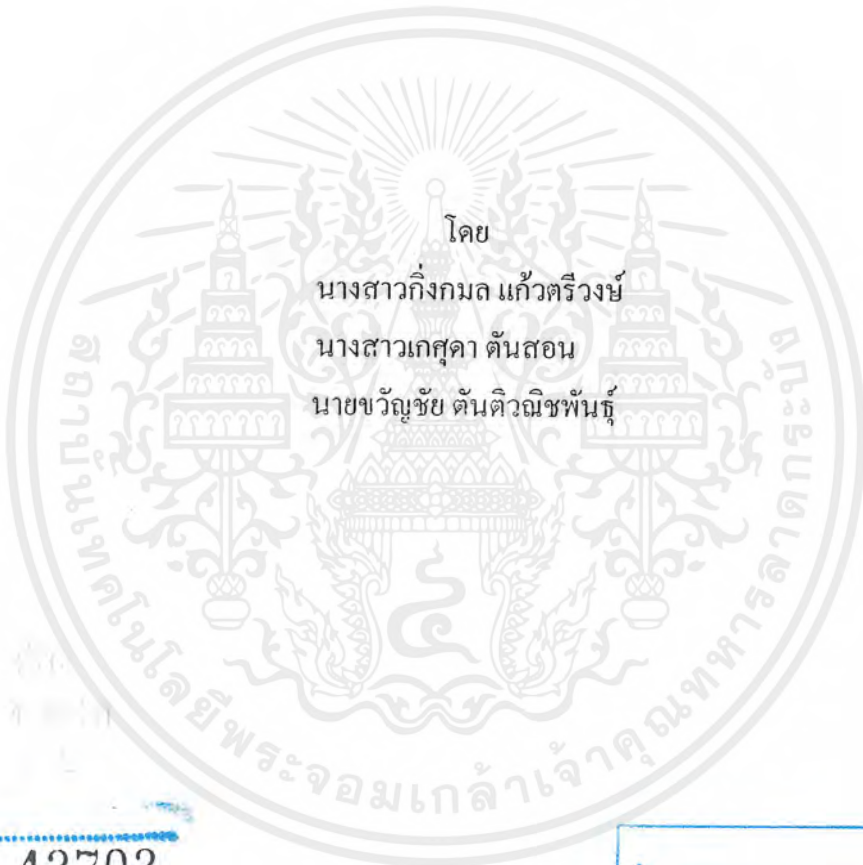


เครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติ
AUTOMATIC COIN EXCHANGE MACHINE



โดย
นางสาวกิ่งกมล แก้วตรีวงษ์
นางสาวเกศดา ดันสอน
นายขวัญชัย ดันตวิณิชพันธุ์

เลขหม.....
เลขทะเบียน 42702
วัน, เดือน, ปี 6 ส.ย. 2545

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

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนเหรียญอัตโนมัติ
AUTOMATIC COIN EXCHANGE MACHINE



ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแลกเปลี่ยนเหรียญอัตโนมัติ

AUTOMATIC COIN EXCHANGE MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกิ่งกมล แก้วตริวงษ์ รหัสประจำตัว 40010066
2. นางสาวเกศดา ต้นสอน รหัสประจำตัว 40010077
3. นายขวัญชัย ตัณตวิณิชพันธุ์ รหัสประจำตัว 40010095

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วัฒนา โพธิ์เจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ

AUTOMATIC COIN EXCHANGE MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกิ่งกมล แก้วศรีวงษ์ รหัสประจำตัว 40010066
2. นางสาวเกศดา ต้นสอน รหัสประจำตัว 40010077
3. นายขวัญชัย ตัณติวณิชพันธุ์ รหัสประจำตัว 40010095

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วัฒนา โพธิ์เจริญ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติ

นางสาวกิ่งกมล แก้วตริวงษ์

นางสาวเกศุตา ต้นสอน

นายขวัญชัย ต้นติวณิชพันธุ์

อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงการเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัตินี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติที่มีคุณสมบัติในการตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญและแยกชนิดของเหรียญได้ การออกแบบเริ่มตั้งแต่การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติ ทำการออกแบบวงจรและเลือกใช้อุปกรณ์ การประกอบอุปกรณ์ และขั้นตอนสุดท้ายทำการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC COIN EXCHANGE MACHINE

Miss.Kingkamon Kaewtriwong

Miss.Kesuda Tunsorn

Mr.Khwanchai Tantiwanichapan

Mr.Watana Pojaroen

1st Semeter,educational Year 2000

Abstract

This project presents the design and construction of an Automatic Coin Exchange Machine that can detect materials of coins and separate sizes of coin. The design begins by doing research and study theories related to the main parts of the Automatic Coin Exchange Machine and select electronic devices, assembly all electronic parts. And finally we perform testing of the Automatic Coin Exchange Machine and show results in chapter 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 รายละเอียดโดยย่อของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงาน	1
1.3 ความคืบหน้าของโครงการงาน	2
1.4 ประโยชน์หรือผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	3
2.2.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช	3
2.2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในการอินทิเกรต	4
2.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้วงจรมอนิเตอร์	9
2.2.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบการสุ่มและการคงค่า	9
2.3 อุปกรณ์ตรวจจับ	11
2.3.1 ไฟโฟโตทรานซิสเตอร์	11
2.3.2 อินฟราเรด แอลอีดี	12
2.3.3 ตัวตรวจจับความเหนี่ยวนำ	12
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	13
2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	13
2.4.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.5 วงจรขยายความแตกต่าง	16
2.6 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน	17
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	19
2.7.1 หลักการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	19
2.7.2 ชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์	20
2.8 วงจรขับ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.1 วงจรขั้วขุณี โพลาร์	23
2.8.2 วงจรขั้วไบ โพลาร์	23
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	24
3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติ	24
3.2 การออกแบบวงจร	25
3.2.1 ภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ	25
3.2.2 ภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ	28
3.2.3 วงจรตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กและวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล	30
3.2.4 ภาคตรวจสอบขนาดของธนบัตร	30
3.2.5 ภาคสวิตช์ควบคุมการเลือกเหรียญ	31
3.2.6 ภาคสวิตช์ตรวจสอบจำนวนเหรียญ	32
3.2.7 ภาคขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์	32
3.2.8 ภาคขับ โซลินอยด์	34
3.2.9 ภาคประมวลผล	35
3.2.10 ภาคแสดงผลแบบ 7-segment	36
3.2.11 ภาคจ่ายไฟ	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 กล่าวนำ	37
4.2 การทดลองภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ	37
4.3 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรตรวจจับความเหนี่ยวนำ	39
4.4 การทดลองการตรวจสอบแยกชนิดของธนบัตร	40
4.5 การทดลองการแยกเหรียญและการเก็บเหรียญ	42
4.6 การทดลองทำการแลกเปลี่ยนเหรียญ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.1.1 วงจรตรวจสอบวัตถุที่ใช้ทำเหรียญ	
5.1.2 วงจรตรวจสอบเส้นผ่าศูนย์กลางการติดตั้ง ชุดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด	44
5.1.3 วงจรควบคุม (ไมโครคอนโทรลเลอร์)	45
5.1.4 วงจรตรวจสอบขนาดของธนบัตร	45
5.1.5 วงจรจ่ายเหรียญ	45
5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการออกแบบ สร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติในส่วนของวงจรตรวจสอบเหรียญ	45
5.2.1 ในการออกแบบสร้างรางให้เหรียญผ่าน	45
5.2.2 การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ	46
5.2.3 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม	46
5.2.4 การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำธนบัตร	46
5.3 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงโครงงาน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรเปรียบเทียบแบบขนานหรือแบบเฟส	3
รูปที่ 2.2 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปเดี่ยว	5
รูปที่ 2.3 ความชันของสัญญาณขั้นบันได	5
รูปที่ 2.4 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปคู่	6
รูปที่ 2.5 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา	7
รูปที่ 2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบเคลต้า-ซิกม่า	9
รูปที่ 2.7 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรมัลติเพล็กซ์/ลง	10
รูปที่ 2.8 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่า	10
รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลและสัญลักษณ์ของโฟลต์ทรานซิสเตอร์	12
รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	14
รูปที่ 2.11 แสดงวงจร Differential Amplifier	16
รูปที่ 2.12 วงจรขยายอินสตรูเมนต์	18
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของไฮบริดส์เต็ปป์มอเตอร์ที่มีจำนวนสเต็ปต่อรอบเท่ากับ 12	19
รูปที่ 2.14 แสดงภาคตัดขวางของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 3 เฟส	20
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	21
รูปที่ 2.17 วงจรขั้วยูนิโพลาร์	22
รูปที่ 2.18 วงจรขั้วไบโพลาร์	23
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติ	24
รูปที่ 3.2 วงจรตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด	25
รูปที่ 3.3 (ก) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชุดอินฟราเรดวงจรสีแดง	26
รูปที่ 3.3 (ข) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชุดอินฟราเรดวงจรสีเขียว	26
รูปที่ 3.3 (ค) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชุดอินฟราเรดสำหรับรบบัตร	27
รูปที่ 3.4 วงจรมัลติเพล็กซ์	28
รูปที่ 3.5 วงจรออสซิลเลเตอร์	29
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรเรกติไฟร์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 วงจรตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นดิจิทัล	30
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรรีบของส่วนรณบัตร	31
รูปที่ 3.9 วงจรภาคสวิทช์ควบคุมการเลือกเหรียญ	32
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรรขยายกระแสแบบขั้วเดียว	32
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรถับสแต็ปี่งมอเตอร์	33
รูปที่ 3.12 แสดงการควบคุมการหมุนของสแต็ปี่งมอเตอร์ผ่านพอร์ต 8255	34
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรรภาคขับโซลินอยด์	35
รูปที่ 3.14 วงจรแสดงผลแบบ 7-segment	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบขนาน	4
ตารางที่ 4.1 เอาท์พุทของภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ	38
ตารางที่ 4.2 เอาท์พุทของวงจรแปลงสัญญาณแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล เมื่อตรวจสอบขณะยังไม่มีเหรียญผ่าน มีเหรียญผ่าน และวัสดุสารเฟอร์ไรต์	39
ตารางที่ 4.3 เอาท์พุทของวงจรนับที่ใช้ตรวจสอบธนบัตร	41
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการแยกเหรียญและการเก็บเหรียญ	42
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการแลกเหรียญ	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ

โครงการเครื่องแลกเปลี่ยนหน่วย โนมัตินี้ เป็นเครื่องที่รับอินพุต 2 ทางคือ ธนบัตรและ เหรียญกษาปณ์ และให้เอาท์พุทเป็นชนิดของเหรียญและจำนวนเหรียญ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดชนิดของเหรียญที่ต้องการได้ ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนหน่วย โนมัตินี้จะประกอบด้วยวงจรในส่วนที่ควบคุมการทำงานทั้งหมด วงจรตรวจสอบเหรียญ, วงจรตรวจสอบขนาดของธนบัตร, วงจรเลือกเหรียญ และวงจรในส่วนของการจ่ายเหรียญ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาค้นคว้าเพื่อคิดค้นและออกแบบวิธีการตรวจสอบเหรียญและตรวจสอบธนบัตร ซึ่งในโครงการนี้ส่วนแรกได้ทำการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ และค่าความเหนียวของเหรียญ เพื่อทำการตรวจสอบว่าเป็นเหรียญจริงหรือไม่ และเป็นเหรียญขนาดเท่าใด สำหรับส่วนที่สองตรวจสอบธนบัตรโดยใช้การตรวจสอบขนาด เพื่อแยกชนิดของธนบัตร หลังจากนั้นจะเป็นการทดลองต่อวงจรที่ออกแบบบน โปรโตบอร์ด (Protoboard) เพื่อตรวจสอบและปรับปรุงวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ให้ได้ตรงตามที่คาดไว้ หลังจากนั้นจึงทำการต่อวงจรลงบนแผ่นปริ้นท์เอนกประสงค์ และต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในปัจจุบัน สภาพการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้พัฒนาก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว ความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี และการให้บริการต่างๆ ก็เป็นความเจริญก้าวหน้าด้านหนึ่งที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ หรือผู้ใช้บริการที่ต้องการความสะดวกสบายและความรวดเร็ว ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จำเป็นในชีวิตประจำวัน การดำรงชีวิตของมนุษย์หรือผู้ใช้บริการต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่เป็นการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่ทันสมัยเข้ามาใช้ เพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดในชีวิตประจำวันมากที่สุด เครื่องบริการต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ เครื่องจำหน่ายตั๋วรถไฟฟ้าอัตโนมัติ และที่รู้จักกันเป็นอย่างดีคือ เครื่องโทรศัพท์สาธารณะชนิดหยอดเหรียญรุ่นต่างๆ ตลอดจนเครื่องบริการแบบหยอดเหรียญชนิดต่างๆ มีอยู่ในปัจจุบัน และที่จะมีขึ้นในอนาคตอีกมากมาย ซึ่งเครื่องบริการเหล่านี้จะถูกติดตั้งอยู่ตามที่สาธารณะหรือตามชุมชนที่มีผู้ใช้บริการหนาแน่น และตามสถานที่ทั่วไป เนื่องจากสามารถให้บริการได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยที่ไม่ต้องมีพนักงานคอยให้บริการ ซึ่งเป็นการประหยัดกำลังคนได้อีกด้านหนึ่ง อีกทั้งยังประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งด้วย โดยเครื่องอำนวยความสะดวกแบบแลกเปลี่ยนหน่วย โนมัตินี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้ได้กับธนบัตรและเหรียญที่มีขนาดหรือชนิดแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้ใช้บริการจำเป็นต้องมีธนบัตรหรือเหรียญเพื่อที่จะขอใช้บริการเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ เหล่านี้

และเนื่องจากการใช้บริการเครื่องอำนวยความสะดวกแบบแลกเหรียญอัตโนมัติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ใช้จำเป็นต้องใช้เหรียญจำนวนมากในการใช้บริการแต่ละครั้ง การพกพาเหรียญเป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่สะดวกในการเดินทาง เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการใช้งานของเครื่องบริการอำนวยความสะดวกเหล่านั้น โดยที่ผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องพกพาเหรียญเป็นจำนวนมากครั้งละหลายๆ เหรียญ เป็นการลดความยุ่งยาก และความไม่สะดวกสบาย ดังนั้นทางผู้จัดทำได้เล็งเห็นว่าสิ่งที่กล่าวมาเป็นสิ่งสำคัญ จึงได้มีการสร้างโครงการขึ้นนี้ขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้บริการให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา และใช้ศึกษาเพื่อโครงการขั้นต่อไป

1.3 ความคืบหน้าโครงการ

ขอบเขตของโครงการ จะเป็นการออกแบบและสร้างวงจรในการตรวจสอบเหรียญ ตรวจสอบธนบัตร ทั้งในส่วนวงจรตรวจสอบชนิดวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ วงจรวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ และวงจรวัดขนาดความยาวของธนบัตร เพื่อทำการแยกเก็บเหรียญตามราคาของเหรียญ และแยกชนิดของธนบัตร รวมถึงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้อง โดยมีการควบคุมการทำงานของวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.4 ประโยชน์หรือผลที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่จะได้รับจากเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติมีด้วยกันหลายประการดังนี้

1.4.1 ความสะดวกในการแลกเหรียญ เพื่อใช้กับเครื่องอำนวยความสะดวกอื่นๆ ที่ต้องใช้เหรียญในการซื้อบริการนั้น

1.4.2 สามารถลดกำลังงานคนในการทำหน้าที่รับแลกเหรียญ รวมถึงการประหยัดงบประมาณและสถานที่ด้วย

1.4.3 สามารถนำไปปรับปรุงพัฒนาเป็นเครื่องแลกธนบัตรและเหรียญที่มีความแม่นยำในอนาคตได้

1.4.4 ได้รับความรู้ ทักษะจากการทำงาน เช่น การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

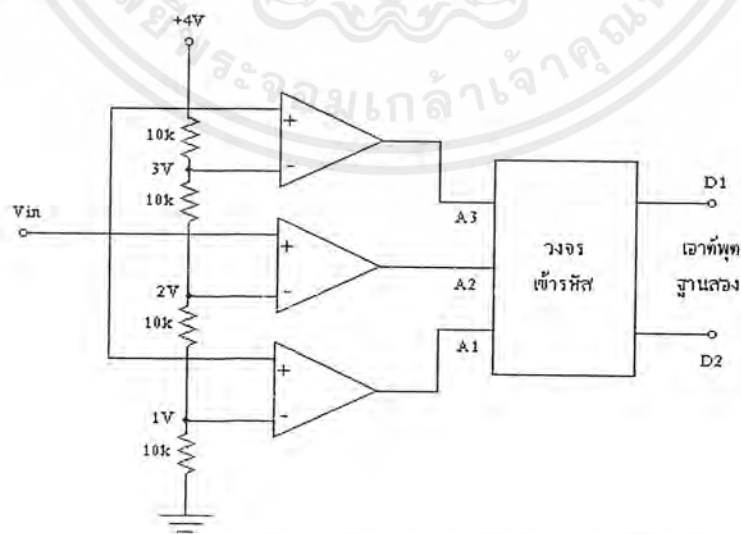
เนื้อหาของรายงานในบทนี้เป็นทฤษฎี และหลักการทำงานที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงการ โดยประกอบด้วย ตัวตรวจจับความเหนียวนำ ตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) อุปกรณ์ตรวจจับ วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

การทำงานของไอซีตัวเดียว (Single chip) จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณดิจิตอลในการควบคุมการทำงานและประมวลผล เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้งาน ไอซีตัวเดียวร่วมกับสัญญาณอนาลอก ต้องอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเข้ามาช่วย โดยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีดังต่อไปนี้

2.2.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลช

วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบแฟลชนี้ใช้หลักการง่ายๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ทำงานรวดเร็วที่สุด คือ ใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรเปรียบเทียบแบบขนานหรือแบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบและตัวต้านทานที่ต่อเอาไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุทแบบกลับเฟสให้มีขนาดต่างๆ กัน โดยจากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วๆ ไป เมื่อแรงดันอินพุทที่ขาอินพุทแบบไม่กลับเฟสมีค่าแรงดันสูงกว่าที่ขาอินพุทแบบกลับเฟสเอาท์พุทจะได้แรงดันค่าสูงสุดดังตารางที่ 2.1 ซึ่งผลในตารางที่ 2.1 นั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้โดยมีการกำหนดค่าอินพุทให้มีค่าเป็นสัญญาณแรงดันขนาดคงที่ตามขนาดของค่าอินพุท ของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมานาน

ตารางที่ 2.1 สัญญาณเอาต์พุทของวงเปรียบเทียบขนาน

แรงดันอินพุท V_m (โวลต์)	เอาต์พุทของวงเปรียบเทียบ			เอาต์พุทเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0-1	0	0	0	0	0
1-2	1	0	0	0	1
2-3	1	1	0	1	0
3-4	1	1	1	1	1

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาวงจรเปรียบเทียบได้จาก 2 ถึง 1 เมื่อ N แทนจำนวนบิตหรือความละเอียดที่ต้องการ

จะเห็นว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ เอาต์พุทที่ไม่ได้เป็นเลขฐานสองต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส ข้อดีของวงจรเอชซีแบบขนานนี้คือ ความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงเรียกวงจรลักษณะนี้ว่า แฟลช จะทำให้วงจรชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาที

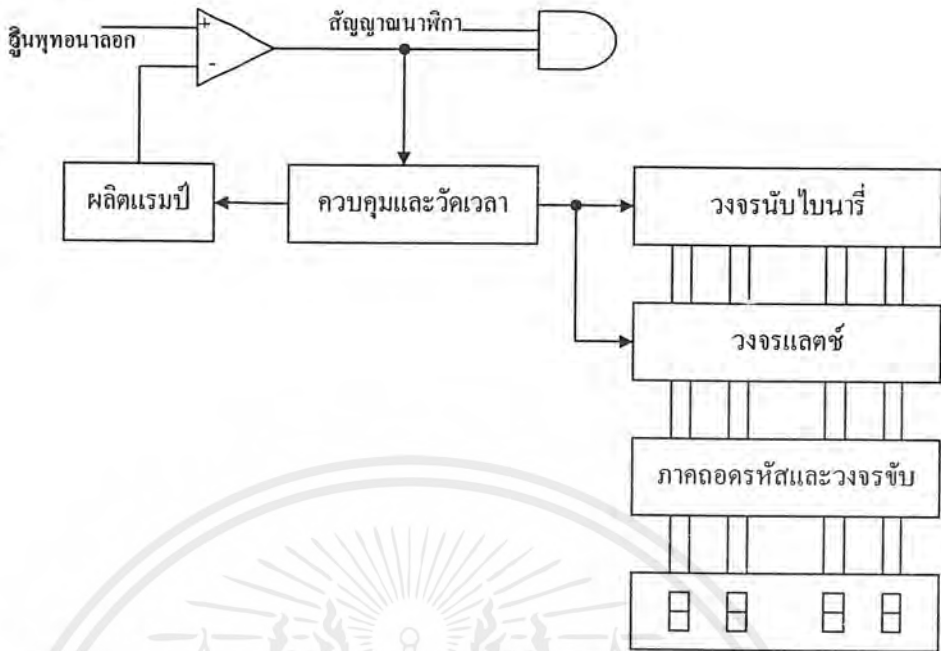
2.2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่ใช้ในการอินทิเกรต

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

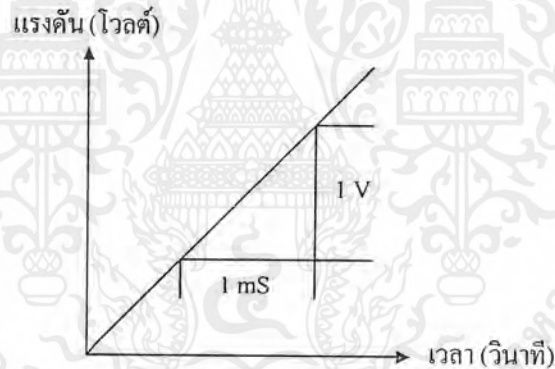
1) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบสโลปหรือแบบแรมป์เดี่ยว

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วยวงจรถ่ายสัญญาณขึ้นบันได, วงจรเปรียบเทียบ, วงจรมับ BCD หรือนับเลขฐานสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปเดี่ยว



รูปที่ 2.3 ความชันของสัญญาณขึ้นบันได

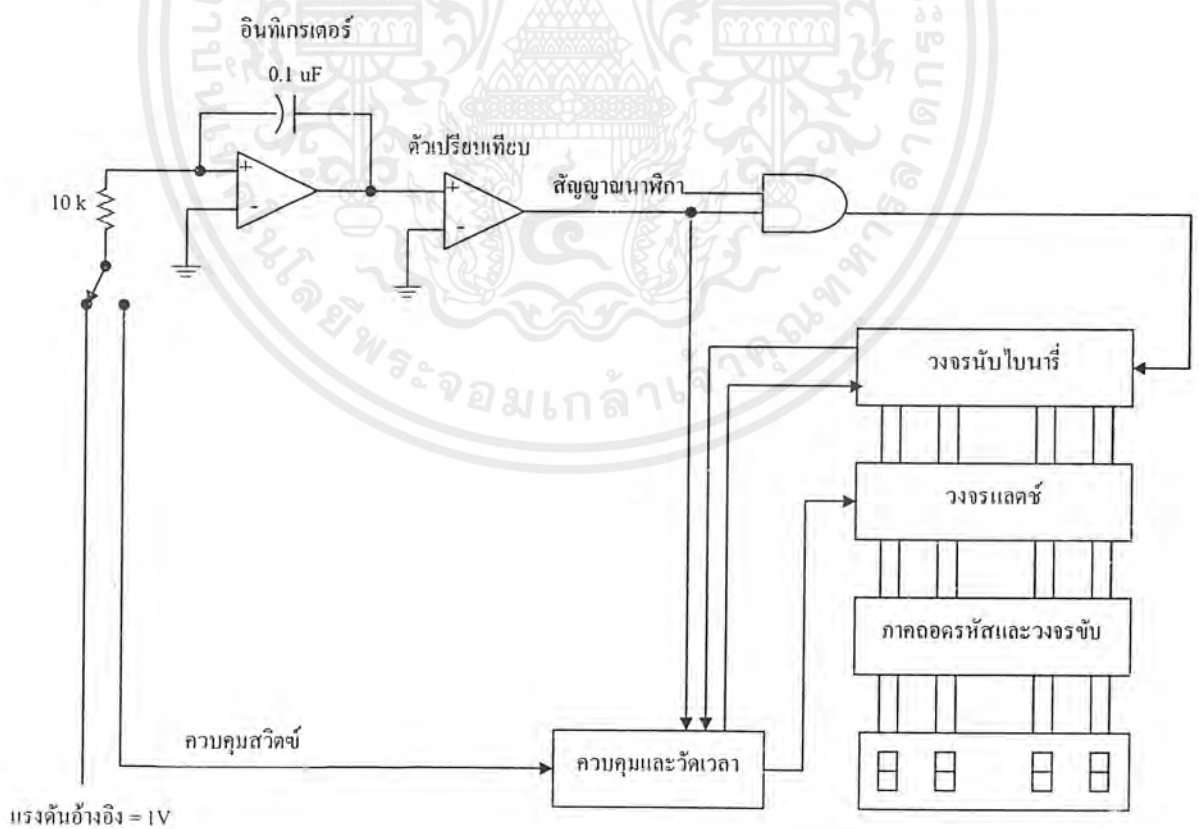
เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณขึ้นบันไดและวงจรมับจะถูกปรับให้เป็นศูนย์ แรงดันอนาล็อกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบทางเข้าแบบไม่กลับเฟส เมื่อแรงดันขาเข้าที่ขานี้เป็นบวกมากกว่าที่แรงดันขาเข้าแบบกลับเฟส วงจรเปรียบเทียบให้ระดับขาออกเป็นระดับ 1 ทำให้ไอซีแอนค็อกเกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรมับได้ และทำให้สัญญาณขึ้นบันไดมีแรงดันเป็นบวกมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันขาเข้า ระดับแรงดันขาออกจากวงจรเปรียบเทียบจะตกเป็นระดับที่ 0 บิต แอนค็อกเกตไม่มีสัญญาณผ่านมาในวงจรมับ วงจรมับจะหยุดนับ และเก็บค่าไว้ที่วงจรถัดซ์ จากนั้นจึงทำการปรับวงจรมับและวงจรถัดซ์สัญญาณขึ้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในลักษณะนี้มักนำไปใช้ในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณหรืออาจใช้ในดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง หรือการใช้งานที่ต้องการความละเอียดมากในการใช้งาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณชั้นบันไดขึ้นกับอุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้า ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงพัฒนาให้วงจรมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น สามารถใช้ในวงจรที่ต้องการความถูกต้องสูงได้แสดงชัดเจนลักษณะการสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นให้ดีขึ้นจึงกลายเป็นแบบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้การอินทิเกรตแบบสโโลปคู่ที่มีการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก และมีการทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ซึ่งเป็นวงจรที่มีลักษณะเหมาะสมในการใช้งาน การออกแบบไม่มีความยุ่งยาก ผลกระทบทางอุณหภูมิมีน้อยกว่าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบอื่นๆ มาก

2) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบสโโลปคู่

รูปที่ 2.4 แสดงผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลสโโลปคู่ วงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโโลปเดี่ยว ซึ่งมีสวิตช์ที่ขาเข้าเพิ่มเติม เพื่อทำการเลือกระหว่างค่าแรงดันขาเข้ากับแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรเปรียบเทียบกับขาเข้ากับอินพุทกลับเฟสกันกับแบบสโโลปเดี่ยว



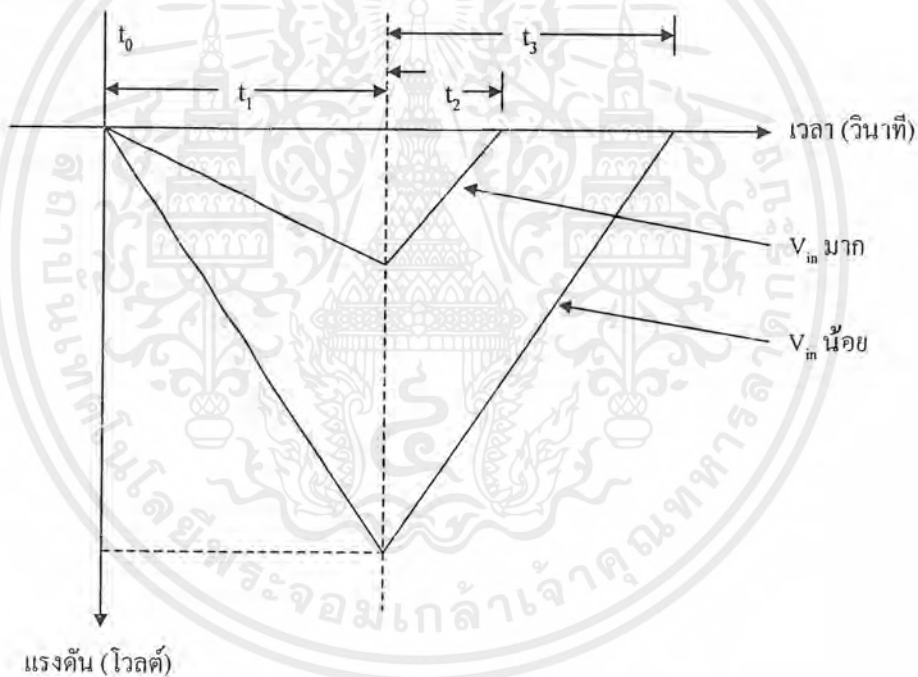
รูปที่ 2.4 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบสโโลปคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแรกของวงจร คือ วงจรกำเนิดสัญญาณขั้นบันได หรือวงจรอินทิเกรต ที่แรงดันระดับขาเข้าแบบกลับของออปแอมป์ที่มีสภาพเป็นกราวด์เสมือน ถ้ามีแรงดันขาเข้ามีค่า 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เท่ากับ 0.2 มิลลิแอมป์ ไปยังจุดรวม เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุทของออปแอมป์นั้นสูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ

ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ แรงดันที่ขาเข้าของออปแอมป์จะยิ่งเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงได้เป็นสัญญาณขั้นบันไดที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น

ถ้าแรงดันอินพุทเป็นบวกวงจรอินทิเกรเตอร์จะให้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขั้นบันไดทางลบดังแสดงไว้ในช่วง t_1 ดังรูปที่ 2.5 หากแรงดันขาเข้าเป็นลบ ทำให้แรงดันขาออกได้แรมปีทางบวก



รูปที่ 2.5 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา

จากวงจรในรูปที่ 2.4 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุทจะทำให้มีแรงดันบวกจากขาเข้าป้อนสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ได้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขั้นบันไดทางลบ วงจรเปรียบเทียบกับจะได้แรงดันทางลบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ แล้วให้แรงดันออกเป็นบวก ทำการเปิดแอนด์เกต ให้สัญญาณนาฬิกาเข้าไปสู่วงจรมัลติเพล็กซ์ วงจรมัลติเพล็กซ์จะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คือ t แล้วทำการสวิตช์ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิงในช่วงที่วงจรมัลติเพล็กซ์ด้วยค่าคงที่นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอินทิเกรตจะให้สัญญาณขั้นบันไดทางลบ ที่มีค่าได้สูงสุดตามแต่ระดับแรงดันขาเข้า เมื่อทำการสวิตช์ขาเข้าของวงจรอินทิเกรเตอร์ทำให้ไปที่ค่าแรงดันอ้างอิงค่าลบ แรงดันของจึงได้เป็นสัญญาณขั้นบันไดทางบวกคือช่วง t_2 ในรูปที่ 2.5 พร้อมๆ กับปรับค่าของวงจรมีลงเป็นศูนย์เพื่อเริ่มนับใหม่

เมื่อแรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงแรงดันศูนย์อีกครั้ง แรงดันขาออกของวงจรเปรียบเทียบกับก็จะเป็นลบหรือเป็นศูนย์ วงจรควบคุมจับการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ส่งสัญญาณสโตรบให้วงจรนับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรเก็บค่า จากนั้นจึงปรับให้เป็นศูนย์ แล้วทำการสวิตช์ให้แก่ค่าอินพุทของวงจรอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุท ซึ่งเป็นการเริ่มเปลี่ยนสัญญาณอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ที่วงจรเก็บค่าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันขาเข้า V_m

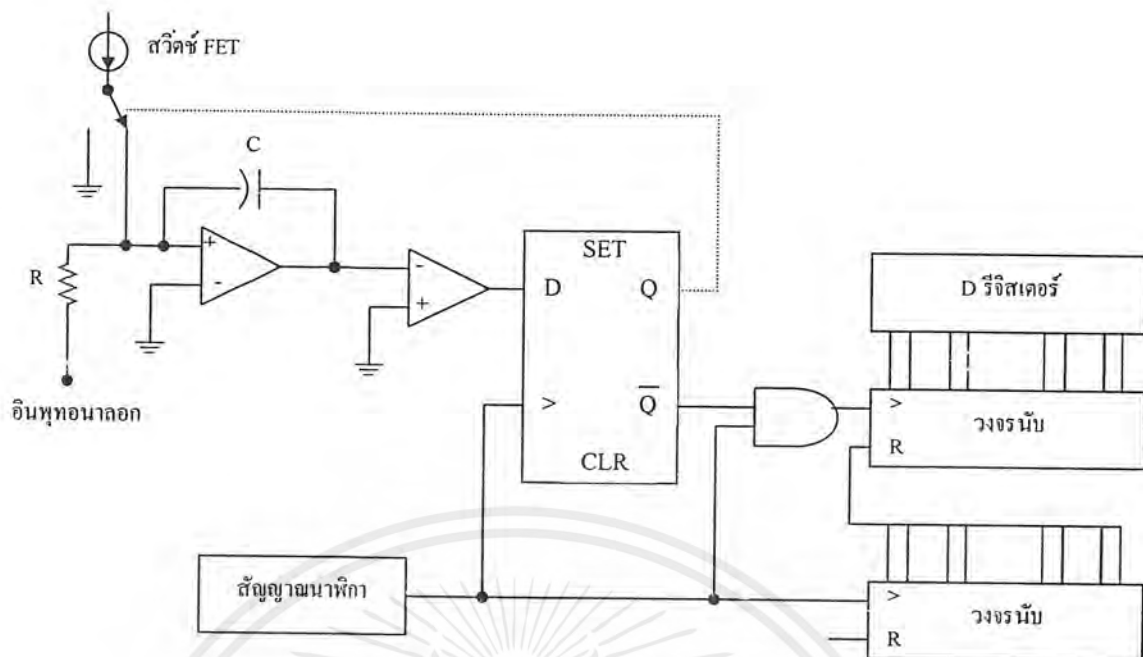
ข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณแบบสโลปคู่ คือ ความถูกต้อง, ราคาถูก, เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ เช่น ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจใช้เวลาถึง 100 มิลลิวินาที ในขณะที่แบบแฟลชใช้เวลาประมาณ 30 มิลลิวินาที

3) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบประจุมวลคู่

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบประจุมวลคู่ ใช้วงจรสำคัญคล้ายกับแบบสโลปคู่ แต่แทนที่จะใช้ขาเข้าสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง จะทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาโดยตรงที่จุดรวมของวงจรอินทิเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่ โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุทที่ไม่รู้ค่า ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์โวลต์ ดังนั้น ทำให้ไม่เกิดการผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลชนิดนี้จึงมีความถูกต้องกว่าแบบสโลปคู่

4) วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบเดลต้า-ซิกมา

วงจรรูปที่ 2.6 เมื่อมีแรงดันอินพุทป้อนเข้ามาที่วงจรอินทิเกรเตอร์ จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุทไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคงที่ จากรูปคือกราวด์ โดยที่พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำงานจากเฟลด์ (FET) จะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดรวม หรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรมีจำนวนพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน



รูปที่ 2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบเคลด้า-ซิกม่า

2.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่ใช้วงจรมับ

1) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบแทรกกิ่ง

การทำงานจะคล้ายกับวงจรมับเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์ แต่จะทำการนับขึ้นหรือนับลงจากค่าสุดท้ายไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ค่าแรงดันอินพุทในรอบใหม่มีค่าสูงหรือต่ำกว่ารอบที่แล้ว ข้อดีของเอทูดี้แบบแทรกกิ่งคือ การทำงานที่เร็วขึ้น

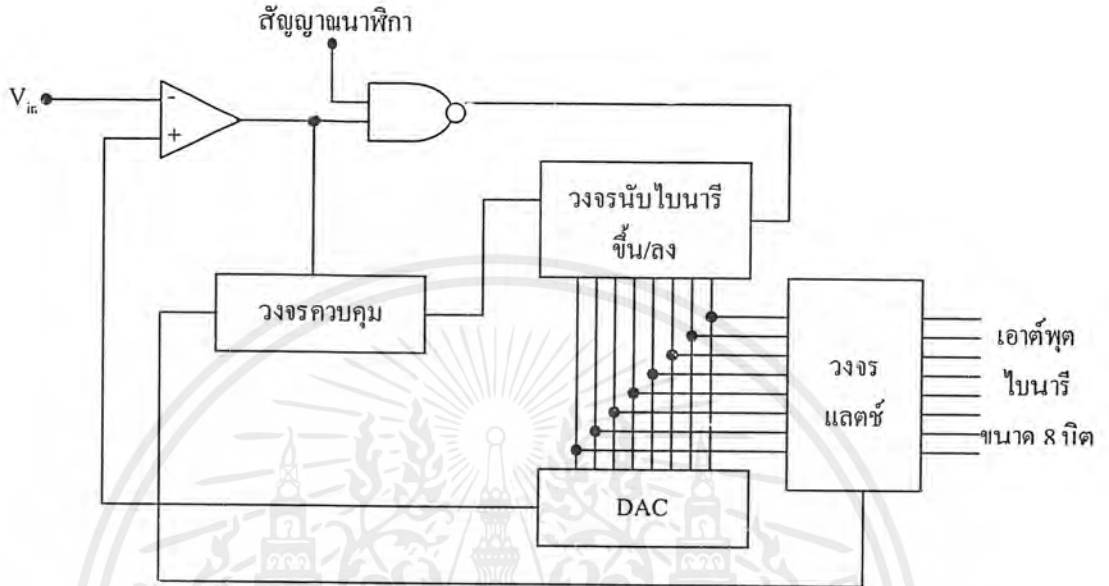
2) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบการปรับค่า

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบนี้ มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะมีความละเอียดเป็น n บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก เช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์นาฬิกา 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรมับต้องการพัลส์ถึง 256 ลูก วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่าแสดงดังในรูปที่ 2.7

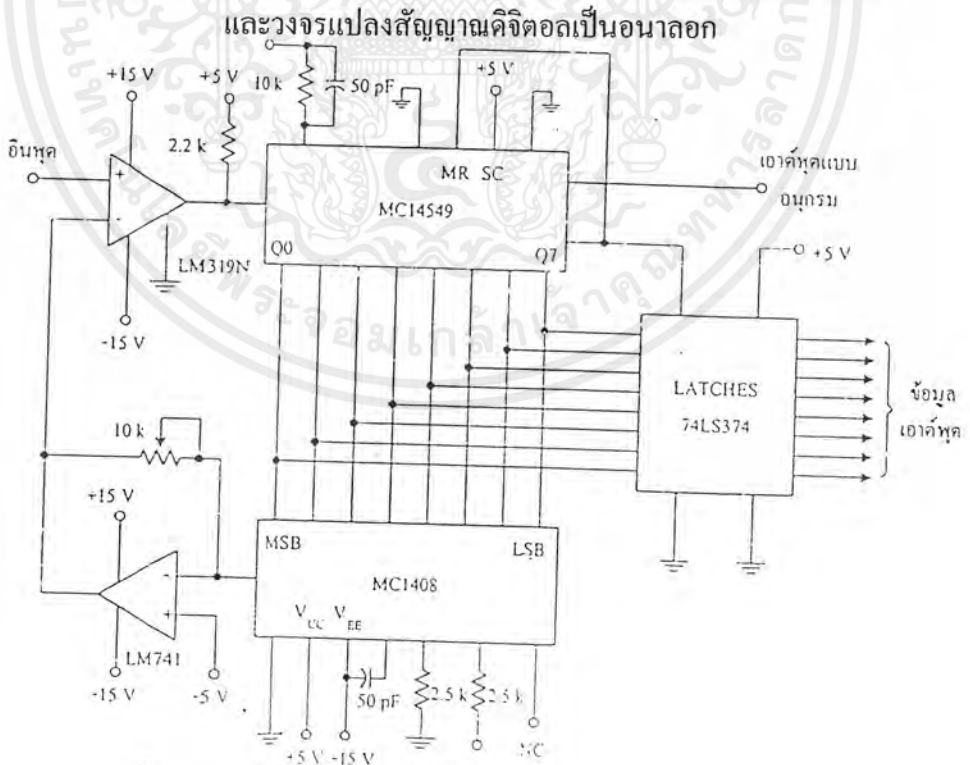
2.2.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบการสุ่มและการคงค่า

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลต้องการเวลาในการแปลสัญญาณหรือที่เรียกว่า Conversion Time เพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณอนาลอกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาที่การแปลงเอาต์พุทของค่าวงจรมับเปลี่ยนสัญญาณอาจเกิดความผิดพลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยการสุ่มและคงค่าสัญญาณ เพื่อให้จับค่าของสัญญาณอนาลอกที่จุด

เริ่มของการเปลี่ยนสัญญาณแล้วเก็บไว้ด้วยตัวเก็บประจุ ระหว่างช่วงเวลาการแปลงหลังจากการเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้นจึงจับค่าสัญญาณอนาลอกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้ง เป็นเช่นนี้ต่อเรื่อยไป



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่สร้างขึ้นจากวงจรรนับขึ้น/ลง



รูปที่ 2.8 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบประมาณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุปกรณ์ตรวจจับ

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนนำสัญญาณเข้าที่ทำหน้าที่เป็นส่วนรับความรู้สึกต่างๆ เรียกว่า ตัวตรวจจับ ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงความรู้สึกต่าง ๆ ที่ได้รับเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งอาจจะ เป็นแรงดันหรือกระแสก็ได้ และส่งให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตีความหมาย และนำผลดังกล่าว ไปใช้งานได้ตามต้องการ

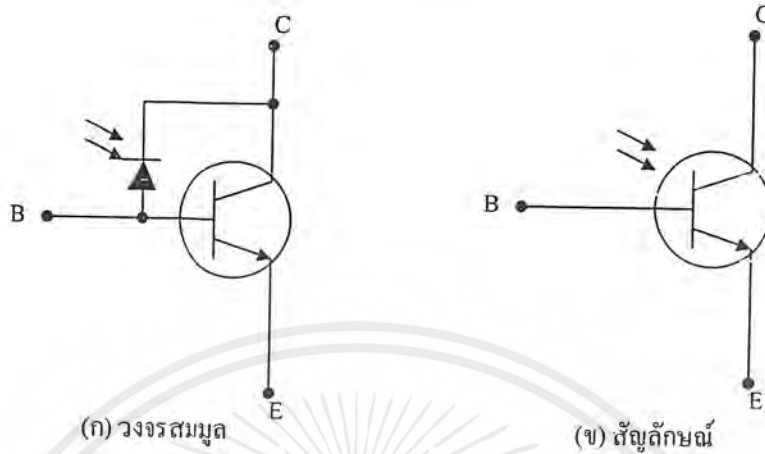
ตัวตรวจจับแบบพื้นฐานที่เราคุ้นเคยกันอย่างดี เช่น สวิตช์กลไก, สวิตช์แม่เหล็ก, โฟโตทรานซิสเตอร์, เซลล์รับแสง, ออปโตคัปเปิลอร์, ตัวตรวจจับตำแหน่ง, ตัวตรวจจับแรงดัน, ตัวตรวจจับอุณหภูมิ, ตัวตรวจจับเสียง เป็นต้น ตัวตรวจจับต่างๆ เหล่านี้ จะทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะภาพทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.3.1 โฟโตทรานซิสเตอร์

โดยสภาวะปกติสารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสง เมื่อทำการนำเอาสารกึ่งตัวนำมาสร้างเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ โปรตรอนจากแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ ดังนั้น โฟโตทรานซิสเตอร์จึงเป็นตัวตรวจจับแสงชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบขึ้นมาจากการเกิดปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำ และมีรอยต่อ P-N ระหว่างสาร 2 ชนิดของโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งรอยต่อนี้มีขนาดใหญ่กว่ารอยต่อ P-N ของทรานซิสเตอร์โดยทั่วไป ความแตกต่างจากทรานซิสเตอร์ทั่วไป คือ ที่ตัวถังด้านบนของโฟโตทรานซิสเตอร์จะมีช่องสำหรับรับแสงเพื่อส่งไปยังรอยต่อ P-N โดยช่องรับแสงนี้จะมีวัสดุเคลียร์ไมก้า (Clear Mica) หรือ ควอตซ์เลนซ์ (Quartz Lens) ติดอยู่บนช่องรับแสงดังกล่าว

วงจรสมมูลและการทำงาน

วงจรสมมูลของโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังในรูปที่ 2.9 ซึ่งก็คือ การนำทรานซิสเตอร์มาต่อร่วมกับโฟโตไดโอด โดยตัวโฟโตไดโอดจะเป็นตัวควบคุมการจัดแรงดันให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน เมื่อเกิดแสงมาตกกระทบที่ตัวโฟโตไดโอด จะทำให้เกิดแรงดันไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ก่อให้เกิดกระแสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในที่สุด



(ก) วงจรสมมูล

(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลและสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

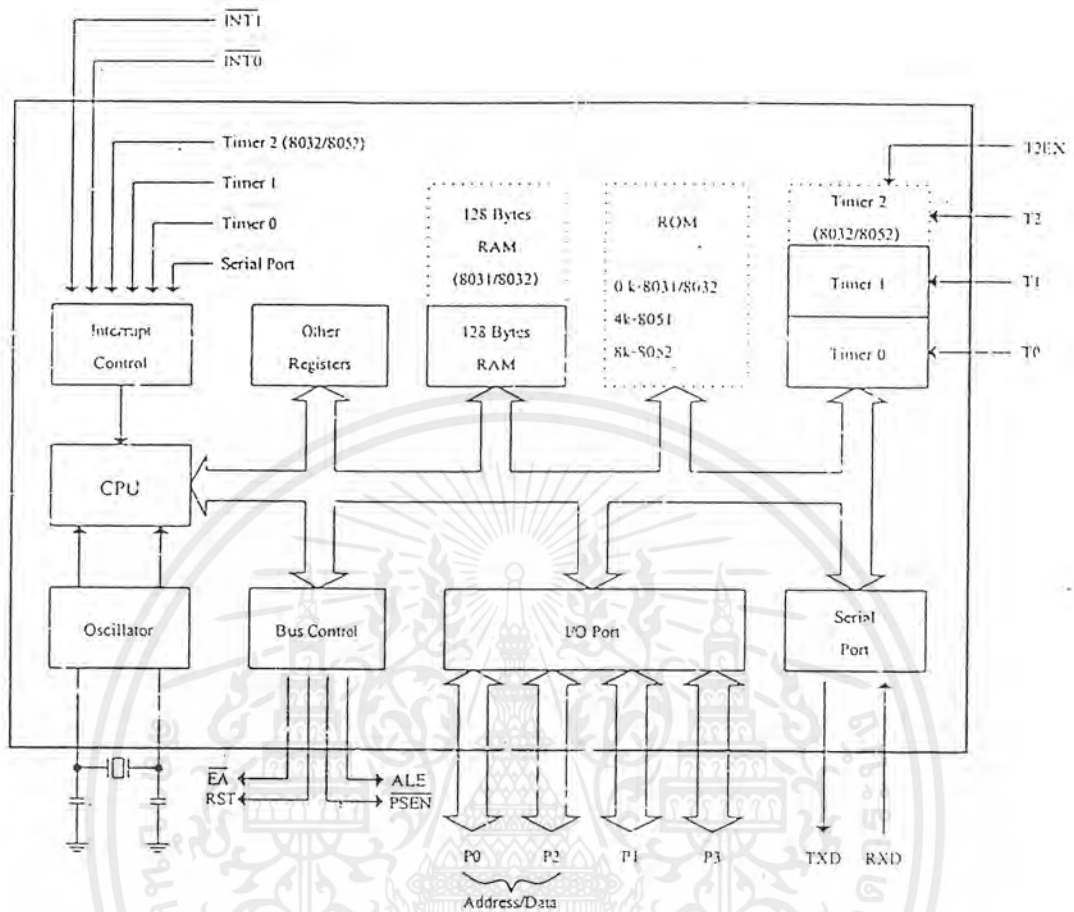
2.3.2 อินฟราเรด แอลอีดี

อินฟราเรด แอลอีดี ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อกำเนิดแสงในย่านอินฟราเรด เมื่อตัวมันนำกระแส อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ และเกิดพลังงานจากโฟตรอน การเกิดพลังงานดังกล่าวเป็นไปในทันทีที่มีกระแสไหลผ่าน

อินฟราเรด แอลอีดี สามารถกำเนิดแสงอินฟราเรดได้ในช่วงสองความยาวคลื่นดังนี้ คือ อินฟราเรดอีดี ที่สร้างจากสารแกเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide : GaAs) จะให้ความยาวคลื่นประมาณ 940 นาโนเมตร และอินฟราเรดอีดีที่สามารถสร้างจากสารอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า แกเลียมอลูมิเนียมอาเซไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide : GaliAs) ซึ่งจะกำเนิดแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร

2.3.3 ตัวตรวจจับความเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

เป็นตัวตรวจจับความเหนี่ยวนำความไวสูง ซึ่งใช้ผลของการเปลี่ยนแปลงความถี่ของความเหนี่ยวนำของโลหะผสมแผ่นบาง ด้วยคุณสมบัติของตัวตรวจจับนี้ ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น งานวัดกระแสและสนามแม่เหล็ก, การนับหมุนกลับ, งานวัดมุมหรือตำแหน่งเชิงเส้น, ตัวตรวจจับระยะทาง เป็นต้น



รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

1) หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU)

ส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุม ในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ เรียกว่า วงจรควบคุม (Control Unit) สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุม ได้แก่ สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ, อุปกรณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกซึ่งส่วนควบคุมการขัดจังหวะและส่วนควบคุมบัสก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมด้วย การสร้างสัญญาณจากวงจรควบคุมจากหน่วยประมวลผลกลางนี้จะทำการสร้างสัญญาณโดยการถอดรหัสจากคำสั่งที่มีการกำหนดไว้ และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากวงจรถอดสวิตช์เลเตอร์ เพื่อให้ทุกๆ ส่วน ทำงานประสานกันอย่างถูกต้อง

ในหน่วยประมวลผลกลางยังประกอบด้วยส่วนประมวลผล (Arithmetic Logic Unit) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่น การลบ, บวก, คูณ หรือหารข้อมูล แล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หน่วยความจำ (Memory)

หน่วยความจำมีไว้สำหรับจัดจำข้อมูล ซึ่งในการนำข้อมูลเข้าและออกจากหน่วยความจำ จำเป็นต้องรู้ตำแหน่ง (Address) ของหน่วยความจำ ในการนำข้อมูลเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ เรียกว่า การเขียนข้อมูล และการนำข้อมูลออกจากหน่วยความจำ เรียกว่า การอ่านข้อมูล ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ข้อมูลในแต่ละตำแหน่งจะมีขนาด 8 บิต ดังนั้น แต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะสามารถเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 00000000₂ หรือ 11111111₂ หรือ 00H ถึง 0FFH ในการติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

2.1) ตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำ ซึ่ง MCS-51 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลที่มีขนาดสูงสุดชนิดละ 65,536 ตำแหน่ง (64 กิโลไบต์) ดังนั้น การอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐานสองทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ 65,535)

2.2) ข้อมูลที่อ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำในตำแหน่งที่เราต้องการ

2.3) สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยวงจรตรรกะคำสั่งทำการสร้างสัญญาณควบคุมจากคำสั่งที่อ่านเข้ามาจากหน่วยความจำโปรแกรม

3) อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุท (Input/Output Device)

อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทเป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือนำข้อมูลออกจาก MCS-51 ทำให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุท ได้แก่ 4 I/O Port, Timer/Counter 0, Timer/Counter 1, Serial Port

3.1) 4 อินพุท/เอาต์พุทพอร์ต (4 I/O Port) หรือพอร์ตแบบขนาน เป็นที่สำหรับใช้รับส่งข้อมูล ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 มีทั้งหมด 4 พอร์ต โดยแต่ละพอร์ตจะรับส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ต P0, P1, P2 และ P3 บางพอร์ตจะใช้งานมากกว่า 1 อย่างก็ได้

3.2) ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0 (Timer/Counter 0) และไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (Timer/Counter 1) เป็นวงจรนับที่สามารถทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก MCS-51 หรือจำนวนของสัญญาณนาฬิกาภายใน MCS-51 ก็ได้ สามารถตั้งค่าเริ่มต้นของการนับและอ่านค่าการนับได้โดยหน่วยประมวลผลกลาง

3.3) พอร์ตอนุกรม (Serial Port) หน่วยประมวลผลกลางจะอ่าน และเขียนข้อมูลกับพอร์ตอนุกรมเป็นแบบ 8 บิต แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก MCS-51 เรียงไปที่ละบิตออกจากขา TXD และ

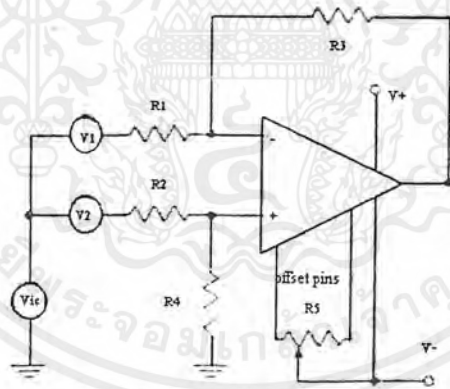
ในการรับข้อมูลจะรับเข้ามาที่ละบิตทางขา RXD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิต เพื่อให้หน่วยประมวลผลกลางอ่านไปใช้งานต่อไป

ใน MCS-51 มีพอร์ตให้ใช้งานได้หลายแบบ ทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่างๆ ได้มากมาย การจะนำพอร์ตไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุม

2.5 วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)

Differential Amplifier-input-single-ended-output amplifier เป็นวงจรที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ใช้สำหรับงานที่ต้องการเปลี่ยนระดับสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งมีระดับต่ำให้สูงขึ้น ทรานสดิวเซอร์ส่วนใหญ่มักจะมี Common-mode voltage สูง ซึ่ง Common-mode voltage นี้จะต้องถูกตัดออก และจะใช้เพียงความแตกต่างของสัญญาณระหว่างขาของทรานสดิวเซอร์เท่านั้น

แรงดันเอาต์พุต (output voltage) จะแปรผันเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของระดับสัญญาณอินพุตทั้ง 2 ขา มักจะใช้ในงานที่เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง และมีความถี่ต่ำ มีอินพุตอิมพีแดนซ์ (input impedance) ต่ำ



รูปที่ 2.11 แสดงวงจร Differential Amplifier

อัตราขยายผลของความแตกต่าง (Differential gain, A_d) จะมีค่าเท่ากับ $V_o/(V_2-V_1)$ ถ้าวางจรสมมูลย์ (คือ $R_3/R_1 = R_4/R_2$)

อัตราขยายผลความแตกต่าง (A_d) จะเท่ากับ

$$A_d = V_o / (V_2 - V_1) = R_3/R_1 = R_4/R_2 \quad (2.1)$$

อัตราขยายคอมมอนโมดของวงจรรขยายผลของความแตกต่างจะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_c = 2V_o/(V_1+V_2) = V_o/\text{ค่าเฉลี่ยของแรงดันอินพุต} = V_o/V_{io}$$

ถ้าวงจรขยายมีความสมดุลอย่างสมบูรณ์ และออปแอมป์ (Operational Amplifier) ไม่มีอัตราขยายคอมมอนโหมด วงจรก็จะไม่มีอัตราขยายของคอมมอนโหมดเลย แต่ถ้าวงจรไม่สมดุลอย่างสมบูรณ์ หรือออปแอมป์มีอัตราขยายคอมมอนโหมดแล้ว แรงดันเอาต์พุต ก็จะมีค่าเท่ากับ

$$V_o = (V_o - V_1) * A_d + (V_2 - V_1) * A_c / 2 \quad (2.2)$$

ในคู่มือ (Data Sheet) ค่าที่ให้มาจะเป็นค่า common-mode rejection ratio (CMRR)

$$CMRR = \text{อัตราขยายผลแตกต่าง/อัตราขยายคอมมอนโหมด} = A_d/A_c$$

โดยถ้าวงจรมีความสมดุลอย่างสมบูรณ์ และ CMRR ไม่เท่ากับ ∞ อัตราขยายคอมมอนโหมด จะเป็น

$$A_{co} = V_o = R_3^2/V_{io} * R_1(R_1+R_3) * CMRR \quad (2.3)$$

ถ้า CMRR เท่ากับ ∞ แต่วงจรมีความสมดุลอย่างไม่สมบูรณ์ อัตราขยายคอมมอนโหมด จะเท่ากับ

$$A_{co} = V_o/V_{io} = (R_4R_1 - R_2R_3)/R_1 * (R_2 + R_4) \quad (2.4)$$

Common-mode rejection (CMR) จะถูกใช้แทน CMRR ใน Data Sheet โดย

$$CMR = 20 \log | CMRR | \quad (2.5)$$

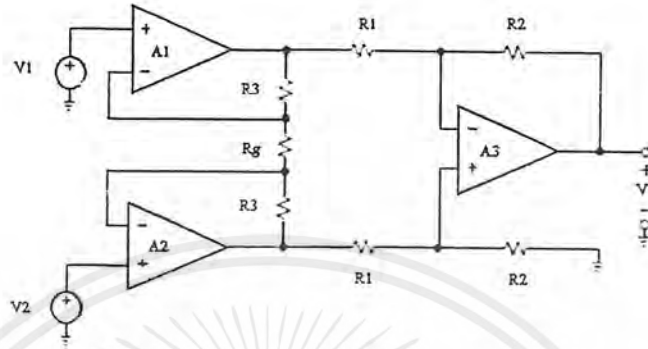
ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) โดยออปแอมป์ส่วนใหญ่จะมีค่า 60 เดซิเบล หรือมากกว่า

2.6 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentation Amplifier)

วงจรขยายความแตกต่างดังที่กล่าวมาแล้วมีข้อจำกัดในการทำงานหลายอย่าง ความต้านทานอินพุต (input impedance) มีขนาดค่อนข้างต่ำ ในขณะที่การประยุกต์เกี่ยวกับวงจรขยายความแตกต่างจะมีความต้านทานอินพุตสูง จะต้องใช้ความต้านทานย้อนกลับ (feedback resistance) ในวงจรมีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดออฟเซตของไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุต (dc output offset) ซึ่งขึ้นกับ op amp input offset current

การที่ต้องการทั้งอัตราขยายสูงและความต้านทานทางด้านอินพุตสูง ทำให้เกิดปัญหาคือ เนื่องจากความต้านทานทางด้านอินพุตจะต้องมีค่ามาก และความต้านทานย้อนกลับจะต้องมีค่ามากกว่าความต้านทานทางด้านอินพุต ซึ่งการทำให้ความต้านทานขนาดเป็นเมกะโอห์มให้เหมาะสมกันนั้น มีความยากมากทำให้ค่า CMRR ไม่ดีไปด้วย

วงจรรขยายอินสตรูเมนเตชันสามารถแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วได้โดยใช้ออปแอมป์ 3 ตัว ซึ่งปัญหาในการใช้ออปแอมป์หลายตัวนี้ก็คือการทำให้ความต้านทานอินพุตทั้ง 2 ของออปแอมป์มีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 2.12 แสดงวงจรรขยายอินสตรูเมนเตชัน

วงจรรขยายอินสตรูเมนเตชันดังรูป จะมีรูปแบบเหมือนกับวงจรรขยายความแตกต่าง โดยเพิ่มวงจรรขยายไม่กลับเฟส (noninverting amplifier) เข้าที่อินพุตทั้ง 2 ข้าง

แรงดันเอาต์พุตที่ A1 และ A2 จะเป็น

$$V_3 = (1+R_2/R_1)V_1 - R_2V_2/R_1 + V_{ic} \quad (2.6)$$

$$V_4 = (1+R_2/R_1)V_2 - R_2V_1/R_1 + V_{ic} \quad (2.7)$$

โดย V_{ic} เป็นแรงดันคอมมอนโหมดทางด้านอินพุต (common-mode input voltage)

$$V_{ic} = (V_1 - V_2)/2 \quad (2.8)$$

ถ้าวงจรมีความสมดุลอย่างสมบูรณ์โดย $R_6/R_4 = R_7/R_5$ แล้วจะได้

$$V_o = R_6(V_4 - V_3)/R_4 = R_6(R_1 + R_2 + R_3)(V_2 - V_1)/R_4 \quad (2.9)$$

โดยถ้าให้ $R_2 = R_3$ และ $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$ แล้ว

$$A_d = V_o/(V_2 - V_1) = 1 + 2R_2/R_1 \quad (2.10)$$

วงจรรขยายทางด้านอินพุต A1 และ A2 สามารถออกแบบให้มีอัตราขยายสูง โดยไม่ทำให้เกิดดีซีออฟเซ็ท ส่วนทางด้านเอาต์พุต A3 จะใช้ตัวต้านทานก้าน้อยๆ เพื่อลดดีซีออฟเซ็ท

CMRR ของวงจรรจะขึ้นกับค่า CMRR ของ A3 โดย $R_6/R_4 = R_7/R_5$ ความไม่สัมพันธ์กันของ R_1, R_2 และ R_3 จะทำให้เกิดผลกระทบกับค่าอัตราขยายความแตกต่าง [$A_d = V_o/(V_2 - V_1)$] แต่ไม่มีผลกับอัตราขยายคอมมอนโหมด [$A_c = V_o/V_{ic}$] อินพุตอิมพีแดนซ์ของ non inverting input จะมีขนาดมากกว่า 10^{10} โอห์ม ในขณะที่อิมพีแดนซ์ไดรฟ์ (impedance driving) R_4 และ R_5 เกือบจะเป็น 0 โดยอัตราขยายของวงจรรทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยการปรับ R_1

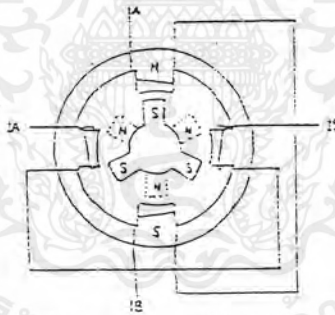
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์

สเต็ปปีงมอเตอร์เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทหนึ่งเช่นเดียวกับ ดีซีมอเตอร์ หรือเอซีมอเตอร์ แต่สเต็ปปีงมอเตอร์มีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างที่แตกต่างจากมอเตอร์ชนิดอื่นๆ กล่าวคือ มีการหมุนเป็นแบบสเต็ปตามจังหวะของสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อน ลักษณะเช่นนี้เองจึงทำให้เราสามารถควบคุมจำนวนรอบของการหมุนได้ด้วยกราป้อนสัญญาณไฟฟ้า หรือสามารถควบคุมการหมุนแบบ ลูปเปิด (OPEN LOOP) ได้นั่นเอง และถ้านำสเต็ปปีงมอเตอร์ ไปใช้งานกับเครื่องมือบางประเภท เช่นพล็อตเตอร์, เครื่องเจาะอัตโนมัติ ก็จะทำให้การควบคุมตำแหน่งเป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ

2.7.1 หลักการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์

สเต็ปปีงมอเตอร์สามารถแบ่งโครงสร้างทางกายภาพออกได้เป็น 2 ส่วน คือ สเตเตอร์ (STATOR) และ โรเตอร์ (ROTOR) ตัวสเตเตอร์เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วยขดลวดทองแดงซึ่งพันอยู่รอบแกนเหล็ก เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเมื่อมีการจ่ายกระแสผ่านขดลวด ส่วนโรเตอร์เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นแท่งทรงกลม และที่ผิวรอบนอกมีลักษณะเป็นซี่กฟันซึ่งทำมาจากแม่เหล็กถาวร ดังรูป 2.13



รูป 2.13 แสดงโครงสร้างของไฮบริดจ์สเต็ปปีงมอเตอร์ที่มีจำนวนสเต็ปต่อรอบเท่ากับ 12

เมื่อยังไม่มีการจ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์ซี่กฟันของ โรเตอร์อันหนึ่งของ โรเตอร์ จะอยู่ที่ตรงกันกับซี่กใดซี่กหนึ่งของสเตเตอร์ ทั้งนี้เพราะแม่เหล็กถาวรที่ตัวของโรเตอร์พยายามที่จะ ทำให้ค่าความต้านทานทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (RELUCTANCE) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่ง ณ.จุดที่ซี่กฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ตรงกัน ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าสูงที่สุด ค่าทอร์ก (TORQUE) ที่ทำให้ตัวโรเตอร์ยึดอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวนี้เรียกว่า ดีเท็นท์ (DETENT TORQUE) เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดที่อยู่ในสเตเตอร์คู่ใดคู่หนึ่ง จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ที่ซี่กฟันของมอเตอร์ ซึ่งจะดึงดูดซี่กฟันของ โรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กที่มีสัคย์ต่างกันที่อยู่ใกล้ที่สุดเข้าไป ตำแหน่งนี้เรียกว่า

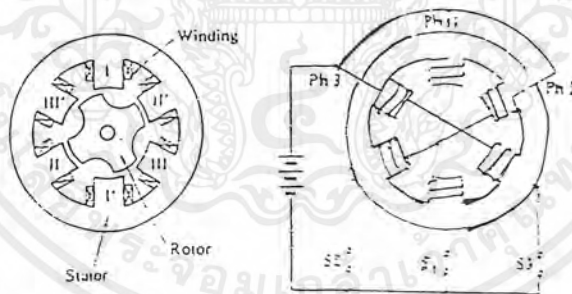
สแตเบิลโพสิชัน (STABLE POSITION) ของโรเตอร์ จะมีตำแหน่งเท่ากับจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ และแรงที่จะทำให้โรเตอร์เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งสแตเบิล โพสิชันได้คั้งนี้เรียกว่า โฮลดิ้ง ทอร์ก (HOLDING TORQUE) ถ้าเราต้องการหมุนหนึ่งรอบ เราต้องทำการกระตุ้นให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปจนครบ 12 สเต็ป และถ้าต้องการให้โรเตอร์หมุนไปอีกทางหนึ่ง ก็จะมีการสลับลำดับในการจ่ายกระแส

2.7.2 ชนิดของสเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามลักษณะ โครงสร้างและการใช้งานดังต่อไปนี้

2.7.2.1 สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดวาริโอเบิลรีลักแตนซ์ (VARIABLE RELUCTANCE STEPPING MOTOR)

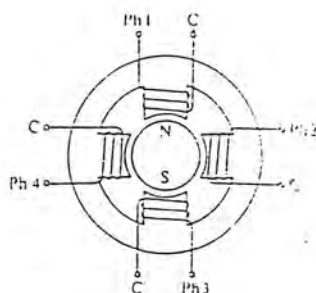
สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับค่ารีลักแตนซ์ได้ ดังรูปที่ 2.14 แสดงภาคตัดขวางของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 3 เฟส ขดลวดที่พันของสเตเตอร์ในแต่ละเฟสจะต่ออนุกรมกันหรือขนานกันก็ได้ จากรูป เป็นการต่อแบบอนุกรม โดยที่สเตเตอร์มีฟันทั้งหมด 6 ซี่ ซี่ที่อยู่ตรงข้ามกันหรือ ทำมุม 180 องศาซึ่งกันและกันจะเป็นเฟสเดียวกัน



รูปที่ 2.14 แสดงภาคตัดขวางของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 3 เฟส

2.7.2.2 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

สเต็ปป์มอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็น โรเตอร์ และมีซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ซี่ฟันของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดของการหมุนของสเต็ปเล็กกลางจะต้องเพิ่มขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์และจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ แต่ก็มีขีดจำกัด ในการเพิ่มขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์เนื่องจาก สร้าวแม่เหล็กถาวรสร้างโดยมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก



รูปที่ 2.15 แสดง โครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

ข้อเสียของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรคือ มีขนาดมุมสเต็ปใหญ่ทำให้ความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อยเนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีขั้วหลายขั้วทำยากทำให้ไม่สามารถสร้างสเต็ปขนาดเล็ก ทำให้ค่าทอร์กที่ได้ต่อหน่วยต่อปริมาตรต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ก แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง

2.7.2.3 สเต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์

สเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดนี้มีแกน โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ได้ ไฮบริดจ์สเต็ปปีงมอเตอร์นี้มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างสเต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ แต่ต่างที่การต่อขดลวดของแต่ละเฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ จะมีขดลวด 2 ขด แต่ละขดจะมีขั้วต่างกัน แต่ไฮบริดจ์สเต็ปปีงมอเตอร์ขดลวดทั้งจะพันอยู่ที่ขั้วเดียวกันเรียกว่าไบ โพลาร์ (BIPOLAR) ซึ่งในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะให้ขั้วที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติที่สำคัญของไฮบริดจ์สเต็ปปีงมอเตอร์ การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบเฮเทอโรโพลาร์ (HETEROPOLAR FIELD) ดังนั้นทอร์กเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็ก 2 ชนิด คือสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของแต่ละขด หลักการทำงานของแต่ละขดที่แตกต่างจากสเต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ คือ

แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก จะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของซี่ฟันด้วย

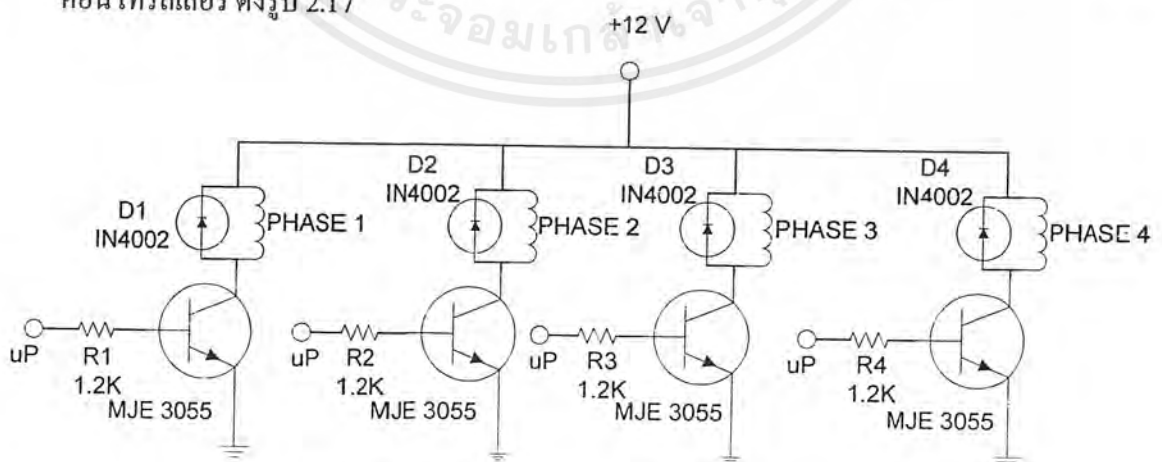
ข้อดีของไฮบริดส์เต็ปปีงมอเตอร์ คือ มีขนาดสแต็ปขนาดเล็ก มีความละเอียดของสแต็ป ต่อรอบสูง มีค่าทอร์คสูงกว่าสแต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ แต่สแต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ มีแรงเฉื่อยทางแมคคานิกส์น้อยกว่าไฮบริดส์เต็ปปีงมอเตอร์

2.8 วงจรขับ (DRIVE CIRCUITS)

สัญญาณควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์มักจะเป็นสัญญาณที่ สร้างจากวงจรดิจิทัล เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งแรงดันที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ไม่มาก แต่เนื่องจากการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ ต้องการแรงดันและค่า กระแสที่สูงกว่านั้น ดังนั้นจำเป็นจะต้องมีวงจรขับ เพื่อทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสที่เพียงพอ ให้กับตัวสแต็ปปีงมอเตอร์ ลักษณะของวงจรขับขึ้นอยู่กับชนิดของสแต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้สแต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ ซึ่งจะมีอย่างน้อย 3 เฟส วงจรขับที่ใช้จะทำงานในลักษณะ ของสวิตช์ปิด/เปิด ให้กระแสไหลผ่านไปยังขดลวดในทิศทางเดียว เราเรียกวงจรขับแบบนี้ว่า ยูนิโพลาร์ แต่ถ้าใช้สแต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ หรือแบบแม่เหล็กถาวรซึ่งมักจะมีเพียง 2 เฟส จะใช้วง จรขับที่สามารถจ่ายกระแสได้สองทิศทาง เรียกวงจรขับประเภทนี้ว่าไบโพลาร์

2.8.1 วงจรขับแบบยูนิโพลาร์ (UNIPOLAR DRIVE CIRCUIT)

วงจรขับพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับสแต็ปปีงมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ ขดลวดแต่ละ เฟสจะถูกกระตุ้นโดยวงจรขับแต่ละชุด ซึ่งวงจรขับแต่ละชุดก็จะได้รับสัญญาณควบคุมจากไมโคร คอนโทรลเลอร์ ดังรูป 2.17



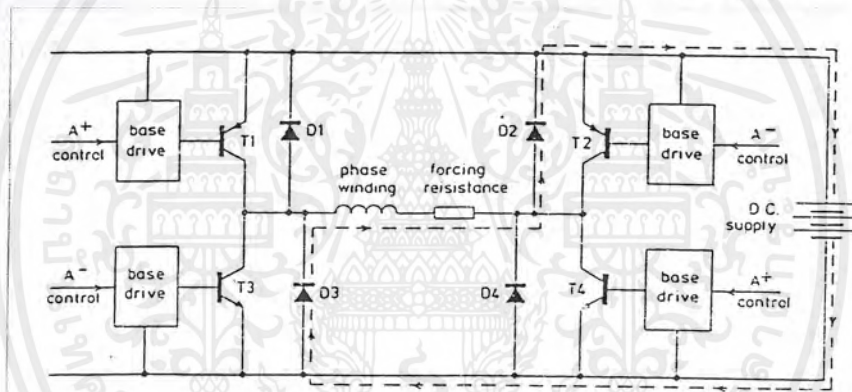
รูปที่ 2.17 วงจรขับยูนิโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติ ขดลวดของสเต็ปปีงมอเตอร์จะแสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ(L) ซึ่งทำให้เกิดการตอบสนองต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวมันช้า ส่งผลต่อการทำงานของมอเตอร์ที่ความเร็วสูง การใส่ตัวต้านทานอนุกรมเข้าไปกับขดลวดจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ ความเหนี่ยวนำของขดลวด ยังทำให้กระแสไม่หยุดไหลทันทีทันใด ที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะปิด ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำตกคร่อมคอลเล็กเตอร์และอีมีเตอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วงจรจับเสียหาย ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการต่อ ฟรีวีลิ่งไดโอด (FREEWHEELING DIODE) และฟรีวีลิ่งรีซิสเตอร์ (FREEWHEELING RESISTANCE) เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสแทน

2.8.2 วงจรขับแบบไบโพลาร์ (BIOPOLAR DRIVE CIRCUIT)

วงจรถับชนิดนี้จะต่อทรานซิสเตอร์เป็นแบบบริดจ์ วงจรบริดจ์หนึ่งชุดจะขับมอเตอร์ได้หนึ่งเฟส เหมาะที่จะใช้กับสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร หรือแบบไฮบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



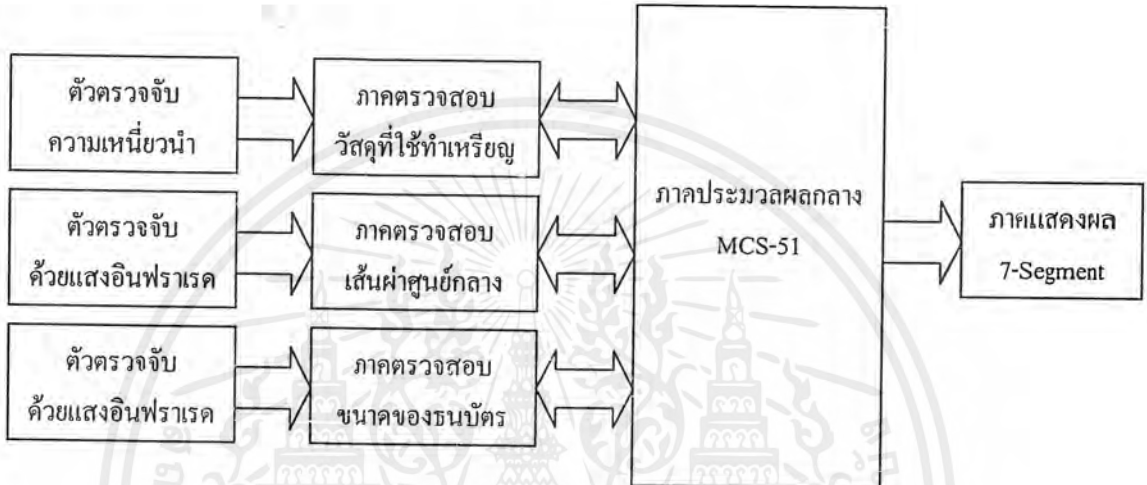
รูปที่ 2.18 วงจรขับแบบไบโพลาร์

ทรานซิสเตอร์จะผลัดกันทำงานทีละคู่ตามทิศทางของกระแสที่ต้องการ สำหรับการกระตุ้นขดลวดในทิศทางทราสซิสเตอร์ T1 และ T4 จะทำงาน ทำให้เกิดทางเดินของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟ ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T1 จากนั้นไหลผ่านขดลวดของมอเตอร์ผ่านตัวต้านทานแล้วจึงไหลเข้าทรานซิสเตอร์ T4 กลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟ ในทางกลับกันในกรณีการจ่ายกระแสในทิศตรงกันข้าม) ทรานซิสเตอร์ T2 และ T3 จะทำงาน เพื่อให้กระแสไหลผ่านขดลวดในทิศตรงกันข้าม

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องแลกเทรียอุต์โนมัต



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องแลกเทรียอุต์ โนมัต

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนผังการทำงานของเครื่องแลกเทรียอุต์ โนมัต โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ ใช้หลักการของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Sensor) ซึ่งจะตอบสนองต่อวัสดุที่มีสารเฟอร์ไรต์ จากนั้นทำการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจสอบชนิดเหรียญ

2. ภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางเหรียญ ใช้หลักการของตัวตรวจจับแสงอินฟราเรด ตรวจสอบการผ่าน และไม่ผ่านของเหรียญ โดยใช้ร่วมกับวงจรรับ แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ภาคประมวลผลกลาง ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล และควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องแลกเทรียอุต์ โนมัต โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นตัวควบคุมการทำงาน

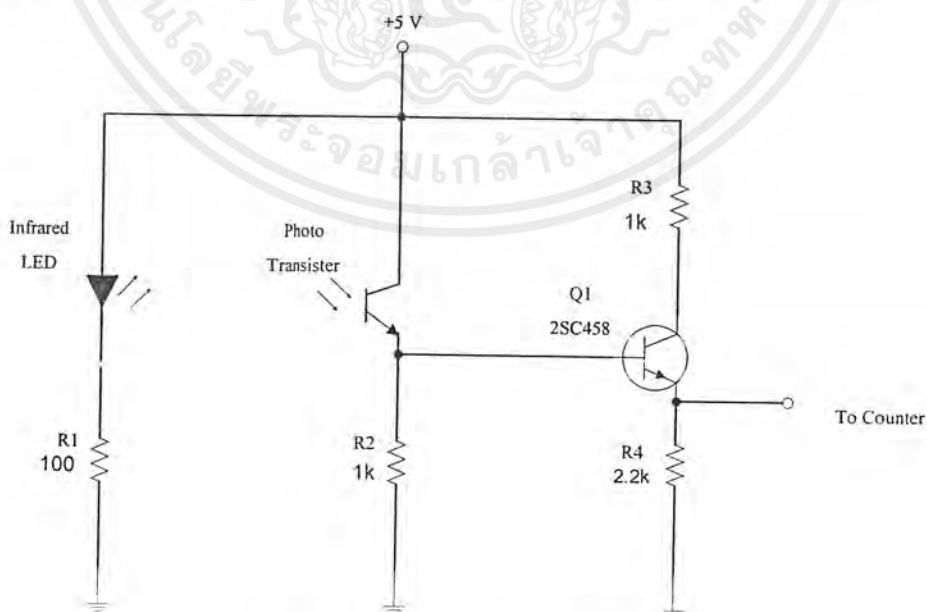
4. ประตูลิขิตอินพุต เป็นส่วนจ่ายเหรียญไปยังช่องเก็บเหรียญต่างๆ ซึ่งการทำงานถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ภาคตรวจสอบแยกชนิดของธนบัตร ซึ่งการทำงานใช้การวัดขนาดที่แตกต่างกันของแต่ละธนบัตร
6. ภาคจ่ายเหรียญเป็นส่วนจ่ายเหรียญไปยังเข้าที่พุก โดยการควบคุมการทำงานของสตีปปีงมอเตอร์

3.2 การออกแบบวงจร

3.2.1 ภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ

1) วงจรตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด การออกแบบวงจรจะใช้ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด และโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวส่งและรับสัญญาณตามลำดับ โดยมีหลักการทำงานคือ ในขณะที่ไม่มีเหรียญผ่านเข้ามา เอาต์พุตที่ขาอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ จะมีสถานะเป็น “1” จนกว่าจะมีเหรียญผ่านเข้ามาจึงจะเปลี่ยนสถานะเป็น “0” ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ Q₁ เป็นตัวขยายกระแส

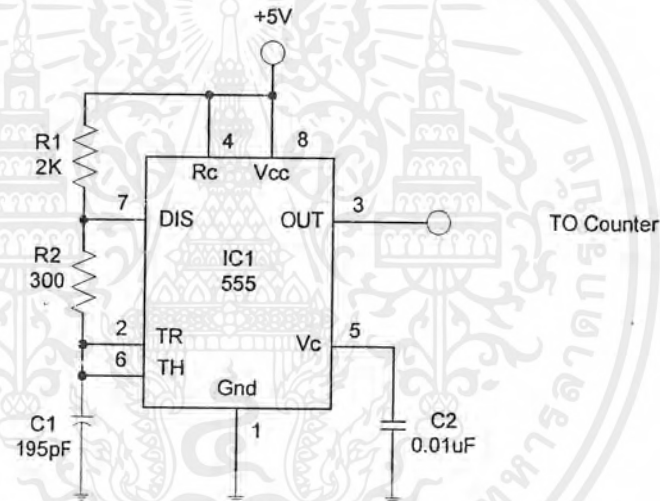
วงจรตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรดจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ชุด คือ ชุดแรกจะติดอยู่ที่ด้านบนของรางเหรียญ ใช้สำหรับตรวจสอบว่ามีเหรียญผ่านเข้ามาแล้วหรือยัง เพื่อส่งสัญญาณไปรีเซ็ตวงจรนับให้เริ่มนับจากค่า 0000H ส่วน 2 ชุดที่เหลือจะใช้ในการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญโดยแยกเป็นชุดที่ใช้ตรวจสอบเหรียญ 5, 10 บาทและชุดที่ใช้ตรวจสอบเหรียญ 1, 0.5 บาท ตามลำดับ



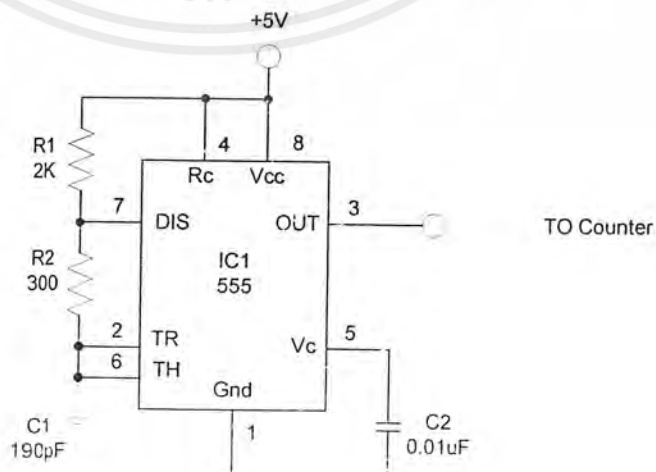
รูปที่ 3.2 วงจรตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จากวงจรในรูปที่ 3.3 ใช้ไอซีเบอร์ 555 ทำการกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อเป็นสัญญาณให้กับวงจรรนับ การทำงานของวงจร จะต้องทำการต่อขาอินพุทของวงจรถียบเทียบแรงดันทั้ง 2 ชุดคร่อมกัน คือ ขา 2 และขา 6 ขณะ C_1 ทำการประจุแรงดันเพิ่มขึ้นถึง $2/3$ ของแรงดันแหล่งจ่าย เอาต์พุทที่ขา 3 จะเป็นลอจิก “0” ทำให้ C_1 คายประจุผ่าน R_2 และ Q_{14} ภายในไอซี แรงดันตกคร่อม C_1 จะลดลงมาถึง $1/3$ ของแรงดันแหล่งจ่าย วงจรควบคุมจะบังคับให้อาต์พุทที่ขา 3 เป็นลอจิก “1” ทันที และ C_1 จะเริ่มประจุแรงดันอีกจนถึง $2/3$ ของแรงดันแหล่งจ่าย เอาต์พุทก็จะเปลี่ยนเป็น “0” และทำงานสลับกันไปมาอย่างนี้เรื่อยๆ เราสามารถควบคุมให้วงจรทำงานหรือหยุดทำงานได้โดยควบคุมที่ขา 4 (ขารีเซ็ต) ถ้าต่อขา 4 ลงกราวด์ วงจรจะไม่ทำงาน วงจรจะทำงานได้ต้องต่อขา 4 กับแรงดันไฟบวก หรือแรงดันที่มีสถานะเป็นลอจิก “1” เท่านั้น

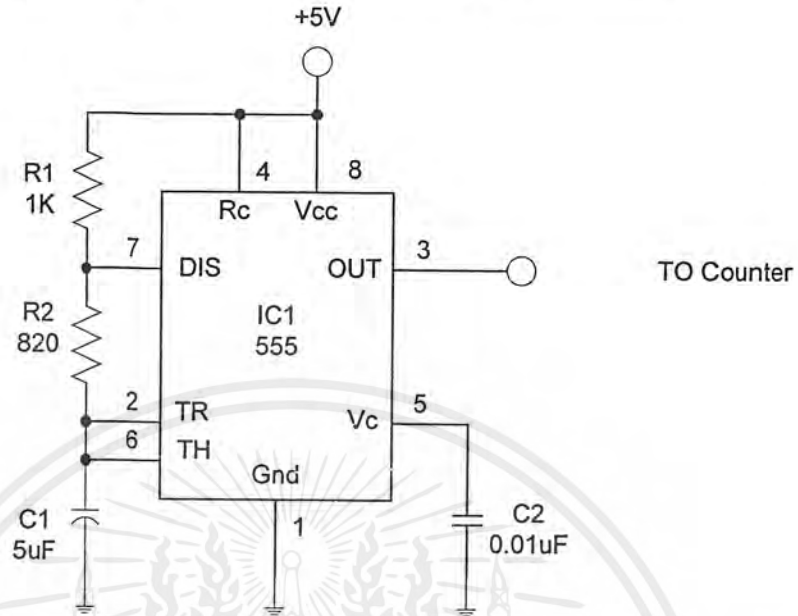


รูปที่ 3.3 (ก) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชุดอินฟาเรดสีแดง



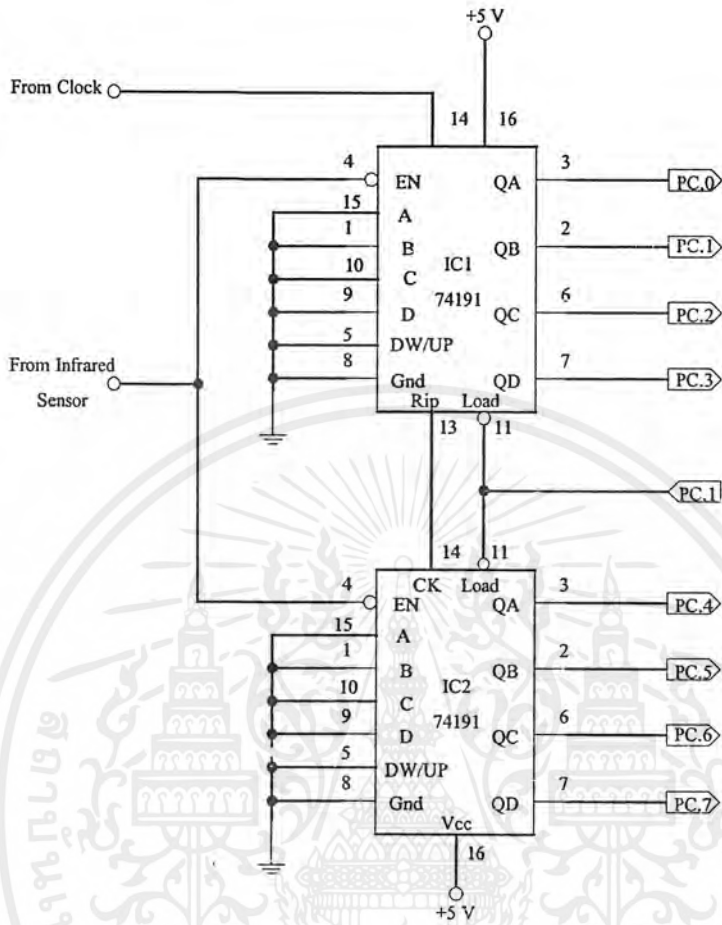
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 (ข) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชุดอินฟราเรดสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.3 (ค) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาชุดอินฟราเรดสำหรับชนบัตร

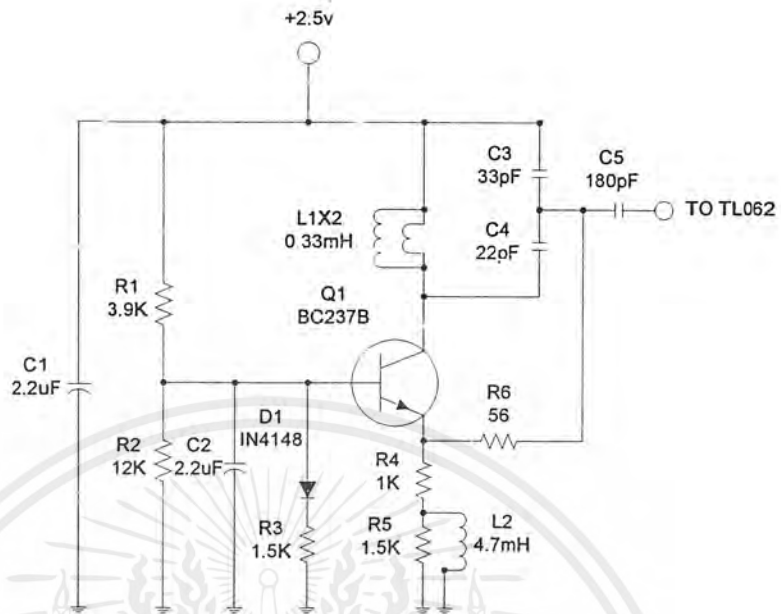
3) วงจรนับ ในรูปที่ 3.4 แสดงวงจรนับซึ่งในการใช้งานจะใช้วงจรนับ 2 ชุด ไอซีเบอร์ 74191 เป็นวงจรนับแบบเลขฐานสอง การทำงานของวงจร คือ เมื่อขา 4 ได้รับสัญญาณมาจากวงจรตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด เป็นลอจิก “0” วงจรก็จะเริ่มนับสัญญาณไปจนกว่าสัญญาณจะเปลี่ยนเป็นลอจิก “1” ก็จะหยุดนับ และจะส่งสัญญาณที่นับได้นี้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล เอาต์พุตของ วงจรนับจะมีขนาด 8 บิต โดยขา 11 ของไอซีของวงจรนับทั้ง 2 ชุดจะต่อกับพอร์ต PC1.4 และ PC1.5 ตามลำดับ เพื่อทำการโหลดข้อมูลจากขา Data Input ให้ส่งไปยังเอาต์พุต หรือเป็นการรีเซ็ตเมื่อขา Data Input เป็น 0



รูปที่ 3.4 วงจรนับ

3.2.2 ภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ

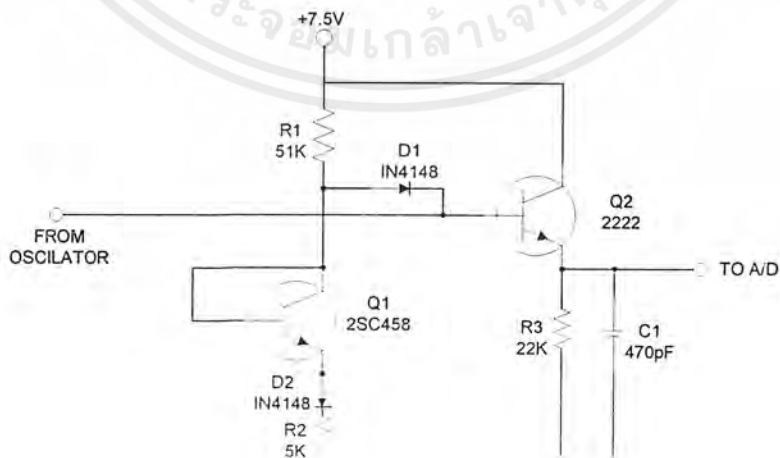
1. วงจรออสซิลเลเตอร์ จากวงจรในรูปที่ 3.5 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะได้รับไบแอสจากวงจร โดยการแบ่งแรงดันจากตัวต้านทาน R_1 และ R_2 เมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับการไบแอสก็จะทำให้เกิดกระแสไหลทางขาคอเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งกระแสที่ได้นี้จะไหลผ่านวงจรเทงค์ ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำที่พันอยู่บนแกนบ็อบบิ้น และตัวเก็บประจุ 2 ตัวที่ต่ออนุกรมกันอยู่ ซึ่งถ้าหากส่วนประกอบทั้งสองมีค่า X_L และ X_C เท่ากัน จะทำให้วงจรเกิดสถานะเรโซแนนซ์ขึ้นที่วงจรเทงค์ จากหลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์จะต้องมีการป้องกันสัญญาณจากเอาต์พุตเข้ามาทางอินพุต เพื่อให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งในวงจรนี้ใช้ตัวต้านทาน R_6 ในการป้องกันสัญญาณกลับมาทางอินพุต โดยใช้ตัวเก็บประจุ C_2 ในการดีคัปปลิ่งให้ทางอินพุตอีกทีหนึ่ง ซึ่งเมื่อวงจรทำงานตามหลักดังกล่าวแล้วก็จะทำให้วงจรออสซิลเลเตอร์ได้



รูปที่ 3.5 วงจรออสซิลเลเตอร์

เมื่อมีเหรียญเข้ามาในสนามของตัวตรวจจับ จะทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์สูงขึ้น ซึ่งถูกกำหนดโดยอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนแปลงไป เหรียญจะถูกดูดซับพลังงานจากวงจรเรโซแนนซ์ ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณลง และเกิด Reducing Voltage

2. วงจรเรกติไฟร์ จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณไซน์เวฟที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ทำการผลิตความถี่ 80 กิโลเฮิร์ตซ์ ให้เป็นแรงดันไฟตรง เพื่อป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณแบบแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรเรกติไฟร์แสดงดังรูปที่ 3.6

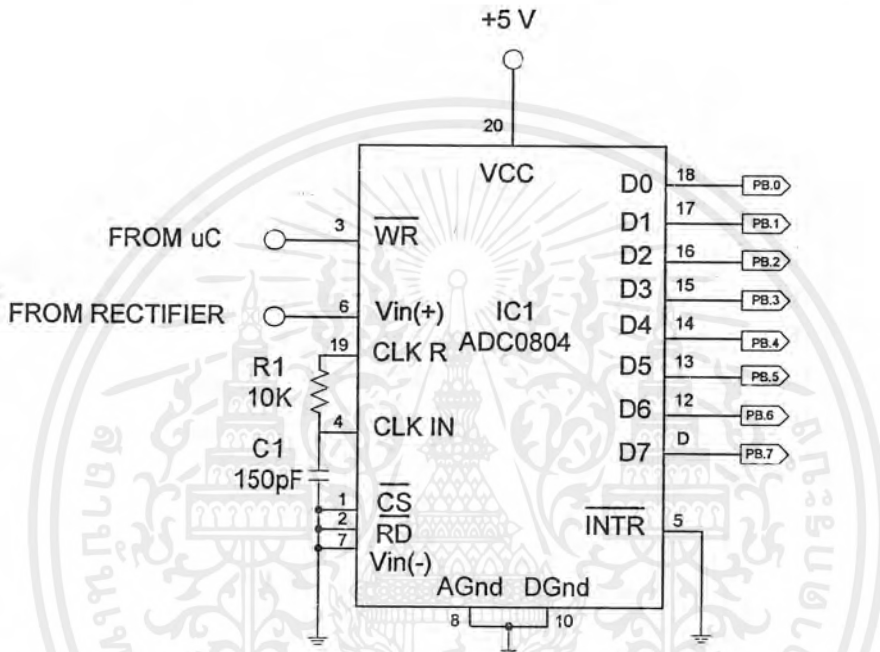


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรเรกติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กและวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

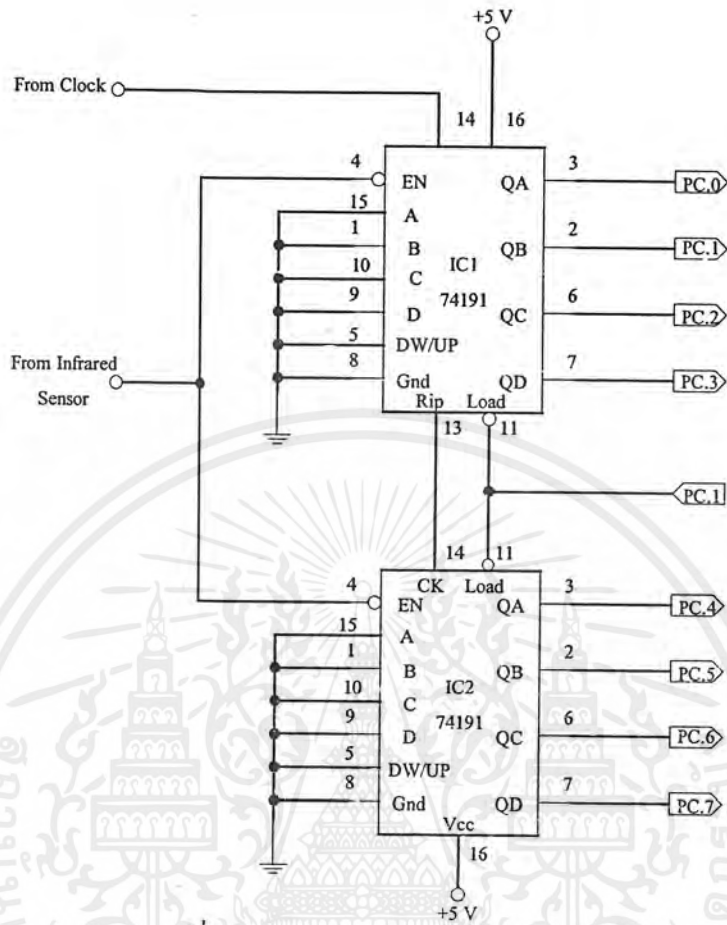
จากวงจรจะใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กที่ร่วมกับวงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน การทำงานของวงจรคือ เมื่อมีวัสดุสารเฟอร์ไรต์ ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กจะให้เอาต์พุตเป็นแรงดันกระแสตรงค่าหนึ่ง หลังจากได้รับการขยายจากวงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน แล้วจะทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC0804 จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ อินพุตเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 วงจรตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กและวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

3.2.4 ภาคตรวจสอบขนาดของธันบัต

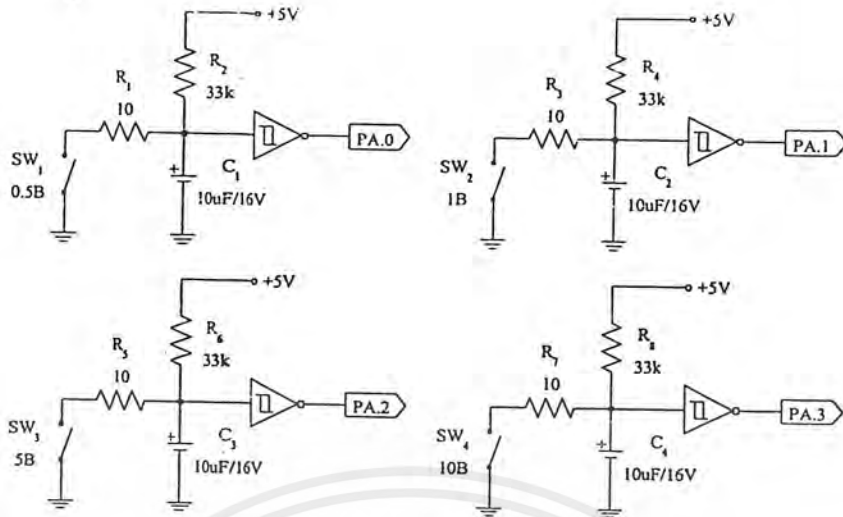
1. วงจรนับซึ่งใช้หลักการเดียวกับวงจรมับในภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญเป็นวงจรมับแบบเลขฐานสอง การทำงานของวงจรมับนี้ เมื่อขา 4 ได้รับสัญญาณมาจากวงจรตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด เป็นลอจิก “0” วงจรก็จะเริ่มนับสัญญาณไปจนกว่าสัญญาณจะเปลี่ยนเป็นลอจิก “1” ก็จะหยุดนับ และจะส่งสัญญาณที่นับได้นี้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล เอาต์พุตของวงจรมับก็จะมีขนาด 8 บิต โดยขา 11 ของ ไอซีจะต่อกับพอร์ต PC.0 ดังรูป 3.8 เพื่อทำการโหลดข้อมูลจากขา Data Input ให้ส่งไปยังเอาต์พุต โดยใช้พัลส์ลบ ซึ่งจะป้อนลอจิกเป็น “1”



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรนับของส่วนของธนบัตร

3.2.5 ภาคสวิทช์ควบคุมการเลือกเหรียญ

การทำงานของวงจรในรูปที่ 3.9 เป็นการต่อตัวเก็บประจุ 10 ไมโครฟารัดคร่อมหน้าสัมผัส เพื่อให้แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสเปลี่ยนแปลงทันทีไม่ได้ เมื่อเปิดสวิทช์ตัวเก็บประจุจะถูกเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน 33 กิโลโอห์ม ทำให้แรงดันที่อินพุตของเกตค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แม้จะมีการสั้นของหน้าสัมผัสก็ไม่มีผลต่อแรงดันมากนัก เมื่อปิดสวิทช์ ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านตัวต้านทาน 10 โอห์มไปที่สวิทช์ทันที แม้จะมีการสั้นของหน้าสัมผัสอีกก็ไม่มีผลทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงอีกเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม แรงดันที่อินพุตของเกตจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้าเพราะผลของตัวเก็บประจุ เราจึงนิยมใช้ไอซีที่เป็นสมิทซ์ทริกเกอร์ต่อรับสัญญาณเข้าจากสวิทช์



รูปที่ 3.9 วงจรภาคสวิตช์ควบคุมการเลือกเหรียญ

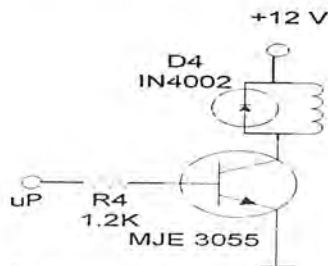
3.2.6 ภาคสวิตช์ตรวจสอบจำนวนเหรียญ

ภาคสวิตช์ตรวจสอบจำนวนเหรียญทำหน้าที่ตรวจสอบจำนวนเหรียญที่มีอยู่ในช่องเก็บเหรียญแต่ละอัน โดยจะต่อกับไมโครสวิตช์ซึ่งติดตั้งไว้ที่ด้านล่างของช่องเก็บเหรียญ ถ้าเหรียญใดเหรียญหนึ่งหมด ก็จะให้ไปจ่ายเหรียญถัดไปทันที ซึ่งจะใช้วงจรเดียวกับภาคสวิตช์ควบคุมการเลือกเหรียญ ดังรูปที่ 3.9

3.2.7 ภาคขับสเต็ปมอเตอร์

วงจรภาคขับสเต็ปมอเตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 4 วงจร สำหรับใช้จ่ายเหรียญแต่ละชนิด คือ เหรียญ 1 บาท , เหรียญ 5 บาท , เหรียญ 10 บาท

สเต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบยูนิโพลาร์ โดยการทำงานของวงจรจะป้อนลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กับชุดขับสเต็ปมอเตอร์ โดยเลือกใช้วงจรขยายแบบขั้วเดียวเนื่องจากสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ (VR) โดยวงจรที่ใช้แสดงดังรูป 3.10

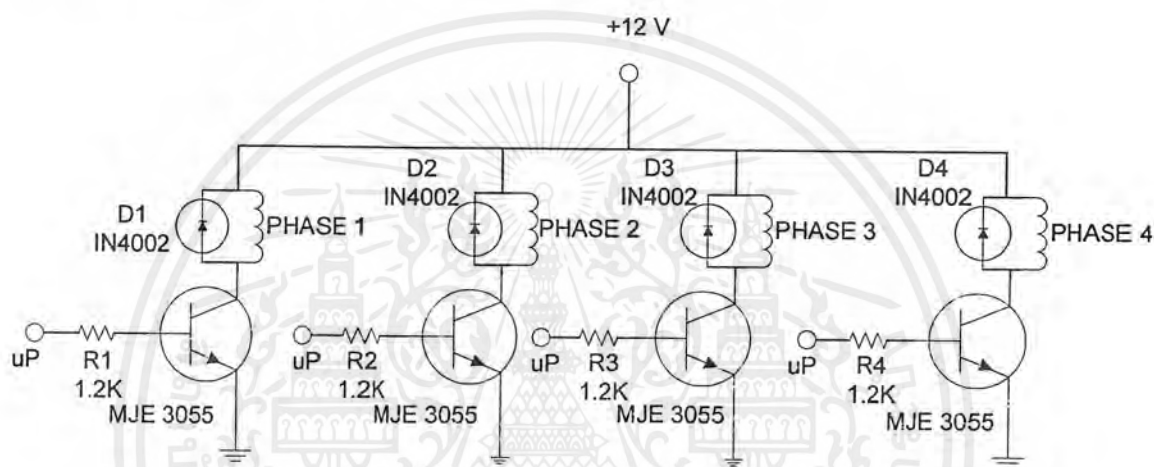


รูปที่ 3.10 แสดงวงจรขยายกระแสแบบขั้วเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

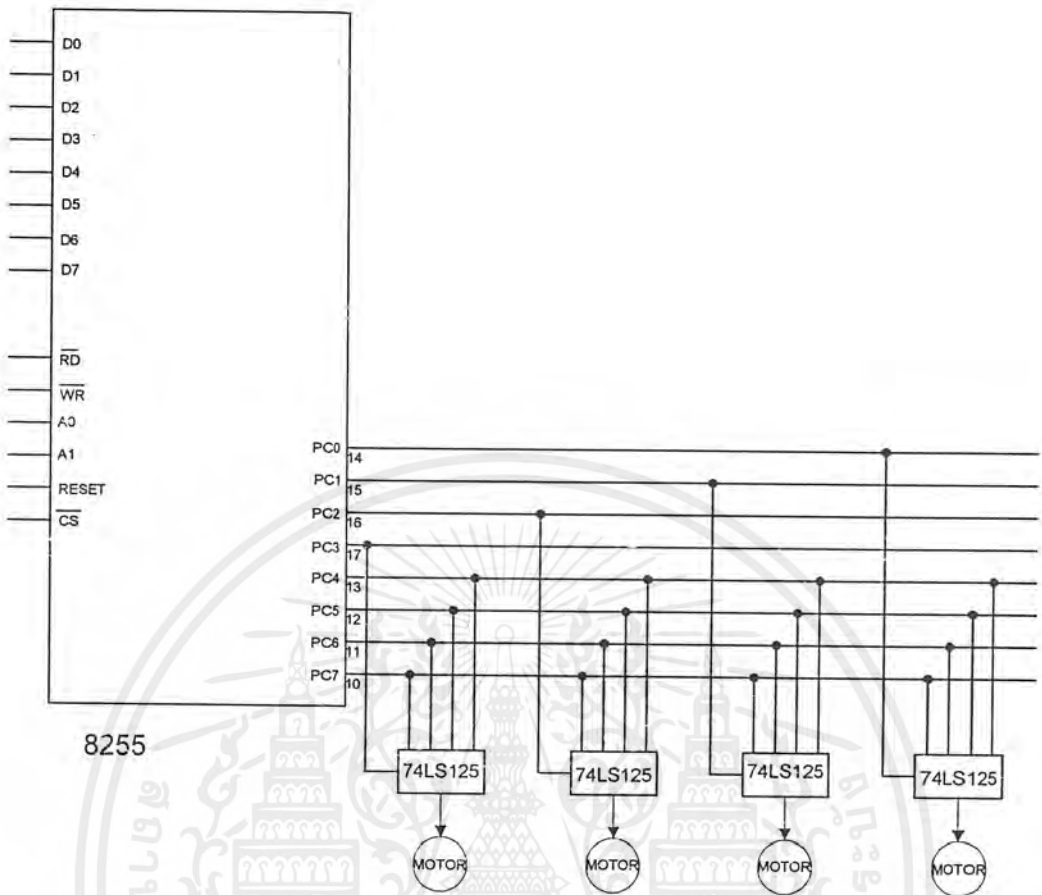
หลักการการทำงานของวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ (VR) ขนาด 4 เฟส ซึ่งจะต้องใช้ลำดับของสัญญาณทั้งหมด 4 สัญญาณในการขับให้มอเตอร์แต่ละตัวหมุนดังได้กล่าวมาแล้ว ในการเชื่อมต่อสเต็ปมอเตอร์กับคอมพิวเตอร์ได้นำสัญญาณผ่านพอร์ตซึ่งอยู่ในรูปไอซีเบอร์ 8255 โดยใช้สัญญาณจากพอร์ต B จำนวน 8 บิต มาขับมอเตอร์ ในการทำงานจริง ๆ ของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะต้องทำงานไปพร้อม ๆ กัน ดังนั้นจึงต้องต่อสัญญาณที่ได้มาจากพอร์ต B ทั้ง 8 บิต ให้กับมอเตอร์ทุกตัว โดยต่อมอเตอร์ขนานกันดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

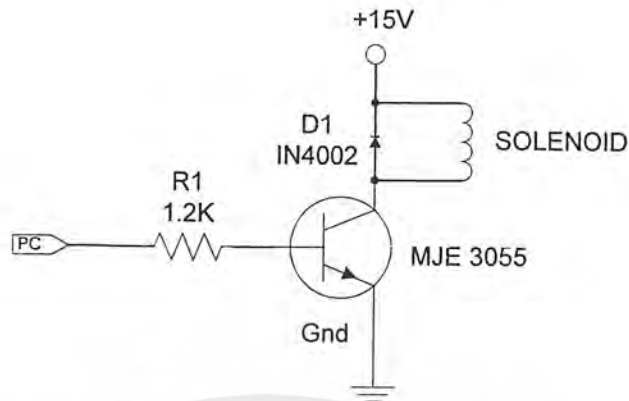
แต่ในความเป็นจริงมอเตอร์แต่ละตัวไม่หมุนในลักษณะเดียวกัน คืออาจจะหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกันและด้วยค่ามุมในการหมุนที่แตกต่างกัน ดังนั้นสัญญาณที่จะนำมาควบคุมก็จะต้องมีความแตกต่าง การนำมอเตอร์มาต่อขนานกับพอร์ต C หมดทุกตัวนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีความควบคุมสัญญาณให้ผ่านไปขับมอเตอร์แต่ละตัวโดยไม่ขึ้นต่อกันผ่านพอร์ต C เพียงหนึ่งพอร์ต ไอซีเบอร์ 74LS125 ซึ่งเป็นวงจรขับบัฟเฟอร์แบบสามสถานะ (Tri - state Buffer) จะต่อขนานกับสายสัญญาณที่มาจากพอร์ต C ของไอซี 8255 แล้วสัญญาณจึงจะส่งผ่านไปยังวงจรขับสเต็ปมอเตอร์แต่ละตัว โดยถ้าต้องการให้มอเตอร์ตัวใหม่ทำงานก็จะส่งสัญญาณไปอนุญาตให้ 74LS125 ผ่านสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับมอเตอร์ต่อไปดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ผ่านพอร์ต 8255

3.2.8 ภาคขับโซลินอยด์

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเหรียญที่ผ่านเข้ามาทางช่องรับเหรียญแล้ว เราจะต้องทำการควบคุมการเปิดปิดประตูเส้นทางเดินของเหรียญ โดยถ้าผลของการวิเคราะห์ออกมาว่าเหรียญที่ผ่านตัวตรวจจับเข้ามาเป็นเหรียญ 1 บาท , เหรียญ 5 บาท และ เหรียญ 10 บาท ให้ประตูเปิดเพื่อให้เหรียญเดินทางผ่านเข้าไปเก็บไว้ในช่องเก็บเหรียญ ถ้าหากผลการวิเคราะห์ออกมาว่าไม่ใช่เหรียญที่กำหนดไว้ หรือเป็นเหรียญปลอมให้ประตูเปิดอยู่ตำแหน่งเดิม เพื่อให้เหรียญวิ่งออกมาที่ช่องจ่ายเหรียญ

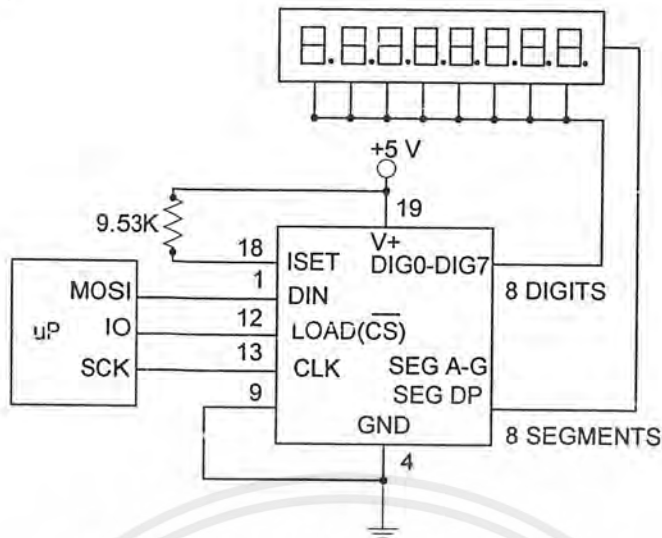


รูปที่ 3.13 แสดงวงจรภาคขับโซลินอยด์

วงจรในรูปที่ 3.13 เป็นวงจรภาคขับโซลินอยด์ จะใช้ทรานซิสเตอร์ MJE3055 ซึ่งเป็น ตัวขับกระแสที่จ่ายให้โซลินอยด์ โซลินอยด์ที่ใช้มีขนาด 15 โวลต์ เนื่องจากมีแรงผลักมากพอและหาซื้อได้ง่าย ส่วนไดโอดเบอร์ IN4002 ที่ต่อขนานกับโซลินอยด์มีไว้เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์เสียหาย อันเนื่องมาจากกระแสป้อนกลับซึ่งมีค่ามาก ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กหัดตัว คัดขจัดเวลาเมื่อหยุดจ่ายกระแสให้มอเตอร์ กระแสป้อนกลับนี้จะผ่านไดโอดแล้วไปครบวงจรที่ขดลวด ถ้าไม่มีไดโอดตัวนี้ กระแสป้อนกลับซึ่งมีค่ามากจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ ทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้

3.2.9 ภาคประมวลผล

ในส่วนของภาคประมวลผลทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องแลกเทรียอู้อัตโนมติ โดยใช้จอแสดงผลแบบ 7-segment ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ MAX7219 หรือ MAX7221 และใช้โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีเป็นโปรแกรมควบคุมขั้นตอนการทำงานของวงจร ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงถึงวงจรแสดงผลแบบ 7-segment

3.2.10 ภาคแสดงผลแบบ 7-segment

ภาคแสดงผลแบบ 7-segment ใช้สำหรับแสดงค่าจำนวนเงินที่รับเข้าไป โดยแสดงผลตัวเลขได้ 4 หลัก ซึ่งการทำงานของไอซี MAX7219 หรือ MAX7221 จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียง 3 บิต โดยรับสัญญาณคล็อกจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งข้อมูลแบบอนุกรม

3.2.11 ภาคจ่ายไฟ

การออกแบบภาคจ่ายไฟ ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้กับวงจรในส่วนต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติ ซึ่งมีการทำงานดังนี้

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้ามาทางด้านขดปฐมภูมิ หม้อแปลงจะเกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้มีแรงดันออกทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลง เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่า 12-0 โวลต์ เมื่อผ่านวงจรเร็กทูลิเตอร์ โดยใช้ไอซีเร็กทูลิเตอร์เบอร์ 7812 จะได้แรงดันไฟตรงค่า +12 โวลต์ ซึ่งให้แอสสูงสุด 1 แอมป์ สามารถทำการขยายให้มีกระแสสูงขึ้นได้ โดยทำการต่อทรานซิสเตอร์ TIP2955 เพื่อขยายกระแส เพื่อป้อนให้กับวงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์ แรงดันไฟตรง +12 โวลต์ และอีกส่วนหนึ่งจะผ่านวงจรเร็กทูลิเตอร์ โดยใช้ไอซีเร็กทูลิเตอร์เบอร์ 7805 จะได้แรงดันไฟตรงค่า +5 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล วงจรนับ วงจรบัพเฟอร์ วงจรเรคคิไฟล์ และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และอีกส่วนหนึ่งแรงดันไฟตรงค่า +2.5 โวลต์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ B237C เพื่อป้อนให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น Voltage Reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลองของวงจรในส่วนต่างๆ ของโครงการ เครื่องแลกเทรียอต์ โนมัตว่าทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยใช้เครื่องมือทำการตรวจสอบผลการทำงานในแต่ละส่วนของวงจรที่ได้สร้างขึ้น ได้แก่ การทดลองภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ การทดลองภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ รวมทั้งในส่วนของการทำงานของเครื่องแลกเทรียอต์ โนมัต

4.2 การทดลองภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ

การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองบันทึกค่าเอาต์พุตขนาด 8 บิต ของวงจรภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้บันทึกไว้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ผ่านเข้ามาใหม่ ขณะทำการหยอดเหรียญต่างๆ ถ้าตรงกับค่าหนึ่งค่าใดก็แสดงว่าเหรียญนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน

เอาต์พุตของภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญนั้น คือ เอาต์พุตที่ได้จากวงจรนับซึ่งมีขนาด 8 บิตทั้ง 2 ชุด ค่าที่ได้นี้จะถูกนำไปเข้าที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของ MCS-51 โดยเอาต์พุตนี้จะต่อกับ LED เพื่อแสดงสถานะการทำงาน โดยสามารถดูการทำงานของวงจรได้จาก LED₀-LED₁ ของทั้งสองชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ ให้กับวงจรภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ
2. ทำการต่อขา LOAD ที่ขา 11 ของไอซี 74191 เข้ากับไฟ +5 โวลต์
3. ทำการหยอดเหรียญ 10 บาท ผ่านตัวตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด สังเกตจำนวน LED ทั้งสองชุดที่ติด แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.1
4. ทำการเชื่อมต่อขา LOAD ของไอซี โดยต่อกับกราวด์ แล้วต่อกับไฟ +5 โวลต์ที่เดิม
5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และ 4 จนครบ 20 เหรียญ
6. ทำการเปลี่ยนเหรียญจากเหรียญ 10 บาท เป็นเหรียญ 5 บาท ทำการทดลองซ้ำ
7. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นเหรียญ 1 บาทและเหรียญ 50 สตางค์ แต่อ่านค่า LED ชุดแรก

ตารางที่ 4.1 เอาต์พุตของภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ

ครั้งที่	LED ชุดที่ 1			LED ชุดที่ 2		
	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 10 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 1 บาท
1	01000110	01000000	00110001	00110111	00110000	00011010
2	01000111	00111101	00101111	00111001	00110000	00010111
3	01000000	01000000	00110000	00110001	00110000	00010110
4	01000111	01000000	00110000	00111010	00110000	00010110
5	01000110	00111111	00101110	00110010	00110001	00010110
6	01001000	00111111	00110000	00111011	00110010	00010111
7	01001001	01000001	00101111	00111000	00110000	00010111
8	01000110	00111111	00101111	00111001	00101111	00010111
9	01000110	01000000	00101101	00111010	00110011	00010111
10	01000111	00111110	00110000	00111000	00110001	00011111

หมายเหตุ ตัวหนาเอียง คือ ค่าสูงสุดของ LED ในแต่ละชุดเหรียญ, ตัวเอียง คือ ค่าต่ำสุดของ LED ในแต่ละชุดเหรียญ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อทำการหยอดเหรียญ 10 บาท, 5 บาท และ 1 บาท จำนวนชนิดละ 20 เหรียญ ผ่านตัวตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรด ผลปรากฏว่า ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าแตกต่างกันระหว่างเหรียญต่างชนิดกัน คือ เหรียญ 10 บาท, 5 บาท และ 1 บาท แต่จะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างเหรียญชนิดเดียวกัน โดยค่าดังกล่าวมีช่วงกว้างไม่ซ้อนทับกัน ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้นี้ไปเขียนโปรแกรมได้ คือค่าจากอินฟราเรดชุดแรกจะทำการตรวจสอบเส้นผ่าศูนย์กลางของเหรียญ 1 บาท และเหรียญ 5 บาท โดยจะตรวจสอบว่า ขอบเขตของเหรียญที่เข้ามาอยู่ในช่วงระหว่าง ค่าต่ำสุดของเหรียญ 1 บาท และค่าต่ำสุดของเหรียญ 5 บาท ถ้าอยู่ในขอบเขตนี้ก็แสดงว่าเป็นเหรียญ 1 บาท แต่ถ้าไม่ได้อยู่ในขอบเขตดังกล่าว ก็ให้ตรวจสอบค่าชุดอินฟราเรดชุดที่ 2 ซึ่งจะแยกเหรียญ 5 บาท และเหรียญ 10 บาท ออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรตรวจจับความถี่ยว นำ

เอาต์พุทของภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญนั้น คือ เอาต์พุทที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งมีขนาด 8 บิต ค่าที่ได้นี้จะถูกนำไปเข้าที่พอร์ต PA1-PA7บนบอร์ด MCS-51 โดยจะต่อกับ LED เพื่อแสดงสถานะการทำงาน โดยสามารถดูการทำงานของวงจรได้จาก LED₀-LED₇

ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ต่อแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์ ให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กและวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชัน
- 2) สังเกตจำนวน LED ที่ติด ขณะยังไม่มีเหรียญผ่านตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก บันทึกผลลงในตารางที่ 4.4
- 3) ทำการหยอดเหรียญ 10 บาท ผ่านตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก สังเกตจำนวน LED ที่ติดแล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.4
- 4) ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นเหรียญ 5 บาท แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.4
- 5) ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นเหรียญ 1 บาท แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.4
- 6) ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นวัสดุสารเฟอร์ไรต์ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 เอาต์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เมื่อตรวจสอบขณะยังไม่มีเหรียญผ่าน มีเหรียญผ่านและวัสดุสารเฟอร์ไรต์

วัสดุที่ใช้ตรวจสอบ	LED ₇	LED ₆	LED ₅	LED ₄	LED ₃	LED ₂	LED ₁	LED ₀	ความถี่ (Hz)	Amplitude (Vpp)
-	1	0	1	1	1	0	0	1	94.3 k	0.525
เหรียญ 10 บาท	0	1	0	1	0	0	1	1	99.0 k	0.23
เหรียญ 5 บาท	1	0	0	0	0	0	1	1	101.6 k	0.26
เหรียญ 1 บาท	1	0	0	1	0	1	1	1	105.3 k	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าระดับความเหนียวนำของแต่ละกรณี โดยพิจารณาจากแอลอีดี เมื่อเป็น 1 แสดงว่าสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในบิตนั้นมีระดับ 5 โวลต์ และเมื่อเป็น 0 แสดงว่าสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในบิตนั้นมีระดับ 0 โวลต์ สำหรับค่าความถี่และขนาดของสัญญาณจะวัดจากสัญญาณเอาต์พุทของวงจรเรกติไฟร์ โดยใช้ออสซิลโลสโคป

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในขณะที่ยังไม่มีเหรียญ และเมื่อทำการหยอดเหรียญ 10 บาท, 5 บาท และ 1 บาท ผ่านตัวตรวจจับแบบความเหนียวนำ ผลปรากฏว่า ค่าที่ได้จากการทดลองของเอาต์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเหรียญทำจากวัสดุที่ไม่ใช่สารเฟอร์ไรต์ ดังนั้นตัวตรวจจับแบบความเหนียวนำ จะไม่สามารถทำการตรวจจับเหรียญได้ แต่เมื่อใช้วัสดุสารเฟอร์ไรต์ในการทดลองจะพบว่า เอาต์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล มีค่าค่าหนึ่ง แสดงว่าสามารถทำการตรวจสอบได้ ดังนั้นตัวตรวจจับแบบความเหนียวนำ จะใช้ในการตรวจจับวัสดุที่ไม่ใช่เหรียญและมีส่วนประกอบของสารเฟอร์ไรต์

4.4 การทดลองการตรวจสอบการแยกชนิดของธนบัตร

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อวัดความยาวของธนบัตร โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการวัดขนาดของเหรียญ กล่าวคือ อาศัยการทำงานของส่งสัญญาณของชุดอินฟาเรด โดยมีการดูธนบัตรเข้าโดยใช้หลักการของสเต็มปีงมอเตอร์และลูกกลิ้ง

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- 1) ทำการใส่ธนบัตรราคา 20 บาทเข้าสู่ส่วนรับธนบัตรของเครื่อง เครื่องจะทำการดูธนบัตรโดยอัตโนมัติ
- 2) รอจนกระทั่งธนบัตรถูกดูผ่านชุดอินฟาเรดไปแล้ว สังเกตและบันทึกค่าแอลอีดี 8 บิตจากวงจรนับ
- 3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และข้อ 2 แต่เปลี่ยนธนบัตรจากราคา 20 บาท เป็น 50 และ 100 บาทตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เวกต์พู่ทของวงจรรันบัที่ใช้ตรวจสอบธนบัตร

ครั้งที่	ธนบัตรราคา 100 บาท	ธนบัตรราคา 50 บาท	ธนบัตรราคา 20 บาท
1	10001110	<i>10000100</i>	01001110
2	10001000	<i>01110000</i>	01010010
3	10001100	01111100	01010000
4	<i>10000101</i>	01111100	<i>01001000</i>
5	10001000	01110101	01001100
6	10001110	01111010	01010001
7	<i>10010101</i>	01110010	<i>01011101</i>
8	10000101	01111001	<i>01001000</i>
9	10001011	01111000	01010000
10	10000101	01111011	01010101

หมายเหตุ ตัวหนาเอียง คือ ค่าสูงสุดของ LED ในแต่ละชุดเหรียญ, ตัวเอียง คือ ค่าต่ำสุดของ LED ในแต่ละชุดเหรียญ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เราสามารถแยกขนาดของธนบัตรตามความยาวของธนบัตรได้ พิจารณาได้จากค่าขนาดความยาวที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.3 โดยธนบัตรค่าเร้นจ์ต่ำสุดของราคา 100 บาท (10000101) จะสูงกว่าค่าเร้นจ์สูงสุดของธนบัตรราคา 50 บาท(10000100) และค่าเร้นจ์ต่ำสุดของราคา 50 บาท (01110000) จะสูงกว่าค่าเร้นจ์สูงสุดของธนบัตรราคา 20 บาท (01011101) ทำให้เราสามารถแยกชนิดของธนบัตรตามขนาดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

4.5 การทดลองการแยกเหรียญและการเก็บเหรียญ

การแยกเหรียญที่ถูกค้อง เครื่องแลกเปลี่ยนเหรียญอัตโนมัติจะสามารถทำการตรวจสอบและแยกเหรียญที่ทำการหยอดไปสู่ช่องแยกเหรียญตามชนิดของเหรียญ และแยกวัสดุที่ไม่ใช่เหรียญออกจากช่องคืนเหรียญ

ลำดับขั้นการทดลอง

การทดลองในส่วนนี้ เป็นการทดลองการทำงานของภาคตรวจสอบเหรียญทั้ง 2 ชนิด คือ ภาคตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ และภาคตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ ทำการทดลองโดยหยอดเหรียญ 10 บาท, 5 บาท และ 1 บาท จำนวนชนิดละ 10 ครั้ง โดยใช้เหรียญเดิมทุกครั้งที่ทำ การทดลอง เพื่อดูว่าเครื่องสามารถทำการตรวจสอบและแยกเหรียญได้ชนิดละกี่เหรียญ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการแยกเหรียญและการเก็บเหรียญ

ครั้งที่	เหรียญ 1 บาท	เหรียญ 5 บาท	เหรียญ 10 บาท
1	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
2	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
6	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
7	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
8	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
9	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
10	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง (%)	100	100	80

หมายเหตุ จากตารางผลการทดลอง “ผ่าน” หมายถึง สามารถแยกเหรียญและเก็บเข้าสู่ท่อเก็บเหรียญได้ถูกต้อง “ไม่ผ่าน” หมายถึงไม่สามารถแยกและเก็บเหรียญได้ และเหรียญย้อนกลับออกสู่ช่องรับเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะพบว่า เหรียญ 1 บาท และเหรียญ 5 บาทสามารถแยกและเก็บเข้าสู่ช่องเก็บเหรียญได้ถูกต้อง 100% แต่เหรียญ 10 บาทจะสามารถแยกและเก็บได้ถูกต้องคิดเป็น 80% ซึ่งจะมี 2 ครั้งที่เหรียญ 10 บาทไม่สามารถแยกและเก็บเข้าสู่ท่อเก็บเหรียญ แต่จะออกทางช่องรับเหรียญ เพื่อให้ทำการหยอดเหรียญใหม่ ซึ่งอาจจะเกิดจากการหยอดทั้งสองครั้งนั้นมีการวัดค่าความเหนียวนาและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผิดพลาดจากที่ทำการกำหนดไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

4.6 การทดลองทำการแลกเหรียญ

เป็นการทดสอบการเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ ว่าสามารถที่จะทำการแยกเหรียญ และจ่ายเหรียญตามความต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำหรือไม่

ลำดับขั้นการทดลอง

- 1) ทำการหยอดเหรียญราคา 1 บาท จำนวน 3 เหรียญ เข้าสู่เครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติ
- 2) กดสวิตช์เลือกเหรียญที่ต้องการ โดยกดสวิตช์เหรียญ 1 บาท
- 3) สังเกตและบันทึกผลจำนวนและชนิดเหรียญที่ได้รับ
- 4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนจำนวนเงินที่หยอด และสวิตช์เลือกเหรียญใหม่ดังตาราง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการแลกเหรียญ

จำนวนเงิน (บาท)	เหรียญที่เลือก (บาท)			จำนวนและชนิดเหรียญที่ได้รับ		
	1	5	10	1	5	10
3	✓			3	-	-
6			✓	1	2	-
10		✓		-	2	-
13			✓	3	-	1
19			✓	4	1	1

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า สามารถทำการแลกเหรียญได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนโมติในส่วนของ การตรวจสอบเหรียญประกอบด้วยวงจรส่วนหลักๆ 5 ส่วนดังนี้

1. วงจรตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ
2. วงจรตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง
3. วงจรควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์
4. วงจรตรวจสอบขนาดของธนบัตร
5. วงจรจ่ายเหรียญ

วงจรในแต่ละส่วนสามารถสรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1.1 วงจรตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ

จากการทดสอบเอาต์พุตจากตัวตรวจจับความเหนียวน่าเป็นแรงดันกระแสตรงที่มีค่าต่ำ และมีสัญญาณรบกวนสูง จึงต้องนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาเข้าวงจรขยายอินสตรูเมนต์ชัน เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดสูงขึ้นและขนาดสัญญาณรบกวนน้อยลง จากนั้นนำสัญญาณไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วนำสัญญาณไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป

จากการทดลองจะพบว่า ตัวตรวจจับวัสดุที่ใช้ทำเหรียญจะตรวจสอบเหรียญจะให้ค่าของสัญญาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเหรียญที่รับเข้ามา โดยค่าที่แตกต่างกันนี้ สามารถนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบว่าสัญญาณใดเป็นเหรียญจริงหรือเหรียญปลอมได้

5.1.2 วงจรตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางการติดตั้งชุดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด

จากการทดสอบพบว่าวงจรตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางชุดแรกจะทำการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญ 1 บาท กับเหรียญ 5 บาทได้ โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับช่วงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้กำหนดไว้ สำหรับเหรียญ 10 บาท และเหรียญ 5 บาท จะทำการตรวจสอบขนาดจากวงจรตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางชุดที่สอง ในลักษณะเช่นเดียวกับข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหยอดเหรียญแต่ละเหรียญนั้น ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้ในการหยอดแต่ละครั้งมีเสถียรภาพต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะราง, ลักษณะการหยอดเหรียญที่แตกต่างกัน

5.1.3 วงจรควบคุม (ไมโครคอนโทรลเลอร์)

จะทำหน้าที่ในการประมวลผลตามโปรแกรม เพื่อทำการตรวจสอบชนิดของเหรียญได้ และมีการแสดงผลโดยใช้ 7-segment เพื่อแสดงลักษณะของเหรียญที่ได้ทำการหยอดเข้ามา

5.1.4 วงจรตรวจสอบขนาดของธนบัตร

จากการทดลองพบว่าวงจรตรวจสอบขนาดของธนบัตร จะใช้วงจรนับซึ่งแสดงผลโดยชุดอินฟราเรด หรือชุดแอลอีดีซึ่งค่าของธนบัตรแต่ละชนิดจะให้ค่าแตกต่างกัน และสามารถนำค่านี้ไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแยกชนิดของธนบัตรต่อไป

5.1.5 วงจรจ่ายเหรียญ

จะประกอบไปด้วยสเต็ปปีงมอเตอร์ 3 ตัว วงจรขับเคลื่อนสเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแต่ละมอเตอร์ จะควบคุมในแต่ละเหรียญ เช่น ตัวที่ 1 ควบคุมการจ่ายของเหรียญ 1 บาท เป็นต้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการออกแบบสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติในส่วนของการตรวจสอบเหรียญ

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการออกแบบสร้างเครื่องแลกเหรียญอัตโนมัติในส่วนของการตรวจสอบเหรียญ มีดังนี้

5.2.1 ในการออกแบบสร้างรางที่ให้เหรียญผ่าน

ในการออกแบบสร้างรางที่ให้เหรียญผ่าน ส่งผลให้การตรวจเหรียญมีประสิทธิภาพต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างโดยมิได้อาศัยเครื่องจักรในการสร้าง ทำให้ลักษณะของรางไม่เรียบ รวมถึงองศาการเอียงของราง ซึ่งต้องออกแบบให้เหมาะสม จึงจะทำการตรวจสอบเหรียญได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2 การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ

สำหรับการตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำเหรียญ โดยใช้ตัวตรวจจับความเหนียวนำจำเป็นจะต้องวางตัวตรวจจับให้ใกล้กับวัสดุที่ทำการตรวจสอบจึงจะทำการตรวจสอบได้อย่างละเอียด จึงเกิดปัญหาในการออกแบบและติดตั้งตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กนี้

5.2.3 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมจะต้องทำการศึกษา ค้นคว้าเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างละเอียด ซึ่งต้องอาศัยเวลาในการศึกษาและทดลองจนเกิดความชำนาญ

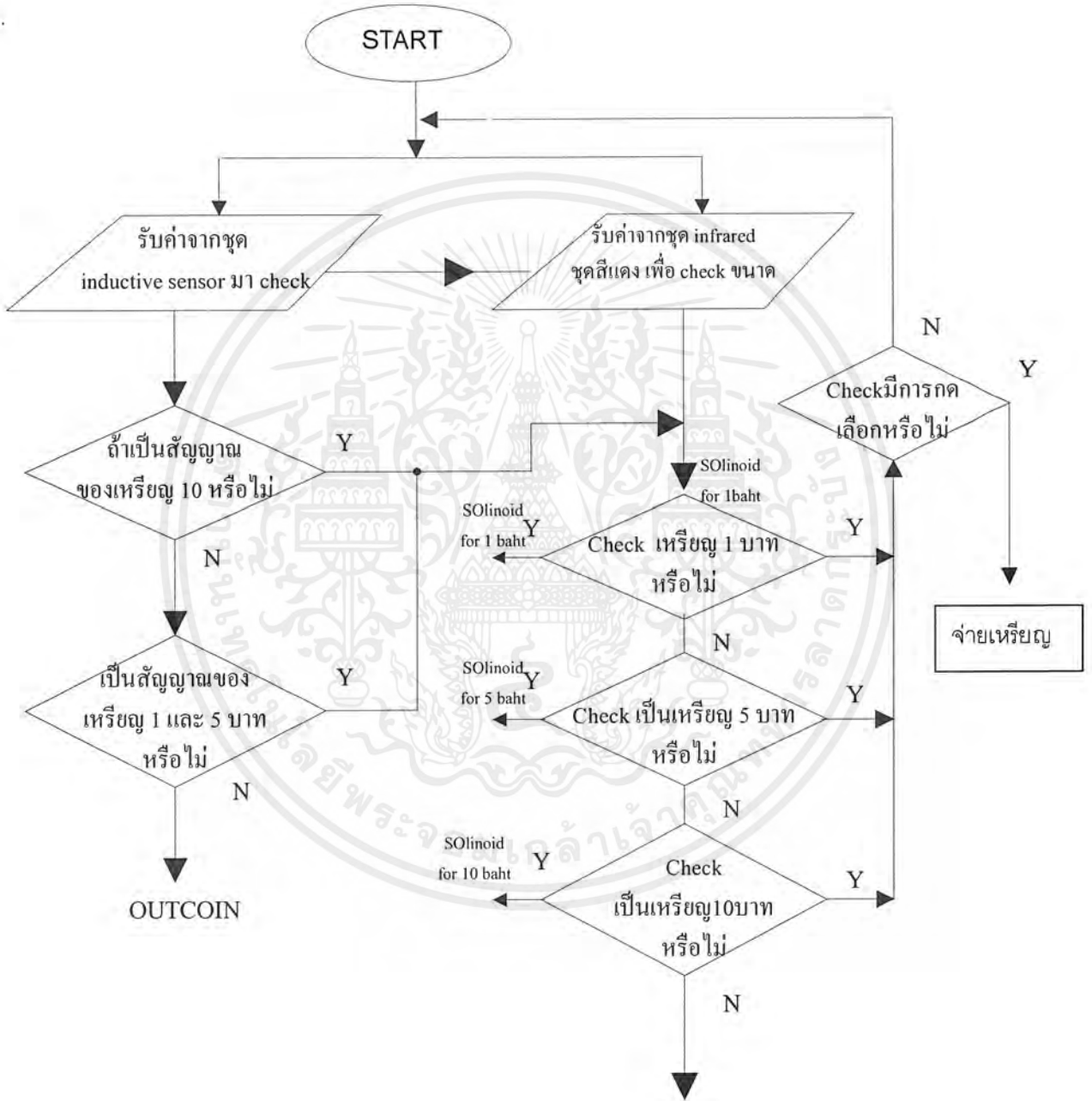
5.2.4 การตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำธนบัตร

สำหรับการตรวจสอบวัสดุที่ใช้ธนบัตร สำหรับโครงการนี้ ส่วนการตรวจสอบธนบัตรจริงหรือปลอมไม่ได้ทำการติดตั้ง เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบได้อย่างแม่นยำ จึงได้แสดงเฉพาะการตรวจสอบขนาดธนบัตรเท่านั้น ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าธนบัตรที่นำมาใช้แลกเปลี่ยนเป็นธนบัตรจริงหรือไม่

5.3 แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงโครงการ

สำหรับโครงการนี้สามารถนำไปเป็นต้นแบบ เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัติที่สามารถตรวจสอบชนิดของเหรียญ และชนิดของธนบัตรที่มีความถูกต้องสูง สำหรับในชุดของภาคตรวจสอบเหรียญควรจะทำวงจรภาคตรวจสอบความหนาของเหรียญ และน้ำหนักเพื่อประสิทธิภาพในการตรวจสอบเหรียญที่แม่นยำขึ้น สำหรับส่วนจ่ายเหรียญควรที่จะเพิ่มจำนวนของเหรียญที่ใช้แลกเปลี่ยนมากขึ้น เพื่อตอบสนองกับการให้บริการ สำหรับการตรวจสอบธนบัตรว่าเป็นของจริงหรือไม่ ควรจะทำการศึกษา ค้นคว้า วิธีตรวจสอบธนบัตร ที่มีความละเอียดสูงที่สามารถใช้ได้ในอนาคต

FLOW CHART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MXCLK	EQU P2.0
MXLDB	EQU P2.1
MXDAT	EQU P2.2
MIN10	EQU 40H
MINRED	EQU 41H
DIG0	EQU 42H
DIG1	EQU 43H
DIG2	EQU 44H
DIG3	EQU 45H
SUM	EQU 46H
IND1A	EQU 53H
IND1B	EQU 54H
IND5A	EQU 55H
IND5B	EQU 56H
IND10A	EQU 57H
IND10B	EQU 58H
IND	EQU 59H

*****START*****

; PROGRAM

```

ORG      0200H
ACALL   DELAY3
ACALL   SETMAX
ACALL   P8255_1      ;SET CONTROL WORD
ACALL   DELAY3
MOV     DPTR,#0003H
MOV     A,#9BH
MOVX   @DPTR,A
ACALL   P8255_2      ;SET CONTROL WORD
ACALL   DELAY3
MOV     DPTR,#0003H
MOV     A,#99H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX    @DPTR,A
ACALL   P8255_3    ;SET CONTROL WORD
ACALL   DELAY3
MOV     DPTR,#0003H
MOV     A,#90H
MOVX    @DPTR,A
;*****SET*****
;   COINS REFERANCE VALUE
;*****
MOV     MIN10,#01000000B
MOV     MINRED,#00111101B
MOV     IND1A,#01101100B
MOV     IND5B,#01111111B
MOV     IND10A,#00110001B
MOV     IND10B,#01000010B
MOV     DIG0,#00H
MOV     DIG1,#00H
MOV     DIG2,#00H
MOV     DIG3,#00H
LJMP   DISPLAY
MOV     SUM,#00H
SETB   P1.5
ACALL  DELAY
CLR    P1.5
CHECK: MOV  SUM,#00H
ACALL  P8255_2
MOV    DPTR,#0002H
MOVX   A,@DPTR
JB     ACC.0,CHECK
COIN:  CLR  P1.6
CLR    P1.7
SETB   P1.6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    DELAY12
SETB    P1.7
SETB    P1.5
ACALL    DELAY3
CLR     P1.5
ACALL    DELAY
ACALL    P8255_1
MOV     DPTR,#0000H
MOVBX   A,@DPTR
MOV     IND,A
MOV     R1,IND10A
MOV     A,IND
CLR     C
SUBB    A,R1
JC      OUTCOINP
MOV     A,IND
MOV     R1,IND10B
CLR     C
SUBB    A,R1
JC      SIZE10
MOV     R1,IND1A
MOV     A,IND
CLR     C
SUBB    A,R1
JC      OUTCOINP
MOV     A,IND
MOV     R1,IND5B
CLR     C
SUBB    A,R1
JC      SIZE1_5
OUTCOINP: LJMP OUTCOIN
SW1:    LJMP  CHOOSE1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SW5: LJMP CHOOSE5
SW10: LJMP CHOOSE10
```

```
SIZE1_5: ACALL P8255_3
```

```
MOV DPTR,#0001H
```

```
MOV A,#00000001B
```

```
MOVBX @DPTR,A
```

```
CLR P1.6
```

```
CLR P1.7
```

```
SETB P1.6
```

```
SETB P1.7
```

```
WAIT0: ACALL P8255_2
```

```
MOV DPTR,#0002H
```

```
MOVBX A,@DPTR
```

```
JB ACC.2,WAIT0
```

```
WAIT1: ACALL P8255_2
```

```
MOV DPTR,#0002H
```

```
MOVBX A,@DPTR
```

```
JNB ACC.2,WAIT1
```

```
ACALL P8255_1
```

```
MOV DPTR,#0001H
```

```
MOVBX A,@DPTR
```

```
MOV R0,A ;LOAD DATA FROM INFARED 1
```

```
MOV R1,MINRED
```

```
CLR C
```

```
SUBB A,R1
```

```
JC OUT11 ; IF A LESS THAN MINRED THEN C=1
```

```
LJMP OUT5
```

```
OUT11: LJMP OUT1
```

```
SIZE10: ACALL P8255_3
```

```
MOV DPTR,#0001H
```

```
MOV A,#00000001B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX    @DPTR,A
CLR     P1.6
CLR     P1.7
SETB    P1.6
SETB    P1.7

WAIT00: ACALL P8255_2
MOV     DPTR,#0002H
MOVX    A,@DPTR
JB      ACC.2,WAIT00

WAIT11: ACALL P8255_2
MOV     DPTR,#0002H
MOVX    A,@DPTR
JNB     ACC.2,WAIT11
ACALL   P8255_1
MOV     DPTR,#0001H
MOVX    A,@DPTR
MOV     R1,MIN10
CLR     C
SUBB   A,R1
JNC     OUT10      ; IF A LESS THAN MINRED THEN C=1
LJMP    OUTCOIN

```

```

;***** CONTROL *****
;

```

```

; SOLINOID DOOR
;*****

```

```

OUT10:  ACALL P8255_3
MOV     DPTR,#0001H
MOV     A,#0000110B
MOVX    @DPTR,A
ACALL   DELAY24
ACALL   P8255_3
MOV     DPTR,#0001H
MOV     A,#00000000B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX    @DPTR,A
ACALL   P8255_3
MOV     DPTR,#0002H

MOV     A,#0AH
ADD     A,SUM
MOV     SUM,A
MOVX    @DPTR,A
LJMP    CHECKK
LJMP    ADDER10
OUT5:   ACALL P8255_3
MOV     DPTR,#0001H
MOV     A,#00000010B
MOVX    @DPTR,A
ACALL   DELAY24
ACALL   P8255_3
MOV     DPTR,#0001H
MOV     A,#00000000B
MOVX    @DPTR,A
ACALL   P8255_3
MOV     DPTR,#0002H
MOV     A,#05H
ADD     A,SUM
MOV     SUM,A
MOVX    @DPTR,A

LJMP    CHECKK
LJMP    ADDER5
OUT1:   ACALL P8255_3
MOV     DPTR,#0001H
MOV     A,#00000000B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX    @DPTR,A
ACALL   P8255_3
MOV     DPTR,#0002H
MOV     A,#01H
ADD     A,SUM
MOV     SUM,A
MOVX    @DPTR,A
LJMP    CHECKK

```

```

LJMP    ADDER1

```

```

OUTCOIN: ACALL P8255_3

```

```

MOV     DPTR,#0001H

```

```

MOV     A,#00001111B

```

```

MOVX    @DPTR,A

```

```

ACALL   DELAY24

```

```

ACALL   P8255_3

```

```

MOV     DPTR,#0001H

```

```

MOV     A,#00000000B

```

```

MOVX    @DPTR,A

```

```

ACALL   P8255_3

```

```

MOV     DPTR,#0002H

```

```

MOV     A,#00H

```

```

ADD     A,SUM

```

```

MOV     SUM,A

```

```

MOVX    @DPTR,A

```

```

LJMP    CHECKK

```

```

CHECKK: ACALL P8255_2

```

```

MOV     DPTR,#0002H

```

```

MOVX    A,@DPTR

```

```

JNB     ACC.0,COIN1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    P8255_3
MOV      DPTR,#0000H
MOVX     A,@DPTR
JB       ACC.0,CHOOSE1
JB       ACC.1,CHOOSE5
JB       ACC.2,CHOOSE10
LJMP     CHECKK
COIN1:   LJMP COIN
CHOOSE1: ACALL P8255_2
MOV      DPTR,#0002H
MOVX     A,@DPTR
JB       ACC.3,NEXT

MOV      A,SUM
CLR      C
SUBB    A,#01H
JNC     MOTOR1
NEXT:    LJMP CHECK

MOTOR1: MOV  SUM,A
MOV      R0,#32H
LOOP1:  ACALL P8255_2
MOV      DPTR,#0001H
MOV      A,#00111110B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#01101110B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#11001110B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,#10011110B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
DJNZ     R0,LOOP1
MOV      A,#0FFH
MOVX     @DPTR,A
LJMP     CHOOSE1

```

```

CHOOSE5: ACALL P8255_2

```

```

MOV      DPTR,#0002H
MOVX     A,@DPTR
JB       ACC.4,CHOOSE1
MOV      A,SUM
CLR      C
SUBB     A,#05H
JNC      MOTOR5
LJMP     CHOOSE1
MOTOR5: MOV R0,#32H
MOV      SUM,A
LOOP5: ACALL P8255_2
MOV      DPTR,#0001H
MOV      A,#00111011B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#01101011B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#11001011B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#10011011B
MOVX     @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    DELAYM
DJNZ     R0,LOOP5
MOV      A,#0FFH
MOVX     @DPTR,A
LJMP     CHOOSE5
CHOOSE10: ACALL P8255_2
MOV      DPTR,#0002H
MOVX     A,@DPTR
JB       ACC.5,CHOOSE5
MOV      A,SUM
CLR      C
SUBB     A,#0AH
JNC      MOTOR10
LJMP     CHOOSE5

MOTOR10: MOV  R0,#32H
MOV      SUM,A
LOOP10:  ACALL P8255_2
MOV      DPTR,#0001H
MOV      A,#00110111B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#01100111B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#11000111B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
MOV      A,#10010111B
MOVX     @DPTR,A
ACALL    DELAYM
DJNZ     R0,LOOP10

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,#0FFH
MOVX    @DPTR,A
LJMP    CHOOSE10
;*****
;   SETTING FOR CHOOSE 8255
;*****

P8255_1: SETB  P1.1
        SETB   P1.2
        CLR    P1.0
        RET
P8255_2: SETB  P1.0
        SETB   P1.2
        CLR    P1.1
        RET
P8255_3: SETB  P1.0
        SETB   P1.1
        CLR    P1.2
        RET
;*****
;   SHOW NUMBER
;*****

DISPLAY: NOP
        MOV    R0,#01H
        MOV    R1,DIG0
        ACALL DIS
        MOV    R0,#02H
        MOV    R1,DIG1
        ACALL DIS
        MOV    R0,#03H
        MOV    R1,DIG2
        ACALL DIS
        MOV    R0,#04H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      R1,DIG3
ACALL   DIS
ACALL   DELAY
LJMP    check

;*****
;      SET MAX79121
;*****

SETMAX:  CLR  MXCLK
CLR      MXLDB
MOV      R0,#0FH
MOV      R1,#00H
ACALL   DIS
MOV      R0,#0CH
MOV      R1,#01H
ACALL   DIS
MOV      R0,#0BH
MOV      R1,#03H
ACALL   DIS
MOV      R0,#0AH
MOV      R1,#0CH
ACALL   DIS
MOV      R0,#09H
MOV      R1,#0FH
ACALL   DIS
RET

;*****SET*****
;      DISPLAY
;*****

DIS:    PUSH 0
        PUSH 1
        PUSH 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      R2,#8H
MOV      A,R0
X:       RLC A
MOV      MXDAT,C
ACALL   DELAY1
SETB    MXCLK
ACALL   DELAY1
CLR     MXCLK
ACALL   DELAY1
DJNZ    R2,X
ACALL   DELAY1
MOV      R2,#8H
MOV      A,R1
XX:     RLC A
MOV      MXDAT,C
ACALL   DELAY1
SETB    MXCLK
ACALL   DELAY1
CLR     MXCLK
DJNZ    R2,XX
SETB    MXLDB
ACALL   DELAY1
CLR     MXLDB
ACALL   DELAY1
POP     2
POP     1
POP     0
RET
DELAY1:  PUSH 0
PUSH    1
MOV     R0,#0FFH
MOV     R1,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

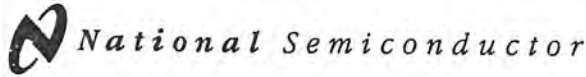
KK:      DJNZ R0, KK
KKK:     DJNZ R1, KKK
POP      1
POP      0
RET
DELAY:   MOV  R0, #0FFH
PP:      MOV  R1, #0FFH
PPP:     DJNZ R1, PPP
DJNZ     R0, PP
RET
DELAYM:  MOV  R1, #1FH
A0:      MOV  R2, #0FFH
A1:      DJNZ R2, A1
DJNZ     R1, A0
RET
DELAY3:  ACALL DELAY
ACALL    DELAY
ACALL    DELAY
RET
DELAY12: MOV  R0, #0CH
DEL12:   ACALL DELAY
DJNZ     R0, DEL12
RET
DELAY24: MOV  R0, #18H
DEL24:   ACALL DELAY
DJNZ     R0, DEL24
RET
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE[®] output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

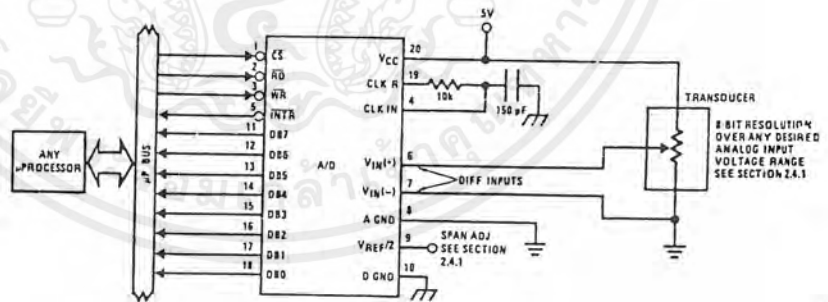
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC}, 2.5 V_{DC}, or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

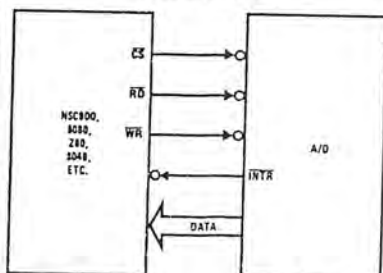
- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Typical Applications



TL/H/5671-1

8080 Interface



TL/H/5671-31

Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	V _{REF/2} = 2.500 V _{DC} (No Adjustments)	V _{REF/2} = No Connection (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		± 1 LSB	
ADC0805			± 1 LSB

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage (V _{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150
Package Dissipation at T _A = 25°C	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	80V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0801/02LJ, ADC0802LJ/883	-55°C ≤ T _A ≤ +125
ADC0801/02/03/04LCJ	-40°C ≤ T _A ≤ +85
ADC0801/02/03/051.CN	-40°C ≤ T _A ≤ +85
ADC0804LCN	0°C ≤ T _A ≤ +70
ADC0802/05/04LCV	0°C ≤ T _A ≤ +70
ADC0802/03/04LCWM	0°C ≤ T _A ≤ +70
Range of V _{CC}	4.5 V _{DC} to 6.3 V _{DC}

Electrical Characteristics

The following specifications apply for V_{CC} = 5 V_{DC}, T_{MIN} ≤ T_A ≤ T_{MAX} and f_{CLK} = 640 kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			± 1/4	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	V _{REF} /2 = 2.500 V _{DC}			± 1/2	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			± 1/2	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	V _{REF} /2 = 2.500 V _{DC}			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	V _{REF} /2-No Connection			± 1	LSB
V _{REF} /2 Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		kΩ kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	Gnd-0.05		V _{CC} + 0.05	V _{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		± 1/16	± 1/8	LSB
Power Supply Sensitivity	V _{CC} = 5 V _{DC} ± 10% Over Allowed V _{IN} (+) and V _{IN} (-) Voltage Range (Note 4)		± 1/16	± 1/8	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for V_{CC} = 5 V_{DC} and T_A = 25°C unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T _C	Conversion Time	f _{CLK} = 640 kHz (Note 6)	103		114	μs
T _C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	1/f _{CLK}
f _{CLK}	Clock Frequency Clock Duty Cycle	V _{CC} = 5V, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	INT _{TR} tied to WR with CS = 0 V _{DC} , f _{CLK} = 640 kHz	8770		9708	conv/s
t _{W(WR)}	Width of WR Input (Start Pulse Width)	CS = 0 V _{DC} (Note 7)	100			ns
t _{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid)	C _L = 100 pF		135	200	ns
t _{1H} , t _{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of RD to Hi-Z State)	C _L = 10 pF, R _L = 10k (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t _{WI} , t _{RI}	Delay from Falling Edge of WR or RD to Reset of INT _{TR}			300	450	ns
C _{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C _{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF

CONTROL INPUTS (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)

V _{IN} (1)	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	V _{CC} = 5.25 V _{DC}	2.0		15	V _{DC}
---------------------	---	--	-----	--	----	-----------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_{CC} = 5V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.8	V_{DC}
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 V_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 V_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
CLOCK IN AND CLOCK R						
V_{T+}	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O = 360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
DATA OUTPUTS AND INTR						
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4 0.4	V_{DC} V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	4.5			V_{DC}
I_{OUT}	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 V_{DC}$ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$	-3		3	μA_{DC} μA_{DC}
I_{SOURCE}		V_{OUT} Short to Gnd, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6		mA_{DC}
I_{SINK}		V_{OUT} Short to V_{CC} , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16		mA_{DC}
POWER SUPPLY						
I_{CC}	Supply Current (Includes Ladder Current) ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCV/LCWM	$f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF/2} = NC, T_A = 25^\circ C$ and $CS = 5V$			1.1 1.9	1.6 2.5 nA mA

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to Gnd and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: For $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{DC} to 5 V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.950 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 640 kHz$. At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

Note 7: The CS input is assumed to bracket the WR strobe input and therefore timing is dependent on the WR pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the WR pulse (see timing diagrams).

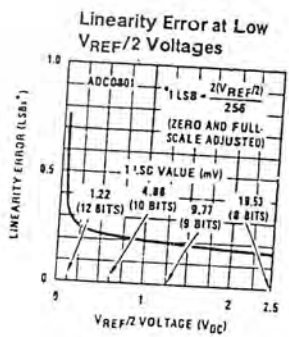
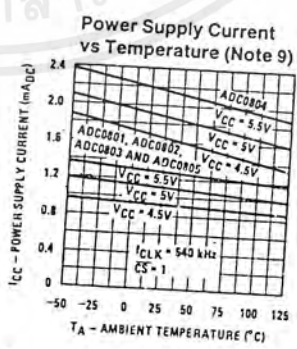
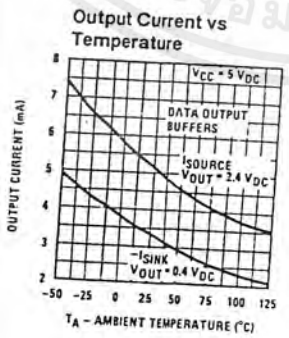
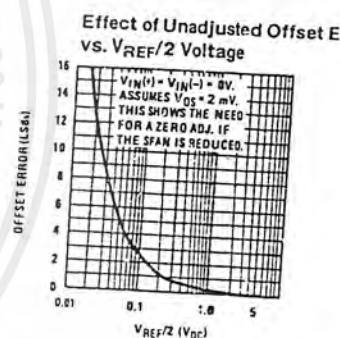
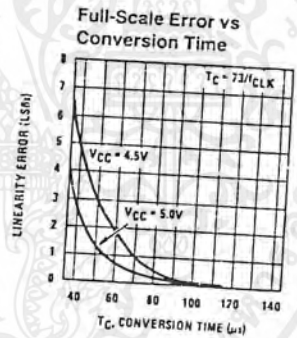
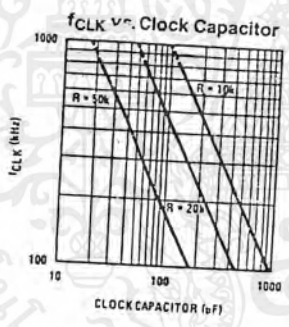
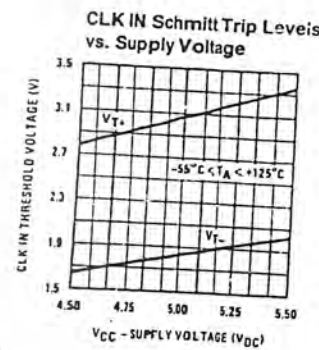
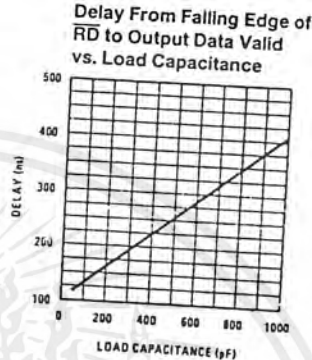
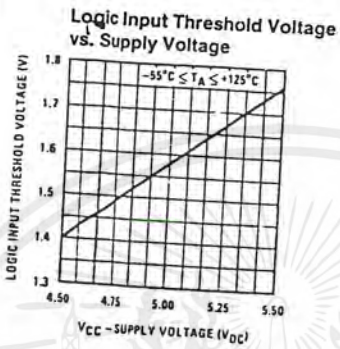
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .

Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

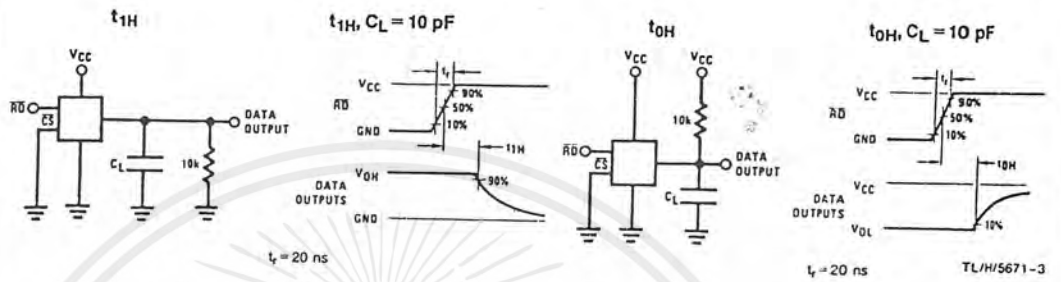
Typical Performance Characteristics



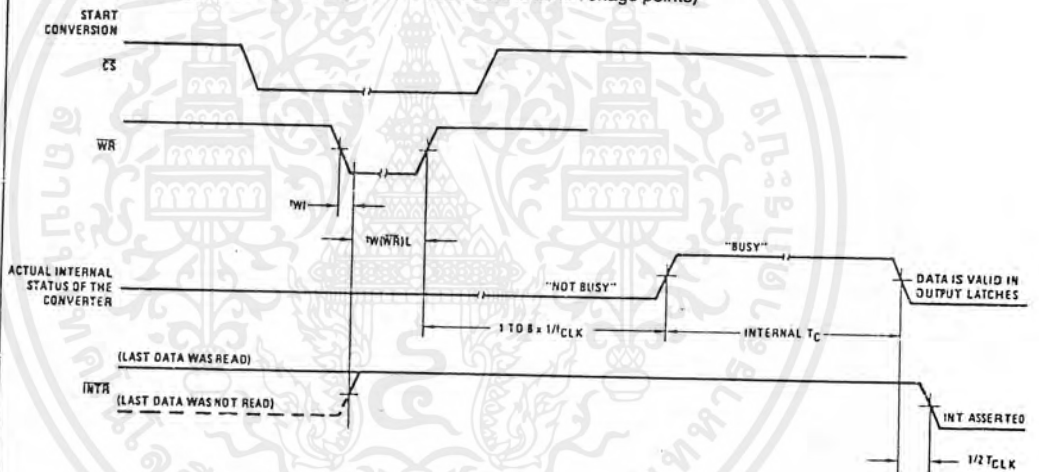
TL/H/5671-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

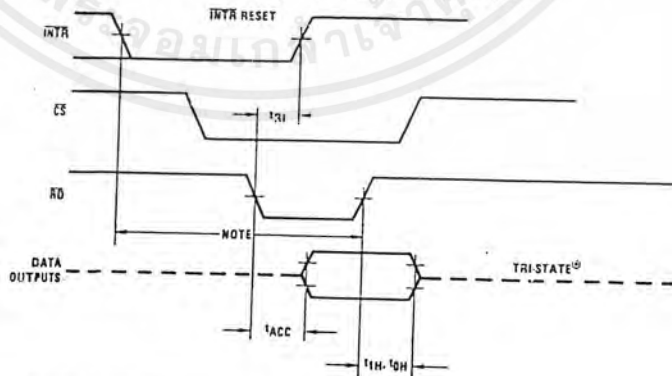
TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



Output Enable and Reset, INTR



Note: Read strobe must occur 8 clock periods ($8/\text{CLK}$) after assertion of interrupt to guarantee reset of INTR.

TL/H/5671-4

Serially Interfaced, 6-Digit LED Display Drivers

General Description

The MAX7219/MAX7221 are compact, serial input/output common-cathode display drivers that interface microprocessors (μ Ps) to 7-segment numeric LED displays of up to 8 digits, bar-graph displays, or 64 individual LEDs. Included on-chip are a BCD code-B decoder, multiplex scan circuitry, segment and digit drivers, and an 8x8 static RAM that stores each digit. Only one external resistor is required to set the segment current for all LEDs. The MAX7221 is compatible with SPI™, QSPI™, and Microwire™, and has slew-rate-limited segment drivers to reduce EMI.

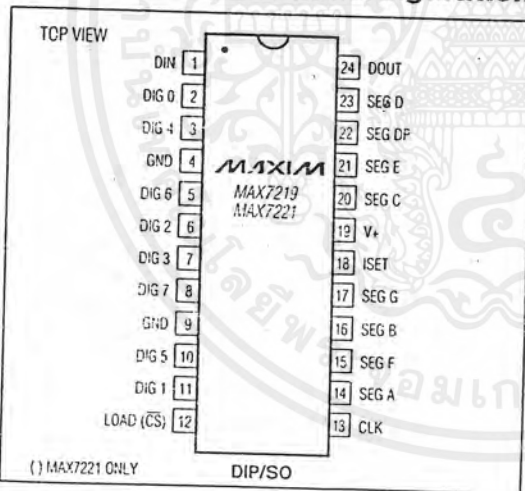
A convenient 3-wire serial interface connects to all common μ Ps. Individual digits may be addressed and updated without rewriting the entire display. The MAX7219/MAX7221 also allow the user to select code-B decoding or no-decode for each digit.

The devices include a 150 μ A low-power shutdown mode, analog and digital brightness control, a scan-limit register that allows the user to display from 1 to 8 digits, and a test mode that forces all LEDs on.

Applications

- Bar-Graph Displays
- 7-Segment Displays
- Industrial Controllers
- Panel Meters
- LED Matrix Displays

Pin Configuration



() MAX7221 ONLY

DIP/SO

Features

- ◆ 10MHz Serial Interface
- ◆ Individual LED Segment Control
- ◆ Decode/No-Decode Digit Selection
- ◆ 150 μ A Low-Power Shutdown (Data Retained)
- ◆ Digital and Analog Brightness Control
- ◆ Display Blanked on Power-Up
- ◆ Drive Common-Cathode LED Display
- ◆ Slew-Rate Limited Segment Drivers for Lower EMI (MAX7221)
- ◆ SPI, QSPI, Microwire Serial Interface (MAX7221)
- ◆ 24-Pin DIP and SO Packages

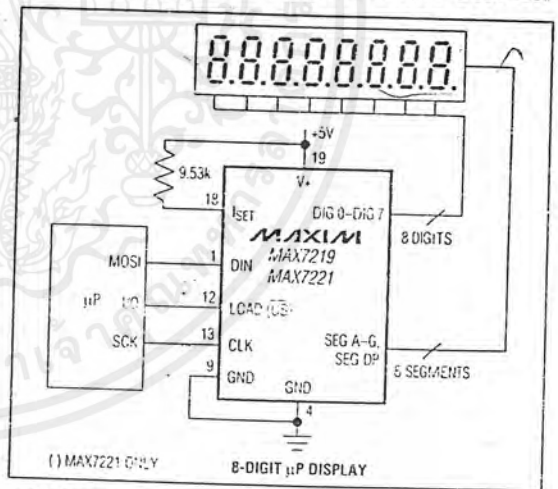
Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7219CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7219C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7219ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7219ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

*Dice are specified at $T_A = +25^\circ\text{C}$.

Typical Application Circuit



() MAX7221 ONLY

8-DIGIT μ P DISPLAY

SPI and QSPI are trademarks of Motorola Inc. Microwire is a trademark of National Semiconductor Corp.

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800.
For small orders, phone 408-737-7600 ext. 3468.

MAX7219/MAX7221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage (with respect to GND)	
V+	-0.3V to 6V
DIN, CLK, LOAD, CS	-0.3V to 6V
All Other Pins	-0.3V to (V+ + 0.3V)
Current	
DIG0-DIG7 Sink Current	500mA
SEGA-G, DP Source Current	100mA
Continuous Power Dissipation (T _A = +85°C)	
Narrow Plastic DIP	0.37W
Wide SO	0.76W
Narrow CERDIP	1.1W

Operating Temperature Ranges	
MAX7219C_G/MAX7221C_G	0°C to +70°C
MAX7219E_G/MAX7221E_G	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	
	-65°C to +160°C
Lead Temperature (soldering, 10sec)	
	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V+ = 5V ±10%, RSET = 9.53kΩ ±1%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage	V+		4.0		5.5	V
Shutdown Supply Current	I+	All digital inputs at V+ or GND, T _A = +25°C			150	μA
Operating Supply Current	I+	RSET = open circuit		330	8	mA
		All segments and decimal point on, I _{SEG-} = -40mA				
Display Scan Rate	f _{OSC}	8 digits scanned	500	800	1300	Hz
Digit Drive Sink Current	I _{DIGIT}	V- = 5V, V _{OUT} = 0.65V	320			mA
Segment Drive Source Current	I _{SEG}	T _A = +25°C, V+ = 5V, V _{OUT} = (V+ - 1V)	-30	-40	-45	mA
Segment Current Slew Rate (MAX7221 only)	ΔI _{SEG} /Δt	T _A = +25°C, V+ = 5V, V _{OUT} = (V+ - 1V)	10	20	50	mA/μs
Segment Drive Current Matching	ΔI _{SEG}			3.0		%
Digit Drive Leakage (MAX7221 only)	I _{DIGIT}	Digit off, V _{DIGIT} = V+			10	μA
Segment Drive Leakage (MAX7221 only)	I _{SEG}	Segment off, V _{SEG} = 0V			1	μA
Digit Drive Source Current (MAX7219 only)	I _{DIGIT}	Digit off, V _{DIGIT} = (V+ - 0.3V)	-2			mA
Segment Drive Sink Current (MAX7219 only)	I _{SEG}	Segment off, V _{SEG} = 0.3V	5			mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V+ = 5V ± 10%, RSET = 9.53kΩ ± 1%, TA = TMIN to TMAX, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
LOGIC INPUTS						
Input Current: DIN, CLK, LOAD, CS	I _{IH} , I _{IL}	V _{IN} = 0V or V+	-1		1	μA
Logic High Input Voltage	V _{IH}		3.5			V
Logic Low Input Voltage	V _{IL}				0.8	V
Output High Voltage	V _{OH}	DOUT, I _{SOURCE} = -1mA	V+ - 1			V
Output Low Voltage	V _{OL}	DOUT, I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
Hysteresis Voltage *	ΔV _I	DIN, CLK, LOAD, CS		1		V
TIMING CHARACTERISTICS						
CLK Clock Period	t _{CP}		100			ns
CLK Pulse Width High	t _{CH}		50			ns
CLK Pulse Width Low	t _{CL}		50			ns
CS Fall to SCLK Rise Setup Time (MAX7221 only)	t _{CSS}		25			ns
CLK Rise to CS or LOAD Rise Hold Time	t _{CSH}		0			ns
DIN Setup Time	t _{DS}		25			ns
DIN Hold Time	t _{DH}		0			ns
Output Data Propagation Delay	t _{DO}	C _{LOAD} = 50pF			25	ns
Load-Rising Edge to Next Clock Rising Edge (MAX7219 only)	t _{LDCK}		50			ns
Minimum CS or LOAD Pulse High	t _{CSW}		50			ns
Data-to-Segment Delay	t _{DSPD}				2.25	ms

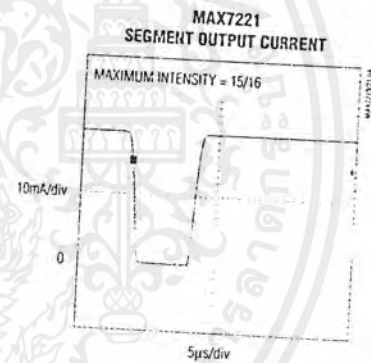
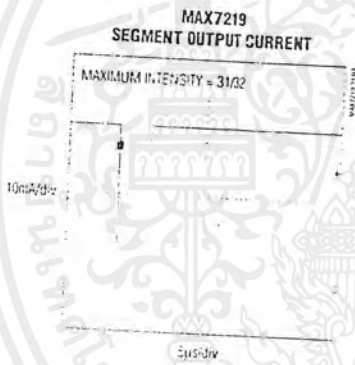
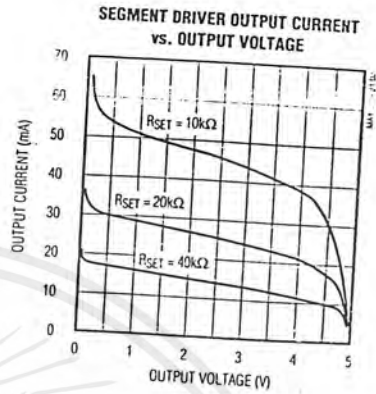
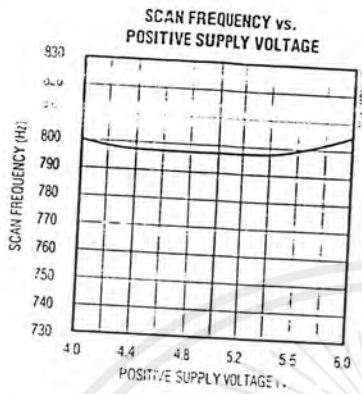
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

MAX7219/MAX7221

($V_+ = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)

Typical Operating Characteristics



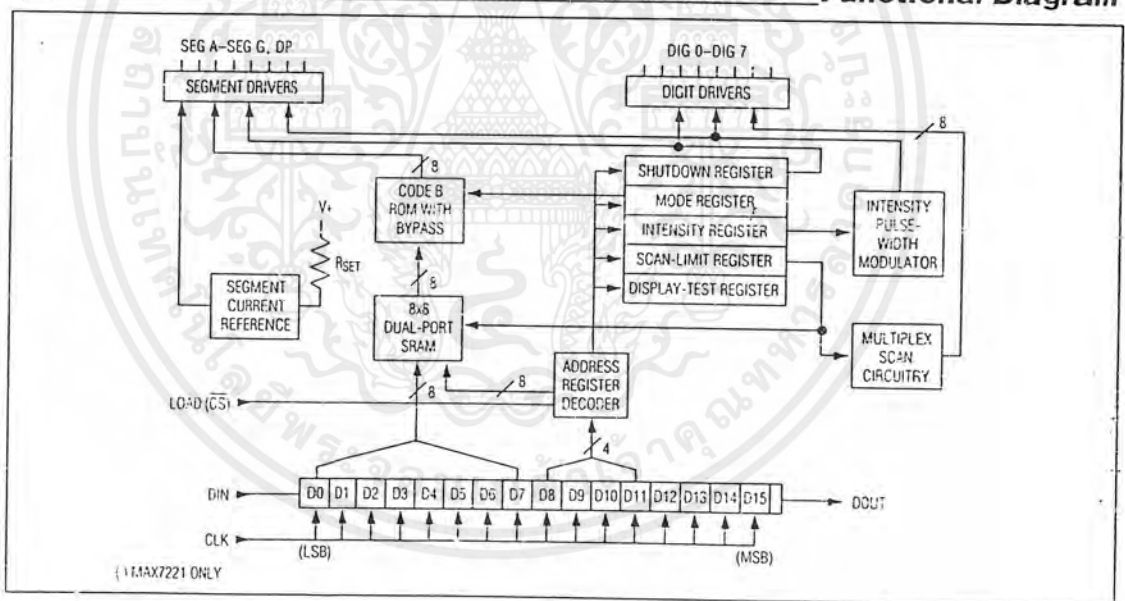
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	DIN	Serial-Data Input. Data is loaded into the internal 15-bit shift register on CLK's rising edge.
2, 3, 5-8, 10, 11	DIG 0-DIG 7	Eight-Digit Drive Lines that sink current from the display common cathode. The MAX7219 pulls the digit outputs to V+ when turned off. The MAX7221's digit drivers are high-impedance when turned off.
4, 9	GND	Ground (both GND pins must be connected)
12	LOAD (MAX7219)	Load-Data Input. The last 16 bits of serial data are latched on LOAD's rising edge.
	CS (MAX7221)	Chip-Select Input. Serial data is loaded into the shift register while CS is low. The last 16 bits of serial data are latched on CS's rising edge.
13	CLK	Serial-Clock Input. 10MHz maximum rate. On CLK's rising edge, data is shifted into the internal shift register. On CLK's falling edge, data is clocked out of DOUT. On the MAX7221, the CLK input is active only while CS is low.
14-17, 20-23	SEG A-SEG G, DP	Seven Segment Drives and Decimal Point Drive that source current to the display. On the MAX7219, when a segment driver is turned off it is pulled to GND. The MAX7221 segment drivers are high-impedance when turned off.
18	ISET	Connect to VDD through a resistor (RSET) to set the peak segment current (Refer to <i>Selecting RSET Resistor</i> section).
19	V+	Positive Supply Voltage. Connect to +5V.
24	DOUT	Serial-Data Output. The data into DIN is valid at DOUT 16.5 clock cycles later. This pin is used to daisy-chain several MAX7219/MAX7221's and is never high-impedance.

Functional Diagram



MAXIM

MAX7219/MAX7221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

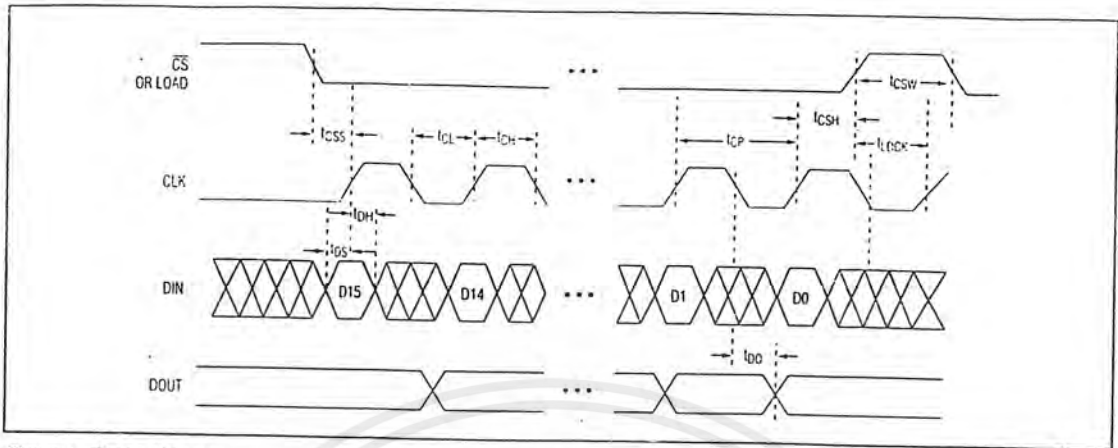


Figure 1. Timing Diagram

Table 1. Serial-Data Format (16 Bits)

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	X	X	X	ADDRESS				MSB	DATA						LSB

Detailed Description

MAX7219/MAX7221 Differences

The MAX7219 and MAX7221 are identical except for two parameters; the MAX7221 segment drivers are slow-rate limited to reduce electromagnetic interference (EMI), and its serial interface is fully SPI compatible.

Serial-Addressing Modes

For the MAX7219, serial data at DIN, sent in 16-bit packets, is shifted into the internal 16-bit shift register with each rising edge of CLK regardless of the state of LOAD. For the MAX7221, CS must be low to clock data in or out. The data is then latched into either the digit or control registers on the rising edge of LOAD/CS. LOAD/CS must go high concurrently with or after the 16th rising clock edge but before the next rising clock edge or data will be lost. Data at DIN is propagated through the shift register and appears at DOUT 16.5 clock cycles later. Data is clocked out on the falling edge of CLK. Data bits are labeled D0-D15 (Table 1). D8-D11 contain the register address. D0-D7 contain the data, and D12-D15 are "don't care" bits. The first received is D15; the most significant bit (MSB).

Digit and Control Registers

Table 2 lists the 14 addressable digit and control registers. The digit registers are realized with an on-chip, 8x8 dual-port SRAM. They are addressed directly so that individual digits can be updated and retain data as long as V+ typically exceeds 2V. The control registers consist of decode mode, display intensity, scan limit (number of scanned digits), shutdown, and display test (all LEDs on).

Shutdown Mode

When the MAX7219 is in shutdown mode, the scan oscillator is halted, all segment current sources are pulled to ground, and all digit drivers are pulled to V+, thereby blanking the display. The MAX7221 is identical, except the drivers are high-impedance. Data in the digit and control registers remains unaltered. Shutdown can be used to save power or as an alarm to flash the display by successively entering and leaving shutdown mode. For minimum supply current in shutdown mode, logic inputs should be at ground or V+ (CMOS-logic levels).

Typically, it takes less than 250µs for the MAX7219/MAX7221 to leave shutdown mode. The display driver can be programmed while in shutdown mode, and shutdown mode can be overridden by the display-test function.

Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

Table 2. Register Address Map

REGISTER	ADDRESS					HEX CODE
	D15-D12	D11	D10	D9	D8	
No-Op	X	0	0	0	0	X0
Digit 0	X	0	0	0	1	X1
Digit 1	X	0	0	1	0	X2
Digit 2	X	0	0	1	1	X3
Digit 3	X	0	1	0	0	X4
Digit 4	X	0	1	0	1	X5
Digit 5	X	0	1	1	0	X6
Digit 6	X	0	1	1	1	X7
Digit 7	X	1	0	0	0	X8
Decode Mode	X	1	0	0	1	X9
Intensity	X	1	0	1	0	XA
Scan Limit	X	1	0	1	1	XB
Shutdown	X	1	1	0	0	XC
Display Test	X	1	1	1	1	XF

Initial Power-Up

On initial power-up, all control registers are reset, the display is blanked, and the MAX7219/MAX7221 enter shutdown mode. Program the display driver prior to display use. Otherwise, it will initially be set to scan one digit, it will not decode data in the data registers, and the intensity register will be set to its minimum value.

Decode-Mode Register

The decode-mode register sets BCD code B (0-9, E, H, L, P, and -) or no-decode operation for each digit. Each bit in the register corresponds to one digit. A logic high selects code B decoding while logic low bypasses the decoder. Examples of the decode mode control-register format are shown in Table 4.

When the code B decode mode is used, the decoder looks only at the lower nibble of the data in the digit registers (D3-D0), disregarding bits D4-D6. D7, which sets the decimal point (SEG DP), is independent of the decoder and is positive logic (D7 = 1 turns the decimal point on). Table 5 lists the code B font.

When no-decode is selected, data bits D7-D0 correspond to the segment lines of the MAX7219/MAX7221. Table 6 shows the one-to-one pairing of each data bit to the appropriate segment line.

Table 3. Shutdown Register Format (Address (Hex) = XC)

MODE	ADDRESS CODE (HEX)	REGISTER DATA							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Shutdown Mode	XC	X	X	X	X	X	X	X	0
Normal Operation	XC	X	X	X	X	X	X	X	1

Table 4. Decode-Mode Register Examples (Address (Hex) = X9)

DECODE MODE	REGISTER DATA								HEX CODE
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
No decode for digits 7-0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
Code B decode for digit 0 No decode for digits 7-1	0	0	0	0	0	0	0	1	01
Code B decode for digits 3-0 No decode for digits 7-4	0	0	0	0	1	1	1	1	0F
Code B decode for digits 7-0	1	1	1	1	1	1	1	1	FF

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเครื่องแลกเปลี่ยนอัตโนมัตินี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องด้วยตลอดระยะเวลาในการทำงานมี อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งให้คำแนะนำและเป็นທີ່ปรึกษาเมื่อประสบปัญหาที่ไม่อาจแก้ไขได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากเพื่อนๆ ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ โครงการชิ้นนี้จึงเสร็จสมบูรณ์ลงได้ ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนมา ณ โอกาสนี้

.....
(นางสาวกิ่งกมล แก้วศรีรัมย์)

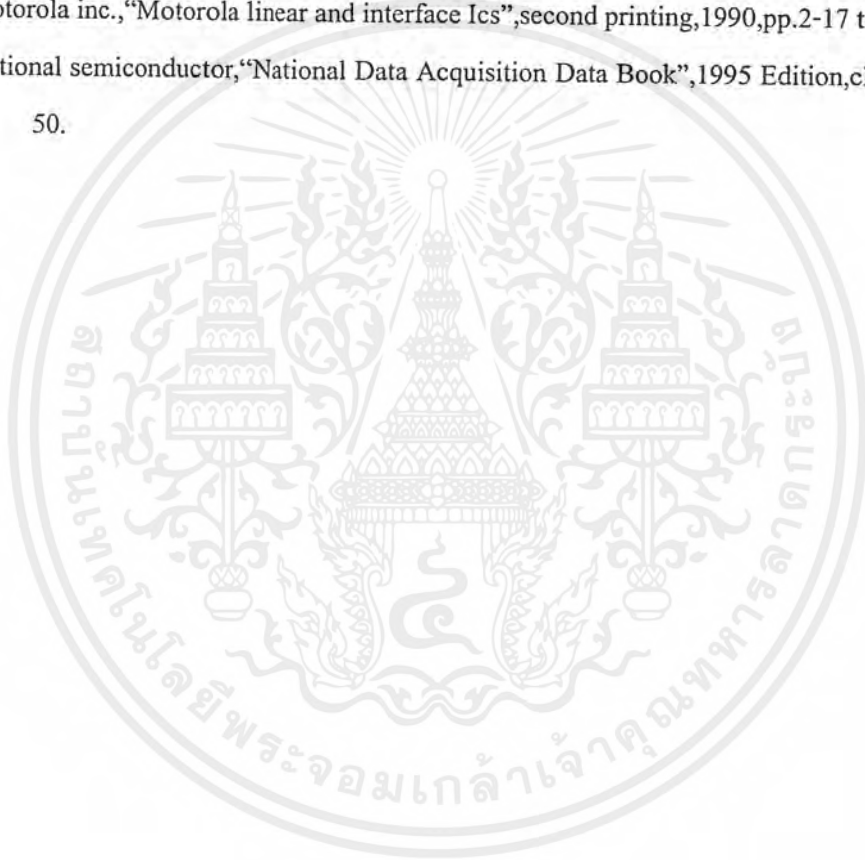
.....
(นางสาวเกศดา ต้นสอน)

.....
(นายขวัญชัย ต้นดิวงษ์พันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. สิทธิชัย โกไคยอุดมและคณะ,“วงจรถ่ายสัญญาณโอเพอเรชันแนล”,2523,บทที่ 7,หน้า 111-124.
2. ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ,“การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51”,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2537.บทที่ 1-19.
3. วันสุระ ศรีไสดี,“ประยุกต์อินเตอร์เฟส ไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาคปฏิบัติ MCS-51”,2542,บทที่ 1-7,หน้า 1-76.
4. Motorola inc.,“Motorola linear and interface Ics”,second printing,1990,pp.2-17 to 2-26.
5. National semiconductor,“National Data Acquisition Data Book”,1995 Edition,chapter 2,pp.19-50.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้