

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ม่านปรับแสงอัตโนมัติ

Automatic Curtain



เลขหมู่.....**82446**.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**11 ก.ค. 2551**.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

11947196
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ม่านปรับแสงอัตโนมัติ

Automatic Curtain

โดย

นายศรันธชัย มุขยวงค์ รหัสประจำตัว 47010744

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.พิชญ์ คุศิริวานิชกร

ปริญญานิพนธ์นี้สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ม่านปรับแสงอัตโนมัติ (AUTOMATIC CURTAIN)

ผู้จัดทำ

นายศรันชัย

मुखวงศ์

รหัสประจำตัว 47010744



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญาณิพนธ์นี้ขึ้นมา ถ้าหากผู้จัดทำกระทำการใดๆ โดยลำพังแล้วอาจจะต้องใช้เวลาในการศึกษาค้นคว้า เพื่อหาข้อมูลเป็นระยะเวลานาน แต่เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากหลายท่านจึงทำให้ปัญหาต่างๆ ที่ประสบ สำเร็จลุล่วงไปได้มาก ถึงแม้จะไม่สามารถแก้ปัญหาเหล่านั้น ได้ทั้งหมดก็ตาม แต่ก็สามารถทำให้มีวิธี หรือแนวความคิดในการดำเนินโครงการให้ก้าวหน้าไปได้ ดังนั้นแล้วผู้จัดทำโครงการ จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือให้คำปรึกษา ตลอดจนความคิดเห็น หรือแม้กระทั่งข้อมูลเล็กๆ น้อยๆ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินโครงการ ไม่ว่าจะเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รุ่นพี่ เพื่อนๆ ตลอดจนท่านผู้ที่แต่งหนังสือตำราทุกท่าน ที่ผู้จัดทำโครงการ ได้นำข้อมูลที่ท่าน ได้รื้อเรียงมาเพื่อให้ความรู้กับผู้อ่านมาอ้างอิงใน โครงการนี้ รวมทั้งพ่อแม่พี่น้องที่เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือหลายๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการ ขอกล่าวคำว่าขอบคุณอย่างยิ่งที่ได้รับความช่วยเหลือจากทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

(นายศรัณย์ มุขขวงค์)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ม่านปรับแสงอัตโนมัติ

นายศรันย์ มุขวงค์ รหัส 47010744
รศ.พิชัย คูศิริวานิชกร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้อธิบาย การออกแบบ และการสร้างม่านปรับแสงอัตโนมัติ วงจรม่านปรับแสงอัตโนมัตินี้ ประกอบด้วยวงจรหลักสามส่วน คือ วงจรตรวจจับแสง วงจรประมวลผลสัญญาณ และวงจรขับมอเตอร์ หลักการทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัตินี้ คือ รับแสงแดดจากดวงอาทิตย์ด้วยโฟโตไดโอด ผ่านวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน เพื่อทำการขยายสัญญาณ และนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่วงจรประมวลผลสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 51 (MCS-51) เมื่อทำการประมวลผลสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว วงจรจะทำการขับมอเตอร์ด้วยไอซี L293 เพื่อควบคุมการปรับแสงของม่านต่อไป ทำให้ความเข้มของแสงบริเวณนั้นมีความเข้มของแสงที่เหมาะสม โดยแสงแดดนั้นต้องไม่ลอดผ่านม่านโดยตรง ในกรณีที่มีแสงแดดน้อย ม่านสามารถเลื่อนเก็บขึ้นสู่ด้านบน และสามารถเลื่อนลงได้เองในเวลากลางคืนอีกด้วย ทั้งนี้ม่านปรับแสงอัตโนมัติ ยังมีระบบควบคุม โดยผู้ใช้ (Manual Mode) เพื่อใช้ในกรณีที่ระบบควบคุมอัตโนมัติเกิดการขัดข้อง หรือในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการควบคุมม่านโดยผู้ใช้งาน นอกจากนี้ม่านปรับแสงอัตโนมัติสามารถควบคุมม่านได้หลายชุด โดยใช้วงจรควบคุมเพียงชุดเดียวในการควบคุมการทำงานของม่านทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Automatic Curtain

Mr.Sarun Mukayawongse

ID: 47010744

Assoc. Prof. Pichai Koosirivanichakorn Advisor

Educational Year 2007

Abstract

This thesis describes a design and construction of an Automatic Curtain system. The circuits used in this system consist of three main parts which are light detectors, processing circuits and a driving DC motor circuit. The system detects the sunlight by photo diodes through Tran-conductance circuits. Signals are processed by processing circuits which are A/D converter and microcontroller (MCS-51). Then, microcontroller controls a driving DC motor circuit to adjust the curtain. In the case of dim light, the curtain can be slide up to the top and it can be closed automatically at night. In addition, Automatic Curtain can be controlled by user through manual mode when the automatic mode does not function. Finally, a few curtains can be controlled by one system.

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| กิตติกรรมประกาศ | I |
| บทคัดย่อ | II |
| Abstract | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูปภาพ | VII |
| สารบัญตาราง | X |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ขอบเขตของโครงการ | 1 |
| 1.2 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ | 2 |
| 1.3 หลักการทำงาน | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 | 3 |
| 2.1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของ Microcontroller ตระกูล MCS-51 | 3 |
| 2.1.2 ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมของ MCS-51 | 4 |
| 2.1.3 ตำแหน่งและหน้าที่ขาสัญญาณของ MCS-51 | 5 |
| 2.1.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ MCS-51 เบื้องต้น | 8 |
| 2.2 การโปรแกรมให้กับระบบ | 10 |
| 2.3 คำสั่งพื้นฐาน และการประกาศตัวแปรของภาษาซี | 12 |
| 2.4 โครงสร้างของภาษาซี | 13 |
| 2.5 ตัวดำเนินการในภาษาซี | 15 |
| 2.5.1 ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำตัวเดียว | 15 |
| 2.5.2 ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำสองตัว | 15 |
| 2.6 ประโยคควบคุมในภาษาซี | 17 |
| 2.7 แสง (Light) | 20 |
| 2.7.1 แถบพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (The electromagnetic spectrum) | 20 |
| 2.7.2 แถบรังสีที่ตามองเห็นได้ (Optical Spectrum) | 21 |
| 2.8 อุปกรณ์ที่ใช้กับแสง (Optical Components) | 21 |
| 2.9 อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Light Sensor) | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.9.1 ตัวต้านทานไวแสง หรือแอลดีอาร์ (LDR) | 22 |
| 2.9.2 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) | 24 |
| 2.9.3 โฟโตไดโอด (Photo Diode) | 25 |
| 2.9.4 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Diode) | 28 |
| 2.9.5 โฟโตคาร์ลิงตัน (Photo Darlington) | 30 |
| 2.9.6 โฟโตเอสซีอาร์ (LASCR) | 30 |
| 2.10 สเปคตรัมของอุปกรณ์รับแสง ปล่อยแสง และ ค่าประสิทธิภาพ | 33 |
| 2.11 การประมวลผลสัญญาณอนาล็อกเชิงเส้น (Linear Analog Signal Processing) | 34 |
| 2.11.1 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Current-to-Voltage Converters) | 34 |
| 2.11.2 วงจรขยายสัญญาณพื้นฐาน โดยใช้โอปแอมป์ (Basic Amplifier Configurations Using Op-Amps) | 36 |
| 2.12 การแปลงสัญญาณสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog-to-Digital Converters) | 37 |
| 2.12.1 หลักการทำงาน (Circuit Operation) | 39 |
| 2.12.2 การประมาณค่าด้วยวิธีชกเชสซีฟ (Successive Approximation Analogy) | 40 |
| 2.12.3 คุณสมบัติของ ADC (ADC Characteristics) | 41 |
| 2.12.3.1 สมการอินพุต-เอาต์พุต (Output-Input Equation) | 41 |
| 2.12.3.2 ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณ (Conversion Time) | 42 |
| 2.12.3.3 ความคลาดเคลื่อนควอนไทเซชัน | 42 |
| 2.12.4 การต่อ ADC ใช้งานร่วมกับ ไมโครโพรเซสเซอร์ | 42 |
| 2.13 ไอซี 555 | 43 |
| 2.13.1 ประเภทการทำงานของ ไอซี 555 | 43 |
| 2.13.2 หน้าที่ของขา ไอซี 555 | 44 |
| 2.13.3 การทำงานแบบอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ | 46 |
| 2.14 อุปกรณ์เกิล | 49 |
| 2.14.1 มอเตอร์กระแสตรง และการควบคุม | 49 |

| | |
|---|-----------|
| บทที่ 3 หลักการออกแบบ และการสร้าง | 51 |
| 3.1 หลักการออกแบบ และการทำงานของส่วนควบคุมอัตโนมัติ | 51 |
| 3.1.1 ภาคอินพุท | 51 |
| 3.1.2 ส่วนประมวลผล | 53 |
| 3.1.3 หลักการออกแบบ และคำนวณ Analog-to-Digital | 54 |
| 3.1.4 หลักการออกแบบ และคำนวณวงจระสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ | 56 |
| 3.1.5 ส่วนขับมอเตอร์ | 60 |
| 3.2 หลักการออกแบบ และการทำงานของส่วนควบคุมโดยผู้ใช้งาน | 61 |
| บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง | 63 |
| 4.1 การทดลองม่านปรับแสงอัตโนมัติ | 63 |
| 4.1.1 การทดสอบความเข้มแสงในแต่ละวัน | 63 |
| 4.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของโฟโต้ไดโอด | 63 |
| 4.2 ผลการทดลองม่านปรับแสงอัตโนมัติ | 64 |
| 4.2.1 ผลการทดลองความเข้มแสงในแต่ละวัน | 64 |
| 4.2.2 ผลการทดลองคุณสมบัติของโฟโต้ไดโอด | 64 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์ | 71 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 71 |
| 5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข | 71 |
| ภาคผนวก | |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ | 2 |
| รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51 | 8 |
| รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อคริสตัลกับ MCS-51 | 8 |
| รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อสัญญาณ clock กับ MCS-51 | 8 |
| รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อ Power-on Reset | 9 |
| รูปที่ 2.5 flow chart รูปประโยค if | 17 |
| รูปที่ 2.6 flow chart รูปประโยคซ้อน if/else | 18 |
| รูปที่ 2.7 flow chart รูปประโยค for | 18 |
| รูปที่ 2.8 flow chart รูปประโยค while | 19 |
| รูปที่ 2.9 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า | 20 |
| รูปที่ 2.10 LDR | 22 |
| รูปที่ 2.11 คุณสมบัติของ LDR | 23 |
| รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของ LDR | 23 |
| รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ | 24 |
| รูปที่ 2.14 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ | 24 |
| รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของโฟโตไดโอด | 25 |
| รูปที่ 2.16 กราฟไบแอสย้อนกลับกับกระแสของโฟโตไดโอด | 26 |
| รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของโฟโตไดโอด | 26 |
| รูปที่ 2.18 การทำงานของโฟโตไดโอด | 27 |
| รูปที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกระแสโฟโต | 27 |
| รูปที่ 2.20 ตัวอย่างโฟโตไดโอด และสัญลักษณ์ | 28 |
| รูปที่ 2.21 ตัวอย่างโฟโตทรานซิสเตอร์ และสัญลักษณ์ | 29 |
| รูปที่ 2.22 ตัวอย่างโฟโตคาร์ลิ่งตัน และสัญลักษณ์ | 30 |
| รูปที่ 2.23 ตัวอย่างโฟโตเอสซีอาร์ และสัญลักษณ์ | 30 |
| รูปที่ 2.24 ตัวอย่างอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในการปล่อยแสง | 31 |
| รูปที่ 2.25 ตัวอย่างอุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสง และการสะท้อนของแสง | 32 |
| รูปที่ 2.26 ตัวอย่างอุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสง | 32 |
| รูปที่ 2.27 ผลการตอบสนองของความยาวคลื่นของโฟโตไดโอด | 33 |
| รูปที่ 2.28 ผลการตอบสนองของความยาวคลื่นของโฟโตทรานซิสเตอร์ | 33 |
| รูปที่ 2.29 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Current-to-Voltage Converter) | 34 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 2.30 วงจรขยายความเข้มแสง | 35 |
| รูปที่ 2.31 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier) | 36 |
| รูปที่ 2.32 Timing Diagram ของ ADC | 38 |
| รูปที่ 2.33 หลักการทำงานของ ADC | 39 |
| รูปที่ 2.34 วงจรภายในของ 555 | 43 |
| รูปที่ 2.35 ขาสัญญาณของ ไอซี 555 | 44 |
| รูปที่ 2.36 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ ไอซี 555 | 46 |
| รูปที่ 2.37 รูปสัญญาณอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จากวงจร 555 | 47 |
| รูปที่ 2.38 กราฟการออกแบบความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ 555 | 48 |
| รูปที่ 3.1 วงจรปรับแต่งอัตโนมัติ | 52 |
| รูปที่ 3.2 วงจรขยายความเข้มแสง | 53 |
| รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier) | 53 |
| รูปที่ 3.4 (ก) ADC 0809CCN (ข) AT89S52 | 54 |
| รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ ไอซี 555 | 57 |
| รูปที่ 3.6 กราฟการออกแบบความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ 555 | 57 |
| รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของ ไอซี L293D | 60 |
| รูปที่ 3.8 ขาสัญญาณต่างๆ ของ ไอซี L293D | 60 |
| รูปที่ 3.9 ตารางลอจิกสำหรับควบคุมการหมุนของมอเตอร์ | 61 |
| รูปที่ 3.10 หน้าปัดแผงสวิทช์ส่วนควบคุม โดยผู้ใช้งาน | 61 |
| รูปที่ 4.1 วงจรตรวจจิบแสง | 63 |
| รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอด โดยการคำนวณจากกระแสโฟโต | 64 |
| รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 1 | 65 |
| รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 2 | 65 |
| รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 3 | 66 |
| รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 4 | 66 |
| รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 5 | 67 |
| รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 6 | 67 |
| รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 7 | 68 |
| รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอดตัวที่ 8 | 68 |
| รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของ โฟโตไดโอด โดยการเฉลี่ยจากาวัด | 69 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของโฟโตรีโอดีโอด โดยการเฉลี่ยจากการวัดเทียบกับเส้นแนวโน้ม | 69 |
| รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของโฟโตรีโอดีโอด โดยแสดงเฉพาะส่วนที่ใช้งาน | 70 |
| รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของโฟโตรีโอดีโอด โดยแสดงเฉพาะส่วนที่ใช้งานเทียบกับเส้นแนวโน้ม | 70 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 ขาสัญญาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 | 5 |
| ตารางที่ 2.2 ประเภทของข้อมูลของตัวแปร | 14 |
| ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำตัวเดียว | 15 |
| ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำสองตัว | 16 |
| ตารางที่ 3.1 การทำงานของปุ่มควบคุม | 62 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการม่านบังแดดอัตโนมัติเป็นโครงการที่มีแนวคิดเริ่มต้นมาจากการประหยัดพลังงานในอาคาร และสำนักงานใหญ่ที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ผังของตัวอาคารเหล่านั้น โดยส่วนใหญ่ จะเป็นกระจกทำให้แสง และความร้อนจากดวงอาทิตย์ สามารถผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคาร ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนักขึ้น นั่นก็หมายความว่า เครื่องปรับอากาศต้องดึงพลังงาน ไฟฟ้ามาใช้มากขึ้น และในปัจจุบันจะเห็นว่าสำนักงาน อาคารชุดที่พักอาศัย มักจะมีการออกแบบให้ผู้อยู่อาศัยได้ใช้ประโยชน์จากทัศนียภาพภายนอก ซึ่งก็เป็นเรื่องดี เพราะอย่างน้อยก็ทำให้คลายบรรยากาศ ความตึงเครียดจากภายนอกบ้าน หรือจากการอยู่อาศัยในพื้นที่ที่ค่อนข้างจำกัดลงได้บ้าง นอกจากนี้ประโยชน์ข้างต้นแล้ว ผู้ใช้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะอื่นได้อีก นอกเหนือจากการใช้งานภายในอาคาร โดยอาจจะนำไปใช้ร่วมกับแปลงปลูกพืช เพื่อควบคุมปริมาณแสงที่ต้องการได้

โครงการนี้ได้ถูกออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของม่าน ซึ่งจะมีเซนเซอร์ตรวจจับแสงแดดที่ส่องเข้ามา เพื่อใช้ในการควบคุมม่านให้เปิด หรือปิด นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถที่จะควบคุมการทำงานของม่านได้เองถ้าต้องการ

1.1 ขอบเขตการทำงาน

โครงการนี้เป็นโครงการต่อเนื่อง 2 ภาคการเรียน โดยขอบเขตการทำงานของแต่ละภาคการเรียนมีดังนี้

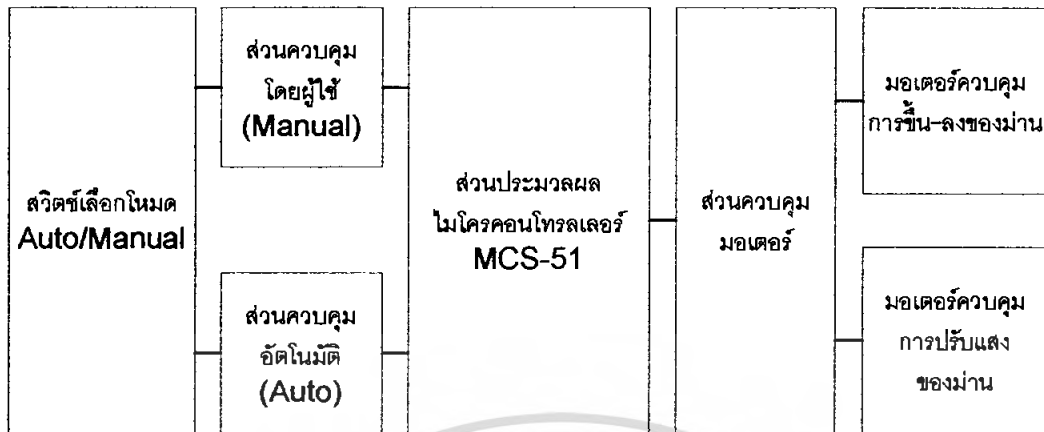
ภาคเรียนที่ 1/2550

ออกแบบวงจร ทั้งระบบอัตโนมัติ (Auto mode) และระบบควบคุมโดยผู้ใช้ (manual mode) ม่านสามารถทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยการสั่งงานของม่านจะถูกควบคุม และตัดสินใจโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาคเรียนที่ 2/2550

ออกแบบ และพัฒนางจรระบบอัตโนมัติ (Auto mode) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และวงจรสามารถควบคุมม่านปรับแสงได้หลายชุดภายในวงจรควบคุมเพียงวงจรเดียว

1.2 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

1.3 หลักการทำงาน

แบ่งการทำงานออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนควบคุมอัตโนมัติ (Auto) ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในการควบคุมการทำงาน และคอยรับสัญญาณจากส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจ แทนการควบคุมโดยผู้ใช้
2. ส่วนควบคุมโดยผู้ใช้งานเอง (Manual) ในส่วนนี้จะตรวจสอบการสั่งงานโดยผู้ใช้งานที่ต้องการควบคุมม่านเปิด-ปิด หรือปรับแสงอย่างไร โดยทำงานผ่านวงจรถอนิกส์
3. ส่วนตรวจสอบแสง ในส่วนนี้จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง คือ โฟโตไดโอด เพื่อคอยตรวจสอบแสงแดด ถ้าหากว่ามีแสงแดด วงจรในส่วนนี้จะส่งสัญญาณไปยังส่วนควบคุมอัตโนมัติ เพื่อสั่งให้ม่านปรับแสงให้เหมาะสม และหากว่ามีแสงแดดลอดผ่านม่านโดยตรง ม่านก็สามารถปรับแสงให้เหมาะสมได้เช่นกัน
4. ส่วนประมวลผล ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลจากสัญญาณอินพุตที่เข้ามา ตามโหมดการทำงานที่ผู้ใช้ได้ทำการเลือกไว้ โดยนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ทำการเขียนไว้
5. ส่วนควบคุมมอเตอร์ ในส่วนนี้ประกอบด้วยไอซีขับมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้สองทิศทาง ใช้ในการควบคุมการทำงานของม่านเวลาต้องการนำม่านขึ้นหรือลง และใช้ขับมอเตอร์อีกหนึ่งตัวควบคุมการทำงานในส่วนบานเกร็ดปรับแสงของม่านด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์เล็กๆ หรือที่เรียกว่า ไมโครโพรเซสเซอร์เกือบทั้งสิ้น ในปัจจุบันจะเรียกชื่อเป็นศัพท์เทคนิคว่า Embedded System ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะต้องมีหน่วยประมวลผลกลางที่เรียกว่า “ไมโครโพรเซสเซอร์” เป็นหัวใจหลักในการทำงาน โดยบริษัทอินเทลได้สร้างไมโครโพรเซสเซอร์เบอร์ 4004 ซึ่งประมวลผลแบบ 8 บิต ออกมาเป็นรุ่นแรก ต่อมาได้ออกรุ่นที่ประมวลผลแบบ 8 บิต ตามมาได้แก่ เบอร์ 8008, 8080 และ 8085 ทำให้การประมวลผลทำได้รวดเร็วขึ้น ส่วนบริษัทโมโตโลราได้ออกเบอร์ 6800 และบริษัทไซลอคได้ออกเบอร์ Z80 ซึ่งประมวลผลแบบ 8 บิต เช่นกัน ไมโครโพรเซสเซอร์รุ่นต่อๆ มาจะมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น และได้มีรุ่นใหม่ๆ ออกตามมามากขึ้น เมื่อนำไมโครโพรเซสเซอร์แบบ 4 บิต มาใช้ในงานควบคุมจะทำให้ระบบคุมทำงานได้ดีขึ้น ฉลาดมากขึ้น ปัจจุบันไมโครโพรเซสเซอร์แบบ 4 บิต นี้ถูกนำมาใช้ในเตาไมโครเวฟ โทรศัพท์ และของเด็กเล่น เป็นต้น สำหรับระบบควบคุมที่ต้องการประสิทธิภาพมากขึ้นจะใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ 8 บิต เป็นตัวประมวลผล แต่ราคาของระบบก็จะแพงขึ้นตามไปด้วย

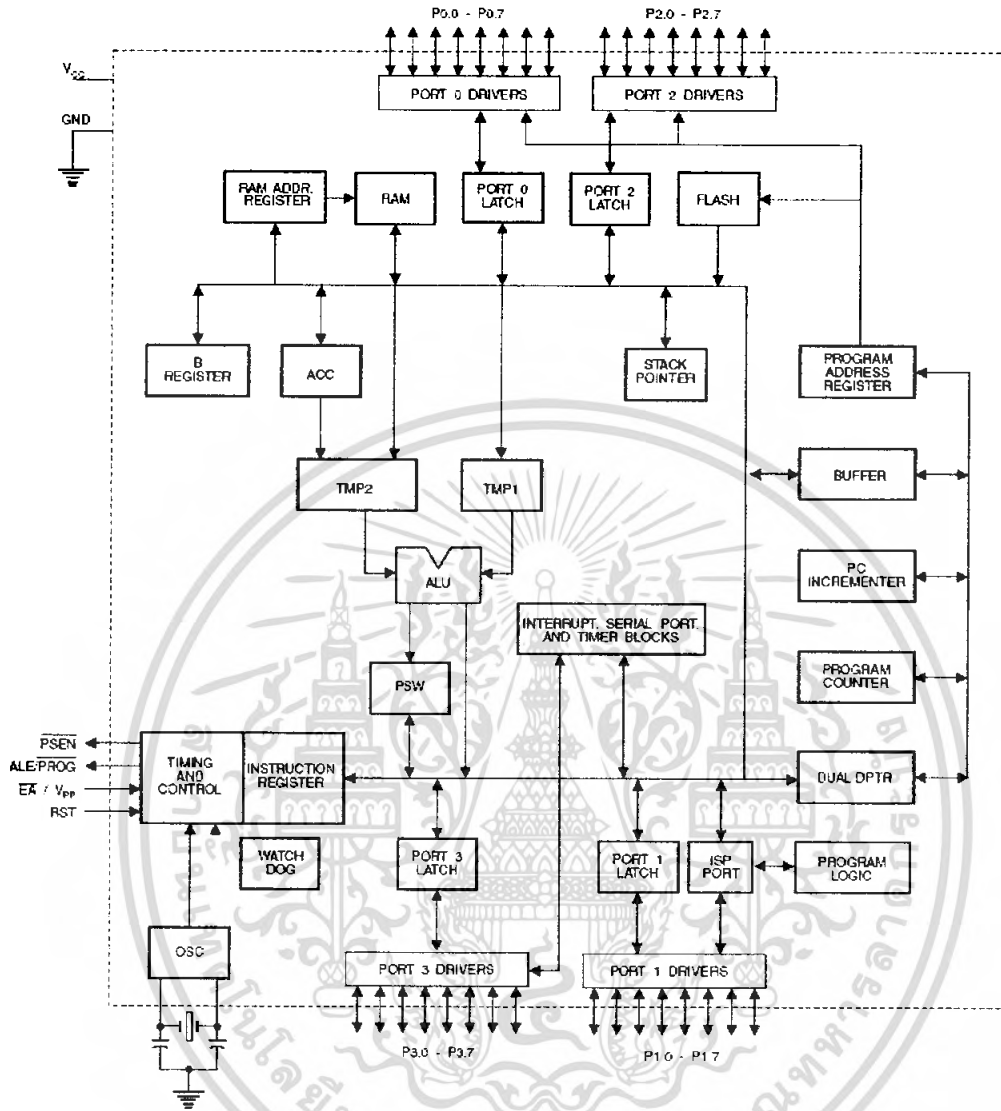
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

2.1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของ Microcontroller ตระกูล MCS-51

- มี Core CPU ที่เป็น 8 bit และชุดคำสั่งที่เหมาะสมในงานควบคุม และสามารถประมวลผลทาง Logic กับข้อมูลในระดับ bit ได้
- มีหน่วยความจำโปรแกรม 4 kbyte และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 64 kbyte
- มีหน่วยความจำข้อมูล (RAM) 128 byte และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำข้อมูลได้ถึง 64 kbyte
- มี port ที่เป็นได้ทั้ง I/O ทั้งหมด 4 port และสามารถใช้งานได้ในระดับ bit
- มีวงจร Counter/Timer ขนาด 16 bit สองชุด สำหรับใช้ในการจับเวลา หรือนับจำนวน
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ Full duplex UART ใช้รับ/ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
- มีวงจร interrupt 6 แห่งกำหนด โดยมี 5 ตำแหน่งของ ISR และการ interrupt โดยสามารถจัดระดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีตัวกำหนดความถี่ clock ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ตัวอย่างบล็อกโคะแกรมของ MCS-51



รูปที่ 2.1 บล็อกโคะแกรมของMCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ตำแหน่ง และหน้าที่ขาสัญญาณของ MCS-51

ตารางที่ 2.1 ขาสัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51

| Pin | input/output/impedance (Z) | หน้าที่ / การทำงาน |
|-------------|----------------------------|---|
| P0.0 – P0.7 | input/output/impedance (Z) | <ul style="list-style-type: none"> - Port 0 เป็น Open drain bidirectional I/O Port 8 bit - เมื่อใช้เป็น output จะสามารถรับ (sink) กระแสของ input แบบ LS TTL ได้ 8 คิว - สำหรับ Port 0 bit ที่ถูกส่งค่า “1” (high) จะทำให้นั้นเป็น Float ซึ่งสามารถใช้งานเป็น High impedance input ได้ - ทำหน้าที่เป็น Address Bus ส่วนของ Low byte (PCL) สลับกับ Data Bus ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ในกรณี logic 1 จะถูกสร้างจาก strong internal pull-up - Port 0 จะใช้ส่งค่าที่มีอยู่ใน internal program memory ออกมาเพื่อการตรวจสอบ (Program verification) แต่จะต้องต่อ External pull-up ด้วย |
| P1.0 – P1.7 | input/output | <ul style="list-style-type: none"> - Port 1 เป็น bidirectional I/O Port 8 bit ภายในมี internal pull-up - เมื่อใช้เป็น output จะสามารถรับ/จ่าย (sink/source) กระแสของ input แบบ LS TTL ได้ 4 คิว - สำหรับ Port 1 bit ที่ถูกส่งค่า “1” จะทำให้นั้นเป็น high จาก internal pull-up ซึ่งสามารถใช้งานเป็น input ได้ และเมื่อถูกป้อนด้วย logic “0” มันจะให้กระแสออกมาได้ ซึ่งกระแสจะไหลมาจาก internal pull-up |
| P2.0 – P2.7 | input/output | <ul style="list-style-type: none"> - Port 2 เป็น bidirectional I/O Port 8 bit ภายในมี internal pull-up - เมื่อใช้เป็น output จะสามารถรับ/จ่าย (sink/source) กระแสของ input แบบ LS TTL ได้ 4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------------|---|---|
| | | <p>ตัว</p> <p>- ทำหน้าที่เป็น Address Bus ในส่วนของ High byte (PCH) ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ที่ใช้การอ้าง Address แบบ 16 bit ในการนี้ logic 1 จะถูกสร้างจาก strong internal pull-up</p> |
| P3.0 – P3.7 | <p>input/output</p> <p>input</p> <p>output</p> <p>input</p> <p>input</p> <p>input</p> <p>input</p> <p>output</p> <p>output</p> | <p>- Port 3 เป็น bidirectional I/O Port 8 bit ภายในมี internal pull-up</p> <p>- นอกจากนี้แล้ว ขาต่างๆ ของ Port 3 จะมีการใช้งานเป็น special feature ของ MCS-51 ดังต่อไปนี้</p> <p>P3.0 : RXD (Serial input port)</p> <p>P3.1 : TXD (Serial output port)</p> <p>P3.2 : INT0 (External interrupt 0)</p> <p>P3.3 : INT1 (External interrupt 1)</p> <p>P3.4 : T0 (Timer 0 external input)</p> <p>P3.5 : T1 (Timer 1 external input)</p> <p>P3.6 : WR (External data memory write strobe)</p> <p>P3.7 : RD (External data memory read strobe)</p> |
| RST | input | <p>Reset เป็นสัญญาณป้อนให้กับ MCS เพื่อเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ การทำ Reset นี้จะต้องทำทุกครั้งที่ย้ายไฟให้กับวงจรในการ Reset สัญญาณ RST ต้องมีอยู่อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะทำการ Reset ได้</p> |
| ALE | output | <p>Address Latch Enable เป็นสัญญาณจะไปทำให้ค่าของ PCL ถูกเก็บเข้าที่ Latch ในระหว่างที่ค่าของ PCL ออกมาที่ P0 สัญญาณ ALE นี้จะมีออกมาตลอดเวลา (ไม่ว่าจะมีการใช้ External memory หรือไม่) เป็นความถี่ 1/16 ของสัญญาณ Clock ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นฐานเวลาให้กับวงจรภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีเป็นการติดต่อ External data memory สัญญาณ ALE จะข้ามไปหนึ่งลูก</p> |
| $\overline{\text{PSEN}}$ | output | <p>Program Store Enable สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการ Fetch คำสั่งจาก External</p> |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------------------------|--------|--|
| | | program memory นั้น จะไม่ทำงานเมื่อเป็นการ Fetch คำสั่งจาก internal program memory สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ นี้จะเกิดขึ้นสองครั้งต่อหนึ่ง Machine Cycle ยกเว้นในกรณีที่เป็นการติดต่อกับ External data memory สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ จะข้ามไป |
| $\overline{\text{EA}}$ | input | External Access โดยการต่อขาสัญญาณ $\overline{\text{EA}}$ เป็น 'High' การ Fetch คำสั่งที่ Address น้อยกว่า 0FFFh (4 kbyte) สำหรับ 80C51) จะได้จาก internal program memory และถ้าเป็น Address ตั้งแต่ 1000h จะเป็นการอ่านจาก External program memory ถ้าต่อขา $\overline{\text{EA}}$ เข้ากับ 'Low' การ Fetch คำสั่งทั้งหมดจะกระทำกับ External program memory |
| XTAL1 | input | Input to inverting oscillator amplifier และใช้สำหรับการป้อน External clock |
| XTAL2 | output | Output to inverting oscillator amplifier |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

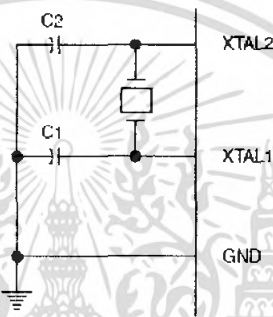
2.1.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ MCS-51 เบื้องต้น

ก่อนที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ เราต้องมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เริ่มต้นก่อน เช่น Clock และ Reset เป็นต้น

CPU Timing

ใน MCS-51 จะมีส่วนของวงจรกำเนิด clock อยู่ภายในแล้ว ซึ่งสามารถใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับ CPU ได้ ในการใช้งานของ On-Chip Oscillator นั้น ก็เพียงต่อ crystal หรือ ceramic resonator ที่ขา XTAL1 กับ XTAL2 และตัวเก็บประจุ

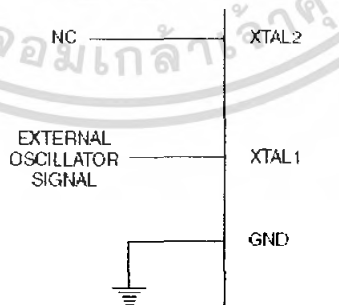
Oscillator Connections



รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อคริสตัลกับ MCS-51

อย่างไรก็ดี ถ้าต้องการใช้สัญญาณ Clock จากภายนอก ก็จะทำให้ได้โดยการต่อสัญญาณ External Clock เข้าที่ขา XTAL1

External Clock Drive Configuration



รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อสัญญาณ clock กับ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reset

สัญญาณสำหรับการ Reset MCS-51 จะต่อเข้าที่ขา RST โดยมีวงจร Schmitt trigger อยู่ภายในการ Reset จะทำโดยการให้ logic high เข้าที่ขา RST เป็นเวลาอย่างน้อย 2 machine cycle ในขณะที่สัญญาณ Clock ยังคงทำงานอยู่ จากนั้น CPU จะทำการ Reset การทำงานของตัวเองในช่วงเวลาของ Cycle ที่ 2 และการ Reset จะเกิดขึ้นทุกๆ Cycle ต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าสัญญาณ RST จะกลับเป็น Low

และสำหรับ Internal RAM ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อทำการ Reset ค้างนั้นเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับระบบ ค่าของข้อมูลจะเป็นค่าสุ่ม แต่จะขกเว้นเมื่อการทำ Reset เพื่อออกจาก Power down mode ซึ่งในกรณีนี้ค่าข้อมูลต่างๆ ใน internal RAM จะยังคงเดิม

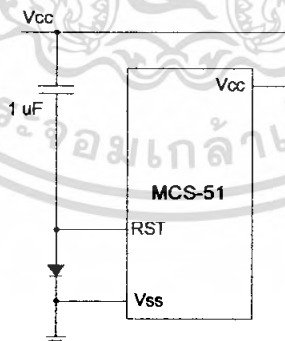
Power-on reset

จากที่การ Reset ซึ่งจะต้องทำทุกครั้งที่เราเริ่มจ่ายไฟให้กับระบบ การ Reset นี้ จะสามารถทำได้อย่างง่าย โดยการต่อวงจรดังรูป

โดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 1 F ถ้า Rise Time ของ V_{CC} ไม่เกิน 1 มิลลิวินาที และเวลาที่วงจร clock เริ่มทำงาน ไม่เกิน 10 มิลลิวินาที การทำงานของ Power-on reset อธิบายได้ดังนี้

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับระบบ กระแสที่ไหลเข้าในขา RST ก็จะเป็นการประจุให้กับตัวเก็บประจุ แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขา RST จะเป็นผลต่างระหว่าง V_{CC} กับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อตัวเก็บประจุถูก charge

ค่าแรงดันที่ขา RST จะต้องมีค่ามากกว่า Lower threshold ของ Schmitt trigger เป็นเวลานานพอที่จะทำให้การ Reset สมบูรณ์ (Oscillator start-up time + 2 machine cycles)



รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อ Power-on Reset

2.2 การโปรแกรมให้กับระบบ

การที่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานได้จะต้องมีการป้อนชุดคำสั่งให้กับมัน กานำคำสั่งหลายๆ คำสั่งมาต่อเรียงกันจะเรียกว่า “การโปรแกรม” โดยภาษาแอสเซมบลีถือว่าเป็นภาษาพื้นฐานที่สุดที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ในปัจจุบันได้มีการนำภาษาระดับสูงมาใช้ในงานไมโครคอนโทรลเลอร์มากขึ้น เนื่องจากสามารถเขียนได้ง่ายคล้ายกับภาษามนุษย์ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาระดับสูงนั้นจะต้องมีตัวแปลภาษา (Compiler) เพื่อแปลภาษาที่เขียนให้เป็นภาษาเครื่องของชิปตัวนั้นอีกทีหนึ่ง โดยจะอยู่ในรูปของ hex file แล้วนำไปโปรแกรมให้ชิปทำงานภาษาระดับสูงที่ใช้กับ MCS-51 มีหลายภาษา เช่น ภาษา BASIC ภาษา C ภาษา PL/M เป็นต้น

ภาษาซีเป็นภาษาที่ใช้เขียนระบบปฏิบัติการ UNIX และเป็นภาษาที่มีลักษณะการเขียนแบบโครงสร้าง สามารถใช้แก้ปัญหาโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ดี โครงสร้างของการเขียนโปรแกรมจะอยู่ภายในเครื่องหมาย { } ในปี ค.ศ.1985 ได้มีการเริ่มใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ปัจจุบันได้มีตัวคอมไพเลอร์ (Compiler) ที่ใช้ในการแปลภาษาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่หลายตัว

ภาษา PL/M เป็นภาษาของอินเทลที่เริ่มใช้กับโทรเซสเซอร์เบอร์ 8080 รูปแบบภาษาจะคล้ายกับภาษาปาสคาล แต่มีโครงสร้างกับภาษาซี แต่การอ่านคำสั่งจะทำได้ง่ายกว่า การใช้งานภาษานี้กับ MCS-51 จะเขียนโปรแกรมให้ทำงานทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนไม่ได้ ใช้ตัวแปรทศนิยม และฟังก์ชันทางตรีโกณมิติไม่ได้ การใช้ภาษาซี และภาษา PL/M กับงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายกว่าการใช้ภาษาแอสเซมบลี แต่เนื่องจากทั้งสองภาษานี้เป็นภาษาระดับสูงการใช้งานจะต้องมีตัวแปลภาษาให้เป็นภาษาเครื่องอีกทีหนึ่ง ซึ่งภาษาเครื่องที่ได้นี้อาจจะมีความซับซ้อนมากกว่าการเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีก็ได้

ในอดีตภาษา BASIC เป็นภาษาแรกที่นิยมใช้ในการเริ่มต้นเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ PC เนื่องจากคำสั่งจะคล้ายกับภาษาพูด ในปัจจุบันมีการใช้ภาษานี้กับงานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เช่นกัน แต่ไม่ได้รับความนิยมเท่าใดนักซึ่งเกิดจากเหตุผลต่างๆ ดังนี้

ประการแรก คือ การแปลภาษาจะเป็นแบบ Interpreted โดยการแปลจากภาษา BASIC ให้เป็นภาษาเครื่องจะทำเมื่อมีการรันโปรแกรม ทำให้ระบบทำงานได้ช้าแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการแปลภาษา BASIC แบบ compiled แล้วแต่ก็ไม่สามารถใช้งานกับ MCS-51 ได้

ประการที่สอง ในการเขียนโปรแกรมตัวแปรทุกตัวจะถูกเปลี่ยนเป็นตัวแปรแบบ Floating-point ซึ่งจะทำให้ใช้หน่วยความจำมาก และเวลาในการรันโปรแกรมช้าไปด้วย

ปัจจุบันการพัฒนางานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มีการใช้ภาษาระดับสูงในการเขียนโปรแกรมมากขึ้น และมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ งานที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีที่โปรแกรมมีความยาวประมาณ 10 หน้ากระดาษ เมื่อเขียนด้วยภาษาระดับสูงแล้วอาจทำให้ความยาวเหลือเพียง 2 หน้ากระดาษเท่านั้น โดยการเขียนโปรแกรมจะเริ่มจากเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC และแปลให้

เป็นภาษาเครื่องในรูปแบบ hex file จากนั้นนำโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ระบบทำงาน โดยภาษาระดับสูงที่นิยมใช้กัน ก็คือ ภาษาซี เนื่องจากมีข้อดีต่างๆ หลายประการ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีนี้สามารถเชื่อมต่อกับภาษาแอสเซมบลีได้เป็นอย่างดี เนื่องจากภาษาซีการทำงานใกล้เคียงกับภาษาแอสเซมบลีมากที่สุด ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีสามารถเขียนภาษาแอสเซมบลีรวมไปได้ ที่เรียกกันว่า In-line Assembly และเนื่องจากภาษาซีเป็นภาษาที่ใช้การเขียนโปรแกรมแบบโครงสร้าง (structured language) ทำให้เราสามารถสร้างฟังก์ชันต่างๆ เก็บไว้และนำเรียกใช้ในภายหลังได้ ทำให้การพัฒนาโปรแกรมใหญ่ๆ ทำได้ง่าย และเร็วขึ้น

ในปัจจุบันได้มีตัวคอมไพเลอร์ภาษาซีออกมาหลายตัว แต่ละตัวจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ในการเขียนโปรแกรมนั้น ถ้าจะนำมาใช้งานจะต้องแปลให้เป็นภาษาแอสเซมบลีก่อนจึงโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ การใช้คอมไพเลอร์แต่ละตัวจะทำให้ได้รหัสภาษาแอสเซมบลีแตกต่างกัน

โดยทั่วไปนักพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีจะทำการเขียนโปรแกรม และแปลให้เป็นออบเจกต์ไฟล์ (นามสกุล .OBJ) หรือเฮกไฟล์ (นามสกุล .HEX) จากนั้นจะนำไปโปรแกรมลงบนชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีจะมีขั้นตอนต่างๆ มากขึ้นดังนี้

1. เขียนชุดคำสั่งบนโปรแกรม editor ให้มีนามสกุลเป็น .c
2. กำหนดพรีโพรเซสเซอร์ (preprocessor) สำหรับกำหนดการคอมไพล์โปรแกรม ซึ่งอาจกำหนดไว้ใน source code หรือกำหนดคอนคอมไพล์ก็ได้
3. คอมไพล์โปรแกรม จะได้ไฟล์ออบเจกต์ ที่มีนามสกุลเป็น .OBJ ออกมา
4. เชื่อมต่อชุดคำสั่งเสริม (link) ซึ่งจะทำการรวมชุดคำสั่งต่างๆ ที่อ้างอิงถึงกัน และโปรแกรมจะสร้างออบเจกต์ไฟล์ที่สมบูรณ์ออกมา
5. แปลงให้เป็นไฟล์ hexadecimal file ซึ่งจะได้ไฟล์นามสกุล .HEX ออกมา

2.3 คำสั่งพื้นฐาน และการประกาศตัวแปรของภาษาซี

สำหรับผู้ที่เคยศึกษาการเขียน โปรแกรมภาษาซีบนคอมพิวเตอร์ที่ซีมาแล้วจะพบว่า โปรแกรมแรกที่ตำราหลายเล่มที่แนะนำให้เขียน เป็นดังนี้

```
#include<stdio.h>

main()
{
    printf("Hello Program C\n");
}
```

เมื่อรัน โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแสดงคำว่า Hello Program C ออกทางจอภาพ จาก โปรแกรมจะพบว่าบรรทัดแรกจะเป็นการเรียกฟังก์ชันที่ใช้ติดต่อกับไอโอมาตรฐานออกมา จากนั้นก็เรียกใช้ printf ที่เก็บอยู่ใน stdio.h นั้น สำหรับการเขียน โปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์การทำงานต่างๆ จะเป็นการกระทำพอร์ต รีจิสเตอร์ และหน่วยความจำต่างๆ ดังนี้ผลลัพธ์จากการทำงานของ โปรแกรมจะเกี่ยวข้องกับการย้ายข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับหน่วยความจำต่างๆ เป็นส่วนใหญ่

ถ้าหากเราต้องการเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ออกไปทางพอร์ต P1 เราสามารถเขียนโปรแกรมเป็นภาษาซีได้ดังนี้

```
#include<req52.h>

main()
{
    unsigned char i;
    for (i = 0; i <=255; i++)
        P1 = i;
}
```

ในบรรทัดแรกจะคล้ายกับบรรทัดแรกคล้ายกับบรรทัดแรกของการเขียน โปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะบอกให้คอมไพเลอร์รู้จักตัวแปร และรีจิสเตอร์ต่างๆ ของ MCS-51 โดยในไฟล์ req52.h จะบรรจุชื่อรีจิสเตอร์ และหน่วยความจำต่างๆ ของ 8052 ไว้

บรรทัดที่สองจะเป็นชื่อฟังก์ชันการทำงานหลัก (main) โดยคำสั่งการทำงานต่างๆ อยู่บนเครื่องหมายปีกกาเปิด และปีกกาปิด ต่อมาจะเป็นการประกาศตัวแปร i ให้เป็นตัวแปรแบบ char ไม่คิดเครื่องหมายซึ่งจะเก็บข้อมูลได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 บรรทัดต่อไปจะเป็นประโยคคำสั่งวงเล็บซึ่งจะทำให้โปรแกรมทำงานต่อเนื่องโดยนำค่า 0 ถึง 255 ส่งออกไปทางพอร์ต P1 ครั้งละค่า

2.4 โครงสร้างของภาษาซี

ด้วยภาษาซีเป็นภาษาที่สามารถเขียนโปรแกรมเป็นแบบโครงสร้างได้ โดยโปรแกรมจะแบ่งการทำงานต่างๆ ออกเป็นกลุ่มๆ หรือฟังก์ชัน โดยฟังก์ชันเหล่านั้นสามารถเรียกขึ้นมาใช้ใหม่ได้ ในการเขียนโปรแกรมจะต้องระบุไว้ว่าในโปรแกรมนั้นมีฟังก์ชันใดให้ใช้บ้าง แต่ทุกโปรแกรมจะต้องมีฟังก์ชันหลักที่ชื่อว่า main() เสมอ พิจารณาตัวอย่างโครงสร้างของโปรแกรมต่อไปนี้

```
#include<req52.h>                                /*Preprocessor*/
void func1 (void);                               /*Pro to type*/
int func2 (int x);
void main()                                     /*ฟังก์ชันหลัก*/
{
    int a;                                       /*ประกาศตัวแปร*/
    P1 = 0x0FF;
    func1();                                    /*เรียกใช้ฟังก์ชัน*/
    a = func2 (4);                              /*ฟังก์ชันที่มีการส่งค่า*/
}
void func1(void)                                /*ฟังก์ชันที่ไม่มีการคืนค่า*/
{
    .....
    .....
}
int func2 (int x)                               /*ฟังก์ชันที่มีการคืนค่า*/
{
    Return(x*2);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโปรแกรมจะพบว่าส่วนประกาศโพรโตไทป์จะบอกว่าโปรแกรมนี้มีฟังก์ชันชื่อ func1 ให้ใช้งาน และฟังก์ชันนี้จะทำงานเป็นโปรแกรมย่อยเพราะมี void นำหน้า และมีฟังก์ชันชื่อ func2 (int x) ซึ่งจะรับค่าเข้าไปผ่านตัวแปร x และคืนค่าออกมาเป็นจำนวนเต็ม

ตัวแปร และค่าคงที่

การใช้งานตัวแปร และค่าคงที่ต่างๆ จะต้องมีการประกาศชื่อตัวแปรขึ้นมาเสียก่อนเมื่อมีการคอมไพล์โปรแกรมตัวคอมไพเลอร์จะเตรียมพื้นที่ในหน่วยความจำแรมเอาไว้สำหรับเก็บตัวแปร และค่าคงที่เหล่านั้นในการประกาศตัวแปรสามารถทำได้ดังนี้

| | |
|-----------------|-------------|
| ประเภทของข้อมูล | ชื่อตัวแปร; |
|-----------------|-------------|

การประกาศจะต้องเริ่มด้วยชื่อประเภทของข้อมูล และตามด้วยชื่อตัวแปร โดยจะประกาศครั้งละกี่ตัวก็ได้ ส่วนชื่อของตัวแปรนั้นจะซ้ำกันไม่ได้ และต้องไม่ซ้ำกับชื่อของคำสงวน (Keywords) ของคอมไพเลอร์ตัวนั้นๆ สำหรับประเภทของข้อมูลในการประกาศตัวแปรเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.2 ประเภทของข้อมูลของตัวแปร

| ประเภทของข้อมูล | ขนาด (บิต) | ค่าที่เก็บได้ |
|-----------------|------------|--------------------------------|
| int | 1 | 0 ถึง 1 |
| char | 8 | -128 ถึง +127 |
| unsigned char | 8 | 0 ถึง 255 |
| int | 16 | -32768 ถึง +32767 |
| unsigned int | 16 | 0 ถึง 65535 |
| long | 32 | -2147483648 ถึง +2147483647 |
| unsigned long | 32 | 0 ถึง +4294967295 |
| float | 32 | -1.17549e-38 ถึง +3.402823e+38 |

2.5 ตัวดำเนินการในภาษาซี

ตัวดำเนินการเป็นสิ่งที่ใช้กระทำกับตัวแปร ค่าคงที่ต่างๆ ให้รวมเป็นค่าเดียวกันโดยอาจกระทำทางคณิตศาสตร์ หรือกระทำทางลอจิกก็ได้ ในการเขียน โปรแกรมด้วยภาษานั้น ตัวดำเนินการจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำตัวเดียว (Single operand operators) และตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำสองตัว (two operands operators)

2.5.1 ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำตัวเดียว

ตัวดำเนินการประเภทนี้จะกระทำกับตัวถูกกระทำเพียงตัวเดียว ประกอบด้วยตัวดำเนินการต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำตัวเดียว

| สัญลักษณ์ | ความหมาย |
|-----------|--|
| - | ลบ (negate) |
| ~ | กลับค่าลอจิกของบิตข้อมูล (bit wise complement) |
| ! | กลับค่าทางลอจิก (logical complement) |
| ++ | เพิ่มค่าขึ้นหนึ่งค่า (increment) |
| -- | ลดค่าลงหนึ่งค่า (decrement) |
| * | ตัวดำเนินการทางพอยน์เตอร์ |
| & | ตำแหน่งหน่วยความจำของตัวแปร |

2.5.2 ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำสองตัว

ตัวดำเนินการประเภทนี้จะกระทำกับตัวถูกกระทำสองตัว ถ้าหากมีตัวถูกกระทำหลายๆ ตัวสามารถนำมาเขียนรวมกันเป็นประโยคได้ ซึ่งประกอบไปด้วยตัวดำเนินการที่ใช้กำหนดค่า ตัวดำเนินการทดสอบค่าซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นค่าทางลอจิก (จริง, เท็จ) ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ตัวดำเนินการทางลอจิก ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ตัวดำเนินการที่กระทำกับตัวถูกกระทำสองตัว

| สัญลักษณ์ | ความหมาย |
|-----------|---|
| = | กำหนดค่าในประ โยค (assignment) |
| + | บวก |
| - | ลบ |
| * | คูณ |
| / | หาร (division) |
| % | หารแบบบวก (modulo) |
| && | การแอนด์ (logical AND) |
| | การออร์ (logical OR) |
| & | การแอนด์แบบบิตต่อบิต (bit wise AND) |
| | การออร์แบบบิตต่อบิต (bit wise OR) |
| ^ | การเอ็กคลูซีฟออร์แบบบิตต่อบิต (bit wise exclusive OR) |
| << | เลื่อนบิต ไปทางซ้าย |
| >> | เลื่อนบิต ไปทางขวา |
| == | ทดสอบว่าเท่ากันหรือไม่ |
| != | ทดสอบว่าไม่เท่ากันหรือไม่ |
| > | ทดสอบว่ามากกว่าหรือไม่ |
| < | ทดสอบว่าน้อยกว่าหรือไม่ |
| >= | ทดสอบว่ามากกว่าหรือเท่ากับหรือไม่ |
| <= | ทดสอบว่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหรือไม่ |
| += | บวกและให้เท่ากับ |
| -= | ลบและให้เท่ากับ |
| *= | คูณและให้เท่ากับ |
| /= | หารและให้เท่ากับ |
| %= | หารแบบบวก และให้เท่ากับ |
| &= | ทำการแอนด์ และให้เท่ากับ |
| = | ทำการออร์ และให้เท่ากับ |
| ^= | ทำการเอ็กคลูซีฟออร์ และให้เท่ากับ |
| <<= | เลื่อนบิตไปทางซ้าย และให้เท่ากับ |
| >>= | เลื่อนบิตไปทางขวา และให้เท่ากับ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

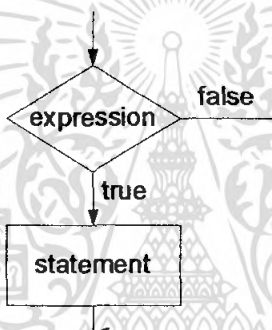
2.6 ประโยคควบคุมในภาษาซี

การทำงานของโปรแกรมนั้นจะทำคำสั่งแต่ละคำสั่งเรียงลำดับกันไป และเราสามารถให้โปรแกรมตัดสินใจในการเลือกทำได้ หรือให้ทำงานใดงานหนึ่งซ้ำๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนดได้โดยใช้คำสั่งควบคุมในภาษาซีนั้นจะมีประโยคคำสั่งควบคุมในการเลือกทำ และทำงานซ้ำๆ ดังนี้

ประโยค IF/ELSE

ประโยคคำสั่งนี้จะใช้ควบคุมทิศทางการทำงานของโปรแกรมโดยจะถูกแปลออกมาเป็นคำสั่งในภาษาแอสเซมบลีดังนี้ jz, jnz, jb, jnb, jc และ jnc โดยมีรูปแบบประโยคคำสั่งดังนี้

```
if (expression)
    statement;
```



รูปที่ 2.5 flow chart รูปประโยค if

ประโยคนี้อใช้ในการทดสอบว่าจะทำสแตตเมนต์ที่ตามมาหรือไม่ ถ้าค่าใน expression เป็นจริงหรือมีค่าไม่เป็นศูนย์จะทำสแตตเมนต์ที่ตามมา ถ้าเป็นเท็จ หรือมีค่าเป็นศูนย์จะไม่ทำ และสแตตเมนต์ที่จะทำงานนั้นอาจเป็นประโยคคำสั่งประโยคเดียว หรือเป็นสแตตเมนต์ซ้อนก็ได้ (ต้องมีปีกกาคลุม)

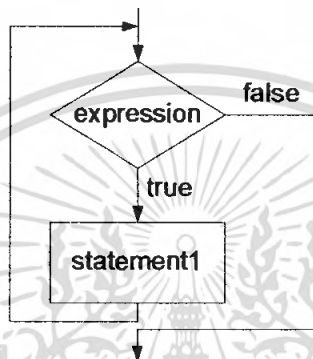
ถ้าหากเป็นการทำงานเลือกทำแบบมีสองเลือก และต้องการทำงานเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง จะใช้ประโยค if-else ซึ่งมีรูปแบบ ดังนี้

```
if (expression)
    statement1;
else
    statement2;
```


ประโยค while

การทำซ้ำแบบนี้จะตรวจสอบเงื่อนไขก่อนการทำซ้ำถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะทำสแตตเมนต์ที่กำหนด และทดสอบเงื่อนไขใหม่ ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะออกมาจากการทำซ้ำทันที โดยมีรูปแบบดังนี้

```
while (expression)
    statement;
```



รูปที่ 2.8 flow chart รูปประโยค while

การอ้างตัวแปรแบบอาร์เรย์

ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีถ้าหากต้องการใช้งานตัวแปรหลายตัวเราสามารถประกาศชื่อตัวแปรออกมาหลายตัวได้ เช่น $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ แต่ถ้าตัวแปรทุกตัวใช้เก็บข้อมูลประเภทเดียวกัน เราสามารถประกาศเป็นตัวแปรแบบอาร์เรย์ (array) ได้ การประกาศตัวแปรแบบอาร์เรย์สามารถทำได้ดังรูปแบบต่อไปนี้

ประเภทของข้อมูล ชื่ออาร์เรย์ [ขนาดอาร์เรย์]

ตัวแปรอาร์เรย์ยังสามารถกำหนดค่าข้อมูลเข้าไปในตัวแปรอาร์เรย์ได้เลย

ประเภทของข้อมูล ชื่ออาร์เรย์ [] = {ข้อมูลที่ 1, ข้อมูลที่ 2, ..., ข้อมูลที่ n}

ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อมีการประกาศตัวแปรอาร์เรย์ ระบบจะจองหน่วยความจำสำหรับเก็บตัวแปรอาร์เรย์นั้น ตัวแปรประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมแบบเปิดตารางได้

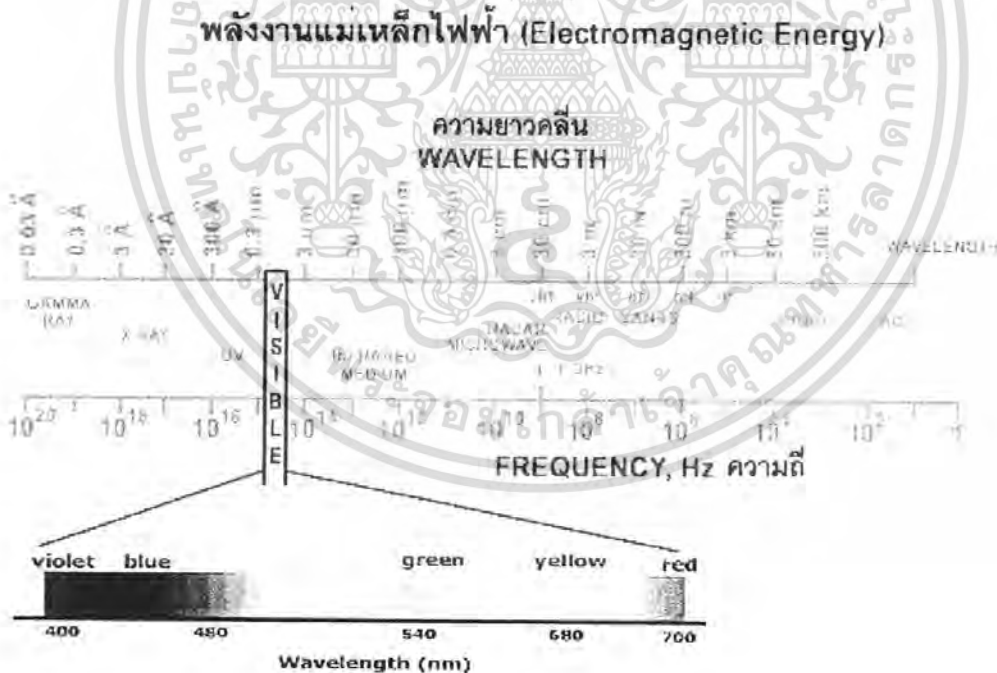
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แสง (Light)

แสงประกอบด้วยอนุภาค (particle) เรียกว่า “โฟตอน” มีคุณสมบัติเหมือนคลื่นของพลังงาน (wave of energy) โฟตอนนั้นเรามองไม่เห็น แต่สังเกตเห็นได้ คือ แสง โฟตอนเกิดจากการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงกว่าระดับปกติ แล้วปล่อยให้กลับมาอยู่ในระดับปกติตามเดิม พฤติกรรมของโฟตอนคล้ายคลื่น (wave) ระยะระหว่างยอดคลื่น (crest) เรียกว่า “ความยาวคลื่น” (wave length) อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นสู่ระดับพลังงานสูง (high energy level) จะปลดปล่อยโฟตอนที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า โฟตอนที่ปล่อยจากอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นกลับลงมาสู่ระดับต่ำกว่า (lower energy level) อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น สามารถกลับสู่ระดับปกติ (normal level) ได้ด้วยตัวของมันเอง (ไม่จำเป็นต้องกระตุ้น) หรือ โฟตอนที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนให้กลับสู่ระดับปกติได้ ปรากฏการณ์นี้นำไปใช้ประโยชน์ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) หรือที่เรียกกันว่า “หลอดนีออน”

2.7.1 แถบแม่เหล็กไฟฟ้า (The electromagnetic spectrum)

แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) จะอยู่ในรูปของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ความยาวของคลื่นแสง บอกเป็น นาโนเมตร 1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร



รูปที่ 2.9 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 แถบรังสีที่ตามองเห็นได้ (Optical Spectrum)

รังสีเหนือม่วง แสงที่เห็นได้ และรังสีใต้แดง (Infrared) รวมกัน เรียกว่า แถบรังสีที่มองเห็นได้ (Optical Spectrum) สารกึ่งตัวนำทางแสงทั้งหลาย จะปลดปล่อย หรือจับรังสีใกล้เคียง เช่น ซิลิกอนจับแสงที่มองเห็นได้ แต่ส่วนมากจะไวต่อรังสีใกล้เคียง (ความยาวคลื่นประมาณ 800 nm) เพราะอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำทางแสงทั้งหลาย จะทำงานทั้งทำงานทั้งแสงที่มองเห็นได้ และรังสีใกล้เคียง โดยทั่วไปจึงอ้างอิงกับรังสีใกล้เคียง

2.8 อุปกรณ์ที่ใช้กับแสง (Optical Components)

อุปกรณ์เหล่านี้ นำ, เปลี่ยนทิศทาง หรือเปลี่ยนคุณสมบัติของแสง มีมากมาย และมีความสำคัญมาก ในการนำมาใช้ประโยชน์ของสารกึ่งตัวนำทางแสง (Photonic Semiconductor)

1. ตัวกรอง (Filter) จะยอมให้แสงผ่านเฉพาะแถบคลื่นแถบๆ (Narrow Band)
2. ตัวสะท้อน (Reflector) สะท้อนเฉพาะบางส่วน หรือส่วนใหญ่ของลำแสง (Light Beam) แสงบางส่วนอาจจะผ่าน หรือไม่ผ่านไปได้
3. ตัวแยกลำแสง (Beam Splitter) จะสะท้อนบางส่วนของลำแสง และส่วนที่เหลือจะผ่านไป
4. เลนส์ (Lens) จะโค้งงอแสงได้ (Bend Light) มักใช้ร่วมกับสารกึ่งตัวนำที่เป็นแหล่งของแสง หรือเป็นตัวจับแสง เช่น รวมแสงให้เป็นจุดเล็กๆ ให้ตกบนตัวจับแสงขนาดเล็กได้ โดยทั่วไปจะมีเลนส์นูนสร้างติดมาในตัว
5. เส้นใยแสง (Optical Fiber) มีขนาดเล็กอ่อนตัว และติเกลิยวได้ มีความโปร่งใสสูง (Highly Transparent) เป็นตัวนำแสง แสงจะเดินผ่านแกนกลางซึ่งหุ้มด้วยผ้าบางๆ เส้นใยที่ทำด้วยพลาสติก มีราคาแพงมาก ส่วนเส้นใยที่ทำด้วยแก้วจะใสกว่ามาก ทั้งสองชนิดต่างก็ส่งผ่านแสงบางช่วงคลื่นได้ดีกว่าอย่างอื่น เส้นใยที่มีคุณภาพสูงใช้ส่งสัญญาณโทรศัพท์ หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ด้วยแสงเป็นช่วง (Pulses of Light)

2.9 อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Light Sensor)

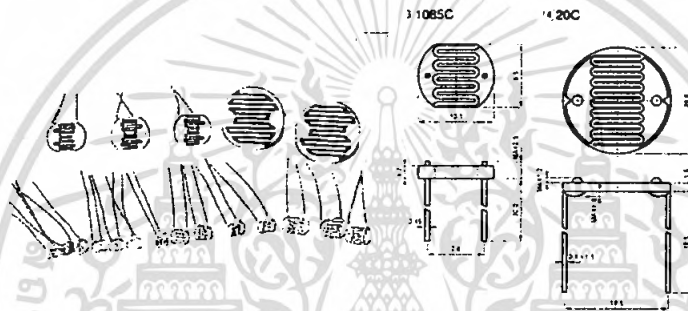
อุปกรณ์ตัวรับแสง หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้แปรค่ากับค่าของพลังงานไฟฟ้าได้ โดยตัวอุปกรณ์จะต้องประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งอาจจะนำมาต่อเชื่อมให้เกิดเป็นรอยต่อ หรือเป็นเนื้อสารกึ่งตัวนำอย่างเดียวกันก็ได้ อย่างอุปกรณ์เหล่านี้พอที่จะแยกแยะอธิบายได้ดังนี้

อุปกรณ์ตัวรับแสงจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวมันซึ่งอยู่ในรูปแบบทางไฟฟ้า ให้แปรกับค่าของพลังงานที่ได้รับ โดยอุปกรณ์ตัวรับแสงจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งอาจจะนำมาต่อเชื่อมให้เกิดเป็นรอยต่อ หรือเป็นเนื้อสารกึ่งตัวนำอย่างเดียวกันก็ได้ ซึ่งคุณสมบัติที่ได้ก็จะ

แตกต่างกันในแต่ละชนิด ตัวอย่างของอุปกรณ์ตัวรับแสง ได้แก่ ตัวต้านทานไวแสง (LDR) โฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตเอสซีอาร์ และเซลล์แสงอาทิตย์ ในที่นี้จะเลือกกล่าวถึงเฉพาะ โฟโตไดโอดเท่านั้น

2.9.1 ตัวต้านทานไวแสง หรือแอลดีอาร์ (LDR)

แอลดีอาร์ (LDR) มาจากคำว่า “Light Dependent Resistor” หรือค่าตัวต้านทานที่แปรค่าได้กับแสงนั่นเอง โดยเมื่อป้อนพลังงานอย่างพอเพียงให้กับวาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดการแตกตัวของโฮล และอิเล็กตรอนเกิดขึ้นมากมาย พลังงานที่จะทำให้โฮล-อิเล็กตรอนแตกตัวนี้จะต้องเป็นพลังงานที่มาจากภายนอก เช่น แสง ความร้อน ปริมาณของพลังงานที่ต้องการทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอน-โฮล จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารนั้นๆ

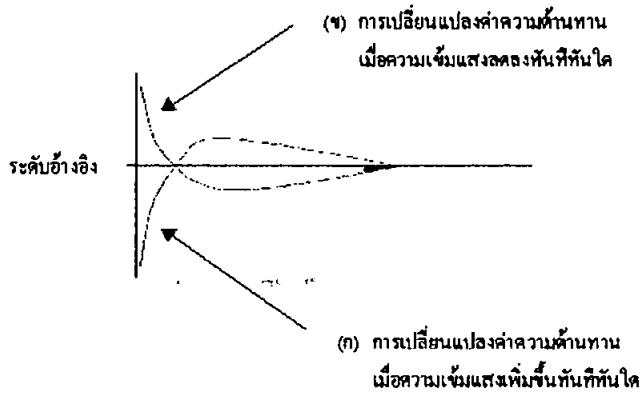


รูปที่ 2.10 LDR

การทำงานของตัวต้านทานไวแสง

ลักษณะการทำงานของแอลดีอาร์จะเห็นได้ว่าเมื่อแสงมีความเข้มมากๆ มาตกกระทบ ทำให้สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นเป็นผลทำให้ค่าความต้านทานในตัวของมันลดลง แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบความต้านทานจะสูงมาก (ประมาณเมกะโอห์ม)

ตัวต้านทานไวแสง อาจต้องการเวลา 2 – 3 ล้านมิลลิวินาที หรือมากกว่า เพื่อให้ได้รับการตอบสนองอย่างเต็มที่ ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสง หรืออีกนัยหนึ่งมีความไวช้า อาจต้องใช้เวลาหลายนาทีก่อนเพื่อกลับคืนสู่สภาพของความต้านทานเดิมที่ไม่ได้รับแสง เมื่อนำแสงออกไปแล้วลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า “memory effect”



(ก) การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นที่ทันได

(ข) การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อความเข้มแสงลดลงที่ทันได

รูปที่ 2.11 คุณสมบัติของ LDR

แอลดีอาร์ส่วนใหญ่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกแคดเมียมซัลไฟด์ หรือแคดเมียมเซเลไนด์ ซึ่งให้ผลตอบสนองต่อแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 – 1000 nm ซึ่งเป็นช่วงแถบแสงที่มองเห็นได้พอดี



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของ LDR

ข้อดีในการใช้งานของแอลดีอาร์ คือ มีความไวต่อแสงสูง ราคาถูก และมีขนาดเล็ก มีการเปลี่ยนแปลงค่าได้กว้าง แต่ก็ยังมีข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์รับแสงอื่นๆ คือ มีผลตอบสนองต่อความถี่ของแสงได้แคบ

2.9.2 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

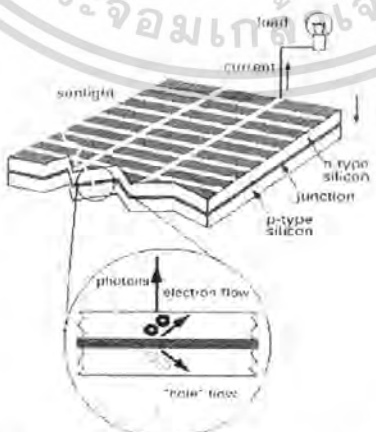
เซลล์แสงอาทิตย์ แตกต่างจากแอลดีอาร์ เพราะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างแรงดันขึ้นที่ตัวมันได้เอง หรือเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ตัวอุปกรณ์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ p-n ที่ประกอบเป็นรอยต่อ และเมื่อประกอบเป็นวงจรถักไม่จำเป็น จะต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟภายนอก และจะมีกระแสไหลผ่านวงจรมันได้เอง สารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก ซิลิกอน หรือ เจมาเนียม เป็นส่วนใหญ่ สำหรับสารเจมาเนียมแล้วจะให้ผลตอบสนองต่อแสงที่ตาเรามองเห็นได้ ส่วนซิลิกอนจะให้ผลตอบสนองก่อนไปทางอินฟราเรด ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ซิลิกอนจึงเหมาะที่จะติดกับยานอวกาศเพื่อใช้แปลงพลังงานไฟฟ้าในอวกาศ



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อชั้นสารกึ่งตัวนำ ได้รับแสงจะทำให้มีโฮล-อิเล็กตรอนแยกตัวออกจากกัน ถ้าหากเป็นการแยกที่เกิดทางคว้นสารชนิด p อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นก็จะเคลื่อนกลับเข้าไปทางชนิด n ถ้าหากว่าเกิดการแตกตัวที่ผิวชนิด n ตัวโฮลก็จะเสมือนเคลื่อนเข้าทางผิวชนิด p จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของพาหะเป็นผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมัน ถ้าหากต่อให้ครบวงจรก็เกิดการไหลของกระแสขึ้นได้



รูปที่ 2.14 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

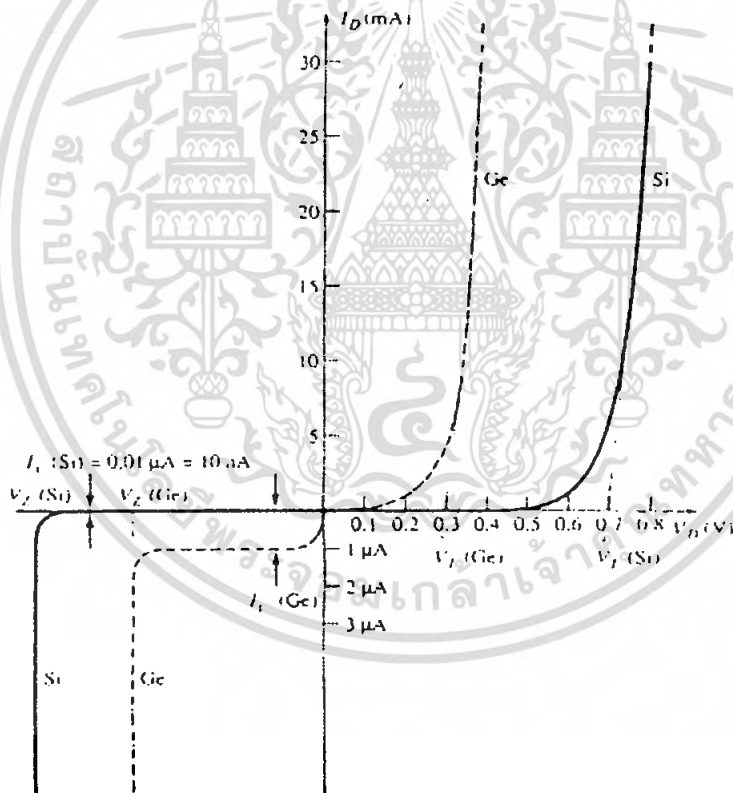
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสารชนิดเจมาเนียมจะให้ผลตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 250 – 750 nm แต่สำหรับซิลิกอนจะอยู่ในช่วง 350 – 1,150 nm

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ถูกทำขึ้นมากมายหลายชนิด แต่มักแบ่งเป็นเซลล์อิสระ ต้องนำมาต่ออนุกรม หรือ ขนานกัน ตามต้องการ

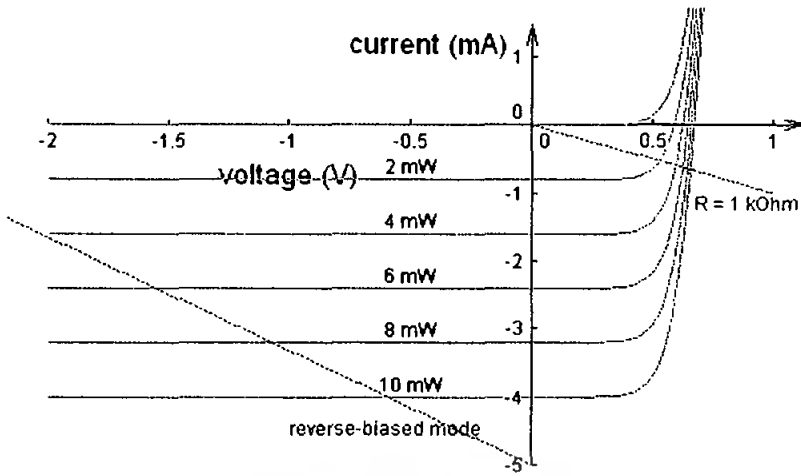
2.9.3 โฟโตไดโอด (Photo Diode)

โฟโตไดโอด เป็นอุปกรณ์ไวแสงชนิดหนึ่งประกอบด้วยรอยต่อ p-n เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ แต่มีลักษณะบางอย่างแตกต่างกัน คือ การใช้งานตัวโฟโตไดโอดจะให้กระแสไหลผ่านตัวมันที่ขึ้นอยู่กับแสง เมื่อโฟโตไดโอดชนิดซิลิกอนถูกไบแอสย้อนกลับด้วยแรงดันค่าหนึ่ง และมีแสงส่องไปที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่ส่องมีความยาวคลื่นที่พอเหมาะจะมีกระแสไหลในวงจร โดยเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ส่องผ่านบนอุปกรณ์นั้น ลักษณะทั่วไปขณะไบแอสตรงจะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดา คือ ให้กระแสผ่านตัวมันได้



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของโฟโตไดโอด

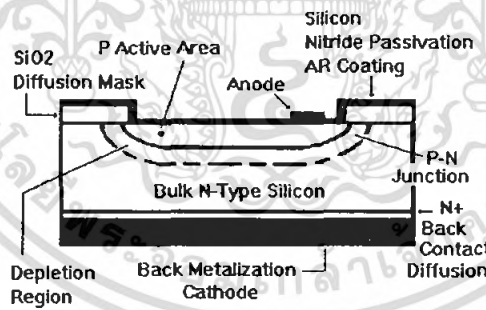
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กราฟไบแอสย้อนกลับกับกระแสของโฟโตไดโอด

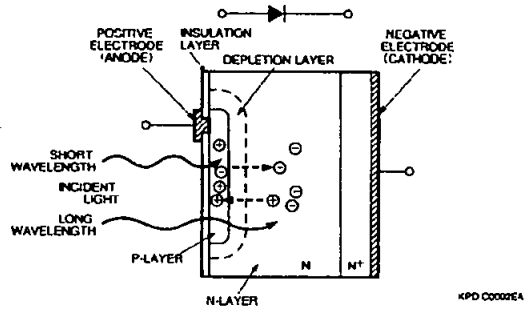
การทำงานของโฟโตไดโอด

การไบแอสโฟโตไดโอดทำได้โดยให้ไบแอสย้อนกลับกับไดโอด คือ ต่อขั้วบวกของแรงดันของแหล่งจ่ายเข้ากับแคโทด และต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายเข้ากับแอโนด เมื่อแสงตกกระทบบริเวณรอยต่อ p-n จะทำให้เกิดการแตกตัวของโฮล และอิเล็กตรอนอิสระ โฮลและอิเล็กตรอนอิสระจะถูกแรงดันไบแอสย้อนกลับเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลข้ามรอยต่อเป็นกระแส เนื่องจากแสงได้ ยิ่งความเข้มของแสงมากขึ้นกระแสจะไหลผ่านโฟโตไดโอดได้มากขึ้นโดยปกติค่ากระแสเนื่องจากแสงนี้มีค่าน้อยค่ามาก คือ อยู่ในช่วง 1 – 10 μA เท่านั้น

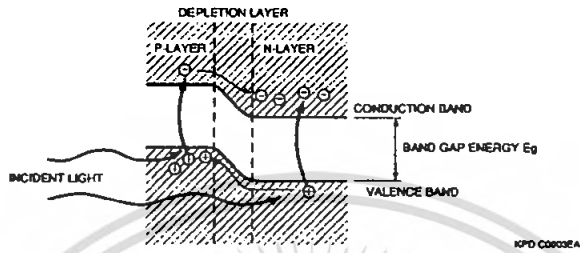


รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



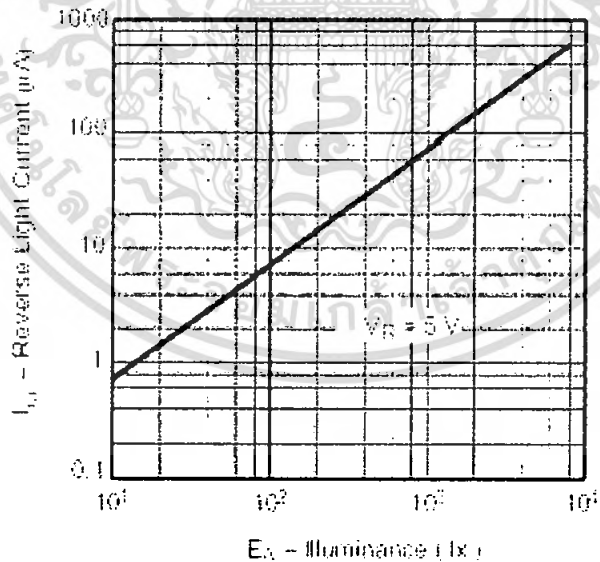
(b): Photodiode P-N Junction State



รูปที่ 2.18 การทำงานของโฟโต้ไดโอด

ลักษณะสมบัติของโฟโต้ไดโอด

เมื่อทดลองหาลักษณะสมบัติของโฟโต้ไดโอด โดยทดสอบการนำกระแสของโฟโต้ไดโอด เมื่อนำไดโอดได้รับแสงสว่างปริมาณแตกต่างกัน โดยให้แรงดันไบแอสย้อนกลับในรอยต่อ p-n ของโฟโต้ไดโอด กราฟลักษณะสมบัติทางกระแส และปริมาณความเข้มแสง แสดงดังรูป



รูปที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกระแสโฟโต้

ชนิดของโฟโตไดโอด รูปร่างตัวถังมีหลายแบบ เช่น ตัวถังพลาสติก ตัวถังโลหะ มีเลนส์ในตัว และมีตัวกรองแสงด้วย โฟโตไดโอดมีทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ โดยที่โฟโตไดโอดขนาดเล็ก (Small Area Photodiode) จะมีเวลาตอบสนองต่อแสงอย่างรวดเร็ว เมื่อให้ไบแอสย้อนกลับ ส่วนโฟโตไดโอดขนาดใหญ่ (Large Area Photodiode) เวลาตอบสนองจะช้ากว่าโฟโตไดโอดที่มีพื้นที่เล็ก แต่พื้นที่มาก จะทำให้มีความไวสูง (high sensitivity)



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างโฟโตไดโอด และสัญลักษณ์

เนื่องจากไดโอดนี้ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำ ดังนั้นการใช้งานของโฟโตไดโอดจึงต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม ผู้ผลิตจึงหันมาผลิตอุปกรณ์อย่างอื่น เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์แทน

ไดโอดที่ไวต่อแสงชนิดซิลิกอนมีสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำ และผลตอบสนองแสงไว นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมผลตอบสนองต่อความถี่ของแสง และความเร็วได้โดยรูปร่างลักษณะ และการไบปของรอยต่อ

2.9.4 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โฟโตทรานซิสเตอร์ มีโครงสร้างแตกต่างจากโฟโตไดโอด คือ บริเวณที่รับแสง คือ รอยต่อ p-n ระหว่างเบสกับคอลเลกเตอร์ และกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ระหว่างขั้วอิมิตเตอร์กับคอลเลกเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์นั้นเปรียบเหมือนสวิตช์แสง (light switch) เพราะเมื่อมีแสงมากระทบรอยต่อระหว่างเบส-คอลเลกเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลตามสมการ

$$I_c = \beta I_L \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------|---|---|
| โดยที่ I_c | = | กระแสคอลเลคเตอร์ |
| β | = | อัตราขยายกระแสของโฟโตทรานซิสเตอร์ |
| I_d | = | กระแสเบสที่เกิดจากแสงตกกระทบบนรอยต่อเบส-คอลเลคเตอร์ |

โฟโตทรานซิสเตอร์อาศัยหลักการเดียวกับโฟโตไดโอด แต่โฟโตทรานซิสเตอร์ให้ข้อดีกว่าโฟโตไดโอดมาก ทั้งนี้เพราะว่ากระแสที่ได้จะผ่านการขยายด้วยทรานซิสเตอร์ก่อน ในภาวะปกติของการใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์รอยต่อระหว่างเบสอิมิตเตอร์จะต่อไบแอสตรง ส่วนรอยต่อระหว่างเบสคอลเลคเตอร์จะต่อไบแอสย้อนกลับที่รอยต่อนี้เองเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการแปลค่ากระแสที่ขึ้นกับแสง



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างโฟโตทรานซิสเตอร์ และสัญลักษณ์

การทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์

เมื่อไบแอสโฟโตทรานซิสเตอร์ให้ถูกต้อง โดยให้ไบแอสแรงดันระหว่างขั้วอิมิตเตอร์กับคอลเลคเตอร์ สำหรับเบสไม่ต้องให้ไบแอส ขณะนี้ถ้าไม่มีแสงตกกระทบบนรอยต่อของเบส-คอลเลคเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน จะไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่จะมีกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์จำนวนหนึ่ง เรียกว่า "Dark Current"

เมื่อไบแอสกลับที่รอยต่อระหว่างเบสคอลเลคเตอร์ และมีแสงฉายมาที่บริเวณรอยต่อ กระแสเบสจะถูกขยายด้วยอัตราขยายของทรานซิสเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์ และถ้าไบแอสขั้วเบสด้วยกระแสภายนอกก็จะถูกขยายรวมกับกระแสเนื่องจากแสงด้วย

ถ้าอัตราขยายสูง จะทำให้ผลตอบสนองต่อแสงจะไวขึ้น ค่า h_{FE} สูงๆ จะต้องทำให้รอยต่อเบส-คอลเลคเตอร์มีพื้นที่มาก แต่ก็ทำให้กระแสรั่วไหลสูงขึ้นด้วย เพราะรอยต่อจะถูกไบแอสกลับ

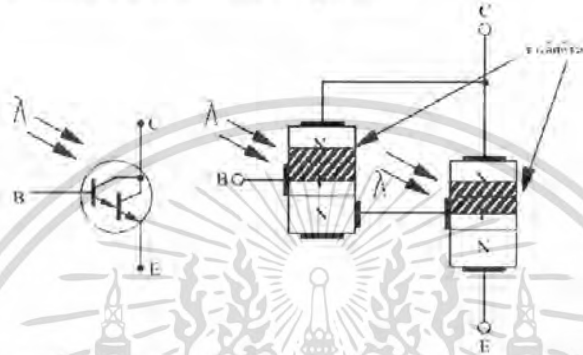
ชนิดของโฟโตทรานซิสเตอร์ ราคาถูก โดยทั่วไปได้ถึงมีหลายแบบ เช่น แบบกระป๋องโลหะ (Metal Can) เลนซ์แก้ว แบบหน้าต่างแบบๆ (Flat Window) เป็นต้น ขาเบสอาจมี หรือ ไม่มีก็ได้ แต่ส่วนมากจะไม่มีขาเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 โฟโตคาร์ลิงตัน (Photo Darlington)

โฟโตคาร์ลิงตันก็คือโฟโตทรานซิสเตอร์ 2 ตัวที่ต่อร่วมกันลักษณะวงจรรคาร์ลิงตัน คือ ต่อในลักษณะอิมิตเตอร์ของตัวหนึ่งจะต่อเข้าขาเบสของอีกตัวหนึ่ง ลักษณะการต่อเช่นนี้จะทำให้ทรานซิสเตอร์มีอัตราขยายกระแสสูงขึ้นอีกมาก

จะเห็นได้ว่าสำหรับโฟโตคาร์ลิงตัน จะได้อัตราการขยายทั้งหมดสูงกว่าแบบโฟโตทรานซิสเตอร์ธรรมดา แต่ความเร็วของการสวิตช์จะช้ากว่า และกระแสมีด หรือกระแสเมื่อไม่มีแสงมากระทบก็จะสูงกว่าด้วย เนื่องจากอัตราการขยายที่สูงกว่า



รูปที่ 2.22 ตัวอย่าง โฟโตคาร์ลิงตัน และสัญลักษณ์

2.9.6 โฟโตเอสซีอาร์ (LASCR)

เอสซีอาร์ทำงานด้วยแสง (Light-Activated SCR) หรือ LASCR คือ เอสซีอาร์ที่ใช้แสงเพื่อจุดชนวนแทนกระแสเกตเหมือนเอสซีอาร์ทั่วไป นิยมใช้ LASCR เป็นสวิตช์แสงคล้ายกับโฟโตทรานซิสเตอร์ แต่ LASCR นั้นมีคุณสมบัติการหยุดนำกระแสเหมือนเอสซีอาร์ทั่วไป คือ ต้องทำให้กระแสแอโนดต่ำกว่ากระแสเทสโธล ($I_L < I_{TH}$) LASCR แบบนี้ทำขึ้นให้บางกว่า SCR มาตรฐานด้วยเหตุนี้จึงจำกัดปริมาณกระแสที่จะผ่านตัวมัน สำหรับการใช้งานกับกระแสสูงๆ LASCR จะใช้เป็นเพียงตัวกระตุ้น (Trigger) ของ SCR ธรรมดาเท่านั้น

LASCR ส่วนมากจะทำที่แรงเคลื่อนได้ไม่กี่ร้อยโวลต์ และใช้กับกระแสอย่างมาก ประมาณไม่กี่ร้อยมิลลิแอมป์



รูปที่ 2.23 ตัวอย่าง โฟโตเอสซีอาร์ และสัญลักษณ์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงมีรูปร่างหลายแบบขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการใช้งาน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์เป็นตัวอิสระ เช่น ตัวปล่อยแสง หรือตรวจจับแสง
2. อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสง และการสะท้อนของแสง ซึ่งจะตรวจวัดต่างๆ โดยควบคุมทิศทางของแสง
3. อุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสง ซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีสายเชื่อมโยง

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงที่เป็นตัวอิสระที่ปล่อยแสง หรือตรวจจับแสง
ภาชนะหุ้มต้องทำหน้าที่ป้องกันชิ้นส่วนภายใน และยอมให้แสงผ่านไปได้ นั่นคือตัว
กระป๋องหุ้มต้องมีช่องแสง ช่องแสงอาจมีเลนส์เป็นส่วนประกอบเพื่อให้ผลตอบสนองดีขึ้น
ความไว และมุมรับแสงได้กว้างการกระจายของแสงลดลง อุปกรณ์ในการค้าส่วนใหญ่เลนส์จะเป็น
ผลต่อตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงอย่างมาก ดังนั้นถ้าต้องการอุปกรณ์ที่มีอัตราขยายสูง จึง
ควรใช้อุปกรณ์ที่มีเลนส์ภายนอกแทน

สารที่ใช้ทำภาชนะหุ้มมี 2 ชนิด คือ พลาสติก และเซรามิกทั้งสองแบบมีทั้งชนิดมีเลนส์
และไม่มีเลนส์ แบบพลาสติกแกนของเลนส์จะตั้งฉากกับขา หรือขั้วต่อภายนอก แต่แบบเซรามิก
แกนจะขนานกับขาภายนอกชนิดเซรามิกสามารถทำงานได้ที่กำลังสูงๆ ช่วงอุณหภูมิกว้าง และ
ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีกว่า แต่ราคาแพงกว่าแบบพลาสติก

รูปที่ 2.24 ตัวอย่างอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในการปล่อยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสง และการสะท้อนของแสง

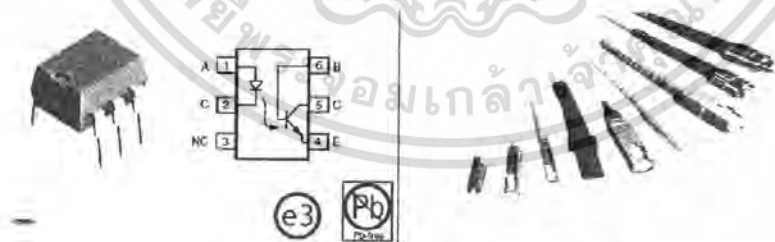
อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงส่วนใหญ่ในทางการค้าจะสร้างขึ้นจากตัวปล่อยแสง และตัวรับแสงแบบพลาสติก เพราะมีราคาถูก และประกอบเข้าได้ง่ายกับวัสดุอย่างอื่น อุปกรณ์บางชนิดอาจจะสร้างขึ้นจากทั้งแบบพลาสติก และเซมิคอนดักเตอร์ได้ขึ้นอยู่กับราคา และลักษณะคุณสมบัติที่ต้องการ เนื่องจากแบบสะท้อนแสงจะต้องให้แสงพุ่งเป็นลำสะท้อนกลับมายังตัวรับแสง ดังนั้นจึงควรใช้อุปกรณ์ชนิดมีเลนส์ด้วย เพื่อให้การทำงานได้ผลดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างอุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสง และการสะท้อนของแสง

3. การเชื่อมต่อด้วยแสง

อุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสง หรือเรียกว่า “ออฟโต ไอโซเลเตอร์” เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ส่วนๆ ทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจะคงที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ ใช้เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นแสง และจากแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีสายเชื่อมโยงต่อระหว่างวงจรแรงดันระหว่างอุปกรณ์สองข้าง คือ ตัวปล่อยแสง และตัวรับแสง จะมากน้อยขึ้นกับระยะระหว่างตัวปล่อยแสง และตัวรับแสง ระยะยิ่งห่างกันมากแรงดันทั้งหลายก็ยังมีค่าที่สูง แต่ข้อเสีย คือ อัตราการส่งผ่านสัญญาณจะน้อยจึงต้องจัดระยะห่างให้ได้ดีที่สุด ในกรณีแบบขาสองแถวคู่ฉนวนควรจะเป็นแก้วจะทนแรงดันไฟระหว่างตัวอุปกรณ์ได้ถึง 5,000 โวลต์

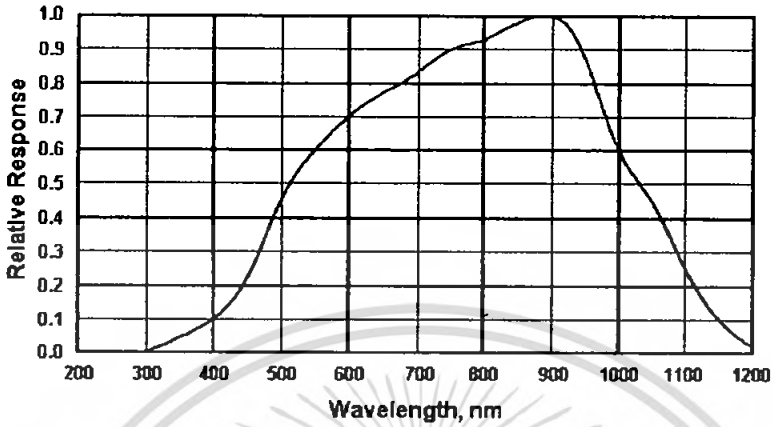


รูปที่ 2.26 ตัวอย่างอุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

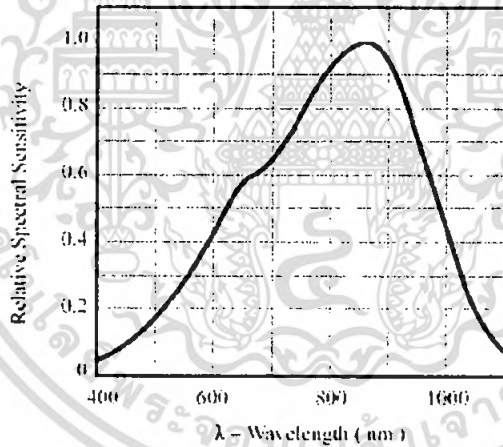
2.10 สเปกตรัมของอุปกรณ์รับแสง ปล่อยแสงและค่าประสิทธิภาพ

คำว่า “แสง” ที่ใช้ในที่นี่จะหมายถึงแสงทั่วๆ ไปในสเปกตรัมไม่เฉพาะเจาะจงว่าจะต้องเป็นแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเท่านั้น



Typical Silicon Photodiode Spectral Response

รูปที่ 2.27 ผลการตอบสนองความยาวคลื่นของโฟโตไดโอด



Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

รูปที่ 2.28 ผลการตอบสนองความยาวคลื่นของโฟโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสเปกตรัมของอุปกรณ์ไวแสงแสดงให้เห็นว่า โฟโตทรานซิสเตอร์มีผลตอบสนองสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 nm และ 1,000 nm สำหรับเอสซีอาร์จะให้ผลตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นประมาณใกล้เคียงกับโฟโตทรานซิสเตอร์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของตาซึ่งมีค่าในช่วงประมาณ 370 nm ถึง 750 nm จะเห็นว่าโฟโตทรานซิสเตอร์ให้ผลตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็นได้ดีกว่า

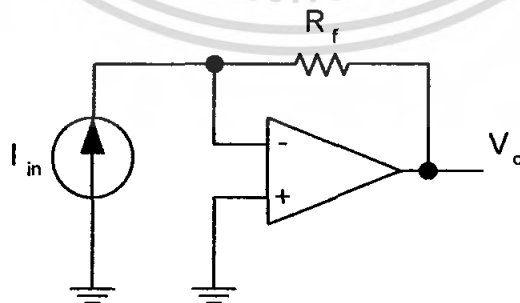
เนื่องจากสเปกตรัมของตัวให้แสง และตัวรับแสงไม่ตรงกันพอดีจึงมีการหาประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อก่าประสิทธิภาพเท่ากับพื้นที่ร่วมกัน ได้กราฟของสเปกตรัมระหว่างตัวให้แสง และตัวรับแสงหารด้วยพื้นที่ได้กราฟของตัวให้แสง

2.11 การประมวลผลสัญญาณอนาลอกเชิงเส้น (Linear Analog Signal Processing)

การนำวงจรออปแอมป์แบบต่างๆ ที่มีการนำเอาไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านการประมวลผลสัญญาณอนาลอก (Analog signal processing) ลักษณะต่างๆ เช่น ในระบบเครื่องมือวัด ระบบควบคุมค่ากระบวนการ หรือในระบบสื่อสารต่างๆ ไป เป็นต้น ในที่นี้ได้นำวงจรออปแอมป์มาใช้ในการขยายสัญญาณอนาลอก เพื่อให้ได้ชนิด และขนาดของสัญญาณที่เหมาะสมที่จะนำไปประมวลผลต่อไป โดยใช้วงจรออปแอมป์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเป็นไปตามคุณสมบัติของความเป็นเชิงเส้น (linear op-amp circuit)

2.11.1 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Current-to-Voltage Converters)

วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน หรือวงจร I-V นั้นเป็นลักษณะของวงจรแบบแหล่งจ่ายแรงดันควบคุมกระแส (current-controlled voltage source, CCVS) ซึ่งรับกระแสอินพุตแล้วมาเปลี่ยนให้เป็นแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าเท่ากับ $V_{out} = A I_{in}$ โดยที่ A คือ อัตราขยาย (gain) ของวงจรมีหน่วยเป็น โอห์ม (ohm,) บางครั้งอัตราขยาย A ของวงจรถูกนิยามเขียนในรูปของ R (Trans-resistance gain) มากกว่า ดังนั้นวงจร I-V อาจจะถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “วงจรขยายค่าความต้านทาน” (Trans-resistance amplifier) ก็ได้



รูปที่ 2.29 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

วงจร I-V พื้นฐานได้แสดง เมื่ออาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์จะได้ $V_i = 0$ และ $I_{in} = I_R$ ทำให้แรงดันเอาต์พุตของวงจร มีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = -I_{in} R_f \quad (2.2)$$

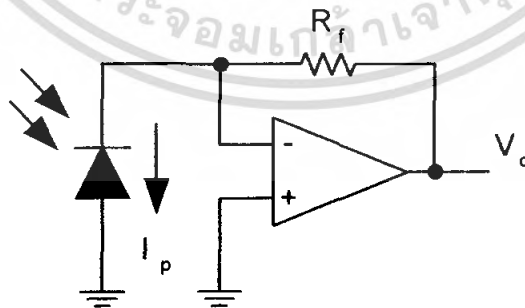
หากทำการเปลี่ยนตัวต้านทาน R ให้เป็นอิมพีแดนซ์ (Z) จะได้

$$V_{out} = -I_{in} Z \quad (2.3)$$

และเรียกวงจรนี้ว่า “วงจรรขยายค่าอิมพีแดนซ์” (Trans-impedance amplifier) นอกจากนี้ข้อดีประการหนึ่งของวงจรมีคือ สามารถขจัดปัญหาเรื่องผลการโหลดของสัญญาณ (loading effects) ที่อินพุต และที่เอาต์พุตของวงจรให้ลดลงไปได้ ทั้งนี้เนื่องจากออปแอมป์มีแรงดันอินพุตออปเซตประมาณศูนย์ ($V_i = 0$) ทำให้กระแสอินพุตจากแหล่งจ่ายสามารถไหลเข้าวงจรได้เกือบทั้งหมด ดังนั้นผลของกระแสที่ไหลผ่านค่าความต้านทานภายใน (R_i) ของแหล่งจ่ายกระแสซึ่งต่อขนานอยู่ในวงจรถือว่าน้อยมาก และในทำนองเดียวกันทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์นั้นถือว่ามีความต้านทานต่ำมาก ทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรสามารถจ่ายให้กับโหลดได้เกือบทั้งหมด

วงจรรขยายความเข้มแสง (Photo detector Amplifier)

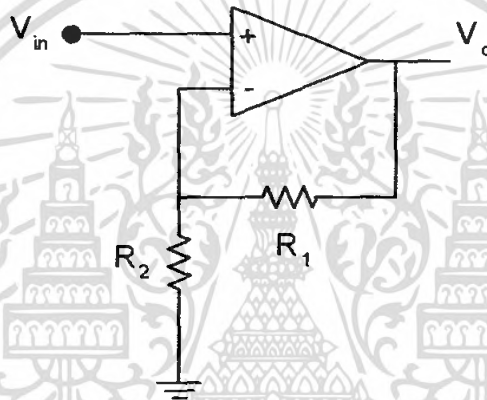
อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสง (Photo detector) คือ ทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าแปรผันตามปริมาณของแสง หรือการแผ่ของรังสีที่ตกกระทบตัวมัน ดังนั้นการนำเอาวงจร I-V มาใช้กับอุปกรณ์ชนิดนี้ก็เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ทั้งยังช่วยขจัดปัญหาเรื่องการโหลดของสัญญาณอีกด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุด คือ โฟโตไดโอด (photodiode) เพราะว่ามีราคาถูก ขนาดเล็ก และกินไฟต่ำ



รูปที่ 2.30 วงจรรขยายความเข้มแสง

2.11.2 วงจรขยายสัญญาณพื้นฐานโดยใช้โอปแอมป์ (Basic Amplifier Configurations Using Op-Amps)

วงจขยายสัญญาณโอปแอมป์ (Operational Amplifier, Op-Amp) หรือเรียกสั้นๆ ว่า “โอปแอมป์” นั้นก็เป็นวงจขยายสัญญาณพื้นฐานสำเร็จรูปอีกชนิดหนึ่งที่ถูกรอกแบบ และนำไปบรรจุลงในชิปไอซีเดียวกัน ซึ่งนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก (Analog signal processing) ต่างๆ มากมาย เช่น ระบบสื่อสาร ระบบการวัด และระบบควบคุมกระบวนการผลิต เป็นต้น เนื่องจากการใช้งานของโอปแอมป์ไม่ยุ่งยาก และง่ายต่อการออกแบบวงจรต่างๆ ทั้งราคาของโอปแอมป์ก็ถูกลงมาก จึงนับว่าโอปแอมป์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (Active Device) ที่สำคัญและมีประโยชน์มากในระบบการประมวลผลสัญญาณอนาล็อกรูปแบบต่างๆ ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวงจขยายสัญญาณพื้นฐานแบบไม่กลับเฟสเท่านั้น



รูปที่ 2.31 วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier)

วงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier) มีลักษณะการต่อดังรูปสังเกตว่าการต่อวงจรคล้ายกับวงจขยายสัญญาณแบบกลับเฟสมากจะต่างกันตรงที่สัญญาณอินพุตของวงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสถูกป้อนเข้าทางขาไม่กลับเฟส (Non-inverting input) เท่านั้น ดังนั้นวงจนี้จึงมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก เพราะเป็นอินพุตอิมพีแดนซ์ของโอปแอมป์นั่นเอง โดยวงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส มีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุต มีค่าเท่ากับ

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) V_{in} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog-to-Digital Converters)

ในโลกของเรามีปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสง เสียง หรือแม้กระทั่งสัญญาณทางไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น แรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า ก็ตามสัญญาณต่างๆ เหล่านี้จัดว่าเป็นสัญญาณในเชิงอุปมาน หรือสัญญาณอนาลอก (Analog signal) ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าตลอด ทำให้ระบบหรือกระบวนการควบคุมค่าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณทางฟิสิกส์ทั้งหมด มีการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบของสัญญาณอนาลอก (Analog signal processing) แต่ในปัจจุบันด้วยความเจริญรุดหน้าของเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ ทำให้คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในทุกๆ ด้าน ซึ่งพบว่าคอมพิวเตอร์ถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญในระบบ อุปกรณ์ และเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ มากมาย แต่เนื่องจากกระบวนการคำนวณ และประมวลผลต่างๆ ของคอมพิวเตอร์อาศัยพื้นฐานของเลขฐานสอง (binary code) ซึ่งเป็นรูปแบบของสัญญาณเชิงตัวเลข หรือสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) ที่มีสถานะของสัญญาณอยู่สองสถานะ คือ สถานะสูง (high) มีลอจิกเท่ากับ “1” และสถานะต่ำ (low) มีลอจิกเท่ากับ “0” จึงทำให้คอมพิวเตอร์มีการประมวลผลกลาง ควบคุม และตัดสินใจ จึงจำเป็นต้องมีองค์ประกอบสำคัญซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อให้สัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัลสามารถสื่อสารกันได้ หรือทำหน้าที่เป็นส่วนแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้สามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลส่วนอื่นของระบบได้

กระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

โดยชนิดของ ADC สามารถแบ่งออกได้ตามช่วงเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้ คือ

1. แบบ Dual-Slope Integrating ADC โดยวิธีการนี้จะใช้เวลาในการแปลงสัญญาณประมาณ 300 ms
2. แบบประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟ (Successive approximation ADC) วิธีนี้ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณค่อนข้างรวดเร็วในหน่วยของ μs นิยมใช้ในการประมวลผลสัญญาณเสียงดิจิทัล (digitize audio signal)
3. แบบแฟลช (Flash ADC) หรือแบบขนาน (Parallel ADC) เป็นแบบที่ใช้เวลาน้อยที่สุด แต่ก็มีราคาแพงมากที่สุดเช่นกัน มักใช้ในการประมวลผลสัญญาณวิดีโอดิจิทัล (digitize video signal)

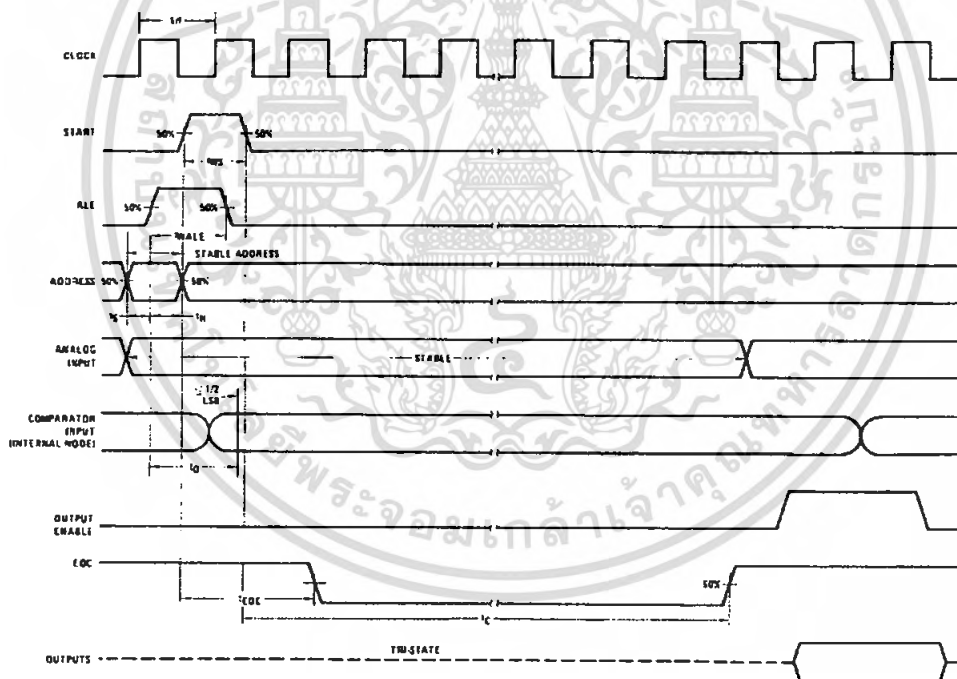
ในที่นี้จะขอกล่าวเพียง ADC แบบประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟ (Successive Approximation ADC) เท่านั้น

ADC แบบประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟ (Successive Approximation ADC)

การทำงานของ ADC แบบนี้ แสดงได้ดังรูป ซึ่งประกอบด้วยวงจร DAC, วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (comparator) และรีจิสเตอร์แบบ successive approximation หรือ SAR โดยมีขั้วรับสัญญาณอินพุตที่เป็นแรงดันอนาล็อกอินพุต (V_{in}) หนึ่งขั้วสัญญาณ และมีสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตที่สามารถนำออกไปใช้งานได้ทั้งแบบขนาน (parallel digital output) และแบบอนุกรม (serial digital output) สัญญาณควบคุมการทำงานของระบบประกอบด้วยสัญญาณสามชุด คือ

1. สัญญาณเริ่มต้นการแปลงสัญญาณ (Start of conversion) เป็นสัญญาณที่ป้อนให้กับ ADC เพื่อสั่งเริ่มต้นกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล
2. สัญญาณสิ้นสุดการแปลงสัญญาณ (End of conversion) เป็นสัญญาณที่ป้อนให้กับ ADC เพื่อบอกให้รู้ว่ากระบวนการแปลงสัญญาณ ได้เสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว
3. สัญญาณนาฬิกาภายนอก (Clock in) เป็นสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกที่ป้อนให้กับ ADC เพื่อกำหนดฐานเวลาอ้างอิงให้กับกระบวนการแปลงสัญญาณ

Timing Diagram



รูปที่ 2.32 Time Diagram ของ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 การประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟ (Successive Approximation Analogy)

จากแผนผังแสดงหลักการประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟขนาด 3 บิต เมื่อสัญญาณ start เริ่มขึ้นกระบวนการแปลงสัญญาณก็เริ่มต้นเช่นกัน ค่าน้ำหนัก (weight) ของบิตแต่ละบิตของ SAR จะถูกวงจรเปรียบเทียบสัญญาณนำค่าไปเปรียบเทียบกับ V_{in} มีค่ามากกว่าสัญญาณเอาต์พุตของ SAR จะถูกปรับให้เป็นลอจิก “1” แต่ถ้า V_{in} มีค่าน้อยกว่าสัญญาณเอาต์พุตของ SAR ก็จะถูกปรับให้เป็นลอจิก “0” ดังเช่นแผนผังของการแปลงสัญญาณเมื่อ $V_{in} = 6.5 \text{ V}$ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบได้ตั้งเส้นทึบ และให้สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตของ SAR เท่ากับ 110 ลำดับขั้นตอนของหลักการประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟขนาด 3 บิต สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

SAR ใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งลูกเพื่อป้อนบิต MSB = 100 ให้กับ DAC ซึ่งทำให้แรงดันอนาล็อกเอาต์พุต V_{out} ของวงจร DAC มีค่าเท่ากับ 4 V และ $V_{out} = 4 \text{ V}$ นี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ $V_{in} = 6.5 \text{ V}$ โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ เมื่อ $V_{in} > V_{out}$ ทำให้บิต MSB (D_2) ปรับค่าเป็น โลจิก “1” และขณะนี้ดิจิทัลเอาต์พุตของ SAR มีค่าเท่ากับ 110

จากนั้น SAR จะทำการส่งค่า 110 (บวกค่าน้ำหนัก $= 2^1 = 2^2$ เข้าไป) ให้กับ DAC ซึ่งขณะนี้ D_1 ปรับค่าเป็น “1” DAC ทำการแปลงค่าดิจิทัล 110 ให้เป็น $V_{out} = 6 \text{ V}$

แต่ $V_{in} = 6.5 \text{ V}$ ซึ่งยังคงมีค่ามากกว่า $V_{out} = 6 \text{ V}$ ทำให้ SAR จึงส่งค่า 111 (บวกค่าน้ำหนัก $= 2^0 = 1$ เข้าไป) ให้กับ DAC และทำการแปลงค่าดิจิทัล 111 ให้เป็น $V_{out} = 7 \text{ V}$ ดังนั้นเมื่อ $V_{in} = 6.5 \text{ V}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า $V_{out} = 7 \text{ V}$ จึงทำให้ D_0 ถูกปรับค่าให้มีค่าเป็น “0” และส่งผลให้สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ 110 นั่นเอง

2.12.3 คุณสมบัติของ ADC (ADC Characteristics)

2.12.3.1 สมการอินพุต - เอาท์พุท (Output – Input Equation)

สัญลักษณ์ และคุณสมบัติระหว่างสัญญาณอนาล็อกอินพุทกับสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุทของวงจร ADC ขนาด 4 บิต ประกอบด้วยช่องรับสัญญาณอนาล็อกอินพุท 1 ช่องสัญญาณ และช่องจ่ายสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุทจำนวน 4 ช่อง ซึ่งแสดงถึงลักษณะของวงจร ADC ขนาด 4 บิต และในทำนองเดียวกันกับวงจร DAC ค่ารีโซลูชันของวงจร ADC สามารถกำหนดความหมายได้สองลักษณะเช่นกัน ดังนี้คือ

1. ค่ารีโซลูชัน ADC ขนาด n บิต มีค่าขึ้นกับจำนวนบิตสูงสุดของสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุทซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า

$$\text{Resolution} = 2^n \quad (2.5)$$

2. ค่ารีโซลูชัน หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอนาล็อกอินพุท V_{in} ที่ทำให้สัญญาณดิจิทัลเอาท์พุทเปลี่ยนไปหนึ่งบิต LSB ดังนั้นหากทราบค่าแรงดันอนาล็อกอินพุทเต็มสเกล, V_{IFS} (full-scale input voltage) ที่ทำให้สัญญาณดิจิทัลเอาท์พุทมีสถานะลอจิกเป็น “1” ทั้งหมดทุกบิตแล้ว จะสามารถคำนวณหาค่ารีโซลูชันของวงจรได้เท่ากับ

$$\text{Resolution} = \frac{V_{IFS}}{2^n - 1} \quad (2.6)$$

3. สำหรับสมการอินพุต-เอาท์พุทของวงจร ADC สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{สัญญาณดิจิทัลเอาท์พุท} = \text{เลขฐานสองของ } D \quad (2.7)$$

เมื่อ D มีค่าเท่ากับเลขฐานสิบของสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุท หรือ D มีค่าเท่ากับจำนวน LSB ของสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุท ซึ่ง D สามารถหาได้จาก

$$D = \frac{V_{in}}{\text{resolution}} \quad (2.8)$$

2.12.3.2 ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณ (Conversion Time)

จากหลักการแปลงสัญญาณ โดยใช้หลักการประมาณค่าด้วยวิธีซัคเซสซีฟ ที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า SAR ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งลูกเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในแต่ละบิต ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลในหนึ่งรอบนั้นจึงมีค่าขึ้นอยู่กับคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้รวมทั้งจำนวนบิตของวงจรอีกด้วย ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็น

$$T_c = T(n+1) \quad (2.9)$$

| | | | |
|--------|-------|---|------------------------------------|
| โดยที่ | T_c | = | ช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณ |
| | T | = | คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในวงจร |
| | n | = | จำนวนบิตของวงจร ADC |

2.12.3.3 ความคลาดเคลื่อนควอนไทเซชัน

จากรูป สังเกตเห็นว่าสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 0101 ในทุกๆ ค่าของแรงดันอนาล็อกอินพุตที่มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5 V ถึง 5.5 V ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปลงสัญญาณ และจะเรียกคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ว่า “ความคลาดเคลื่อนควอนไทเซชัน” (Quantization error) มีค่าเท่ากับ $\pm 1/2\text{LSB}$ การลดผลความผิดพลาดเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนควอนไทเซชัน สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มจำนวนบิตของวงจรให้มากขึ้น เพื่อให้ค่ารีโซลูชันมีความละเอียดมากขึ้นนั่นเอง

2.12.4 การต่อ ADC ใช้งานร่วมกับไมโครโพรเซสเซอร์

จุดขายอย่างหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หลายๆ เบอร์อยู่ตรงที่คุณสมบัติของวงจร ADC ที่บรรจุอยู่ภายในวงจร แต่อย่างไรก็ตามสำหรับไมโครโพรเซสเซอร์แล้วจะไม่มี ADC บรรจุอยู่ภายในวงจร ดังนั้นในกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วไมโครโพรเซสเซอร์จึงจำเป็นต้องใช้ ADC เป็นอุปกรณ์สนับสนุนภายนอกเหมือนกับอุปกรณ์ต่อพ่วงตัวอื่น ADC ประกอบด้วยรีจิสเตอร์แบบ Memory Buffer Register หรือ MBR ซึ่งเก็บข้อมูลดิจิทัลล่าสุดที่ได้จากกระบวนการแปลงสัญญาณ โดย ADC

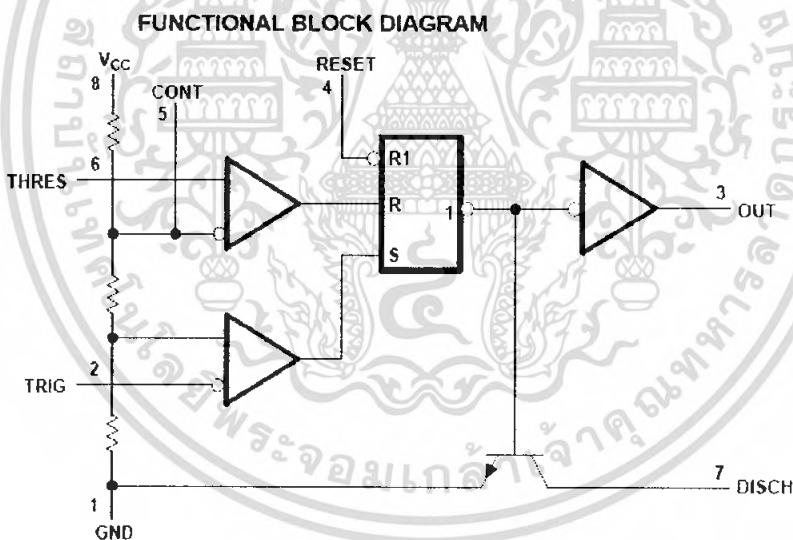
ไมโครโพรเซสเซอร์จะส่งตำแหน่งแอดเดรสผ่านบัสแอดเดรส (Address Bus) และมีวงจรถอดรหัสเป็นตัวระบุตำแหน่งแอดเดรสของ ADC คิวที่ต้องการติดต่อโดยทำให้ขาสัญญาณ chip select มีลอจิก “0” (low) กระบวนการดังกล่าวนี้มีขั้นตอนเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อสัญญาณ Read/Write มีลอจิก “1” (high) พร้อมกับสัญญาณ chip select มีลอจิกเป็น “0” รีจิสเตอร์ MBR ของ ADC จะส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลที่เก็บไว้ไปยังบัสข้อมูล

สถานะในการแปลงสัญญาณของ ADC จะส่งผ่านให้ไมโครโพรเซสเซอร์ทราบได้โดยผ่านทางขาสัญญาณสถานะ หรือขา “status” (status terminal) กล่าวคือ ขณะที่กระบวนการแปลงสัญญาณกำลังดำเนินการอยู่ ขาสัญญาณ “status” จะเปลี่ยนสถานะเป็นลอจิก “0” เพื่อบอกให้ไมโครโพรเซสเซอร์ทราบว่าข้อมูลดิจิทัลมีความถูกต้อง และพร้อมให้เข้ามาอ่านค่าข้อมูลได้

2.13 ไอซีไทเมอร์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ออสซิลเลเตอร์ ตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ สัญญาณแรมป์ หรือสัญญาณสี่เหลี่ยม ตัวกำเนิดสัญญาณเพียงหนึ่งลูกคลื่น หรือตัวตรวจสอบโวลต์แดง ล้วนต้องอาศัยความสามารถของวงจรประเภทสร้างช่วงเวลาทั้งสิ้น วงจรสำเร็จรูปที่เป็น ไอซีตัวหนึ่งที่นิยมก็คือ ไอซีเบอร์ 555 ไอซี 555 นี้เป็น ไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยงช่วงค่อนข้างกว้างมาก และเนื่องจากไอซี 555 นี้เป็น ไอซีที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ง่าย ราคาถูก ทนทาน และยังมีควมน่าเชื่อถือของวงจรสูงมาก

ภายในไอซี 555 ประกอบด้วยส่วนพื้นฐานสำคัญๆ อยู่ 5 ส่วน คือ ตัวต้านทานที่มีค่าเท่ากัน 3 ตัว ชุดวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งประกอบด้วยคอมพาราเตอร์ 2 ตัว ฟลิปฟลอป 1 ตัว ทรานซิสเตอร์สำหรับติดต่อกับภายนอก 2 ตัว และวงจรต้านเอาต์พุต



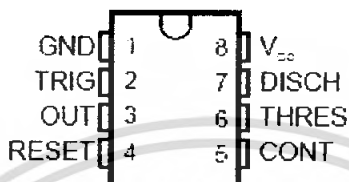
รูปที่ 2.34 วงจรภายในของ 555

2.13.1 ประเภทของการทำงานของไอซี 555

ไอซี 555 มีการทำงานอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทสร้างสัญญาณตลอดเวลา หรือที่เราเรียก “ออสซิลเลตอร์” และประเภทสร้างสัญญาณเพียง 1 ลูกคลื่นหรือที่เรียกว่า “วันวอตต์” หรือโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์นั่นเอง

2.13.2 หน้าที่ของขาไอซี 555

ไอซี 555 มีตัวถังให้เลือกอยู่ 2 ชนิด คือ TO-99 และ DIP ขาที่ 1 จะเป็นขากราวด์ ขาที่ 8 เป็นขาไฟเลี้ยง โดยไฟเลี้ยงจะสามารถป้อนค่าได้ตั้งแต่ +5 ถึง +18 โวลต์ หมายความว่า เราสามารถประยุกต์ไอซีเข้ากับวงจรจิจิตอลคอมพิวเตอร์ทั่วไป จนถึงวงจรสำคัญๆ ที่ใช้ภายในรถยนต์ได้ด้วยเช่นกัน วงจรภายในต้องการกระแสไฟประมาณ 0.7 มิลลิแอมป์ต่อโวลต์ กำลังสูญเสียภายในจะมีค่าสูงสุดเพียง 600 มิลลิวัตต์



รูปที่ 2.35 ขาสัญญาณของไอซี 555

ขาเอาต์พุต

ขาเอาต์พุตสามารถเป็นได้ทั้งตัวดึงกระแสเข้า (sink current) และตัวจ่ายกระแสออก (source current) โดยเมื่อสัญญาณที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ ไฟเลี้ยงจากวงจรภายนอกก็จะไหลเข้าสู่ตัวไอซี 555 โดยในขณะนั้น ชับพลาซโหลด (floating supply load) ซึ่งเสมือนถูกต่อลอยอยู่ จะเริ่มทำงาน โดยทำหน้าที่เป็นตัวผ่านกระแสจากไฟเลี้ยงภายนอกเข้าสู่ตัวไอซี และเมื่อสัญญาณที่เอาต์พุตมีค่าสูง ไอซี 555 จะทำตัวเป็นผู้ให้กระแส โดยปล่อยกระแสให้ไหลออกไปสู่ “กราวด์โหลด” (grounded load) หรือโหลดภายนอกที่ต่ออยู่กับขานั้นนั่นเอง ข้อสังเกตประการหนึ่ง คือ การทำงานตามปกติ ณ เวลาหนึ่งๆ จะเป็นการสวิตช์ หรือเลือกใช้ระหว่างชับพลาซโหลด และกราวด์โหลด อย่างใดอย่างหนึ่งเสมอ และไม่ต่อจะมีวงจรประยุกต์ใดที่ใช้ทั้งกราวด์โหลด และชับพลาซโหลด พร้อมกันในเวลาเดียว

อนึ่งกระแสที่ดึงเข้า และที่จ่ายออกจาก ไอซีจะมีค่าตามคู่มือ 200 มิลลิแอมป์ แต่เวลาใช้จริงจะมีค่าประมาณ 40 มิลลิแอมป์ โดยขณะที่เอาต์พุตมีค่าสูงจะได้ค่าแรงดันต่ำกว่าไฟเลี้ยงไอซี ประมาณ 0.5 โวลต์ และที่เอาต์พุตมีค่าต่ำจะให้แรงดันประมาณ 0.1 โวลต์ เมื่อเทียบกับกราวด์โดยดึงกระแสเข้าประมาณ 25 มิลลิแอมป์

ขาริเซต

ขาริเซตเป็นขาที่ 4 ซึ่งทำให้ 555 สามารถยกเลิก หรือสั่งฆ่าต่อสัญญาณคำสั่งที่มาจาก ขาทรริกเกอร์อินพุต (trigger input) ในขณะที่ไม่ได้ใช้ขานี้ควรที่จะต่อเข้ากับไฟเลี้ยงบวก และถ้า เมื่อใดที่ขาริเซตนี้ต่อเข้ากับกราวนด์ หรือมีระดับแรงดันน้อยกว่า 0.4 โวลต์ ทั้งขาที่ 3 และ 7 (ขา เอาท์พุต และขาคิสซาร์จ) ก็จะมีค่าแรงดันต่ำทันที

ขาคิสซาร์จ

ขาคิสซาร์จเป็นขาที่ 7 หน้าทีของขานี้จะเหมือนกับชื่อของขา กล่าวคือเมื่อสัญญาณเอาท์พุต มีค่าต่ำ ขานี้ก็จะใช้เพื่อการคิสซาร์จกระแสของตัวเก็บประจุ (ตัวเก็บประจุตัวนี้จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการหน่วงเวลา) และเมื่อสัญญาณเอาท์พุตมีค่าสูง ขานี้ก็จะทำหน้าที่เปิดวงจร และอนุญาตให้ตัวเก็บ ประจุเกิดการชาร์จกระแสจากแหล่งจ่ายไฟภายนอกเข้าตัวเก็บประจุ จนกระทั่งแรงดันของตัวเก็บ ประจุมีค่าหนึ่งที่กำหนดไว้

ขาคควบคุมแรงดัน

ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์ขนาด 0.01 ไมโครฟารัด มักจะถูกนำมาต่อที่ขานี้ซึ่งเป็น ขาที่ 5 กับกราวนด์ ตัวเก็บประจุที่นำมาต่อที่ขานี้จะทำหน้าที่บายพาส หรือส่งผ่านสัญญาณ รบกวน และแรงดันกระเพื่อมที่มาจากแหล่งจ่ายไฟ (ripple voltage) ลงกราวนด์ไป ทั้งนี้ทำให้ แรงดันเทรสโวลต์ มีค่าถูกต้อง หรือใกล้เคียงกับค่าที่เราออกแบบมากที่สุด สำหรับคำว่าแรงดันเทร สโวลต์ นี้อาจแปลให้เข้าใจง่ายๆ ว่า แรงดัน ณ ค่าหนึ่งๆ ที่เริ่มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของ เอาต์พุต นอกจากนี้ขาคควบคุมแรงดันนี้ยังสามารถนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันที่ขาเทรส โวลต์ และทรริกเกอร์ได้อีกด้วย เช่น ถ้าเรานำตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์มมาต่อระหว่างขา 5 และขา 8 (จะเสมือนต่อตัวต้านทานขนาด 5 กิโลโอห์มตัวแรกที่อยู่ภายในออป แอมป์) ก็จะทำให้แรงดันเทรสโวลต์เปลี่ยนจากเดิม $2V_{CC}/3$ ไปเป็น $0.75V_{CC}$ และแรงดันทรริกเกอร์ เปลี่ยนไปเป็น $0.375V_{CC}$ จุดนี้เองที่ทำให้เราสามารถกำหนดสัดส่วนของเทรสโวลต์เองใหม่ได้ (แต่ เดิมจะเป็น $2/3$ และ $1/3$ ของ V_{CC}) ตรงนี้นับเป็นข้อสังเกตที่น่าจดจำมาก

ขาทรริกเกอร์ และเทรสโวลต์

ไอซี 555 มีสถานการณ์ทำงาน 2 สถานะ และมีสถานการณ์จำอยู่ 2 สถานะ (รวมเป็น 4 สถานะ) โดยสถานะต่างๆ เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขาสองขาคือ ขาทรริกเกอร์ (ขาที่ 2) และขาเทรส โวลต์ (ขาที่ 6) สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับขาทรริกเกอร์จะถูกเปรียบเทียบกับคอมพาราเตอร์หมายเลข 2 ซึ่งถูกกำหนดให้เปรียบเทียบกับค่าเทรสโวลต์ค่าต่ำ หรือ V_{LT} (Lower threshold voltage) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $V_{CC}/3$ สำหรับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับขาเทรสโวลต์จะถูกเปรียบเทียบกับคอมพารา

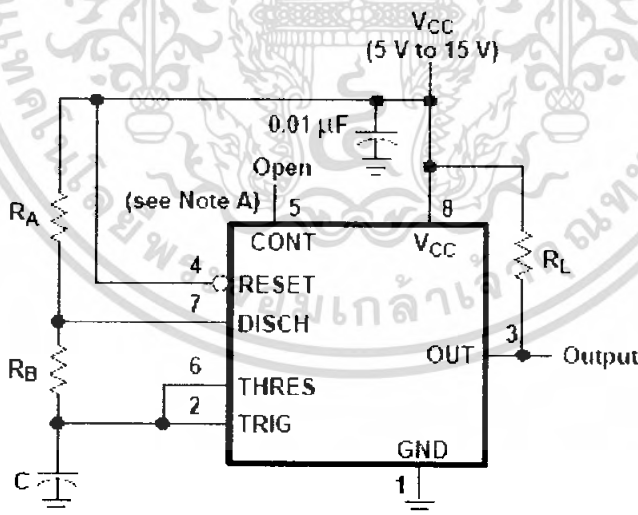
เตอร์หมายเลข 1 ซึ่งกำหนดให้เปรียบเทียบที่ค่าเทรสโวลต์ค่าสูง (เราอาจจะเรียกว่าค่าแรงดันค่าสูงที่เริ่มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสถานะเอาต์พุต) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2V_{CC}/3$

ในการป้อนอินพุตแต่ละครั้ง ค่าแรงดันที่ป้อนเข้ามานั้นเป็นไปได้ที่จะมีค่ามากกว่า หรือน้อยกว่า หรือเท่ากับค่าเทรสโวลต์ทั้งสองอันจะทำให้เกิดสถานะ 4 สถานะขึ้นมาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยเมื่ออยู่ในการทำงานแบบ A แรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงทั้งขาทริกเกอร์ และเทรสโวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ขาเอาต์พุตของไอซี 555 ก็จะทำให้ค่าสูง ในขณะที่การทำงานแบบ D แรงดันอินพุตที่ป้อนเข้ามามีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงทั้งสองแรงดันที่ขาเอาต์พุตของไอซี 555 ก็จะทำให้ค่า

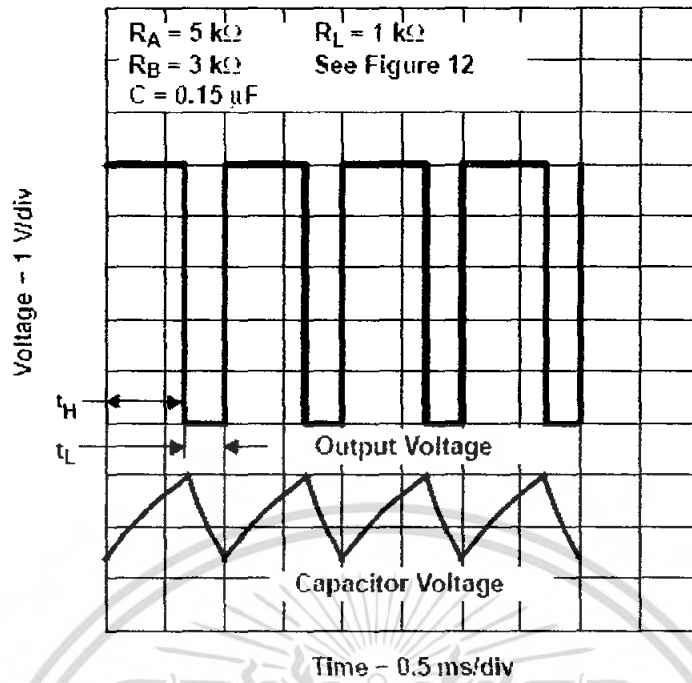
สำหรับในกรณีการทำงานแบบ B และ C นั้นจะเป็นสถานะชนิดที่ไอซี 555 ยังคงจดจำสถานะเดิมอยู่ โดยเมื่อแรงดันป้อนเข้ามาลดลงจากค่า V_{LT} ไปเกือบถึง V_{LT} หรือสถานะ B และเมื่อแรงดันที่ป้อนเข้ามาเพิ่มขึ้นจากค่า V_{LT} ไปเกือบถึง V_{LT} หรือสถานะ C วงจรจะยังคงมีการจดจำค่าสถานะเดิมเอาไว้อยู่

2.13.3 การทำงานแบบอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ไอซี 555 สามารถนำมาต่อเป็นวงจระอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณคลอคเวลาที่เวลา A ทั้งขา 2 และขา 6 จะมีค่าต่ำกว่าค่า $V_{LT} = V_{CC}/3$ ซึ่งทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ขา 3 มีค่าสูง ในขณะที่ขา 7 จะเสมือนกับถูกเปิดวงจรออก ดังนั้นตัวเก็บประจุจะเก็บประจุโดยผ่าน R_A และ R_B



รูปที่ 2.36 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับไอซี 555



รูปที่ 2.37 รูปสัญญาณอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จากวงจร 555

ในช่วงเวลา A ถึง B ไอซี 555 จะทำหน้าที่เป็นวงจรจำสถานะเดิม และเมื่อ V_C มีค่าสูงถึง $V_{CT} = 2V_{CC}/3$ ที่เวลาเท่ากับจุด B ไอซี 555 ก็จะเข้าสู่สถานะใหม่ซึ่งจะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตค่าขา 7 ของไอซีจะทำหน้าที่คล้ายประจุที่อยู่ภายในตัวเก็บประจุออก ผ่านตัวต้านทาน R_B และเมื่อแรงดัน V_C มีค่าต่ำจนถึงค่าแรงดันอ้างอิง V_{CT} ตัวเก็บประจุก็จะเริ่มเก็บประจุอีกครั้ง โดยขา 7 ของไอซีเสมือนเปิดวงจรอีกครั้ง การทำงานของวงจรจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ความถี่ในการอออสซิลเลต

สัญญาณเอาต์พุตจะยังคงเป็นค่าสูง ระหว่างที่ตัวเก็บประจุยังคงชาร์จจาก $V_{CC}/3$ ถึง $2V_{CC}/3$ เราสามารถคำนวณหาช่วงเวลาดังกล่าวได้ดังนี้

$$T_{\text{high}} = 0.693(R_A + R_B)C \quad (2.10)$$

และเอาต์พุตจะมีค่าต่ำระหว่างช่วงเวลาในตัวเก็บประจุคายประจุจาก $2V_{CC}/3$ ถึง $V_{CC}/3$ ดังสมการ

$$T_{\text{low}} = 0.693R_B C \quad (2.11)$$

ดังนั้นช่วงเวลารวมทั้งหมด หรือคาบเวลา T จะเท่ากับ

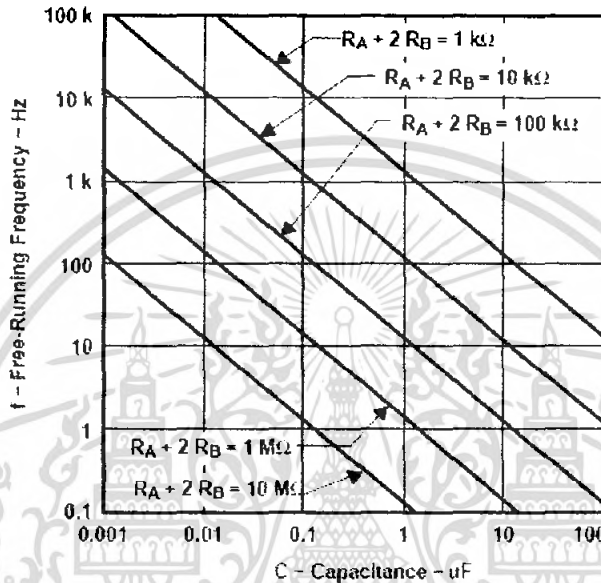
$$T = t_{\text{high}} + t_{\text{low}} = 0.693(R_A + 2R_B)C \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อกลับเศษกลับส่วนของคาบเวลา จะให้ความถี่ คือ

$$f = \frac{1}{T} = 1.44 / [(R_A + 2R_B)C] \quad (2.13)$$

เมื่อนำสมการมาสร้างกราฟ และมีการเปลี่ยนค่า $(R_A + 2R_B)$ ก็จะได้กราฟดังรูป ซึ่งมีประโยชน์มากในการช่วยออกแบบวงจรอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.38 กราฟการออกแบบความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ 555

คิวติไซเคิล

คิวติไซเคิล หรือวัฏจักรช่วงทำงาน คือ อัตราส่วนของเวลา เมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีค่าต่ำ (t_{low}) ต่อคาบเวลาทั้งหมด (T) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$D_L = \frac{t_{low}}{T} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \quad (2.14)$$

สาเหตุที่มีการกำหนดค่าคิวติไซเคิลนี้ขึ้นมาก็เพื่อช่วยในการสื่อสารวิธีการเทียบ และวัดค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากคลื่นสี่เหลี่ยมเหล่านี้ เช่น ค่าเฉลี่ยของกระแสซึ่งเกิดจากการนำเอา 1 ลบ ด้วยค่าของคิวติไซเคิล เป็นต้น จากวงจร และสมการ จะเห็นได้ว่าเราไม่สามารถทำให้ค่าคิวติไซเคิลมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ได้เลย เพราะฉะนั้นการที่จะทำให้ค่าคิวติไซเคิลมีค่ามากกว่า

50 เปอร์เซ็นต์ได้นั้นจะต้องทำให้ส่วนหามีค่าที่น้อยลง หรือต้องทำให้ t_{high} มีค่าลดลง ดังนั้นเราจึงนำไดโอดมาต่อขนานกับ R_B ผลที่ได้คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการชาร์จกระแสจะสั้นลงโดย

$$T_{high} = 0.693(R_A + R_B)C \quad (2.15)$$

$$T_{low} = 0.693R_B C \quad (2.16)$$

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.693(R_A + 2R_B)C \quad (2.17)$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่าถ้า $R_A = R_B$ แล้ว ค่าควิตีไซเคิลจะมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และถ้าค่า R_A มีค่าน้อยกว่าค่า R_B ค่าควิตีไซเคิลก็จะมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

2.14 อุปกรณ์กล

2.14.1 มอเตอร์กระแสตรง และการควบคุม

มอเตอร์แบบกระแสตรง (DC motor) ในปัจจุบันสามารถจำแนกออกมาได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างควบคุม สำหรับการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงจะใช้กระแสไฟตรง (direct current) จ่ายให้กับขดลวดสนามไฟฟ้า หรือขดลวดผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า (motor armature) ภายในสำหรับแรงบิดของมอเตอร์จะขึ้นกับเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้าหากเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้แรงบิดสูง มอเตอร์กระแสตรงส่วนใหญ่ ถ้าหมุนด้วยความเร็วสูงจะมีแรงบิดต่ำ ถ้าหมุนด้วยความเร็วต่ำจะมีแรงบิดสูง

การควบคุมความเร็ว

โดยทั่วไปแล้วเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์กระแสตรง ตัวมันจะหมุนด้วยความเร็วสูงสุดที่สามารถหมุนได้ด้วยแรงดันไฟฟ้าค่านั้น การควบคุมความเร็วจะทำให้ได้โดยควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แต่การทำงานแบบนี้จะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า (Power consumptions) และมีความร้อนเกิดขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการใช้การจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงๆ ให้กับมอเตอร์แทน ถ้าหากช่วงการจ่ายแรงดัน และหยุดจ่ายแรงดันแตกต่างกันไปก็จะทำให้ความถี่ของการหมุนของมอเตอร์ต่างกันไปด้วย การควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้มีการใช้งานอยู่สองลักษณะ คือ แบบ pulse-frequency modulation (PFM) และแบบ pulse-width modulation (PWM)

1. แบบ pulse-frequency modulation หรือ PFM การทำงานแบบนี้จะควบคุมการจ่ายแรงดัน และหยุดจ่ายแรงดัน เพื่อเปิดปิดมอเตอร์เป็นช่วงๆ การทำงานแบบนี้จะทำให้ระดับแรงดัน ไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่าแตกต่างกันไป ความเร็วของการหมุนของมอเตอร์จะขึ้นกับอัตราการเปิดปิดมอเตอร์นี้
2. แบบ pulse-width modulation หรือ PWM การควบคุมมอเตอร์ในแบบ PFM ค่าความถี่ของสัญญาณควบคุมจะไม่แน่นอน แต่การควบคุมแบบ PWM นี้จะใช้เวลาในการควบคุมที่คงที่ แต่จะปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์โดยวิธีการปรับค่าคิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) แต่วิธีนี้จะใช้กับความถี่สูงมากๆ ไม่มี

คิซิมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้โดยมีคุณสมบัติคือ แรงบิดที่เพลลาของคิซิมอเตอร์จะแปรผันตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดที่เพลลาของคิซิมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็ก และขดลวดตัวนำ

ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างสนามที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก และขดลวดตัวนำเหล่านี้ อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r

แรงบิดของเพลลานั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแส โดยเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนในสนามแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันเอง โดยที่ค่าแรงดันนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของมอเตอร์ และค่าการ ไหลของกระแส

บทที่ 3

หลักการออกแบบ และการสร้าง

วงจรม่านปรับแสงอัตโนมัติ มีโหมคการทำงาน 2 โหมค คือ โหมคควบคุมอัตโนมัติ และ โหมคควบคุมโดยผู้ใช้ แต่ละโหมคประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน คือ ภาคอินพุท ส่วนประมวลผล และส่วนขับมอเตอร์

3.1 หลักการออกแบบ และการทำงานของส่วนควบคุมอัตโนมัติ

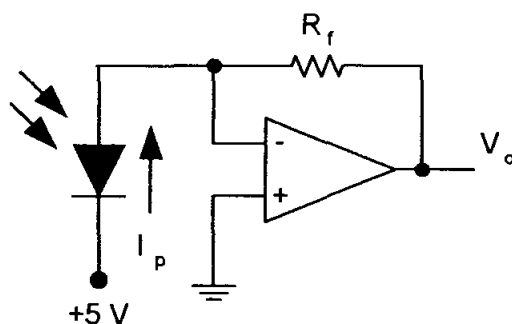
ในส่วนควบคุมอัตโนมัตินี้ออกแบบให้มันสามารถทำงานได้เอง โดยที่ไม่ต้องควบคุมการทำงานเองจากผู้ใช้งาน ส่วนควบคุมการทำงานอัตโนมัติสามารถควบคุมการทำงานของมันให้เปิด หรือ ปิดเองได้ โดยควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในภาคอินพุทของส่วนควบคุมอัตโนมัติจะใช้โฟโตไดโอด โอดแทนสวิทช์ที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.1.1 หลักการทำงานในโหมคนี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้กับ ADC เพื่อให้ ADC แปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จาก วงจรขยายออปแอมป์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำสัญญาณดิจิทัลมาประมวลผล และนำผลที่ได้มาขับมอเตอร์ควบคุมการทำงานของมันให้ปรับแสงได้อย่างเหมาะสมต่อไป

3.1.1 ภาคอินพุท

ภาคอินพุท หรือส่วนเซนเซอร์รับแสง เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่เซนเซอร์ เซนเซอร์จะเกิดกระแสเนื่องจากแสง (Photo current: I_p) ขึ้นค่าหนึ่ง ยิ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบมาก ทำให้เซนเซอร์จ่ายกระแสได้มากขึ้นตามด้วย กระแสที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Trans-impedance circuit) และวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณที่ได้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และนำไปประมวลผลต่อไป

ภาคอินพุทนี้ ได้เลือกใช้เซนเซอร์รับแสง คือ โฟโตไดโอด โอดที่มีผลการตอบสนองใกล้เคียงกับ Visible light (380 nm ถึง 780 nm) ข้อดีของโฟโตไดโอดมีความเป็นเชิงเส้นกับปริมาณแสงที่ตกกระทบ ขนาดเล็ก มีการตอบสนองที่เร็ว นำกระแสที่เกิดขึ้นเนื่องจากแสง (I_p) มาผ่านวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน หรือ Trans-impedance circuit มี R_f เป็นอัตราขยาย ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุทกับอินพุท คือ

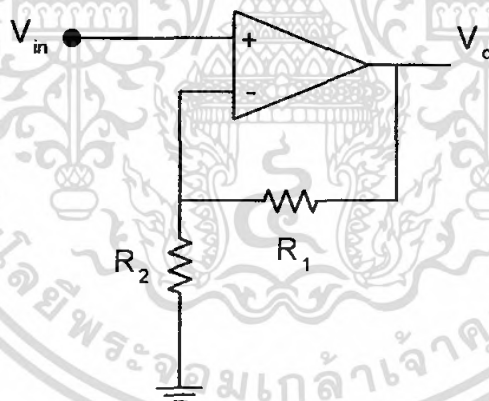
$$V_o = I_p R_f \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.2 วงจรขยายความเข้มแสง

และนำแรงดันที่ได้เข้าวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสอีกครั้งเพื่อขยายให้ใหญ่ขึ้นสามารถนำไปประมวลผลต่อไปได้ดีขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตจากสมการ (2.4) คือ

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{in}$$



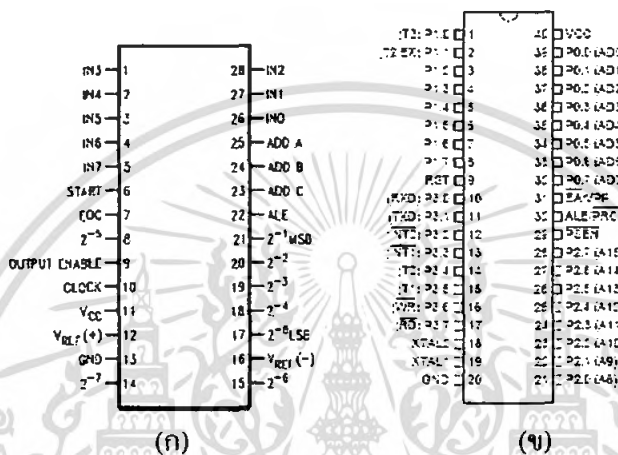
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

3.1.2 ส่วนประมวลผล

การทำงานในโหมดควบคุมอัตโนมัติ ควบคุมด้วย ADC (Analog to Digital Converter) กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้กับ ADC เพื่อให้ ADC เริ่มทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้รับจากภาคอินพุตเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งค่ากลับเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ต P1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลสัญญาณที่ได้ตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประมวลผลจะเหมือนกับในโหมดควบคุมโดยผู้ใช้ เพียงแต่มีการเพิ่มเติมส่วนของ ADC ขึ้นมา เพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนำไปใช้ต่อไป ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ คือ MCS-51 เบอร์ AT89S52 โดยมีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวแล้วมี พอร์ตอินพุท/เอาต์พุท ทั้งหมด 4 พอร์ต แต่ในโหมดควบคุมอัตโนมัติจะใช้เพียงพอร์ต P1, P2 และ P3 พอร์ต P1 เป็นพอร์ตเอาต์พุทใช้ในการขับมอเตอร์ พอร์ต P2 เป็นพอร์ตอินพุทใช้ในการรับสัญญาณดิจิทัลจาก ADC มาประมวลผล และพอร์ต P3 เป็นพอร์ตเอาต์พุทใช้ในการกำหนดสัญญาณต่างๆ นอกเหนือที่ได้กล่าวมา



รูปที่ 3.4 (ก) ADC 0809CCN (ข) AT89S52

3.1.3 หลักการออกแบบ และคำนวณ Analog to Digital: ADC

ADC ที่เลือกใช้ คือ ADC0809 เป็น ADC ชนิด 8 บิต และมีลตีกเพ็ล็กเซอร์ 8 ช่อง คุณสมบัติเบื้องต้นของ ADC0809

1. ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับไมโครโพรเซสเซอร์ทุกตัว
2. มี 8 มัลติเพ็ล็กเซอร์ควบคุมด้วย address logic
3. ช่วงอินพุท 0 – 5 โวลต์ ด้วยแหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียว
4. ไม่มีการปรับแต่งตำแหน่ง zero หรือ full-scale

คุณสมบัติเฉพาะของ ADC0809

1. Resolution 8 บิต
2. Total Unadjusted Error $\pm \frac{1}{2}$ LSB และ ± 1 LSB
3. แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์แหล่งเดียว
4. กำลังสูญเสียต่ำ 15 มิลลิวัตต์
5. Conversion Time 100 ไมโครวินาที

หลักการคำนวณคุณสมบัติของ ADC

1. Resolution

จากสมการ (2.5) จะได้ว่า

$$\text{Resolution} = 2^n$$

โดยที่ n = จำนวนบิตสูงสุดของสัญญาณดิจิทัล

แทนค่า n = 8 บิต

$$\therefore \text{Resolution} = 2^8 = 256 \text{ ค่า}$$

หรือ

จากสมการ (2.6) จะได้ว่า

$$\text{Resolution} = \frac{V_{\text{IFS}}}{2^n - 1}$$

โดยที่ V_{IFS} = ค่าแรงดันอนาล็อกอินพุตเต็มสเกล

ในที่นี้ V_{IFS} = 5 โวลต์

แทนค่า n = 8 บิต

$$\text{Resolution} = \frac{5}{2^8 - 1}$$

$$\therefore \text{Resolution} = 19.6078 \text{ mV/LSB}$$

2. สมการอินพุต – เอาท์พุทของวงจร ADC

สามารถหาความสัมพันธ์ ได้จากสมการ (2.7) และ (2.8) ดังนี้

$$D = \frac{V_{\text{in}}}{\text{resolution}}$$

Digital Output Signal = Binary Number of D

โดยที่ D = เลขฐานสิบของสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุท

= จำนวน LSB ของสัญญาณดิจิทัลเอาท์พุท

ตัวอย่าง กำหนดให้ $V_{in} = 1 \text{ V}$ resolution = $19.6078 \text{ mV/LSB} \approx 20 \text{ mV/LSB}$

แทนค่า $D = \frac{1}{20 \text{ mV / LSB}}$

$D = 50$

Digital Output Signal = Binary Number of D

\therefore Digital Output Signal = **00110010**

3. ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณ (Conversion Time)

จากสมการ (2.9) ได้ว่า

$$T_c = T(n + 1)$$

โดยที่ T_c = ช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณ
 T = คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในวงจร
 n = จำนวนบิตของวงจร ADC

เลือก $f = 100 \text{ kHz}$ $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100 \text{ kHz}} = 10 \mu\text{s}$

แทนค่า $T_c = 10 \mu\text{s}(8 + 1)$
 $\therefore T_c = 90 \mu\text{s}$

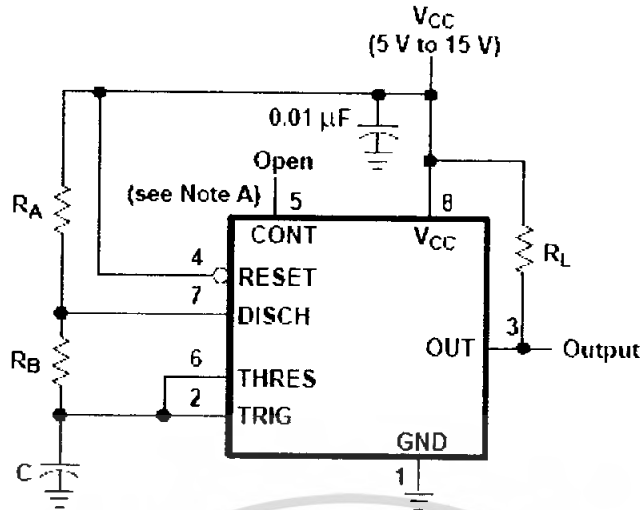
3.1.4 หลักการออกแบบ และคำนวณวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ไอซี 555 สามารถนำมาต่อเป็นวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณคลอคเวลา ในที่นี้จะนำไอซี 555 สร้างทำเป็นสัญญาณ clock ให้กับ ADC ด้วยความถี่ 100 kHz ในการออกแบบคำนึงถึงความถี่ในการออสซิลเลต, Duty Cycle, ช่วงเวลา ON และ OFF

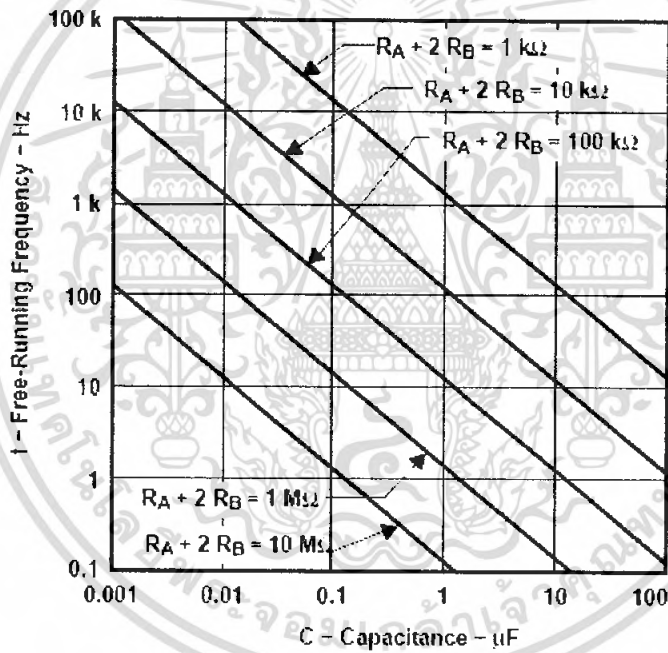
หลักการคำนวณวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

1. ความถี่ในการออสซิลเลต

ในการสร้างสัญญาณ Clock ความถี่ประมาณ 100 kHz ทำการเลือกค่าอุปกรณ์จากกราฟระหว่าง จาก data sheet NE555



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับไอซี 555



รูปที่ 3.6 กราฟการออกแบบความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ 555

จากกราฟเลือกค่าอุปกรณ์ คือ $R_A = 1 \text{ k}$, $R_B = 5 \text{ k}$ และ $C = 1 \text{ nF}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาต์พุตจะยังคงเป็นค่าสูง ระหว่างที่ตัวเก็บประจุยังคงชาร์จจาก $V_{CC}/3$ ถึง $2V_{CC}/3$ เราสามารถคำนวณหาช่วงเวลาดังกล่าวได้จากสมการ (2.15) ดังนี้ (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$T_{\text{high}} = 0.695(R_A + R_B)C$$

แทนค่า

$$T_{\text{high}} = 0.695(1k + 5k)(1 \text{ nF})$$

$$\therefore T_{\text{high}} = 4.158 \mu\text{s}$$

และเอาต์พุตจะมีค่าต่ำระหว่างช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุคายประจุจาก $2V_{CC}/3$ ถึง $V_{CC}/3$ ดังสมการ (2.16) (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$T_{\text{low}} = 0.693R_B C$$

แทนค่า

$$T_{\text{low}} = 0.693(5k)(1 \text{ nF})$$

$$\therefore T_{\text{low}} = 3.465 \mu\text{s}$$

ดังนั้นช่วงเวลารวมทั้งหมด หรือคาบเวลา T (Period) จะเท่ากับ (2.17) (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$T(\text{Period}) = t_{\text{high}} + t_{\text{low}} = 0.693(R_A + 2R_B)C$$

แทนค่า

$$T(\text{Period}) = 4.158 \mu\text{s} + 3.465 \mu\text{s} = 0.693(1k + 2(5k))(1 \text{ nF})$$

$$\therefore T(\text{Period}) = 7.623 \mu\text{s}$$

ซึ่งเมื่อกลับเศษกลับส่วนของคาบเวลา จะให้ความถี่ จากสมการ (2.17) คือ (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

แทนค่า

$$f = \frac{1}{7.623 \times 10^{-6}} = \frac{1.44}{(1k + 2(5k))(1 \text{ nF})}$$

$$\therefore f = 130.9091 \text{ kHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)

ดิวตี้ไซเคิล หรือวัฏจักรช่วงทำงาน คือ อัตราส่วนของเวลา เมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีค่าต่ำ (t_{low}) ต่อคาบเวลาทั้งหมด (T) ซึ่งมีดังสมการ (2.14) (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$D_L = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

แทนค่า

$$D_L = \frac{3.465}{4.158 + 3.465} = \frac{5k}{1k + 2(5k)}$$

$$\therefore D_L = 0.454$$

และสัญญาณเอาต์พุตมีค่าสูง (t_{high}) ต่อคาบเวลาทั้งหมด (T) (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$D_H = \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \quad (3.2)$$

แทนค่า

$$D_H = \frac{4.158}{4.158 + 3.465} = 1 - \frac{5k}{1k + 2(5k)}$$

$$D_H = 0.545$$

จากการคำนวณทำให้ได้ค่า Low-to-High ratio (ข้อมูลจาก data sheet NE555)

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B} \quad (3.3)$$

แทนค่า

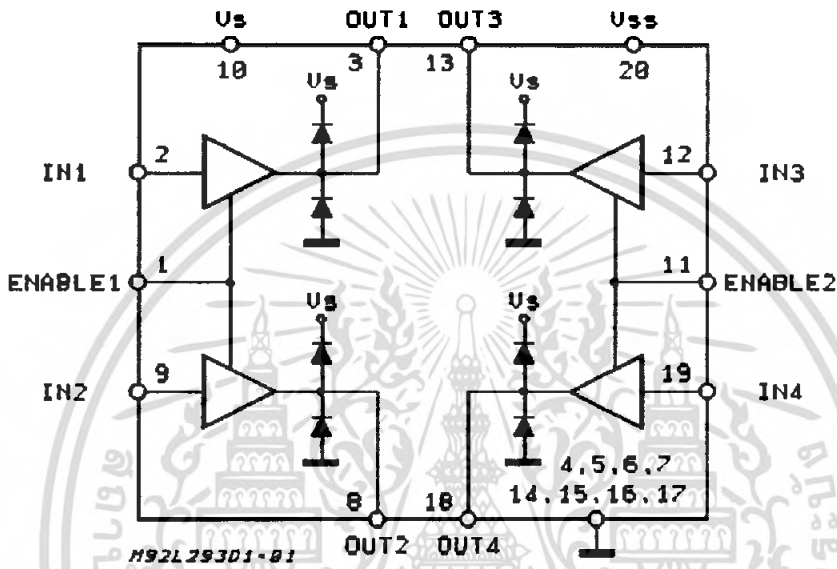
$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{3.465}{4.158} = \frac{5k}{1k + 5k}$$

$$\therefore \text{Low-to-high ratio} = 0.833$$

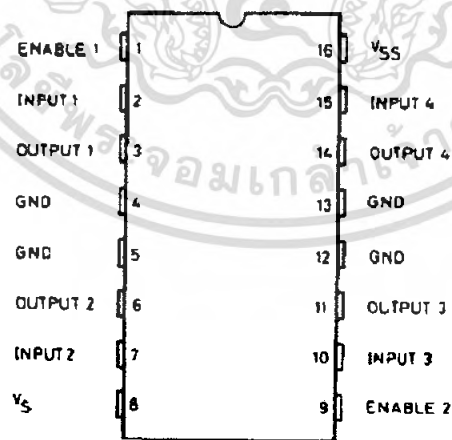
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์

หลังจากประมวลเรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งลอจิกออกมาตามเงื่อนไขที่ได้จากการประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งลอจิกออกมาทำการควบคุมมอเตอร์ โดยลอจิกนี้จะเข้าสู่ไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์ (L293D) มอเตอร์ถูกควบคุมโดยวงจร Push-Pull four channel driver ที่อยู่ในไอซีที่ได้ทำการเลือกใช้ ทำให้สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้หมุน, หยุด หรือกลับทิศทางการหมุนได้ ตามลอจิกที่ได้รับจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของไอซี L293D



รูปที่ 3.8 ขาสัญญาณต่างๆ ของไอซี L293D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRUTH TABLE (one channel)

| Input | Enable (ˆ) | Output |
|-------|------------|--------|
| H | H | H |
| L | H | L |
| H | L | Z |
| L | L | Z |

Z = High output impedance

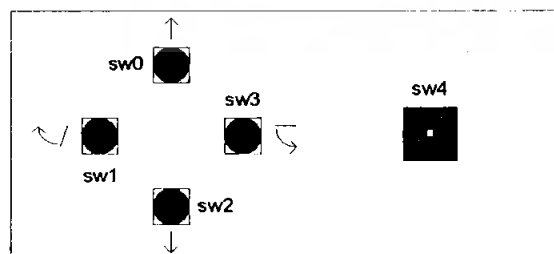
(ˆ) Relative to the considered channel

รูปที่ 3.9 ตารางลอจิกสำหรับควบคุมการหมุนของมอเตอร์

การควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์เลือกใช้ L293D เป็นไอซี Push-Pull four channel driver with diode ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ไอซีนี้สามารถขับกระแสสูงสุดได้ถึง 1.2 แอมป์ และยังขับกระแสแบบต่อเนื่องได้ถึง 600 มิลลิแอมป์ สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ถึง 36 โวลต์ ซึ่งเพียงพอต่อการขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้งการดึงมาขึ้น, ลง และปรับบานปรับแสงได้เพียงพอ การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นไม่ยาก เพราะไม่ต้องต่ออุปกรณ์อื่นๆ ภายนอกเลย ภายในประกอบด้วยแคลมป์ (clamp) ไดโอดสำหรับป้องกันวงจรภายในเสียหาย ควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยวงจรถับบริดจ์ (bridge) คู่ในแต่ละช่องสัญญาณขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งได้บรรจุอยู่ในไอซีแล้ว ไอซีเบอร์นี้ยังสามารถทนความร้อนได้สูง เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เป็นแบบเพาเวอร์ดิป (Powerdip) ซึ่งทนความร้อนได้พอสมควร แต่ถ้าไอซีเกิดอุณหภูมิสูงเกินกำหนด วงจรป้องกันภายในจะทำการตัดเอาที่พุกของ ไอซีทันที และรองานกว่าอุณหภูมิจะลดลงถึงค่าที่พร้อมทำงานต่อไป

3.2 หลักการออกแบบ และการทำงานของส่วนควบคุมโดยผู้ใช้งาน

ในส่วนควบคุมโดยผู้ใช้งานนี้ออกแบบ เพื่อในกรณีที่ส่วนควบคุมอัตโนมัติเกิดขัดข้อง หรือ เพื่อในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการที่จะควบคุมผ่าน โดยผู้ใช้งานเอง ในส่วนควบคุมโดยผู้ใช้งานนี้ จะมีแผงสวิตช์แบบปุ่มกด เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกการทำงานว่าต้องการให้ม่านขึ้นสู่ด้านบน, ม่านลงสู่ด้านล่าง, ม่านเปิด หรือ ม่านปิด เป็นต้น โดยปุ่มการทำงานมีทั้งหมด 5 ปุ่มด้วยกัน ดังรูป



รูปที่ 3.10 หน้าปัดแผงสวิตช์ส่วนควบคุมโดยผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การทำงานของปุ่มควบคุม

| ปุ่มควบคุม | การทำงาน |
|------------|-------------------------------|
| sw0 | ม่านเลื่อนขึ้นสู่ด้านบน |
| sw1 | บานปรับแสงเปิด |
| sw2 | ม่านเลื่อนลงสู่ด้านล่าง |
| sw3 | บานปรับแสงปิด |
| sw4 | เลือกโหมดการทำงาน Auto/Manual |

ส่วนของการประมวลผลของสัญญาณ ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89S52) โดยใช้ พอร์ต 0 (P0) เป็นพอร์ตอินพุตสำหรับสัญญาณ เมื่อผู้ใช้ควบคุม ส่วนวงจรจับมอเตอร์ (L293D) ได้ใช้วงจร และหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับส่วนควบคุมอัตโนมัติ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

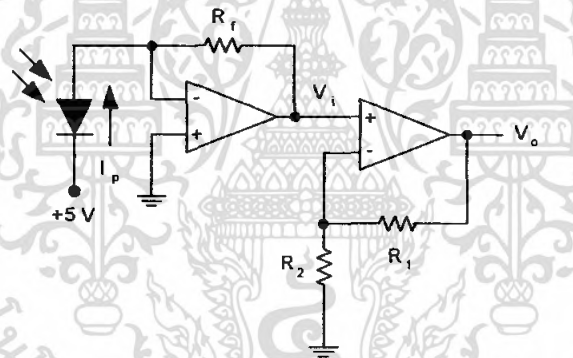
4.1 การทดลองผ่านปรับแสงอัตโนมัติ

4.1.1 การทดสอบความเข้มแสงในแต่ละวัน

ทดสอบโดยการนำลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter) มาทำการวัดความเข้มของแสงในแต่ละวัน โดยวิธีการวัด นำลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter) ทำการวัดความเข้มของแสงทุกๆ 1 นาที แล้วจดบันทึกค่าเป็นหน่วยลักซ์ (lux) ที่ได้จากการอ่าน รวมระยะเวลาการวัดทั้งหมด 120 วัน

4.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของโฟโตไดโอด

ทดสอบโดยการนำลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter) ทำการวัดค่าความเข้มแสงเป็นหน่วย lux และนำวงจรตรวจจับแสง (light detectors) ที่ใช้ มาทำการรับแสงจากดวงอาทิตย์พร้อมกัน แล้ววัดค่าโวลต์ที่ได้จากวงจร โดยวงจรที่ใช้ในการตรวจจับแสง ดังรูป



รูปที่ 4.1 วงจรตรวจจับแสง

การบันทึก บันทึกที่ระหว่างค่าลักซ์ (lux) กับค่าโวลต์ (voltage) นำทั้งสองค่าไปพล็อตกราฟเส้น โดยแกนตั้งเป็นค่าโวลต์ที่วัดได้ และแกนนอนเป็นค่าลักซ์ (lux) ที่ทำการวัดได้เช่นกัน เพื่อเปรียบเทียบว่าโฟโตไดโอดที่ใช้มีความเป็นเชิงเส้นตามทฤษฎีจริงหรือไม่ โดยสมการทางทฤษฎีคือ

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (i_p R_f) \quad (4.1)$$

4.2 ผลการทดลองบ้านปรับแสงอัตโนมัติ

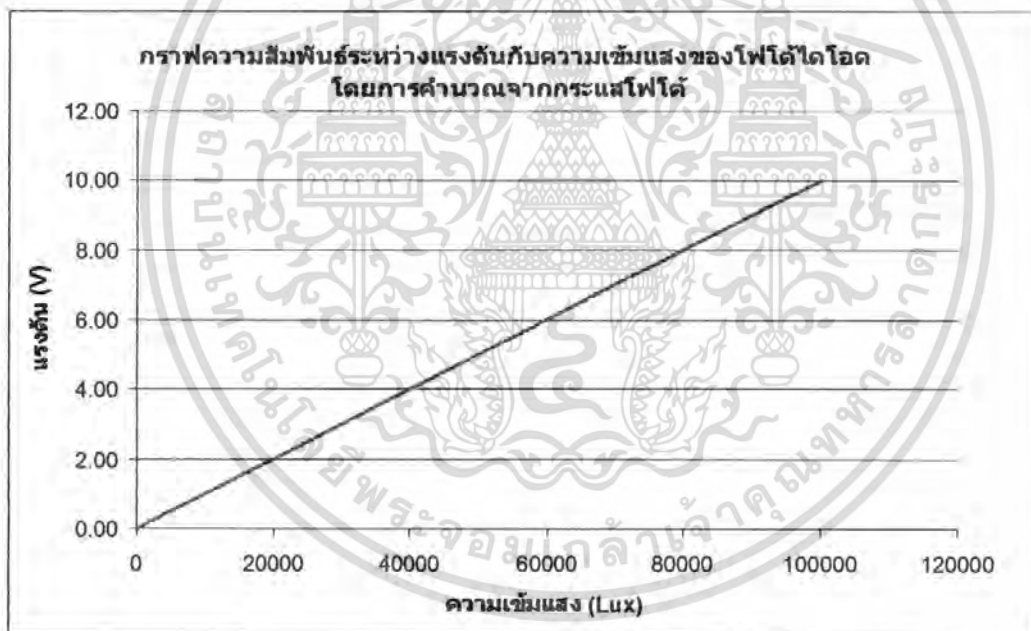
4.2.1 ผลการทดลองความเข้มแสงในแต่ละวัน

การบันทึกจะสนใจปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวัน เพื่อหาค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด แล้วนำมาหาค่าต่ำสุดเฉลี่ย และค่าสูงสุดเฉลี่ยของความเข้มแสง

จากการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด สรุปได้ว่าปริมาณความเข้มของแสงในแต่ละวัน จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 150,000 lux ค่าต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 5 lux ค่าสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 100,000 lux

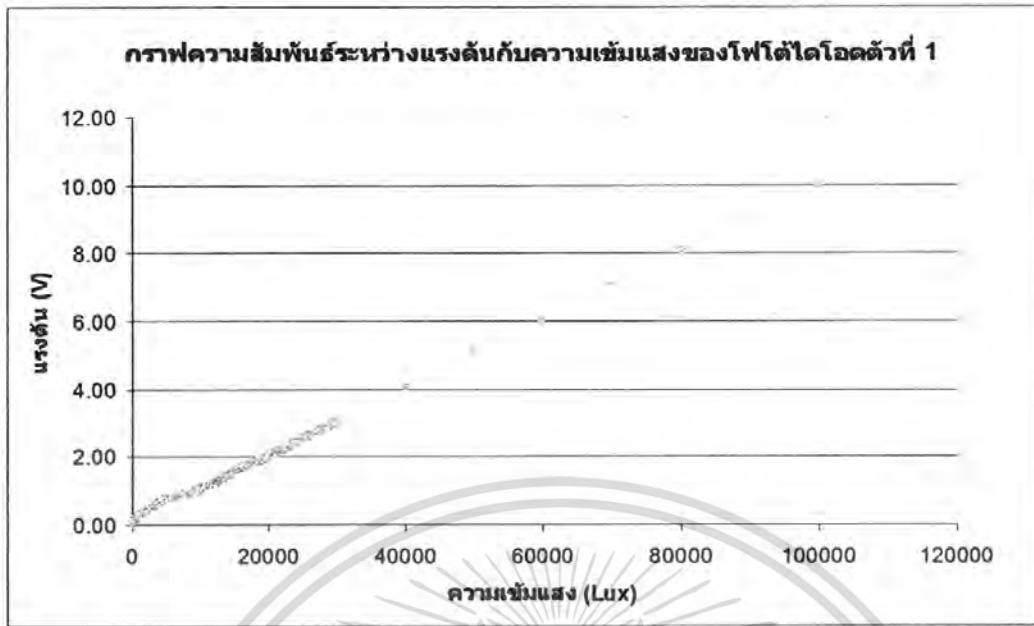
4.2.2 ผลการทดลองคุณสมบัติของไฟโต้ไดโอด

จากการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลอง สังเกตเห็นว่ากราฟที่ได้ค่อนข้างเป็นเชิงเส้น แต่ในช่วงความเข้มแสงตั้งแต่ 1 ถึง 15,000 ลักซ์ อาจจะทำให้แรงดันที่วัดได้จากไฟโต้ไดโอดมีไม่คงที่ ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อยกับการคำนวณทางทฤษฎี แต่ไม่มีผลใดๆ ต่อวงจร วงจรสามารถทำงานได้อย่างปกติ

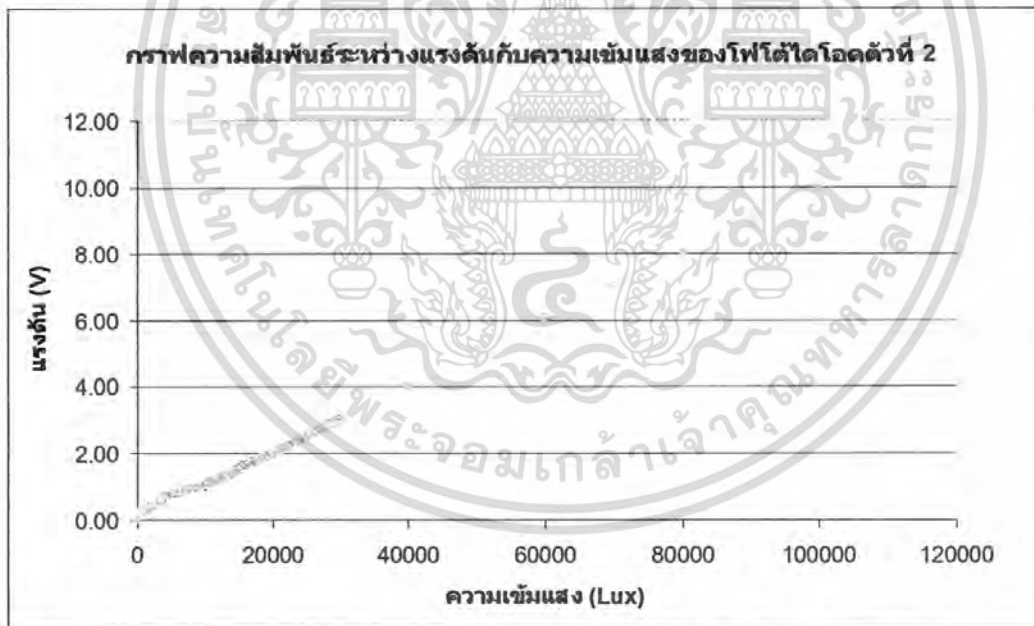


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของไฟโต้ไดโอด โดยการคำนวณจากกระแสไฟโต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

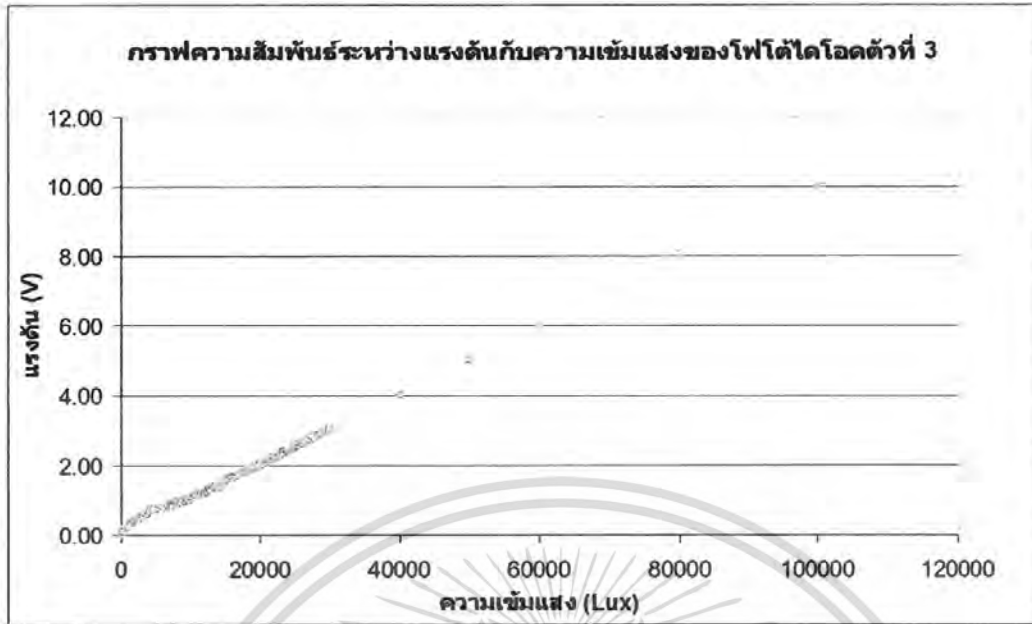


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 1

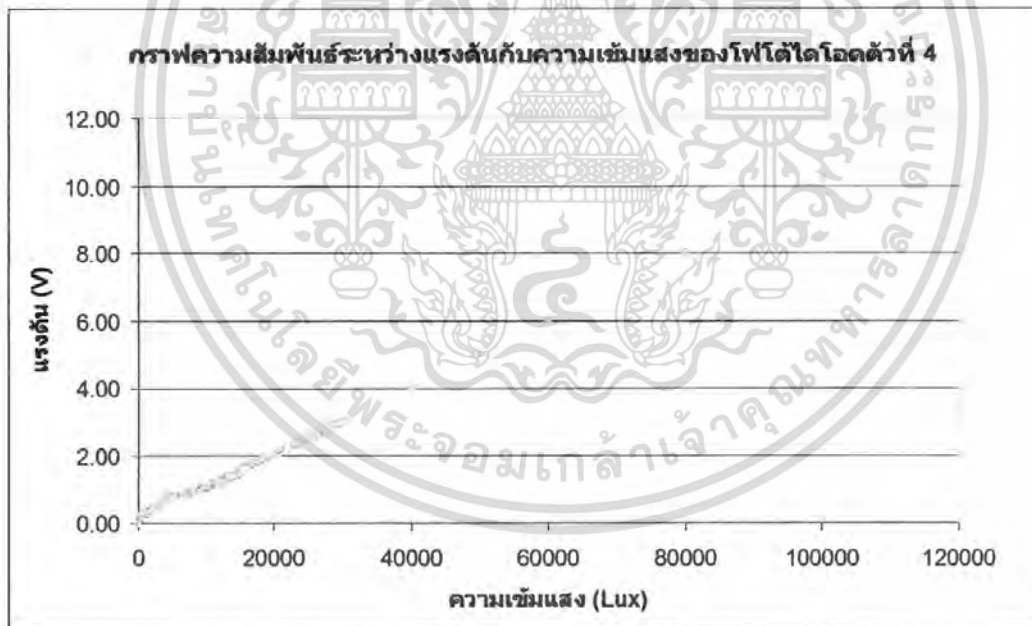


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

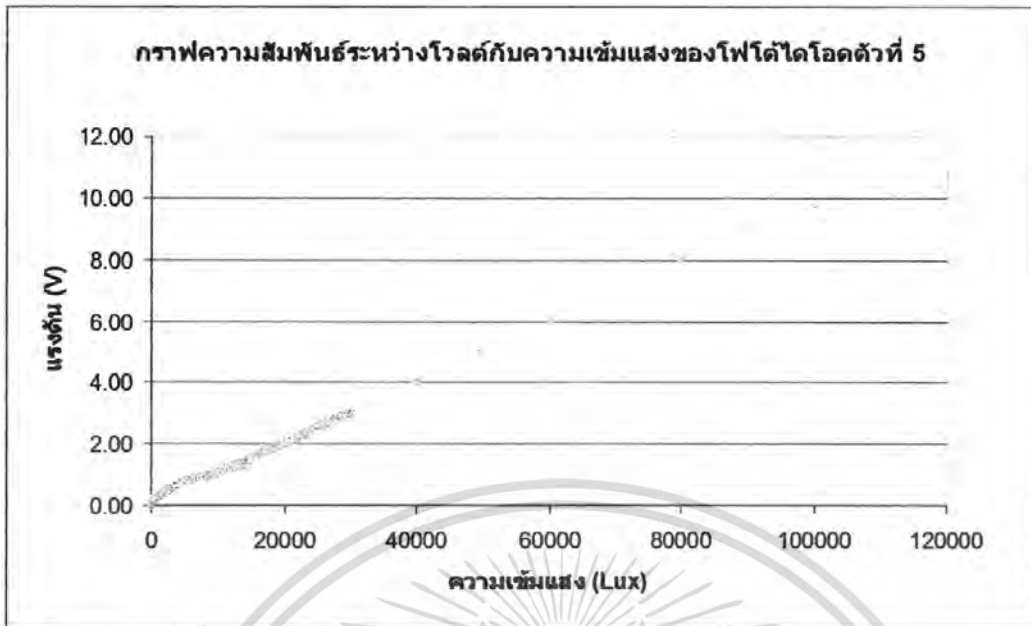


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 3

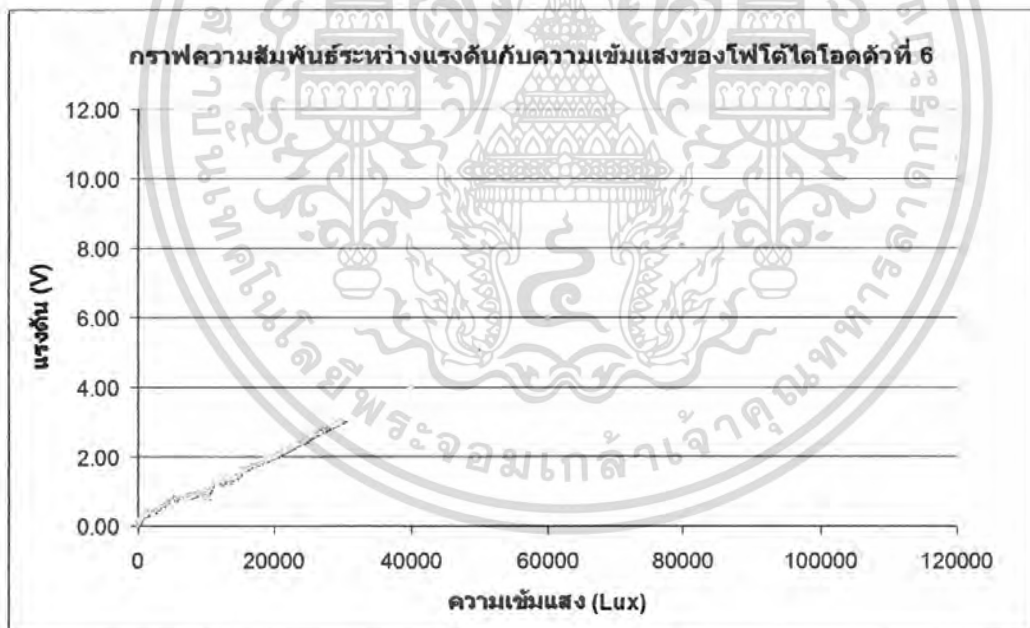


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

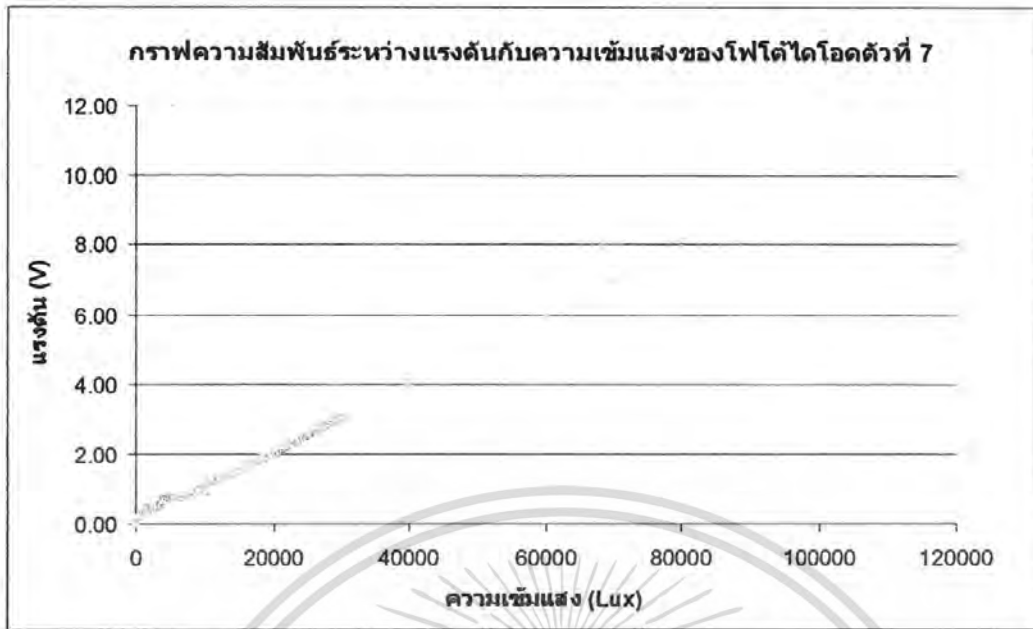


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 5

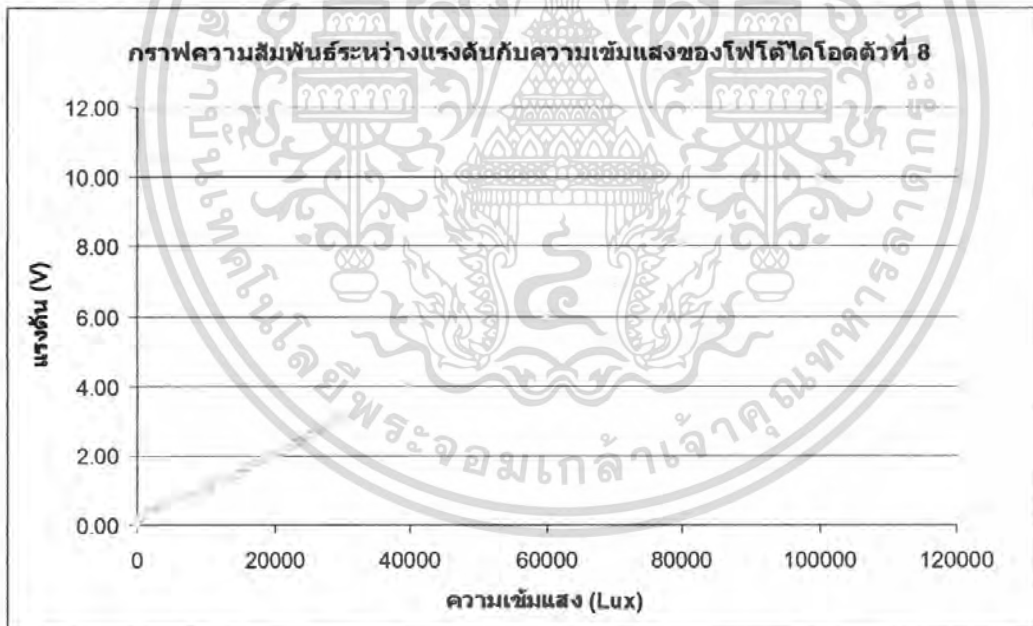


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

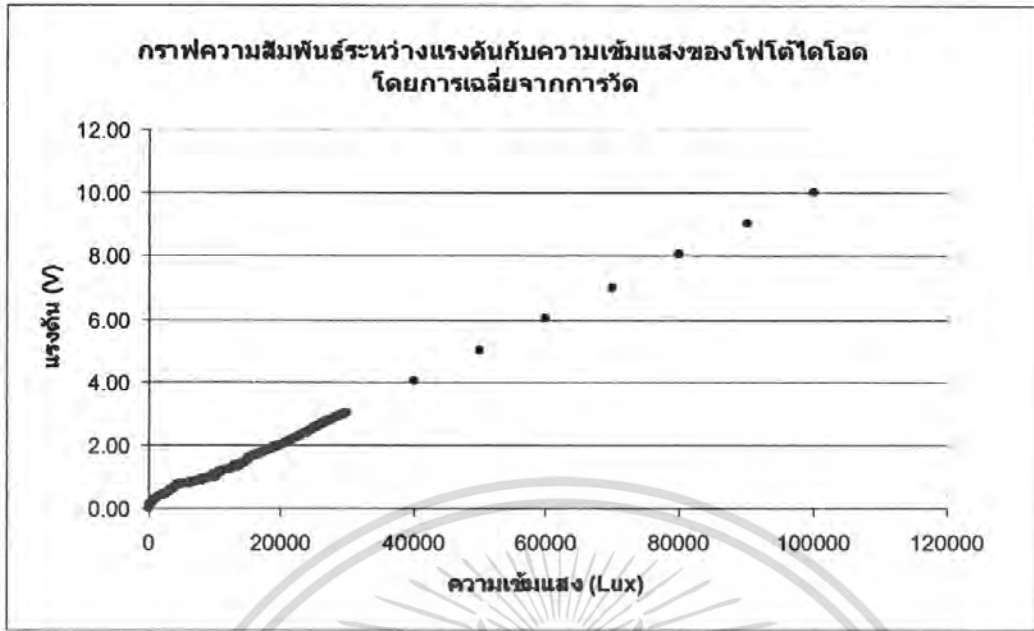


**รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 7**

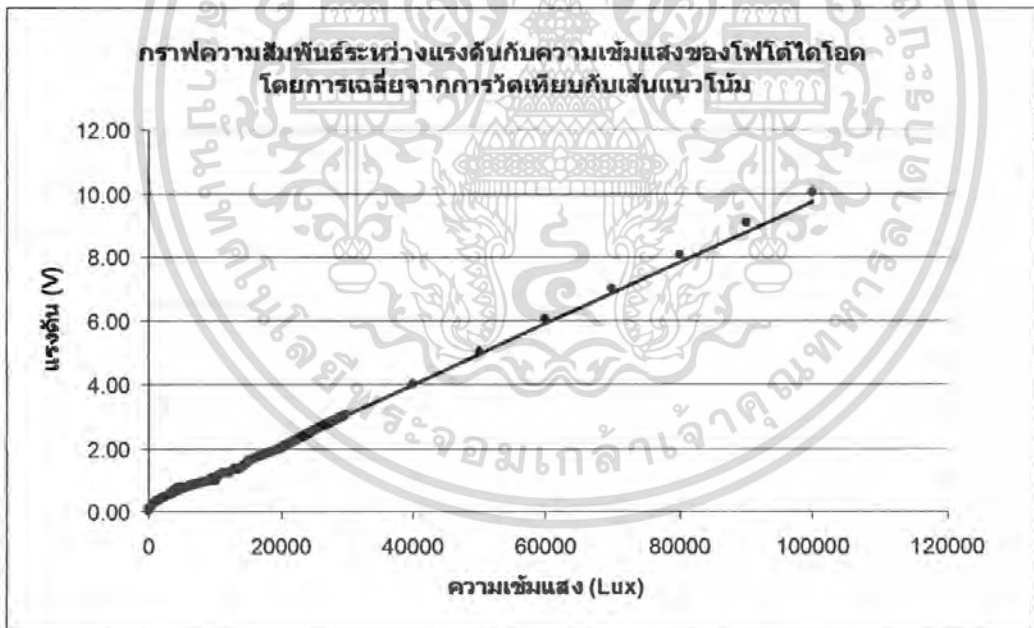


**รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดตัวที่ 8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

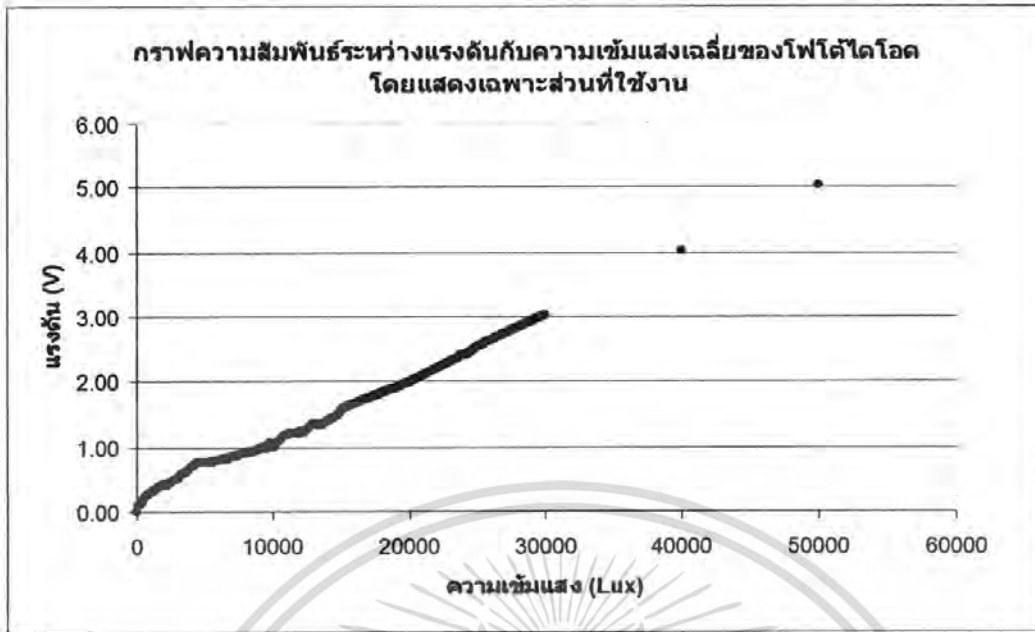


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดโดยการเฉลี่ยจากการวัด

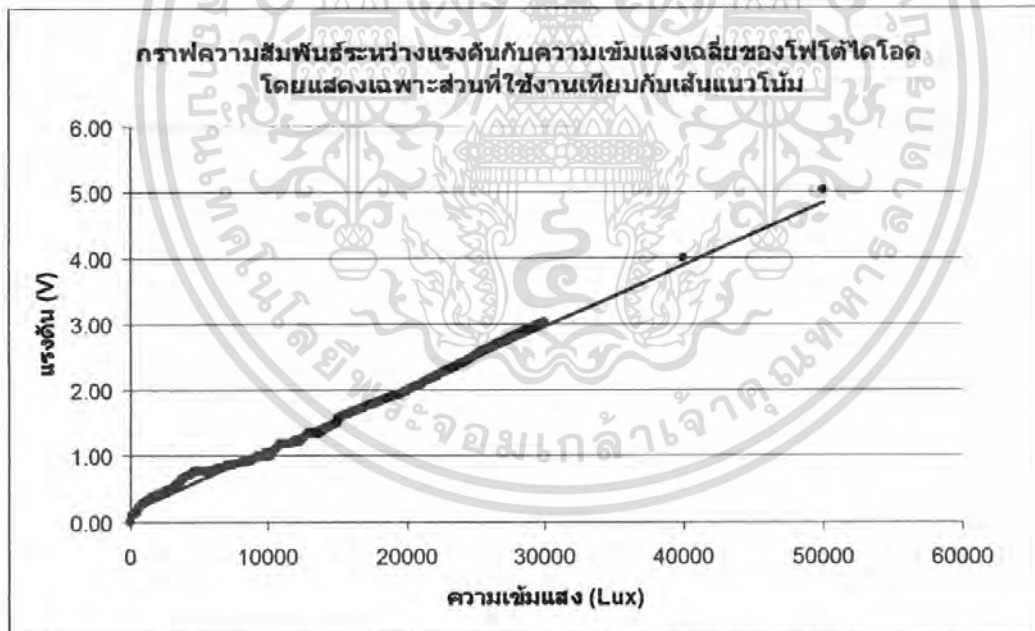


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง
ของโฟโตไดโอดโดยการเฉลี่ยจากการวัดเทียบกับเส้นแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของโฟโตไดโอด โดยแสดงเฉพาะส่วนที่ใช้งาน



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสงของโฟโตไดโอด โดยแสดงเฉพาะส่วนที่ใช้งานเทียบกับเส้นแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบ สร้าง และทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ การทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัติโดยรวมอยู่ในระดับดี ส่วนควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Mode) วงจรสามารถที่จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงแดดได้ แล้วนำมาควบคุมการเปิด-ปิด และปรับบานปรับแสงของม่านได้ การทำงานของวงจรตรวจจับแสง (light detector), วงจรส่วนประมวลผลสัญญาณ และวงจรขั้วมอเตอร์มีลักษณะการทำงานที่ดี และถ้าเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นส่วนควบคุมโดยผู้ใช้ (Manual Mode) วงจรก็ยังสามารถทำงานได้เป็นปกติตามความต้องการของผู้ใช้อีกด้วย และเนื่องด้วยคุณสมบัติของแสง และคุณสมบัติของโฟโตไดโอด (photo diode) ที่ใช้งาน มีข้อจำกัดในช่วงความเข้มแสงตั้งแต่ 1 ถึง 15000 ลักซ์ (lux) อาจทำให้การตรวจจับของแสงไม่ดีเท่าที่ควร มีค่าที่ผิดพลาดบ้าง แต่โดยรวมการทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัติ มีผลเป็นที่น่าพอใจ

5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

- การวางตำแหน่งของเซนเซอร์ยังไม่ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ของม่าน หากมีวัตถุมาบังจะทำให้การทำงานผิดพลาดได้
- ในช่วงเวลากลางคืน หรือช่วงเวลาอื่นๆ ที่ความสว่าง หรือแสงอื่นๆ ที่ไม่ใช่แสงแดดมาตกกระทบเซนเซอร์ อาจทำให้วงจรทำงานผิดพลาดได้
- โปรแกรมที่ได้ออกแบบยังไม่ครอบคลุมในทุกๆ สภาวะเพียงพอ ฉะนั้นจึงต้องมีการออกแบบ และกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม
- เนื่องจากสเปคตรัมของแสงมีค่าเป็นช่วงๆ ในแถบพลังงานช่วงสีแดง อาจทำให้โฟโตไดโอดตรวจจับแสงได้ไม่ดีเท่าที่ควร
- โฟโตไดโอดหาซื้อได้ยาก ไม่ค่อยมีขายในท้องตลาดทั่วไป
- ในช่วงความเข้มแสงต่ำจะทำให้การตอบสนองของโฟโตไดโอดช้าลง

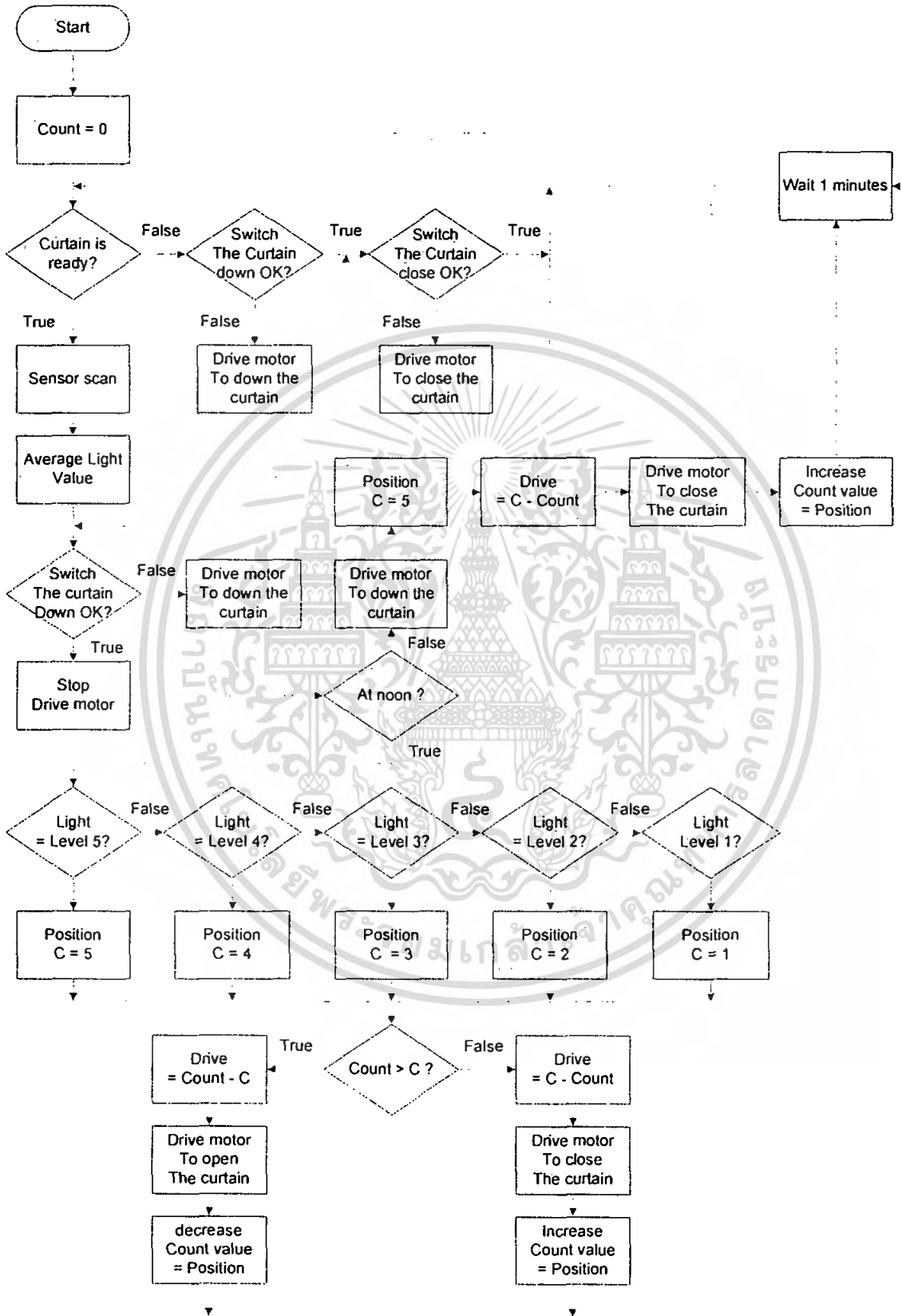
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

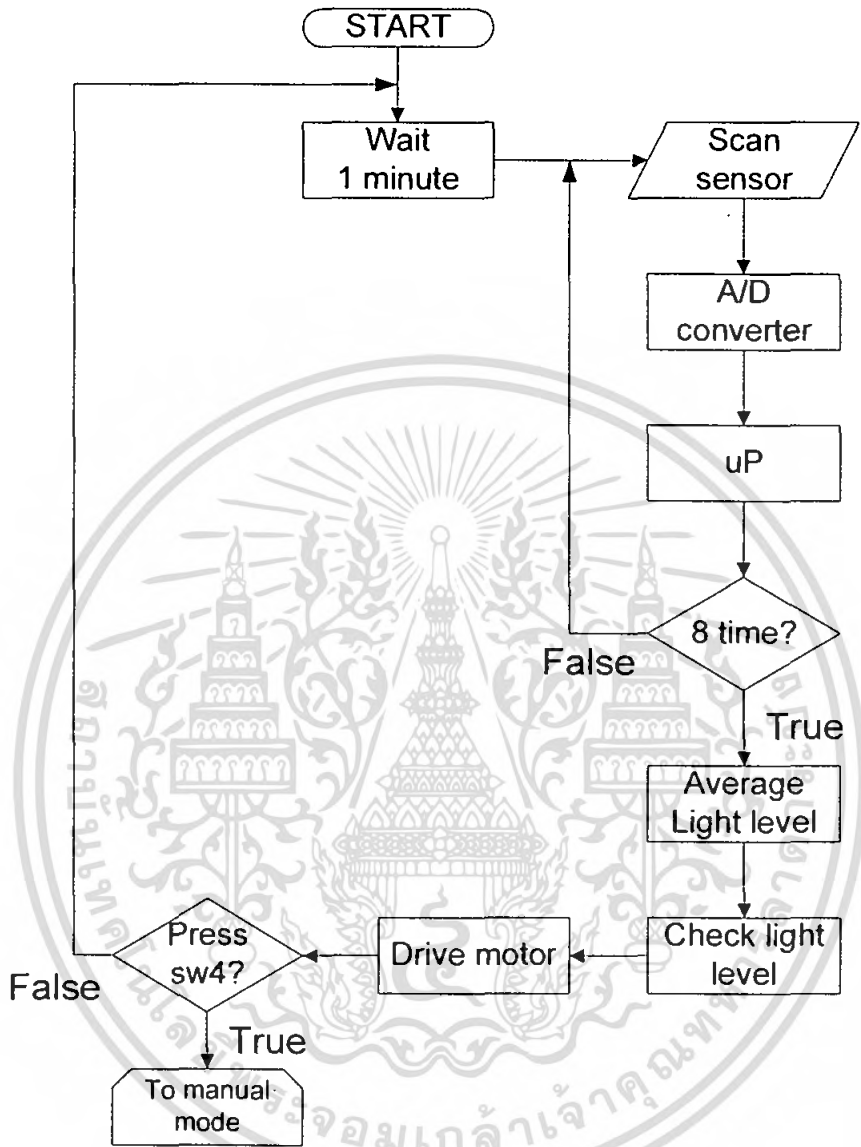
แผนผังการทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัติ ส่วนควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Mode)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

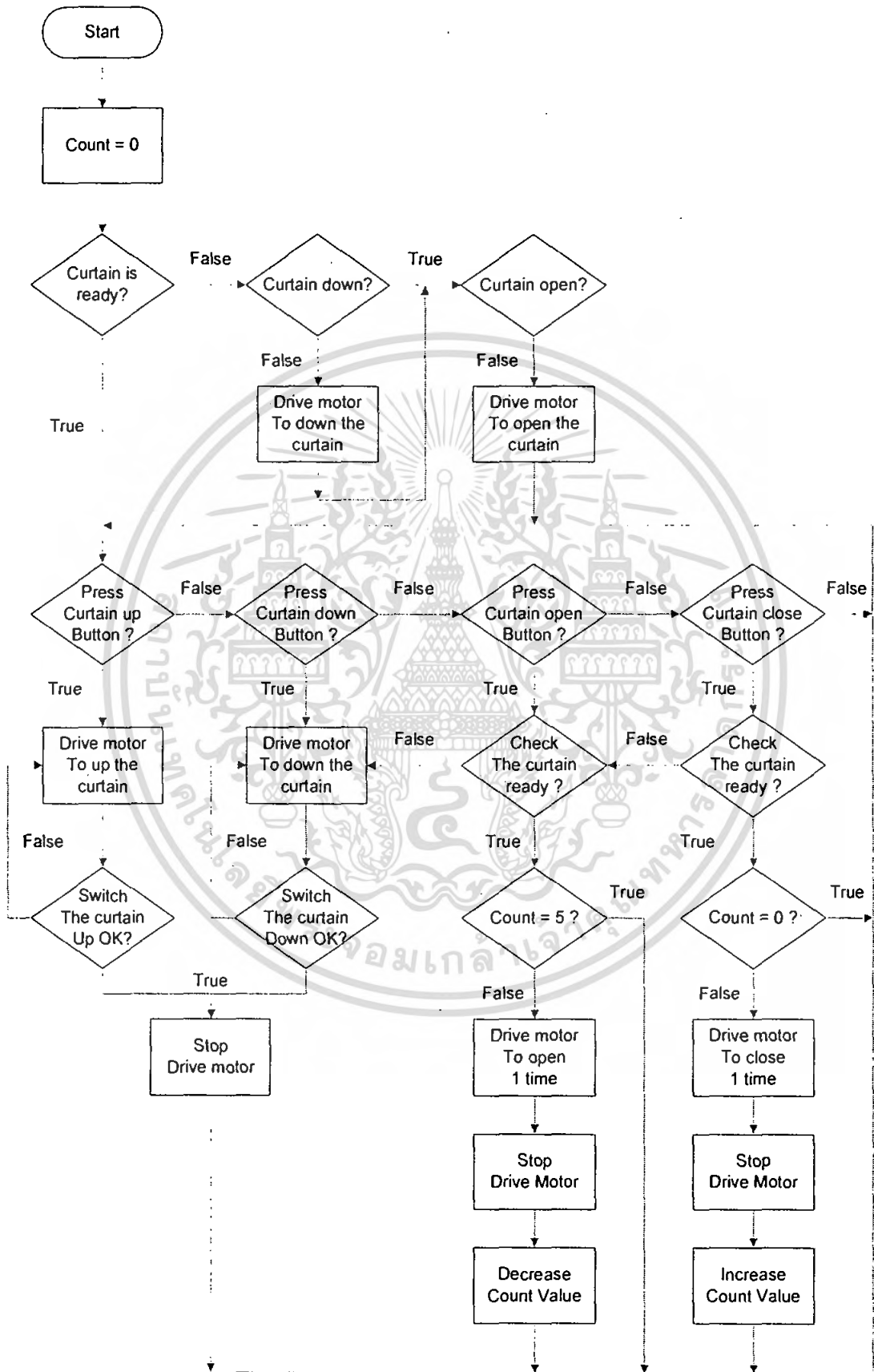
แผนผังการทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัติ ส่วนควบคุมอัตโนมัติแบบย่อ (Automatic Mode)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

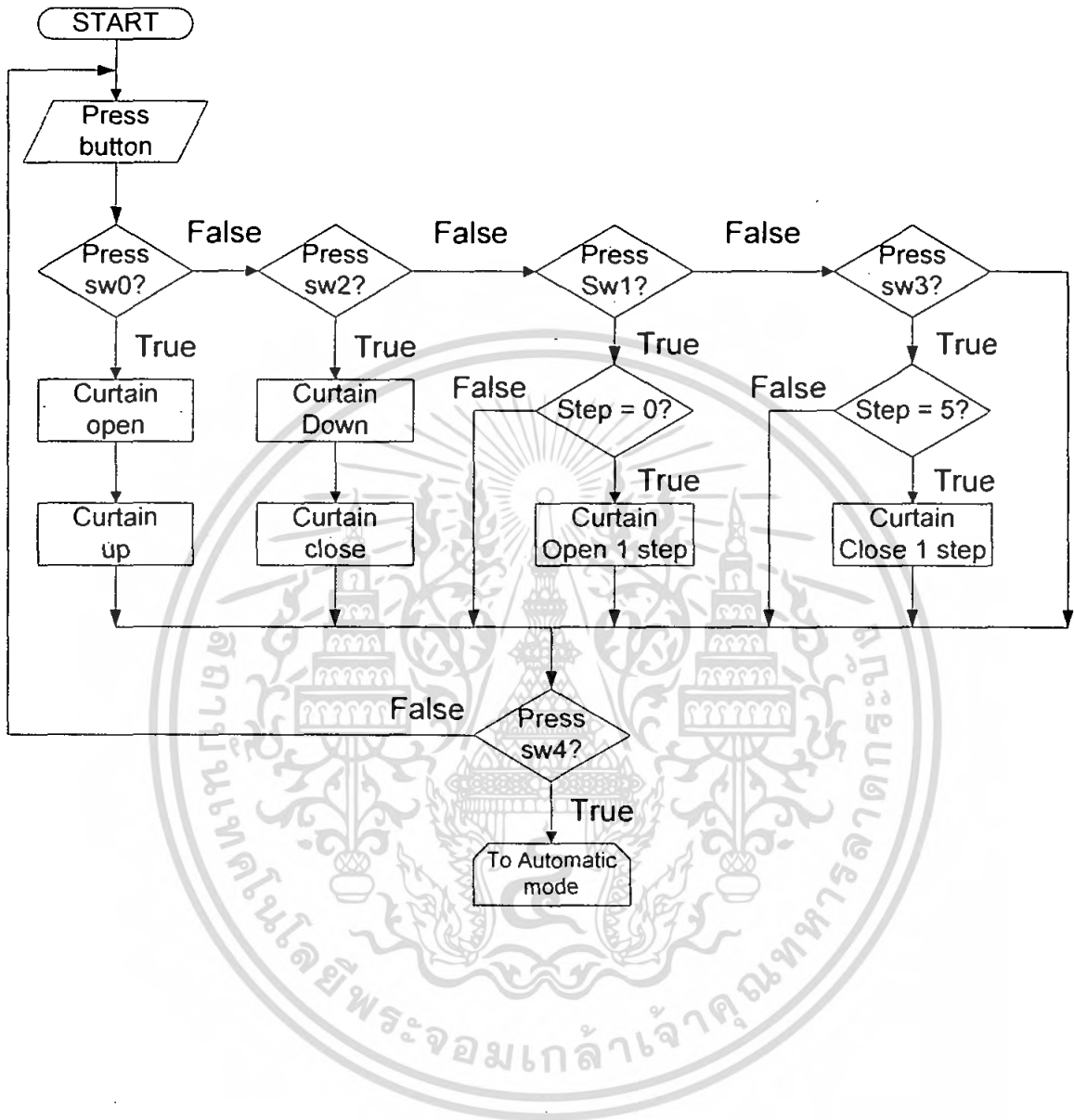
แผนผังการทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัติ ส่วนควบคุมโดยผู้ใช้ (Manual Mode)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

แผนผังการทำงานของม่านปรับแสงอัตโนมัติ ส่วนควบคุมโดยผู้ใช้แบบย่อ (Manual Mode)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก โปรแกรมควบคุมของม่านปรับแสงอัตโนมัติ

```
#include<reg51.h>
#define s 50
#define m 60
#define d 100
unsigned char count, i, drive, c, w, y;
unsigned char add[] = {0x00,0x01,0x02,0x03,0x04,0x05,0x06,0x07};
unsigned int sum, avg, value[8];
sbit sw0 = P0^0;
sbit sw1 = P0^1;
sbit sw2 = P0^2;
sbit sw3 = P0^3;
sbit sw4 = P0^4;
sbit sw5 = P0^5;
sbit sw6 = P0^6;
sbit sw7 = P0^7;
sbit start = P3^3;

/***** function wait *****/
void wait(unsigned char w)
{
    for (y = 0;y<w;y++)
    {
        unsigned char x;
        for (x=0;x<w;x++)
        {
            TH0 = 0x4c;
            TLO = 0x00;
            TFO = 0;
            TR0 = 1;
            while (TFO==0);
            TR0 = 0;
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                /***** function delay *****/
void delay(unsigned char fiftyms)
{
    unsigned char x;
    for (x=0;x<fiftyms;x++)
    {
        TH0 = 0x4c;
        TL0 = 0x00;
        TF0 = 0;
        TR0 = 1;
        while (TF0==0);
        TR0 = 0;
    }
}

                /***** function scan sensor *****/
void scan()
{
    sum = 0;
    for (i=0;i<=7;i++)
    {
        P3 = add[i];
        delay(d);
        start = 1;
        delay(s);
        start = 0;
        value[i] = P1;
        sum = sum + value[i];
    }
    avg = sum/8;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                /***** function curtain open *****/
void mopen(drive)
{
    P2 = 0x22;
    for (i=1;i<=drive;i++)
    {
        P2 = 0x2A;
        delay(m);
        P2 = 0x22;
        delay(5);
        count--;
    }
}

                /***** function curtain close *****/
void mclose(drive)
{
    P2 = 0x22;
    for (i=1;i<=drive;i++)
    {
        P2 = 0x26;
        delay(m);
        P2 = 0x22;
        delay(5);
        count++;
    }
}

                /***** function curtain up *****/
void mup()
{
    P2 = 0x22;
    while (sw5 != 0)
    {
        P2 = 0xA2;
    }
    P2 = 0x22;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                /***** function curtain down *****/
void mdown()
{
    P2 = 0x22;
    while (sw6 != 0)
    {
        P2 = 0x62;
    }
    P2 = 0x22;
}

```

```

                /***** function prepare curtain *****/
void ready()
{
    while (sw7 != 0)
        P2 = 0x2A;
    mclose(5);
    P2 = 0x22;
    count = 5;
    drive = 0;
}

```

```

                /***** function main program *****/
void main()
{
    P0 = 0xFF;
    P1 = 0xFF;
    P2 = 0x22;
    P3 = 0x00;
    mdown();
    ready();

    while(1)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                /***** Automatic Mode *****/
if (sw4 == 0)
{
    wait(d);                /***** wait for new scan *****/
    scan();
    mdown();                /***** check curtain ready down *****/

    if (avg >= 0xC8)        /***** light L.5 (4V) *****/
    {
        c = 5;
        if (c > count)
        {
            drive = c - count;
            mclose(drive);
        }
    }
    else
    {
        if (avg >= 0x96)    /***** light L.4 (3V) *****/
        {
            c = 4;
            if (c > count)
            {
                drive = c - count;
                mclose(drive);
            }
        }
        else
        {
            drive = count - c;
            mopen(drive);
        }
    }
}
else
{
    if (avg >= 0x64)        /***** light L.3 (2V) *****/
    {
        c = 3;
        if (c > count)
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        drive = c - count;
        mclose(drive);
    }
    else
    {
        drive = count - c;
        mopen(drive);
    }
}
else
{
    if (avg >= 0x32)                /****** light L.2 (>1V) *****/
    {
        c = 2;
        if (c > count)
        {
            drive = c - count;
            mclose(drive);
        }
        else
        {
            drive = count - c;
            mopen(drive);
        }
    }
    else
    {
        if (avg >= 0x08)            /****** light L.1 (>0.16V) *****/
        {
            c = 1;
            if (c > count)
            {
                drive = c - count;
                mclose(drive);
            }
            else
            {
                drive = count - c;
                mopen(drive);
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
else
{
if (avg > 0x01)          /****** light less (>0.02V) *****/
{
    c = 0;
    drive = count - c;
    mopen(drive);
    mup();
}
else
{
    mdown();          /****** at night (<0.02V) *****/
    c = 5;
    drive = c - count;
    mclose(drive);
}
}
}
}
}
}

/****** Manual Mode *****/
if (sw4 == 1)
{
    if (sw2 == 0)          /****** press button curtain down *****/
    {
        delay(10);
        if (sw2 == 0)
        {
            mdown();
            mclose(3);
            ready();
        }
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM124 LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max. (for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE : SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V

DESCRIPTION

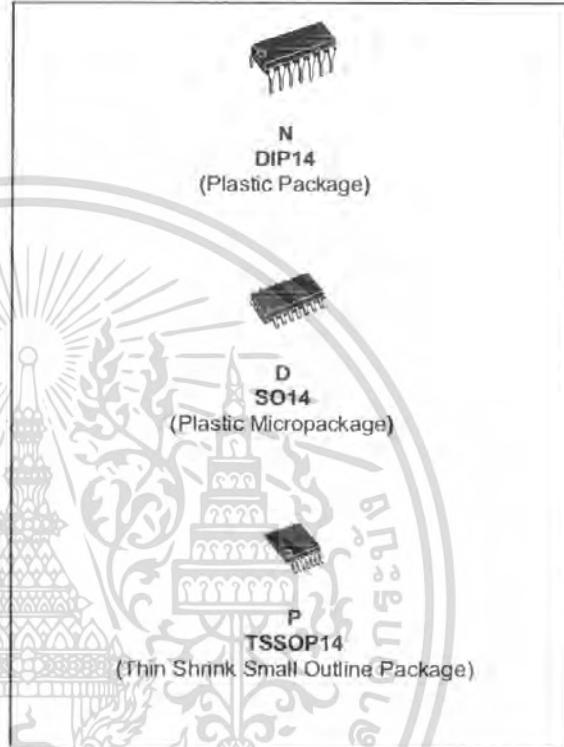
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODE

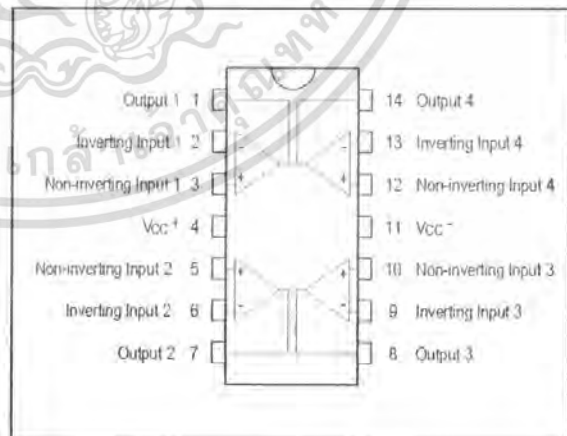
| Part Number | Temperature Range | Package | | |
|-------------|-------------------|---------|---|---|
| | | N | D | P |
| LM124 | -55°C, +125°C | • | • | • |
| LM224 | -40°C, +105°C | • | • | • |
| LM324 | 0°C, +70°C | • | • | • |

Example : LM224N

N = Dual in Line Package (DIP)
 D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
 P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

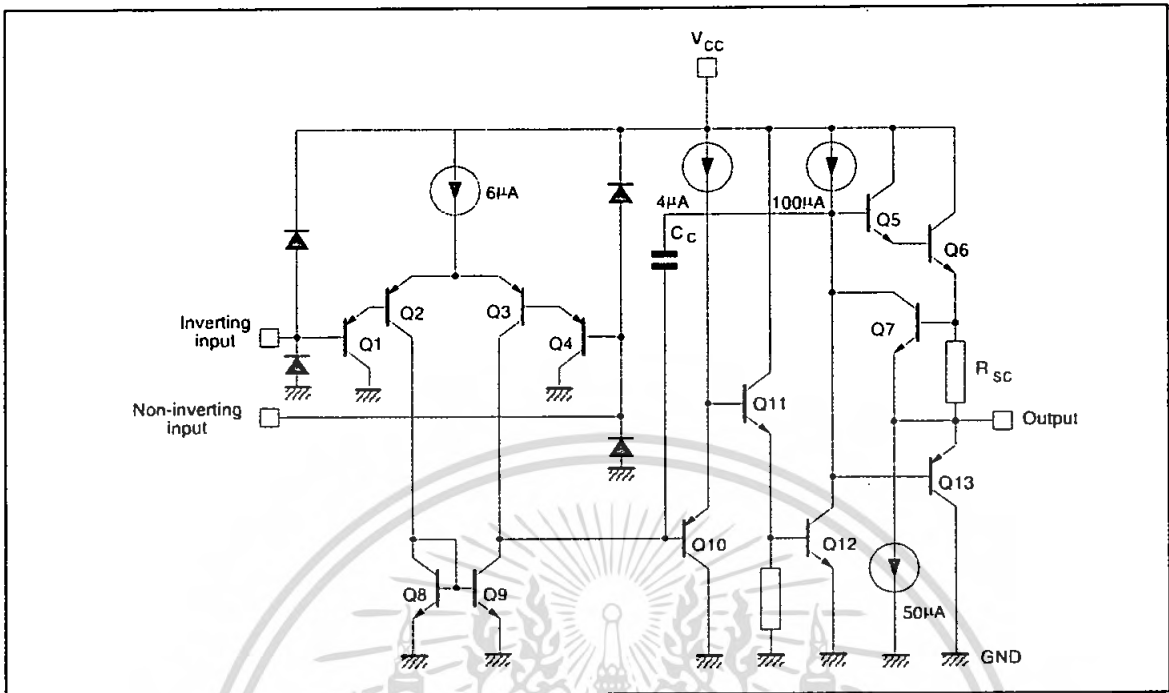


PIN CONNECTIONS (top view)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | LM124 | LM224 | LM324 | Unit |
|------------|---|-------------|-------------|----------|------|
| V_{CC} | Supply voltage | ±16 or 32 | | | V |
| V_i | Input Voltage | -0.3 to +32 | | | V |
| V_{id} | Differential Input Voltage ¹⁾ | +32 | | | V |
| P_{tot} | Power Dissipation | N Suffix | 500 | 500 | mW |
| | | D Suffix | | 400 | 400 |
| | Output Short-circuit Duration ²⁾ | Infinite | | | |
| I_{in} | Input Current ³⁾ | 50 | 50 | 50 | mA |
| T_{oper} | Operating Free-air Temperature Range | -55 to +125 | -40 to +105 | 0 to +70 | °C |
| T_{stg} | Storage Temperature Range | -65 to +150 | | | °C |

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of V_{CC} or V_{CC} .
2. Short-circuits from the output to VCC can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_o = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

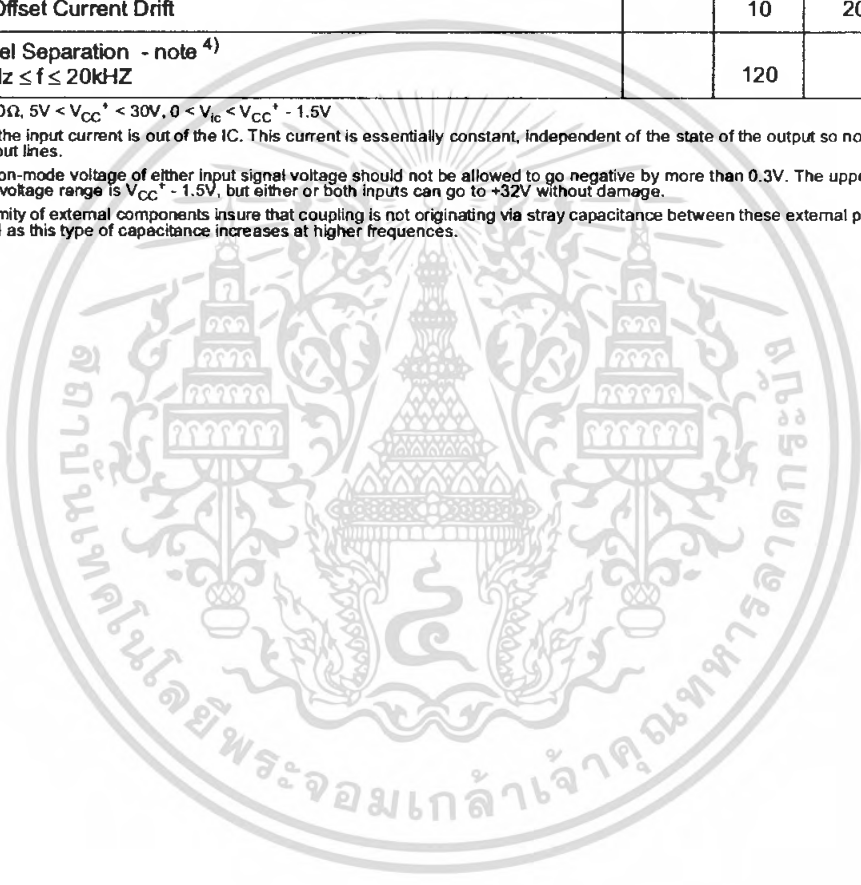
| Symbol | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------------|---|----------|------|----------------|---------------|
| V_{io} | Input Offset Voltage - note ¹⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 2 | 5 | mV |
| | LM324 $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | | 7 | |
| I_{io} | Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 2 | 30 | nA |
| | LM324 $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | | 100 | |
| I_{ib} | Input Bias Current - note ²⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 20 | 150 | nA |
| A_{vd} | Large Signal Voltage Gain $V_{CC}^+ = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_o = 1.4V$ to $11.4V$ | | 100 | | V/mV |
| | $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 50 25 | | | |
| SVR | Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ | | 110 | | dB |
| | $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 65 65 | | | |
| I_{CC} | Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 0.7 | 1.2 | mA |
| | $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 1.5 | 3 | |
| V_{icm} | Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note ³⁾ | | | $V_{CC} - 1.5$ | V |
| | $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 0 0 | | $V_{CC} - 2$ | |
| CMR | Common Mode Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 80 | | dB |
| | $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 70 60 | | | |
| I_{source} | Output Current Source ($V_{id} = +1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_o = +2V$ | | 40 | 70 | mA |
| I_{sink} | Output Sink Current ($V_{id} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_o = +2V$ | | 20 | | mA μA |
| | $V_{CC} = +15V$, $V_o = +0.2V$ | 10 12 | | 50 | |
| V_{OH} | High Level Output Voltage $V_{CC} = +30V$ | | | | V |
| | $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 27 | | |
| | $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 26 26 | | | |
| | $T_{amb} = +25^\circ C$ | | 28 | | |
| V_{OH} | $R_L = 2k\Omega$ | | | | V |
| | $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 27 27 | | | |
| | $R_L = 10k\Omega$ | | | | |
| | $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | 3.5 3 | | | |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Symbol | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------|--|------|-------|----------|------------------------|
| V_{OL} | Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 5 | 20 20 | mV |
| SR | Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_i = 0.5$ to $3V, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$, unity Gain | | 0.4 | | V/ μs |
| GBP | Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, V_{in} = 10mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$ | | 1.3 | | MHz |
| THD | Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_v = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_o = 2V_{pp}, C_L = 100pF, V_{CC} = 30V$ | | 0.015 | | % |
| e_n | Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$ | | 40 | | $\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$ |
| DV_{iO} | Input Offset Voltage Drift | | 7 | 30 | $\mu V/^\circ C$ |
| DI_{iO} | Input Offset Current Drift | | 10 | 200 | $pA/^\circ C$ |
| V_{o1}/V_{o2} | Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$ | | 120 | | dB |

- $V_o = 1.4V, R_s = 0\Omega, 5V < V_{CC} < 30V, 0 < V_{ic} < V_{CC} - 1.5V$
- The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.
- Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808/ADC0809

8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE® outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

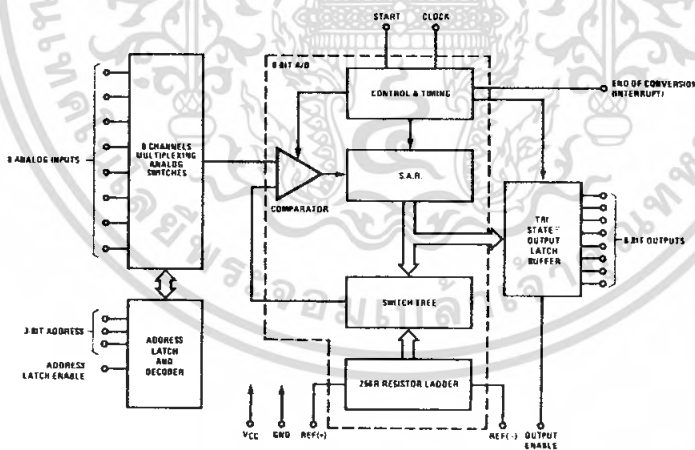
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

- Resolution 8 Bits
- Total Unadjusted Error $\pm \frac{1}{2}$ LSB and ± 1 LSB
- Single Supply 5 V_{DC}
- Low Power 15 mW
- Conversion Time 100 μ s

Block Diagram



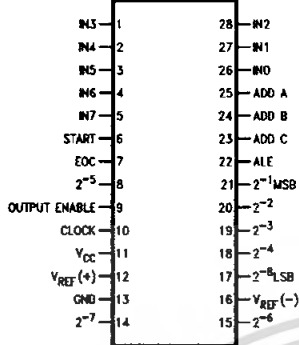
See Ordering Information

TRI STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

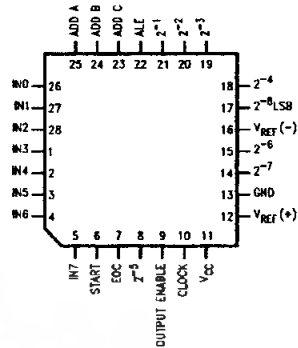
Dual-In-Line Package



DS005672-11

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



DS005672-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

| TEMPERATURE RANGE | | -40°C to +85°C | | | -55°C to +125°C |
|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|------------------|------------------|
| Error | ± ½ LSB Unadjusted | ADC0808CCN | ADC0808CCV | ADC0808CCJ | ADC0808CJ |
| | ± 1 LSB Unadjusted | ADC0809CCN | ADC0809CCV | | |
| Package Outline | | N28A Molded DIP | V28A Molded Chip Carrier | J28A Ceramic DIP | J28A Ceramic DIP |

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

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

| | |
|---|----------------------------|
| Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3) | 6.5V |
| Voltage at Any Pin Except Control Inputs | -0.3V to ($V_{CC}+0.3V$) |
| Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C) | -0.3V to +15V |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Package Dissipation at $T_A=25^\circ\text{C}$ | 875 mW |
| Lead Temp. (Soldering, 10 seconds) | |
| Dual-In-Line Package (plastic) | 260°C |

| | |
|--------------------------------|-------|
| Dual-In-Line Package (ceramic) | 300°C |
| Molded Chip Carrier Package | |
| Vapor Phase (60 seconds) | 215°C |
| Infrared (15 seconds) | 220°C |
| ESD Susceptibility (Note 8) | 400V |

Operating Conditions (Notes 1, 2)

| | |
|----------------------------|---|
| Temperature Range (Note 1) | $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ |
| ADC0808CCN, ADC0809CCN | $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ |
| ADC0808CCV, ADC0809CCV | $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ |
| Range of V_{CC} (Note 1) | $4.5 V_{DC}$ to $6.0 V_{DC}$ |

Electrical Characteristics

Converter Specifications: $V_{CC}=5 V_{DC}=V_{REF+}$, $V_{REF-}=GND$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK}=640$ kHz unless otherwise stated.

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|----------------|------------|------------------------|---------------|
| | ADC0808 | | | | | |
| | Total Unadjusted Error (Note 5) | 25°C T_{MIN} to T_{MAX} | | | $\pm 1/2$ $\pm 3/4$ | LSB LSB |
| | ADC0809 | | | | | |
| | Total Unadjusted Error (Note 5) | 0°C to 70°C T_{MIN} to T_{MAX} | | | ± 1 $\pm 1 1/4$ | LSB LSB |
| | Input Resistance | From Ref(+) to Ref(-) | 1.0 | 2.5 | | k Ω |
| | Analog Input Voltage Range | (Note 4) V(+) or V(-) | GND-0.10 | | $V_{CC}+0.10$ | V_{DC} |
| $V_{REF(+)}$ | Voltage, Top of Ladder | Measured at Ref(+) | | V_{CC} | $V_{CC}+0.1$ | V |
| $\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$ | Voltage, Center of Ladder | | $V_{CC}/2-0.1$ | $V_{CC}/2$ | $V_{CC}/2+0.1$ | V |
| $V_{REF(-)}$ | Voltage, Bottom of Ladder | Measured at Ref(-) | -0.1 | 0 | | V |
| I_{IN} | Comparator Input Current | $f_c=640$ kHz, (Note 6) | -2 | ± 0.5 | 2 | μA |

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 < V_{CC} \leq 5.25\text{V}$, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|---------------------------|---|---|--------------|-----|------------|---------------------|
| ANALOG MULTIPLEXER | | | | | | |
| $I_{OFF(+)}$ | OFF Channel Leakage Current | $V_{CC}=5\text{V}$, $V_{IN}=5\text{V}$, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX} | | 10 | 200 1.0 | nA μA |
| $I_{OFF(-)}$ | OFF Channel Leakage Current | $V_{CC}=5\text{V}$, $V_{IN}=0$, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX} | -200 -1.0 | -10 | | nA μA |
| CONTROL INPUTS | | | | | | |
| $V_{IN(1)}$ | Logical "1" Input Voltage | | $V_{CC}-1.5$ | | | V |
| $V_{IN(0)}$ | Logical "0" Input Voltage | | | | 1.5 | V |
| $I_{IN(1)}$ | Logical "1" Input Current (The Control Inputs) | $V_{IN}=15\text{V}$ | | | 1.0 | μA |
| $I_{IN(0)}$ | Logical "0" Input Current (The Control Inputs) | $V_{IN}=0$ | -1.0 | | | μA |
| I_{CC} | Supply Current | $f_{CLK}=640$ kHz | | 0.3 | 3.0 | mA |

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$, $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$ unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|---|--------------------------------|---|-----|------------|------|----------------------------|
| DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT) | | | | | | |
| $V_{OUT(1)}$ | Logical "1" Output Voltage | $V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$ | | 2.4 4.5 | | $V_{(min)}$ $V_{(min)}$ |
| $V_{OUT(0)}$ | Logical "0" Output Voltage | $I_O = 1.6 mA$ | | | 0.45 | V |
| $V_{OUT(0)}$ | Logical "0" Output Voltage EOC | $I_O = 1.2 mA$ | | | 0.45 | V |
| I_{OUT} | TRI-STATE Output Current | $V_O = 5V$ $V_O = 0$ | -3 | | 3 | μA μA |

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$, $V_{REF(-)} = GND$, $t_r = t_f = 20 ns$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted.

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Typ | Max | Units |
|------------------|-----------------------------------|--|-----|-----|------|-----------------------------|
| t_{WS} | Minimum Start Pulse Width | (Figure 5) | | 100 | 200 | ns |
| t_{WALE} | Minimum ALE Pulse Width | (Figure 5) | | 100 | 200 | ns |
| t_s | Minimum Address Set-Up Time | (Figure 5) | | 25 | 50 | ns |
| t_H | Minimum Address Hold Time | (Figure 5) | | 25 | 50 | ns |
| t_D | Analog MUX Delay Time From ALE | $R_S = 0\Omega$ (Figure 5) | | 1 | 2.5 | μs |
| t_{H1}, t_{H0} | OE Control to Q Logic State | $C_L = 50 pF$, $R_L = 10k$ (Figure 8) | | 125 | 250 | ns |
| t_{H1}, t_{OH} | OE Control to Hi-Z | $C_L = 10 pF$, $R_L = 10k$ (Figure 8) | | 125 | 250 | ns |
| t_c | Conversion Time | $f_c = 640 kHz$, (Figure 5) (Note 7) | 90 | 100 | 116 | μs |
| f_c | Clock Frequency | | 10 | 640 | 1280 | kHz |
| t_{EOC} | EOC Delay Time | (Figure 5) | 0 | | 8+2 | μs Clock Periods |
| C_{IN} | Input Capacitance | At Control Inputs | | 10 | 15 | pF |
| C_{OUT} | TRI-STATE Output Capacitance | At TRI-STATE Outputs | | 10 | 15 | pF |

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

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

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

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V_{DC} to 5V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example, 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. *Table 1* shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

| SELECTED ANALOG CHANNEL | ADDRESS LINE | | |
|-------------------------------|--------------|---|---|
| | C | B | A |
| IN0 | L | L | L |
| IN1 | L | L | H |
| IN2 | L | H | L |
| IN3 | L | H | H |
| IN4 | H | L | L |
| IN5 | H | L | H |
| IN6 | H | H | L |
| IN7 | H | H | H |

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (*Figure 1*) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+1/2$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)

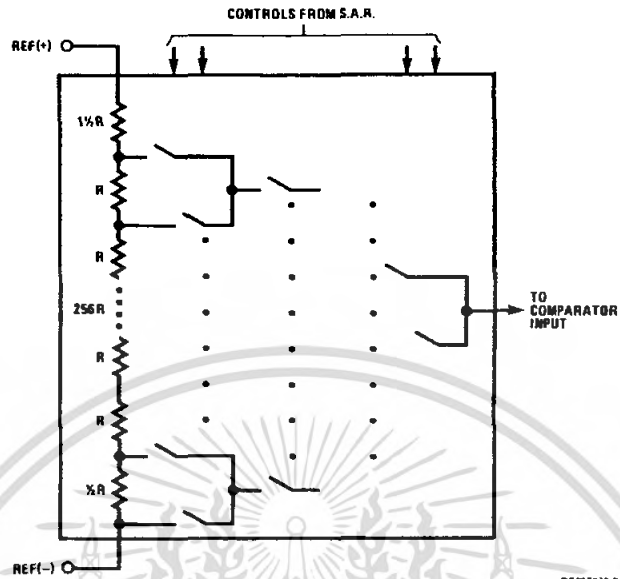


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

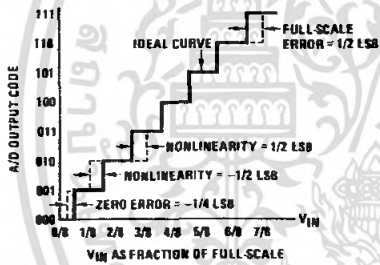


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

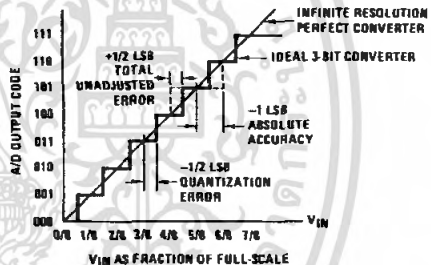


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve



FIGURE 4. Typical Error Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagram

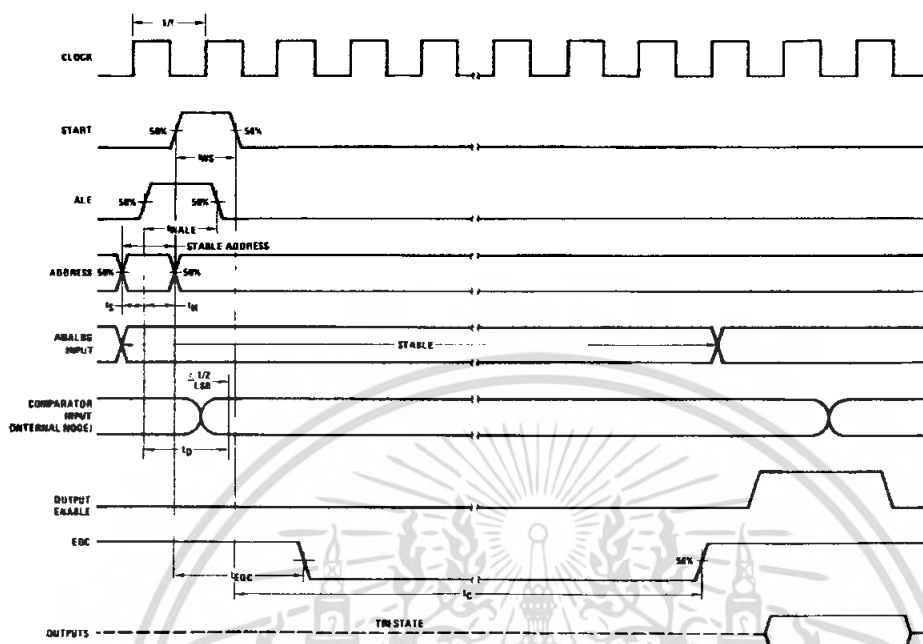


FIGURE 5.

DS005672-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

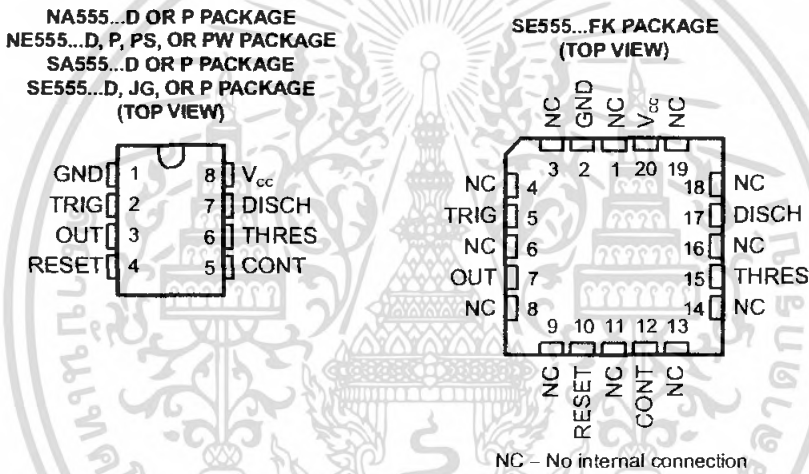
- Timing From Microseconds to Hours
- Adjustable Duty Cycle
- Astable or Monostable Operation
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source up to 200 mA

DESCRIPTION/ORDERING INFORMATION

These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or monostable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the astable mode of operation, the frequency and duty cycle can be controlled independently with two external resistors and a single external capacitor.

The threshold and trigger levels normally are two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control-voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set, and the output goes high. If the trigger input is above the trigger level and the threshold input is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset (RESET) input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When RESET goes low, the flip-flop is reset, and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between discharge (DISCH) and ground.

The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 mA. Operation is specified for supplies of 5 V to 15 V. With a 5-V supply, output levels are compatible with TTL inputs.



 Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

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

Copyright © 1973–2006, Texas Instruments Incorporated. On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION (continued)

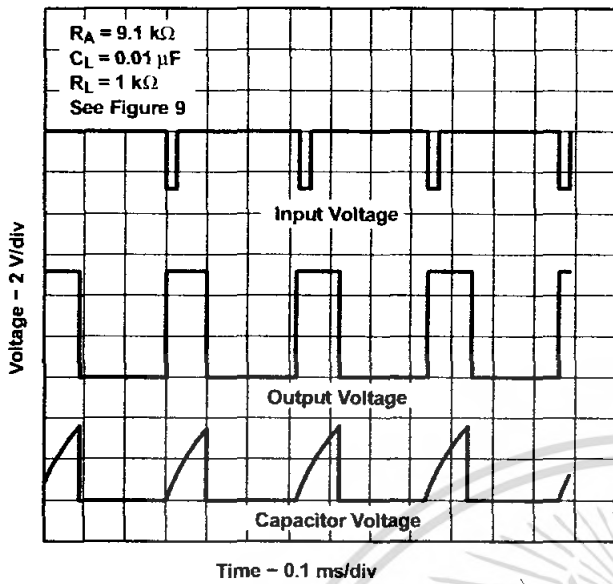


Figure 10. Typical Monostable Waveforms

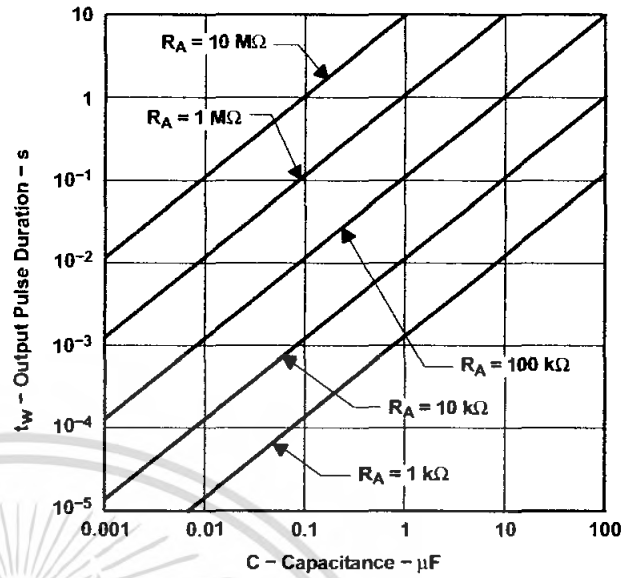
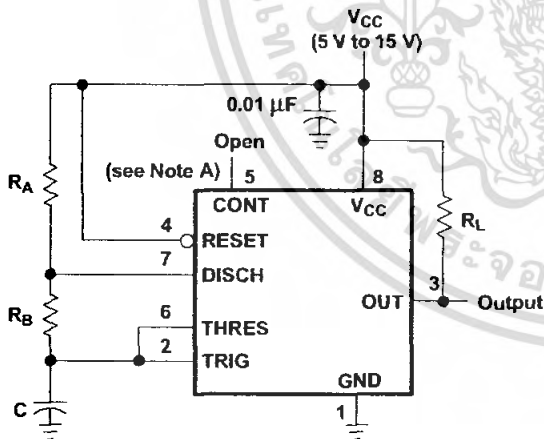


Figure 11. Output Pulse Duration vs Capacitance

Astable Operation

As shown in Figure 12, adding a second resistor, R_B , to the circuit of Figure 9 and connecting the trigger input to the threshold input causes the timer to self-trigger and run as a multivibrator. The capacitor C charges through R_A and R_B and then discharges through R_B only. Therefore, the duty cycle is controlled by the values of R_A and R_B .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ($\approx 0.67 \times V_{CC}$) and the trigger-voltage level ($\approx 0.33 \times V_{CC}$). As in the monostable circuit, charge and discharge times (and, therefore, the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: Decoupling CONT voltage to ground with a capacitor can improve operation. This should be evaluated for individual applications.

Figure 12. Circuit for Astable Operation

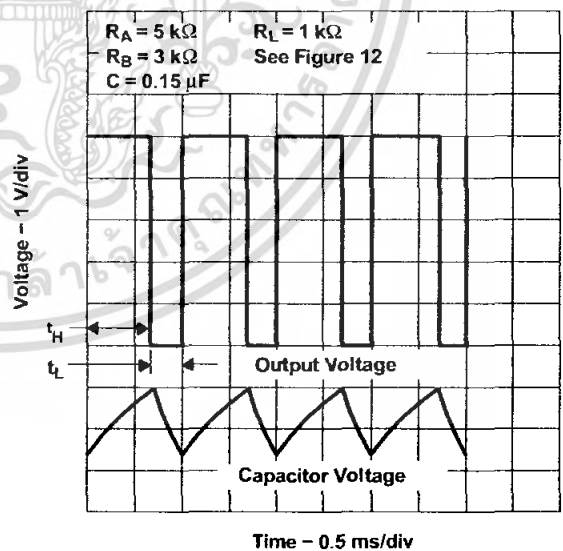


Figure 13. Typical Astable Waveforms

APPLICATION INFORMATION (continued)

Figure 13 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration t_H and low-level duration t_L can be calculated as follows:

$$t_H = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$t_L = 0.693 (R_B) C$$

Other useful relationships are shown below.

$$\text{period} = t_H + t_L = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

$$\text{frequency} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

Output waveform duty cycle

$$= \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

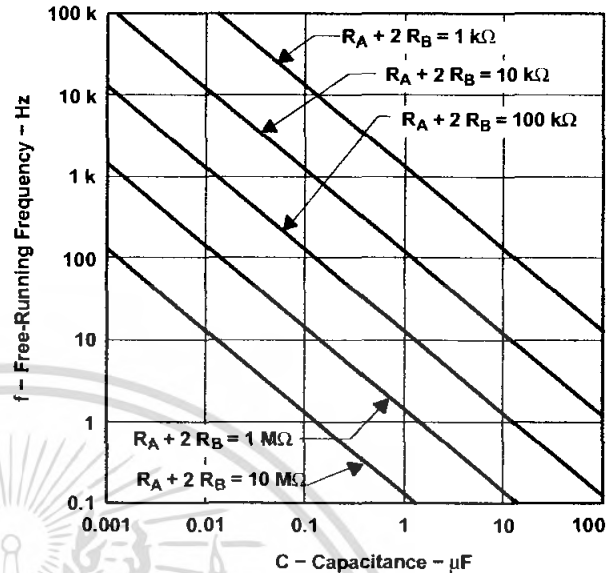
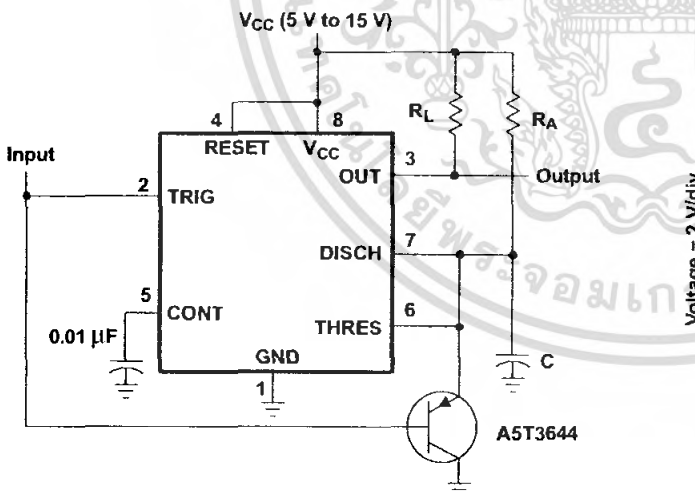


Figure 14. Free-Running Frequency

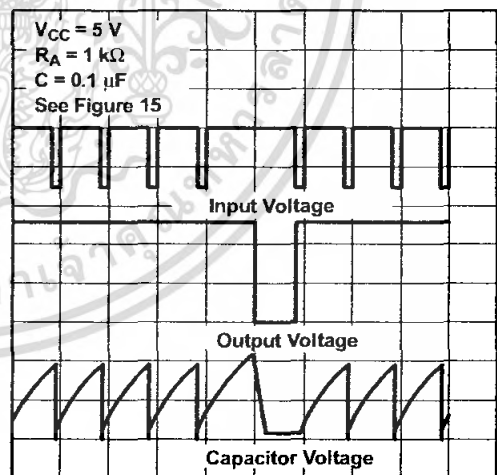
Missing-Pulse Detector

The circuit shown in Figure 15 can be used to detect a missing pulse or abnormally long spacing between consecutive pulses in a train of pulses. The timing interval of the monostable circuit is retrigged continuously by the input pulse train as long as the pulse spacing is less than the timing interval. A longer pulse spacing, missing pulse, or terminated pulse train permits the timing interval to be completed, thereby generating an output pulse as shown in Figure 16.



Pin numbers shown are shown for the D, JG, P, PS, and PW packages.

Figure 15. Circuit for Missing-Pulse Detector



Time - 0.1 ms/div

Figure 16. Completed Timing Waveforms for Missing-Pulse Detector

Features

- Compatible with MCS[®]-51 Products
- 8K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
 - Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

1. Description

The AT89S52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 8K bytes of in-system programmable Flash memory. 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 Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S52 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, 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 AT89S52 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.



8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash

AT89S52

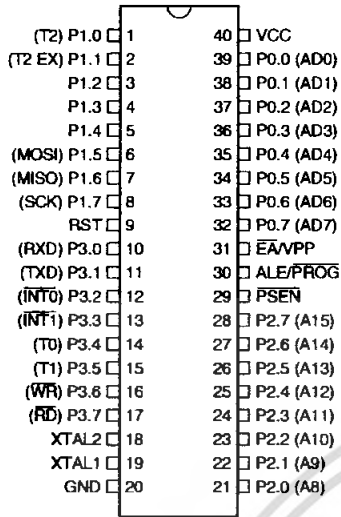
1919C-MICRO-3/05



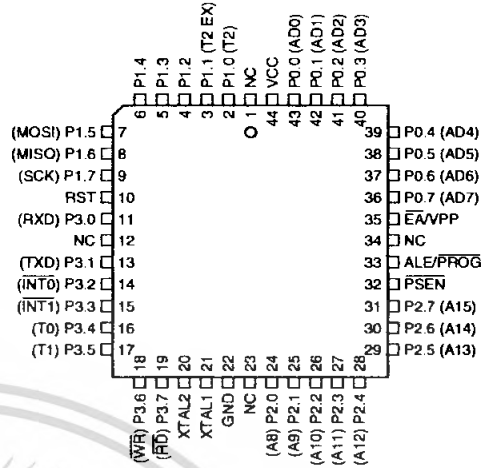
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Pin Configurations

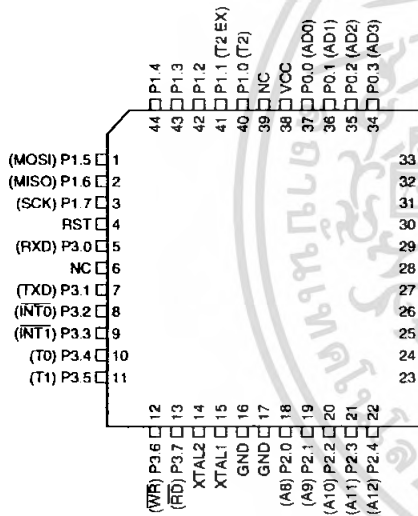
2.1 40-lead PDIP



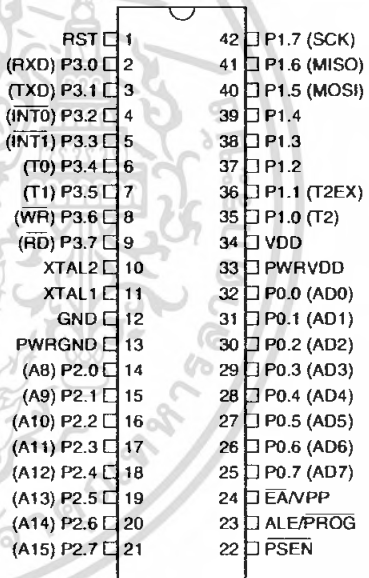
2.3 44-lead PLCC



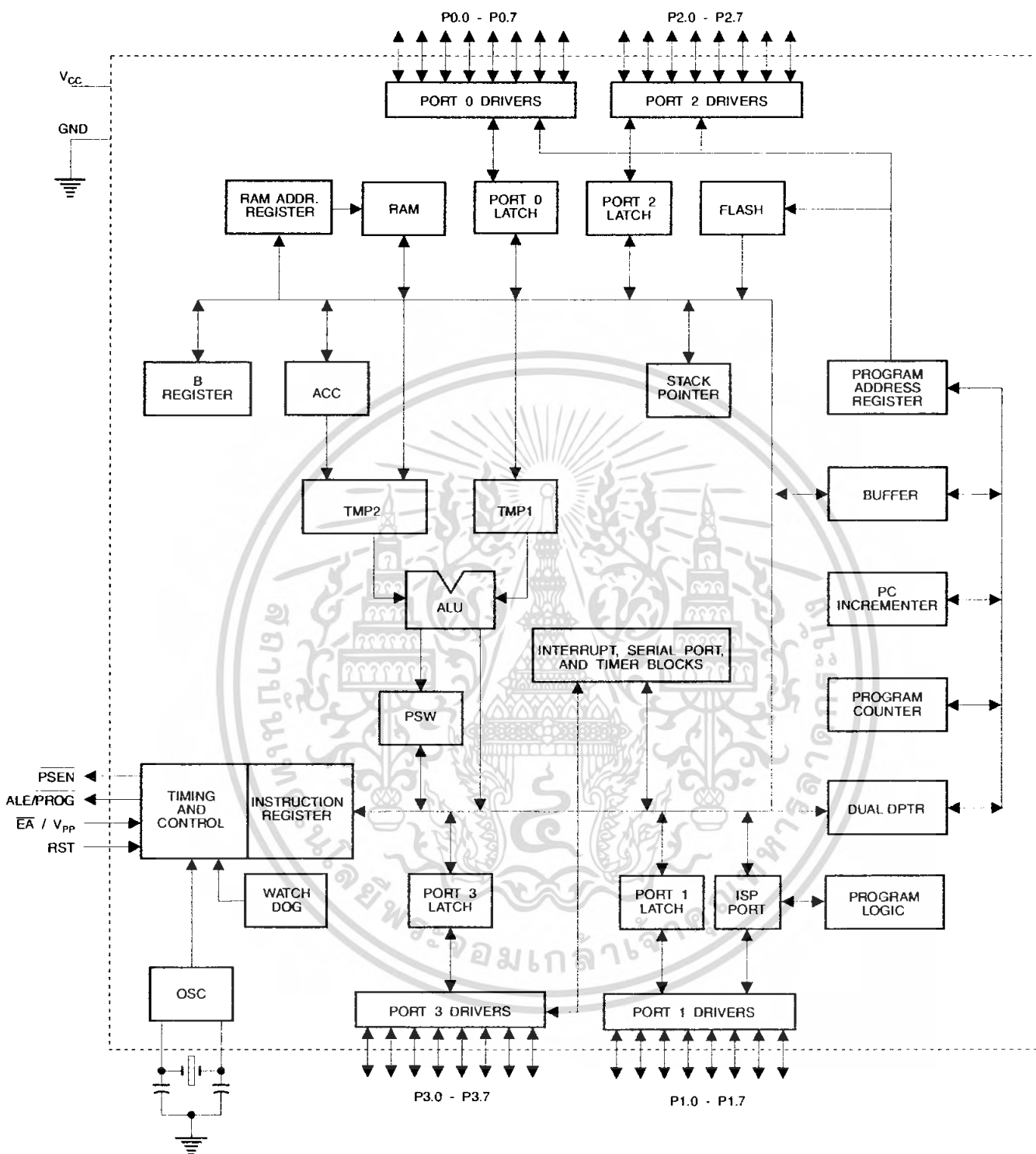
2.2 44-lead TQFP



2.4 42-lead PDIP



3. Block Diagram



14. Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 16-1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 16-2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

15. Idle Mode

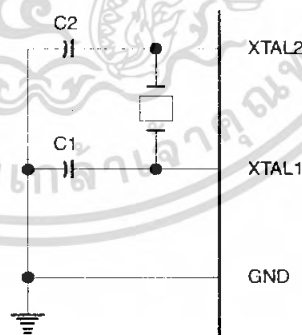
In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

16. Power-down Mode

In the Power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes Power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the Power-down mode is terminated. Exit from Power-down mode can be initiated either by a hardware reset or by an enabled external interrupt. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 16-1. Oscillator Connections



Note: 1. C1, C2 = 30 pF \pm 10 pF for Crystals
= 40 pF \pm 10 pF for Ceramic Resonators



Figure 16-2. External Clock Drive Configuration

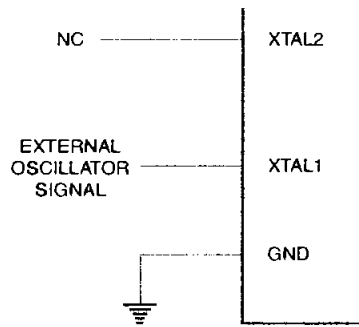


Table 16-1. Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

| Mode | Program Memory | ALE | $\overline{\text{PSEN}}$ | PORT0 | PORT1 | PORT2 | PORT3 |
|------------|----------------|-----|--------------------------|-------|-------|---------|-------|
| Idle | Internal | 1 | 1 | Data | Data | Data | Data |
| Idle | External | 1 | 1 | Float | Data | Address | Data |
| Power-down | Internal | 0 | 0 | Data | Data | Data | Data |
| Power-down | External | 0 | 0 | Float | Data | Data | Data |

17. Program Memory Lock Bits

The AT89S52 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in Table 17-1.

Table 17-1. Lock Bit Protection Modes

| | Program Lock Bits | | | Protection Type |
|---|-------------------|-----|-----|---|
| | LB1 | LB2 | LB3 | |
| 1 | U | U | U | No program lock features |
| 2 | P | U | U | MOV _C instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{\text{EA}}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash memory is disabled |
| 3 | P | P | U | Same as mode 2, but verify is also disabled |
| 4 | P | P | P | Same as mode 3, but external execution is also disabled |

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the $\overline{\text{EA}}$ pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value and holds that value until reset is activated. The latched value of $\overline{\text{EA}}$ must agree with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

26. Absolute Maximum Ratings*

| | |
|---|-----------------|
| Operating Temperature..... | -55°C to +125°C |
| Storage Temperature..... | -65°C to +150°C |
| Voltage on Any Pin with Respect to Ground..... | -1.0V to +7.0V |
| Maximum Operating Voltage..... | 6.6V |
| DC Output Current..... | 15.0 mA |

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

27. DC Characteristics

The values shown in this table are valid for $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C and $V_{CC} = 4.0\text{V}$ to 5.5V , unless otherwise noted.

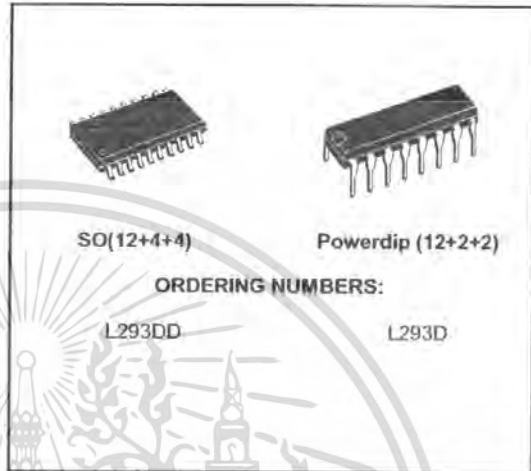
| Symbol | Parameter | Condition | Min | Max | Units |
|-----------|---|--|------------------------|------------------|------------------|
| V_{IL} | Input Low Voltage | (Except $\bar{E}A$) | -0.5 | $0.2 V_{CC}-0.1$ | V |
| V_{IL1} | Input Low Voltage ($\bar{E}A$) | | -0.5 | $0.2 V_{CC}-0.3$ | V |
| V_{IH} | Input High Voltage | (Except XTAL1, RST) | $0.2 V_{CC}+0.9$ | $V_{CC}+0.5$ | V |
| V_{IH1} | Input High Voltage | (XTAL1, RST) | $0.7 V_{CC}$ | $V_{CC}+0.5$ | V |
| V_{OL} | Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3) | $I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$ | | 0.45 | V |
| V_{OL1} | Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN) | $I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$ | | 0.45 | V |
| V_{OH} | Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN) | $I_{OH} = -60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$ | 2.4 | | V |
| | | $I_{OH} = -25 \mu\text{A}$ | $0.75 V_{CC}$ | | V |
| | | $I_{OH} = -10 \mu\text{A}$ | $0.9 V_{CC}$ | | V |
| V_{OH1} | Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode) | $I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$ | 2.4 | | V |
| | | $I_{OH} = -300 \mu\text{A}$ | $0.75 V_{CC}$ | | V |
| | | $I_{OH} = -80 \mu\text{A}$ | $0.9 V_{CC}$ | | V |
| I_{IL} | Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3) | $V_{IN} = 0.45\text{V}$ | | -50 | μA |
| I_{TL} | Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3) | $V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$ | | -300 | μA |
| I_{LI} | Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$) | $0.45 < V_{IN} < V_{CC}$ | | ± 10 | μA |
| RRST | Reset Pulldown Resistor | | 50 | 300 | $\text{K}\Omega$ |
| C_{IO} | Pin Capacitance | Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 10 | pF |
| I_{CC} | Power Supply Current | Active Mode, 12 MHz | | 25 | mA |
| | | Idle Mode, 12 MHz | | 6.5 | mA |
| | | Power-down Mode ⁽¹⁾ | $V_{CC} = 5.5\text{V}$ | 50 | μA |

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port:
 Port 0: 26 mA Ports 1, 2, 3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.



PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES



DESCRIPTION

The Device is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors.

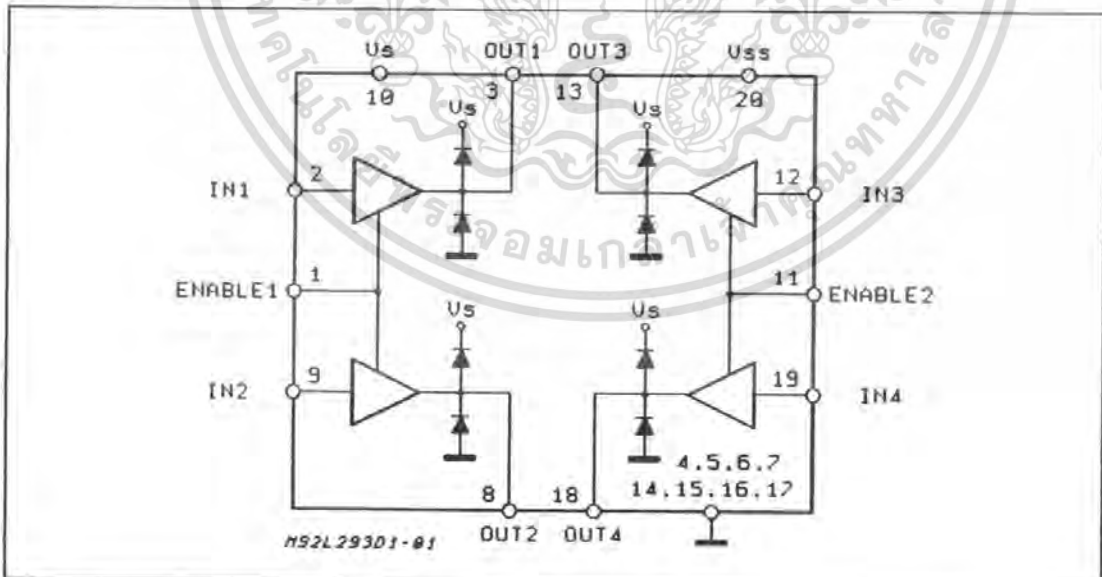
To simplify use as two bridges each pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a lower voltage and internal clamp diodes are included.

This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 kHz.

The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking

The L293DD is assembled in a 20 lead surface mount which has 8 center pins connected together and used for heatsinking.

BLOCK DIAGRAM

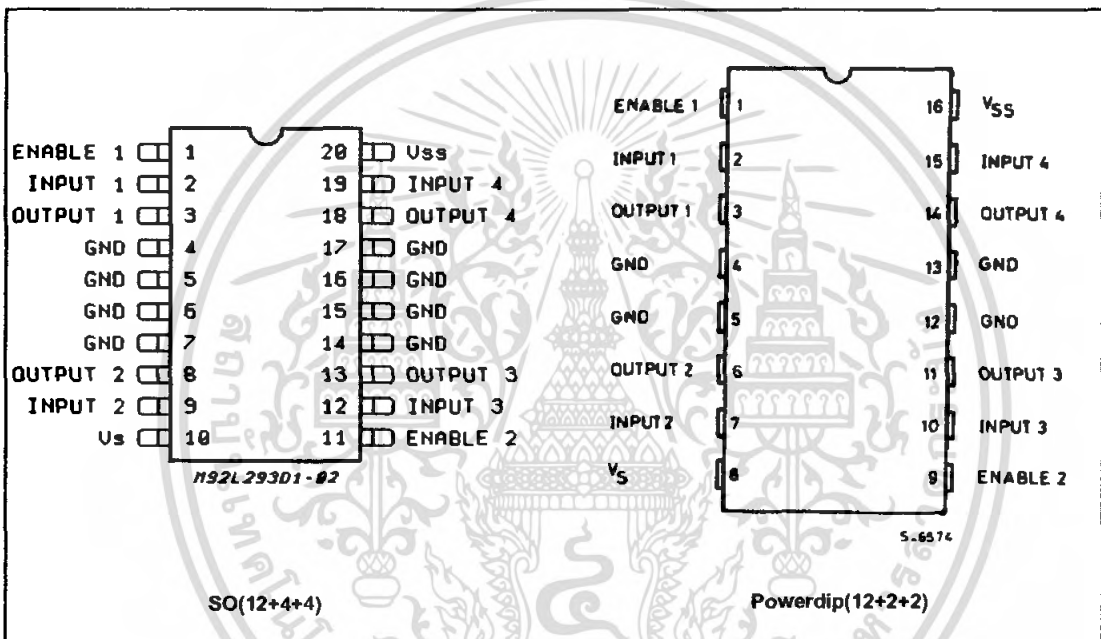


L293D - L293DD

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|----------------|--|-------------|------|
| V_S | Supply Voltage | 36 | V |
| V_{SS} | Logic Supply Voltage | 36 | V |
| V_i | Input Voltage | 7 | V |
| V_{en} | Enable Voltage | 7 | V |
| I_o | Peak Output Current (100 μ s non repetitive) | 1.2 | A |
| P_{tot} | Total Power Dissipation at $T_{pins} = 90$ °C | 4 | W |
| T_{stg}, T_j | Storage and Junction Temperature | - 40 to 150 | °C |

PIN CONNECTIONS (Top view)



THERMAL DATA

| Symbol | Description | DIP | SO | Unit |
|-----------------|-------------------------------------|------|--------|------|
| $R_{th j-pins}$ | Thermal Resistance Junction-pins | max. | 14 | °C/W |
| $R_{th j-amb}$ | Thermal Resistance junction-ambient | max. | 50 (*) | °C/W |
| $R_{th j-case}$ | Thermal Resistance Junction-case | max. | 14 | °C/W |

(*) With 6sq. cm on board heatsink.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (for each channel, $V_S = 24\text{ V}$, $V_{SS} = 5\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|----------------|--|--|----------|------|----------|---------------|
| V_S | Supply Voltage (pin 10) | | V_{SS} | | 36 | V |
| V_{SS} | Logic Supply Voltage (pin 20) | | 4.5 | | 36 | V |
| I_S | Total Quiescent Supply Current (pin 10) | $V_I = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$ | | 2 | 6 | mA |
| | | $V_I = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$ | | 16 | 24 | mA |
| | | $V_{en} = L$ | | | 4 | mA |
| I_{SS} | Total Quiescent Logic Supply Current (pin 20) | $V_I = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$ | | 44 | 60 | mA |
| | | $V_I = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$ | | 16 | 22 | mA |
| | | $V_{en} = L$ | | 16 | 24 | mA |
| V_{IL} | Input Low Voltage (pin 2, 9, 12, 19) | | -0.3 | | 1.5 | V |
| V_{IH} | Input High Voltage (pin 2, 9, 12, 19) | $V_{SS} \leq 7\text{ V}$ | 2.3 | | V_{SS} | V |
| | | $V_{SS} > 7\text{ V}$ | 2.3 | | 7 | V |
| I_{IL} | Low Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19) | $V_{IL} = 1.5\text{ V}$ | | | -10 | μA |
| I_{IH} | High Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19) | $2.3\text{ V} \leq V_{IH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$ | | 30 | 100 | μA |
| V_{enL} | Enable Low Voltage (pin 1, 11) | | -0.3 | | 1.5 | V |
| V_{enH} | Enable High Voltage (pin 1, 11) | $V_{SS} \leq 7\text{ V}$ | 2.3 | | V_{SS} | V |
| | | $V_{SS} > 7\text{ V}$ | 2.3 | | 7 | V |
| I_{enL} | Low Voltage Enable Current (pin 1, 11) | $V_{enL} = 1.5\text{ V}$ | | -30 | -100 | μA |
| I_{enH} | High Voltage Enable Current (pin 1, 11) | $2.3\text{ V} \leq V_{enH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$ | | | ± 10 | μA |
| $V_{CE(sat)H}$ | Source Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18) | $I_O = -0.6\text{ A}$ | | 1.4 | 1.8 | V |
| $V_{CE(sat)L}$ | Sink Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18) | $I_O = +0.6\text{ A}$ | | 1.2 | 1.8 | V |
| V_F | Clamp Diode Forward Voltage | $I_O = 600\text{ nA}$ | | 1.3 | | V |
| t_r | Rise Time (*) | 0.1 to $0.9\text{ }V_O$ | | 250 | | ns |
| t_f | Fall Time (*) | 0.9 to $0.1\text{ }V_O$ | | 250 | | ns |
| t_{on} | Turn-on Delay (*) | $0.5\text{ }V_I$ to $0.5\text{ }V_O$ | | 750 | | ns |
| t_{off} | Turn-off Delay (*) | $0.5\text{ }V_I$ to $0.5\text{ }V_O$ | | 200 | | ns |

(*) See fig. 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRUTH TABLE (one channel)

| Input | Enable (*) | Output |
|-------|------------|--------|
| H | H | H |
| L | H | L |
| H | L | Z |
| L | L | Z |

Z = High output impedance
 (*) Relative to the considered channel

Figure 1: Switching Times

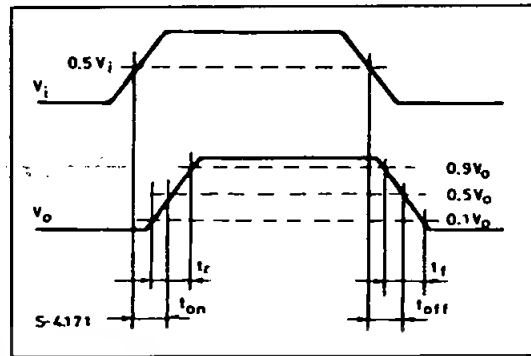


Figure 2: Junction to ambient thermal resistance vs. area on board heatsink (SO12+4+4 package)

