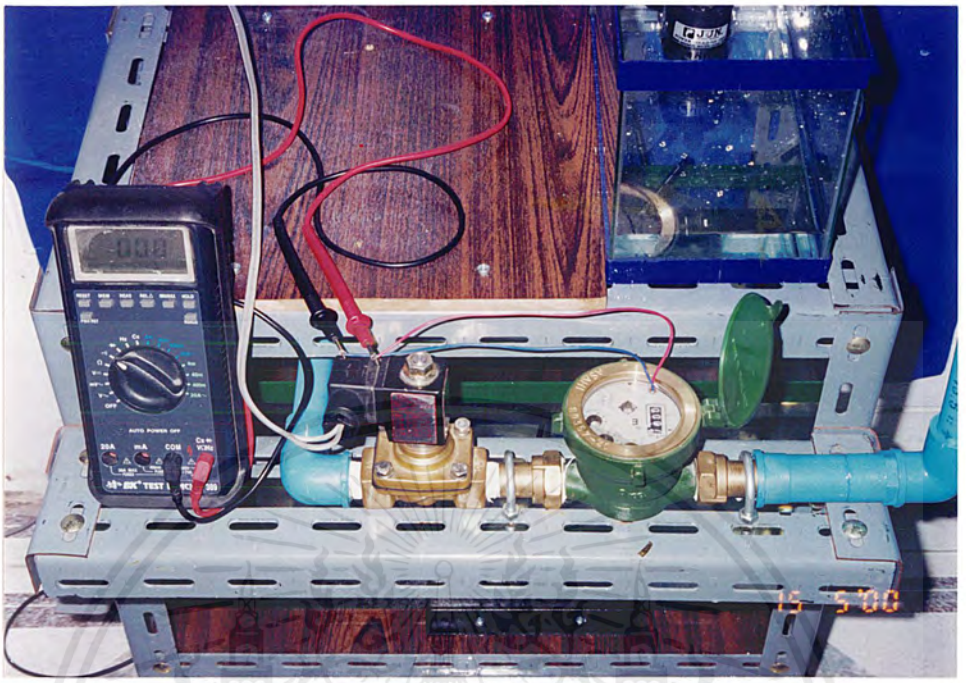
2) ติดแม่เหล็กที่ใบพัดของมาตรวัดน้ำให้มากขึ้นเพื่อความละเอียดในการตรวจจับ

3) ถ้าเป็นส่วนของอุปกรณ์ในส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ควรเลือกหาอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีแต่ราคาอาจจะสูง

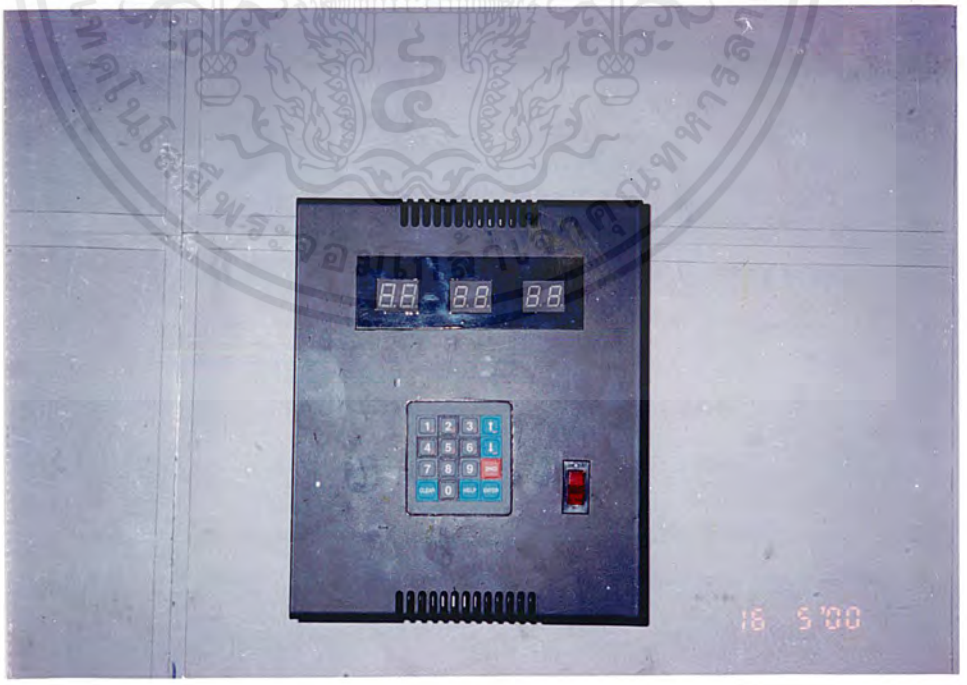
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

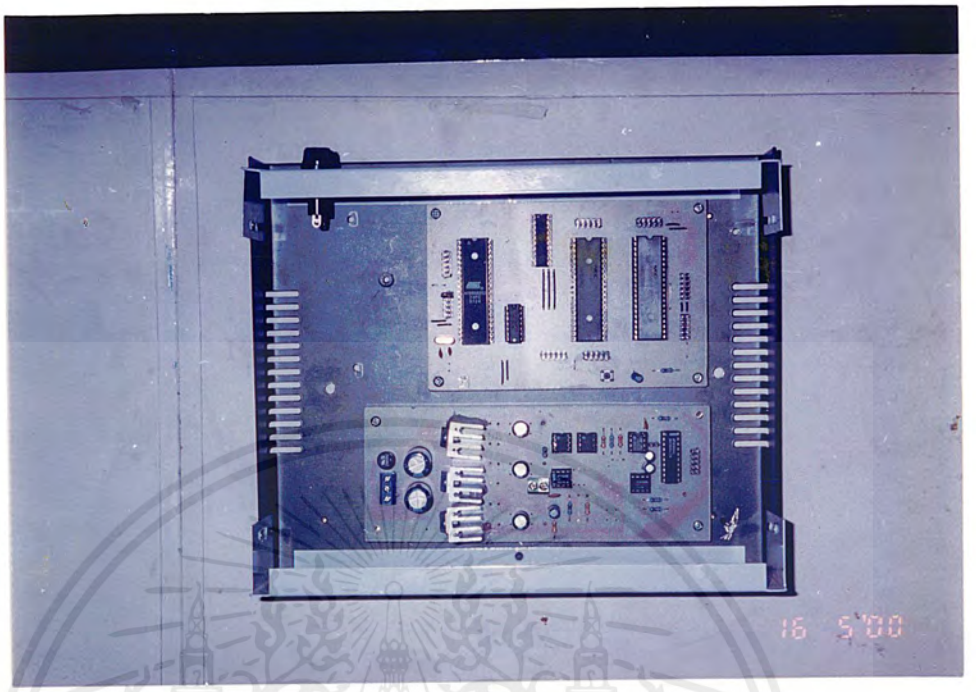


รูปที่ ก. 1 แสดงส่วนตรวจจับและส่วนควบคุมกระบวนการตัวสุดท้าย



รูปที่ ก. 2 กล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

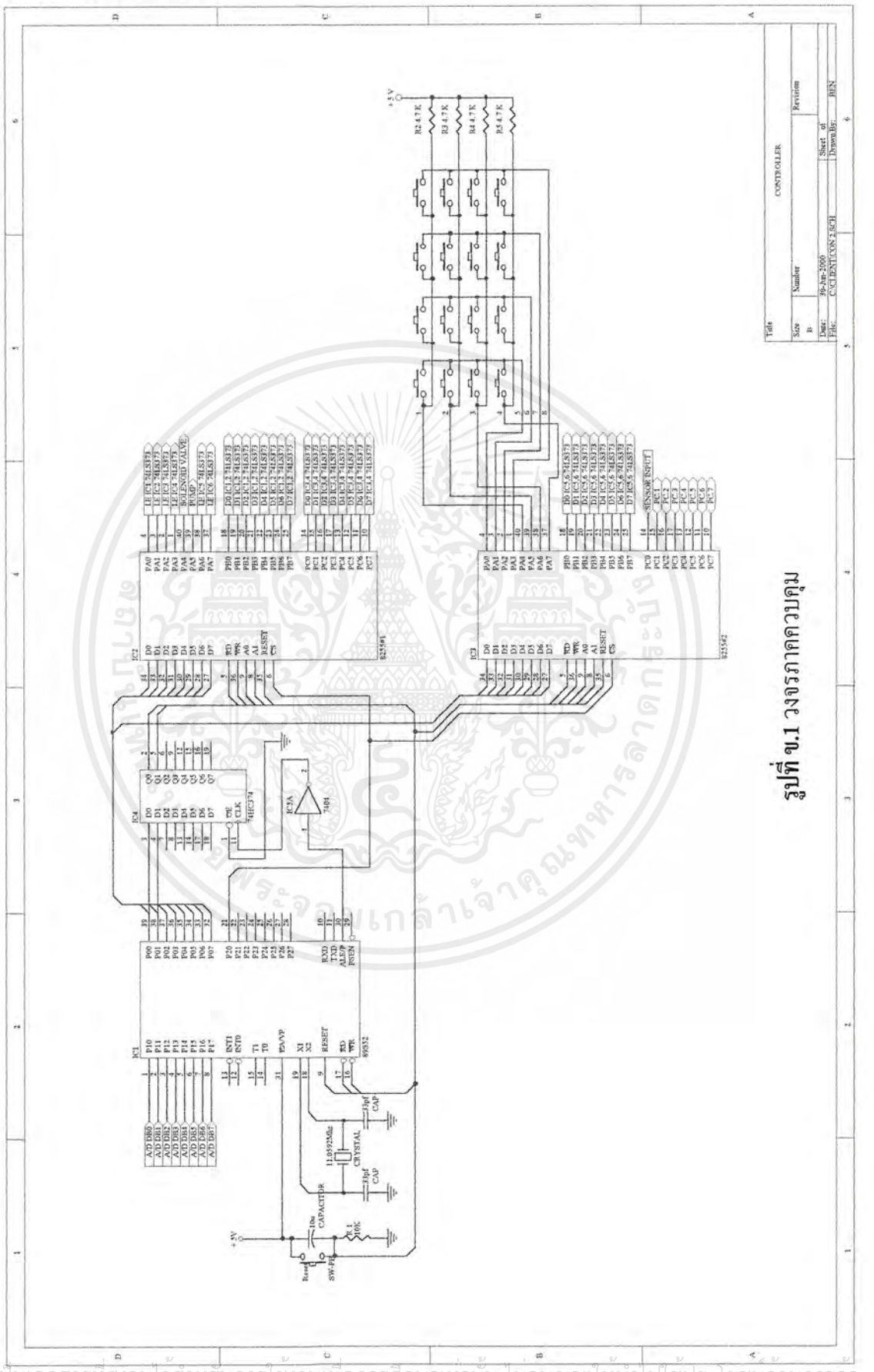


รูปที่ ก. 3 แสดงการจัดวางแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

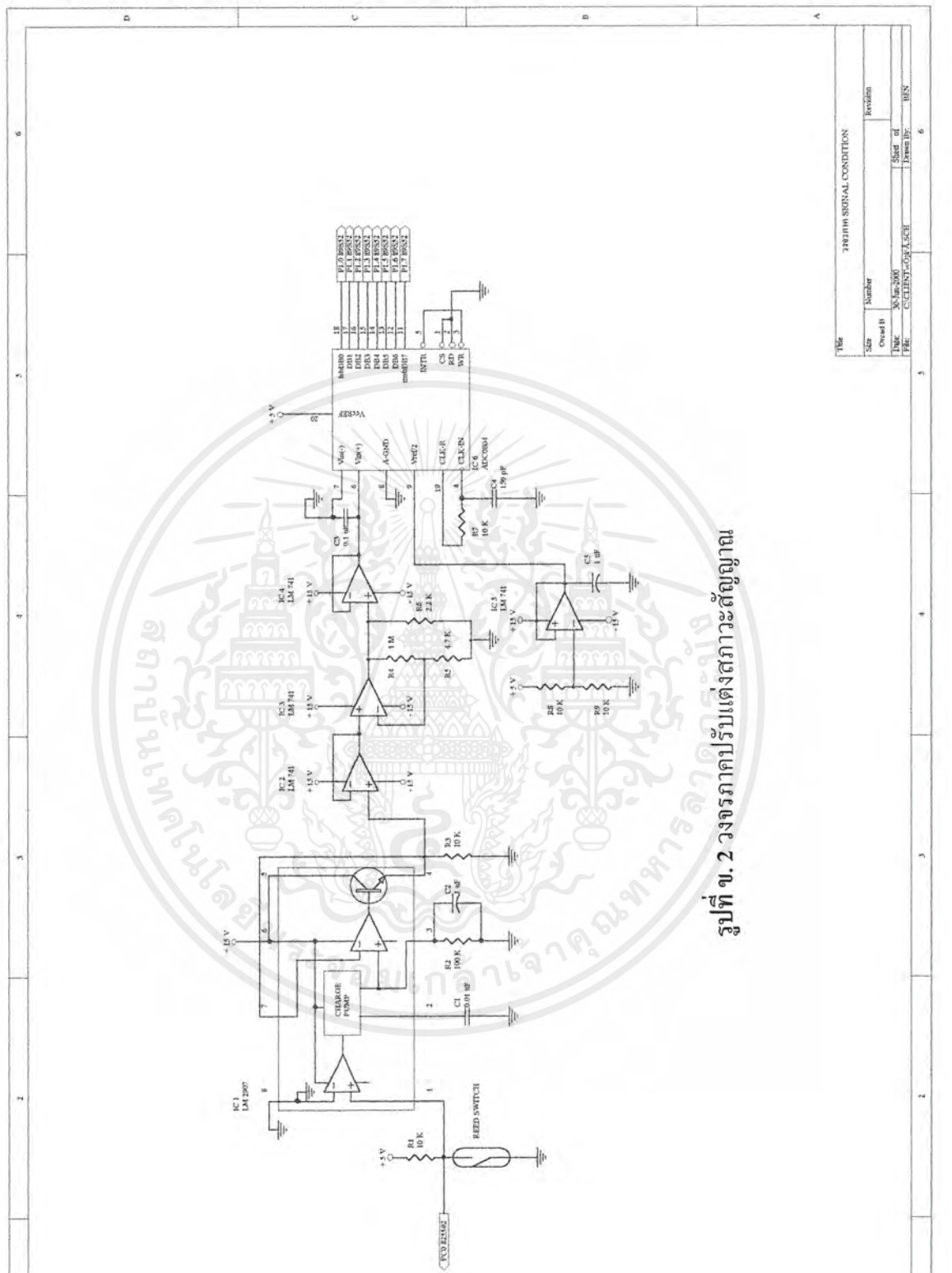
ภาคผนวก ข
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



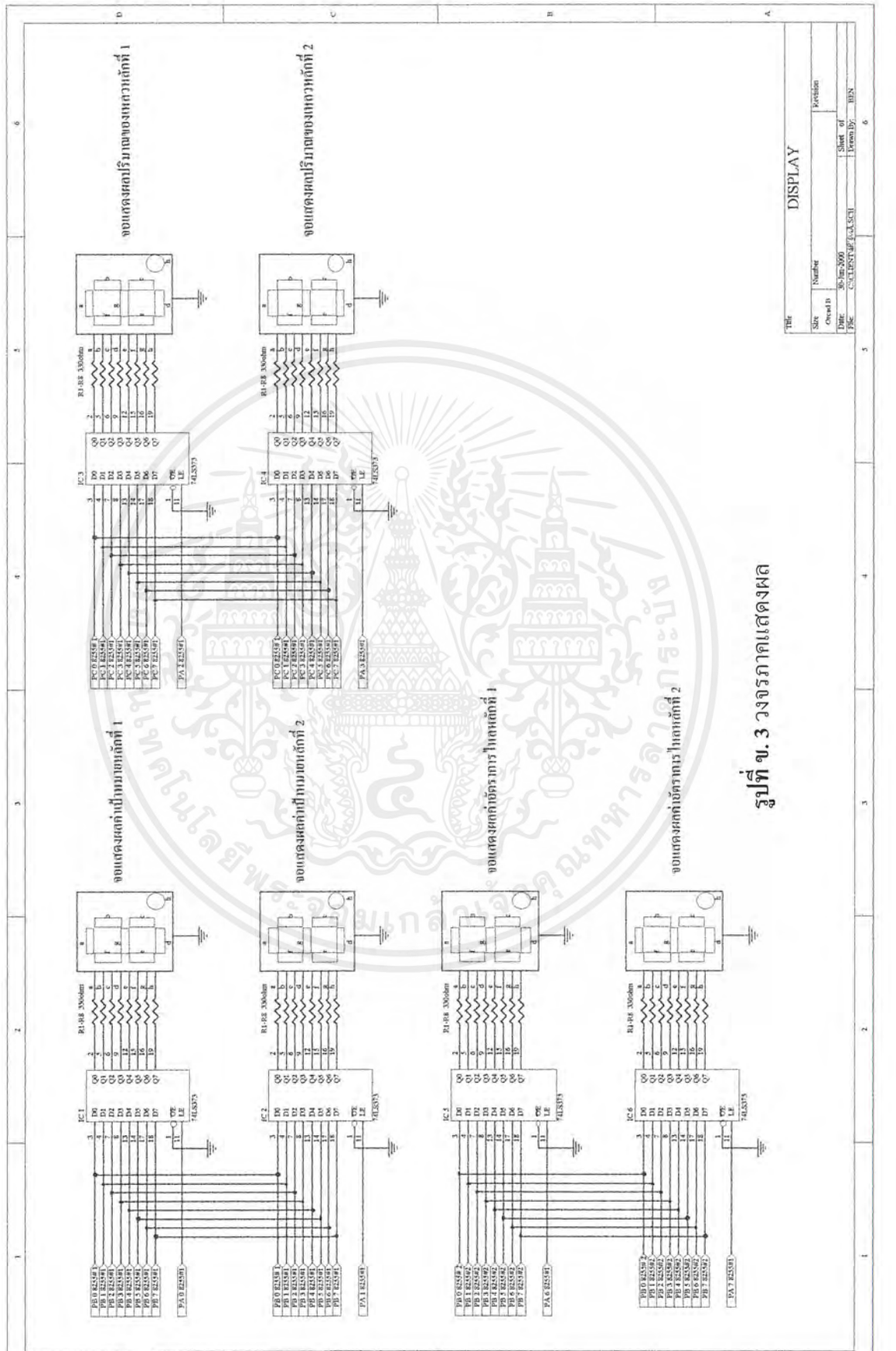
รูปที่ ข.1 วงจรภาคควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



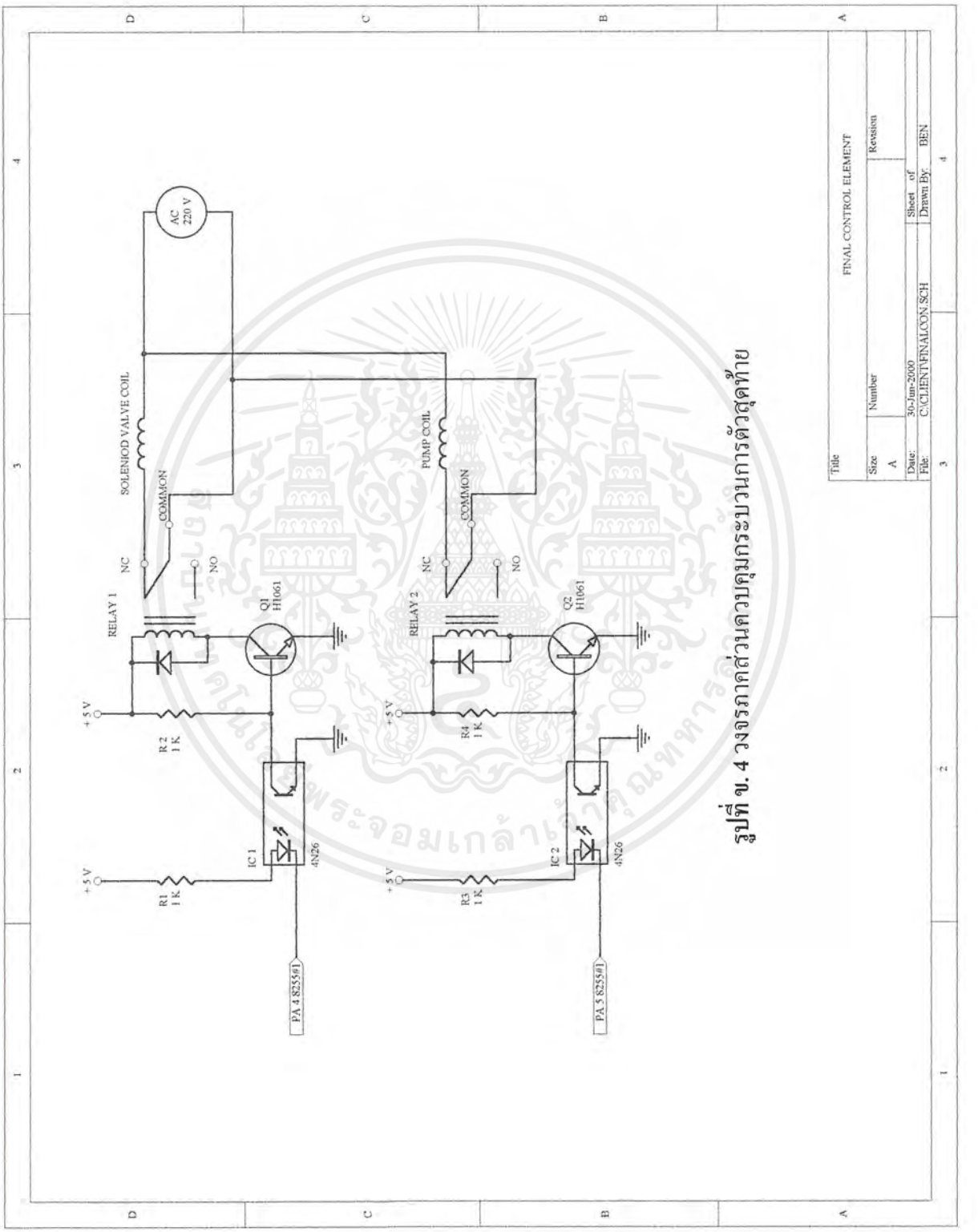
รูปที่ ข. 2 วงจรภาคปรับแต่งสภาวะสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



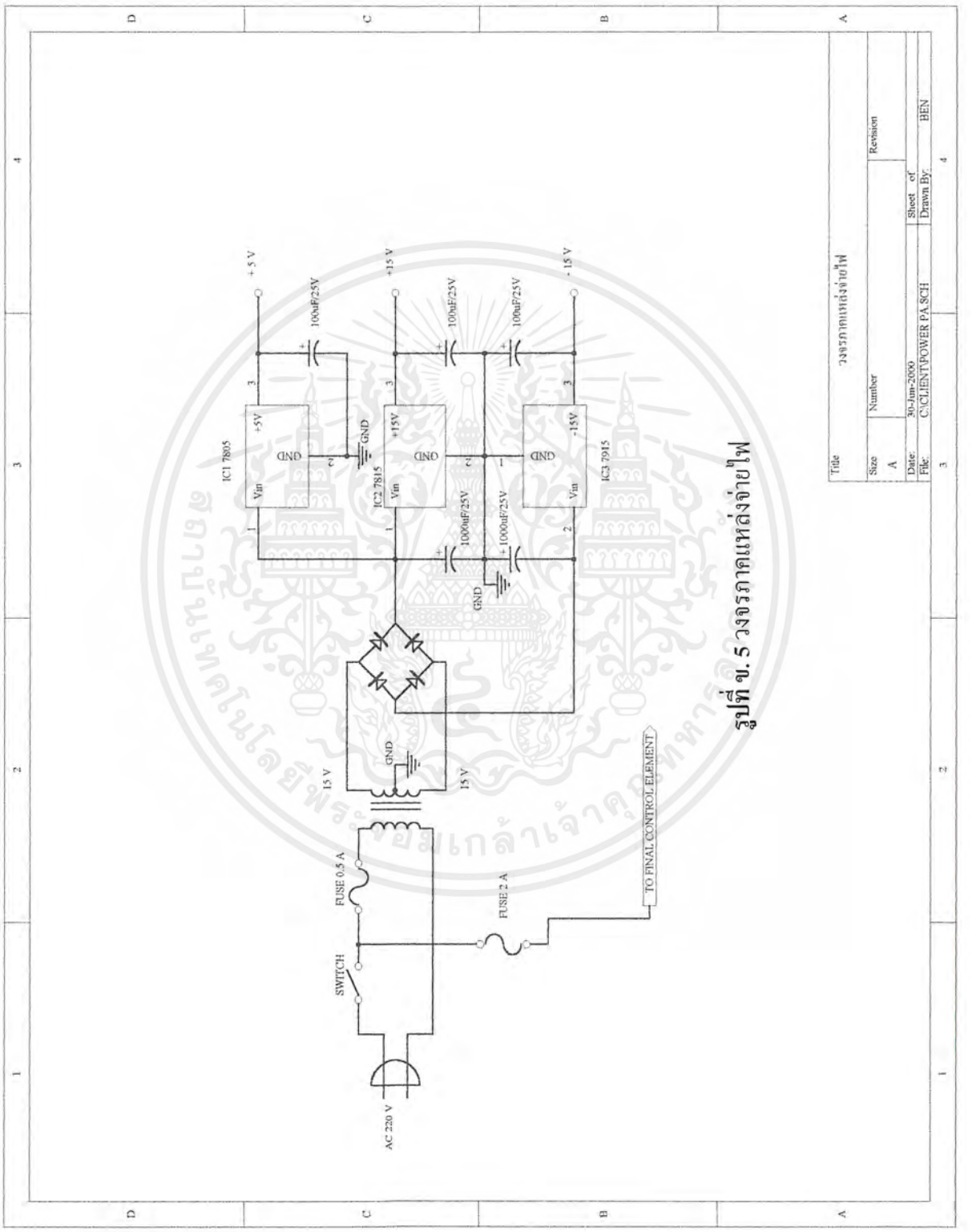
รูปที่ ข. 3 วงจรภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



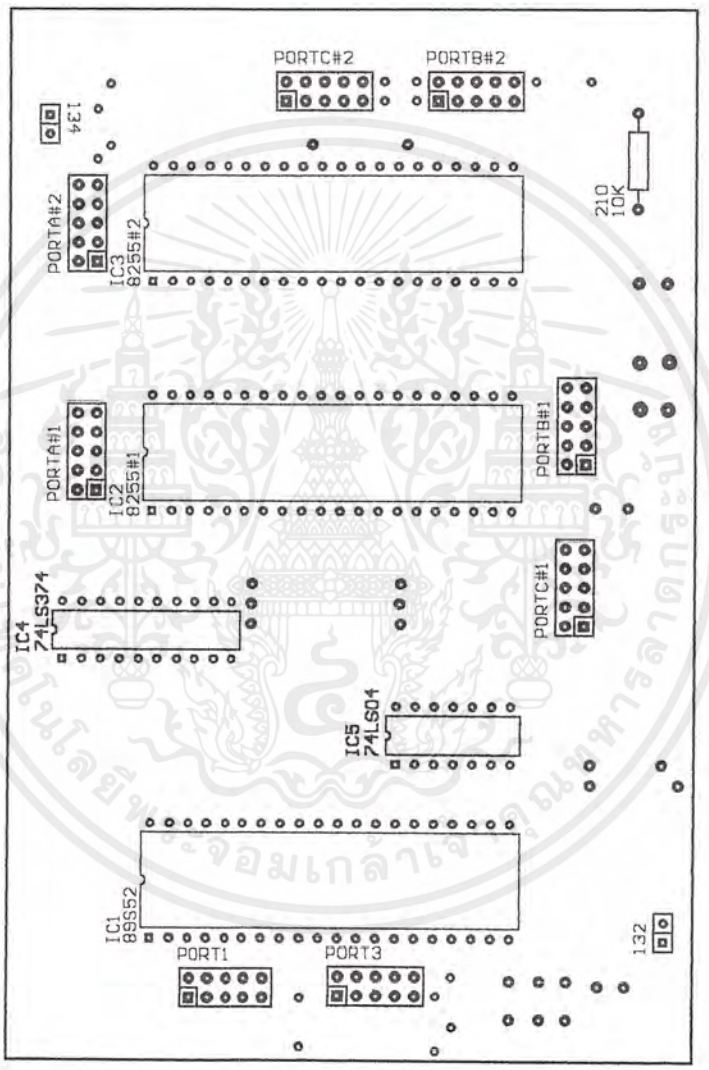
รูปที่ ข. 4 วงจรภาคส่วนควบคุมกระบวนการตัวสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



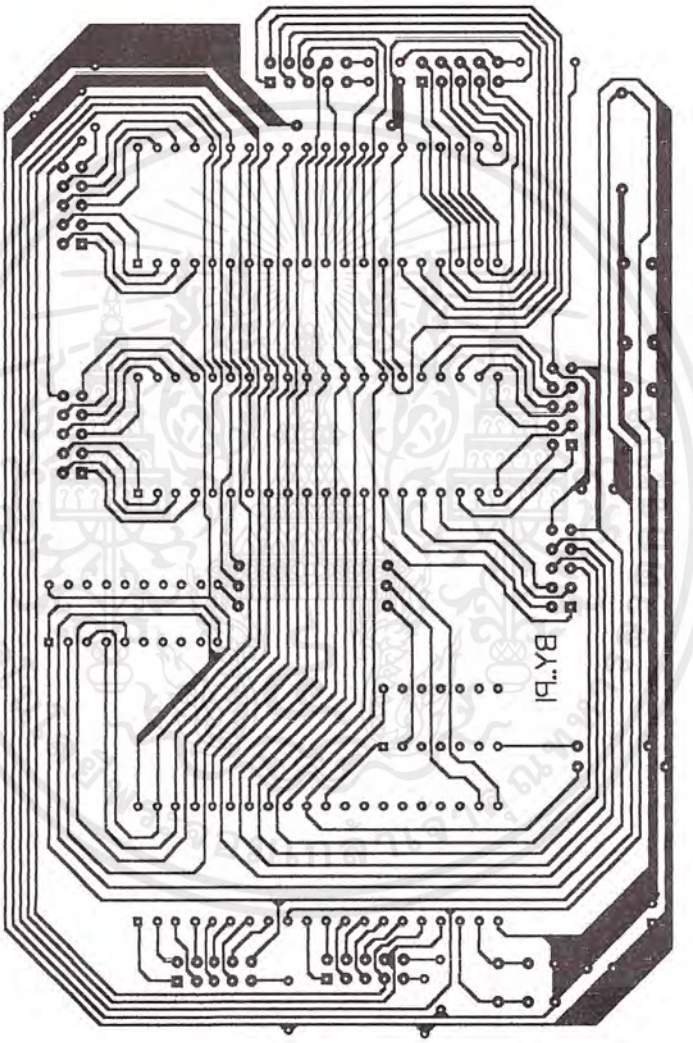
รูปที่ ข. 5 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



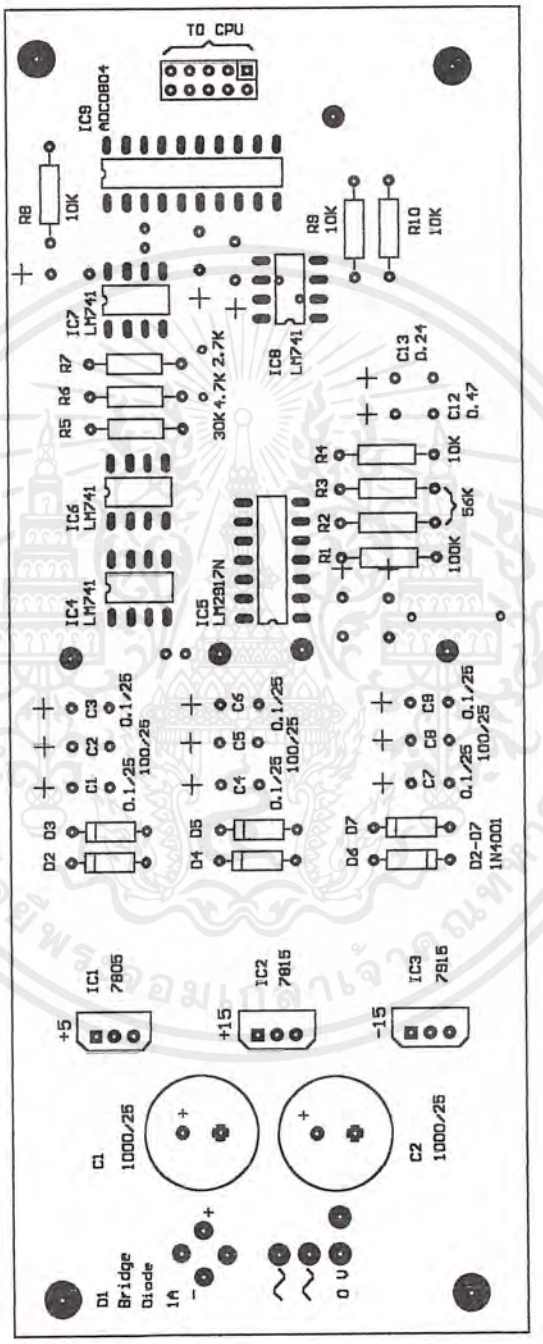
รูปที่ ข. 6 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



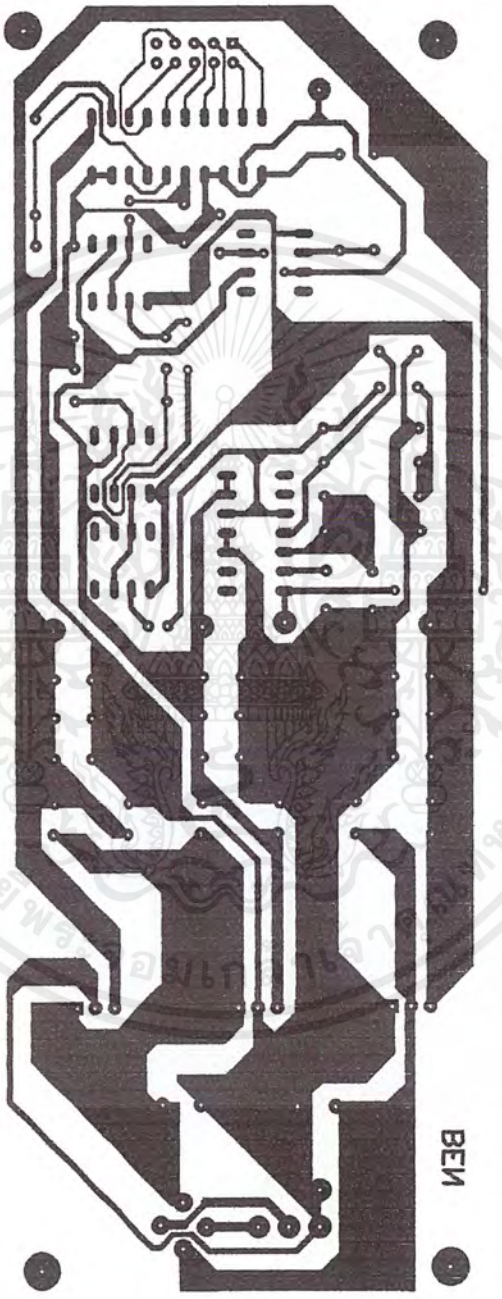
รูปที่ ข. 7 แผ่นวงจรพิมพ์ของหน่วยความคุมเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 8 แสดงการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ภาคปรับแต่งสภาวะสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

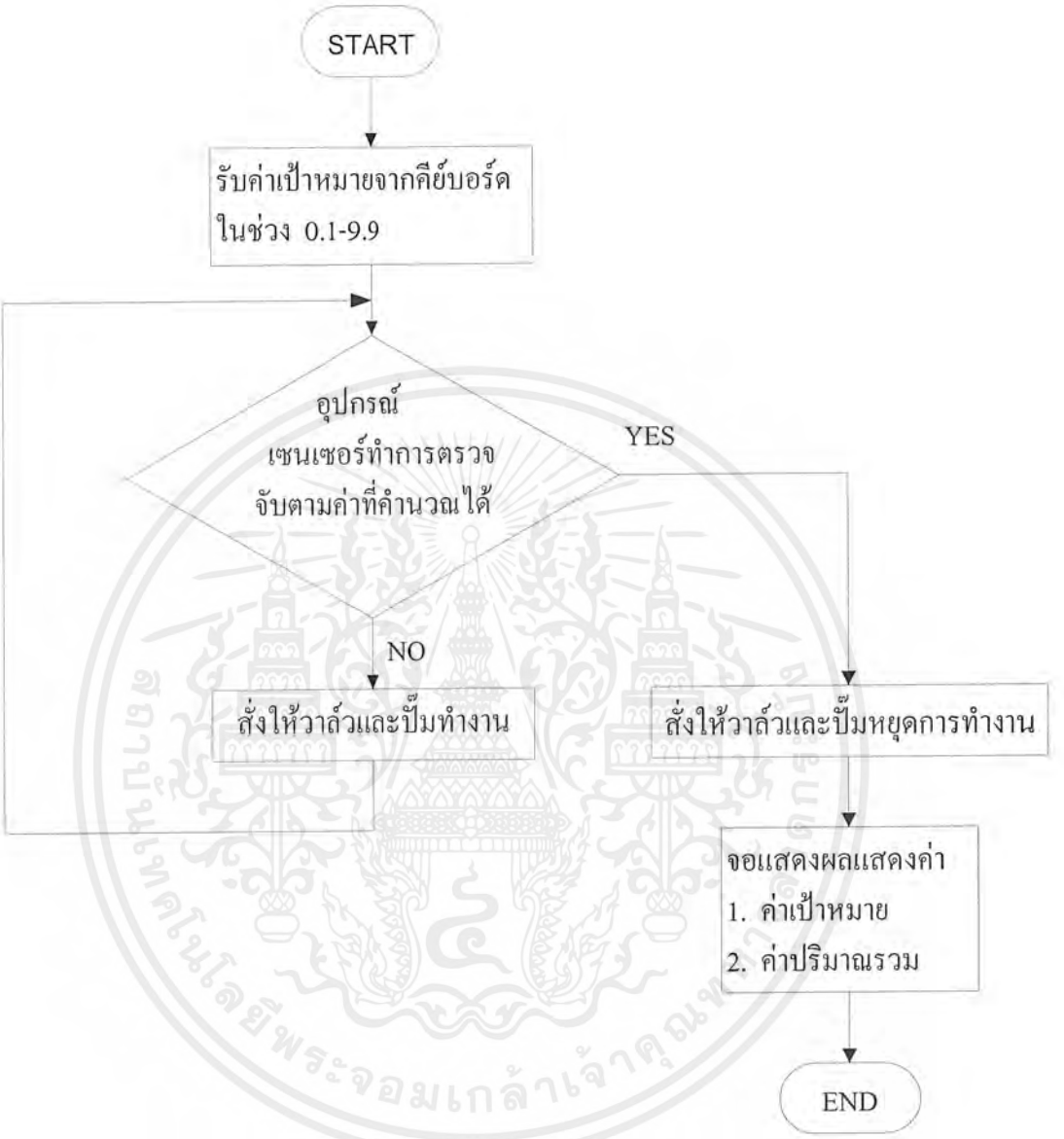


รูปที่ ข. 9 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคปรับแต่งสภาวะสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผังการทำงานและโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
org     0000h
                    nop
                    nop
                    nop
                    lcall   delay_reset
                    lcall   delay_reset
                    lcall   delay_reset
                    lcall   delay_reset
                    nop

              porta   equ     0200h
              portb   equ     0201h
              portc   equ     0202h
              contp   equ     0203h
              porta_2 equ     0100h
              portb_2 equ     0101h
              portc_2 equ     0102h
              contp_2 equ     0103h
              disp    equ     7eh     ;scankey
              disp_b  equ     60h
              disp_c  equ     65h
             round_n  equ     50h
           quantity1  equ     54h     ;count quantity low
           quantity2  equ     56h     ;count quantity high
            segment1  equ     40h     ;setpoint segment low
            segment2  equ     42h     ;setpoint segment high
            segment3  equ     44h     ;quantity segment low
            segment4  equ     46h     ;quantity segment high
            cal_seg1  equ     30h     ;key setpoint low
            cal_seg2  equ     32h     ;key setpoint high

              lcall   delay_reset

              mov     dptr,#contp
              mov     a,#80h
              movx    @dptr,a

              mov     dptr,#contp_2
              mov     a,#80h
              movx    @dptr,a

              lcall   stop_output
      main1:  lcall   delay_reset
              lcall   clr_screen
              lcall   clr_quan
              lcall   input_setpoint
              lcall   disp_setpoint
              lcall   start_output
              lcall   main_sub
      main2:  lcall   stop_output
              lcall   delay
              lcall   disp_setpoint
              lcall   disp_quantity
              lcall   bugkey
              lcall   chk_enter
              sjmp    main1

;*********************************************

 clr_screen:  push    1
              mov     r1,#segment2
              mov     a,#0dh
              mov     @r1,a
              lcall   disp_high
              mov     r1,#segment1
              mov     a,#0dh
              mov     @r1,a
              lcall   disp_low
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    mov     r1,#segment4
                    mov     a,#0dh
                    mov     @r1,a
                    lcall   disp_highc
                    mov     r1,#segment3
                    mov     a,#0dh
                    mov     @r1,a
                    lcall   disp_lowc
                    pop     1
                    ret

disp_setpoint:      lcall   disp_low
                    lcall   disp_high
                    ret
disp_quantity:      lcall   show_low
                    lcall   show_high
                    ret
     main_sub:      push    0
                    push    1
                    lcall   sub_low
     loop_sub:      mov     r0,#cal_seg2
    loop_sub1:      mov     a,@r0
                    cjne    a,#0h,jmp_exit1
                    sjmp    exit_sub
     jmp_exit1:     mov     r1,#cal_seg1
                    mov     a,#0ah
                    mov     @r1,a
                    lcall   sub_low
                    dec     @r0
                    sjmp    loop_sub1
     exit_sub:      pop     1
                    pop     0
                    ret

      sub_low:      push    1
                    mov     r1,#cal_seg1
                    mov     a,@r1
                    mov     r2,a
     sub_low1:      cjne    r2,#0h,exit_sub_low1
                    sjmp    exit_sub_low
 exit_sub_low1:     lcall   count
                    acall   display_quantity
                    djnz    r2,sub_low1
  exit_sub_low:     pop     1
                    ret

         count:     push    7
                    mov     r7,#3h
        count1:     lcall   counter3
                    nop
                    lcall   delay_reset
                    lcall   delay_reset
                ;    lcall   delay_reset
                    nop
                    lcall   bug_sw
                    djnz    r7,count1
                    pop     7
                    ret

    clr_quan:       mov     r1,#quantity1
                    mov     a,#0h
                    mov     @r1,a
                    mov     r1,#quantity2
                    mov     @r1,a
                    ret

display_quantity:   acall   save_quantity
                    acall   show_low
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    acall   show_high
                    ret

  save_quantity:    push    1
                    mov     r1,#quantity1
                    mov     a,@r1
                    inc     acc
                    cjne    a,#0ah,exit_save_low
                    mov     a,#0h
                    mov     @r1,a
                    mov     r1,#quantity2
                    mov     a,@r1
                    inc     acc
                    cjne    a,#0ah,exit_save_high
                    mov     a,#0h
exit_save_high:     mov     @r1,a
                    sjmp    exit_save_q
 exit_save_low:     mov     r1,#quantity1
                    mov     @r1,a
   exit_save_q:     pop     1
                    ret

    ;****************** Display Quantity *****************

     show_low:      push    1
                    mov     r1,#quantity1
                    mov     a,@r1
                    anl     a,#00001111b
                    mov     r1,#segment3
                    mov     @r1,a
                    lcall   disp_sp_lowc
                    pop     1
                    ret

     show_high:     push    1
                    mov     r1,#quantity2
                    mov     a,@r1
                    anl     a,#00001111b
                    mov     r1,#segment4
                    mov     @r1,a
                    lcall   disp_sp_highc
                    pop     1
                    ret

    ;********************** Start - Stop  Solenoid *************

     start_output:  push    acc
                    mov     dptr,#porta_2
                    mov     a,#00000000b            ;open solenoid
                    movx    @dptr,a
                    pop     acc
                    ret

      stop_output:  push    acc
                    mov     a,#00000011b
                    mov     dptr,#porta_2
                    movx    @dptr,a
                    pop     acc
                    ret

;************************** calculate **************************
    input_setpoint: lcall   input_high
       key_enter:   lcall   scan
                    lcall   debugkey
                    mov     r1,#disp
                    mov     a,@r1
                    cjne    a,#0ch,exit_enter
                    lcall   clr_screen
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                sjmp    input_setpoint
exit_enter:     cjne    a,#0fh,key_enter
                lcall   input_low
key_enter2:     lcall   scan
                lcall   debugkey
                mov     r1,#disp
                mov     a,@r1
                cjne    a,#0ch,exit_enter2
                lcall   clr_screen
                sjmp    input_setpoint
exit_enter2:    cjne    a,#0fh,key_enter2
                ret

chk_enter:      lcall   scan
                lcall   debugkey
                mov     r1,#disp
                mov     a,@r1
                cjne    a,#0fh,chk_enter
                ret

;*************************************************

input_high:     push    1
                push    2
                push    3
loop_seg:       acall   scan
                acall   debugkey
                mov     r1,#disp
                mov     a,@r1
                mov     r2,a
                cjne    a,#0h,loop_seg1
                mov     r3,#1h
                sjmp    exit_input1
loop_seg1:      cjne    a,#01h,loop_seg2
                mov     r3,#2h
                sjmp    exit_input1
loop_seg2:      cjne    a,#02h,loop_seg3
                mov     r3,#3h
                sjmp    exit_input1
loop_seg3:      cjne    a,#04h,loop_seg4
                mov     r3,#4h
                sjmp    exit_input1
loop_seg4:      cjne    a,#05h,loop_seg5
                mov     r3,#5h
                sjmp    exit_input1
loop_seg5:      cjne    a,#06h,loop_seg6
                mov     r3,#6h
                sjmp    exit_input1
loop_seg6:      cjne    a,#08h,loop_seg7
                mov     r3,#7h
                sjmp    exit_input1
loop_seg7:      cjne    a,#09h,loop_seg8
                mov     r3,#8h
                sjmp    exit_input1
loop_seg8:      cjne    a,#0ah,loop_seg9
                mov     r3,#9h
                sjmp    exit_input1
loop_seg9:      cjne    a,#0ch,loop_seg10
                sjmp    exit_input1
loop_seg10:     cjne    a,#0dh,loop_seg
                mov     r3,#0h
exit_input1:    mov     a,r3
                mov     r1,#cal_seg2
                mov     @r1,a
                mov     r1,#segment2
                mov     a,r2
                mov     @r1,a
                lcall   disp_high
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                pop     3
                pop     2
                pop     1
                ret

;*******************************************************
  input_low:    push    1
                push    2
                push    3
 loop_seg_2:    acall   scan
                acall   debugkey
                mov     r1,#disp
                mov     a,@r1
                mov     r2,a
                cjne    a,#0h,loop_seg1_2
                mov     r3,#1h
                sjmp    exit_input2
loop_seg1_2:    cjne    a,#01h,loop_seg2_2
                mov     r3,#2h
                sjmp    exit_input2
loop_seg2_2:    cjne    a,#02h,loop_seg3_2
                mov     r3,#3h
                sjmp    exit_input2
loop_seg3_2:    cjne    a,#04h,loop_seg4_2
                mov     r3,#4h
                sjmp    exit_input2
loop_seg4_2:    cjne    a,#05h,loop_seg5_2
                mov     r3,#5h
                sjmp    exit_input2
loop_seg5_2:    cjne    a,#06h,loop_seg6_2
                mov     r3,#6h
                sjmp    exit_input2
loop_seg6_2:    cjne    a,#08h,loop_seg7_2
                mov     r3,#7h
                sjmp    exit_input2
loop_seg7_2:    cjne    a,#09h,loop_seg8_2
                mov     r3,#8h
                sjmp    exit_input2
loop_seg8_2:    cjne    a,#0ah,loop_seg9_2
                mov     r3,#9h
                sjmp    exit_input2
loop_seg9_2:    cjne    a,#0ch,loop_seg10_2
                sjmp    exit_input2
loop_seg10_2:   cjne    a,#0dh,loop_seg_2
                mov     r3,#0h
 exit_input2:   mov     a,r3
                mov     r1,#cal_seg1
                mov     @r1,a
                mov     r1,#segment1
                mov     a,r2
                mov     @r1,a
                lcall   disp_low
                pop     3
                pop     2
                pop     1
                ret

;******************** calculate round **************

      counter3: push    1
      count_3:  mov     a,p3
                jb      acc.0,count_3
                pop     1
                ret
        bug_sw: mov     a,p3
                jb      acc.0,exit_bug_sw
                sjmp    bug_sw
 exit_bug_sw:   ret
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;******************** start - stop solenoid *************
 disp_sp_high:      push    1
                    push    acc
                    mov     r1,#segment2
                    mov     a,@r1
                    lcall   display
                    lcall   Enable_bl
                    pop     acc
                    pop     1
                    ret

 disp_sp_low:       push    1
                    push    acc
                    mov     r1,#segment1
                    mov     a,@r1
                    lcall   display
                    lcall   Enable_br
                    pop     acc
                    pop     1
                    ret

 disp_sp_highc:     push    1
                    push    acc
                    mov     r1,#segment4
                    mov     a,@r1
                    lcall   display_h
                    lcall   Enable_cl
                    pop     acc
                    pop     1
                    ret

 disp_sp_lowc:      push    1
                    push    acc
                    mov     r1,#segment3
                    mov     a,@r1
                    lcall   display
                    lcall   Enable_cr
                    pop     acc
                    pop     1
                    ret

   disp_high:       push    1
                    mov     r1,#segment2
                    mov     a,@r1
                    lcall   display1
                    lcall   Enable_bl
                    pop     1
                    ret

   disp_low:        push    1
                    push    acc
                    mov     r1,#segment1
                    mov     a,@r1
                    lcall   display2
                    lcall   Enable_br
                    pop     acc
                    pop     1
                    ret

   disp_highc:      push    1
                    mov     r1,#segment4
                    mov     a,@r1
                    lcall   display_c1
                    lcall   Enable_cl
                    pop     1
                    ret
   disp_lowc:       push    1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                mov     r1,#segment3
                mov     a,@r1
                lcall   display_c2
                lcall   Enable_cr
                pop     1
                ret

;************ Display ******************
  display_h:    push    1
                push    2
                push    acc
                mov     dptr,#tab_disp_dot
                movc    a,@a+dptr
                mov     dptr,#portc
                movx    @dptr,a
                pop     acc
                pop     2
                pop     1
                ret

    display:    push    1
                push    2
                push    acc
                mov     dptr,#tab_disp
                movc    a,@a+dptr
                mov     dptr,#portc
                movx    @dptr,a
                pop     acc
                pop     2
                pop     1
                ret

   display1:    push    1
                push    2
                push    acc
                mov     dptr,#tab_disp2_1
                movc    a,@a+dptr
                mov     dptr,#portb
                movx    @dptr,a
                pop     acc
                pop     2
                pop     1
                ret
   display2:    push    1
                push    2
                push    acc
                mov     dptr,#tab_disp2_2
                movc    a,@a+dptr
                mov     dptr,#portb
                movx    @dptr,a
                pop     acc
                pop     2
                pop     1
                ret
display_c1:     push    1
                push    2
                push    acc
                mov     dptr,#tab_disp2_1
                movc    a,@a+dptr
                mov     dptr,#portc
                movx    @dptr,a
                pop     acc
                pop     2
                pop     1
                ret

display_c2:     push    1
                push    2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                push    acc
                mov     dptr,#tab_disp2_2
                movc    a,@a+dptr
                mov     dptr,#portc
                movx    @dptr,a
                pop     acc
                pop     2
                pop     1
                ret

tab_disp2_1:    db      01100001b       ;1
                db      11011011b       ;2
                db      11110011b       ;3
                db      11000110b       ;up
                db      01100111b       ;4
                db      10110111b       ;5
                db      10111111b       ;6
                db      00111010b       ;down
                db      11100101b       ;7
                db      11111111b         ;8
                db      11110111b         ;9
                db      00000010b         ;2ND
                db      10011100b         ;clr
                db      11111101b         ;0
                db      01101110b         ;help
                db      10011110b         ;ent

tab_disp2_2:    db      01100000b       ;1
                db      11011010b       ;2
                db      11110010b       ;3
                db      11000110b       ;up
                db      01100110b       ;4
                db      10110110b       ;5
                db      10111110b       ;6
                db      00111010b       ;down
                db      11100100b       ;7
                db      11111110b         ;8
                db      11110110b         ;9
                db      00000010b         ;2ND
                db      10011100b         ;clr
                db      11111100b         ;0
                db      01101110b         ;help
                db      10011110b         ;ent

tab_disp_dot:   db      11111101b       ;0
                db      01100001b       ;1
                db      11011011b       ;2
                db      11110011b       ;3
                db      01100111b       ;4
                db      10110111b       ;5
                db      10111111b       ;6
                db      11100101b       ;7
                db      11111111b         ;8
                db      11110111b         ;9

tab_disp:       db      11111100b       ;0
                db      01100000b       ;1
                db      11011010b       ;2
                db      11110010b       ;3
                db      01100110b       ;4
                db      10110110b       ;5
                db      10111110b       ;6
                db      11100100b       ;7
                db      11111110b         ;8
                db      11110110b         ;9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;************* Enable Segment ****************

 Enable_c1:    mov     dptr,#porta
               movx    a,@dptr
               anl     a,#00001111b
               setb    acc.2
               movx    @dptr,a
               nop
               nop
               mov     dptr,#porta
               anl     a,#00001011b
           ;    clr     acc.2
               movx    @dptr,a
               ret

 Enable_cr:    mov     dptr,#porta
               movx    a,@dptr
               anl     a,#00001111b
               setb    acc.3
               movx    @dptr,a
               nop
               nop
               mov     dptr,#porta
               anl     a,#00000111b
           ;    clr     acc.3
               movx    @dptr,a
               ret

 Enable_b1:    mov     dptr,#porta
               movx    a,@dptr
               anl     a,#00001111b
               setb    acc.0
               movx    @dptr,a
               nop
               nop
               mov     dptr,#porta
               anl     a,#00001110b
           ;    clr     acc.0
               movx    @dptr,a
               ret

 Enable_br:    mov     dptr,#porta
               movx    a,@dptr
               anl     a,#00001111b
               setb    acc.1
               movx    @dptr,a
               nop
               nop
               mov     dptr,#porta
               anl     a,#00001101b
           ;    clr     acc.1
               movx    @dptr,a
               ret


;************************* Scan Keyboard ***********************
  ;******************* SCAN ********************

       scan: push   2
             push   3
             push   4
             push   5
             push   6
             push   7
      lmon1:mov     r5,#0h
               mov     r6,#0feh
            mov     r7,#04h
       key: mov     a,r6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                mov     p1,a
                rl      a
                mov     r6,a
                   mov      a,p1
                   anl      a,#0f0h
                   cjne     a,#0f0h,key1
                inc     r5
                djnz    r7,key
                sjmp    otscan
        key1:   mov     r4,#00h
                   jnb      acc.4,key2
                mov     r4,#01h
                   jnb      acc.5,key2
                mov     r4,#02h
                   jnb      acc.6,key2
                mov     r4,#03h
                   jnb      acc.7,key2

        key2:   mov     a,r5
                mov     b,#4
                mul     ab
                add     a,r4
                mov     disp,a
      otscan:   pop     7
                pop     6
                pop     5
                pop     4
                pop     3
                pop     2
                ret

;******************* Debug Key ******************

   debugkey:            push    acc
        key3:   mov     a,p1
                anl     a,#0f0h
                cjne    a,#0f0h,key3
              pop     acc
              ret

     bugkey:    push    acc
      key5:     mov     a,p1
                anl     a,#0f0h
                cjne    a,#0f0h,exit_key5
                sjmp    key5
  exit_key5:    pop     acc
             ret


 delay_reset:   push    3
                push    4
                mov     4,#0h
  del_reset:    mov     3,#0h
                djnz    3,$
                djnz    4,del_reset
                pop     4
                pop     3
                ret
    delay_s:    acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                acall   delay_reset
                ret
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay_round:  mov     r1,#round_n
              mov     a,@r1
              mov     r2,a
 del_round:   lcall   delay
              lcall   delay
              lcall   delay
              lcall   delay
              lcall   delay
              lcall   delay
              djnz    r2,del_round
              ret

      delay:  push    3
              push    4
              mov     4,#0fh
      del1:   mov     3,#0dh
              djnz    3,$
              djnz    4,del1
              pop     4
              pop     3
              ret

                      end
```

รูปที่ ค. 2 โปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

ขั้นตอนการใช้งาน

1. เครื่องควบคุมการจ่ายของไหลเครื่องนี้จะมีย่านของการใช้งานในการจ่ายของไหลอยู่ที่ 0.1 - 9.9 ลิตร

2. มีส่วนประกอบหลักในการใช้งานอยู่ 5 ส่วน คือ

2.1) สวิตช์เปิด - ปิด ใช้ในการป้อนพลังงานให้แก่ระบบ

2.2) แป้นรับค่าใช้เพื่อกำหนดค่าปริมาณของของเหลวตามต้องการให้อยู่ในย่าน 0.1-9.9 ลิตร

2.3) จอแสดงผลค่าการกำหนดปริมาณของเหลว เป็นจอแสดงค่าปริมาณที่กำหนดไว้ที่แป้นรับค่า

2.4) จอแสดงผลปริมาณของเหลว เป็นจอแสดงค่าปริมาณของเหลวที่ไหลในขณะนั้น

2.5) จอแสดงผลค่าอัตราการไหล เป็นจอแสดงค่าอัตราการไหลของของเหลวในขณะนั้น

3. เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มต้นการทำงานของระบบ

4. ถ้าต้องการของเหลวในปริมาณที่เป็นจำนวนเต็ม เช่น สมมุติว่าต้องการปริมาณของเหลว 2 ลิตรให้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.1) กดปุ่ม [2] + [Enter]

4.2) หลังจากกดปุ่ม [Enter] ครั้งสุดท้ายแล้วจะเป็นการสั่งงานให้ระบบทำงานทันที

5. ถ้าต้องการของเหลวในปริมาณที่เป็นจำนวนทศนิยม เช่น สมมุติว่าต้องการของเหลวปริมาณ 2.5 ลิตรให้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

5.1) กดปุ่ม [2] + [Enter] + [5] + [Enter]

5.2) หลังจากกดปุ่ม [Enter] ครั้งสุดท้ายแล้วจะเป็นการสั่งงานให้ระบบทำงานทันที

6. ในกรณีที่เกิดการผิดพลาดในการกำหนดปริมาณ ถ้าต้องการแก้ไขในตำแหน่งจำนวนเต็ม เมื่อต้องการแก้ไขให้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1) กดปุ่ม [2] + [Clear]

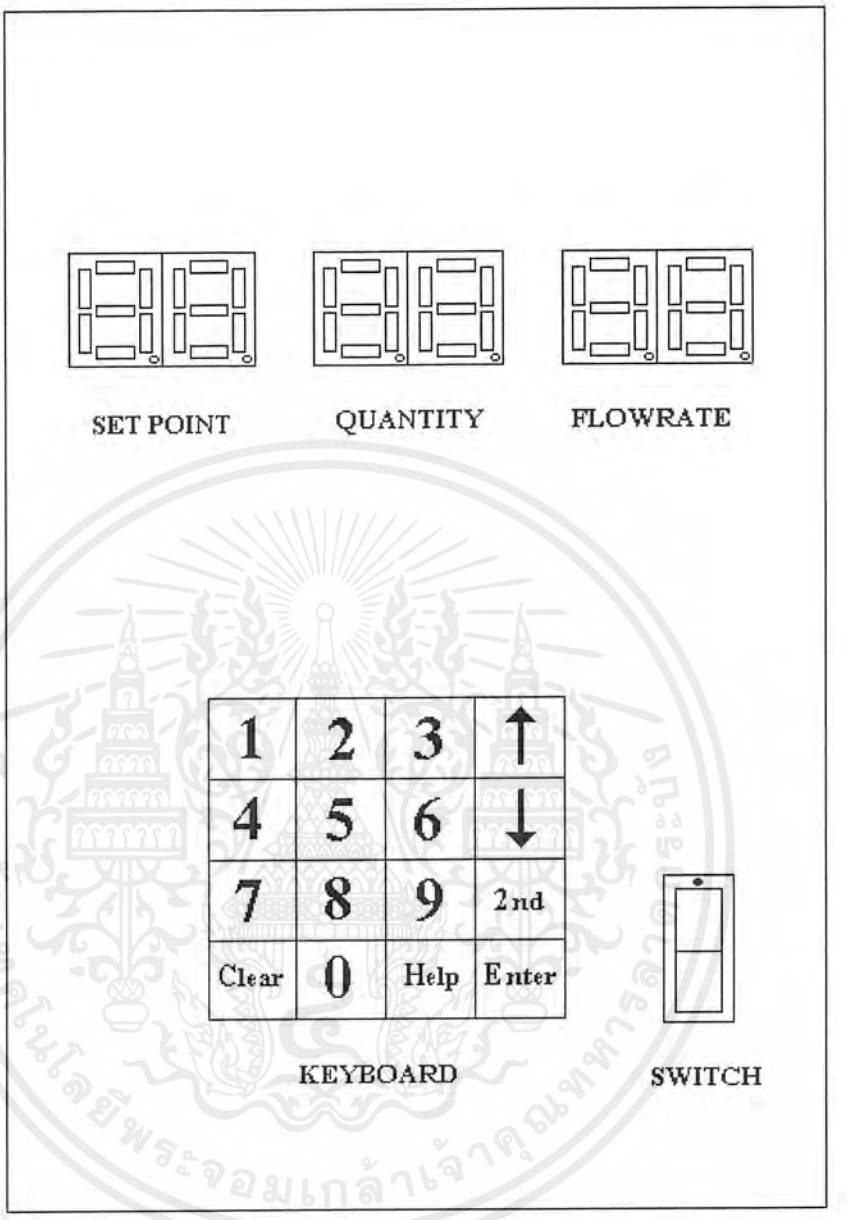
6.2) หลังจากกดปุ่ม [Clear] แล้วระบบจะทำการลบค่าปริมาณเดิม โดยแสดงที่จอแสดงผลค่าการกำหนดปริมาณเป็นตัวเลข 0.0 เพื่อรอกำหนดค่าปริมาณใหม่

กรณีที่ต้องการแก้ไขในตำแหน่งจำนวนทศนิยม

6.3) กดปุ่ม [2] + [Enter] + [5] + [Clear]

6.4) หลังจากกดปุ่ม [Clear] แล้วระบบจะทำการลบค่าปริมาณเดิม โดยแสดงที่จอแสดงผลค่าการกำหนดปริมาณเป็นตัวเลข 0.0 เพื่อรอกำหนดค่าปริมาณใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 แสดงภาพกล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์. **หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม. เล่มที่ 2.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

อรรณนพ พีรชาติ. **Hobby Electronics. ฉบับบที่ 76**. ส. เอเชียเพรส(1989), กรุงเทพฯ : 2540

แผนกหนังสือด้านอิเล็กทรอนิกส์. **รวมบทความทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.** เอช-เอนการพิมพ์, กรุงเทพฯ : 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายเบญฑูร บุญประสิทธิ์
วัน เดือน ปี เกิด	15 พฤษภาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จ. ชัยนาท
ภูมิลำเนาเดิม	บ้านเลขที่ 596/9 ม. 5 ต. ตาคลี อ. ตาคลี จ. นครสวรรค์ 60140
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 596/9 ม. 5 ต. ตาคลี อ. ตาคลี จ. นครสวรรค์ 60140

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนทหารอากาศบำรุง จ. นครสวรรค์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนลาซาลโชติรวีนครสวรรค์ จ. นครสวรรค์
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท จ. ชัยนาท
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท จ. ชัยนาท
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายภาสกร เจริญกิจกำจร
วัน เดือน ปี เกิด	28 มิถุนายน พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จ. ชลบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	บ้านเลขที่ 356 ม. 4 ต. ท่าบุญมี อ. เกาะจันทร์ จ. ชลบุรี 20240
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 356 ม. 4 ต. ท่าบุญมี อ. เกาะจันทร์ จ. ชลบุรี 20240

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเกาะโพธ์(วันครู 2500) จ.ชลบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเกาะโพธ์ถ้วยงามวิทยา จ.ชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จ. ชลบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ จ. ชลบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	เอกสิทธิ์ ทับศรีนวล
วัน เดือน ปี เกิด	8 กันยายน พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	จ. สงขลา
ภูมิลำเนาเดิม	บ้านเลขที่ 4/10 ซ. สุขใจ ม. 2 ถ. กาญจนวนิช ต. เขารูปช้าง อ. เมือง จ. สงขลา 90000
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 4/10 ซ. สุขใจ ม. 2 ถ. กาญจนวนิช ต. เขารูปช้าง อ. เมือง จ. สงขลา 90000
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวิเชียรชม จ.สงขลา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมหาวชิราวุธ จ. สงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี จ. สงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จ. สงขลา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่ได้รับ	รองชนะเลิศอันดับหนึ่ง ประเภทกีฬาบาสเกตบอล กีฬาสี่เทียน พ.ศ. 2541 รองชนะเลิศอันดับหนึ่ง ประเภทกีฬาบาสเกตบอล กีฬาชอล์กเกมส์ พ.ศ. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้