ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

Automatic Answersheet Checking Machine

ชื่อนักศึกษา

1. นายเจษฎา	นาคแปลงศรี	รหัสประจำตัว	42035214
2. นายนพพร	ชั้นประเสริฐ	รหัสประจำตัว	42035221
3. นายนพพร	วิเชียรวรรณ	รหัสประจำตัว	42035222
4. ว่าที่ ร.ต. พรชัย	พิมพ์บุญมา	รหัสประจำตัว	42035228

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ปิยะ	จิตธรรมมาภิรมย์	.....
2. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	.....
3. อาจารย์พงษ์เกียรติ	เชษฐพิทักษ์สกุล	.....
4. อาจารย์ไพบูลย์	พวงวงศ์ตระกูล	.....
5. อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2544 เวลา 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC ANSWERSHEET CHECKING MACHINE

T040192

นายเจษฎา นาคแปลงศรี
นายนพพร ชั้นประเสริฐ
นายนพพร วิเชียรวรรณ
ว่าที่ ร.ต.พรชัย พิมพ์บุญมา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่
เลขทะเบียน 40192
วัน, เดือน, ปี 7 ส.ค. 2544
b 11092968
i

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

Automatic Answersheet Checking Machine

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานและการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ
3. เพื่อสร้างเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ
4. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ
5. เพื่อนำไปใช้ในการตรวจข้อสอบแบบปรนัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เรื่องการทำงานและการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สามารถออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติได้
3. สร้างเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติได้
4. มีความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ
5. สามารถนำไปใช้ในการตรวจข้อสอบแบบปรนัยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายเจษฎา นาคแปลงศรี
	นายนพพร ชั้นประเสริฐ
	นายนพพร วิเชียรวรรณ
	ว่าที่ ร.ต. พรชัย พิมพ์บุญมา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ การทำงานหลักประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกโฟโตรีเฟลกทีฟเซนเซอร์ทำการเช็คคำตอบจากกระดาษคำตอบ ขั้นตอนต่อมาทำการส่งผ่านคำตอบที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน สุดท้ายทำการเปรียบเทียบคำตอบที่รับมากับคำตอบที่ถูกต้องซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำ

จากกระบวนการทำงานข้างต้น ข้อมูลจากการตรวจซึ่งประกอบด้วย คะแนน,รหัสวิชาและรหัสนักศึกษา จะแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

สำหรับผลจากการทดลอง เครื่องตรวจข้อสอบนี้มีค่าความผิดพลาดประมาณ 2% ซึ่งเกิดจากฮาร์ดแวร์ เนื่องจากเซนเซอร์มีเสถียรภาพการทำงานไม่คงที่และเซนเซอร์มีความไวต่ำ ทำให้สามารถทำการตรวจกระดาษคำตอบได้เพียง 1 แผ่นต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Automatic Answersheet Checking Machine
Students	Mr.Jessada Nakplangsree
	Mr.Nopporn Chanprasert
	Mr.Nopporn Wichianwan
	Mr.Pornchai Pimboonma
Advisor	Mr.Piya Jitthammapirom
Co-Advisor	Mr.Piya Supavarasuwat
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Telecommunication Engineering
Academic Year	2000

ABSTRACT

This thesis presents Automatic Answer sheet Checking Machine. It has three steps of operation. The first step is checking the answer of answer sheet by photoreflective sensor. The second step is transferring answer from sensors to computer through parallel port. The final step is comparing the answer which are received with the corrected answer.

According the process above, the data from testing such as score, subject and student code, will show on computer screen. Then, they are saved on computer as a text file.

The result of testing found that this project has 2 % error because the sensoring is not stable. More over, low sensitivity has an effect to checking. This project can check one answer sheet per minute.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์ทางด้านทุนทรัพย์จากภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ขอขอบคุณ อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์ อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาในเรื่องต่างๆ เป็นอย่างดี รวมถึงคณาจารย์ในภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ตลอดมา และยังให้คำแนะนำ แนวความคิด ความรู้ต่างๆ แนวทางการแก้ไขปัญหา ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สำนักหอสมุดกลาง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล

สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้ความรัก ความอบอุ่นและกำลังใจ สนับสนุนทางด้านการศึกษาที่ดีตลอดมา รวมถึงญาติพี่น้องและผู้มีพระคุณทุกท่าน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามรถของโครงงาน	2
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ทฤษฎีของแสง	4
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุปกรณ์ตรวจจับ	7
2.3.1 โฟโตไดโอด	7
2.3.2 แบบจำลองของโฟโตไดโอด	10
2.3.3 โฟโตทรานซิสเตอร์	12
2.3.4 ตัวต้านทานไวแสง	15
2.3.5 โฟโตดัปเปลอร์	18
2.3.6 โฟโตเซนเซอร์	19
2.4 โซลินอยด์	22
2.4.1 หลักการทำงานของโซลินอยด์	22
2.4.2 ขั้นตอนการเลือกใช้โซลินอยด์	23
2.4.3 ข้อควรระวังในการใช้โซลินอยด์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน	24
2.5.1 ความรู้เบื้องต้น	24
2.5.2 ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน	25
2.5.3 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน	31
2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	32
2.6.1 หลักการของมอเตอร์	33
2.6.2 แรงบิดของมอเตอร์	33
2.6.3 มอเตอร์ชนิดขนาน	34
2.6.4 มอเตอร์ชนิดอนุกรม	36
2.6.5 มอเตอร์ชนิดผสม	38
2.6.6 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของมอเตอร์	39
2.7 ทฤษฎี หลักการและการใช้งานวิชวลเบสิค	40
2.7.1 หลักการเบื้องต้นของวิชวลเบสิค	40
2.7.2 การใช้งานวิชวลเบสิค	40
2.7.3 การจัดจอภาพเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน	48
2.7.4 การสร้างและการออกแบบจอภาพ	49
2.7.5 การวาด Control ลงบน Form	50
2.7.6 กำหนดคุณสมบัติให้กับออปเจ็ค	50
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	52
3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	52
3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	53
3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	53
3.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	54
3.3 วงจรตรวจจับแสง	54
3.4 การออกแบบการรับข้อมูล	55
3.5 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	57
3.6 วงจรควบคุมกลไกการป้อนกระดาษ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.7 การออกแบบวงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	58
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
4.1 วงจรภาคจ่ายไฟ	60
4.2 ผลการทดลองการทำงานของวงจรควบคุมต่างๆ	60
4.3 วงจรการตรวจจับ	60
4.4 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	64
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไขและการพัฒนา	68
5.1 บทสรุป	68
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	69
5.3 แนวทางในการพัฒนา	70
ภาคผนวก ก รูปเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	71
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	76
ภาคผนวก ค โปรแกรมการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	83
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	106
ภาคผนวก จ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	111
ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งานเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	133
บรรณานุกรม	138
ประวัติผู้แต่ง	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	5
ตารางที่ 2.2 ตารางการเปรียบเทียบพลังงานและความยาวคลื่น จากตัวกำเนิดแสงที่สร้างจากสารต่าง ชนิดกัน	6
ตารางที่ 2.3 สัญญาณสำคัญๆ ของพอร์ตขนานที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์	26
ตารางที่ 2.4 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน	32
ตารางที่ 3.1 ตารางความจริงการทำงานของไอซีเบอร์ 74151	56
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบ และตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 1 มิลลิเมตร	61
ตารางที่4.2 ผลการทดลองวงจรตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและ ตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 2 มิลลิเมตร	61
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและ ตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 3 มิลลิเมตร	62
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและ ตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 4 มิลลิเมตร	62
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและ ตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 5 มิลลิเมตร	63
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการตรวจรหัสวิชา	64
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการตรวจรหัสนักศึกษา	64
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการตรวจข้อสอบ	65
ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจข้อสอบ	66
ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจข้อสอบ	67
ตารางที่ ง.1 รายการอุปรณ์ของวงจรภาคตรวจจับแสง	107
ตารางที่ ง.2 รายการอุปรณ์ของวงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	107
ตารางที่ ง.3 รายการอุปรณ์ของวงจรภาคควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	108
ตารางที่ ง.4 รายการอุปรณ์ของวงจรภาคควบคุมการป้อนกระดาษ	109
ตารางที่ ง.5 รายการอุปรณ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ง.6 รายการอุปรณ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	110
ตารางที่ ง.7 รายการอุปรณ์ของวงจรภาครับข้อมูล	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ได้จากตัวกำเนิดและอินฟาเรดจากสารต่างชนิดกัน	6
รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด	7
รูปที่ 2.3 คุณลักษณะทางเอาท์พุตโดยปกติของโฟโตไดโอด	7
รูปที่ 2.4 การกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไดโอดรับแสงแบบ PIN	9
รูปที่ 2.6 ลักษณะสนามไฟฟ้าของไดโอดรับแสงแบบ PIN	9
รูปที่ 2.7 ลักษณะสนามไฟฟ้าของไดโอดรับแสงแบบ APD	10
รูปที่ 2.8 วงจรจำลองของโฟโตไดโอดและการขยายบริเวณดีพลีชั่นให้มากขึ้น	11
รูปที่ 2.9 การต่อโฟโตไดโอดในการนำไปใช้งาน	12
รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์	12
รูปที่ 2.11 วงจรของโฟโตทรานซิสเตอร์	13
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์	14
รูปที่ 2.13 การต่อใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ	14
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของตัวแอลดีอาร์	15
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของแอลดีอาร์ทั้งสองแบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน	16
รูปที่ 2.15 (ต่อ) ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆของแอลดีอาร์ทั้งสองแบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน	17
รูปที่ 2.16 ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงในทันทีทันใด	18
รูปที่ 2.17 โครงสร้างโฟโตคัปเปลอร์ในลักษณะต่างๆ	19
รูปที่ 2.18 ตัวถังโฟโตคัปเปลอร์ในลักษณะต่างๆ	19
รูปที่ 2.19 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง	20
รูปที่ 2.20 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน	21
รูปที่ 2.21 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์	22
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ของแสงกับระบบช่วงชักของโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 V	24
รูปที่ 2.23 แผนผังทางเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.24 ระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน	27
รูปที่ 2.25 วงจรภายในของพอร์ตข้อมูล	29
รูปที่ 2.26 วงจรภายในของพอร์ตควบคุม	30
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ	31
รูปที่ 2.28 มอเตอร์ชนิดขนาน	34
รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์	34
รูปที่ 2.30 ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ชนิดขนาน	35
รูปที่ 2.31 มอเตอร์ชนิดอนุกรม	36
รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์	37
รูปที่ 2.33 มอเตอร์ชนิดผสม	39
รูปที่ 2.34 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของมอเตอร์	39
รูปที่ 2.35 การล็อคออปเจ็คบน Form	43
รูปที่ 2.36 Menu Editor	44
รูปที่ 2.37 หน้าต่างโปรเจ็คของวิชวลเบสิค	45
รูปที่ 2.38 การเลือก Option จาก Menu Tools	48
รูปที่ 2.39 การแจ้งเปลี่ยนจอภาพให้อยู่ในสภาพการพัฒนาโปรแกรม	49
รูปที่ 2.40 เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดวัตถุประสงค์	50
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	52
รูปที่ 3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	54
รูปที่ 3.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	54
รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับแสง	55
รูปที่ 3.5 ไอซีเบอร์ 74151	55
รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	57
รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมกลไกการป้อนกระดาษ	58
รูปที่ 3.8 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.1 เครื่องต้นแบบของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	72
รูปที่ ก.2 เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติด้านหน้า	72
รูปที่ ก.3 เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติด้านหลัง	73
รูปที่ ก.4 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบ	73
รูปที่ ก.5 วงจรควบคุมการป้อนกระดาษ	74
รูปที่ ก.6 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	74
รูปที่ ก.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า	75
รูปที่ ข.1 วงจรภาคอุปกรณ์ตรวจจับ	77
รูปที่ ข.2 วงจรพิมพ์ของภาคอุปกรณ์ตรวจจับ	78
รูปที่ ข.3 วงจรภาครับข้อมูล	79
รูปที่ ข.4 วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	80
รูปที่ ข.5 วงจรพิมพ์ภาครับข้อมูล และไมโครคอนโทรลเลอร์	81
รูปที่ ข.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า 5โวลต์	81
รูปที่ ข.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า 12โวลต์	82
รูปที่ ข.8 วงจรพิมพ์ของภาคจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ และ 12 โวลต์	82
รูปที่ ค.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยใช้ MCS-51	86
รูปที่ ค.2 โปรแกรมการประมวลผล และแสดงผลโดยใช้วิชวล เบสิค	105
รูปที่ ฉ.1 เมนูที่ปรากฏเมื่อทำการคลิกเมาส์ปุ่มขวา	134
รูปที่ ฉ.2 หน้าต่างการปรับคุณสมบัติจอภาพ	135
รูปที่ ฉ.3 การเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัติ โดยพอร์ตขนาน	136
รูปที่ ฉ.4 การตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ	136
รูปที่ ฉ.5 การเฉลยคำตอบ	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การเรียนการสอนในแต่ละวิชานั้น ทุกวิชาก็มุ่งให้นักศึกษาทุกคนได้รับความรู้มากที่สุดตามจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ แต่ละวิชาก็จะมีการทดสอบหรือการวัดความรู้ทางด้านต่างๆ ของนักศึกษาที่เรียนในวิชานั้นได้หลายประเภทด้วยกัน เช่น การทดสอบ การสัมภาษณ์ การปฏิบัติงานต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในการสอบก็จะมีแบบของข้อสอบหลายประเภทด้วยกันทั้งปรนัยและอัตนัย ซึ่งการสอบทั้งสองแบบนี้จะสามารถวัดความสามารถของนักศึกษาได้แตกต่างกันซึ่งตัวอาจารย์ผู้สอนเองก็สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของเนื้อหาแต่ละวิชาที่ทำการสอนนั้นๆ แต่ถ้าเป็นการทดสอบแบบปรนัยแล้ว ในสมัยก่อนจะอาศัยวิธีการทำเครื่องหมายลงบนกระดาษคำตอบในช่องที่ต้องการ ซึ่งวิธีการตรวจข้อสอบแบบนี้จะใช้วิธีการตรวจด้วยมือ โดยทำการเจาะรูที่กระดาษคำตอบที่สำหรับใช้ตรวจ และวางซ้อนลงบนกระดาษคำตอบของนักเรียน และทำการนับข้อที่ปรากฏในช่องว่างที่เจาะรูไว้ ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการตรวจนับคะแนนที่ทำได้ล่าช้า และเกิดข้อผิดพลาดได้ เช่น การนับผิด นับไปแล้วแต่อาจจะเกิดการผิดพลาดต้องทำการนับใหม่ และยังเป็นการเสียเวลามากอีกด้วยในกรณีที่ข้อสอบหรือกระดาษคำตอบมีจำนวนมาก

ในปัจจุบัน การตรวจข้อสอบแบบปรนัยนั้น ได้มีการนำเอาเครื่องจักรหรือเครื่องมือมาช่วยในการตรวจนับคะแนนการสอบ โดยได้มีการสร้างเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัติขึ้นมาใช้ ซึ่งเป็นของที่ทำการสร้างและผลิตในต่างประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้ปัญหาด้านความล่าช้าลดลง โดยวิธีการตรวจข้อสอบโดยใช้วิธีการนี้ จะทำได้โดยจะต้องจัดทำกระดาษคำตอบแบบพิเศษที่ใช้กับเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัตินี้โดยเฉพาะ วิธีการทำเครื่องหมายทำได้โดยใช้ดินสอที่มีความดำมากกว่า 2B ขึ้นไปฝนลงบนกระดาษคำตอบในตำแหน่งที่กำหนดไว้และควรฝนให้เต็มพื้นที่ที่กำหนดไว้เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้จากการตรวจโดยเครื่อง เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัติที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นนอกจากจะเป็นของต่างประเทศแล้วยังมีราคาสูงพอสมควรทำให้ยังเป็นอุปสรรคในการใช้งาน

ดังนั้น การสร้างเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัติขึ้นมาใช้จะทำให้ลดปัญหาดังกล่าวลง เนื่องจากงบประมาณในการจัดทำเครื่องตรวจข้อสอบนั้นจะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการที่จะจัดซื้อมาจากต่างประเทศเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากและเพิ่มความสะดวกในการตรวจข้อสอบ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจข้อสอบนี้จะสามารถแสดงผลอออกมาทางคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้สะดวกต่อการใช้งานในปัจจุบันเป็นอย่างดี

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

โครงงานนี้มีความสามารถในการทำงานดังต่อไปนี้

1) สามารถตรวจกระดาษคำตอบได้นาทีละ 1 แผ่น
2) สามารถแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ได้
3) สามารถบันทึกรหัสประจำตัวนักศึกษาได้ 8 หลัก
4) สามารถบันทึกรหัสวิชาได้ 8 หลัก
5) สามารถดึงกระดาษคำตอบได้ต่อเนื่องอัตโนมัติ
6) สามารถส่งรหัสวิชา รหัสนักศึกษา และผลคะแนนไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ได้
7) สามารถตรวจข้อสอบแบบปรนัย 5 ตัวเลือกได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการของอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ วงจรเชื่อมต่อพอร์ตขนาน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การทำงานของโซลินอยด์ และโปรแกรมที่ใช้ในการสั่งงานคอมพิวเตอร์

บทที่ 3 การออกแบบการสร้าง และการทำงานของวงจรได้แก่ วงจรการตรวจจับ วงจรควบคุมการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วงจรรับค่าจากวงจรตรวจจับ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง จะทำการทดสอบการทำงานของวงจรต่างๆ ที่สร้างขึ้นว่ามีผลการทดลองการทำงานเป็นตามที่ออกแบบไว้ และทำการทดลองการทำงานและประสิทธิภาพของการตรวจข้อสอบของเครื่องว่าทำงานได้ตรงตามที่ตั้งจุดประสงค์ไว้หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไขและการพัฒนา เป็นการสรุปถึงข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดจากเครื่อง และการทำงาน อภิปรายถึงสาเหตุของข้อบกพร่อง และแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาต่อไป

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโปรแกรม วงจรชุดตรวจจับทั้งหมด วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จัดทำโครงงานดังนี้

ภาคผนวก ก รูปเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค โปรแกรมการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก จ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งานเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นกล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการของอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 วงจรเชื่อมต่อพอร์ตขนาน และโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนสั่งงานคอมพิวเตอร์

2.2 ทฤษฎีของแสง

พลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบหนึ่งที่มีความถี่ ความยาวคลื่นและความเร็วเป็นไปตามสมการด้านล่างนี้ ซึ่งแสงแต่ละชนิดมีความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไปตามความถี่ของแสงนั้นๆ

$$\lambda = \frac{\nu}{f} \tag{2.1}$$

เมื่อ

λ : ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

f : ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

ν : ความเร็วของแสงซึ่งมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

ทฤษฎีควอนตัม (Quantum) ของแพลงค์กล่าวว่าแหล่งกำเนิดพลังงานจะไม่แผ่ หรือปล่อยพลังงานออกมาอย่างต่อเนื่องแต่จะปล่อยออกมาเป็นกลุ่มๆ และมีหน่วยขนาดของกลุ่มเรียกว่า "ควอนตัม" สำหรับการแผ่พลังงานแม่เหล็กเรียกว่า "โฟตอน (Photon)" ซึ่งถือว่าเป็นอนุภาคพลังงานแผ่ (Radiation) ที่เกิดจากสารที่มีคุณสมบัติซึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านสูญญากาศด้วยความเร็วแสง โดยค่าพลังงาน 1 โฟตอน จะเป็นไปตามสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1Photon = hf \tag{2.2}$$

เมื่อ

f : ความถี่ของพลังงานแสงมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

h : ค่าคงตัวของแพลงค์เท่ากับ 6065 x 10^{-24} จูลต่อวินาที

ความถี่ของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นบางชนิดเป็นไปตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

ชนิด	ความยาวคลื่น(m)	ความถี่(Hz)	Quantam energy (ev)
วิทยุ	$10^{-4} - 10^{-3}$	$3 \times 10^{4} - 3 \times 10^{11}$	$1.2 \times 10^{-10} - 1.2 \times 10^{-3}$
อินฟาเรด	$10^{-3} - 10^{-7}$	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$	$1.2 \times 10^{-3} - 1.7$
ตามองเห็น	$7 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{7}$	$4 \times 10^{14} - 7 \times 10^{14}$	$1.7 - 3$
Ultra	$4 \times 10^{7} - 10^{9}$	$7 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 1.2 \times 10^{3}$
x-ray	$10^{9} - 10^{11}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$1.2 \times 10^{3} - 1.2 \times 10^{6}$

2.2.1 ขบวนการแผ่มี 2 ลักษณะ

1) อิเล็กตรอนและโฮลที่อยู่บริเวณรอยต่อ PN ซึ่งจะทำให้พลังงานโฟตอนมีค่าประมาณเท่ากับช่วงแถบพลังงาน (Band gap Energy) ซึ่งมีค่าสูงมาก

2) เกิดจากอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่มารวมกันบริเวณแทปเลเวล (Trap Level Photon) ซึ่งจะมีพลังงานเท่ากับผลต่างของแถบพลังงาน (Energy gap) กับค่าบินดิ้ง (Binding)

จากกระบวนการทั้งสองจะได้โฟตอนออกมามีค่าความยาวคลื่นเป็นไปตามสมการดังนี้

$$\lambda = \frac{1240}{\Delta E} \tag{2.3}$$

เมื่อ

ΔE : ค่าความแตกต่างของพลังงานมีหน่วยเป็นอิเลคตรอนโวลต์

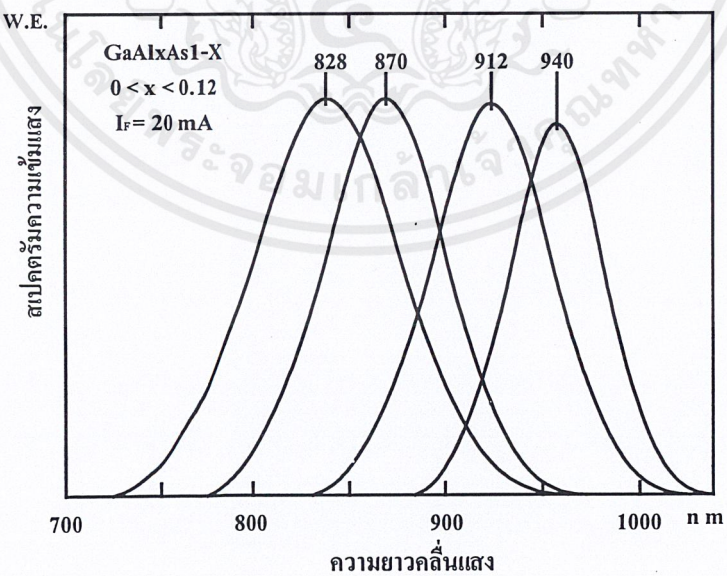
ดังนั้น ถ้าใช้สารต่างชนิดกัน ค่าของ ΔE จะมีค่าแตกต่างกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบพลังงานและความยาวคลื่นจากตัวกำเนิดแสงที่สร้างจากสารต่างชนิดกัน

สารกึ่งตัวนำ	Band Gap Energy	Emission (nm)
Ge	0.66	1800
Si	1.09	1200
GaAs	1.43	880
GaP	2.24	550
GaAs60P40	1.91	650
AlSb	1.60	775
InSb	0.18	6900
SiC	2.2	563

ตารางที่ 2.2 แสดงถึงพลังงานและความยาวคลื่นจากตัวกำเนิดแสงที่สร้างจากสารต่างชนิดกัน จะเห็นได้ว่าตัวกำเนิดแสงที่สร้างจาก GaAs จะให้ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงของแสงอินฟาเรด คือ 882 นาโนเมตร



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ได้จากตัวกำเนิดแสงอินฟาเรดจากสารต่างชนิดกัน

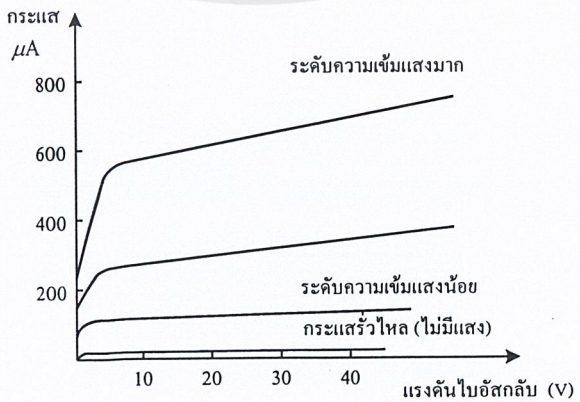
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

2.3.1 โฟโตไดโอด

เป็นไดโอดรอยต่อ PN ซึ่งรอยต่อ PN สามารถรับแสงได้สะดวก ปกติสร้างจากผลึกเยอรมันเนียมหรือซิลิกอน แต่เพื่อให้ได้กระแสรั่วสูงๆ จึงมักใช้ผลึกเยอรมันเนียม ในขณะที่ไดโอดได้รับแรงดันไบอัสกลับ และรอยต่อไม่ได้รับแสงกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อ ก็คือกระแสรั่วของรอยต่อ PN ซึ่งในที่นี้เรียกว่า "กระแสรั่วไหล (Dark current ; I_d)" ถ้าเป็นเยอรมันเนียมอาจมีค่าสูงถึง 10 มิลลิแอมป์ แต่สำหรับ ซิลิกอนจะมีค่าต่ำมากอาจเป็น 20 นาโนแอมป์ ในขณะนี้ถ้าหากรอยต่อ PN ได้รับแสงกระตุ้นจากภายนอกจะมีผลทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลเกิดขึ้น พาหะส่วนน้อยนี้จะได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าที่รอยต่อทำให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้ จึงเกิดเป็นกระแสไหลผ่านรอยต่อ ซึ่งเราเรียกว่า "กระแสโฟโต (Photo current; I_p)" ดังนั้นขณะที่ไดโอดได้รับแรงดันย้อนกลับ และถูกแสงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดประมาณ $_d$ + I_p ค่ากระแสโฟโต จะเพิ่มขึ้นหากรอยต่อได้รับแสงที่มีความเข้มมากขึ้น ในกรณีที่จะนำไปใช้งานที่ความถี่สูง ก็สามารถปรับปรุงโครงสร้างให้เป็นแบบ p – i – n ไดโอดได้ เพราะโครงสร้างของ p – i – n จะช่วยลดค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อและในกรณีที่ต้องการให้ไดโอดนี้มีความไวต่อแสงก็จำเป็นต้องมีเลนส์รวมแสงให้ตกกระทบที่รอยต่ออย่างเต็มที่ คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดนี้แสดงดังรูปที่ 2.3

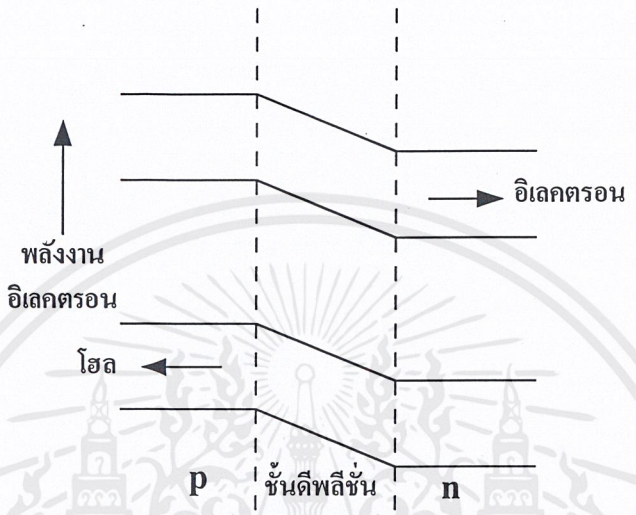
รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.3 คุณลักษณะทางเอาต์พุตโดยปกติของโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสารกึ่งตัวนำได้รับโฟตอนจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น นั่นคือเมื่อเกิดการแตกตัวของคู่อิเล็กตรอน-โฮล การแตกตัวจะเกิดบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรือบริเวณที่แสงตกกระทบมากๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่าการกระจายของแสงหรือสนามไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำไดโอดมีลักษณะไม่สม่ำเสมอในบริเวณรอยต่อของสาร PN ที่บริเวณดีพลีชั่นโดยทั่วไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานต่อตัวโฟโตไดโอดซึ่งควรจัดให้โฟตอนส่วนใหญ่ถูกดูดซับในบริเวณรอยต่อหรือดีพลีชั่นให้มากที่สุด ตรงความลึกที่โฟตอนจะผ่านไปได้ก่อนจะถูกดูดซับพลังงานแสงที่บริเวณผิวหน้าไป

ส่วนความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นจะสามารถผ่านผลึกได้ลึกกว่าดังนั้นเพื่อให้โฟโตไดโอดสามารถตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นที่กว้างจึงควรจะมีชั้น P ที่บางเพื่อให้ความยาวคลื่นสั้นจะเจาะผ่านเข้ามาได้ และมีบริเวณดีพลีชั่นที่หนาแน่นมากๆ เพื่อให้รับแสงของโฟตอนสูงสุดจากโฟตอนที่มีความยาวคลื่นยาวผ่านความหนาของบริเวณดีพลีชั่นขึ้นอยู่กับไบอัสกลับและค่าความต้านทานของบริเวณที่มีการแยกตัวของอิเล็กตรอน-โฮล

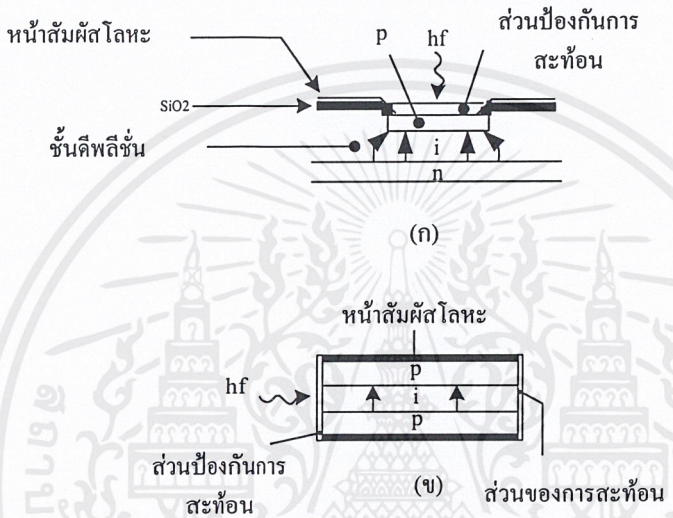
โดยปกติไม่มีการไบอัสกลับก็สามารถเกิดพื้นที่ดีพลีชั่นได้ ซึ่งสนามที่เกิดขึ้นจากการแพร่พาหะรอยต่อระหว่าง PN การไบอัสกลับจะช่วยเพิ่มสนามและขยายบริเวณดีพลีชั่นให้มากขึ้นไปอีก

สำหรับโฟโตไดโอดมี 2 แบบด้วยกันคือ ไดโอดรับแสงแบบ PIN (PIN Photodiode : PIN - PD)ไดโอดรับแสงแบบอวาลานซ์ (Avalanche Photodiode : APD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

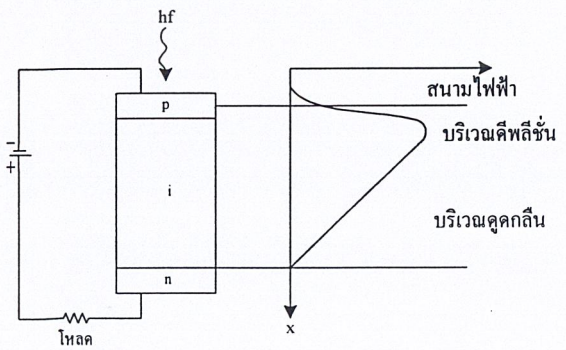
1) ไดโอดรับแสงแบบ PIN

โครงสร้างของไดโอดรับแสงแบบ PIN ซึ่งจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ชนิดคือ สารพี สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic) และสารเอ็น โดยสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะคั่นอยู่ระหว่างสารพี และสารเอ็น เพื่อทำให้ช่องว่างบริเวณรอยต่อมีขนาดกว้างขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่สูง เนื่องจากเมื่อมีช่องว่างบริเวณรอยต่อกว้างก็จะสามารถรับแสงได้ดี



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไดโอดรับแสงแบบ PIN
(ก) แบบรับแสงทางด้านหน้า
(ข) แบบรับแสงทางด้านข้าง

ลักษณะสนามไฟฟ้าของไดโอดรับแสงแบบ PIN ซึ่งจะเห็นว่าช่วงของการดูดกลืนแสง (Absorption Region) จะอยู่ในช่วงของช่องว่างบริเวณรอยต่อ โดยจะมีขนาดกว้างทำให้สามารถรับแสงได้ดี



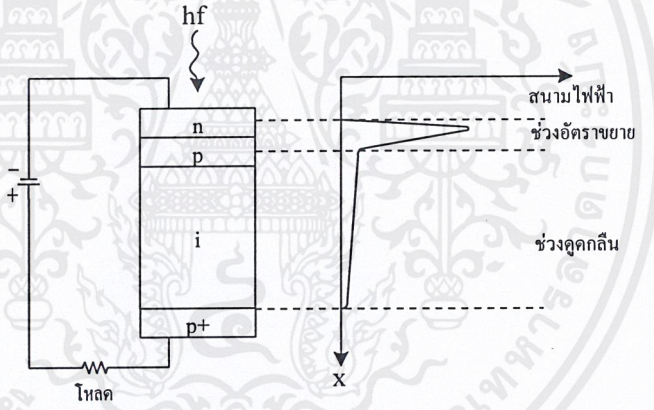
รูปที่ 2.6 ลักษณะสนามไฟฟ้าของไดโอดรับแสงแบบ PIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ไดโอดรับแสงแบบอวาลานซ์

ไดโอดรับแสงแบบ APD จะมีโครงสร้างและลักษณะของสนามไฟฟ้าดังรูปที่ 2.7 โดยในรูป (ก) ซึ่งเป็นโครงสร้างจะเห็นว่ามีสาร P^+ มาต่อที่ปลายอีกกด้านหนึ่งของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ โดยสาร P^+ นี้หมายถึงสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูง เพื่อให้สนามไฟฟ้าบริเวณสารพี – เอ็นมีค่ามาก คือ เกิดช่วงที่เรียกว่า "ช่วงอัตราขยาย (Gain Region)" หรือ "ช่วงอวาลานซ์ (Avalanche Region)" ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารเอ็นไปยังสารพี และเมื่ออิเล็กตรอนเดินทางผ่านมายังสารพี อิเลคตรอนจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของระดับพลังงานระหว่างแถบความนำและแถบวาเลนซ์เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานมากระตุ้นจะส่งผลให้อิเลคตรอนมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้อิเลคตรอนและโฮลรวมตัวกันอยู่ในช่องว่างบริเวณรอยต่อแตกตัวออก ทำให้ช่องว่าบริเวณนี้ยิ่งแคบลง ส่งผลให้อิเล็กตรอนสามารถข้ามไปรวมตัวกับโฮลได้มากขึ้นและเร็วขึ้น



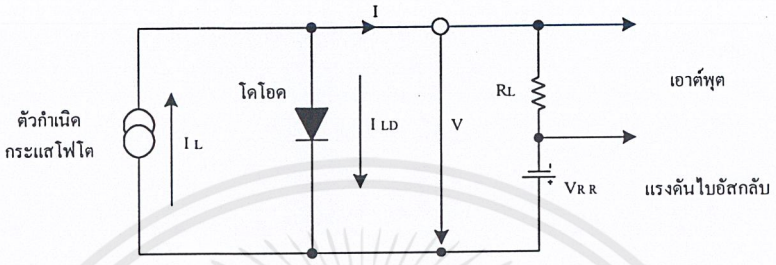
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของไดโอดรับแสงแบบ APD

2.3.2 แบบจำลองของวงจรโฟโตไดโอด

แบบจำลองของวงจรโฟโตไดโอดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ค่ากะแส I_L จะขึ้นอยู่กับบริเวณแสงที่ตัวไดโอดได้รับ ในกรณีไม่มีการให้ไบอัส โฟโตไดโอดกระแส I_L จะทำให้ขั้วแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโธด กระแส I_L ส่วนหนึ่งจะไหลกลับผ่านตัวไดโอดและอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านตัวต้านทานถ้าโหลด มีค่าสูงมากกระแสส่วนมากจะไหลผ่านตัวไดโอด การทำงานโดยไม่ให้การไบอัสเรียกว่า "โหมดโฟโตโวตาอิก (Photo Votaic Mode)" การทำงานในโหมดโฟโตโวตาอิกสามารถทำงานได้ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบลอกาลิธึมซึ่งขึ้นกับค่าโหลดตัวต้านทาน การทำงานของโหมดลอกาลิธึมจะเกิดขึ้นเมื่อโหลดมีค่าสูงมากๆ ($>10^{11}$) ส่วนการทำงานแบบเชิงเส้นจะเกิดเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดมีความต้านทานต่ำ เมื่อเทียบกับความต้านทานไดนามิกส์ของโฟโตไดโอด ค่าศักดาสูงสุดในการทำงานแบบไม่ให้ไบอัส คือ V_L ประมาณ 100 มิลลิโวลต์ ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ ถ้าค่า R_L สูงกว่าจะทำให้มีความไวมากกว่าแต่ช่วงการตอบสนองเชิงเส้นจะลดลง ค่า R_L สูงสุดจะอยู่ในช่วง 5 เมกะโอห์ม ถึง 550 เมกะโอห์ม



รูปที่ 2.8 วงจรจำลองของโฟโตไดโอดและการขยายบริเวณดีพลีชั่นให้มากขึ้น

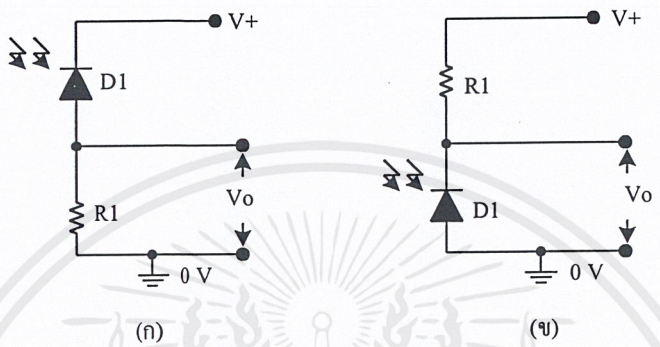
การทำงานแบบให้ไบอัสกลับเรียกว่าโฟโตเคอเรนท์ โหมด (Photocurrent Mode) ซึ่งมีข้อดีกว่าโฟโตโวลตาอิก คือ

1) มีความเร็วสูง
2) เสถียรภาพดี
3) ช่วงไดนามิกส์สูงกว่า
4) สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิสูงกว่า
5) การตอบสนองต่อแสงดีกว่า

จากลักษณะของโฟโตไดโอดที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าเมื่อใดที่รอยต่อ PN ได้รับการไบอัสกลับจะเกิดกระแสรั่วไหลย้อนกลับ และอิมพีแดนซ์รอยต่อ PN นี้มีความไวต่อแสงมากเป็นพิเศษ คือจะมีอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในที่มืด และมีอิมพีแดนซ์ต่ำเมื่ออยู่ในที่สว่าง ไดโอดทั่วไปนั้นจะถูกหุ้มรอยต่อนี้ไว้ด้วยวัสดุทึบแสงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น แต่สำหรับโฟโตไดโอดเป็นไดโอดซึ่งถูกผลิตขึ้นมาเพื่อปรากฏการณ์นี้โดยเฉพาะ ดังนั้นรอยต่อจึงจึงต้องหุ้มด้วยวัสดุที่แสงสามารถผ่านได้ดีที่สุดไดโอดชนิดนี้มีสองแบบคือ ชนิดที่ตอบสนองต่อแสงผ่านอินฟาเรด ในการนำไปใช้งาน โฟโตไดโอดจะถูกต่อในลักษณะได้รับการไบอัสกลับสำหรับแรงดันเอาต์พุต เป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลดที่ต่อนุกรมกับโฟโตไดโอดและกราวด์ ดังรูปที่ 2.9 โฟโตไดโอดจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวกับสัญญาณไฟสลับที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็วๆ สำหรับการประยุกต์ใช้งานโฟโตไดโอดชนิดที่ตอบสนองต่อแสงอินฟาเรด เช่นการใช้ในวงจรควบคุมระยะไกล วงจรสัญญาณเตือนต่างๆ ที่ใช้แสงอินฟาเรดในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

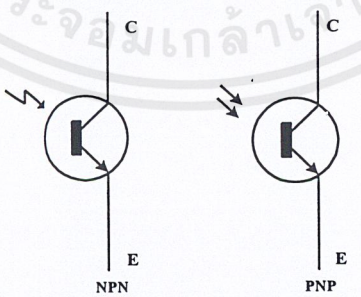
เนื่องจากไดโอดชนิดนี้มีความเร็วในการทำงานสูง จึงถูกนำไปใช้งานเป็น High Speed Tape Readers ในอุปกรณ์ Character Recognition นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานอื่นๆ ได้อีกมากมาย เช่น ใช้เป็นตัวนำแสง โดยการให้แรงดันไบอัสตรง ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าในขณะที่รอยต่อได้รับแสงจะมีค่าสูงกว่าปกติ



รูปที่ 2.9 การต่อโฟโตไดโอดในการนำไปใช้งาน
(ก) การต่อแรงดันเอาต์พุตที่โหลด
(ข) การต่อแรงดันเอาต์พุตที่ไดโอด

2.3.3 โฟโตทรานซิสเตอร์

เป็นไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้นเหมือนทรานซิสเตอร์ทั่วไป แต่ขาเบสจะสามารถรับแสงได้ง่าย โฟโตทรานซิสเตอร์มีทั้งชนิด npn และ pnp ปกตินิยมนำไปประกอบวงจรแบบ อิมิตเตอร์ร่วม โดยที่ขั้วของเบสอาจจะถูกทิ้งไว้หรือต่อกับ



รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

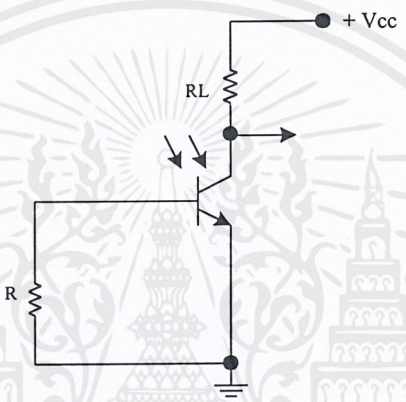
อิมิตเตอร์โดยผ่านความต้านทานก็ได้ หลักการทำงานเบื้องต้นจะเหมือนกับทรานซิสเตอร์ทั่วไปแต่โฟโตทรานซิสเตอร์จะไม่มีขาเบส ซึ่งกระแสเบสจะได้รับจากการเปลี่ยนแปลงของแสงที่ตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณรอยต่อของสาร PN ตามที่กล่าวมาแล้ว วงจรการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 2.11

สมมุติกำหนดให้ I_λ เป็นกระแสเบสที่เกิดจากการได้รับพลังงานแสงผลลัพธ์ของกระแสอิเลคตรอนจะเป็นดังนี้

$$IC = \frac{hfe}{I\lambda} \tag{2.4}$$

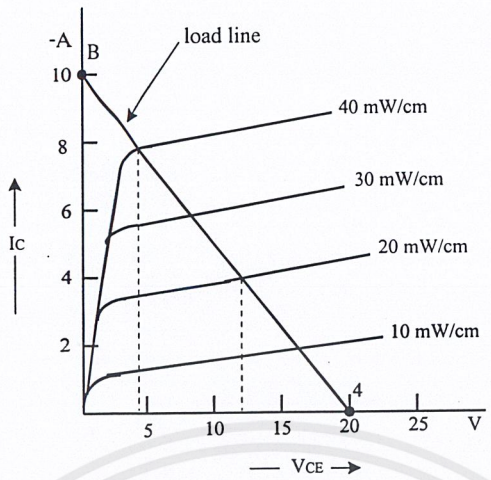


รูปที่ 2.11 วงจรของโฟโตทรานซิสเตอร์

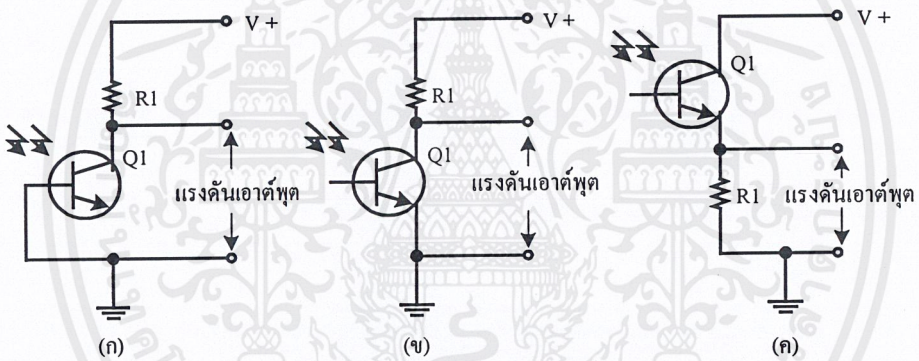
กราฟคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงและกระแส คือถ้าความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นกระแสคอลเลคเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นนั่นคือ กระแส I_C จะเปลี่ยนไปเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง แต่ถ้าความเข้มของแสงมีค่าลดลง กระแสของโฟโตทรานซิสเตอร์จะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งกระแสของโฟโตทรานซิสเตอร์จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์แต่ละตัวซึ่งแต่ละเบอร์จะมีค่าไม่เท่ากัน และในบางตัวถึงแม้จะเป็นเบอร์เดียวกัน แต่ค่ากระแสและอัตราขยายก็อาจจะไม่เท่ากันก็ได้ ดังนั้นการในเลือกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรออกแบบให้เหมาะสมกับแต่ละวงจรด้วย ซึ่งการประยุกต์ใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์ในวงจรต่างๆ นั้นก็มีให้เลือกใช้อยู่หลายแบบเช่นกัน

การใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์มีอยู่ด้วยกันดังนี้ การต่อใช้งานพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.13 โดยรูปที่ 2.13 (ก) ขาเบสของทรานซิสเตอร์ถูกต่อลงกราวด์ ดังนั้นทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับการทำงานของโฟโตไดโอดทุกประการ ส่วนรูปที่ 2.13 (ข) และ 2.13 (ค) ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะถูกปล่อยลอยไว้และเมื่อใดที่ทรานซิสเตอร์ได้รับแสงก็จะมีกระแสไหลผ่านรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.13 การต่อใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ

(ก) ขาเบสของทรานซิสเตอร์ถูกต่อลงกราวด์

(ข) ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะถูกปล่อยลอยไว้

(ค) ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะถูกปล่อยลอยเช่นกัน

เบส คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ผ่านจากคอลเลคเตอร์มายังอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก กระแสนี้จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดโฟโตทรานซิสเตอร์จะมีความไวต่อแสงมากกว่าประมาณ 100 เท่า แต่ในด้านความถี่ใช้งานสูงสุดสำหรับโฟโตทรานซิสเตอร์จะใช้งานได้ที่ความถี่ต่ำกว่าโฟโตไดโอดหลายเท่า ในการใช้งานอาจจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วย เพื่อให้สามารถเลือกได้ว่าต้องการใช้งานที่มีความไวต่อแสงมากๆ หรือต้องการใช้ที่ความถี่สูงๆ โดยเมื่อความต้านทานปรับค่าได้ลัดวงจรก็จะทำหน้าที่เป็นโฟโตไดโอดไป

2.3.4 ตัวต้านทานไวแสง

ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวแสง หรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสงมีอยู่หลายอย่างตั้งแต่ แอลดีอาร์,โฟโต้โวลตาอิกเซล ซึ่งจ่ายแรงดันออกมาเมื่อได้รับแสง, โฟโต้ไดโอด, โฟโต้ทรานซิสเตอร์, ไปจนถึงเอสซีอาร์ที่ทำงานด้วยแสง : LASCR ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น อุปกรณ์นี้ที่มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานที่ง่ายที่สุดเห็นจะได้แอลดีอาร์ เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อ พี-เอ็น เหมือนกับแบบอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว

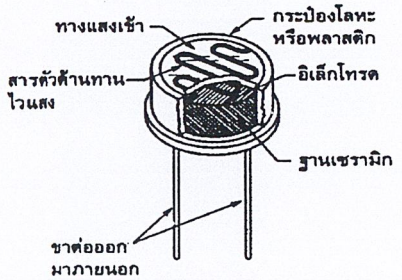
1) โครงสร้าง

แอลดีอาร์ ที่จริงแล้วมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น โฟโต้คอนดักตีฟ หรือ ตัวต้านทานไวแสง ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟล์ (CdS) หรือไม่ก็แคดเมียมซีลิไนด์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทสารกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิคที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ใช้ฉาบออกมา

รูปร่างของมันจะเห็นได้ในรูปที่ 2.14 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กๆ สีดำคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสงและแนวสีดำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็นสองข้าง ตัวนำไฟฟ้าทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่า “อิเล็กโทรด” ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มซึ่งมีได้หลายรูปแบบ

2) คุณสมบัติทางแสง

การทำงานของแอลดีอาร์ ใช้หลักการง่ายๆเนื่องจากว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เมื่อมีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระวิ่งอยู่ การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนนี้มากขึ้นทำให้ความต้านทานลดลง ยิ่งมีความเข้มข้นของแสงตกกระทบมากเท่าใดความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



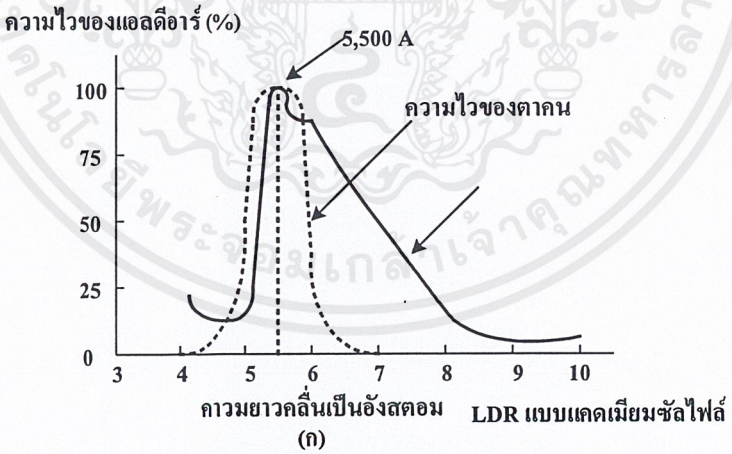
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของแอลดีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ตกมากระทบนั้นมิใช่ว่าเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 10,000 อังสตรอมเท่านั้น ซึ่งเป็นช่วงทำงานที่แคบๆเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่นๆ แต่ถึงอย่างไรแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นนี้ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับช่วงที่ แอลดีอาร์ จะตอบสนองไวที่สุดมีหลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป แอลดีอาร์ ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลืองสำหรับบางตัวแล้วความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม) ถ้าเป็น แอลดีอาร์ ที่ทำจากแคดเมียมซีลิไนด์ก็จะไวต่อความยาวคลื่นช่วง 7,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นอินฟาเรดแล้ว ดังรูปที่ 2.15

3) ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ แอลดีอาร์ ในขณะที่ไม่มีแสงกับไม่มีแสง อาจเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า, 1,000 เท่า, หรือ 10,000 เท่าแล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 เมกะโอห์ม ขึ้นไป ในที่มืดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 เมกะโอห์ม และในขณะที่มีแสงจะมีค่าประมาณ 10-20 กิโลโอห์ม ลงไปอาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์มหรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 10 โวลต์ และทนกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 มิลลิวัตต์



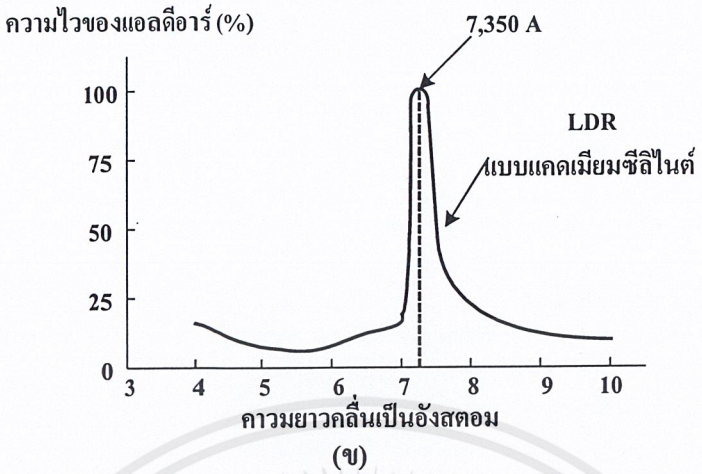
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของแอลดีอาร์ ทั้งสองแบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

(ก) แอลดีอาร์ แบบแคดเมียมซัลไฟล์

(ข) แอลดีอาร์ แบบแคดเมียมซิลิไนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.15(ต่อ) ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่างๆ ของแอลดีอาร์ ทั้งสองแบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

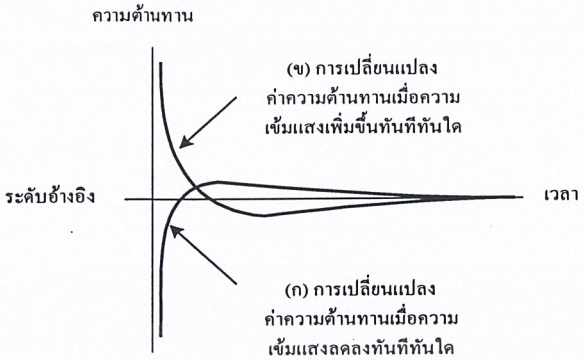
(ค) แอลดีอาร์ แบบแคดเมียมซัลไฟล์

(ง) แอลดีอาร์ แบบแคดเมียมซิลิไนด์

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างที่สำคัญคือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มข้นแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ตัวอย่างดูได้ในรูปที่ 2.16 ถ้า แอลดีอาร์ ได้รับแสงเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำ และในทันทีที่ความเข้มข้นของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานจะค่อยๆเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดที่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงลดลงมาอยู่ที่ระดับอ้างอิง และในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันทีดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลดเลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน แอลดีอาร์ แบบแคดเมียมซีลิไนด์จะใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่าแบบแคดเมียมซัลไฟล์แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นนาทีเลย จึงทำให้ แอลดีอาร์ ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40192



รูปที่ 2.16 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงในทันทีทันใด

2.3.5 โฟโตคัปเปลอร์

โฟโตคัปเปลอร์ หรือบางครั้งเรียกว่า โฟโตไอโซเลเตอร์ ภายในมีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง จากรูปโฟโตคัปเปลอร์ เป็นไอซีขนาดเล็กที่ภายในมีตัวกำเนิดแสง เช่น หลอดไฟเล็กๆ หรือโฟโตไดโอดหรืออินฟาเรดไดโอด วางติดกับตัวรับแสงซึ่งมักใช้โฟโตเซล โฟโตไอโอดหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.17 จะแสดงโครงสร้างของโฟโตคัปเปลอร์แบบต่างๆ และ รูปที่ 2.18 แสดงตัวถังของโฟโตคัปเปลอร์แบบต่างๆ

ตัวกำเนิดแสงจะแปลงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไปเป็นการเปลี่ยนแปลงของแสง แสงนี้จะส่องไปที่ตัวรับแสงที่อยู่ติดกันและจะทำหน้าที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิมการเปลี่ยนสัญญาณกลับไปกลับมาแบบนี้อาจคิดว่าไม่มีประโยชน์ แต่มันมีประโยชน์หลายประการคือ

ประการแรก อินพุตและเอาต์พุตจะเชื่อมต่อกันด้วยแสง ดังนั้นจึงเป็นฉนวนไฟฟ้าต่อกัน จึงเหมาะสำหรับเชื่อมต่อวงจร 2 วงจรที่มีสายกราวด์ต่างกันเข้าด้วยกันและเหมาะสำหรับแยกวงจร 2 วงจรออกจากกัน โดยมีฉนวนระหว่างกัน

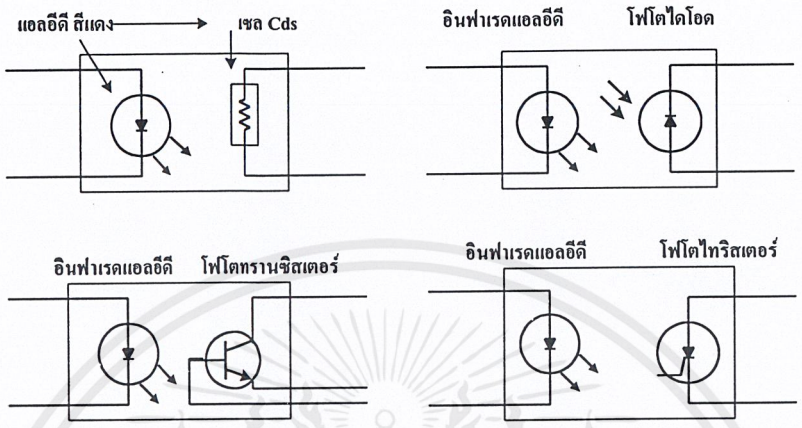
ประการที่สอง สัญญาณจะไหลเข้าทางอินพุตและไหลออกทางเอาต์พุตเท่านั้นไม่สามารถไหลย้อนกลับได้ จึงไม่ต้องห่วงว่าจะมีสัญญาณขาออกป้อนกลับเข้ามา

ประการที่สาม ถ้าเลือกลักษณะสมบัติของแสง และตัวรับแสงให้เข้าคู่กันได้ก็สามารถแปลงรูปคลื่นเป็นรูปอื่นๆได้

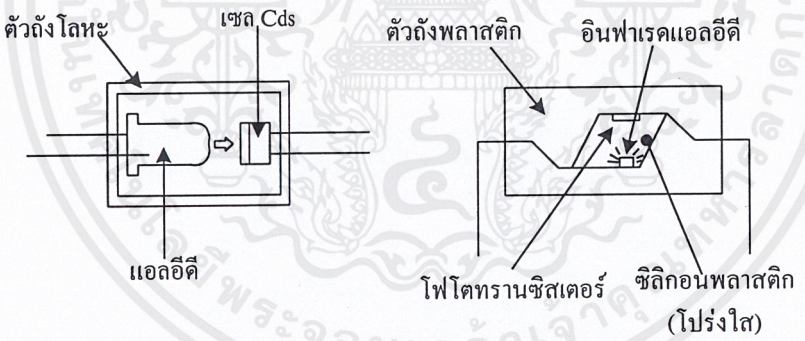
การแยกวงจร 2 วงจรให้เป็นฉนวนทางไฟฟ้าหรือบางทีเรียกว่า “การไอโซเลต (Isolate)” นั้นเป็นเรื่องสำคัญ และยังเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอีกด้วย ตัวอย่างเช่น การวัดคลื่นหัวใจ และเครื่องตรวจวัดคลื่นสมองที่ใช้ในวงการแพทย์นั้น เครื่องจะเสียบอยู่กับไฟ 220 โวลต์ ถ้าเกิดมีไฟรั่วแม้เพียงเล็กน้อยเข้าไป คนที่กำลังถูกวัดจะเป็นอันตรายมาก ดังนั้นถ้าใช้ขั้วไฟฟ้าต่อกับร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์แล้วใช้แบตเตอรี่จ่ายไฟให้วงจรนั้น เมื่อได้สัญญาณออกมาก็ต่อเข้าโฟโตคัปเปลอร์ เพื่อส่งต่อไปให้วงจรของเครื่องซึ่งใช้ไฟ 220 โวลต์ จะปลอดภัยมากกว่า



รูปที่ 2.17 โครงสร้างโฟโตคัปเปลอร์ลักษณะต่างๆ



รูปที่ 2.18 ตัวถังโฟโตคัปเปลอร์ลักษณะต่างๆ

2.3.6 โฟโตเซนเซอร์

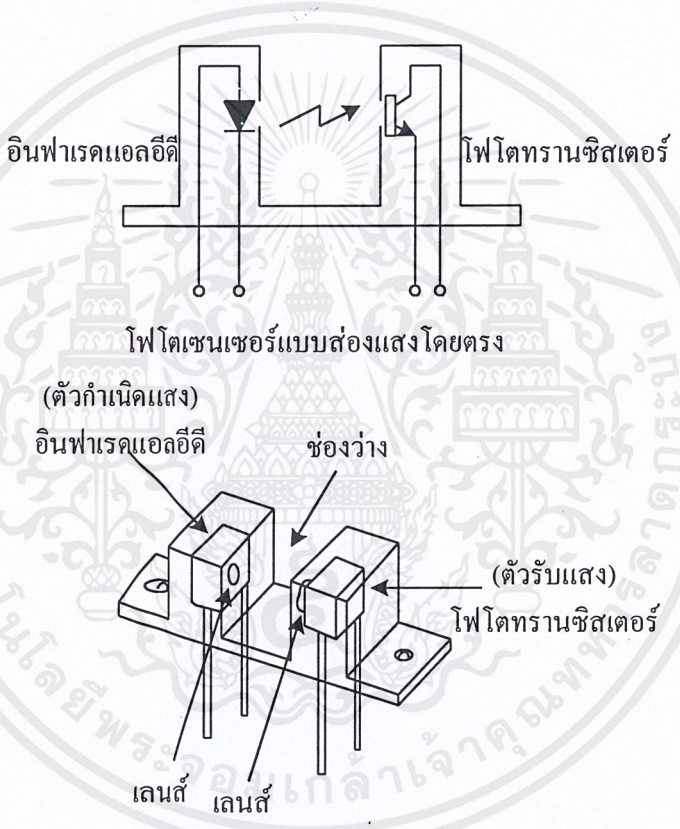
โฟโตเซนเซอร์ หรือบางครั้งเรียกว่า โฟโตอินเตอร์รัพเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงเหมือนกัน ต่างกับโฟโตคัปเปลอร์ตรงที่ตัวกำเนิดแสงจะจ่ายแสงออกมาภายนอกและแสงนั้นจะรับด้วยตัวรับแวงที่บรรจุอยู่ภายในอุปกรณ์ตัวเดียวกัน โฟโตเซนเซอร์มี 2 แบบ คือ แบบส่องแสงโดยตรง กับแบบสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

โฟโตเซนเซอร์แบบนี้ ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะวางห่างกัน 1มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร หันหน้าเข้าหากัน แสงจะวิ่งจากตัวกำเนิดแสงผ่านช่องว่างนี้ไปยังตัวรับแสง ถ้ามีสิ่งกีดขวางมากั้นทางเดินทางของแสงตัวรับแสงจะรับแสงและส่งสัญญาณออกที่ต่างจากปกติ

ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟาเรดแอลอีดี ส่วนตัวรับแสงจะใช้เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ หรือเป็นดาร์ลิงตันโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.19 ในกรณีที่ใช้ในบริเวณที่มีแสงโดยรวมมาก จะติดฟิลเตอร์กรองแสงธรรมชาติที่บริเวณตัวรับแสงด้วย



รูปที่ 2.19 โครงสร้างโฟโตเซนเซอร์แบบส่องแสงโดยตรง

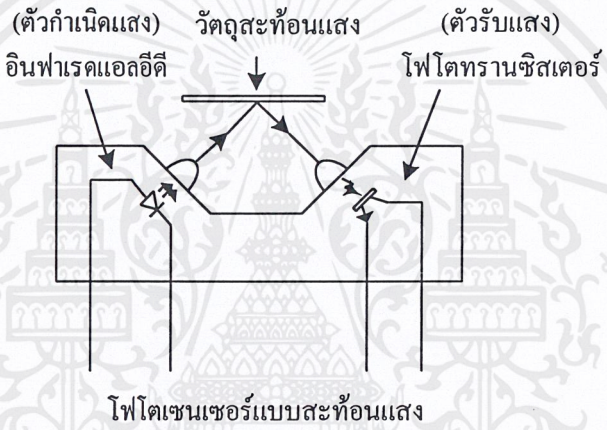
บางครั้งถ้าผลของแสงภายนอกสูงมาก จะใช้วิธีกำหนดแสงเป็นพัลส์ และทางด้านรับจะรับแสงในช่วงจังหวะพัลส์นี้ด้วย ถ้าสอดกระดาษเข้าไประหว่างช่องว่างของตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะทำให้สัญญาณออกเปลี่ยนแปลงไป เราสามารถใช้หลักการนี้ในการตรวจสอบตำแหน่งของกระดาษในเครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์ เครื่องโทรสาร ใช้ในการตรวจวัดความเร็วของมอเตอร์ กล่าวคือ ถ้ามอเตอร์หมุนเร็วผิดปกติก็สามารถทราบได้ทันที จะเห็นได้ว่าการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือตรวจวัดด้วยโฟโตเซนเซอร์เป็นการตรวจ โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุโดยตรง ทำให้สามารถทำงานได้ทนทานกว่าแบบที่ต้องสัมผัส

2) โฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน

บางครั้งเรียกว่า "โฟโตอินเตอร์รัพเตอร์แบบสะท้อน" มีทั้งตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงเหมือนกับแบบแรก เพียงแต่ทั้งสองตัวไม่ได้หันหน้าเข้าหากัน แต่เรียงอยู่ด้านเดียวกัน ในขณะที่ปฏิบัติงานแสงจากตัวกำเนิดแสงจะส่องแสงออกไปด้านนอก และจะไม่เข้าตัวรับเลย แต่ถ้ามีวัตถุเคลื่อนที่เข้าใกล้แสงที่ส่องออกมาจะสะท้อนกับวัตถุและสะท้อนกลับไฟที่ตัวรับแสง จะทำให้ได้สัญญาณออกมา ดังคำอธิบายในรูป



รูปที่ 2.20 โครงงานโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน

ตัวกำเนิดแสงจะใช้อินฟาเรด แอลอีดี ตัวรับแสงจะเป็นจะเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ จากโครงสร้างของโฟโตเซนเซอร์แบบสะท้อน จะเห็นว่า ผลของแสงโดยรอบจะมีผลต่อการทำงานมาก ดังนั้น ที่ตัวรับแสงจะติดตั้งฟิลเตอร์เพื่อกรองแสงธรรมชาติออกไปที่ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง บางครั้งจะมีเลนส์ติดตั้งไว้ถ้ามีเลนส์จะสามารถตรวจจับการเข้ามาใกล้ของวัตถุของวัตถุตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไปจนถึงหลายมิลลิเมตร แล้วถ้าปรับโฟกัสของเลนส์ไว้ที่ระยะเท่าไรแต่การทำงานของมันจะไวมากโดยเฉพาะตรงจุดโฟกัส แบบที่ไม่มีเลนส์ แบบไม่มีโฟกัสก็มี แบบนี้จะไม่ไวเท่ากับแบบแรก และมักใช้ในกรณีที่ใช้แบบมีเลนส์ไม่ได้เนื่องจากไวเกินไป

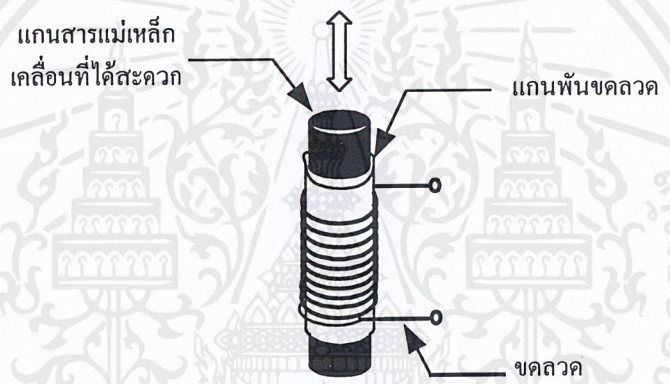
การประยุกต์ใช้งานโฟโตเซนเซอร์แบบนี้เหมือนกับแบบส่องแสงโดยตรง คือ ใช้ในการตรวจจับสิ่งของ วัตถุแบบที่ไม่ต้องสัมผัส ใช้ในเครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องโทรสาร ดูว่ามีกระดาษหรือไม่ ตรวจสอบจุดปลายของเทปกระดาษ เทปแม่เหล็ก เทปวีดีโอ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โซลินอยด์

รากศัพท์ของคำว่าโซลินอยด์ น่าจะมาจากคำว่า โซเลน (Solen) ซึ่งมีความหมายทางการแพทย์เป็นคล้ายเฝือกหุ้มอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะของปลอกแขนหรือปลอกขา เมื่อมีการผลิตอุปกรณ์นี้ขึ้น โครงสร้างของมันคือ เป็นขดลวดพันอยู่รอบๆ คล้ายแกนสารแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.20 ลักษณะเป็นคล้ายทรงกระบอกเช่นกัน

เราสามารถนำโซลินอยด์มาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยตรง โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้ทางขดลวด ทำให้แกนสารแม่เหล็กของโซลินอยด์เกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นเราจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งโซลินอยด์ที่มีใช้กันจะมีทั้งชนิดที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.21 โครงสร้างพื้นฐานของโซลินอยด์

2.4.1 หลักการทำงานของโซลินอยด์

เออร์สเตดผู้ตั้งกฎว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลวนในตัวนำใดๆ ก็ตามจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำ ดังนั้น เออร์สเตดยังออกกฎมือให้ดูทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กอีกด้วย คือ ถ้านำมือขวากำรอบเส้นลวดให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางการไหลของกระแสนิ้วที่เหลือจะแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจากขัวเหนือไปขั้วใต้

เมื่อเรานำเส้นลวดแบบเดิมแต่ยาวกว่าเดิมมาขดเป็นวงหลายๆ วง ก็จะเกิดลักษณะของขดลวดขึ้นสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดจะมีทิศทางเสริมกัน และกำเนิดเป็นเส้นแรงแม่เหล็กรวมทิศเหนือใต้ ซึ่งแปลว่าขดลวดชุดนี้สามรถทำหน้าที่เช่นเดียวกับแม่เหล็กถาวรแท่งหนึ่งพร้อมที่จะดูดสารแม่เหล็กทันที แต่เนื่องจากสภาพรอบขดลวดเป็นอากาศ เส้นแรงแม่เหล็กจึงไม่เข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกระจัดกระจาย จึงใส่แกนเหล็กอ่อนรูปตัว ซี เข้ามารอบๆ ขดลวด เพื่อให้สนามแม่เหล็กมากขึ้น ถ้าเอาแกนกระทุ้งมาใส่ตรงกลางขดลวดแกนกระทุ้งจะถูกดูดให้ลึกเข้ามาจนสนิท ในอีกตำแหน่งหนึ่งยิ่งระยะทางมาก แรงดูดจะยิ่งมากขึ้นด้วย

มีข้อแตกต่างระหว่างโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ คือ โซลินอยด์ไฟตรงกระแสที่ไหลในขดลวดค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าแกนกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตาม แต่โซลินอยด์ไฟสลับกระแสในขณะที่แกนกรทุ้งอยู่นอกขดลวดจะมีค่าสูง และเมื่อแกนกระทุ้งถูกดูดเข้ามาจนสุดกระแสจะลดต่ำลง ลักษณะนี้ต้องระวังไม่ให้เกิดการติดขัดของแกนกระทุ้งในโซ-ลินอยด์ไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะจะทำให้เกิดกระแสไหลค้างอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและอาจจะไหม้เสียหายได้

ในโครงสร้างของโซลินอยด์แบบไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะต้องมีการพันขดลวด Shaded Coil หรือแหวน ซึ่งเป็นลวดพันรอบแกนเหล็กเพียงรอบเดียว หรือไม่กี่รอบลัดวงจรเอาไว้ จุดประสงค์ที่พันเอาไว้เพราะในไฟฟ้ากระแสสลับกระแสจะลดลงเป็นศูนย์ 2 ครั้งทุกๆ ไซเคิล ช่วงที่กระแสเป็นศูนย์นี้จะทำให้แรงดูดแม่เหล็กลดลงและทำให้เกิดเสียงดังขึ้น และการดูดก็จะไม่แน่นพอ ขดลวดแหวนที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้วงจรแม่เหล็กเกิดสภาพสองเฟส คือ ในขณะที่กระแสเป็นศูนย์ก็ตามขดลวดแหวนซึ่งมีกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก จะยังคงมีแรงแม่เหล็กมาเสริมการดูดในช่วงนี้ได้ แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียในรูปความร้อนของขดลวดได้บ้าง

2.4.2 ขั้นตอนการเลือกใช้โซลินอยด์

เราต้องคำนึงถึงหลักใหญ่ๆ คือ

1) แรงดันใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากรแสสลับ ถ้าเป็นไฟกระแสสลับต้องดูความถี่ใช้งานให้ตรงตามที่ต้องการด้วย

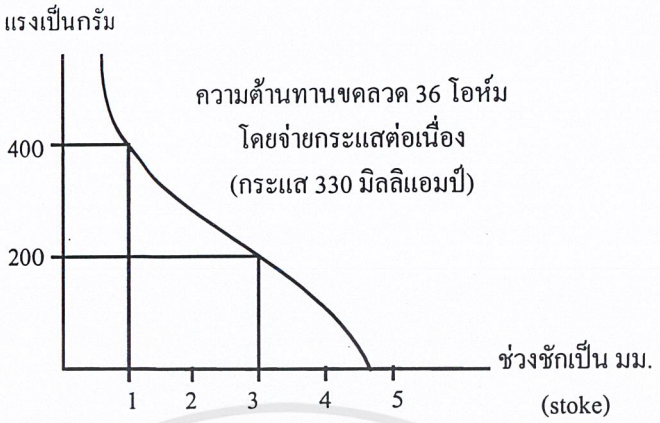
2) ช่วงชักใช้งาน ของโซลินอยด์จะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าใด (จะกำหนดเป็นมิลลิเมตร)

3) ขนาดของโหลด ว่าต้องใช้แรงขนาดเท่าใด

4) ใช้งานต่อเนื่องหรือไม่ การใช้งานขดต่อเนื่อง หมายถึง อาจจะใส่แรงดันเข้าไปในขดลวดค้างไว้เลยโดยขดลวดไม่ไหม้ หรือแบบเป็นจังหวะ

ในรูปที่ 2.22 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกัยระยะช่วงชักของโซลินอยด์ จะเห็นว่าช่วงที่ชักไกลๆ จะมีแรงน้อยมาก และระยะใกล้จะมีแรงมากเป็นทวีคูณ เช่น โซลินอยด์ให้แรงดูด 200 กรัม ที่ระยะช่วงชัก 3 มิลลิเมตร และให้แรงถึง 400 กรัมที่ช่วงสั้นๆ ขนาด 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ของแรงกับระยะช่วงชักของโซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

2.4.3 ข้อควรระวังในการใช้โซลินอยด์

1) ใช้โซลินอยด์ไฟฟ้ากระแสสลับต้องทำกลไกให้มั่นใจได้ว่า โซลินอยด์จะดูดแกนกระทุ้งเข้ามาหาจนสุดตัวเต็มที่ ไม่เช่นนั้นกระแสในโซลินอยด์จะสูงและเกิดความร้อน และขดลวดอาจจะไหม้ได้

2) ควรระวังแนวในการเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้งให้อยู่ในแนวแกนเสมอ ในกรณีที่การเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้ง ก็อาจจะเพิ่มข้อต่อเข้ามาเพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้งอยู่ในแนวแกนมากขึ้น

3) พยายามอย่าวางตำแหน่งของโซลินอยด์อยู่ใกล้ หรือติดกับสารแม่เหล็กเพราะอาจจะมีสนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งรั่วไหลออกไปได้เป็นผลให้แรงดึงลดลง ควรแก้ไขโดยการเพิ่มฉนวนแม่เหล็กแทรกเข้าไปด้วย

4) ต้องติดตั้งตัวถังของโซลินอยด์ให้แน่นหนา เนื่องจากโซลินอยด์เป็นตัวส่งกำลังทางกล ฉะนั้นเมื่อมีแรงกริยาก็ต้องย่อมมีแรงปฏิกริยาขึ้นกับตัวถังของโซลินอยด์ ถ้ายึดไม่แน่นหนาพอในระยะยาวอาจจะทำให้เกิดการสั่น หลวม หรือ หลุดได้

2.5 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน

2.5.1 ความรู้เบื้องต้น

การประมวลผลข้อมูลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกจะต้องมีส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจจะมาจากตัวตรวจจับต่าง ผ่านวงจรภาคหน้าเพื่อเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลข้อมูลที่ได้มาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจจะเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วนของภาคอินพุต และภาคเอาต์พุตสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1) เชื่อมต่อผ่านทางการ์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีการเสียบหรือติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

2) เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

3) เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน

4) เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่นๆ เช่น พอร์ต USB (Universal Serial Bus) พอร์ต SCSI หรือพอร์ต GAME เป็นต้น

2.5.2 ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน

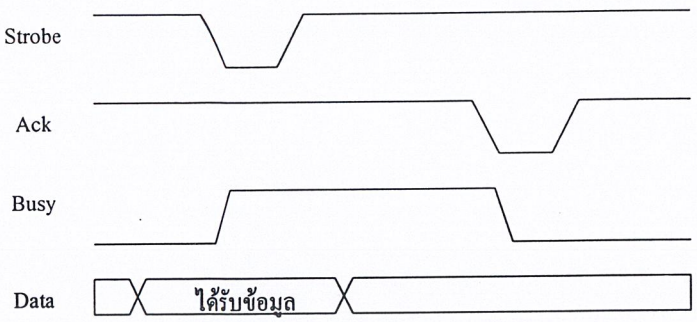
พอร์ตขนาน สาเหตุที่มีชื่อนี้ เนื่องจากการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ตนี้เป็นแบบขนาน สำหรับชื่อเรียกอีกชื่อของพอร์ตขนาน คือ พอร์ตเครื่องพิมพ์ เนื่องจากพอร์ตนี้ใช้สำหรับต่อเครื่องพิมพ์นั้นเอง

ด้วยการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานนี้เอง ทำให้พอร์ตขนานมีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8 ถึง 10 เท่า และการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตขนานจึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติมใดๆ

การสั่งพิมพ์งานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนานนั้นมีรูปแบบการทำงานต่างๆ คือ ในรูปที่ 2.23 แสดงแผนผังทางเวลาของการติดต่อระหว่างพอร์ตขนานกับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ใช้งานจริงๆ มีไม่มาก เริ่มจากสัญญาณพอร์ตข้อมูล ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobe ออกไปด้วย เพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลใหม่มาที่ขาข้อมูลแล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะต้องรอการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์ นั่นคือเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ Busy หรือเพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่ จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ACK ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่า พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว

สัญญาณข้อมูลขนาด 8 บิต , สัญญาณ Strobe และสัญญาณ ACK (acknowledge) เป็นสัญญาณที่สำคัญในการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ นอกจากสัญญาณทั้งสามแล้วส่วนใหญ่การติดต่อกับเครื่องพิมพ์ยังต้องมีสัญญาณอื่นๆ ร่วมด้วย เนื่องจากเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ถึง 3 อย่างด้วยกัน คือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ พิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามา และตอบสนองต่อการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แผนผังทางเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์

งานของผู้ใช้ เช่น การเปลี่ยนฟอนต์ เป็นต้น บางครั้งอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ปกติเช่น บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเต็ม (เนื่องจากเครื่องพิมพ์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานทางกล ย่อมทำงานได้ช้ากว่าการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์) เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าให้หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว เนื่องจากไม่สามารถรับข้อมูลมากกว่านี้ได้แล้ว สัญญาณที่ส่งจากเครื่องพิมพ์ไปยังคอมพิวเตอร์คือ สัญญาณ Busy และเมื่อเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด เช่น กระดาษติด เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เช่นกัน โดยสัญญาณที่แจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เรียกว่าสัญญาณ Error นอกจากนี้เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการรีเซตเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะต้องส่งสัญญาณรีเซ็ต ไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อรีเซตเครื่องพิมพ์ด้วย สามารถสรุปขาสัญญาณที่จำเป็นสำหรับการติดต่อดังในตารางที่ 2.3

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ยังแยกย่อยออกเป็นอีก 3 พอร์ต ได้แก่ พอร์ตเอาต์พุตทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณ Strobe และ รีเซ็ต พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสัญญาณ Acknowledge, Busy, และสัญญาณ Error จากเครื่องพิมพ์

ตารางที่ 2.3 สัญญาณสำคัญๆ ของพอร์ตขนานที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์

สัญญาณ	หน้าที่การทำงาน	ทิศทาง
ข้อมูล 8 บิต	ข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์
Strobe	แจ้งเครื่องพิมพ์ถึงข้อมูลที่ส่งมาใหม่	คอมพิวเตอร์
Acknowledge	เครื่องพิมพ์แจ้งมายังคอมพิวเตอร์ว่าได้รับข้อมูลแล้ว	เครื่องพิมพ์
Busy	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์ไม่ว่างที่จะรับข้อมูลใหม่	เครื่องพิมพ์
Error	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด	เครื่องพิมพ์
รีเซ็ต	รีเซ็ตเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์

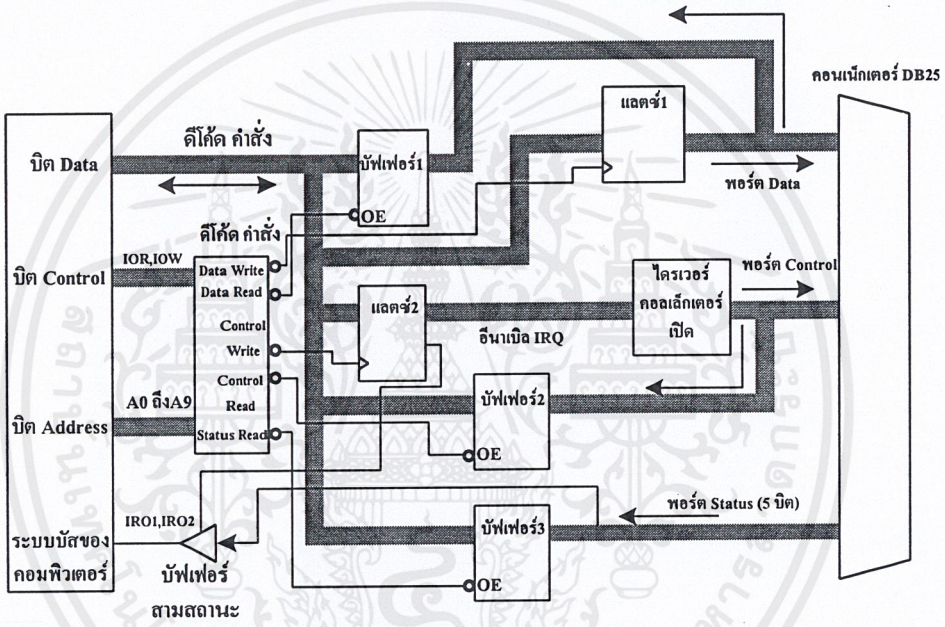
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสายสัญญาณอยู่ทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านั้นจะมีรีจิสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงาน ดังนี้

1) พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้น มีรีจิสเตอร์ข้อมูลควบคุม

2) พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่างๆ จากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจิสเตอร์สถานะในการควบคุม

3) พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ควบคุมในการควบคุม



รูปที่ 2.24 ระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน

แผนผังการทำงานรูปที่ 2.24 แสดงระบบบัสของคอมพิวเตอร์สำหรับการติดต่อกับพอร์ตขนาน สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ตขนานจะถูกส่งกลับไปยังคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันพอร์ตขนานจะมีมาพร้อมกับเมนบอร์ดไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดเสียบเพิ่มเติมเหมือนในอดีต พร้อมทั้งมีฟังก์ชั่นการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น แต่ยังคงสนับสนุนการทำงานของพอร์ตขนานในรูปแบบมาตรฐาน (SPP) อยู่

เมื่อดูจากรูปที่ 2.24 เทียบการทำงานโดยทั่วไปกับการเชื่อมต่อผ่านการ์ดที่เสียบลงในสล๊อตของคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการติดต่อกับพอร์ตขนานจะต้องมีการอ้างแอดเดรส ตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้อ้างถึงจะเป็นตำแหน่ง A0 – A9 และใช้ขา IOR และ IOW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียนรีจีสเตอร์ตัวใด จากการดีโค้ดแอดเดรส A0 – A9 นี้เอง ทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อไปควบคุมหรืออีนาเบิล (Enable) วงจรบัฟเฟอร์ต่างๆ ดังนี้

1) Data Write เป็นสัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัสข้อมูล ไปออกที่ขาข้อมูลของพอร์ตขนาน

2) Data Read เป็นสัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านข้อมูลจากขาข้อมูลของพอร์ตขนานมาเก็บไว้ในบัสข้อมูล

3) Control Write เป็นสัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัสข้อมูล ไปออกที่ขาควบคุม ของพอร์ตขนาน สำหรับพอร์ตนี้นอกจากจะส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนานแล้ว ยังทำหน้าที่อีนาเบิลการอินเตอร์รัปต์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่พอร์ตสถานะ อีกด้วย

4) Control Read เป็นสัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขา Control มาเก็บไว้ในบัสข้อมูล

5) Status Read เป็นสัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขาพอร์ตสถานะ มาเก็บไว้ในบัสข้อมูล

ตารางที่ 2.3 แสดงชื่อและหน้าที่การทำงานของตำแหน่งขาต่างๆ บนพอร์ตขนาน ส่วนในตารางที่ 2.4 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน ซึ่งกำหนดไว้ 3 ตำแหน่ง คือ LPT1, LPT2, และ LPT3

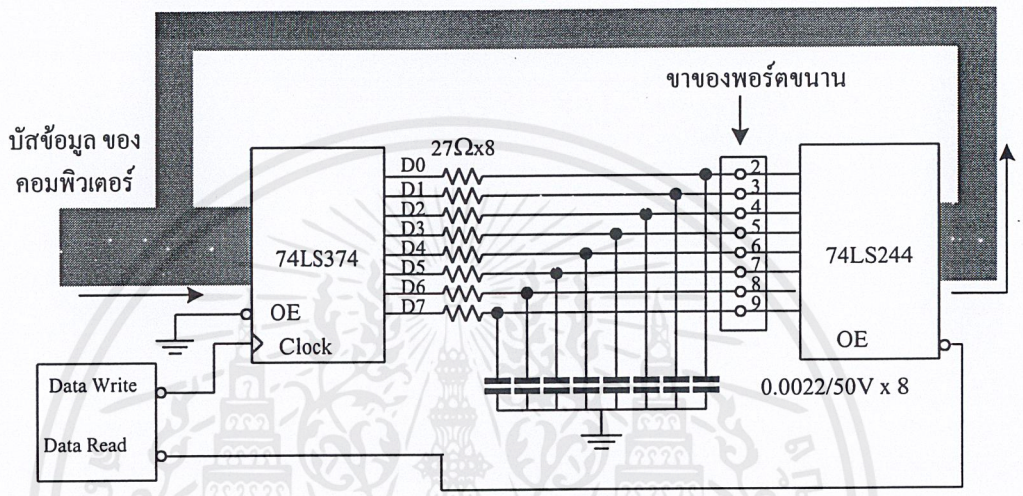
1) พอร์ตข้อมูล

จากรูปที่ 2.25 แสดงให้เห็นว่าพอร์ตข้อมูล ประกอบไปด้วยบัฟเฟอร์ 1 ตัว และไอซีแลตช์อีก 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตช์ 1 ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตช์ 1 คือ D0 ถึง D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึงขา 9 และที่ขาเอาต์พุตนี้สัญญาณข้อมูลจะส่งกลับไปเป็นอินพุตของบัฟ-เฟอร์ 1 ด้วย ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสถานะปัจจุบันที่เกิดขึ้นกับพอร์ตข้อมูลได้

เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูล ข้อมูลจะส่งมาจากบัสข้อมูลของคอมพิวเตอร์ผ่านไปให้กับไอซี 74LS374 ซึ่งเป็นไอซีแลตซ์ข้อมูล และเมื่อต้องการให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุต คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ DataWrite ออกไปที่ขา CLK ของ 74LS374 เอาต์พุตจาก 74LS374 จะถูกกรองด้วยวงจร RC ซึ่งประกอบไปด้วยตัวต้านทานค่า 27 โอห์ม และตัวเก็บประจุ 0.0022 ไมโครฟารัด เพื่อให้ช่วงเวลาที่เปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” หรือจากลอจิก “1” เป็นลอจิก “0”เป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันที่รวดเร็วทำให้เกิดสัญญาณรวบกวนเหนี่ยวนำข้ามไปยังข้อมูลบิตอื่นๆ ได้ ทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปมีข้อผิดพลาด จากค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจรทำให้เกิดการหน่วงเวลาไปประมาณ 60 นาโนวินาที จากวงจรในรูปที่ 2.25 ทำให้เอาต์พุตของพอร์ตข้อมูล มีคุณสมบัติดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กระแสซิงก์สูงสุด 24 มิลลิแอมป์
2) กระแสซอร์สสูงสุด 2.6 มิลลิแอมป์
3) ระดับแรงดันของลอจิก "1" ต่ำสุดเท่ากับ 2.4 โวลต์
4) ระดับแรงดันของลอจิก "0" สูงสุดเท่ากับ 0.5 โวลต์



รูปที่ 2.25 วงจรภายในของพอร์ตข้อมูล

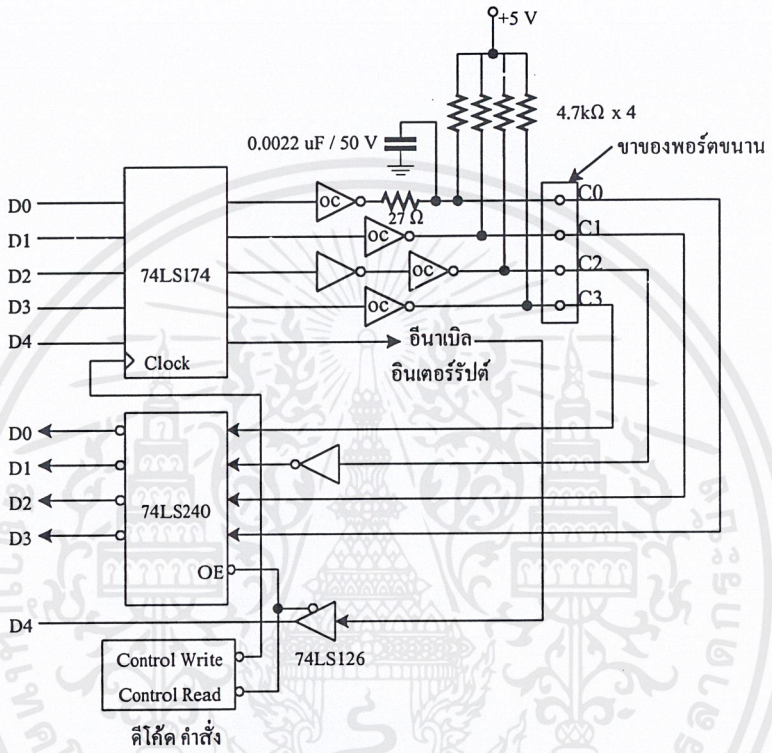
สำหรับบัฟเฟอร์สำหรับการอ่านข้อมูลกลับได้แก่เบอร์ 74LS244 ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ Data Read ออกมาเพื่ออีนาเบิลไอซี 74LS244 สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน (Standard Parallel Port : SPP) พอร์ตข้อมูล จะต้องใช้เพื่อการส่งค่าออกเอาต์พุตเท่านั้น แต่สำหรับพอร์ตขนานที่มีการสื่อสารสองทิศทาง สามารถอ่านค่าจากพอร์ตข้อมูลได้ด้วย แต่ก่อนที่จะอ่านค่าต้องจำไว้เสมอว่าจะต้องป้อนค่าเอาต์พุตให้มีค่าลอจิก "1" ทั้งหมดก่อน

2) พอร์ตควบคุม

พอร์ตควบคุมใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องพิมพ์จะเห็นว่า พอร์ตควบคุมประกอบไปด้วยบิตเอาต์พุต 4 บิตที่ต่อออกไปยังเครื่องพิมพ์ ส่วนบิตอีนาเบิลอินเตอร์รัปต์ไม่ได้ถูกต่อออกไป รูปที่ 2.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของพอร์ตควบคุม เอาต์พุตของพอร์ตควบคุม มีอินเวอร์เตอร์แบบคอลเลคเตอร์เปิดต่อร่วมอยู่ โดยเอาต์พุตเหล่านี้ถูกพูลอัปไว้ด้วยตัวต้านทานค่า 4.7 กิโลโอห์ม สำหรับบิต C2 จะผ่านอินเวอร์เตอร์ถึงสองตัวทำให้ที่เอาต์พุตของบิต C2 ไม่มีการกลับสถานะลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของพอร์ตควบคุม สามารถอ่านกลับได้โดยการใช้บัฟเฟอร์เบอร์ 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตของ 74LS240 มีอินเวอร์เตอร์อยู่ภายใน ทำให้ค่าที่อ่านได้ตรงกับค่าที่ส่งออกไป การควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ตควบคุม คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลมาที่ขา Control Write และ Control Read



รูปที่ 2.26 วงจรภายในของพอร์ตควบคุม

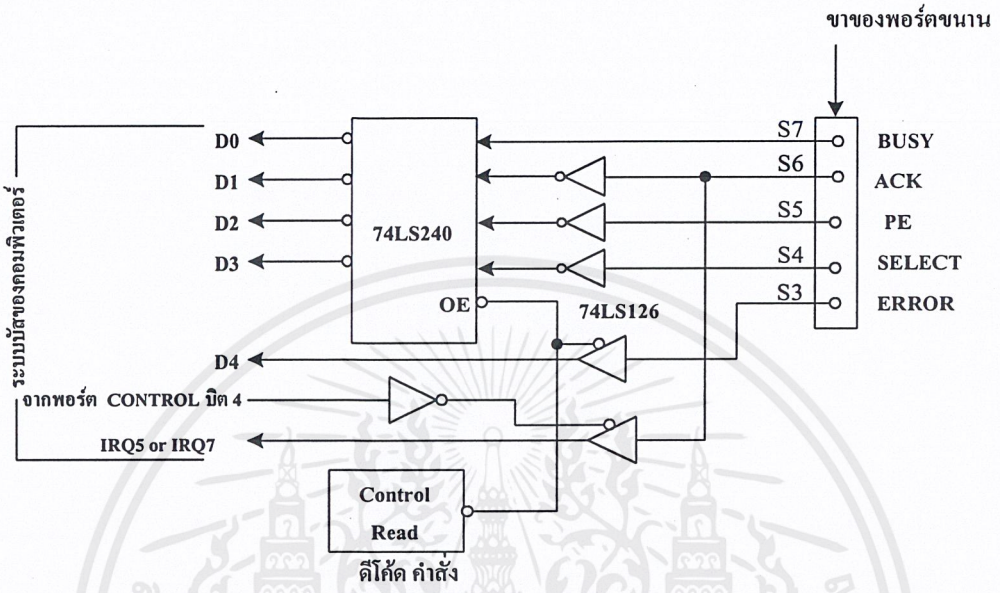
เนื่องจากเอาต์พุตของพอร์ตควบคุม เป็นแบบคอลเลคเตอร์เปิด ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้พอร์ตนี้ในการอ่านค่าสัญญาณอินพุตจากภายนอกได้โดยก่อนที่จะอ่านค่าจะต้องทำให้ขาพอร์ตที่ต้องการอ่านมีลอจิก “1” เสียก่อน

3) พอร์ตแสดงสถานะ

พอร์ตสถานะเป็นพอร์ตที่คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการอ่านค่าสถานะจากเครื่องพิมพ์ ในรูปที่ 2.27 แสดงรายละเอียดภายในของพอร์ตสถานะ จะสังเกตได้ว่ามีขาสัญญาณอยู่ทั้งหมด 5 สัญญาณด้วยกันและจะเรียกชื่อเป็น S3, S4, S5, S6 และ S7 ซึ่งตัวเลขนั้นหมายถึงตำแหน่งบิตของขาเหล่านี้ภายในรีจิสเตอร์สถานะนั่นเอง สำหรับบิต S7 จะมีข้อแตกต่างจากบิตอื่นๆ ที่เมื่อสัญญาณจากภายนอกส่งเข้ามาแล้วจะไม่ผ่านอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่ขา อื่นๆ ผ่านอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด ดังนั้น เมื่อข้อมูลผ่านจากขาอินพุตไปยัง 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตมีการกลับสถานะทำให้บิต S7 เพียงบิตเดียวที่ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการกลับสถานะ นอกจากนี้ในการใช้งานถ้าต้องการให้มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากขอบขาขึ้นของขา S6 สามารถกำหนดได้จากพอร์ตควบคุมบิต 4



รูปที่ 2.27 วงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ

2.5.3 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (พอร์ตสถานะ) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (พอร์ตควบคุม) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (พอร์ตข้อมูล) ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุต หรือพอร์ตควบคุม นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ด้วย ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

เมื่อเทียบกับการใช้งานการ์ดอินพุตเอาต์พุตที่ต้องติดตั้งอยู่ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานมีข้อได้เปรียบอยู่หลายประการดังนี้

1) ในด้านความปลอดภัย การที่ต้องถอดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์ออกมาเพื่อเสียบการ์ดเชื่อมต่อลงในสล็อตของเครื่องคอมพิวเตอร์ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่นๆ ของคอมพิวเตอร์ได้ ถ้าผู้ที่ใช้งานไม่มีความชำนาญหรือเกิดการต่อวงจรที่ผิดพลาด

2) ในด้านการเข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ การเชื่อมต่อโดยใช้การ์ดที่เสียบลงในสล็อตไม่สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ทุกรุ่น ยกตัวอย่าง คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก จะไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สล๊อตเสียบ แต่จะมีที่เสียบการ์ด PCMCIA แทน ในขณะที่พอร์ตขนานจะมีติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง ทั้งนี้เพื่อใช้ในการติดต่อกับเครื่องพิมพ์

3) ข้อจำกัดด้านพื้นที่ คอมพิวเตอร์บางเครื่องมีการเสียบการ์ดเชื่อมต่อตัวอื่นๆ อยู่แล้ว เช่น การ์ดเสียง โมเด็ม เป็นต้น จนไม่มีสล๊อตเหลือพอสำหรับการเสียบการ์ดเชื่อมต่อเพิ่มเติม

4) ความสะดวกในการใช้งาน การเชื่อมต่อทางพอร์ตขนานสามารถทำได้ง่ายๆ เพียงต่อสายสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ DB-25 ของพอร์ตขนาน

5) จำนวนช่องสัญญาณอินพุตเอาต์พุต พอร์ตขนานมีจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตมากเพียงพอที่จะนำไปใช้งานต่างๆ และยังสามารถขยายให้มีจำนวนพอร์ตเพิ่มขึ้นได้ โดยพอร์ตขนานปกติมีจำนวนขาเอาต์พุต 12 ขา และขาอินพุต 5 ขา

6) ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลกับพอร์ตขนาน มีความเร็วเท่ากับการติดต่อกับระบบบัสโดยตรง และมีความเร็วมากกว่าการติดต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

7) ชิ้นส่วนประกอบ คอนเน็กเตอร์และสายเชื่อมต่อต่างๆ ของการเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน หาได้ง่ายและราคาไม่แพง หรือจะสร้างขึ้นเองก็สามารถทำได้ง่าย

พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตตัวอื่นๆ คือ เมื่อต้องการติดต่อจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วย ตารางที่ 2.3 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งคือ แอดเดรสของรีจีสเตอร์ข้อมูล, รีจีสเตอร์สถานะ และแอดเดรสของรีจิสเตอร์ควบคุม โดยแอดเดรสนี้จะมีอยู่ทั้งหมด 3 ชุด สำหรับพอร์ตขนาน 3 ชุดคือ LPT1, LPT2 และ LPT3

ตารางที่ 2.4 แอดเดรสของพอร์ตขนาน

ชื่อพอร์ต	LPT1		LPT2		LPT3	
	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก
ข้อมูล	888	378H	956	3BCH	632	278H
สถานะ	889	379H	957	3BDH	633	279H
ควบคุม	890	37AH	958	3BEH	634	27AH

2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกอย่าง ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจึงสามารถต่อให้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 หลักการของมอเตอร์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำ ทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นหาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

แรงที่เกิดขึ้นจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่านตัวนำนั้นๆ ดังนั้นเมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำและ จะเกิดการทำปฏิกริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำ จึงทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้ การกระทำของแรงที่มีกระแสไหลผ่านในขณะที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความหนาแน่นของของเส้นแรงแม่เหล็ก ความยาวของตัวนำและค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการให้ดังนี้

$$F = Bli \tag{2.5}$$

เมื่อ

F = แรงที่เกิดบนตัวนำตัวนำ (N)

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb/m^2)

l = ความยาวของลวดตัวนำ (m)

i = กระแสที่ไหลในตัวตัวนำ (A)

2.6.2 แรงบิดของมอเตอร์

ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมี 2ลักษณะ คือ

1) แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (Torque in armature, T_a)

แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนอยู่ที่ N/60 รอบ/วินาที T_a,มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

$$Ta = \frac{0.159 Eb\, Ia}{N/60} \tag{2.6}$$

2) แรงบิดที่เพลาของมอเตอร์ (Shaft torque, T_{sh})

แรงบิดที่อาร์เมเจอร์สามารถคำนวณได้แต่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เพราะมีการสูญเสียที่แกนเหล็ก และการสูญเสียเนื่องจากความฝืดในมอเตอร์ด้วย แรงบิดที่นำมาใช้งาน หรือ ใช้ประโยชน์คือแรงบิดที่เพลา (T_{sh}) เพราะว่าใช้ประโยชน์ที่เพลา แรงม้า (Horse-power) ที่เกิดขึ้นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

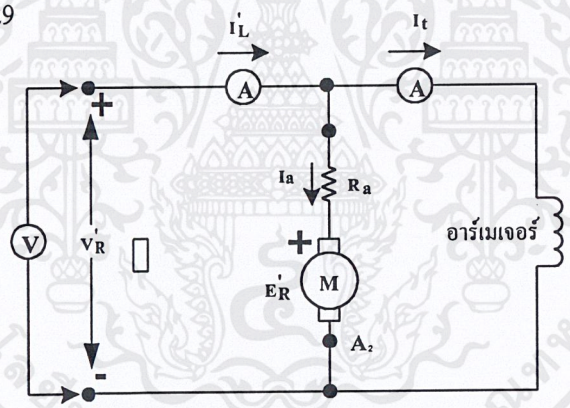
คิดที่แรงบิดที่เพลา เรียกว่า ขนาดกำลังม้า (Brake Horse-power : B.H.P.) เพราะว่าขนาดกำลังม้าคิดที่ตำแหน่งเบรก

$$B.H.P = \frac{Tsh\, x 2\lambda N/60}{746} \tag{2.7}$$

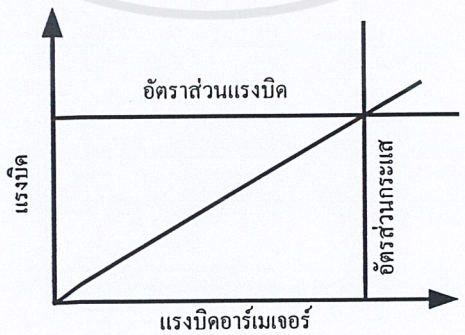
2.6.3 มอเตอร์ชนิดขนาน

มอเตอร์ชนิดขนาน คือ ขดลวดที่มีฟิลด์ (field winding) ต่อคร่อม หรือ ขนานกับอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่2.29

จากรูปที่ 2.28 แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เป็น line voltage (V_t') ดังนั้นกระแสที่ไปกระตุ้นสนามแม่เหล็กที่ขดลวดมีค่าคงที่ ฟลักซ์แม่เหล็กจะคงที่และไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของโหลด แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ชนิดขนาน เป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) ดังนั้นเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์มาเขียน curve จะได้เส้นตรง ดังรูป 2.29



รูปที่ 2.28 มอเตอร์ชนิดขนาน

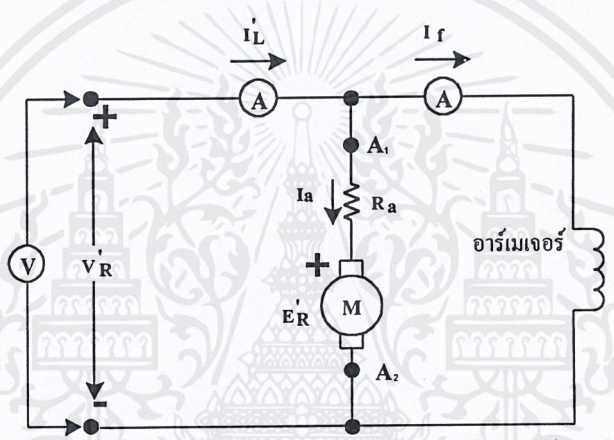


รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ชนิดขนาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้น ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กภายในมอเตอร์ ขณะเดียวกันกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านอาร์เมเจอร์ในทิศทางที่กำหนดให้ ทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และฟลักซ์แม่เหล็กใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง แรงบิดของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามโหลด กล่าวคือขณะโหลดเพิ่มขึ้น มอเตอร์ก็จะสร้างแรงบิดมากขึ้น จนกระทั่งแรงบิดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับโหลดใหม่ กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมจเจอร์ (I_a) เป็นสัดส่วนกับแรงบิดของมอเตอร์ ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ จะเป็นสัดส่วนกับแรงบิดของโหลดด้วย



รูปที่ 2.30 ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ชนิดขนาน

จากรูปถ้านำกฎมือซ้ายมาร่วมพิจารณาจะได้ว่า

1.1) ถ้าสลับขั้วอาร์เมเจอร์ (สลับตำแหน่ง A_1และ A_2) เพียงอย่างเดียวจะทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์ไหลกลับทิศทาง ทำให้แรงที่เกิดในตัวนำและแรงบิดเปลี่ยนทิศทางในลักษณะตรงกันข้ามกับทิศทางเดิม ดังนั้น มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทาง

1.2) ถ้าสลับขั้วขดลวดฟิลด์ (สลับตำแหน่ง F_1และ F_2) เพียงอย่างเดียว จะทำให้ขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง (ขั้วเหนือและขั้วใต้) นั่นคือ ทิศทางของฟลักแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจึงทำให้แรงที่เกิดขึ้นในตัวนำเปลี่ยนทิศทางในลักษณะตรงกันข้าม ดังนั้น มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทาง

1.3) แต่ถ้าสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (สลับตำแหน่งขั้ว + และขั้ว -) ก็เปรียบเหมือนกับว่าเราเปลี่ยนทั้งขั้วแม่เหล็กและทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ทั้งสองอย่าง ทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ชนิดขนาน

2.1) มอเตอร์ชนิดขนานให้ความเร็วคงที่

2.2) ที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้าเท่ากัน มอเตอร์ชนิดขนานจะให้แรงบิดขณะเริ่มต้นไม่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอนุกรม ดังนั้น จึงใช้มอเตอร์ชนิดขนานดังนี้

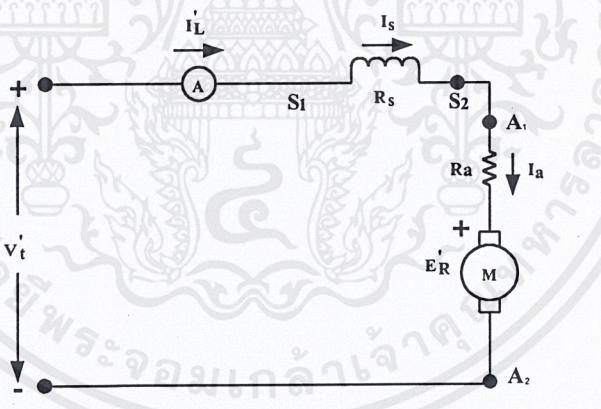
2.2.1) เมื่อต้องการให้ความเร็วคงที่จากขณะไม่มีโหลดจนถึงเมื่อมีโหลดเต็มที่

2.2.2) เมื่อต้องการใช้งานกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว ซึ่งสะดวกต่อการควบคุมความเร็วและประหยัด

2.6.4 มอเตอร์ชนิดอนุกรม

มอเตอร์ชนิดอนุกรม เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ดังรูปที่ 2.31 จากรูปเป็นวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์ชนิดอนุกรม จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์ (I_L'), กระแสไฟฟ้าในขดลวดอนุกรม (I_S) และกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) มีค่าเท่ากัน ดังนั้น

$$IL = Is = Ia \tag{2.8}$$

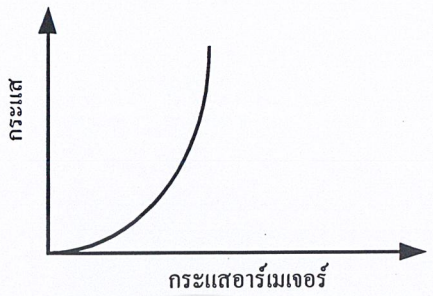


รูปที่ 2.31 มอเตอร์ชนิดอนุกรม

เมื่อเป็นเช่นนี้กระแสไฟฟ้าที่อาร์เจอร์กับกระแสไฟฟ้าที่ฟิลด์ก็จะเป็นตัวเดียวกัน ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กจึงเป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ แตกต่างกับมอเตอร์ชนิดขนาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดจะมีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ ทำให้มีผลต่อฟลักซ์แม่เหล็กด้วยเมื่อกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เพิ่มเป็น 2 เท่า ฟลักซ์ก็จะเพิ่มเป็น 2 เท่าเช่นกัน ดังนั้นสมการแรงบิดจึงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = K' Ia^{x} Ia = K' Ia^{2} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

เมื่อนำความสัมพันธ์ของแรงบิด กับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ มาเขียนเป็นกราฟจะได้คุณลักษณะของแรงบิดของมอเตอร์ชนิดอนุกรม ในรูปที่ 2.32 ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอาจเกิดอันตรายได้ หรือเรียกว่า Extremely High Speed ด้วยเหตุนี้มอเตอร์ชนิดอนุกรม จึงต้องมีโหลดต่ออยู่เสมอ

มอเตอร์ชนิดนี้มักใช้เป็นมอเตอร์ลากจูง (Traction Motor) ของรถไฟฟ้าเพราะมอเตอร์ชนิดอนุกรม มีแรงบิดเริ่มต้น (Starting torque) สูง ซึ่งทำให้เกิดความเร่งที่ดี ความเร็วรอบของมอเตอร์ชนิดอนุกรม เป็นส่วนกลับของฟลักซ์เช่นเดียวกับมอเตอร์ชนิดขนานนั่นคือ ถ้าฟลักซ์ลดลงความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น แต่อันตรายที่อาจเกิดขึ้นในมอเตอร์ชนิดขนาน (วงจรขดลวดเปิด) จะไม่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ชนิดอนุกรม ทั้งนี้เพราะถ้าหากฟลักซ์แม่เหล็กของขดลวดอนุกรมฟิวด์ลดลงทันทีทันใด เนื่องจากวงจรขดลวดเปิด อาร์เมเจอร์ที่ต่ออนุกรมกับขดลวดจะสูญเสียกระแสไฟฟ้าด้วย ฉะนั้น มอเตอร์จะหยุดหมุน

1) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ชนิดอนุกรม

วงจรเทียบเคียงในรูปที่ 2.31 เมื่อนำกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งมาร่วมพิจารณาจะได้ว่า

1.1) ถ้าสลับขั้วอาร์เมเจอร์ (สลับตำแหน่ง A_1และ A_2) เพียงอย่างเดียวจะทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์ไหลกลับทิศทาง ทำให้มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทาง

1.2) ถ้าสลับขั้วขดลวดฟิลด์ (สลับตำแหน่ง S_1และ S_2) เพียงอย่างเดียว จะทำให้ขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง (ขั้วเหนือและขั้วใต้) ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลง ทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง

1.3) แต่ถ้าสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (สลับตำแหน่งขั้วเหนือและขั้วใต้) ก็เปรียบเหมือนกับว่าเราเปลี่ยนขั้วฟลักซ์แม่เหล็กและทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองอย่าง ทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางเดิมขณะที่กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ลดต่ำลงอย่างต่อเนื่อง (เข้าใกล้สภาพไม่มีโหลด) หรือ I_a

2) ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์ชนิดอนุกรม

2.1) ให้แรงบิดขณะเริ่มต้นสูง

2.2) มีความเร็วต่ำเมื่อโหลดมากๆ และความเร็วสูงเมื่อโหลดน้อยๆ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ได้รับอันตรายได้ดังนั้น จึงใช้มอเตอร์ชนิดอนุกรมเมื่อต้องการ

2.2.1) เมื่อต้องการแรงบิดขณะเริ่มต้นสูง

2.2.2) เมื่อมอเตอร์สามารถต่อ (coupling) โดยตรงกับโหลด

2.2.3) ถ้าความเร็วคงที่นั้นไม่เป็นปัจจัยสำคัญเลย ดังนั้น จึงลดความเร็วโดยการเพิ่มโหลด

2.2.4) มอเตอร์ชนิดอนุกรมไม่สามารถใช้เมื่อมีโหลดจำนวนน้อยๆ ต่ออยู่

2.6.5 มอเตอร์ชนิดผสม

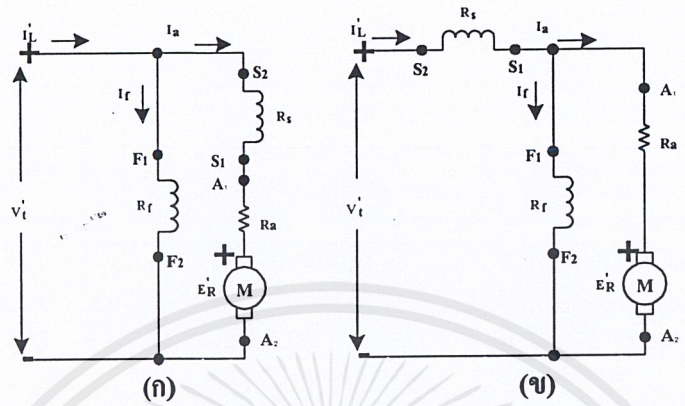
มอเตอร์ชนิดผสมเป็นมอเตอร์ที่มีทั้งฟิลด์อนุกรมและฟิลด์ขนาน ถ้าการกระตุ้นที่ฟิลด์อนุกรม (Series field excitation) ช่วยการกระตุ้นที่ขดลวดขนาน และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดอนุกรม (Series flux) มีทิศทางไปในทางเดียวกันกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกดขึ้นที่ขดลวด-ขนาน (Shunt flux) คือ มีทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กเสริมกัน มอเตอร์ตัวนั้นเรียกว่า **คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์** (Cumulative compound motor) แต่ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ฟิลด์อนุกรมมีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ฟิลด์ขนาน คือ มีทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน มอเตอร์ตัวนั้นเรียกว่า **ดิฟเฟอร์เรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์** (Differrentail compound motor) สามารถต่อได้ทั้งแบบ long shunt และshort shunt ดังรูป 2.33 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ขณะมอเตอร์ชนิดผสมอยู่ในสภาพไม่มีโหลดหรือมีโหลดน้อย กระแสไฟฟ้าขดลวดอนุกรมจะมีค่าต่ำ แต่กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดขนาน จะมีค่ามากจึงเกิดการกระตุ้นอย่างเต็มที่ ดังนั้นขณะที่ไม่มีโหลด มอเตอร์ชนิดผสมจะทำงานคล้ายมอเตอร์ชนิดขนาน แต่จะไม่ทำให้ความเร็วรอบสูงจนเป็นอันตรายอย่างมอเตอร์ชนิดอนุกรม เพราะมีอำนาจสนามแม่เหล็กของขดลวดขนานร่วมอยู่ด้วย

1. คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้คุณสมบัติของมอเตอร์อนุกรมและมอเตอร์ขนานเพื่อนำไปใช้กับเครื่องกลที่ต้องการใช้กำลังขับสูงๆ โดยต่อขดลวดอนุกรมให้มีทิศทางเสริมกับขดลวดขนาน เมื่อมอเตอร์มีโหลดมากๆ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดมีมากเพิ่มขึ้น จึงทำให้แรงบิดสูงหรือมากกว่ามอเตอร์ชนิดขนาน แต่การเพิ่มขึ้นของเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความเร็วลดลงไปอย่างรวดเร็วมากกว่ามอเตอร์ชนิดขนาน และมอเตอร์นี้มีแรงบิดที่อาร์เมเจอร์สูงในขณะที่ได้รับโหลดทันทีทันใด แต่ในขณะที่ไม่มีโหลดก็จะไม่มีความเร็วสูงเกินไป

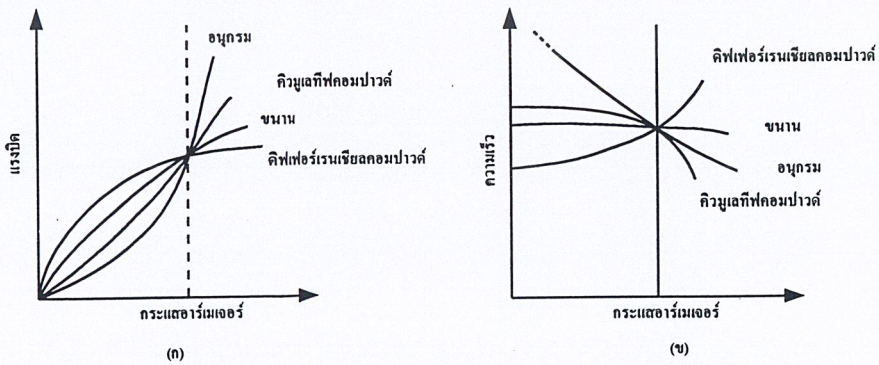


รูปที่ 2.33 มอเตอร์ชนิดผสม
(ก) คิวมูเลทีฟคอมปาวด์มอเตอร์
(ข) ดิฟเฟอร์เรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์

2. ดิฟเฟอร์เรนเชียลคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ชนิดนี้เป็นการต่อขดลวดอนุกรมให้มีทิศทางตรงกันข้ามกับขดลวดขนาน จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าลดลงเมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะทำให้ความเร็วมีค่าคงที่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าโหลดเพิ่มขึ้นมากเกินไปอาจจะเป็นอันตรายได้ จึงไม่ค่อยนิยมใช้

2.6.6 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของมอเตอร์

ในการเลือกใช้มอเตอร์กับงานแต่ละประเภท เราต้องรู้คุณลักษณะของมอเตอร์ชนิดต่างๆ การเปรียบเทียบคุณลักษณะของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.34 จึงมีประโยชน์อย่างมากในการทำให้เราทราบว่ามอเตอร์ชนิดใดเหมาะสม กับงานของเรามากที่สุด



รูปที่ 2.34 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.34 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแรงบิด และคุณลักษณะของความเร็วรอบ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดให้มีพิกัดเท่ากัน นั่นคือ มีแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, แรงบิด และความเร็วรอบเท่ากัน

ในการพิจารณาคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องเข้าใจว่าขณะมอเตอร์มีโหลดเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้น แต่ความเร็วรอบลดลง

2.7 ทฤษฎี หลักการและการใช้งานวิชวล เบสิค

2.7.1 หลักการเบื้องต้นของวิชวล เบสิค

ในปัจจุบันระบบปฏิบัติการในลักษณะของวินโดว์ ได้เข้ามาแทนที่ระบบปฏิบัติการในลักษณะเดิม ซึ่งส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ ระบบปฏิบัติการดอส วินโดว์ได้ทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถมากกว่าการเป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ด้วยการเพิ่มความสามารถทางด้านการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้ ซึ่งเรียกว่า “User Interface” โดยทำให้คอมพิวเตอร์มีการใช้งานที่ง่ายมากขึ้น ด้วยการพัฒนาโปรแกรมต่างๆ ให้อยู่ในรูปของ Graphic User Interface, (GUI) ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบของโปรแกรมในลักษณะเดิมที่ใช้งานอยู่บนระบบปฏิบัติการดอส แต่เดิมการแสดงผลจะอยู่ในรูปแบบของตัวอักษร ซึ่งค่อนข้างมีข้อจำกัดโดยเฉพาะรูปแบบของคำสั่งที่ใช้จะเป็นการป้อนแบบป้อนทีละบรรทัด หรือที่เรียกว่า “Command Line” โดยผู้ใช้ต้องทำการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของแต่ละคำสั่งให้ถูกต้องแม่นยำ จึงจะใช้งานโปรแกรมนั้นได้อย่างดี

ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้งานเช่นเดียวกัน แต่เดิมโปรแกรมเมอร์พัฒนาโปรแกรมอยู่บนระบบปฏิบัติการดอส จึงเปลี่ยนแปลงรูปแบบและแนวความคิดมาทำการพัฒนาโปรแกรมบนวินโดว์แทน ในยุคแรกของการพัฒนาโปรแกรมบนวินโดว์ นั้นค่อนข้างจะทำได้ยาก โดยอาจจะใช้ภาษา C หรือ Software Development Kit (SDK) มาเขียนโปรแกรมแต่ต้องเขียน Routine ต่างๆ เป็นจำนวนมากเพื่อพัฒนาโปรแกรมหนึ่งๆ ให้สำเร็จ ด้วยเหตุนี้ไมโครซอฟท์ จึงนำภาษาคอมพิวเตอร์ชื่อ “เบสิค (BASIC)” ในรูปแบบเดิมมาพัฒนาขึ้นใหม่ให้ชื่อว่า “วิชวล เบสิค (Visual Basic)” โดยเริ่มต้นจาก วิชวล เบสิค เวอร์ชั่น 1.0 และได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับจนกระทั่งถึงในปัจจุบัน

2.7.2 การใช้งานวิชวล เบสิค

เราสามารถใช้วิชวล เบสิค สร้างโปรแกรมบนวินโดว์โดยอาศัยการออกแบบโปรแกรมในลักษณะ Visualize ซึ่งใช้การกำหนดตำแหน่งของออปเจ็คลงบนจอภาพ เพื่อติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง ออปเจ็คเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่นการเคลื่อนเม้าส์ หรือการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ในการกำหนดขั้นตอนการทำงานให้กับออปเจ็ค ภายใต้เหตุการณ์ต่างๆ จะใช้ภาษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสิกเข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรม ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมบนวินโดว์ โดยการใช้วิชวล เบสิค มีความง่าย และสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งมีขั้นตอนน้อยเพียงแต่เลือก Form และ Control ที่เหมาะสมแล้ววาดลงบนจอภาพเพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ จากนั้นทำการเขียนภาษาเบสิค เพื่อสร้างโปรแกรมด้วยตนเอง ด้วยวิธีที่ง่ายที่สุดและเร็วกว่าที่คิด จึงทำให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้ภายใน 2-3 ชั่วโมง สามารถสร้างโปรแกรมบนวินโดว์ แบบง่ายๆ ได้

นอกจากนี้ วิชวล เบสิค ยังใช้ได้ตั้งแต่ User ระดับต้นเพื่อใช้สร้างโปรแกรมง่ายๆ บนวินโดว์ หรือโปรแกรมเมอร์ระดับกลางที่จะเรียกใช้ฟังก์ชันในการทำงานต่างๆ ของวิชวล เบสิค ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนโปรแกรมเมอร์ในระดับอาชีพที่จะพัฒนาโปรแกรมในระดับสูงโดยการใช้ Object Linking and Embedding (OLE) Windows Application Programming Interface (API) มาประกอบในการเขียนโปรแกรม

1) องค์ประกอบหลักๆ ในหน้าต่างวิชวล เบสิค

องค์ประกอบหลักๆ ในหน้าต่างของวิชวล เบสิค จะมีดังต่อไปนี้

1.1) Menu Bar และ Tool Bar

จะเป็นส่วนที่ด้านบนของหน้าต่างจะเป็นส่วนของเมนูของเครื่องมือที่ใช้ในวิชวล เบสิค ซึ่งมีส่วนคล้ายๆ กับ Menu Bar ของโปรแกรมตัวอื่นๆ

1.2) File จะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1.2.1) นำ File เข้าเพื่อทำการแก้ไข หรือทำการทดลอง Run เพื่อตรวจสอบว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้นถูกต้องหรือไม่ นอกจากนี้เรายังสามารถนำไฟล์ที่แก้ไขหลังสุดทั้งหมด 4 ไฟล์ ขึ้นมาโดยเร็วด้วยการไปคลิกที่ File ที่ต้องการแสดงที่อยู่ด้านล่างของ Menu File

1.2.2) สร้าง File ใหม่ด้วยการเลือกหัวข้อ New File แต่ถ้าต้องการเลือก File อื่นๆ ต้องไปเลือก Open Files

1.2.3) ทำหน้าที่บันทึกโปรแกรมที่เราเขียนลงในคอมพิวเตอร์ หรือบันทึกโปรเจคลงในคอมพิวเตอร์ หลังจากที่เราเขียนโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องการออกจากวิชวล เบสิค ต้องทำการจัดเก็บ เลือก Save Project มันจะช่วย Save Form ต่างๆ ที่ประกอบขึ้นในโปรเจคให้ด้วย ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการจัดเก็บจะเลือก Save Project แต่ในบางครั้งเราไม่มีการเปลี่ยนแปลงใน Form อื่นๆ แต่มีการเปลี่ยนแปลงใน Form เดียวเราจะใช้การจัดเก็บแบบ Save Form ในการจัดเก็บนี้ จะจัดเก็บลงที่ชื่อเดิมทั้ง Project และ Form แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนชื่อใหม่ทั้ง Project และ Form จะต้องเลือก Save Project หรือ Save Form As จากนั้นจึงเปลี่ยนชื่อใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4) ทำหน้าที่พิมพ์โปรแกรมและ Form ลงสู่กระดาษ เพื่อเลือกที่จะพิมพ์แล้วถามเราว่าเราจะพิมพ์โปรแกรมหรือพิมพ์ Form ถ้าต้องการเลือกอันใดเลือกอันนั้น

1.2.5) ทำหน้าที่ Compile โปรแกรมที่เราเขียนเป็นจุด .EXE หรือจุด .DLL แล้วแต่จะเปิดไฟล์ตอนแรก ตามปกติแล้วโปรแกรมที่เราเขียนอยู่จะต้อง Run ภายใต้โปรแกรมวิชวล เบสิค แต่เมื่อเราทดลอง Run ได้โดยไม่ติดอะไรแล้ว เราควรที่จะ Compile เป็นจุด .EXE หรือจุด .DLL เลย เนื่องจากเมื่อ Compile เป็นจุด .EXE แล้วสามารถ Run ได้ในวินโดว์ ทันทีไม่ต้องเข้าไปใน วิชวล เบสิค

1.2.6) ทำหน้าที่ออกจากโปรแกรมวิชวล เบสิค โดยการเลือก Exit ที่อยู่ล่างสุด ในขณะที่ออกจากโปรแกรม ถ้าโปรแกรมที่เขียนยังไม่ได้จัดเก็บ จะมีหน้าต่างในการจัดเก็บปรากฏขึ้นมาอีกครั้ง เราสามารถจัดเก็บหรือไม่ก็ได้

1.3) Edit

จะทำหน้าที่สำคัญในการเขียนโปรแกรม โดยใช้ Cut, Copy และ Paste ซึ่งทั้งสามหัวข้อนี้สามารถติดต่อกับโปรแกรมอื่นนอกจากในวิชวล เบสิค ได้ เช่น เราสามารถ Cut หรือ Copy ข้อความ Text จาก Word Pad แล้วมา Paste ลงที่โปรแกรมที่เขียนอยู่บนวิชวล เบสิค ได้นอกจากข้อความ Text แล้วคุณสมบัติของ Cut, Copy และ Paste เรายังสามารถหา Cut หรือ Copy ภาพต่างๆ มาวางลงใน Form ในวิชวล เบสิค ได้ และในระหว่างที่เราเขียนโปรแกรมอยู่เราสามารถ Cut, Copy และ Paste ได้ในโปรแกรมเช่น เราจะ Copy ตัวโปรแกรมส่วนหนึ่งเราเพียงลากแรเงาในส่วนของข้อความที่ต้องการ กดเมาส์ค้างแล้วลาก เมื่อจบข้อความที่ต้องการปล่อยเมาส์ เมื่อลากจนเกิดเงาที่ข้อความที่ต้องการแล้วเราไปคลิกที่ Edit ใน Menu Bar เพื่อเลือก Cut หรือ Copy ถ้า Cut ข้อความส่วนที่แรเงาจะหายไปเหมือนถูกลบทิ้งไป ข้อความนั้นไม่ได้ไปไหนแต่จะไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ หรือ Clip Board แต่ถ้าเราเลือก Copy แล้ว ข้อความที่แรเงาไว้จะไม่หายไปยังคงอยู่แต่จะ Copy ข้อความเหล่านั้นเข้า Clip Board เช่นกัน

จากนั้น ถ้าเราจะ Copy ไปไว้ที่ไหนให้เลื่อน Cursor ไปไว้ตรงนั้น แล้วกลับไปคลิกที่ Edit อีกครั้งแล้วเลือก Paste ข้อความที่ต้องการ Copy จะปรากฏตั้งแต่ Cursor นั้นเป็นต้นไป

1.4) View

เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องมือกว้างๆ ในหน้าจอของวิชวล เบสิค เช่นการแสดง Form การแสดงโปรแกรมที่เขียนการแสดงออปเจ็ค Browser การแสดง Project Explore หรือ การแสดง Tool Bar เป็นต้น ตามปกติแล้วเครื่องมือเหล่านี้จะแสดงบนหน้าจออยู่แล้ว แต่ถ้าเราต้องการไม่ให้แสดงสามารถปิดเครื่องมือนั้นๆ ได้

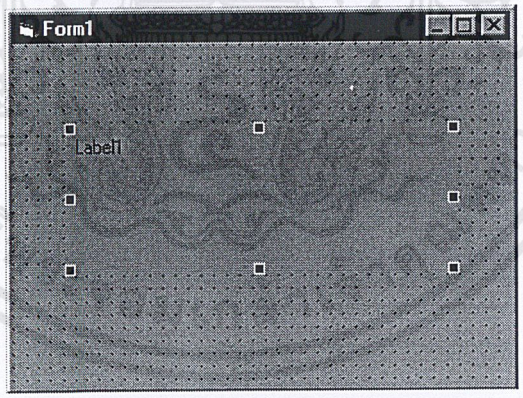
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5) Project

เป็น Menu สำหรับทำหน้าที่เพิ่ม Form ต่างๆ เข้าไปในโปรแกรม เช่น การเพิ่ม Form เพิ่ม Module การเพิ่ม MDI เข้าไปใน Form ในระหว่างที่พัฒนาโปรแกรม นอกจากนี้แล้ว Menu ย่อย คอมพิวเตอร์จะเป็นส่วนที่เพิ่ม Custom Control เข้าไปใน Tool Bar ด้วยซึ่งตามปกติแล้ว Tool Bar ที่เห็นจะเป็น Tool Bar พื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบ Form ถ้าต้องการ Custom Control แบบพิเศษจะต้องคลิกเลือกจาก Menu Custom Control เมื่อคลิกจะมีรายการของ Custom Control แสดงให้เห็น ถ้า Custom Control ตัวไหนมีอยู่ใน Tool Bar แล้วจะมีเครื่องหมายถูกที่ Check Box แต่ถ้าต้องการนำ Custom Control เข้าไปใน Tool Bar ให้ไปคลิกที่ Check Box จากนั้นจะมี Custom Control ตัวใหม่เข้ามาใน Tool Box หรือ Tool Bar

1.6) Format

ในส่วนนี้จะมี Menu ย่อย Lock ที่ใช้สำหรับล็อค ตำแหน่งของออปเจ็ค ที่ติดตั้งบน Form ให้อยู่กับที่ โดยจะลากไปมาไม่ได้และสิ่งแรกที่ได้หลังจากกการล็อค แล้วเวลาไปคลิกที่ออปเจ็คที่ติดตั้งจะมีจุดดำๆ รอบออปเจ็ค แต่ถ้าเป็นออปเจ็คที่ผ่านการล็อค ตำแหน่งแล้วจุดรอบออปเจ็คจะเปลี่ยนเป็นสีขาว แต่ถ้าเป็นจุดดำๆ แล้วออปเจ็คจะเปลี่ยนตำแหน่งได้โดยการกดเมาส์ค้างไว้ แล้วลากออปเจ็คนั้นไปมา ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 การล็อคออปเจ็คบน Form

1.7) Run

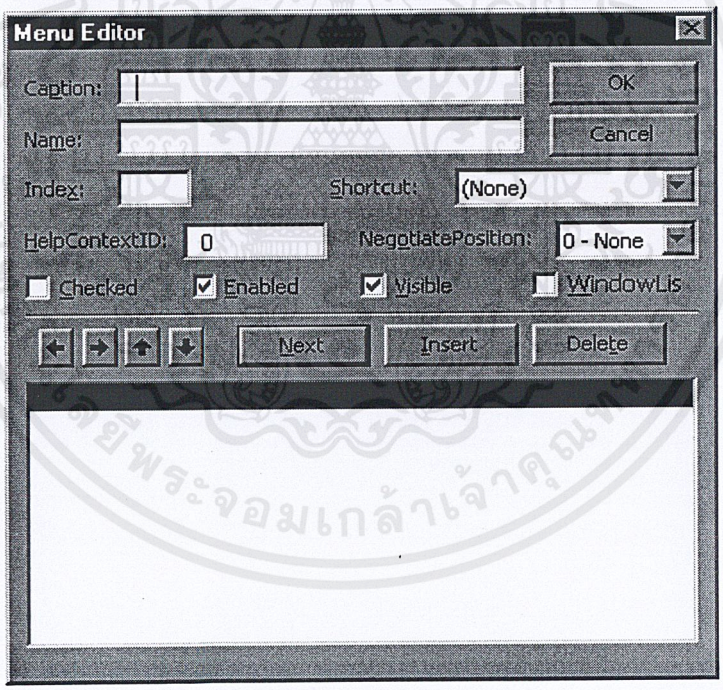
เป็นส่วนที่กำหนดสำหรับ Startโปรแกรมที่เราเขียน หรือสิ้นสุดโปรแกรมที่เราเขียนในระหว่างการเขียนโปรแกรม ถ้าเราต้องการทดสอบว่าโปรแกรมที่เราเขียนนั้นถูกต้องหรือไม่ ต้องทดสอบ Run โปรแกรม หากโปรแกรมที่เราเขียนไม่สำเร็จหรือมีข้อผิดพลาดจะมีการเตือนให้ทราบ และเมื่อมีโปรแกรมผิดพลาดขึ้นที่เราจะจบโปรแกรมก่อน โดยการเลือก End ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Menu จากนั้นจึงเข้าไปในโปรแกรมอีกทีแล้วจึงทดลอง Run อีกครั้งหากยังมีที่ผิดพลาดเกิดขึ้นอีก โดยการประกาศเป็น Massage Box ควรจะจบโปรแกรมที่ Run อยู่ก่อนด้วยแล้วจึงทำการแก้ไข ถึงแม้ว่าจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระหว่างการเขียนโปรแกรมจะทำการแก้ไขและเลือก Restart อีกครั้งก็ตาม แต่อาจจะทำให้การ Run มีปัญหาและทำให้จุดที่แก้ไขไม่ตรงได้

1.8) Tool

ใน Menu Tool จะมีเครื่องมือสำหรับออกแบบ Menu ที่ชื่อ Menu Editor ดังรูปที่ 2.36 ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับช่วยในการออกแบบ Menu สามารถสร้าง Menu ย่อยๆ ลงไปอีกกี่ชั้นได้และ Menu ที่เราออกแบบจะมีคุณสมบัติเป็นออปเจ็คด้วย ทั้งยังมีคุณสมบัติและเหตุการณ์ต่างๆ เหมือนออปเจ็คทั่วไป อย่างปรากฏการณ์ของ Menu ที่เราพบโดยทั่วไปในโปรแกรมต่างๆ สามารถทำได้ตามเครื่องมือเหล่านั้น เช่น การที่มีเครื่องหมายถูกหน้า Menu เป็น False คือเป็นสีจางๆ ไม่สามารถใช้งานได้ตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใน Menu จะมีเหตุการณ์เดียวคือ เหตุการณ์คลิก



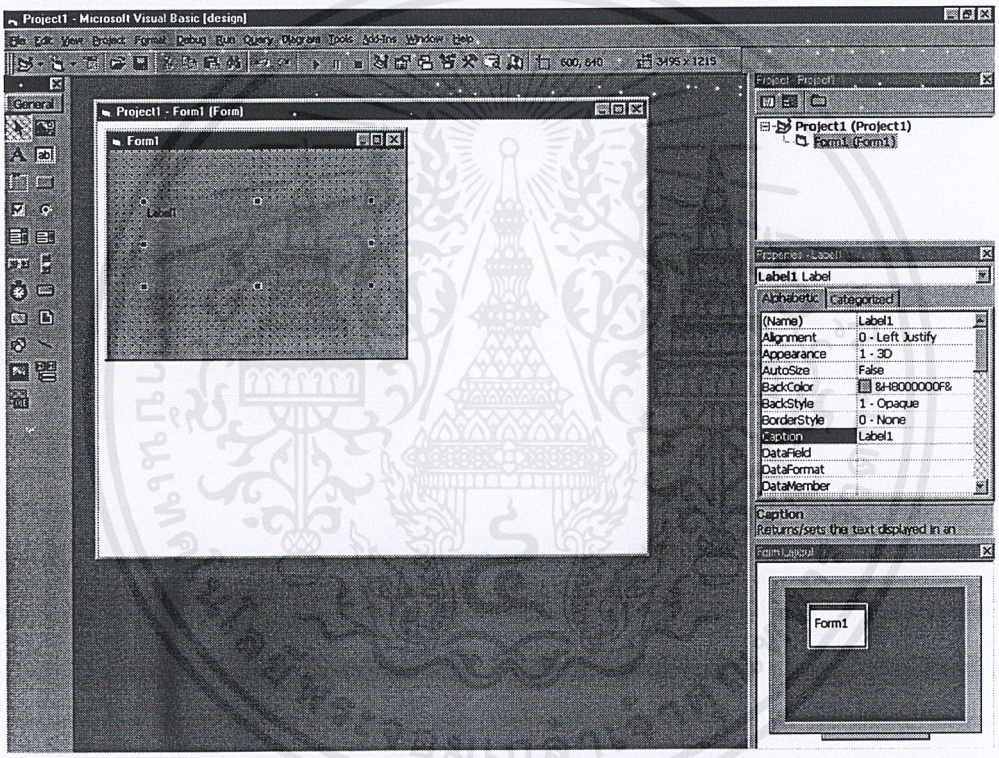
รูปที่ 2.36 Menu Editor

นอกจากนี้แล้ว Menu ย่อย Option จะเป็นส่วนการปรับแต่งสภาพแวดล้อมที่ใช้วิชวล เบสิค เช่นการแสดงหรือไม่แสดงจุดที่อยู่บน Form ตลอดจนกำหนดระยะหน้าของจุด เราสามารถได้ใน Menu ย่อยนี้ หรือการปรับแต่งสีสันของตัวอักษรระหว่างการเขียนโปรแกรม เช่น ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวโปรแกรมปกติให้เป็นตัวสีดำ แต่ถ้าเป็น Text คือ บรรทัดโปรแกรมที่มีการ Remark ไว้ โดยมีคำสั่ง Rem จะเป็นสีเขียว หรือบรรทัดโปรแกรมที่มีการผิดพลาดจะเป็นสีแดงเป็นต้น นอกจากการเปลี่ยนสีของตัวอักษรแล้ว ฉากหลังของตัวอักษรสามารถปรับเปลี่ยนได้ หรือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการแสดงโปรแกรมที่เขียนแบบต่อเนื่องตลอดแบบแสดงทีละออปเจ็คๆไป

สามารถเลือกแบบเก่าหรือแบบใหม่นั้นเลือกได้ Option ของ Advance แล้วไปคลิกตรงช่อง SDK เครื่องหมายถูก ถ้าต้องการแบบใหม่ให้เป็นช่องว่างสำหรับผู้เขียน แล้วเลือกหน้าต่างของ Project เป็น Maximum ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 หน้าต่างโปรเจคของวิชวล เบสิค

1.9) ADD – IN

Menu Add-in จะเป็นส่วนที่ให้ผู้เขียนโปรแกรมใช้เขียนโปรแกรม เพื่อติดตั้งเครื่องมือพิเศษเข้าไป ซึ่งเราจะเรียกใช้ได้โดยไปคลิกที่ Add-in manager จากนั้นจะมีรายการของเครื่องมือต่างๆ ที่เราเขียนโปรแกรมไว้ขึ้นมาแสดง ถ้าต้องการให้เครื่องมือไหนติดตั้งใน Menu ให้คลิกกากบาทในช่องเครื่องมือที่เลือกจะมีรายการเป็น Menu ย่อยต่อจาก Add-in manager ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่เขียนขึ้นเองนี้จะสร้างจาก Class และหลังจากปิดโปรแกรมเสร็จแล้วจะต้อง Compile เป็นจุด EXE เสมอ แล้วจึงลงทะเบียนในวินโดว์ 95 จากนั้นเครื่องมือที่เขียนขึ้นจะไปปรากฏอยู่ในรายการ ของ Add-in manager

2) Project, Property และ Form Lay Out

กลุ่มของเครื่องมือเหล่านี้จะอยู่ด้านขวาของจอคอมพิวเตอร์ โดยจะประกอบด้วย Project browser, Property Box และ Form Lay Out ทั้งสามส่วนสามารถแยกกันอยู่อย่างอิสระ หรือจะจับมารวมกันได้เวลาปรับขยายเข้าออกพร้อมๆ กัน

ที่ส่วนของ Project browser จะเป็นการนำเสนอรูปแบบของ Tree View โดยเริ่มจาก Project จากนั้นแยกย่อยลงไปเป็น Folder ของ Form, Model และ Class ตามลำดับและในแต่ละ Form จะเป็นที่เก็บของ Module และ Class ต่างๆ ด้วยเมื่อเราเพิ่มเข้าไปในโปรแกรม

ในระหว่างการเขียนโปรแกรม หรือการออกแบบ Form นั้นจะต้องตรวจสอบใน Project browser ด้วยว่า Form ที่ปรากฏอยู่บนจอนั้นเป็น Form ใด โดยสามารถสังเกตได้จาก Hight light ใน Project browser ว่าอยู่ที่ไหน จะหมายถึงส่วนที่แสดงอยู่หน้าจอขณะนี้ ดังนั้น ในการเขียนโปรแกรมหรือการแก้ไขโปรแกรมที่ Form ไหนต้องดูให้ดี ถ้าหากแก้ไขผิด Form จะทำให้โปรแกรมเสียหายได้มากขึ้น

2.1) Property Box

เป็นส่วนสำหรับติดตั้ง Property ของออปเจ็คต่างๆ ใน Form การแก้ไข Property ของออปเจ็คใดนั้นจะต้องดูให้ดีเช่นเดียวกับ Project ซึ่งเราสามารถตรวจสอบจาก Combo Box ที่อยู่ด้านบนของ Property Box ว่าจะเป็นการแก้ไข Property ของออปเจ็คใด หรือเราอาจจะเลือกเมาส์ไปคลิกบริเวณของออปเจ็คให้เกิดจุดเป็นสีเหลืองปรากฏขึ้นล้อมรอบออปเจ็คนั้นๆ

การติดตั้ง Property ให้กับออปเจ็ค โดยการแก้ไขบน Property Bar นั้นเรายังสามารถเขียนโปรแกรมกำหนด Property กับออปเจ็คในรูปแบบของ Object Property การนำเสนอรายการ Property ของออปเจ็คใน Property Box ของวิชวล เบสิค 6 จะแบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ การนำเสนอแบบเรียงตามลำดับตัวอักษรหรือเรียงตัวอักษรตั้งแต่ A-Z ยกเว้นที่ Property Name เท่านั้นที่จะนำเสนอเป็นบรรทัดที่หนึ่งเสมอ

ส่วนล่างสุดจะเป็น Form Lay Out หน้าที่ของ Form Lay Out จะช่วยให้เรานำ Form ที่เขียนโปรแกรมอยู่สามารถไปวางอยู่ในตำแหน่งบนจอคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องมือนี้จะอำนวยความสะดวกอย่างมากในกรณีที่เรามี Form หลาย Form ในหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) Tool Box

จะเป็นส่วนของเครื่องมือต่างๆ เพื่อให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำไปใช้ Form ในส่วนนี้จะอยู่ด้านซ้ายมือ และเราจะใช้เมาส์ลากขนาดของ Tool Bar ออกไปทางซ้ายหรือทางขวาเพื่อเพิ่มหรือลดขนาดของ Tool Bar ได้

ในขณะที่เข้าสู่วิชวล เบสิค 6 แล้วเราจะเห็นว่าจะมี Tool Box แสดงอยู่ด้านซ้ายมืออยู่แล้ว และเครื่องมือพื้นฐานอยู่ในรายการของ Tool Box อยู่แล้ว เช่น Label, Text Box, Form, List box, Combo Box เครื่องมือเหล่านั้นเป็นเครื่องมือพื้นฐานของวิชวล เบสิค ไม่มีรายการอยู่ใน Component และอยู่ในระหว่างการเขียนโปรแกรมเราจะใช้เครื่องมือเหล่านี้ ถ้าหากมีความจำเป็นที่ต้องติดตั้งเครื่องมือพิเศษขึ้น เราสามารถเรียกออกมาใช้ที่ Tool Box ได้โดยการคลิกที่ Component เพื่อเรียกเครื่องมือพิเศษออกมาได้ดังกล่าวไปแล้ว เครื่องมือเหล่านี้จะเป็น File จำพวกนามสกุล .OCX และ .DEV โดยจะอยู่ที่ Sub Directory Windows System ดังนั้น File .OCX เหล่านี้ใน เหล่านี้ใน Component จะปรากฏขึ้นในรายการด้วย

2.3) Immediate Window (Debug Window)

เป็นหน้าต่างอันหนึ่งมีไว้สำหรับการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เราเขียน โดยการใช้คำสั่ง Debug Print ตามด้วยข้อความที่ต้องการพิมพ์ลงไปในโปรแกรมของคุณตามจุดต่างๆ เพื่อทดลองการทำงานที่จุดนั้นหรือไม่ เมื่อโปรแกรมทำงานคำสั่ง Debug Print นี้จะทำได้ภายในเหตุการณ์ทุกเหตุการณ์ไม่ว่าจะเป็น Form Load

3) ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมของวิชวล เบสิค

ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างจอภาพจากโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบ Form เพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้หรือเรียกว่า การออกแบบ “User Interface” ในการพัฒนาโปรแกรมแบบเดิม ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากจะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างจอภาพต่างๆ จากนั้น Compile โปรแกรมนั้นแล้ว Run จึงจะเห็นภาพที่จัดทำขึ้น แต่สำหรับวิชวล เบสิค ปัญหาในลักษณะนี้จะถูกแก้ไขโดยใช้เทคนิคของ Visualize ซึ่งเป็นความสามารถของส่วนหนึ่งของวิชวล เบสิค ขั้นตอนนี้สามารถทำได้ง่ายเพียงแต่นำเอา Control ต่างๆ ใน Tool Box ที่ต้องการใช้งานมาวางบน Form ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและสามารถเห็นลักษณะจอภาพที่ออกแบบได้ในขณะนั้นเลย

ขั้นที่ 2 เขียนโปรแกรม

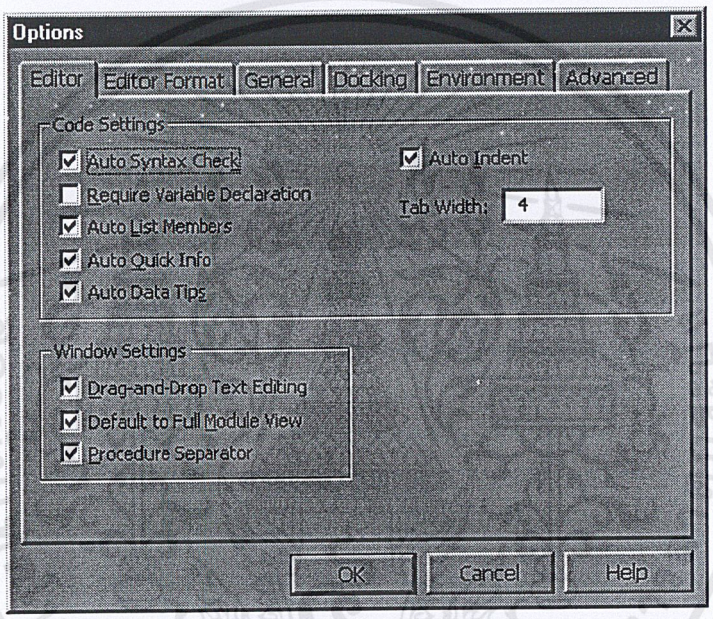
ทำการวาง Control ต่างๆ ลงบน Form เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานให้แต่ละออปเจ็ค ภายใต้เหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับจอภาพนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 การจัดจอภาพเพื่อในให้สะดวกต่อการใช้งาน

ในขณะที่ทำการพัฒนาเราไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ทุกๆ ส่วนที่วิชวล เบสิก เตรียมมาให้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการพื้นที่ของจอภาพสำหรับ Form ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้น เราจึงควรที่จะกำหนดรูปแบบของจอภาพขึ้นใหม่ เพื่อให้มีเฉพาะส่วนที่จำเป็นต่อการใช้งาน ขั้นตอนในการจัดจอภาพเพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมมีดังนี้

1) คลิกที่ Menu Tools และ Option จะปรากฏจอภาพ Option บนจอภาพดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 การเลือก Option จาก Menu Tools

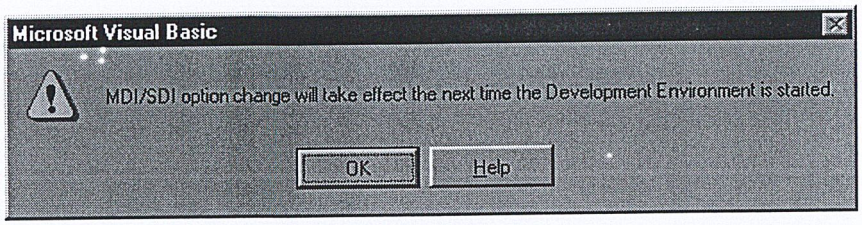
2) คลิกที่ Tab "Advanced" และ Check Box "SDI Development Environment" ตามลำดับ

3) คลิกที่ปุ่ม OK จะปรากฏจอภาพแจ้งให้ทราบว่าวิชวล เบสิค จะทำการเปลี่ยนจอภาพให้อยู่ในสภาพแวดล้อมของการพัฒนาโปรแกรม เมื่อเราเรียกใช้วิชวล เบสิคในครั้งต่อไปดังรูป

4) คลิกที่ปุ่ม OK

5) คลิกที่ปุ่ม OK ของจอภาพ Option แล้วเลิกงานจากวิชวล เบสิค โดยเลือกจากเมนู File และ Exit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 การแจ้งเปลี่ยนจอภาพให้อยู่ในสภาพการพัฒนาโปรแกรม

6) เรียกใช้งานวิชวล เบสิค ใหม่ จะสังเกตเห็นจอภาพของวิชวล เบสิค เปลี่ยนไปเหลือเฉพาะส่วนที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาโปรแกรม จอภาพที่จัดขึ้นใหม่แต่ละส่วนจะเป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถปิดหรือย้ายจอภาพที่ต้องการไปยังส่วนอื่นได้

2.7.4 การสร้างและการออกแบบจอภาพ

จุดเด่นของโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะ Visualize คือ สามารถสร้างจอภาพต่างๆ ของโปรแกรมได้สะดวก ซึ่งต่างจากการเขียนโปรแกรมในลักษณะเดิมที่ต้องใช้เวลามากในการจัดทำแต่ละจอภาพวิชวล เบสิค มีลักษณะนี้เช่นเดียวกัน จึงมีผู้นิยมนำวิชวล เบสิค ไปใช้ในการออกแบบต้นแบบของโปรแกรมอยู่บ่อยๆ ในการสร้างจอภาพของวิชวล เบสิค จะอาศัย Control ต่างๆ ใน Tool Box มาช่วยในการสร้าง

1) Object-Oriented Programming กับ Visual Basic

ออปเจ็คในวิชวล เบสิค คือส่วนของ Control ต่างๆ ใน Tool Box ที่นำมาวางลงบน Form ซึ่งมีคุณสมบัติบางอย่างเช่นเดียวกับออปเจ็คใน OOP กล่าวคือ แต่ละออปเจ็คจะประกอบด้วย

1.1) Data เปรียบเสมือนข้อมูลของออปเจ็ค สำหรับในวิชวล เบสิค คำว่า “Data” หมายถึงคุณสมบัติประจำตัวของแต่ละออปเจ็ค เช่น ความยาว ความสูง เป็นต้น

1.2) Code เปรียบเสมือนพฤติกรรมของออปเจ็ค สำหรับในวิชวล เบสิค คำว่า “Code” หมายถึง Method ประจำตัวของแต่ละออปเจ็ค เช่น Method “Move First” ของออปเจ็คชื่อ “Data Control” ใช้สำหรับเลื่อนตัวชี้ ไปยัง Record แรกของข้อมูล

ดังนั้น ในการเขียนโปรแกรมที่จะเขียนในรูปแบบเดิมที่เป็นลำดับขั้น ซึ่งเริ่มต้นจากโปรแกรมหลักที่ทำหน้าที่ Call Subprogram ต่างๆ กลายมาเป็นการเขียนโปรแกรมให้แต่ละออปเจ็คแทน โดยอาศัยคำสั่งและ Method ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละออปเจ็ค

จากหลักการของ OOP ที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้น ในการพัฒนาโปรแกรมด้วยวิชวล เบสิค จึงแบ่งออกเป็น

1) เลือกออปเจ็คที่ต้องการใช้งาน ซึ่งคือ การวาด Control ที่ต้องการใช้งานลงบน Form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กำหนดข้อมูลในส่วน Data ให้กับแต่ละออปเจ็คที่เลือก ซึ่งคือ การกำหนดคุณสมบัติให้กับออปเจ็ค

3) นำเอา Method ที่จำเป็นของในแต่ละออปเจ็คมาเขียนขึ้นเป็นโปรแกรม โดยอาจนำคำสั่งของวิชวล เบสิค มากำหนดการทำงานให้กับออปเจ็คนั้นๆ

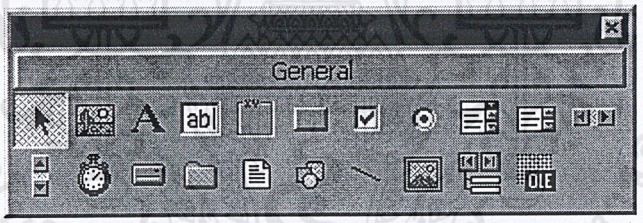
2.7.5 การวาด Control ลงบน Form

Control ต่างๆ ใน Tool Box ใช้ในการวาดจอภาพสำหรับโปรแกรม ซึ่งแต่ละ Control จะมีชื่อเรียกและการทำหน้าที่ที่แตกต่างกันไป การเลือก Control ใดมาทำงานขึ้นอยู่กับการออกแบบจอภาพของนักพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น Label ใช้สำหรับเขียนข้อความ Text Box ใช้กำหนดพื้นที่เพื่อป้อนข้อมูล เป็นต้น

ในการวาด Control บน Form ทำได้ดังนี้

1) คลิกที่ Control ที่ต้องการใน Tool Box

2) เลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวาดลงบน Form คลิกเมาส์ค้างไว้แล้วลากเป็นทะแยงมุม จะปรากฏเป็นไข่ปลารูปสี่เหลี่ยมล้อมรอบพื้นที่ไว้เพื่อบอกขนาดของออปเจ็ค ให้ประมาณขนาดที่ต้องใช้จากนั้นจึงปล่อยเมาส์จะปรากฏ Control นั้นบน Form



รูปที่ 2.40 เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดวัตถุประสงค์

ข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในออปเจ็คที่วาดไว้ จะเป็นชื่อและหมายเลขของออปเจ็คนั้น เพื่อเป็นการแสดงลำดับของออปเจ็คชนิดเดียวกันที่ปรากฏบน Form โดยเริ่มนับจาก 1 เป็นต้นไป เช่น Label1, Label2 เป็นต้น

2.7.6 การกำหนดคุณสมบัติ (Property) ให้กับออปเจ็ค

หลังจากที่วาด Control ลงบน Form แล้ว ขั้นตอนต่อไปในการพัฒนาโปรแกรมด้วยวิชวล เบสิค คือการกำหนดคุณสมบัติให้กับแต่ละออปเจ็คที่ปรากฏอยู่บน Form ออปเจ็คหนึ่งๆ จะมีคุณสมบัติประจำตัวบางอย่างที่เป็นส่วนตัวไม่ซ้ำกับออปเจ็คอื่น แต่มีบางคุณสมบัติที่เหมือนกับออปเจ็คอื่นๆ เช่น คุณสมบัติเกี่ยวกับความยาว ความสูง ชื่อ เป็นต้น การกำหนดคุณสมบัติจะกระทำตั้งแต่เริ่มต้นวาดออปเจ็คลงบน Form หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงโดยการเขียนโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนด Property ให้กับออปเจ็ค ทำได้ 2 วิธี คือ

1) คลิกที่ออปเจ็คหรือ Form ที่ต้องการกำหนดคุณสมบัติจะปรากฏจุดสี่เหลี่ยมล้อมรอบออปเจ็คนั้น ยกเว้น Form ซึ่งมองไม่เห็นจุดดังกล่าว คลิกเมาส์ขวาจะปรากฏเมนูขึ้นบนจอภาพให้เลือกเมนู Property

2) เลื่อนเมาส์ไปคลิกยังออปเจ็ค หรือ Form จนมีจุดล้อมรอบแล้วให้กด F4 แทน จะปรากฏจอภาพสำหรับกำหนด Property ของ Form ขึ้นมาบนจอภาพ

Control มาตรฐานที่ปรากฏอยู่ใน Tool Bar จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป แต่ละ Controlจะมีเฉพาะตัว แต่มีบางที่เหมือนกัน เช่น ของออปเจ็ค ซึ่งต่างก็ใช้สำหรับกำหนดข้อความบนออปเจ็คเหมือนกัน เป็นต้น เราควรศึกษาหน้าที่ของ Control แต่ละตัวรวมไปถึงคุณสมบัติต่างๆ ที่น่าสนใจ เมื่อเรารู้ถึงหน้าที่เหล่านี้แล้ว ก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

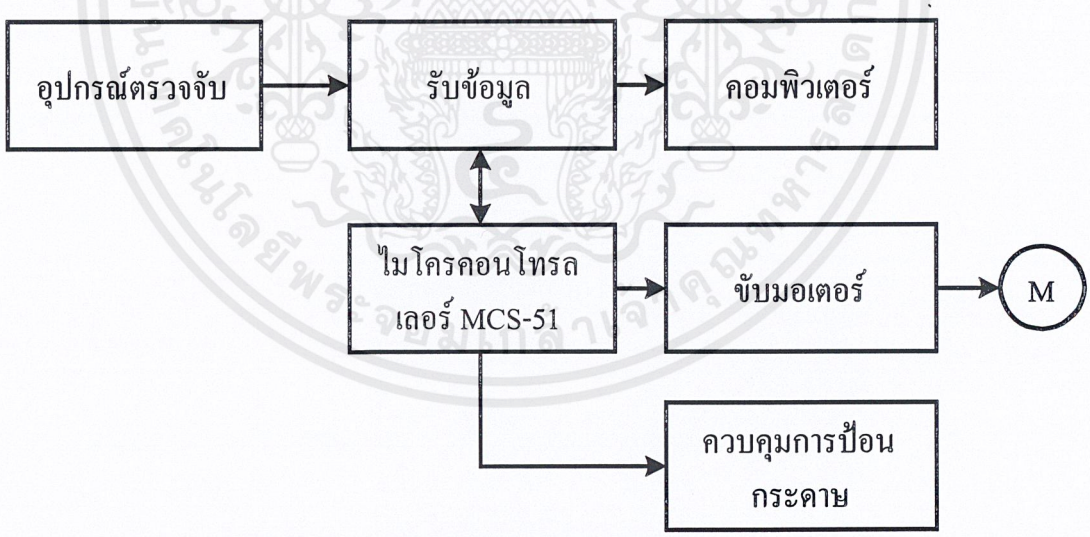
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

เนื้อหาในบทนี้ จะกล่าวถึงการออกแบบ การสร้างและการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ โดยจะอ้างถึงการออกแบบในส่วนต่างๆ ซึ่งจะเป็นการออกแบบการวางตำแหน่งของวงจรต่างๆ การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ ของเครื่อง และหน่วยประมวลผลกลาง

การสร้าง และหลักการทำงานของโครงงานเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัติ จะอธิบายหลักการทำงานของเครื่อง และการสร้างวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง และหลักการทำงานของวงจรควบคุมส่วนต่างๆ

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนผังการทำงานของโครงงานเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยอัตโนมัติทั้งหมด โดยการทำงานจะเริ่มจากวงจรตรวจจับแสงจะทำการตรวจสอบความเข้มของแสงที่กระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำตอบที่มีการฝนคำตอบไว้แล้ว เมื่อตรวจสอบได้ว่ามีการฝนคำตอบหรือไม่แล้ว จะส่งข้อมูลที่ตรวจสอบได้ไปยังวงจรรับข้อมูล ซึ่งจะใช้การมัลติเพล็กซ์สัญญาณข้อมูลที่ได้ไปในสายเส้นเดียว เพื่อเป็นการประหยัดพอร์ตในการส่งข้อมูล โดยข้อมูลที่รับมาได้จากวงจรรับข้อมูล จะถูกส่งสัญญาณต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลเป็นคำตอบและคะแนนต่อไป

โดยในการรับข้อมูลที่ส่งมาจากวงจรตรวจจับจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการควบคุมการอ่านข้อมูลของไอซีแต่ละตัว ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นี้จะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณอินพุตไปควบคุมการอ่านข้อมูลของไอซีแต่ละตัว ซึ่งข้อมูลที่ได้จะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป และไมโครคอนโทรลเลอร์นอกจากจะใช้ในการควบคุมการรับข้อมูลแล้ว ยังใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์และการป้อนกระดาษเข้าไปในเครื่องตรวจข้อสอบ โดยการควบคุมการหมุนของมอเตอร์จะทำการตรวจสอบว่ามีกระดาษอยู่หรือไม่ ถ้ามีไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณไปควบคุมวงจรขับมอเตอร์ให้ทำงาน และจะหยุดเมื่อกระดาษคำตอบที่ทำการตรวจหมดลง ส่วนการควบคุมการป้อนกระดาษนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมให้มีการป้อนกระดาษคำตอบเข้าไปในเครื่องทีละแผ่น และจะป้อนแผ่นต่อไปก็ต่อเมื่อแผ่นเดิมทำการตรวจหมดแผ่นแล้ว โดยกลไกของเครื่องพิมพ์จะมีการควบคุมการป้อนทีละแผ่นอยู่แล้ว แต่จะมีสลักที่ใช้ล็อคเมื่อกระดาษเข้าเครื่องแล้วจะล็อคไม่ให้แผ่นต่อไปเข้ามาจนกว่าแผ่นเดิมจะหมดแผ่นก่อนแล้วจึงทำการป้อนแผ่นต่อไปเข้ามา ซึ่งในการควบคุมนี้จะใช้โซลินอยด์เป็นตัวควบคุม ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้วงจรควบคุมการป้อนกระดาษทำงานเมื่อกระดาษหมดแผ่นแล้ว

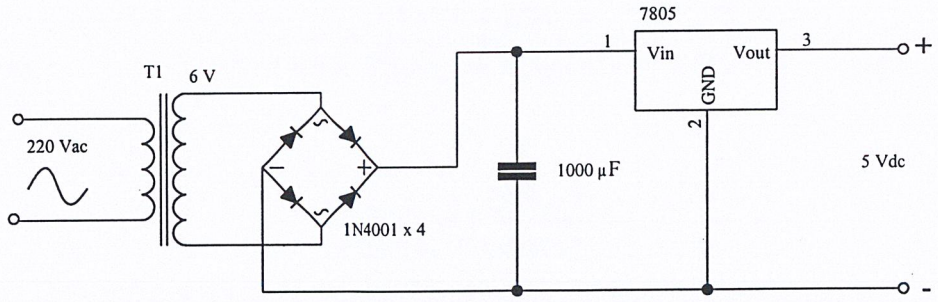
การทำงานของเครื่องก็พอสรุปได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้น ซึ่งการทำงานของวงจรแต่ละภาคนั้นสามารถศึกษาได้จากในบทนี้ต่อไป

3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ใช้ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะต้องใช้แรงดันที่คงที่ และกระที่ได้จะต้องเรียบ จึงใช้ตัวเก็บประจุในการกรองกระแส 1000 ไมโครฟารัด และใช้ไอซีเรกูเลตเบอร์ 7805 ในการจำกัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่

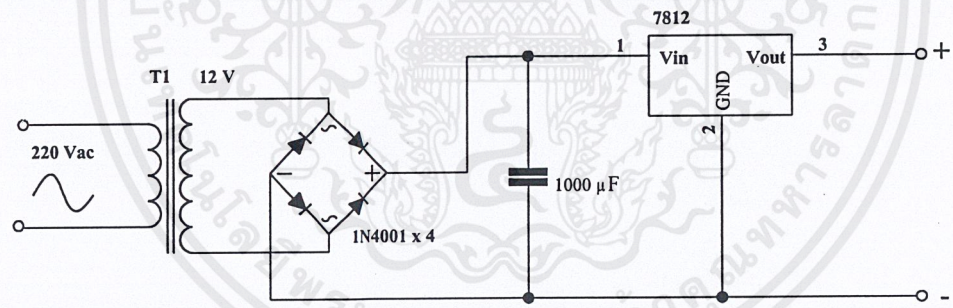
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

3.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ใช้ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรที่ใช้ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการจ่ายไฟในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในวงจรนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะต้องใช้แรงดันที่คงที่ และกระแสที่ได้จะต้องเรียบ จึงใช้ตัวเก็บประจุในการกรองกระแส 1000 ไมโครฟารัด และใช้ไอซีเรกูเลตเบอร์ 7812 ในการจำกัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่



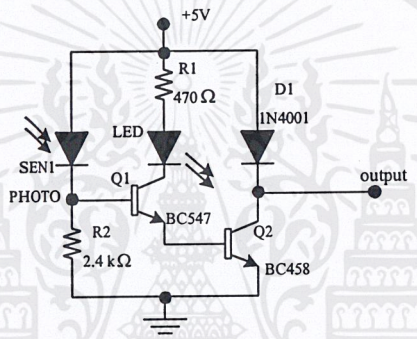
รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

3.3 วงจรตรวจจับแสง

วงจรตรวจจับแสงจะเป็นวงจรที่ใช้ตรวจสอบความเข้มของแสงที่ผ่านลงมาตกกระทบกับอุปกรณ์ตรวจจับแสง (Sensors) ที่ต่ออยู่ในวงจรดังรูปที่ 3.4 โดยที่การทำงาน คือเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบกับอุปกรณ์ตรวจจับความต้านทานของอุปกรณ์ตรวจจับแสงจะมีค่าสูง ทำให้มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q1 น้อยมาก จนทรานซิสเตอร์ไม่สามารถนำกระแสได้ ทำให้วงจรตรวจจับแสงไม่สามารถทำงานคือมีแรงดันที่เอาต์พุตเกือบเท่ากับแหล่งจ่าย แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบกับ

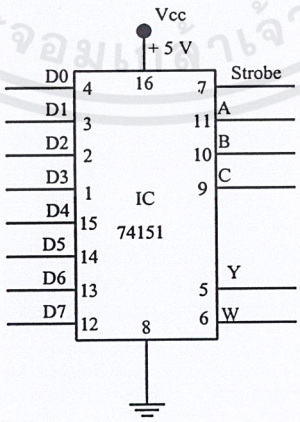
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับ ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ตรวจจับมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วกระแสที่ไหลผ่านขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 มีค่ามากขึ้นจนทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 นำกระแส และวงจรก็สามารถทำงานได้ โดยที่ทรานซิสเตอร์จะต่อกันแบบดาร์ลิงตันเพื่อเพิ่มอัตราขยายกระแสให้สูงขึ้น และสามารถต่อจากเอาต์พุตนำไปใช้งานได้ ซึ่งวงจรตรวจจับแสงนี้จะใช้ในการตรวจสอบการฝนคำตอบที่กระดาษคำตอบที่จะทำการตรวจว่ามีการฝนคำตอบตอบข้อใดบ้าง ถ้าวงจรนี้ไม่สามารถทำงานได้ตรงตามที่ควรจะเป็น คือไม่สามารถตรวจสอบและตัดสินความแตกต่างของแสงที่ผ่านมาจากข้อที่ฝนคำตอบกับไม่ฝนคำตอบได้ จะทำให้ไม่สามารถตรวจจับแสง และเปลี่ยนความเข้มของแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ วงจรตรวจจับที่สมบูรณ์แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข.1



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับแสง

3.4 การออกแบบการรับข้อมูล



รูปที่ 3.5 ไอซีเบอร์ 74151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบการส่งผ่านข้อมูลนั้น จะต้องศึกษาถึงวิธีการทำงานของวงจร หรืออุปกรณ์ที่จะใช้ว่าทำงานเป็นอย่างไรก่อน โดยการส่งผ่านข้อมูลนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากวงจรตรวจจับที่สามารถทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแสงมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยผ่านไอซีเบอร์ 74151 เป็นไอซีที่สามารถมัลติเพล็กซ์ข้อมูลหรือสามารถนำข้อมูลที่ต้องการออกไปในสายเส้นเดียวได้ ทำให้สามารถประหยัดพอร์ตที่จะใช้ในการรับข้อมูลลงไปได้มาก

โดยหลักการแล้ววงจรนี้จะรับสัญญาณจากวงจรตรวจจับเข้ามาที่ขาอินพุตแต่ละขา ซึ่งจะมีขาอินพุตคือ D0-D7 จากนั้นจะมีการกระตุ้นให้ทำการรับข้อมูลโดยใช้รหัสเลขฐานสอง 3 บิต ซึ่งจะเริ่มจาก 000 – 111 การกระตุ้นครั้งแรกจะทำให้ข้อมูลที่ขา D0 จะออกมาที่เอาต์พุต คือที่ ขา Y เมื่อมีการกระตุ้นครั้งที่สอง ข้อมูลที่ขา D1 จะออกมาที่เอาต์พุตแทน และการกระตุ้นครั้งต่อไปข้อมูลที่ขาต่างๆ ก็จะออกมาที่เอาต์พุตตามลำดับไปเรื่อยๆ จนครบ 8 ครั้ง ไอซีจะทำการกลับไปรับข้อมูลที่ D0 ใหม่อีกเป็นอย่างนี้ต่อไปจนกว่าจะหยุดการทำงาน ตารางการทำงานของไอซี ดังตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่รับได้จะส่งต่อไปยังส่วนที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปประมวลผลยังคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยสามารถพิจารณาวงจรที่สมบูรณ์ได้ในภาคผนวก ข ในรูปที่ ข.3

ตารางที่ 3.1 ตารางความจริงการทำงานของไอซีเบอร์ 74151

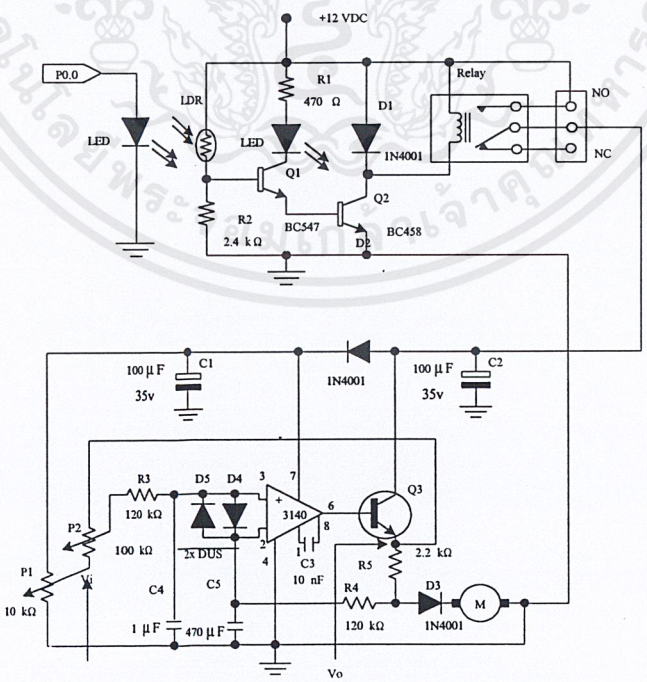
อินพุต				เอาต์พุต
SELECT			STROBE	Y
C	B	A		
0	0	0	0	D0
0	0	1	0	D1
0	1	0	0	D2
0	1	1	0	D3
1	0	0	0	D4
1	0	1	0	D5
1	1	0	0	D6
1	1	1	0	D7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 3.6 จะเป็นวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การทำงานของวงจรคล้ายกับวงจรตรวจจับแสง แต่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปควบคุมให้อุปกรณ์ออปโต-อิเล็กทรอนิกส์ตัวกำเนิดแสงจะเกิดแสงขึ้น และตัวรับแสงจะมีความต้านทานลดลงจะทำให้มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์มากขึ้น วงจรทำงานคือ มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q2 ลงกราวด์ ทำให้รีเลย์ทำงานนำกระแสและดึงหน้าสัมผัสมาที่ NO ส่งผลให้วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ทำงานโดยหมุนจนกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้หยุดทำงาน หรือจนกว่ากระดาษจะหมดจากถาดที่จะตรวจ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจสอบ

จากรูปวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (วงจรด้านล่าง) ซึ่งจะรักษาความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่โดยไม่ขึ้นกับโหลด แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ทั้งสองส่วนคือ แรงดันย้อนกลับของมอเตอร์และแรงดันตกคร่อมความต้านทานภายในของขดลวดแรงดันย้อนกลับจะแปรผันตามความเร็วของมอเตอร์ วงจรจะใช้แรงดันย้อนกลับนี้ในการกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งวงจรนี้ต้องการที่จะนำแรงดันเนื่องจากความต้านทานภายในออกไป ถ้าต่อความต้านทานอนุกรมกับมอเตอร์จะทำให้เกิดการหักล้างแรงดันเนื่องจากความต้านทานภายในออกได้ วงจรจะใช้ค่าแรงดันย้อนกลับและปรับกระแสให้แรงดันย้อนกลับและความเร็วของมอเตอร์คงที่สำหรับความเร็วที่ได้ตั้งไว้



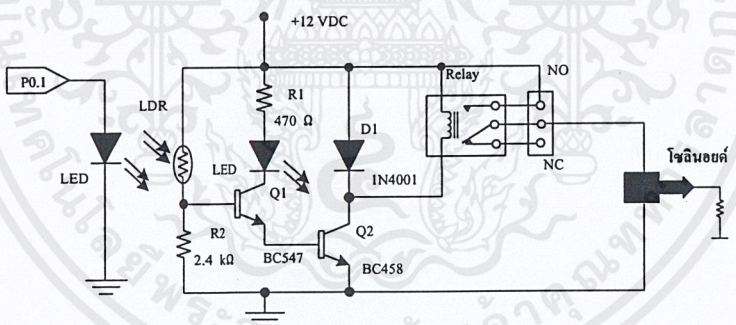
รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรควบคุมกลไกการป้อนกระดาษ

การทำงานของวงจรคือเมื่อทำการตรวจกระดาษคำตอบเครื่องจะมีกลไกในการดึงกระดาษเข้าสู่เครื่องทีละแผ่น โดยเครื่องจะมีกลไกในการป้องกันไม่ให้กระดาษเข้าไปในเครื่องแบบติดกัน แต่จะจำกัดให้เข้าทีละแผ่นเท่านั้น เมื่อแผ่นแรกหมดกลไกก็จะดึงแผ่นต่อไปเข้ามาตามลำดับจนหมด โดยกลไกนี้จะมีสลักติดอยู่ที่กลไกด้านในของเครื่อง เมื่อเริ่มดึงกระดาษเข้าไปทำการตรวจแผ่นแรกเข้าไปสลักจะล็อคไม่ให้ลูกยางที่ใช้ในการดึงกระดาษหยุดหมุนเพื่อไม่ให้กระดาษแผ่นต่อไปเข้ามาก่อนที่แผ่นแรกจะหมดแผ่น โดยให้มอเตอร์ที่ดึงกระดาษหมุนต่อไป

จนเมื่อกระดาษหมดแผ่นแล้วจะมีอุปกรณ์ตรวจจับส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้รู้ว่ากระดาษหมดแผ่น และไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปกระตุ้นให้วงจรควบคุมกลไกการป้อนกระดาษให้จ่ายกระแสให้กับโซลินอยด์เพื่อไปกระทุ้งสลักที่กล่าวมาข้างต้นเคลื่อนที่ไปทำการปลดล็อคที่สลักดังกล่าว ทำให้กลไกทำการป้อนกระดาษแผ่นต่อไปเข้ามา และจะหยุดการหมุนของลูกยางดึงกระดาษเมื่อกระดาษเข้ามาในเครื่องแล้วตามกลไกของเครื่องดังที่กล่าวมาแล้ว และจะดึงกระดาษเมื่อมีการกระตุ้นครั้งต่อไป โดยหลักการทำงานของวงจรควบคุมการป้อนกระดาษนี้จะมีการทำงานของวงจรคล้ายกับวงจรควบคุมการขับมอเตอร์

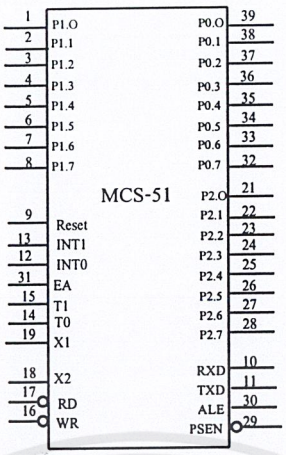


รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมกลไกการป้อนกระดาษ

3.7 การออกแบบวงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีโครงสร้างดังในรูปที่ 3.8 โดยภาคไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นภาคที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนหลักๆ ของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะควบคุมส่วนต่างๆ เช่น ส่วนควบคุมการป้อนกระดาษ วงจรควบคุมการขับมอเตอร์ ดีซี การตรวจสอบกระดาษว่าหมดหรือไม่ เป็นต้นโดยในการออกแบบนั้นจะใช้พอร์ตในการใช้งานทั้งหมด 3 พอร์ต คือ P0, P1 และ P2 ซึ่งในการใช้งานพอร์ตทั้ง 3 จะมีทั้งใช้เป็นพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ซึ่งในการใช้เป็นพอร์ตอินพุต คือการรับค่าจากตัวตรวจจับต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจจับกระดาษคำตอบที่ทำการตรวจว่าหมดหรือไม่ และ ตรวจจับกระดาษหมดแผ่น ซึ่งจะใช้พอร์ต P1 ในการใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต และใช้พอร์ต P0, P2 ทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุต โดยจะใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรต่างๆคือวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วงจรควบคุมกลไกการป้อนกระดาษและยังใช้ในการควบคุมการรับข้อมูลจากวงจรตรวจจับ ในการออกแบบภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากใช้งานเฉพาะการใช้งานหน่วยจำภายในเท่านั้น ไม่มีการต่อหน่วยความจำภายนอก การออกแบบจึงไม่มีความซับซ้อนการต่อใช้งานพื้นฐานก็สามารถทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ พิจารณาวงจรดังในรูปภาคผนวก ข ในรูปที่ ข.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และผลการทดลอง

เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติสร้างโดยมีส่วนประกอบจากส่วนของเครื่องกลจากตัวเครื่องพิมพ์ และส่วนที่ควบคุมจากวงจรต่างๆ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง การทดสอบการทำงานของเครื่อง และการทดสอบการทำงานของวงจร

4.1 วงจรภาคจ่ายไฟ

ในการทดลองการทดลองวงจรภาคจ่ายไฟในส่วนต่างๆ ผลการทดลองวงจรสามารถให้เอาต์พุตตามที่ได้ทำการออกแบบ คือ ที่เอาต์พุตจะได้ไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ และไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

4.2 ผลการทดลองการทำงานของวงจรควบคุมต่างๆ

ในการทดลองการทดลองวงจรภาคควบคุมการทำงานต่างๆ เช่นภาคควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ภาคควบคุมกลไกการป้อนกระดาษ เป็นต้น ผลปรากฏว่า เป็นไปตามที่ได้ทำการคำนวณและออกแบบไว้ตามที่ต้องการ

4.3 วงจรการตรวจจับ (Sensor)

ลำดับขั้นการปฏิบัติการทดลอง

1 ติดตั้งตัวตรวจจับเข้ากับวงจรที่ใช้ในการทดลองวงจรและยึดติดกับแท่น

2 จ่ายไฟให้กับวงจรชุดตรวจจับ

3. นำกระดาษที่ใช้เป็นกระดาษคำตอบมาทดลองฝนคำตอบ ด้วยดินสอดำที่มีความเข้มต่างกันคือ HB, 2B, 3B, 6B และ EE ในการทดลองจะนำมาทดสอบที่ระยะห่างของกระดาษและตัวตรวจจับมีความแตกต่างกันที่ประมาณ 1, 2,3, 4 และ 5 มิลลิเมตรตามลำดับ

4. จากนั้นเปิดสวิตซ์โคมไฟที่ใช้ในการส่องแสงให้กับตัวตรวจจับโดยผ่านกระดาษคำตอบที่ฝนคำตอบเอาไว้แล้ว ผลการทดลองเป็นดังที่บันทึกในตารางที่ 4.1 – 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในการสังเกตความเปลี่ยนแปลงจะสังเกตได้จากสภาวะในการติด และดับของแอลอีดี และ แรงดันที่เอาต์พุตของวงจรตรวจจับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 1 มิลลิเมตร

ความเข้มของดินสอ	ผลการทดลอง
HB	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
2B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
3B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
6B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
EE	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 2 มิลลิเมตร

ความเข้มของดินสอ	ผลการทดลอง
HB	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
2B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
3B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
6B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
EE	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 3 มิลลิเมตร

ความเข้มของดินสอ	ผลการทดลอง
HB	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
2B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
3B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
6B	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้
EE	มีการเปลี่ยนแปลงสามารถตรวจจับได้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 4 มิลลิเมตร

ความเข้มของดินสอ	ผลการทดลอง
HB	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
2B	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
3B	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
6B	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
EE	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงตรวจจับที่ระยะห่างของกระดาษคำตอบและตัวตรวจจับมีระยะห่างประมาณ 5 มิลลิเมตร

ความเข้มของดินสอ	ผลการทดลอง
HB	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
2B	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
3B	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
6B	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้
EE	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถตรวจจับได้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะใช้การสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันทางด้านเอาต์พุตและการเปลี่ยนแปลงสภาวะของแอลอีดี ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือการติดดับหรือไม่ และแรงดันทางด้านเอาต์พุต เปลี่ยนแปลงหรือไม่เมื่อมีการฝนคำตอบ ถ้าแอลอีดีและแรงดันเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเลื่อนผ่านของจุดที่ฝนคำตอบ แสดงว่าวงจรตรวจจับสามารถทำงานได้ คือสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการฝนคำตอบกับไม่มีการฝนคำตอบ พบว่าระยะห่างของกระดาษคำตอบที่ฝนด้วยดินสอดำ ที่ระยะห่างต่างๆ กันมีผลต่อวงจรตรวจจับ คือตัวตรวจจับจะสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแสงที่มีการกระทบกับกระดาษคำตอบที่ฝนดินสอดำไว้ และมากระทบกับตัวตรวจจับจะมีระยะในการทำงานอยู่ที่ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เพราะถ้าระยะห่างมากกว่านี้จะทำให้ไม่สามารถทำการตรวจจับได้ หรืออาจจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้ ในเรื่องความเข้มของดินสอที่ใช้ในการฝนคำตอบก็มีผลเช่นกัน คือดินสอที่มีความเข้มของไส้ดินสอต่ำจะทำให้การตรวจจับของตัวตรวจจับไม่สามารถทำการตรวจจับได้ ดังนั้นในการใช้งานวงจรตรวจจับนี้จะต้องใช้งานในระยะห่างที่ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และความเข้มของดินสอที่ใช้ฝนจะต้องมากกว่า 2B ขึ้นไปจึงจะทำให้วงจรสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแสงที่ผ่านมาได้ และในการฝนคำตอบควรจะฝนให้เต็มช่องที่ได้กำหนดไว้เพื่อความถูกต้องและเที่ยงตรงในการตรวจจับแสงจะได้ไม่ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการตรวจรหัสวิชา

ผลการตรวจด้วยมือ	ผลการตรวจจากเครื่อง
42035218	42035218
42035219	42035219
42035220	42035220
42035221	42035221
42035222	42035222

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการตรวจรหัสนักศึกษา

ผลการตรวจด้วยมือ	ผลการตรวจจากเครื่อง
31000003	31000003
31000006	31000006
31000057	31000057
31000065	31000065
31000070	31000070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองเครื่องตรวจข้อสอบ

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการตรวจข้อสอบ

ข้อที่	เฉลย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1.	ค	ฝน 2 ข้อขึ้นไป	ค	ค	ค
2.	ก	ก	ก	ก	ก
3.	ค	ค	ค	ค	ค
4.	ง	ง	ง	ง	ง
5.	ค	ค	ไม่มีการฝน	ค	ค
6.	ข	ข	ข	ข	ข
7.	ข	ข	ข	ข	ข
8.	ง	ง	ง	ง	ง
9.	ก	ก	ก	ก	ก
10.	ค	ค	ค	ค	ค
11.	ก	ก	ก	ก	ก
12.	ง	ง	ง	ง	ง
13.	ค	ค	ค	ค	ค
14.	ข	ข	ข	ข	ข
15.	ก	ก	ก	ก	ก
16.	ข	ไม่มีการฝน	ข	ข	ข
17.	ค	ค	ค	ค	ค
18.	ค	ค	ค	ค	ค
19.	ข	ข	ข	ข	ข
20.	ก	ก	ฝน 2 ข้อขึ้นไป	ก	ก
21.	ง	ง	ง	ง	ง
22.	ค	ค	ค	ค	ค
23.	ง	ง	ง	ง	ง
24.	ก	ก	ก	ก	ก
25.	ข	ข	ข	ข	ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจข้อสอบ

26.	ค	ค	ค	ค	ค
27.	ง	ง	ง	ง	ง
28.	ค	ค	ค	ค	ค
29.	ง	ง	ง	ง	ง
30.	ง	ง	ง	ง	ง
31.	ก	ก	ก	ก	ก
32.	ข	ข	ไม่มีการฝน	ข	ข
33.	ค	ค	ค	ค	ค
34.	ก	ก	ก	ก	ก
35.	ค	ค	ค	ค	ค
36.	ข	ข	ไม่มีการฝน	ข	ข
37.	ค	ค	ค	ค	ค
38.	ง	ง	ง	ง	ง
39.	ค	ค	ค	ค	ค
40.	ข	ข	ข	ข	ข
41.	ง	ง	ง	ง	ง
42.	ข	ข	ข	ข	ข
43.	ค	ค	ค	ค	ค
44.	ค	ค	ค	ค	ค
45.	ข	ข	ข	ข	ข
46.	ก	ก	ก	ก	ก
47.	ข	ข	ข	ข	ข
48.	ค	ค	ค	ค	ค
49.	ค	ค	ค	ค	ค
50.	ข	ข	ข	ข	ข
51.	ค	ค	ค	ค	ค
52.	ง	ง	ง	ง	ง
53.	ก	ก	ก	ก	ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจข้อสอบ

54.	ข	ข	ข	ข	ข
55.	ง	ง	ง	ง	ง
56.	ค	ค	ค	ค	ค
57.	ข	ข	ข	ข	ข
58.	ค	ค	ค	ค	ค
59.	ค	ค	ค	ค	ค
60.	ค	ค	ค	ค	ค
ตรวจได้ตรงเฉลย (ข้อ)		58	58	60	60
ตรวจได้ตรงเฉลย (ร้อยละ)		96.67	95	100.00	100.00
เฉลี่ยรวม (ร้อยละ)		97.9166			

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้ทำการทดลองแล้วจะพบว่าเครื่องสามารถทำการตรวจรหัสนักศึกษา รหัสวิชา และคะแนนที่ได้ทั้งหมดได้ แต่ในการทำงานของเครื่องนั้นก็มีการผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง ผลการตรวจคำตอบของกระดาษคำตอบคือจะเกิดการผิดพลาดขึ้นในการตรวจในบางข้อทำให้ผลคะแนนที่ได้ไม่ตรงกับผลการตรวจที่ถูกต้องด้วยมือ ซึ่งจากตารางที่ 4.8 จากการทดลองตรวจกระดาษคำตอบทั้งหมด 4 ครั้ง ผลคะแนนที่ออกมาจากการการตรวจคือ มีการตรวจผิดพลาด 2 ครั้ง และตรวจได้ตรงกับที่เฉลยทั้งหมด 2 ครั้ง ซึ่งค่าเฉลี่ยของการตรวจที่ออกมาคือ 97.916 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเครื่องตรวจข้อสอบสามารถทำการตรวจได้มีผลที่น่าเชื่อถือได้ แต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจะทำการแก้ไขต่อไปเพื่อให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการทำงานตามที่ได้ตั้งความหวังไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไขและการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ระบบของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวคิดที่จะศึกษา และพัฒนาเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ ให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องที่มีอยู่เดิม และเพื่อความสะดวก และความประหยัด การจัดสร้างโครงงานนี้จะต้องศึกษารายละเอียดต่างๆ เป็นอย่างมากซึ่งจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงงาน และสอบถามกับผู้ชำนาญในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับโครงงานที่จัดทำ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้วางแผนและขอบเขตคุณสมบัติของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ ที่ได้จัดสร้างขึ้นดังต่อไปนี้

1) เป็นเครื่องที่มีราคาถูกกว่าในท้องตลาดทั่วไป แต่คุณภาพ และประสิทธิภาพจะต้องใกล้เคียงกับเครื่องที่มีในท้องตลาด

2) สามารถใช้งานได้ง่าย และมีการควบคุมระบบให้มีความแม่นยำ และความถูกต้อง

3) สามารถตรวจข้อสอบได้จำนวนมาก

4) มีการพัฒนารูปแบบการตรวจ และรูปแบบการใช้งานได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

5) ส่วนของการศึกษาการโปรแกรมจะศึกษาในเรื่องหลักการทำงาน และ การใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยละเอียด เพื่อที่จะสามารถนำมาควบคุมการทำงานของวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์ได้ และในส่วนของโปรแกรมวิชวล เบสิค นั้นได้ศึกษารายละเอียดการนำไปใช้งานในการนำไปแสดงผลของการตรวจข้อสอบโดยการแสดงผลจะแสดงผลในส่วนของคะแนนสอบ รหัสนักศึกษา และรหัสวิชาได้

จากการศึกษา และจัดสร้างโครงงานนี้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการควบคุมวงจรเซนเซอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ทำงานตามที่ต้องการ และเข้าใจการทำงานของโปรแกรมวิชวล เบสิค ในการแสดงรายละเอียด การตรวจข้อสอบ และการแสดงผล การจัดสร้างโครงงานนี้ได้เครื่องต้นแบบเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติที่ตรงตามวัตถุประสงค์ และความขีดสามารถของโครงงานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหา และแนวทางการแก้ไข

ในระหว่างการทำปริญญานิพนธ์ เกิดปัญหา และอุปสรรคขึ้น ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมปัญหา และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเอาไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้

ปัญหา

1) ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ทางกลไกของเครื่องพิมพ์ ที่มีความซับซ้อนทำให้ทำความเข้าใจได้ยาก

แนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ทางกลไกนี้ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำความเข้าใจการทำงานของเครื่องพิมพ์ แนวทางในการแก้ไขจึงต้องศึกษาการทำงานของกลไกต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ให้มากขึ้นและทุ่มเท และทำการศึกษาด้วยวิธีการที่ถูกต้อง

ปัญหา

2) ปัญหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับกระดาษคำตอบ ซึ่งมีระยะห่างที่มากเกินไป

แนวทางการแก้ไข

ปัญหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับกระดาษคำตอบนี้ ทำให้ผลการตรวจคำตอบที่ได้เกิดการผิดพลาดขึ้นได้ แนวทางในการแก้ไขต้องนำแผ่นพลาสติกใสมาวางทาบด้านบนของชุดอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับกระดาษคำตอบน้อยลงหรือแนบติดกันพอดี

ปัญหา

3) ปัญหาความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความเร็วไม่เหมาะสมในการที่จะทำการป้อนกระดาษ

แนวทางการแก้ไข

ปัญหาความเร็วของมอเตอร์ไม่เหมาะสม จะทำให้อุปกรณ์ชุดตรวจจับตรวจสอบความแตกต่างของความเข้มแสงได้ไม่ทันทำให้เกิดการผิดพลาดได้ แนวทางในการแก้ไขคือหาวงจรที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์มาประกอบใช้งานร่วมกับมอเตอร์ ซึ่งทำให้ความเร็วลดลง หรือมีความเหมาะสมมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา

4) ปัญหาเรื่องแสงสว่างที่ใช้ให้ความสว่างกับอุปกรณ์ชุดตรวจจับมีความสว่างมากเกินไป

แนวทางการแก้ไข

ปัญหาเรื่องแสงสว่างที่ใช้ให้ความสว่างกับอุปกรณ์ชุดตรวจจับนั้น ถ้ามีความสว่างมากเกินไปจะทำให้อุปกรณ์ชุดตรวจจับทำงานผิดพลาดได้ แนวทางในการแก้ไขคือใช้วัสดุที่มีสีขาวนวลมาครอบที่หลอดไฟฟ้า หรือใช้หลอดไฟที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำๆ เพื่อให้แสงสว่างมีความเหมาะสมและสม่ำเสมอตลอดอุปกรณ์ชุดตรวจจับ

5.3 แนวทางในการพัฒนา

ทางคณะผู้จัดทำพยายามที่จะจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ให้เป็นเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในระยะเวลาและงบประมาณที่จำกัด แต่ก็มีสิ่งที่ถือได้ว่ายังมีข้อจำกัดบางจุดที่ควรได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นดังต่อไปนี้

1) ความไวของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ยังมีความไวต่ำจึงทำให้ความไวในการตรวจทำได้ช้า

2) ความเร็วในป้อนกระดาษคำตอบที่สัมพันธ์กับการตรวจคำตอบยังถือว่าช้า จึงทำให้การตรวจข้อสอบต้องใช้เวลานาน

3) พัฒนาทางด้านความแม่นยำในการตรวจคำตอบยังมีความผิดพลาดอยู่บ้าง เนื่องจากระยะห่างอุปกรณ์ตรวจจับกับกระดาษคำตอบยังไม่เหมาะสมนัก หรือยังไม่แนบติดกันเท่าที่ควร

4) พัฒนาทางด้านซอฟแวร์ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น โดยสามารถเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลต่างๆ ให้มีความเร็วมากขึ้น และสามารถสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

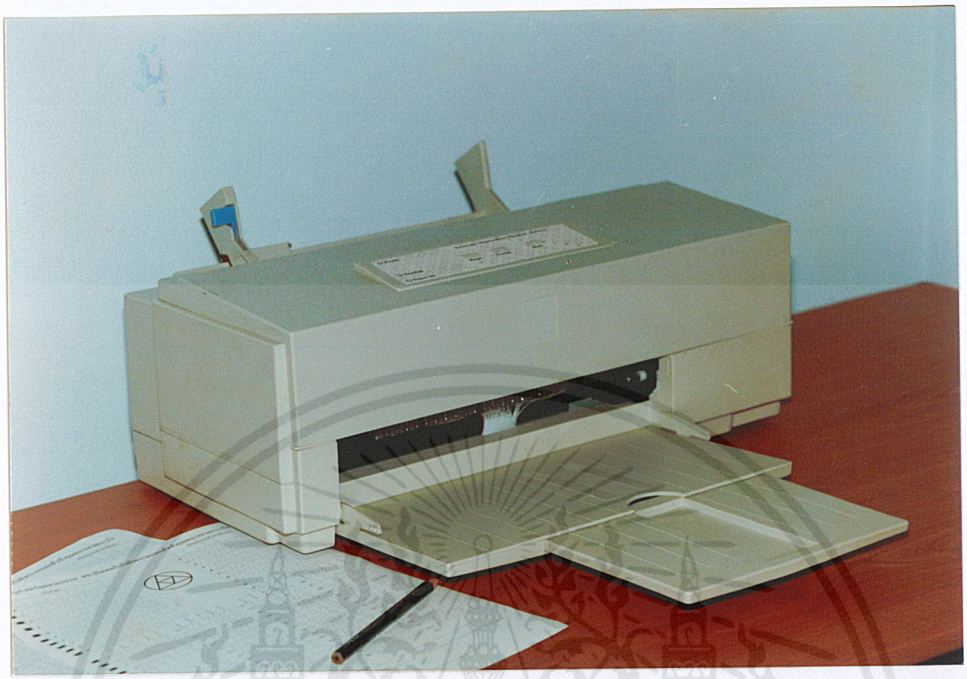
5) อุปกรณ์ชุดให้แสงสว่างเกิดการรบกวนเครื่อง และเกิดความร้อนได้ง่าย

6) การใช้เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติเป็นเวลานานทำให้เครื่องทำงานผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รูปเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

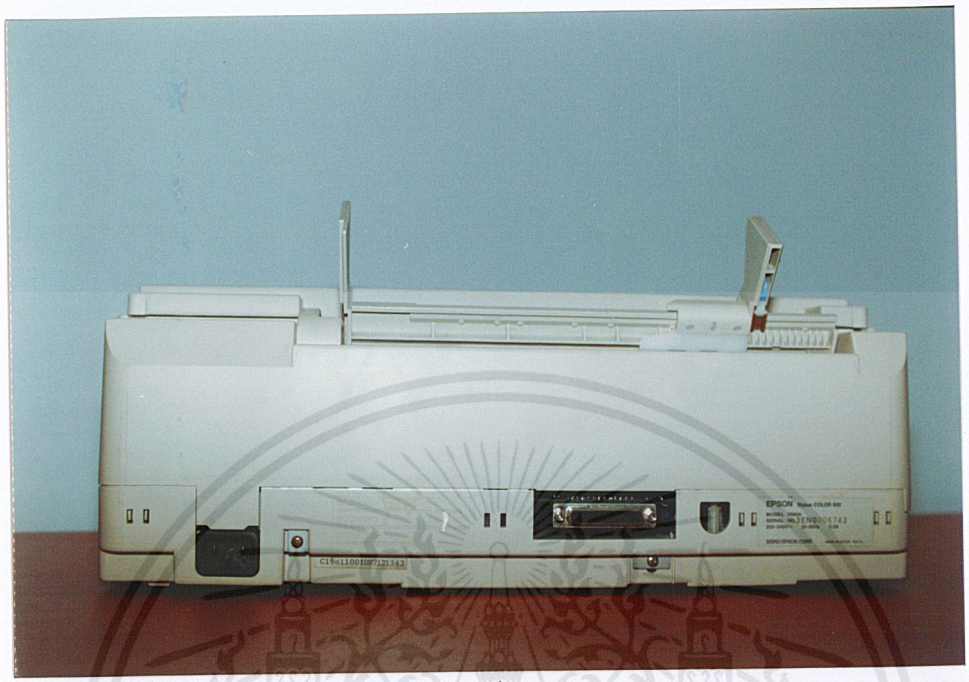
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



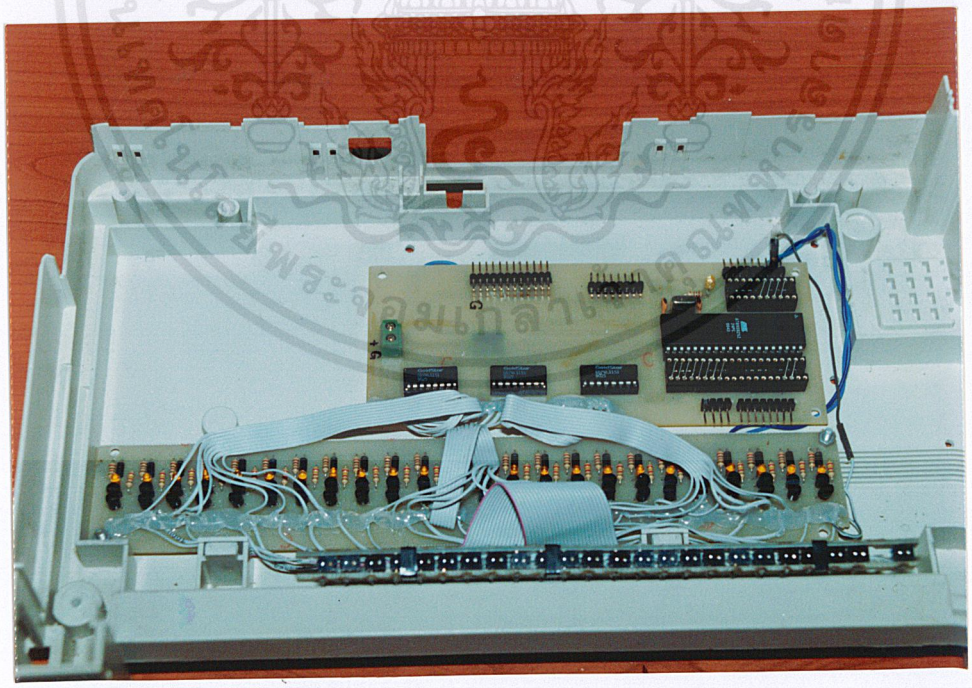
รูปที่ ก.1 เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

รูปที่ ก.2 เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

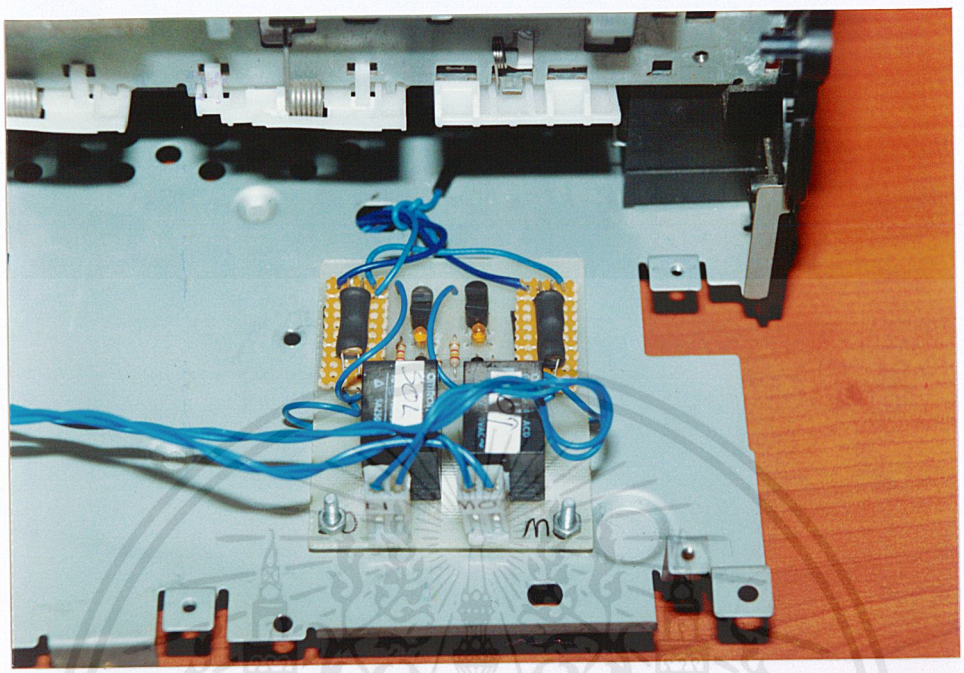


รูปที่ ก.3 เครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติด้านหลัง

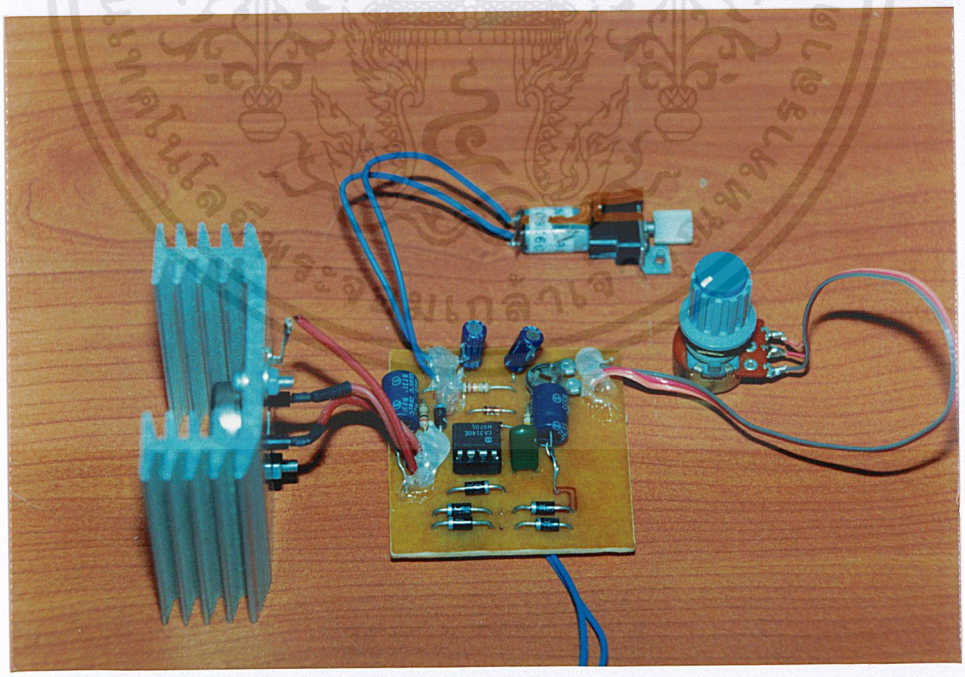


รูปที่ ก.4 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องตรวจข้อสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

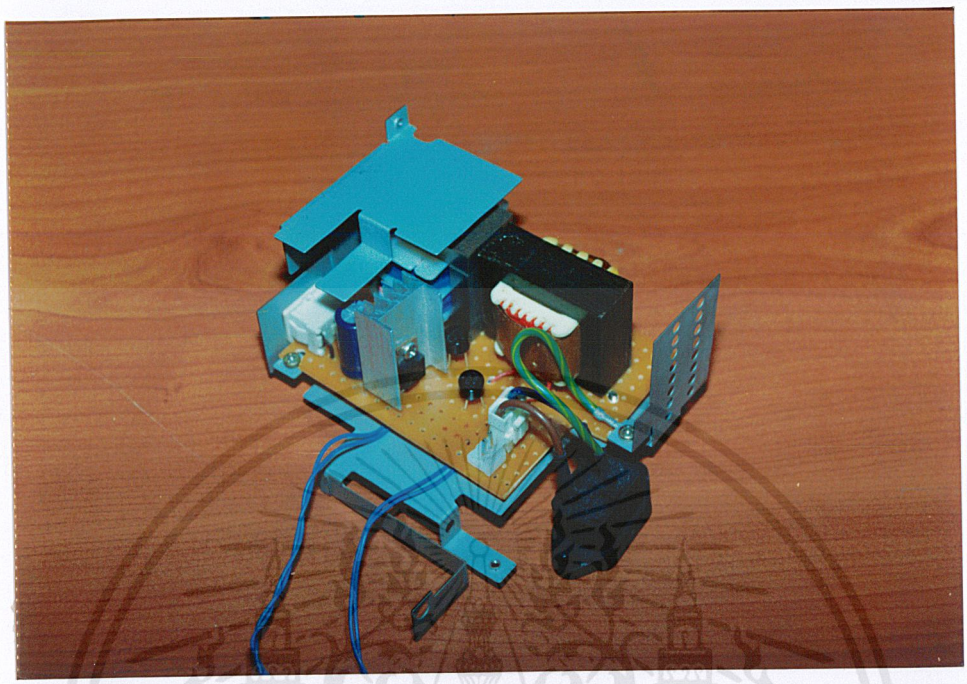


รูปที่ ก.5 วงจรควบคุมการป้อนกระดาษ



รูปที่ ก.6 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

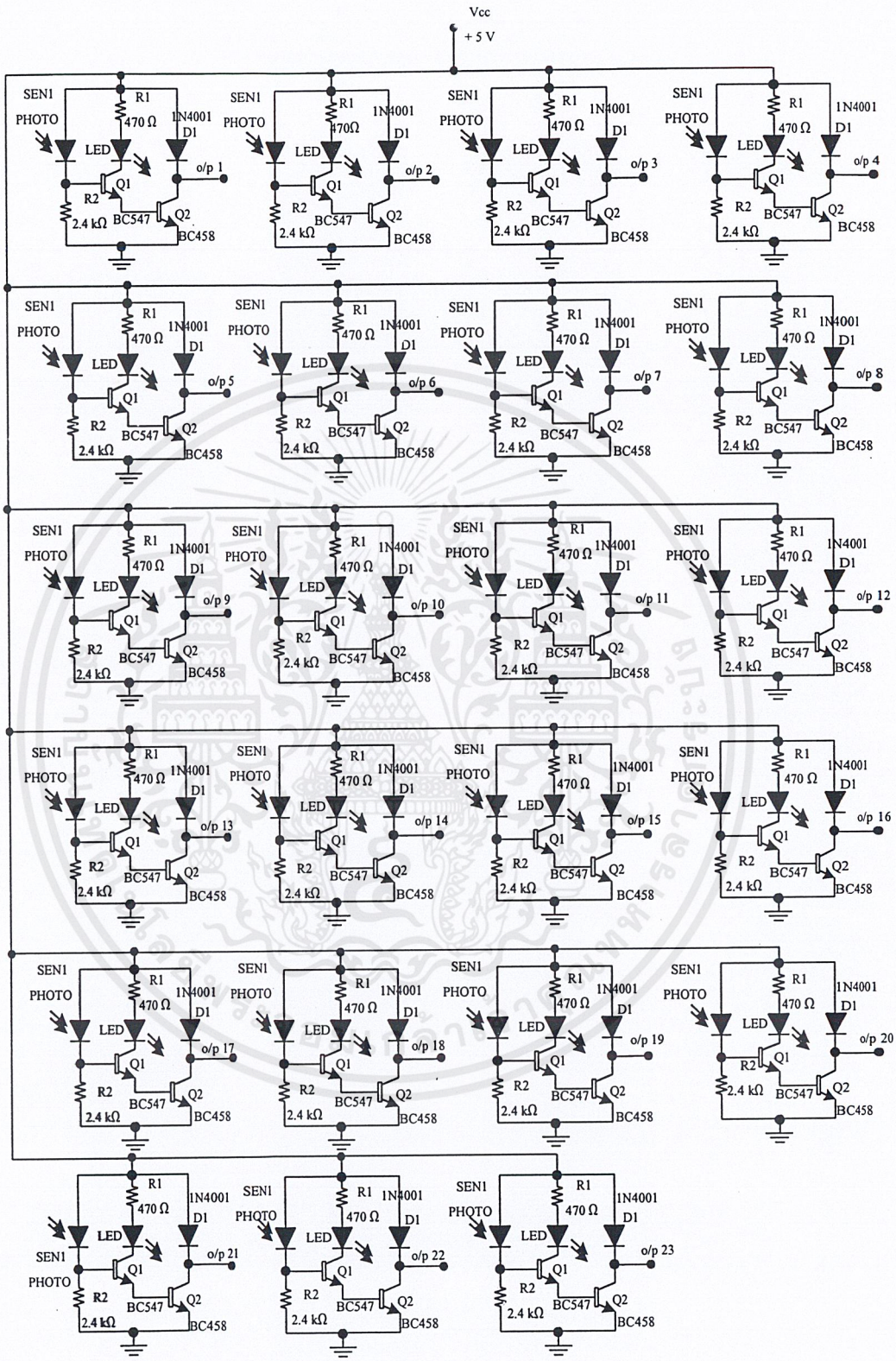


รูปที่ ก.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

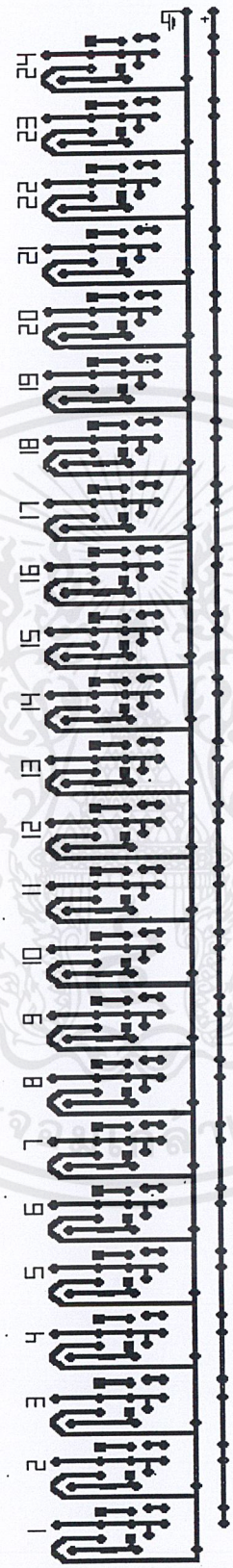
ภาคผนวก ข
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์
ของเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



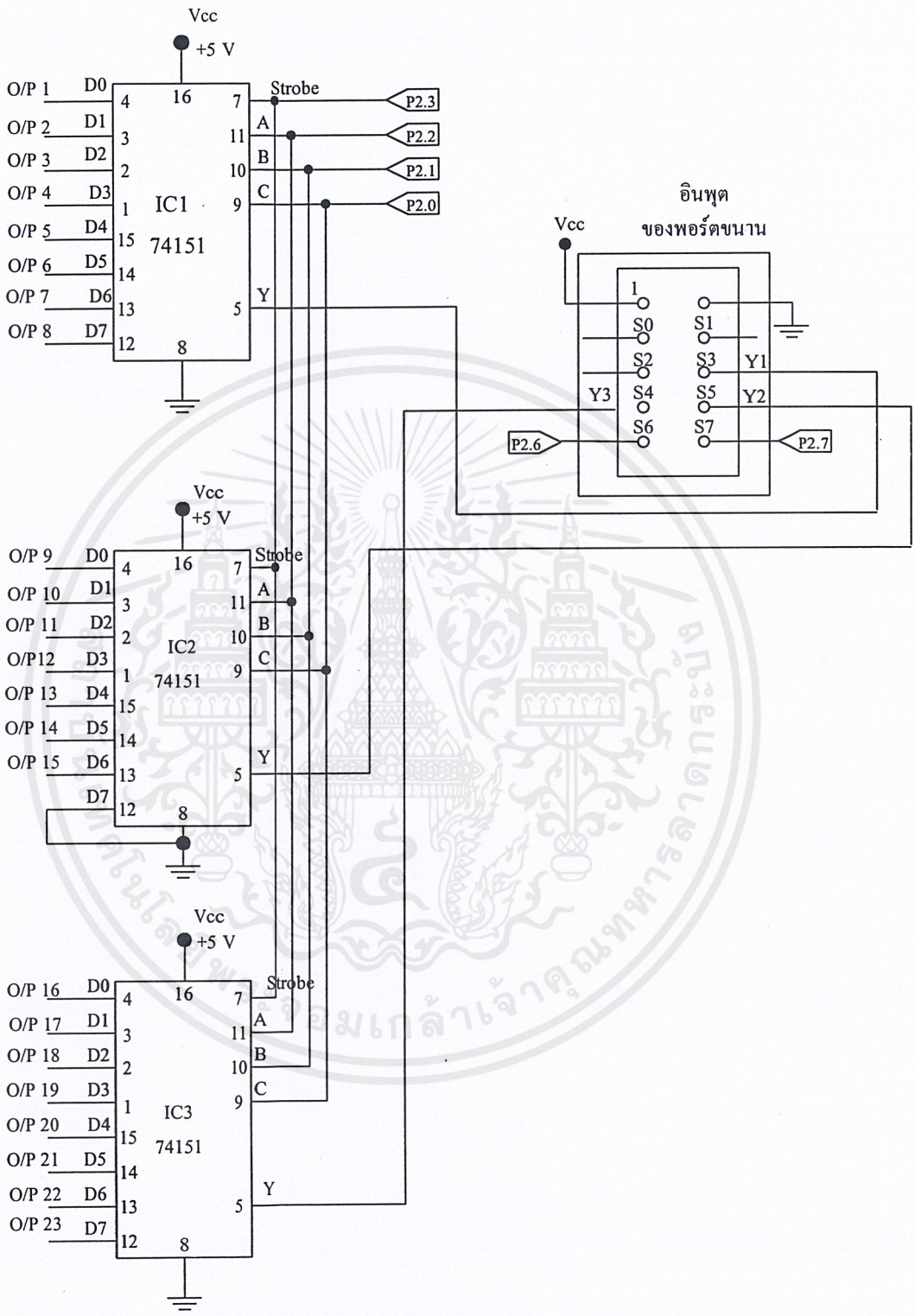
รูปที่ ข.1 วงจรภาคอุปกรณ์ตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



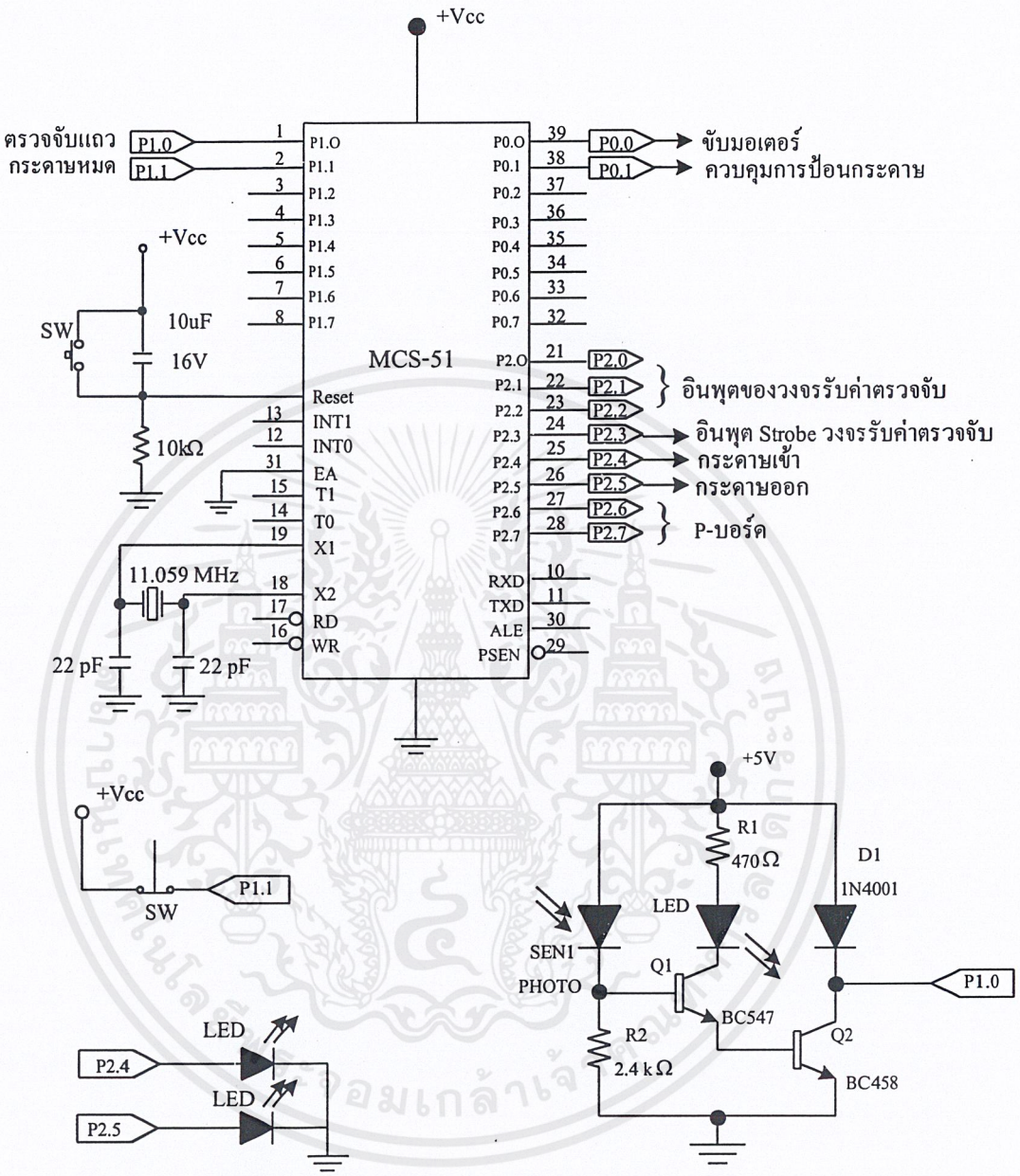
รูปที่ ข.2 วงจรพิมพ์ภาคอุปกรณ์ตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



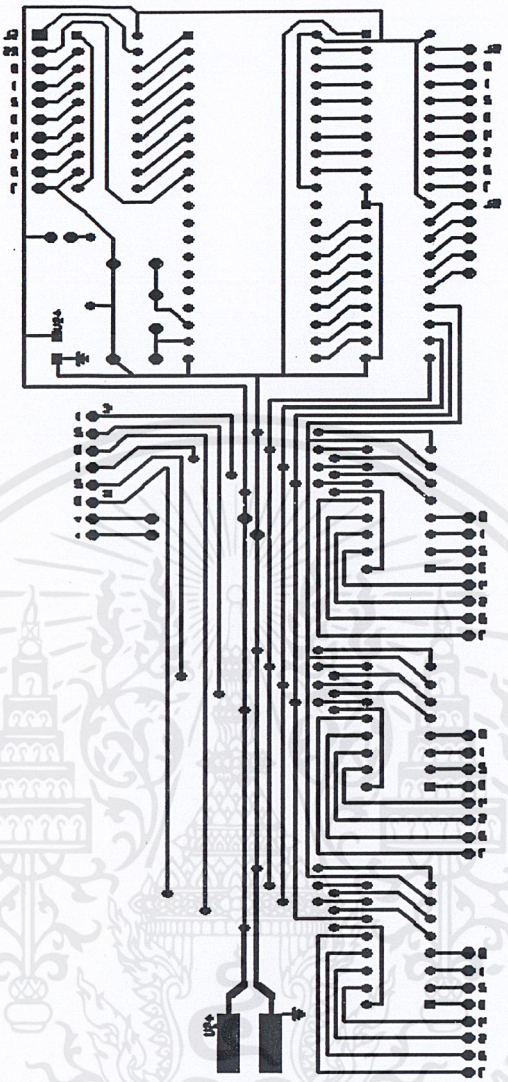
รูปที่ ข.3 วงจรภาครับข้อมูลจากวงจรตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

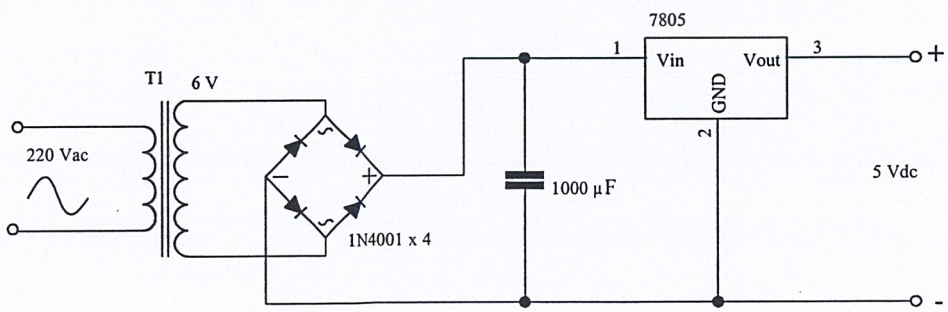


รูปที่ ข.4 วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

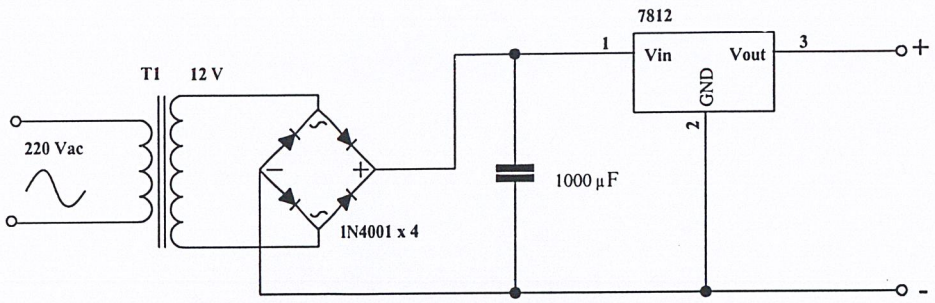


รูปที่ ข.5 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรพิมพ์ภาครับข้อมูล

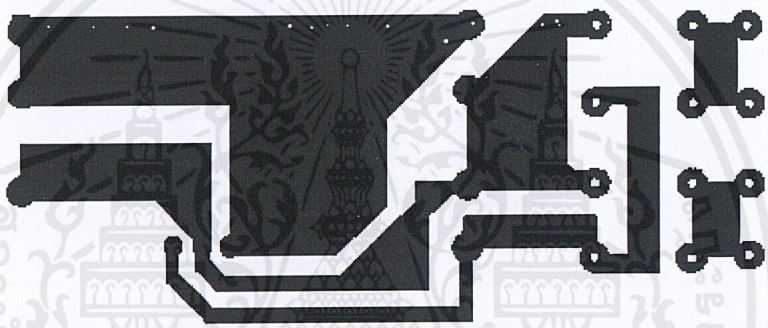


รูปที่ ข.6 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์



รูปที่ ข.8 วงจรพิมพ์ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ และ12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
โปรแกรมควบคุมเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;/*************************************/;
;/PROJECT ID.ED.KMITL 2000/;
;/*************************************/;
        ORG     0000H
BEGIN:
        MOV     A,P1
        CJNE    A,#11111000B,BEGIN
SETR0:  MOV     R0,#35
;/*************************************/;
;/MAIN/;
;/*************************************/;
MAIN:
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        MOV     A,#11111110B
        MOV     P0,A
        LCALL   DELAY_1
        MOV     A,#01111110B
        MOV     P0,A
        LCALL   DELAY_1
;/*************************************/;
;/IN PAGE/:
;/*************************************/;
IN_1:   MOV     A,P1
        CJNE    A,#11111100B,IN_2
        LCALL   OUT_2
        DJNZ    R0,MAIN
        LJMP    MOTOR
;/*************************************/;
;/IN LINE/:
;/*************************************/;

IN_2:   MOV     A,P1
        CJNE    A,#11111111B,SETR0
        LCALL   OUT_1
IN_3:   MOV     A,P1
        CJNE    A,#11111110B,IN_3
        LJMP    MAIN
;/*************************************/;
;/OUT CHOICE/;
;/*************************************/;
OUT_1:
;/OUT 0
        MOV     A,#00111111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
;/OUT 1
        MOV     A,#00111011B
        MOV     P2,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
;/OUT 2
        MOV     A,#00111101B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
;/OUT 3
        MOV     A,#00111001B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
           MOV     P2,A
           LCALL   DELAY_2
;/OUT 4
        MOV     A,#00111110B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
;/OUT 5
        MOV     A,#00111010B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
;/OUT 6
        MOV     A,#00111100B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
;/OUT 7
        MOV     A,#00111000B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_2
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;/*************************************/;
;/FEED PAPER/;
;/*************************************/;
OUT_2:
        MOV     A,#11111100B
        MOV     P0,A
        MOV     A,#11100111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_1
        MOV     A,#11110111B
        MOV     P2,A
RET
;/*************************************/;
;/MOTOR OFF
;/*************************************/;
MOTOR:  MOV     A,#11111111B
        MOV     P0,A
        LCALL   DELAY_1
OFF:    MOV     A,#11011111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_1
        MOV     A,#11111111B
        MOV     P2,A
        LCALL   DELAY_1
        AJMP    OFF
;/*************************************/;
;/* DELAY TIME 1
;/*************************************/;
DELAY_1:        MOV     R2,#2
STEP_DL1:       MOV     R3,#0FFH
STEP_DL2:       MOV     R4,#0FFH
      DJNZ  R4,$
      DJNZ  R3,STEP_DL2
      DJNZ  R2,STEP_DL1
      RET
;/*************************************/;
;/* DELAY TIME 2
;/*************************************/;
DELAY_2:        MOV     R2,#1
STEP_DL3:       MOV     R3,#0FFH
STEP_DL4:       MOV     R4,#070H
        DJNZ    R4,$
        DJNZ    R3,STEP_DL4
        DJNZ    R2,STEP_DL3
      RET
      END
```

รูปที่ ค.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยใช้ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim A3 As Integer
Dim A4 As Integer
Dim A5 As Integer
Dim A6 As Integer
Dim A3_ As Integer
Dim A4_ As Integer
Dim A5_ As Integer
Dim A6_ As Integer

Dim bonsay(10, 8) As Integer
Dim bonkwa(10, 8) As Integer
Dim lang1(20, 8) As Integer
Dim lang2(20, 8) As Integer
Dim lang3(20, 8) As Integer

Dim vicha As String                          'present vicha
Dim no As String                             'present No
Dim choice(60) As Integer

Dim vichaerror As Integer
Dim noerror As Integer

Dim nvicha(11) As String                     'All of vicha
Dim ans(11, 60) As Integer                   'All of Ans
Dim n As Integer                             'No of vicha
Dim score As Integer                         'score of present
person

Dim alldata As String

Dim time1 As Integer
Dim time2 As Integer
Dim time3 As Integer
Dim time4 As Integer

Private Sub decode(data As Integer)
    Select Case data
        Case 127                    'hex is 7F
            A3 = 1
            A4 = 1
            A5 = 1
            A6 = 1
        Case 119                    'hex is 77
            A3 = 0
            A4 = 1
            A5 = 1
            A6 = 1
        Case 95                     'hex is 5F
            A3 = 1
            A4 = 1
            A5 = 0
            A6 = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case 87                    'hex is 57
    A3 = 0
    A4 = 1
    A5 = 0
    A6 = 1
Case 79                    'hex is 4F
    A3 = 1
    A4 = 0
    A5 = 0
    A6 = 1
Case 71                    'hex is 47
    A3 = 0
    A4 = 0
    A5 = 0
    A6 = 1
Case 191                   'hex is BF
    A3 = 1
    A4 = 1
    A5 = 1
    A6 = 0
Case 183                   'hex is B7
    A3 = 0
    A4 = 1
    A5 = 1
    A6 = 0
Case 175                   'hex is AF
    A3 = 1
    A4 = 0
    A5 = 1
    A6 = 0
Case 167                   'hex is A7
    A3 = 0
    A4 = 0
    A5 = 1
    A6 = 0
Case 159                   'hex is 9F
    A3 = 1
    A4 = 1
    A5 = 0
    A6 = 0
Case 151                   'hex is 97
    A3 = 0
    A4 = 1
    A5 = 0
    A6 = 0
Case 143                   'hex is 8F
    A3 = 1
    A4 = 0
    A5 = 0
    A6 = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case 135                'hex is 87
            A3 = 0
            A4 = 0
            A5 = 0
            A6 = 0
    End Select

End Sub

Private Sub compare()

    Dim strBuffer As String

    strBuffer = vicha

    Select Case strBuffer
        Case nvicha(0)
            n = 0
        Case nvicha(1)
            n = 1
        Case nvicha(2)
            n = 2
        Case nvicha(3)
            n = 3
        Case nvicha(4)
            n = 4
        Case nvicha(5)
            n = 5
        Case nvicha(6)
            n = 6
        Case nvicha(7)
            n = 7
        Case nvicha(8)
            n = 8
        Case nvicha(9)
            n = 9
        Case "รหัสวิชาผิดพลาด"
            n = 10
        Case Else
            n = 11
    End Select

End Sub

Private Function convert(i As String) As Integer
    Select Case i
        Case "0"
            convert = 0
        Case "1"
            convert = 1
        Case "2"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            convert = 2
        Case "3"
            convert = 3
        Case "4"
            convert = 4
        Case "5"
            convert = 5
        Case "6"
            convert = 6
        Case "7"
            convert = 7
        Case "8"
            convert = 8
        Case "9"
            convert = 9
        Case Else
            convert = 10
    End Select
End Function

Private Sub first()

    col = 7
    row = 0

    Dim t As Integer

    While (row < 10)                'row is bantud of ID and
vicha

            t = Inp(&H379)
            decode (t)

            If (A6_ <> A6) Then
                If A6 = 0 Then
                    If A5 = 1 Then
                        bonsay(row, col) = 1
                    End If
                    If A3 = 1 Then
                        bonkwa(row, col) = 1
                    End If

                    col = col - 1
                    If (col = -1) Then
                        col = 7
                        row = row + 1
                    End If
                End If
            End If

            A3_ = A3
            A4_ = A4
            A5_ = A5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A6_ = A6
    Wend

    'reset row and col for second (input value of choice)
    row = 0
    col = 7


End Sub

Private Sub Cfirst()
    Dim check1 As Integer
    Dim check2 As Integer

    check1 = 0      'check  for repeat value of vicha
    check2 = 0      'check  for repeat value of No

    vicha = ""
    no = ""

    For xcol = 0 To 7
        For xrow = 0 To 9
            If bonsay(xrow, xcol) = 1 Then
                If check1 = 0 Then
                    vicha = vicha & xrow
                    check1 = 1
                Else
                    vichaerror = 1
                End If
            End If

            If bonkwa(xrow, xcol) = 1 Then
                If check2 = 0 Then
                    no = no & xrow
                    check2 = 1
                Else
                    noerror = 1
                End If
            End If
        Next

        check1 = 0
        check2 = 0
    Next

    If vichaerror = 1 Then
        vicha = "รหัสวิชาผิดพลาด"              'vichaerror
    End If

    If noerror = 1 Then
        no = "รหัสประจำตัวผิดพลาด"
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
vichaerror = 0
    noerror = 0

    Command8_Click
End Sub

Private Sub second()

    col = 7
    row = 0

    Dim t As Integer

    While (row < 15)     'row is bantud of choice

            t = Inp(&H379)
            decode (t)

            If (A6_ <> A6) Then
                If A6 = 0 Then
                    If A5 = 1 Then
                        lang1(row, col) = 1
                    End If

                    If A4 = 1 Then
                        lang2(row, col) = 1
                    End If

                    If A3 = 1 Then
                        lang3(row, col) = 1
                    End If

                    col = col - 1
                    If (col = -1) Then
                        col = 7
                        row = row + 1
                    End If
                End If
            End If

            A3_ = A3
            A4_ = A4
            A5_ = A5
            A6_ = A6

    Wend

    Open "all.txt" For Output As #1
    For i = 0 To 19
        For j = 0 To 7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Print #1, lang1(i, j) & " " & lang2(i, j) & " " & lang3(i, j)
        Next
        Print #1, vbCrLf
    Next
    Close #1

End Sub

Private Sub yakchoice()

    Dim checkcol1 As Integer
    Dim checkcol2 As Integer
    Dim checkcol3 As Integer
    Dim checkcol4 As Integer

    Dim bantud As Integer

    bantud = 0
    checkcol1 = 0
    checkcol2 = 0
    checkcol3 = 0
    checkcol4 = 0

    For xrow = 0 To 14
        For xcol = 0 To 7

            If lang1(xrow, xcol) = 1 Then           'lang1 for
A5  (left column)
                If xcol < 5 Then
                    If checkcol1 = 0 Then
                        choice(bantud) = xcol + 1
                        checkcol1 = 1
                    Else
                        choice(bantud) = 6
                    End If
                End If
                If xcol > 5 Then
                    If checkcol2 = 0 Then
                        choice(bantud + 15) = xcol - 5
                        checkcol2 = 1
                    Else
                        choice(bantud + 15) = 6
                    End If
                End If
            End If

            If lang2(xrow, xcol) = 1 Then           'lang2 for
A4 (middle column)
                If xcol < 4 Then
                    If checkcol2 = 0 Then
                        choice(bantud + 15) = xcol + 2
                        checkcol2 = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Else
                    choice(bantud + 15) = 6
                End If
              End If
              If xcol > 4 Then
                  If checkcol3 = 0 Then
                      choice(bantud + 30) = xcol - 4
                      checkcol3 = 1
                  Else
                      choice(bantud + 30) = 6
                  End If
              End If
          End If

          If lang3(xrow, xcol) = 1 Then
              If xcol < 2 Then
                  If checkcol3 = 0 Then
                      choice(bantud + 30) = xcol + 4
                      checkcol3 = 1
                  Else
                      choice(bantud + 30) = 6
                  End If
              End If

              If xcol > 2 Then
                  If checkcol4 = 0 Then
                      choice(bantud + 45) = xcol - 2
                      checkcol4 = 1
                  Else
                      choice(bantud + 45) = 6
                  End If
              End If
          End If
      Next            'end of xcol 0 to 7

      bantud = bantud + 1

      checkcol1 = 0
      checkcol2 = 0
      checkcol3 = 0
      checkcol4 = 0

  Next              'end of xrow 0 to 19


  Command9_Click
End Sub

Private Sub Csecond()

  score = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    compare

    For i = 0 To 59
        If ans(n, i) = choice(i) Then
            score = score + 1
        End If
    Next

    '*Show*****************************************

    Text1.Text = Text1.Text & nvicha(n) & " " & no & " " &
score & vbCrLf

    Dim m As String

    For i = 0 To 59
        m = m & choice(i) & " "
    Next

    alldata = alldata & nvicha(n) & " " & no & " " & score & "
" & m & vbCrLf

    'save choice for check*********************************
    Open "choice.txt" For Output As #1
    For i = 0 To 59
        Print #1, (i + 1) & "    " & choice(i)
    Next

    'Print #1, alldata   change to save
    Close #1
    'end of save to disk***********************************


End Sub

Private Sub initial()
    row = 0
    col = 7

    For xcol = 0 To 7
        For xrow = 0 To 9
            bonsay(xrow, xcol) = 0
            bonkwa(xrow, xcol) = 0
        Next
    Next

    For xcol = 0 To 7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For xrow = 0 To 19
            lang1(xrow, xcol) = 0
            lang2(xrow, xcol) = 0
            lang3(xrow, xcol) = 0
        Next
    Next

    For i = 0 To 59
        choice(i) = 0
    Next

    no = ""
    vicha = ""
    alldata = ""
    vichaerror = 0
    noerror = 0

    LoadAns

    For i = 0 To 9
        Label1(i) = nvicha(i)
    Next

    time1 = 0
    time2 = 0
    time3 = 0
    time4 = 0

End Sub

Private Sub LoadAns()
    Dim strBuffer As String
    Dim temp As Integer

    Open "temp.txt" For Input As #1

    For i = 0 To 9

        Line Input #1, strBuffer
        'Input #1, strBuffer
        nvicha(i) = strBuffer
For j = 0 To 59
            Input #1, strBuffer
            temp = convert(strBuffer)
            ans(i, j) = temp
        Next

    Next

    Close #1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For i = 0 To 59
        ans(11, i) = 9
        ans(10, i) = 9
    Next

    nvicha(10) = "รหัสวิชาผิดพลาด"
    nvicha(11) = "ไม่มีรายวิชาในเฉลย"

    'ShowVicha that can be check
************************************

    For i = 0 To 9
     Label12.Caption = Label12.Caption & nvicha(i) & vbCrLf
    Next

End Sub

Private Sub close_Click()
    End
End Sub

Private Sub Command8_Click()                'save rahut to disk
    Open "rahut.txt" For Output As #1
    For i = 0 To 9
        For j = 0 To 7
            Print #1, bonsay(i, j) & " " & bonkwa(i, j)
        Next
        Print #1, vbCrLf
    Next
    Print #1, vicha
    Close #1
End Sub

Private Sub Command9_Click()                'save choice
    Open "choice.txt" For Output As #1
    For i = 0 To 59
        Print #1, choice(i)
    Next
    Close #1

    'initial
End Sub

Private Sub Command1_Click()
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit0_Click()
    n = 0
    'nedit
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit1_Click()
    n = 1
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit2_Click()
    n = 2
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit3_Click()
    n = 3
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit4_Click()
    n = 4
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit5_Click()
    n = 5
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit6_Click()
    n = 6
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit7_Click()
    n = 7
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit8_Click()
    n = 8
    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub edit9_Click()
    n = 9
    Timer3.Enabled = True
End Sub
Private Sub Form_Load()
    initial
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub help3_Click()
    Form1.Hide
    Form2.Show
End Sub


Private Sub open2_Click()
    Dim strBuffer As String
    Dim temp As Integer

    CommonDialog1.DialogTitle = "Open file"
    CommonDialog1.Filter = "Text file(*.txt)|*.txt|All File
(*.*)|*.*"
    CommonDialog1.ShowOpen

    If CommonDialog1.FileName <> "" Then
        Open CommonDialog1.FileName For Input As #1

        For i = 0 To 9

            Line Input #1, strBuffer
            Label1(i).Caption = strBuffer
            nvicha(i) = strBuffer
            For j = 0 To 59
                Line Input #1, strBuffer
                temp = convert(strBuffer)
                ans(i, j) = temp
            Next

        Next
        Close #1
        saveans
    End If


End Sub

Private Sub save1_Click()

    CommonDialog1.DialogTitle = "Save file"
    CommonDialog1.Filter = "Text File(*.txt)|*.txt"
    CommonDialog1.ShowSave

    If CommonDialog1.FileName <> "" Then
        Open CommonDialog1.FileName For Output As #1

        Print #1, alldata

        Close #1
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub save2_Click()
    CommonDialog1.DialogTitle = "Save file"
    CommonDialog1.Filter = "Text File(*.txt)|*.txt"
    CommonDialog1.ShowSave

    If CommonDialog1.FileName <> "" Then
        Open CommonDialog1.FileName For Output As #1

        For i = 0 To 9
            Print #1, Label1(i).Caption
            For j = 0 To 59
                Print #1, str(ans(i, j))
            Next
        Next

        Close #1
    End If

End Sub


Private Sub SSTab1_Click(PreviousTab As Integer)

    If PreviousTab = 1 Then
        Label12.Caption = ""
        For i = 0 To 9
            Label12.Caption = Label12.Caption & nvicha(i) &
vbCrLf
        Next
    End If

End Sub

Private Sub start1_Click()
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub stop1_Click()
    Timer1.Enabled = False
    Timer2.Enabled = False

    Image1.Visible = True
    Image2.Visible = False
    Image3.Visible = False

    time1 = 0
    time2 = 0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Timer1_Timer()
    time1 = time1 + 1

    If time1 = 1 Then
        Image1.Visible = False
        Image2.Visible = True
    End If

    If time1 = 3 Then
        Timer1.Enabled = False
        time1 = 0
        twod
    End If

End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
    time2 = time2 + 1
    savechoice

    If time2 = 1 Then
        Image2.Visible = False
        Image3.Visible = True
    End If

    If time2 = 5 Then
        Image3.Visible = False
        Image1.Visible = True
    End If

    If time2 = 15 Then                    ' wait for next paper
        Timer2.Enabled = False
        start1_Click
        time2 = 0
    End If

End Sub

Private Sub nedit()

    For i = 0 To 59
        ans(n, i) = 0
    Next

    nvicha(n) = ""

    first
    Cfirst
    second
    yakchoice

    Label1(n).Caption = vicha
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
nvicha(n) = vicha

    For i = 0 To 59
        ans(n, i) = choice(i)
    Next

    Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub helpList_Click()
    Dim strBuffer As String
    helpshow.Text = ""

    Select Case helpList.ListIndex
        Case 0
            Open "help0.txt" For Input As #1
        Case 1
            Open "help1.txt" For Input As #1
        Case 2
            Open "help2.txt" For Input As #1
        Case 3
            Open "help3.txt" For Input As #1
        Case 4
            Open "help4.txt" For Input As #1
        Case 5
            Open "help5.txt" For Input As #1
        Case 6
            Open "help6.txt" For Input As #1
        Case 7
            Open "help7.txt" For Input As #1
        Case Else
            Open "help99.txt" For Input As #1
    End Select

    Do While Not EOF(1)
        Line Input #1, strBuffer
        helpshow.Text = helpshow.Text & strBuffer & vbCrLf
    Loop
    Close #1
End Sub

Private Sub twod()

    first
    Cfirst
    second
    yakchoice
    Csecond
    startclear

    Timer2.Enabled = True
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub startclear()

For i = 0 To 8
        For j = 0 To 10
        bonsay(j, i) = 0
        bonkwa(j, i) = 0
        Next
    Next

    For i = 0 To 8
        For j = 0 To 20
        lang1(j, i) = 0
        lang2(j, i) = 0
        lang3(j, i) = 0
        Next
    Next

End Sub



Private Sub Timer3_Timer()
    time3 = time3 + 1

    If time3 = 1 Then
        Label1(n).Caption = "กำลังเฉลย"
        Image4.Visible = False
        Image5.Visible = True
    End If

    If time3 = 2 Then
        Timer3.Enabled = False
        nedit
    End If

    If time3 = 3 Then
        Image5.Visible = False
        Image6.Visible = True
    End If

    If time3 = 5 Then
        Timer3.Enabled = False
        time3 = 0
        saveans
        Image6.Visible = False
        Image4.Visible = True
    End If
End Sub
Private Sub saveans()
    Open "temp.txt" For Output As #1
    For i = 0 To 9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Print #1, Label1(i).Caption
        For j = 0 To 59
            Print #1, str(ans(i, j))
        Next
    Next
    Close #1
End Sub

Private Sub savechoice()
    Open "tempchoice.txt" For Output As #1
    Print #1, alldata
    Close #1
End Sub

Private Function str(i As Integer) As String
    Select Case i
        Case 0
            str = "0"
        Case 1
            str = "1"
        Case 2
            str = "2"
        Case 3
            str = "3"
        Case 4
            str = "4"
        Case 5
            str = "5"
        Case 6
            str = "6"
        Case 7
            str = "7"
        Case 8
            str = "8"
        Case 9
            str = "9"
        Case Else
            str = "10"
    End Select
End Function

Private Sub Form_Activate()
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Form_Load()
Dim strBuffer As String

Name3.Caption = ""
    Open "We.txt" For Input As #
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Do While Not EOF(1)
        Line Input #1, strBuffer
        Name3.Caption = Name3.Caption & strBuffer & vbCrLf
    Loop
    Close #1

    Name3.Top = 5700
End Sub

Private Sub Label1_Click()
    Form2.Hide
    Form1.Show
    Timer1.Enabled = False
    Name3.Top = 5700
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    Name3.Top = Name3.Top - 18

    If Name3.Top < -24000 Then
        Name3.Top = 5700
    End If
End Sub


Dim time As Integer

Private Sub Timer1_Timer()
    Select Case time
        Case 1
            Label1.Visible = True
        Case 2
            Label2.Visible = True
        Case 3
            Label3.Visible = True
        Case 5
            Form3.Hide
            Form1.Show
    End Select

    time = time + 1

End Sub

'Declare Inp and Out for port I/O
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As
Integer)
```

รูปที่ ค.2 โปรแกรมการประมวลผล และแสดงผลโดยใช้วิชวล เบสิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

1. วงจรตรวจจับแสง

ตารางที่ ง.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคตรวจจับแสง

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวตรวจจับแสง RPR – 359F	24
ทรานซิสเตอร์ C458	48
ความต้านทาน 2.4 กิโลโอห์ม	24
ความต้านทาน 100 โอห์ม	24
ไดโอด 1N4001	24
ไดโอดเปล่งแสง	24

2. วงจรภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ ง.2 รายการอุปกรณ์ของภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซีเบอร์ AT89S8252	1
คริสตอล 18.875 เมกกะเฮิรตซ์	1
ตัวความต้านทาน 100 โอห์ม	1
ตัวเก็บประจุ 0.0022 ไมโครฟารัด	1
ไมโครสวิตซ์	1
ไดโอดเปล่งแสง	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรภาคควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ ง.3 รายการอุปกรณ์ของภาคควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ทรานซิสเตอร์ C458	2
ทรานซิสเตอร์ 2N3055	1
ตัวความต้านทานปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 2.4 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 100 โอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 120 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 2 โอห์ม	1
ไดโอด 1N4001	2
ไดโอด 1N4148	1
ไดโอดเปล่งแสง	1
ตัวเก็บประจุ 100 ไมโครฟารัด/35 โวลต์	2
ตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด/50โวลต์	2
ตัวเก็บประจุ 0.0001 ไมโครฟารัด	1
ไอซีเบอร์ CA3140	1
รีเลย์ 12 โวลต์	1
ตัวต้านทานไวแสง : แอลดีอาร์	1
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วงจรภาคควบคุมการป้อนกระดาษ

ตารางที่ ง.4 รายการอุปกรณ์ของภาคควบคุมการป้อนกระดาษ

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ทรานซิสเตอร์ C458	2
ความต้านทาน 2.4 กิโลโอห์ม	1
ความต้านทาน 100 โอห์ม	1
ไดโอด 1N4001	1
ไดโอดเปล่งแสง	1
ตัวต้านทานไวแสง : แอลดีอาร์	1
โซลินอยด์	1
รีเลย์ 12 โวลต์	1

5. วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

ตารางที่ ง.5 รายการอุปกรณ์ของภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
หม้อแปลงไฟฟ้า 9 โวลต์ / 850 มิลลิแอมป์	1
ตัวเก็บประจุ 1000 ไมโครฟารัด / 50 โวลต์	1
ไอซีเรกูเลต เบอร์ 7805	1
ไดโอดบริดจ์	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

ตารางที่ ง.6 รายการอุปกรณ์ของภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
หม้อแปลงไฟฟ้า 12 โวลต์ / 1 แอมป์	1
ตัวเก็บประจุ 1000 ไมโครฟารัด / 50 โวลต์	1
ไอซีเรกูเลต เบอร์ 7812	1
ไดโอดบริดจ์	1

7. วงจรภาครับข้อมูล

ตารางที่ ง.7 รายการอุปกรณ์ของภาครับข้อมูล

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซีเบอร์ 74HC151	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensors

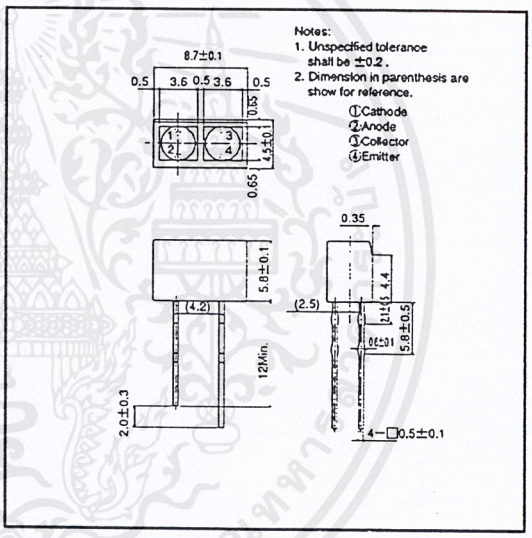
Reflective photosensor (photoreflector)
RPR-359F

The RPR-359F is a reflective photosensor. The emitter is a GaAs infrared light emitting diode and the detector is a high-sensitivity, silicon planar phototransistor. A plastic lens is used for high sensitivity. In addition, since it is molded in plastic with a visible light filter, there is almost no effect from stray light.

●Applications
Copiers
Compact disc players

●Features
1) A plastic lens is used for high sensitivity.
2) A built-in visible light filter minimizes the influence of stray light.
3) Low collector-emitter saturation voltage.
4) Sturdy leads allow easy mounting.
5) Lightweight and compact.

●External dimensions (Units: mm)



●Absolute maximum ratings (Ta = 25°C)

	Parameter	Symbol	Limits	Unit
Input(LED)	Forward current	I_F	50	mA
	Reverse voltage	V_R	5	V
	Power dissipation	P_D	80	mW
Output (photo-transistor)	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	30	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	4.5	V
	Collector current	I_C	30	mA
	Collector power dissipation	P_C	100	mW
Operating temperature		Topr	−25~+85	℃
Storage temperature		Tstg	−40~+100	℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

●Electrical and optical characteristics (Ta = 25°C)

	Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Input characteristics	Forward voltage	V_F	—	1.3	1.6	V	I_F=50mA
	Reverse current	I_R	—	—	10	μA	V_R=5V
Output characteristics	Dark current	I_{CEO}	—	—	0.5	μA	V_{CE}=10V
	Peak sensitivity wavelength	λ_P	—	800	—	nm	—
Transfer characteristics	Collector current	I_C*	200	500	1800	μA	V_{CC}=5V, I_F=20mA, R_L=100Ω, d=3.5mm
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	—	0.1	0.3	V	I_F=20mA, I_C=100μA
	Response time	tr・tf	—	10	—	μs	V_{CC}=10V, I_F=20mA, R_L=100Ω

* Standard paper (90%reflection)

●Electrical and optical characteristic curves

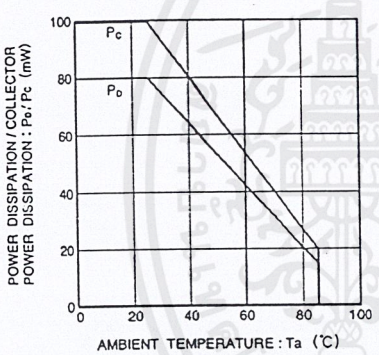


Fig.1 Power dissipation / collector power dissipation vs. ambient temperature

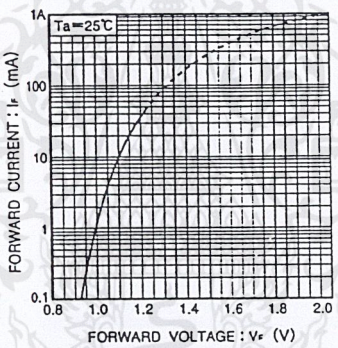


Fig.2 Forward current vs. forward voltage

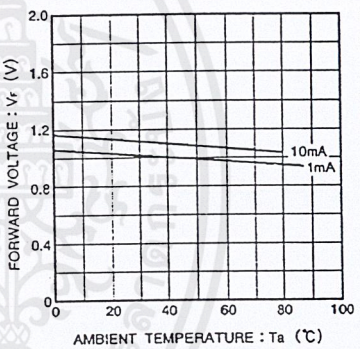


Fig.3 Forward voltage vs. ambient temperature

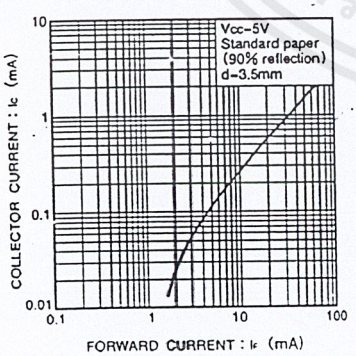


Fig.4 Collector current vs. forward current

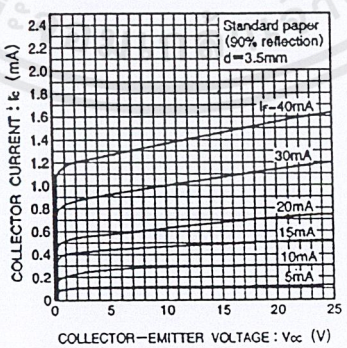


Fig.5 Output characteristics

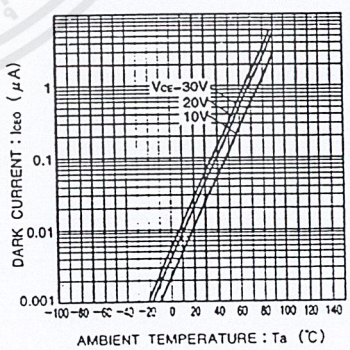


Fig.6 Dark current vs. ambient temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

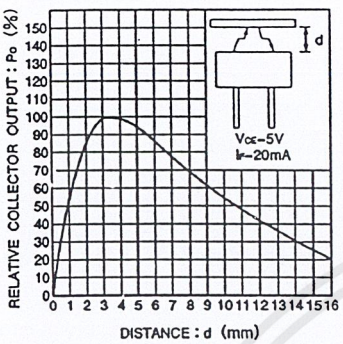


Fig.7 Relative output vs. distance

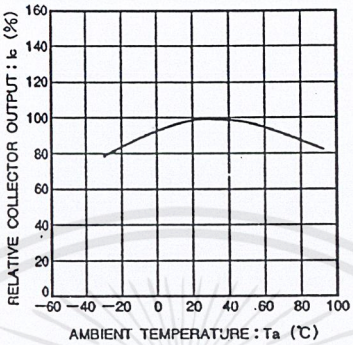


Fig.8 Relative output vs. ambient temperature

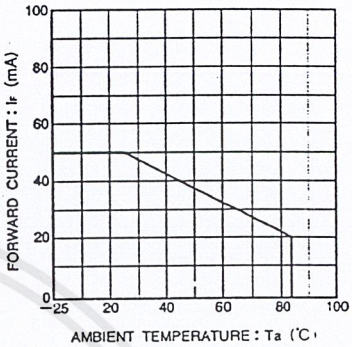
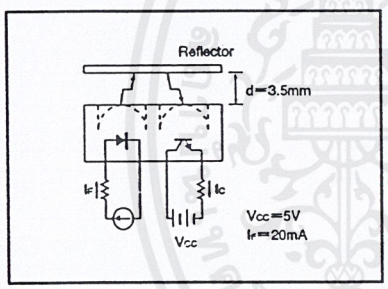


Fig.9 Forward current vs. ambient temperature

●Circuit for testing transfer characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- MOSFET Input Stage
  - Very High Input Impedance (Z_{IN}) -1.5TΩ (Typ)
  - Very Low Input Current (I_I) -10pA (Typ) at ±15V
  - Wide Common Mode Input Voltage Range (V_{ICR}) - Can be Swung 0.5V Below Negative Supply Voltage Rail
  - Output Swing Complements Input Common Mode Range
- Directly Replaces Industry Type 741 in Most Applications

Applications

- Ground-Referenced Single Supply Amplifiers in Automobile and Portable Instrumentation
- Sample and Hold Amplifiers
- Long Duration Timers/Multivibrators (μseconds-Minutes-Hours)
- Photocurrent Instrumentation
- Peak Detectors
- Active Filters
- Comparators
- Interface in 5V TTL Systems and Other Low Supply Voltage Systems
- All Standard Operational Amplifier Applications
- Function Generators
- Tone Controls
- Power Supplies
- Portable Instruments
- Intrusion Alarm Systems

Description

The CA3140A and CA3140 are integrated circuit operational amplifiers that combine the advantages of high voltage PMOS transistors with high voltage bipolar transistors on a single monolithic chip.

The CA3140A and CA3140 BiMOS operational amplifiers feature gate protected MOSFET (PMOS) transistors in the input circuit to provide very high input impedance, very low input current, and high speed performance. The CA3140A and CA3140 operate at supply voltage from 4V to 36V (either single or dual supply). These operational amplifiers are internally phase compensated to achieve stable operation in unity gain follower operation, and additionally, have access terminal for a supplementary external capacitor if additional frequency roll-off is desired. Terminals are also provided for use in applications requiring input offset voltage nulling. The use of PMOS field effect transistors in the input stage results in common mode input voltage capability down to 0.5V below the negative supply terminal, an important attribute for single supply applications. The output stage uses bipolar transistors and includes built-in protection against damage from load terminal short circuiting to either supply rail or to ground.

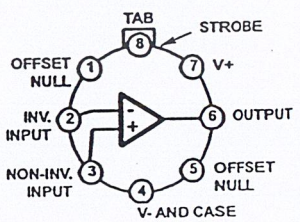
The CA3140 Series has the same 8-lead pinout used for the "741" and other industry standard op amps. The CA3140A and CA3140 are intended for operation at supply voltages up to 36V (±18V).

Ordering Information

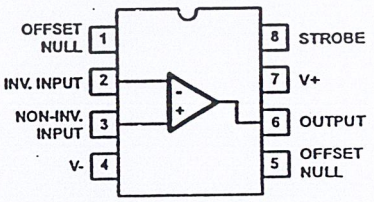
PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA3140AE	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA3140AM (3140A)	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA3140AS	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
CA3140AT	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
CA3140E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA3140M (3140)	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA3140M96 (3140)	-55 to 125	8 Ld SOIC Tape and Reel	
CA3140T	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C

Pinouts

CA3140 (METAL CAN)
TOP VIEW



CA3140 (PDIP, SOIC)
TOP VIEW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage (Between V+ and V- Terminals) . . . . . : 36V
Differential Mode Input Voltage 8V
DC Input Voltage . . . . . (V+ +8V) To (V- -0.5V)
Input Terminal Current 1mA
Output Short Circuit Duration (Note 2) . . . . . Indefinite

Operating Conditions

Temperature Range . . . . . -55°C to 125°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
PDIP Package	100	N/A
SOIC Package	160	N/A
Metal Can Package	170	85

Maximum Junction Temperature (Metal Can Package) . . . . . 175°C
Maximum Junction Temperature (Plastic Package) . . . . . 150°C
Maximum Storage Temperature Range . . . . . -65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) . . . . . 300°C
(SOIC - Lead Tips Only)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.
2. Short circuit may be applied to ground or to either supply.

Electrical Specifications $V_{SUPPLY} = \pm15V$, $T_A = 25°C$

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		TYPICAL VALUES CA3140	TYPICAL VALUES CA3140A	UNITS
Input Offset Voltage Adjustment Resistor		Typical Value of Resistor Between Terminals 4 and 5 or 4 and 1 to Adjust Max V_{IO}		4.7	18	kΩ
Input Resistance	R_I			1.5	1.5	TΩ
Input Capacitance	C_I			4	4	pF
Output Resistance	R_O			60	60	Ω
Equivalent Wideband Input Noise Voltage, (See Figure 27)	e_N	BW = 140kHz, R_S = 1MΩ		48	48	μV
Equivalent Input Noise Voltage (See Figure 35)	e_N	R_S = 100Ω	f = 1kHz	40	40	$nV/\sqrt{Hz}$
			f = 10kHz	12	12	$nV/\sqrt{Hz}$
Short Circuit Current to Opposite Supply	I_{OM^+}		Source	40	40	mA
	I_{OM^-}		Sink	18	18	mA
Gain-Bandwidth Product, (See Figures 6, 30)	f_T			4.5	4.5	MHz
Slew Rate, (See Figure 31)	SR			9	9	V/μs
Sink Current From Terminal 8 To Terminal 4 to Swing Output Low				220	220	μA
Transient Response (See Figure 28)	t_r	R_L = 2kΩ, C_L = 100pF	Rise Time	0.08	0.08	μs
	OS		Overshoot	10	10	%
Settling Time at $10V_{P-P}$, (See Figure 5)	t_S	R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, Voltage Follower	To 1mV	4.5	4.5	μs
			To 10mV	1.4	1.4	μs

Electrical Specifications For Equipment Design, at $V_{SUPPLY} = \pm15V$, $T_A = 25°C$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	CA3140 MIN	CA3140 TYP	CA3140 MAX	CA3140A MIN	CA3140A TYP	CA3140A MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$\lvert V_{IO}\rvert$	-	5	15	-	2	5	mV
Input Offset Current	$\lvert I_{IO}\rvert$	-	0.5	30	-	0.5	20	pA
Input Current	I_I	-	10	50	-	10	40	pA
Large Signal Voltage Gain (Note 3) (See Figures 6, 29)	A_{OL}	20	100	-	20	100	-	kV/V
		86	100	-	86	100	-	dB
Common Mode Rejection Ratio (See Figure 34)	CMRR	-	32	320	-	32	320	μV/V
		70	90	-	70	90	-	dB
Common Mode Input Voltage Range (See Figure 8)	V_{ICR}	-15	-15.5 to +12.5	11	-15	-15.5 to +12.5	12	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications For Equipment Design, at V_{SUPPLY} = ±15V, T_A = 25°C, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	CA3140			CA3140A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Power-Supply Rejection Ratio, $\Delta V_{IO}/\Delta V_S$ (See Figure 36)	PSRR	-	100	150	-	100	150	µV/V
		76	80	-	76	80	-	dB
Max Output Voltage (Note 4) (See Figures 2, 8)	V_{OM}^+	+12	13	-	+12	13	-	V
	V_{OM}^-	-14	-14.4	-	-14	-14.4	-	V
Supply Current (See Figure 32)	I+	-	4	6	-	4	6	mA
Device Dissipation	P_D	-	120	180	-	120	180	mW
Input Offset Voltage Temperature Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	8	-	-	6	-	µV/°C

NOTES:

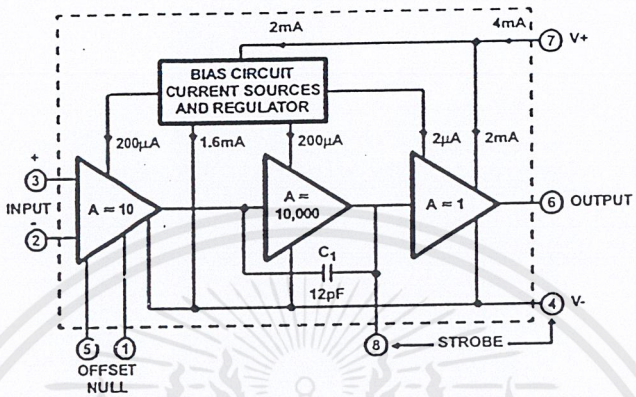
3. At V_O = 26V_{P-P}, +12V, -14V and R_L = 2kΩ.
4. At R_L = 2kΩ.

Electrical Specifications For Design Guidance At V+ = 5V, V- = 0V, T_A = 25°C

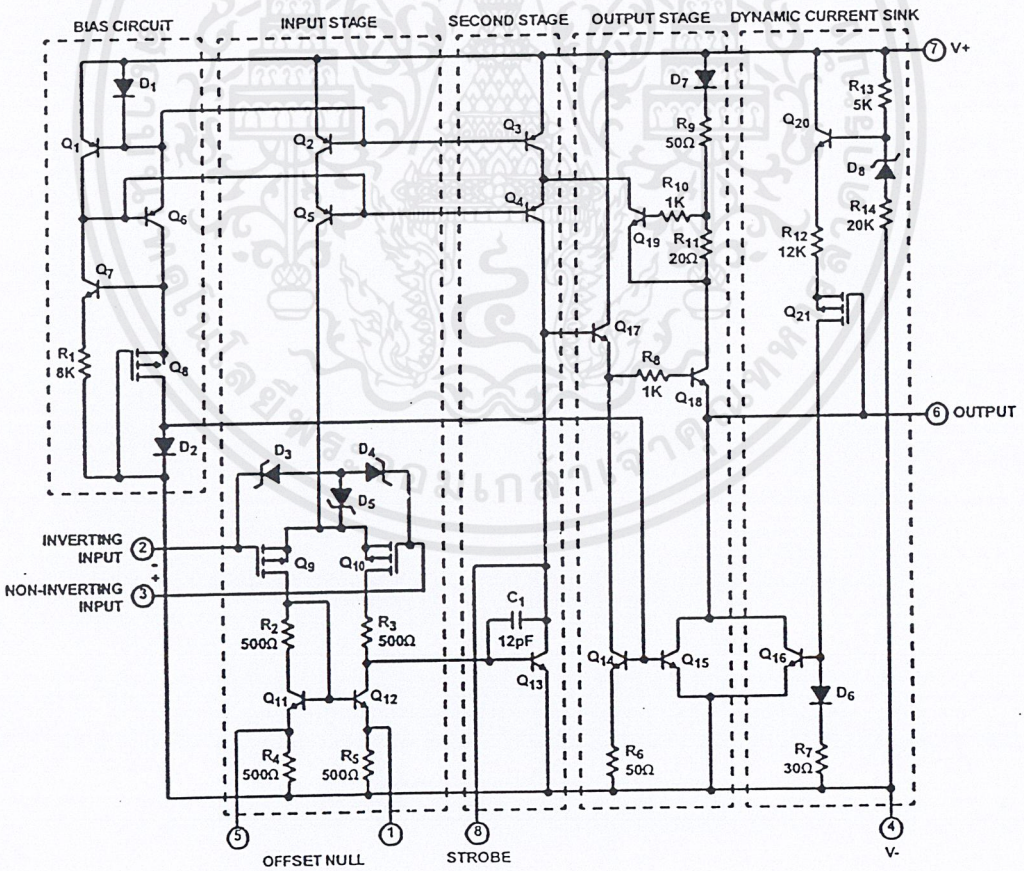
PARAMETER		SYMBOL	TYPICAL VALUES		UNITS
			CA3140	CA3140A	
Input Offset Voltage		$\|V_{IO}\|$	5	2	mV
Input Offset Current		$\|I_{IO}\|$	0.1	0.1	pA
Input Current		I_I	2	2	pA
Input Resistance		R_I	1	1	TΩ
Large Signal Voltage Gain (See Figures 6, 29)		A_{OL}	100	100	kV/V
			100	100	dB
Common Mode Rejection Ratio		CMRR	32	32	µV/V
			90	90	dB
Common Mode Input Voltage Range (See Figure 8)		V_{ICR}	-0.5	-0.5	V
			2.6	2.6	V
Power Supply Rejection Ratio		PSRR $\Delta V_{IO}/\Delta V_S$	100	100	µV/V
			80	80	dB
Maximum Output Voltage (See Figures 2, 8)		V_{OM}^+	3	3	V
		V_{OM}^-	0.13	0.13	V
Maximum Output Current:	Source	I_{OM}^+	10	10	mA
	Sink	I_{OM}^-	1	1	mA
Slew Rate (See Figure 31)		SR	7	7	V/µs
Gain-Bandwidth Product (See Figure 30)		f_T	3.7	3.7	MHz
Supply Current (See Figure 32)		I+	1.6	1.6	mA
Device Dissipation		P_D	8	8	mW
Sink Current from Terminal 8 to Terminal 4 to Swing Output Low			200	200	µA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



Schematic Diagram



NOTE: All resistance values are in ohms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Information

Circuit Description

As shown in the block diagram, the input terminals may be operated down to 0.5V below the negative supply rail. Two class A amplifier stages provide the voltage gain, and a unique class AB amplifier stage provides the current gain necessary to drive low-impedance loads.

A biasing circuit provides control of cascoded constant current flow circuits in the first and second stages. The CA3140 includes an on chip phase compensating capacitor that is sufficient for the unity gain voltage follower configuration.

Input Stage

The schematic diagram consists of a differential input stage using PMOS field-effect transistors (Q_9, Q_{10}) working into a mirror pair of bipolar transistors (Q_{11}, Q_{12}) functioning as load resistors together with resistors R_2 through R_5. The mirror pair transistors also function as a differential-to-single-ended converter to provide base current drive to the second stage bipolar transistor (Q_{13}). Offset nulling, when desired, can be effected with a 10kΩ potentiometer connected across Terminals 1 and 5 and with its slider arm connected to Terminal 4. Cascode-connected bipolar transistors Q_2, Q_5 are the constant current source for the input stage. The base biasing circuit for the constant current source is described subsequently. The small diodes D_3, D_4, D_5 provide gate oxide protection against high voltage transients, e.g., static electricity.

Second Stage

Most of the voltage gain in the CA3140 is provided by the second amplifier stage, consisting of bipolar transistor Q_{13} and its cascode connected load resistance provided by bipolar transistors Q_3, Q_4. On-chip phase compensation, sufficient for a majority of the applications is provided by C_1. Additional Miller-Effect compensation (roll off) can be accomplished, when desired, by simply connecting a small capacitor between Terminals 1 and 8. Terminal 8 is also used to strobe the output stage into quiescence. When terminal 8 is tied to the negative supply rail (Terminal 4) by mechanical or electrical means, the output Terminal 6 swings low, i.e., approximately to Terminal 4 potential.

Output Stage

The CA3140 Series circuits employ a broad band output stage that can sink loads to the negative supply to complement the capability of the PMOS input stage when operating near the negative rail. Quiescent current in the emitter-follower cascade circuit (Q_{17}, Q_{18}) is established by transistors (Q_{14}, Q_{15}) whose base currents are "mirrored" to current flowing through diode D_2 in the bias circuit section. When the CA3140 is operating such that output Terminal 6 is sourcing current, transistor Q_{18} functions as an emitter-follower to source current from the V+ bus (Terminal 7), via D_7, R_9, and R_{11}. Under these conditions, the collector potential of Q_{13} is sufficiently high to permit the necessary flow of base current to emitter follower Q_{17} which, in turn, drives Q_{18}.

When the CA3140 is operating such that output Terminal 6 is sinking current to the V- bus, transistor Q_{16} is the current sinking element. Transistor Q_{16} is mirror connected to D_6, R_7, with current fed by way of Q_{21}, R_{12}, and Q_{20}. Transistor Q_{20}, in turn, is biased by current flow through R_{13}, zener D_8, and R_{14}. The dynamic current sink is controlled by voltage level sensing. For purposes of explanation, it is assumed that output Terminal 6 is quiescently established at the potential midpoint between the V+ and V- supply rails. When output current sinking mode operation is required, the collector potential of transistor Q_{13} is driven below its quiescent level, thereby causing Q_{17}, Q_{18} to decrease the output voltage at Terminal 6. Thus, the gate terminal of PMOS transistor Q_{21} is displaced toward the V- bus, thereby reducing the channel resistance of Q_{21}. As a consequence, there is an incremental increase in current flow through Q_{20}, R_{12}, Q_{21}, D_6, R_7, and the base of Q_{16}. As a result, Q_{16} sinks current from Terminal 6 in direct response to the incremental change in output voltage caused by Q_{18}. This sink current flows regardless of load; any excess current is internally supplied by the emitter-follower Q_{18}. Short circuit protection of the output circuit is provided by Q_{19}, which is driven into conduction by the high voltage drop developed across R_{11} under output short circuit conditions. Under these conditions, the collector of Q_{19} diverts current from Q_4 so as to reduce the base current drive from Q_{17}, thereby limiting current flow in Q_{18} to the short circuited load terminal.

Bias Circuit

Quiescent current in all stages (except the dynamic current sink) of the CA3140 is dependent upon bias current flow in R_1. The function of the bias circuit is to establish and maintain constant current flow through D_1, Q_6, Q_8 and D_2. D_1 is a diode connected transistor mirror connected in parallel with the base emitter junctions of Q_1, Q_2, and Q_3. D_1 may be considered as a current sampling diode that senses the emitter current of Q_6 and automatically adjusts the base current of Q_6 (via Q_1) to maintain a constant current through Q_6, Q_8, D_2. The base currents in Q_2, Q_3 are also determined by constant current flow D_1. Furthermore, current in diode connected transistor Q_2 establishes the currents in transistors Q_{14} and Q_{15}.

Typical Applications

Wide dynamic range of input and output characteristics with the most desirable high input impedance characteristics is achieved in the CA3140 by the use of an unique design based upon the PMOS Bipolar process. Input common mode voltage range and output swing capabilities are complementary, allowing operation with the single supply down to 4V.

The wide dynamic range of these parameters also means that this device is suitable for many single supply applications, such as, for example, where one input is driven below the potential of Terminal 4 and the phase sense of the output signal must be maintained - a most important consideration in comparator applications.

Output Circuit Considerations

Excellent interfacing with TTL circuitry is easily achieved with a single 6.2V zener diode connected to Terminal 8 as shown in Figure 1. This connection assures that the maximum output signal swing will not go more positive than the zener voltage minus two base-to-emitter voltage drops within the CA3140. These voltages are independent of the operating supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

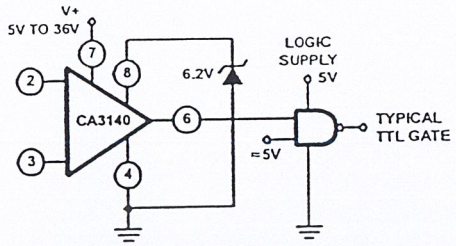


FIGURE 1. ZENER CLAMPING DIODE CONNECTED TO TERMINALS 8 AND 4 TO LIMIT CA3140 OUTPUT SWING TO TTL LEVELS

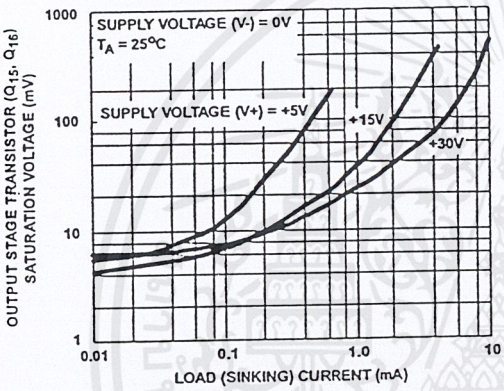


FIGURE 2. VOLTAGE ACROSS OUTPUT TRANSISTORS (Q_{15} AND Q_{16}) vs LOAD CURRENT

Figure 2 shows output current sinking capabilities of the CA3140 at various supply voltages. Output voltage swing to the negative supply rail permits this device to operate both power transistors and thyristors directly without the need for level shifting circuitry usually associated with the 741 series of operational amplifiers.

Figure 4 shows some typical configurations. Note that a series resistor, R_L, is used in both cases to limit the drive available to the driven device. Moreover, it is recommended that a series diode and shunt diode be used at the thyristor input to prevent large negative transient surges that can appear at the gate of thyristors, from damaging the integrated circuit.

Offset Voltage Nulling

The input offset voltage can be nulled by connecting a 10kΩ potentiometer between Terminals 1 and 5 and returning its wiper arm to terminal 4, see Figure 3A. This technique, however, gives more adjustment range than required and therefore, a considerable portion of the potentiometer rotation is not fully utilized. Typical values of series resistors (R) that may be placed at either end of the potentiometer, see Figure 3B, to optimize its utilization range are given in the Electrical Specifications table.

An alternate system is shown in Figure 3C. This circuit uses only one additional resistor of approximately the value shown in the table. For potentiometers, in which the resistance does not drop to 0Ω at either end of rotation, a value of resistance 10% lower than the values shown in the table should be used.

Low Voltage Operation

Operation at total supply voltages as low as 4V is possible with the CA3140. A current regulator based upon the PMOS threshold voltage maintains reasonable constant operating current and hence consistent performance down to these lower voltages.

The low voltage limitation occurs when the upper extreme of the input common mode voltage range extends down to the voltage at Terminal 4. This limit is reached at a total supply voltage just below 4V. The output voltage range also begins to extend down to the negative suppiy rail, but is slightly higher than that of the input. Figure 8 shows these characteristics and shows that with 2V dual supplies, the lower extreme of the input common mode voltage range is below ground potential.

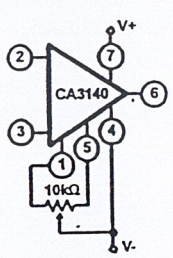


FIGURE 3A. BASIC

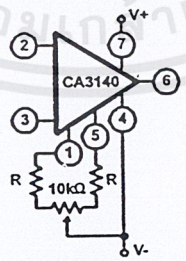


FIGURE 3B. IMPROVED RESOLUTION

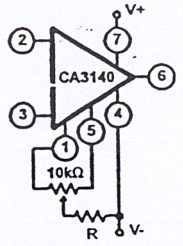


FIGURE 3C. SIMPLER IMPROVED RESOLUTION

FIGURE 3. THREE OFFSET VOLTAGE NULLING METHODS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

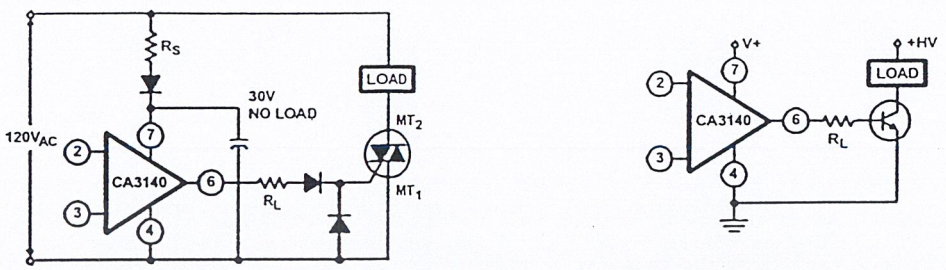


FIGURE 4. METHODS OF UTILIZING THE $V_{CE(SAT)}$ SINKING CURRENT CAPABILITY OF THE CA3140 SERIES

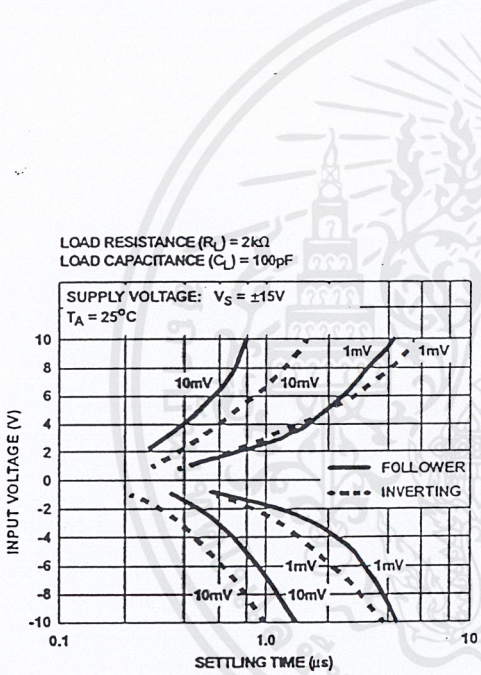


FIGURE 5A. WAVEFORM

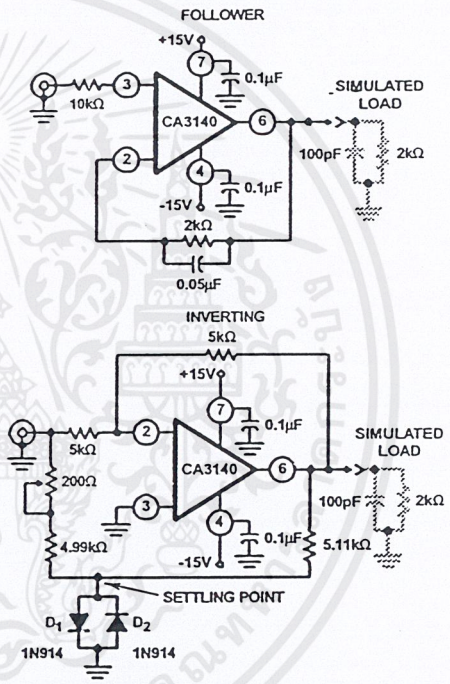


FIGURE 5B. TEST CIRCUITS

FIGURE 5. SETTLING TIME vs INPUT VOLTAGE

Bandwidth and Slew Rate

For those cases where bandwidth reduction is desired, for example, broadband noise reduction, an external capacitor connected between Terminals 1 and 8 can reduce the open loop -3dB bandwidth. The slew rate will, however, also be proportionally reduced by using this additional capacitor. Thus, a 20% reduction in bandwidth by this technique will also reduce the slew rate by about 20%.

Figure 5 shows the typical settling time required to reach 1mV or 10mV of the final value for various levels of large signal inputs for the voltage follower and inverting unity gain amplifiers. The exceptionally fast settling time characteristics are largely due to the high combination of high gain and wide bandwidth of the CA3140; as shown in Figure 6.

Input Circuit Considerations

As mentioned previously, the amplifier inputs can be driven below the Terminal 4 potential, but a series current limiting resistor is recommended to limit the maximum input terminal current to less than 1mA to prevent damage to the input protection circuitry.

Moreover, some current limiting resistance should be provided between the inverting input and the output when the CA3140 is used as a unity gain voltage follower. This resistance prevents the possibility of extremely large input signal transients from forcing a signal through the input protection network and directly driving the internal constant current source which could result in positive feedback via the output terminal. A 3.9kΩ resistor is sufficient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

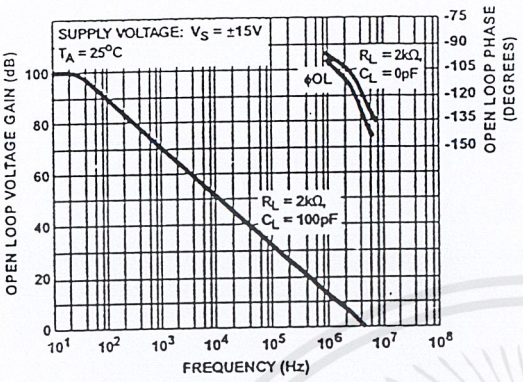


FIGURE 6. OPEN LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE vs FREQUENCY

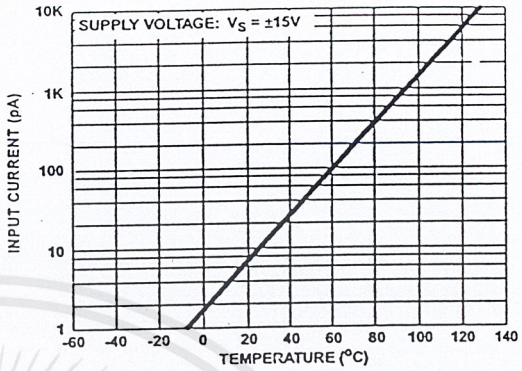


FIGURE 7. INPUT CURRENT vs TEMPERATURE

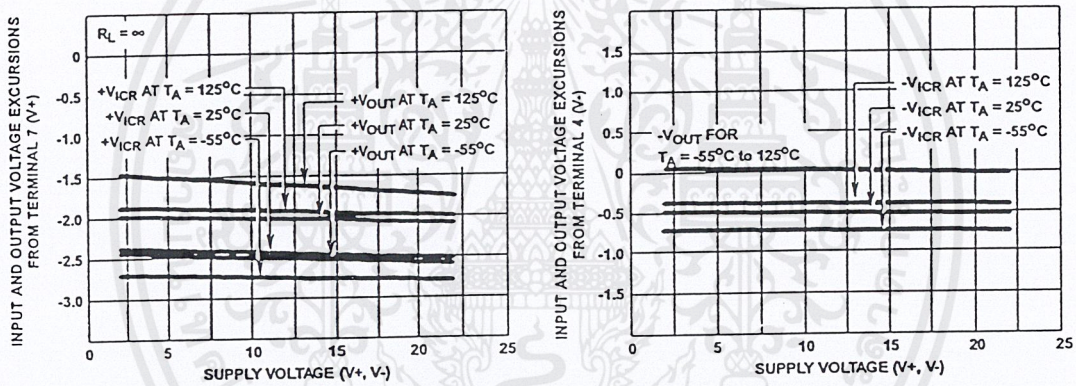


FIGURE 8. OUTPUT VOLTAGE SWING CAPABILITY AND COMMON MODE INPUT VOLTAGE RANGE vs SUPPLY VOLTAGE

The typical input current is on the order of 10pA when the inputs are centered at nominal device dissipation. As the output supplies load current, device dissipation will increase, raising the chip temperature and resulting in increased input current. Figure 7 shows typical input terminal current versus ambient temperature for the CA3140.

It is well known that MOSFET devices can exhibit slight changes in characteristics (for example, small changes in input offset voltage) due to the application of large differential input voltages that are sustained over long periods at elevated temperatures.

Both applied voltage and temperature accelerate these changes. The process is reversible and offset voltage shifts of the opposite polarity reverse the offset. Figure 9 shows the typical offset voltage change as a function of various stress voltages at the maximum rating of 125°C (for metal can); at lower temperatures (metal can and plastic), for example, at 85°C, this change in voltage is considerably less. In typical linear applications, where the differential voltage is small and symmetrical, these incremental changes are of about the same magnitude as those encountered in an operational amplifier employing a bipolar transistor input stage.

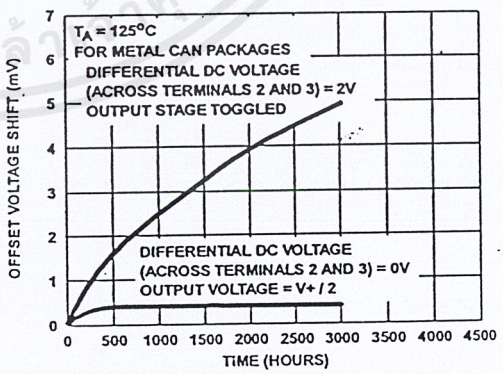


FIGURE 9. TYPICAL INCREMENTAL OFFSET VOLTAGE SHIFT vs OPERATING LIFE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

November 1995

MM54HC151/MM74HC151 8-Channel Digital Multiplexer

General Description

This high speed Digital multiplexer utilizes advanced silicon-gate CMOS technology. Along with the high noise immunity and low power dissipation of standard CMOS integrated circuits, it possesses the ability to drive 10 LS-TTL loads. The MM54HC151/MM74HC151 selects one of the 8 data sources, depending on the address presented on the A, B, and C inputs. It features both true (Y) and complement (W) outputs. The STROBE input must be at a low logic level to enable this multiplexer. A high logic level at the STROBE forces the W output high and the Y output low.

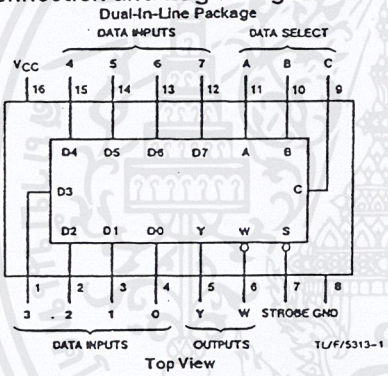
The 54HC/74HC logic family is functionally as well as pin-out compatible with the standard 54LS/74LS logic family. All inputs are protected from damage due to static discharge by internal diode clamps to V_{CC} and ground.

Features

- Typical propagation delay
  data select to output Y: 26 ns
- Wide operating supply voltage range: 2–6V
- Low input current: 1 μA maximum
- Low quiescent supply current: 80 μA maximum (74HC)
- High output drive current: 4 mA minimum

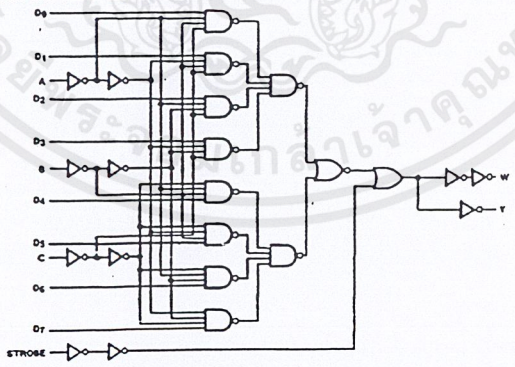
Connection and Logic Diagrams

Dual-In-Line Package



Top View

Order Number MM54HC151 or MM74HC151



Truth Table

Inputs				Outputs	
Select			Strobe		
C	B	A	S	Y	W
X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	D0	$\overline{D0}$
L	L	H	L	D1	$\overline{D1}$
L	H	L	L	D2	$\overline{D2}$
L	H	H	L	D3	$\overline{D3}$
H	L	L	L	D4	$\overline{D4}$
H	L	H	L	D5	$\overline{D5}$
H	H	L	L	D6	$\overline{D6}$
H	H	H	L	D7	$\overline{D7}$

H = High Level, L = Low Level, X = Don't Care
D0, D1...D7 = the level of the respective D input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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})	−0.5 to +7.0V
DC Input Voltage (V_{IN})	−1.5 to V_{CC} +1.5V
DC Output Voltage (V_{OUT})	−0.5 to V_{CC} +0.5V
Clamp Diode Current (I_{IK}, I_{OK})	±20 mA
DC Output Current, per pin (I_{OUT})	±25 mA
DC V_{CC} or GND Current, per pin (I_{CC})	±50 mA
Storage Temperature Range (T_{STG})	−65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
(Note 3)	600 mW
S.O. Package only	500 mW
Lead Temp. (T_L) (Soldering 10 seconds)	260°C

Operating Conditions

	Min	Max	Units
Supply Voltage (V_{CC})	2	6	V
DC Input or Output Voltage (V_{IN}, V_{OUT})	0	V_{CC}	V
Operating Temp. Range (T_A)			
MM74HC	−40	+85	°C
MM54HC	−55	+125	°C
Input Rise or Fall Times (t_r, t_f) V_{CC} = 2.0V		1000	ns
V_{CC} = 4.5V		500	ns
V_{CC} = 6.0V		400	ns

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	T_A = 25°C	74HC T_A = −40 to 85°C	54HC T_A = −55 to 125°C	Units
				Typ	Guaranteed Limits		
V_{IH}	Minimum High Level Input Voltage		2.0V		1.5	1.5	1.5	V
			4.5V		3.15	3.15	3.15	V
			6.0V		4.2	4.2	4.2	V
V_{IL}	Maximum Low Level Input Voltage**		2.0V		0.5	0.5	0.5	V
			4.5V		1.35	1.35	1.35	V
			6.0V		1.8	1.8	1.8	V
V_{OH}	Minimum High Level Output Voltage	V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} $\lvert I_{OUT}\rvert \le 20\ \mu A$	2.0V	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5V	4.5	4.4	4.4	4.4	V
			6.0V	6.0	5.9	5.9	5.9	V
		V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} $\lvert I_{OUT}\rvert \le 4.0$ mA	4.5V	4.2	3.98	3.84	3.7	V
		$\lvert I_{OUT}\rvert \le 5.2$ mA	6.0V	5.7	5.48	5.34	5.2	V
V_{OL}	Maximum Low Level Output Voltage	V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} $\lvert I_{OUT}\rvert \le 20\ \mu A$	2.0V	0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5V	0	0.1	0.1	0.1	V
			6.0V	0	0.1	0.1	0.1	V
		V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} $\lvert I_{OUT}\rvert \le 4.0$ mA	4.5V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
		$\lvert I_{OUT}\rvert \le 5.2$ mA	6.0V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
I_{IN}	Maximum Input Current	V_{IN} = V_{CC} or GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	μA
I_{CC}	Maximum Quiescent Supply Current	V_{IN} = V_{CC} or GND I_{OUT} = 0 μA	6.0V		8.0	80	160	μA

Note 1: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

Note 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.

Note 3: Power Dissipation temperature derating — plastic "N" package: −12 mW/°C from 65°C to 85°C; ceramic "J" package: −12 mW/°C from 100°C to 125°C.

Note 4: For a power supply of 5V ±10% the worst case output voltages (V_{OH}, and V_{OL}) occur for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V_{IH} and V_{IL} occur at V_{CC} = 5.5V and 4.5V respectively. (The V_{IH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current (I_{IN}, I_{CC}, and I_{OZ}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used

**V_{IL} limits are currently tested at 20% of V_{CC}. The above V_{IL} specification (30% of V_{CC}) will be implemented no later than Q1, CY'89.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics $V_{CC} = 5V$, $T_A = 25°C$, $C_L = 15$ pF, $t_r = t_f = 6$ ns

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Guaranteed Limit	Units
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay A, B or C to Y		26	35	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay A, B or C to W		27	35	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Any D to Y		22	29	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay any D to W		24	32	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Strobe to Y		17	23	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Strobe to W		16	21	ns

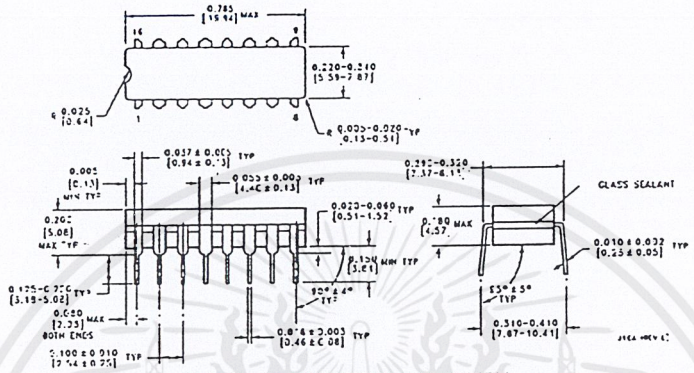
AC Electrical Characteristics $C_L = 50$ pF, $t_r = t_f = 6$ ns (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25°C$	74HC $T_A = -40$ to $85°C$	54HC $T_A = -55$ to $125°C$	Units
				Typ	Guaranteed Limits		
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay A, B or C to Y		2.0V	90	205	256	300	ns
			4.5V	31	41	51	60	ns
			6.0V	26	35	44	51	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay A, B or C to W		2.0V	95	205	256	300	ns
			4.5V	32	41	51	60	ns
			6.0V	27	35	44	51	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay any D to Y		2.0V	70	195	244	283	ns
			4.5V	27	39	49	57	ns
			6.0V	23	33	41	48	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay any D to W		2.0V	75	185	231	268	ns
			4.5V	29	37	46	54	ns
			6.0V	25	32	40	46	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Strobe to Y		2.0V	50	140	175	203	ns
			4.5V	21	28	35	41	ns
			6.0V	18	24	30	35	ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Strobe to W		2.0V	45	127	159	185	ns
			4.5V	20	25	32	37	ns
			6.0V	17	22	28	32	ns
t_{TLH}, t_{THL}	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V	30	75	95	110	ns
			4.5V	8	15	19	22	ns
			6.0V	7	13	16	19	ns
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (Note 5)	(per package)		110				pF
C_{IN}	Maximum Input Capacitance			5	10	10	10	pF

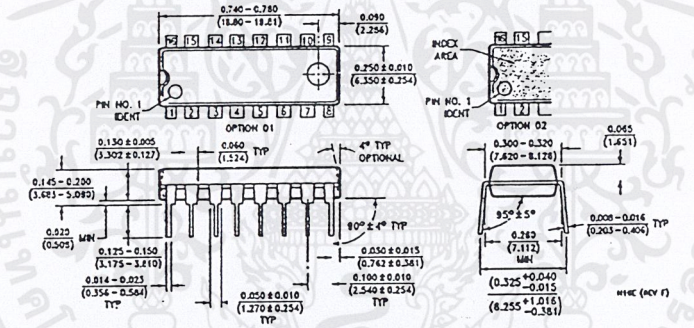
Note 5: C_{PD} determines the no load dynamic power consumption, $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$, and the no load dynamic current consumption, $I_S = C_{PD} V_{CC} f + I_{CC}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



Order Number MM54HC151J or MM74HC151J
NS Package J16A



Order Number MM74HC151N
NS Package N16E

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2K Bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Programmable UART Serial Channel
- SPI Serial Interface
- Low Power Idle and Power Down Modes
- Interrupt Recovery From Power Down
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power Off Flag

Description

The AT89S8252 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Downloadable Flash programmable and erasable read only memory and 2K bytes of EEPROM. The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S8252 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89S8252 provides the following standard features: 8K bytes of Downloadable Flash, 2K bytes of EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two Data Pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S8252 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

The Downloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial programming interface and allows the program memory to be written to or read from unless Lock Bit 2 has been activated.

8-Bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

AT89S8252

0401D-A-12/97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Super Sweep Function Generator

A function generator having a wide tuning range is shown in Figure 10. The 1,000,000/1 adjustment range is accomplished by a single variable potentiometer or by an auxiliary sweeping signal. The CA3140 functions as a non-inverting readout amplifier of the triangular signal developed across the integrating capacitor network connected to the output of the CA3080A current source.

Buffered triangular output signals are then applied to a second CA3080 functioning as a high speed hysteresis switch. Output from the switch is returned directly back to the input of the CA3080A current source, thereby, completing the positive feedback loop

The triangular output level is determined by the four 1N914 level limiting diodes of the second CA3080 and the resistor divider network connected to Terminal No. 2 (input) of the CA3080. These diodes establish the input trip level to this switching stage and, therefore, indirectly determine the amplitude of the output triangle.

Compensation for propagation delays around the entire loop is provided by one adjustment on the input of the CA3080. This adjustment, which provides for a constant generator amplitude output, is most easily made while the generator is sweeping. High frequency ramp linearity is adjusted by the single 7pF to 60pF capacitor in the output of the CA3080A.

It must be emphasized that only the CA3080A is characterized for maximum output linearity in the current generator function.

Meter Driver and Buffer Amplifier

Figure 11 shows the CA3140 connected as a meter driver and buffer amplifier. Low driving impedance is required of the CA3080A current source to assure smooth operation of the Frequency Adjustment Control. This low-driving impedance requirement is easily met by using a CA3140 connected as a voltage follower. Moreover, a meter may be placed across the input to the CA3080A to give a logarithmic analog indication of the function generator's frequency.

Analog frequency readout is readily accomplished by the means described above because the output current of the CA3080A varies approximately one decade for each 60mV change in the applied voltage, V_{ABC} (voltage between Terminals 5 and 4 of the CA3080A of the function generator). Therefore, six decades represent 360mV change in V_{ABC}.

Now, only the reference voltage must be established to set the lower limit on the meter. The three remaining transistors from the CA3086 Array used in the sweep generator are used for this reference voltage. In addition, this reference generator arrangement tends to track ambient temperature variations, and thus compensates for the effects of the normal negative temperature coefficient of the CA3080A V_{ABC} terminal voltage.

Another output voltage from the reference generator is used to insure temperature tracking of the lower end of the Frequency Adjustment Potentiometer. A large series resistance simulates a current source, assuring similar temperature coefficients at both ends of the Frequency Adjustment Control.

To calibrate this circuit, set the Frequency Adjustment Potentiometer at its low end. Then adjust the Minimum Frequency Calibration Control for the lowest frequency. To establish the upper frequency limit, set the Frequency Adjustment Potentiometer to its upper end and then adjust the Maximum Frequency Calibration Control for the maximum frequency. Because there is interaction among these controls, repetition of the adjustment procedure may be necessary. Two adjustments are used for the meter. The meter sensitivity control sets the meter scale width of each decade, while the meter position control adjusts the pointer on the scale with negligible effect on the sensitivity adjustment. Thus, the meter sensitivity adjustment control calibrates the meter so that it deflects $^1/_6$ of full scale for each decade change in frequency.

Sine Wave Shaper

The circuit shown in Figure 12 uses a CA3140 as a voltage follower in combination with diodes from the CA3019 Array to convert the triangular signal from the function generator to a sine-wave output signal having typically less than 2% THD. The basic zero crossing slope is established by the 10kΩ potentiometer connected between Terminals 2 and 6 of the CA3140 and the 9.1kΩ resistor and 10kΩ potentiometer from Terminal 2 to ground. Two break points are established by diodes D_1 through D_4. Positive feedback via D_5 and D_6 establishes the zero slope at the maximum and minimum levels of the sine wave. This technique is necessary because the voltage follower configuration approaches unity gain rather than the zero gain required to shape the sine wave at the two extremes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XTAL1
Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2
Output from the inverting oscillator amplifier.

Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

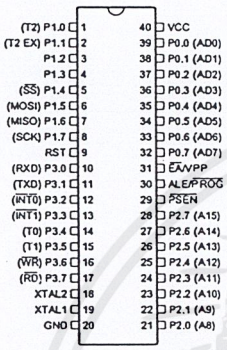
Table 1. AT89S8252 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000					SPCR 000001XX			0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000			0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XX000000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0X000000		SPSR 00XXXXXX						0AFH
0A0H	P2 11111111								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111						WMCON 00000010		97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000	SPDR XXXXXXXX	PCON 0XXX0000	87H

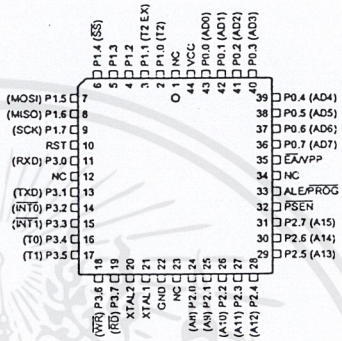
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Configurations

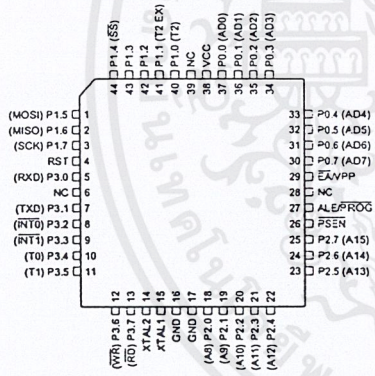
PDIP



PLCC



PQFP/TQFP



Pin Description

V_{CC}
Supply voltage.

GND
Ground.

Port 0
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

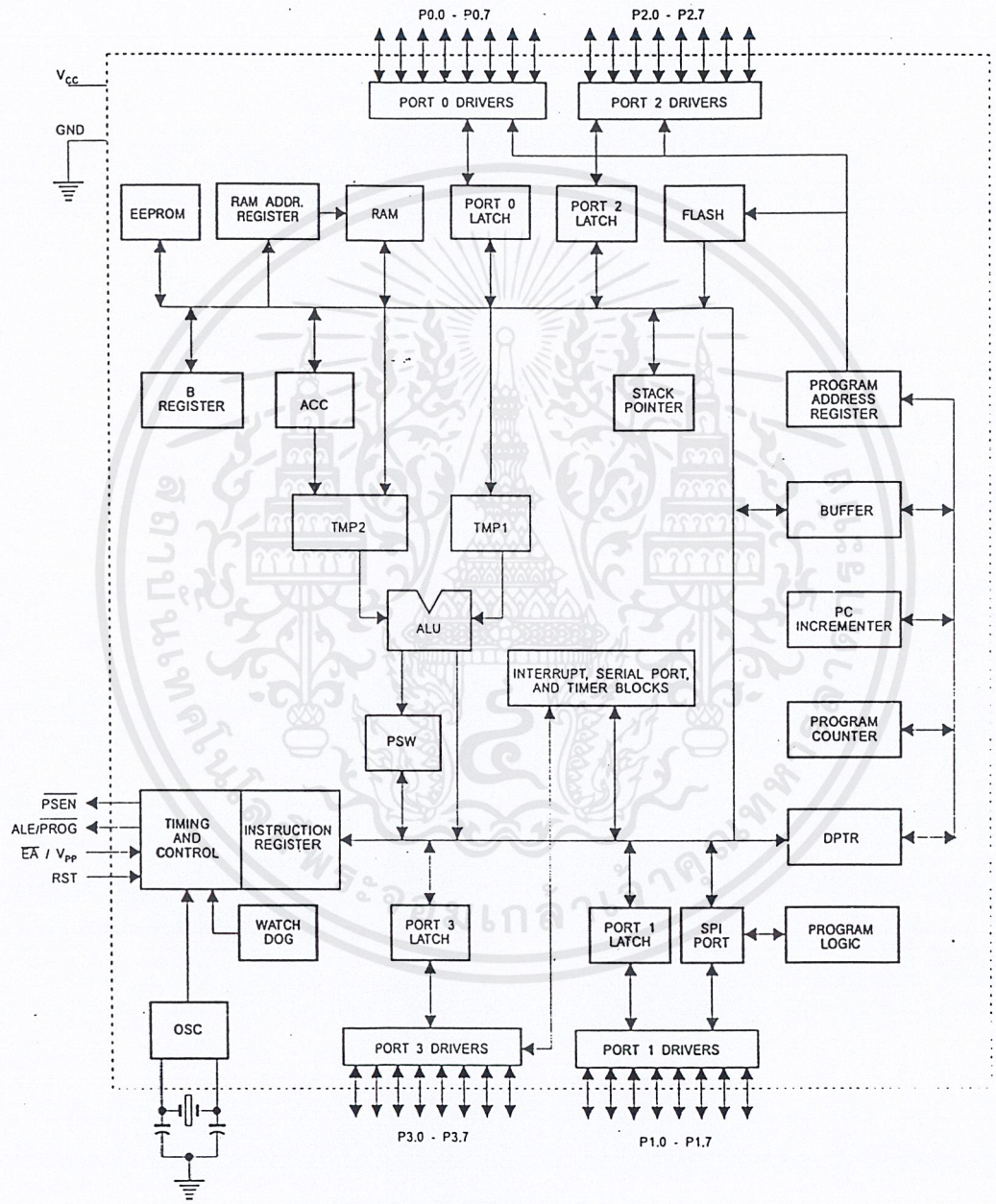
Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Some Port 1 pins provide additional functions. P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Furthermore, P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7 can be configured as the SPI slave port select, data input/output and shift clock input/output pins as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.4	$\overline{SS}$ (Slave port select input)
P1.5	MOSI (Master data output, slave data input pin for SPI channel)
P1.6	MISO (Master data input, slave data output pin for SPI channel)
P1.7	SCK (Master clock output, slave clock input pin for SPI channel)

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8 bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S8252, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/$\overline{PROG}$

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ($\overline{PROG}$) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

$\overline{PSEN}$

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89S8252 is executing code from external program memory, $\overline{PSEN}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{PSEN}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{EA}$/V_{PP}

External Access Enable. $\overline{EA}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{EA}$ will be internally latched on reset.

$\overline{EA}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน

1. คุณสมบัติเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ตรวจข้อสอบกับเครื่องตรวจข้อสอบฯได้

   1.1. คอมพิวเตอร์ CPU 80486 ขึ้นไป

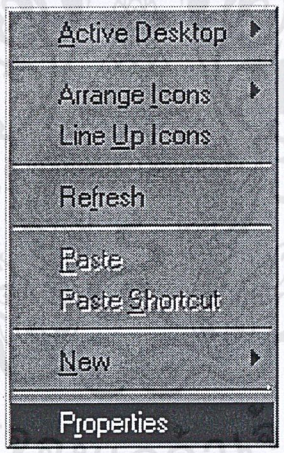
   1.2. หน่วยความจำ RAM 8 MB ขึ้นไป

   1.3. มีช่องต่อพอร์ตขนาน DB-25P

   1.4. มี CD-ROM Drive

   1.5. ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 95 ขึ้นไป ยกเว้น Windows NT

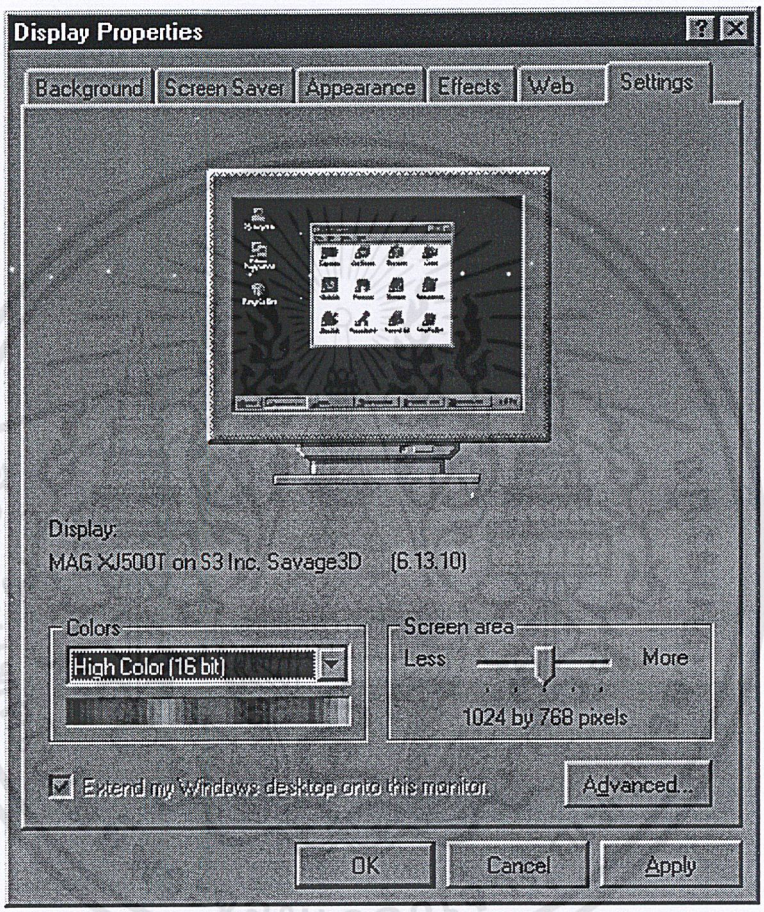
   1.6. ตั้งความละเอียดของจอภาพเป็น 1024 x 768 Pixels และตั้งความละเอียดของสีจอภาพเป็น High Color 16 Bit หรือมากกว่า โดย คลิกเมาส์ปุ่มขวาที่บริเวณ Desktop ของ Windows จะปรากฏเมนู ดังนี้



รูปที่ จ.1 เมนูที่ปรากฏเมื่อทำการคลิกเมาส์ปุ่มขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.1 คลิกเมาท์เลือกที่ Propeties จะปรากฏหน้าจอ Display Properties เลือกแท็ป Setting และตั้งค่าต่างๆ ดังนี้ หรือมากกว่านี้ ดังรูปที่ จ.2

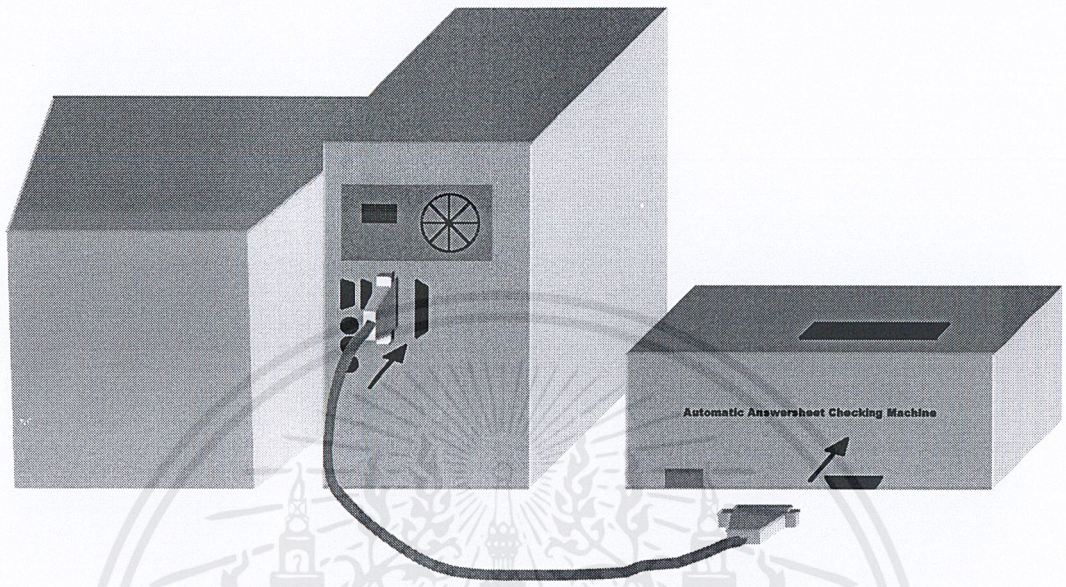


รูปที่ จ.2 หน้าต่างการปรับคุณสมบัติของจอภาพ

1.6.2 คลิ๊กเมาท์ที่ปุ่ม OK

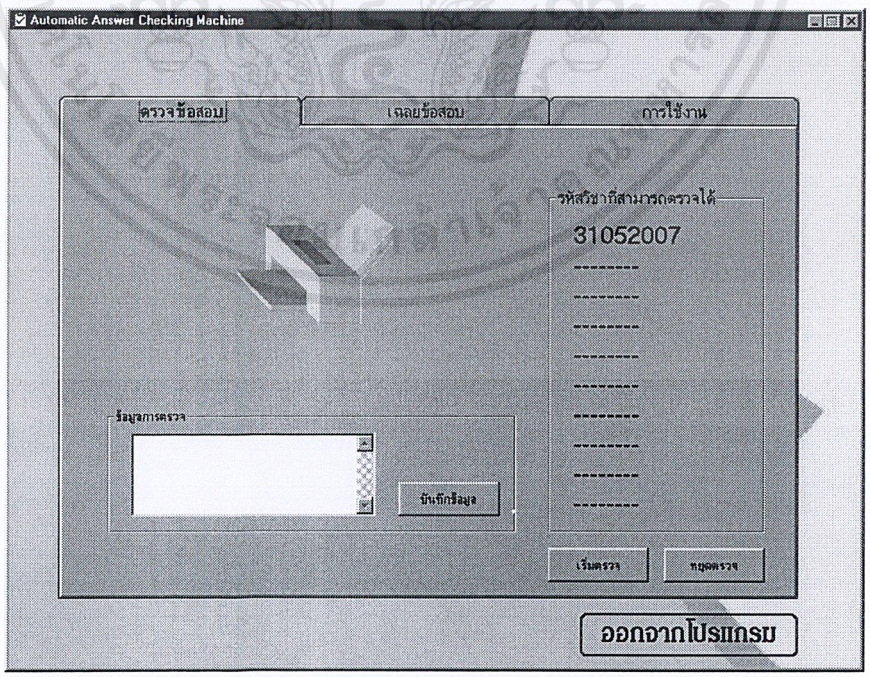
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต่อสายนำสัญญาณระหว่างพอร์ตขนานของเครื่องตรวจข้อสอบฯ เข้ากับพอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ จ.3 การเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องตรวจข้อสอบโดยพอร์ตขนาน

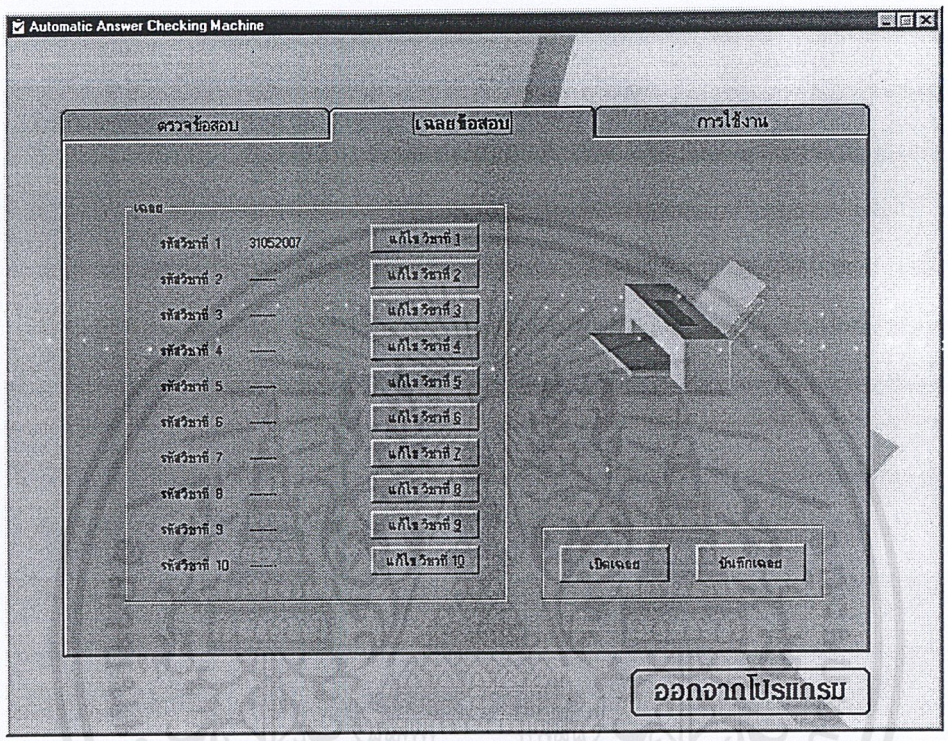
3. เปิดโปรแกรม Automatic Answersheet Checking Machine จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ จ.3



รูปที่ จ.4 การตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คลิ๊กเมาท์ที่กรอบ เฉลยข้อสอบ เพื่อสร้างหรือแก้ไขเฉลย จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ จ.2



รูปที่ จ.5 การเฉลยคำตอบ

5. ทำการคลิ๊กเมาท์ที่วิชาที่ต้องการสร้างหรือแก้ไข และใส่กระดาษคำตอบที่เป็นเฉลยลงในเครื่องตรวจข้อสอบปรนัยแบบอัตโนมัติ และกดปุ่ม Start ที่เครื่อง เพื่อให้เครื่องเริ่มดึงกระดาษเข้าเครื่อง
6. เมื่อเฉลยเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็พร้อมที่จะทำการตรวจ
7. รหัสวิชาที่สร้างหรือแก้ไขเฉลยจะขึ้นอยู่ในกรอบ รหัสวิชาที่สามารถตรวจได้
8. ใส่กระดาษคำตอบที่ต้องการตรวจลงในเครื่องตรวจข้อสอบ และกดปุ่ม <Start> เพื่อเริ่มดึงกระดาษ
9. คลิ๊กเมาท์ที่ปุ่ม เริ่มตรวจ เพื่อตรวจข้อสอบแผ่นที่ 1
10. เมื่อตรวจเสร็จ 1 แผ่น จะมีรหัสวิชา รหัสประจำตัวและคะแนน ขึ้นในช่อง ข้อมูลการตรวจ
11. คลิ๊กเมาท์ที่ปุ่ม หยุดตรวจ เพื่อหยุดการตรวจ
12. การบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกเป็นแฟ้มข้อมูลแบบตัวอักษรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. **การเรียนรู้และการปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์**. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์. 2542

ไชยชาญ หินเกิด. **เครื่องกลไฟฟ้า 1**. ส.เอเซียเพรส. กรุงเทพฯ : 2540

บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. **รวมบทความทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ. : เอช-เอน การพิมพ์. 2538

ปราโมทย์ ลือนาม. **วิชวลเบสิก 6**. กรุงเทพฯ : เธิร์ดเวฟ เอ็ดดูเคชั่น. 2543

ปรีชา ยุพาพิน. **เครือข่ายใยแก้วนำแสง**. กรุงเทพฯ : ส.เอเซียเพรส.2531

มงคล ทองสงคราม. **เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง**. กรุงเทพฯ : รามาการพิมพ์. 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายเจษฎา นาคแปลงศรี
วันเดือนปีเกิด	26 ธันวาคม 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดอ่างทอง
ภูมิลำเนาเดิม	79 หมู่ 2 ตำบลสีบัวทอง อำเภอแสวงหา จังหวัดอ่างทอง รหัสไปรษณีย์ 14150
ที่อยู่ปัจจุบัน	79 หมู่ 2 ตำบลสีบัวทอง อำเภอแสวงหา จังหวัดอ่างทอง รหัสไปรษณีย์ 14150
โทรศัพท์	-

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดศรีบัวทอง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดศรีบัวทอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	อย่าคิดว่าเราทำไม่ได้ ถ้ายังไม่ได้ลงมือทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนพพร ชั้นประเสริฐ
วันเดือนปีเกิด	11 กันยายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	0536/1 ถนนเทศบาล 8 อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20180
ที่อยู่ปัจจุบัน	0536/1 ถนนเทศบาล 8 อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20180
โทรศัพท์	038-437692

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนธัมมสิริศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสิงห์สมุทร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	นักเรียนรางวัลพระราชทานฯ ปีการศึกษา 2541
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	ถ้ามีคนฉลาดอย่างเราทั้งโลก เทียนไขสักเล่มก็คงไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนพพร วิเชียรวรรณ
วันเดือนปีเกิด	22 สิงหาคม 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดอุทัยธานี
ภูมิลำเนาเดิม	35/7 หมู่ 2 ตำบลน้ำซึม อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี รหัสไปรษณีย์ 61000
ที่อยู่ปัจจุบัน	35/7 หมู่ 2 ตำบลน้ำซึม อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี รหัสไปรษณีย์ 61000
โทรศัพท์	056-520755

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนพิทักษ์ศิษย์วิทยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอุทัยวิทยาคม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	อย่าทำเรื่องง่ายให้เป็นเรื่องยาก และอย่าทำเรื่องยากให้เป็นเรื่องที่ยากมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	ว่าที่ ร.ต.พรชัย พิมพ์บุญมา
วันเดือนปีเกิด	9 มกราคม 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดระนอง
ภูมิลำเนาเดิม	71 หมู่ 2 ตำบลน้ำจืด อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง รหัสไปรษณีย์ 85110
ที่อยู่ปัจจุบัน	75/95 หมู่ 4 แขวงคลองสิบสอง เขตหนองจอก กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10530
โทรศัพท์	02-9892397

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนกระบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนกระบุรีวิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	เมื่อวันพรุ่งนี้ยังมาไม่ถึง พึงทำวันนี้ให้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้