

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



เครื่องมือวัดปริมาณแสงที่ผ่านฟิล์มรถยนต์

กิตตินันท์ วิริยะเสวกกุล

ขวัญเมือง คังธรรมกิติกุล

ร/พ.
ก673ค
2538

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

๖12550942

ปัญหาพิเศษ/โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Automobile - shading film detector



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabaang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ เครื่องมือวัดปริมาณแสงที่ผ่านฟิล์มรถยนต์

โดย นายกิตตินันท์ วิริยะเสวตกุล

นายขวัญเมือง ตั้งธรรมกิติกุล

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาค

ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี

อาจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด

กระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. สุรพล รักวิชัย)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาค)

กรรมการ

(ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี)

กรรมการ

(อาจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล)

กรรมการ

(อาจารย์วิชาญ เศษิตธีระ)

อธิบดีของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องมือวัดปริมาณแสงที่ผ่านฟิล์มรถยนต์
โดย	นายกิตติพันธ์ วิริยะเสวกกุล นายขวัญเมือง ตั้งธรรมกิติกุล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต ดร. รัชภักย์ จิตต์อารี อาจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2539
	บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการทางด้านแสงซึ่งเป็นการวัดความเข้มแสงที่ผ่านฟิล์มที่มีอัตราการดูดกลืนต่างๆ กันโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนปริมาณความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า โดยที่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้รับจากวงจรรับแสงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามขนาดของความเข้มฟิล์มที่นำมาวัด เครื่องวัดปริมาณความเข้มแสงของฟิล์มมีหลักการสร้าง โดยใช้วงจรแหล่งกำเนิดแสงฉายไปยังส่วนของวงจรรับแสงโดยมีฟิล์มเป็นตัวกั้นแสง ซึ่งวงจรรับแสงจะเปลี่ยนค่าความเข้มแสงให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า หรือ โวลเตจ จากนั้นก็ทำการขยายสัญญาณ โดยสัญญาณที่ได้อยู่ในรูปของสัญญาณอนาลอกแล้วเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสัญญาณดิจิทัลที่ได้สามารถนำไปแสดงผลและประมวลผลได้โดยผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 โดยแสดงผลบนจอผลึกเหลว LCD โดยค่าความเข้มแสงที่วัดได้จะแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์

Special Project Title Automobil-shading film detector
 Name Mr. Kittinun Viriyasawetkun
 Mr. Kwanmuang Tungtumkitikun
 Special Project Adviser Asst.Prof.Dr. Sanay Akavipat
 Dr. Rutchapak Jitaree
 Mr. Treerawat Prakobpon
 Department Applied Physics
 Academic Year 1996

Abstract

This special project is the study of intensity detection. An intensity measuring device is made and used to measure transmitted light intensities with various filters. The device contains two main parts ; a light transmitter and receiver circuits. In the transmitter part, a green LED is used ; while , is the receiver part , a photo transistor , efficiently active in a visible region , is employed. Once the light emitted from the light source has been captured by the detector , the optical signal is then changed converted into a corresponding voltage form and subsequently amplified for further processes . The amplified signal is then transformed to its digital form which can be digitally processed by a 8031 microcontroller and numerically displayed on an LCD for a convenient demonstration

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการพิเศษ เรื่อง เครื่องมือวัดปริมาณแสงที่ผ่านฟิล์มรถยนต์
ถ้าจะเป็นประโยชน์แก่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ผู้จัดทำโครงการพิเศษ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้คอยเป็นห่วง
เป็นใยและให้การสนับสนุนการศึกษาโดยตลอด และขอขอบอาจารย์ผู้แนะนำ ให้คำปรึกษา
เพื่อให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คงมีรายนามต่อไปนี้

นาย สิริวัฒน์	ประกอบผล	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ
ดร. รัชภักดิ์	จิตต์อารี	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ
ผศ.ดร. เสน่ห์	เอกะวิภาค	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ
ผศ. สุวรรณ	คู่สำราญ	กรุณาให้คำปรึกษา
ผศ. อนุพงศ์	สรงประภา	กรุณาให้คำปรึกษา
นาย วิชิต	ศิริโชติ	กรุณาให้คำปรึกษา
นาย สมศักดิ์	คารพานนท์	สนับสนุนอุปกรณ์

นอกจากบุคคลต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วย
เหลือในด้านต่าง ๆ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างสูง
มา ณ. ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 คลื่นและแสง	4
2.1 ธรรมชาติของคลื่น	4
2.2 ธรรมชาติของแสง	5
2.3 ประวัติโดยย่อของแสง	7
2.4 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	9
2.5 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า	12
2.6 แหล่งกำเนิดแสง	14
2.6.1 แสงจากดวงอาทิตย์และจากห้องฟ้า	14
2.6.2 หลอดเรืองแสง	16
2.6.3 ไดโอดเปล่งแสง	17
2.7 การวัดแสง	18
2.8 อุปกรณ์รับแสง	19
บทที่ 3 หลักการและการออกแบบเครื่องมือ	20
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031	20
3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของ 8031	21
3.3 ฐานเวลาในการทำงานของ CPU ภายใน 8051	23
3.4 อุปกรณ์ประเภทพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8031	25
3.6 การทำงานในโหมด 0	27
3.7 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องวัดความเข้มฟิล์มกรองแสง	30
3.8 แหล่งกำเนิดแสง	31
3.9 วงจรรับแสงและขยายสัญญาณ	31
3.10 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	32
3.11 ส่วนประมวลผลและแสดงผล	33
3.12 การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจร	34
3.13 ลำดับการทำงาน	35
3.14 ความสามารถในการทำงานของเครื่องวัดความเข้มฟิล์ม	36
3.15 อธิบายการทำงานจาก Keyboard ทั้ง 12 Key	36
3.16 แผนผังอธิบายการทำงานของเครื่องวัดปริมาณความเข้มแสง	38
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	43
4.1 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	43
4.2 วิธีการทดลอง	44
4.3 ตารางแสดงผลการทดลอง	48
4.4 ผลการทดลอง	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา	50
5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	50
5.2 แนวทางการพัฒนาและข้อเสนอแนะ	50
5.3 สรุปผลการทดลอง	50

เอกสารอ้างอิง

- ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดปริมาณ
ความเข้มแสง
- ภาคผนวก ข. รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ (data sheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดการเคลื่อนที่	3
รูปที่ 2.1	เคลื่อนในเส้นเชือก การเคลื่อนที่ขึ้นๆลงๆ(การสั่น)ของมือที่จับเส้นเชือกก่อให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่จากมือ ไปยังต้นไม้ โดยที่โมเมนต์ของเชือกไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย แต่เคลื่อนที่ขึ้นๆลงๆในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่เคลื่อนที่ ดังนั้นคลื่นในเส้นเชือกจึงเป็นคลื่นชนิดตามขวาง	5
รูปที่ 2.2	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H มีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และสนามทั้งสองตั้งฉากกับการเคลื่อนที่	11
รูปที่ 2.3	แสดงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.	13
รูปที่ 2.4	แสดงสเปกตรัมของแสงจากดวงอาทิตย์	14
รูปที่ 2.5	แสดงการแผ่รังสีของวัตถุดำ	15
รูปที่ 2.6	แสดงกราฟการตอบสนองของค่าความยาวคลื่นแสง	19
รูปที่ 3.1	แผนภาพบล็อกแสดงหน่วยการทำงานพื้นฐานของ MCS-51	22
รูปที่ 3.2	การกำหนดหน้าที่การทำงานของไอซี	22
รูปที่ 3.3	แสดงการใช้คริสตอลภายนอกต่อเข้ากับวงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน 8031	23
รูปที่ 3.4	แสดงแผนภาพเวลาพื้นฐานของ 8031 และลำดับของช่วงเวลา state ในการทำคำสั่ง 1 ไบต์	24
รูปที่ 3.5	แผนผังโครงสร้างของ ไอซี 8255	24
รูปที่ 3.6	แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของ ไอซี 8255	25
รูปที่ 3.7	แผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (osv) ให้กับ 8255 โดยการถอดรหัสจากบัสแอดเดรส A2-A7	25
รูปที่ 3.8	แผนภาพวงจรแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 กับ 8031	26
รูปที่ 3.9	แสดงลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่างๆ	28-29
รูปที่ 3.10	แสดงลักษณะและโครงสร้างโดยทั่วไป	30
รูปที่ 3.11	แสดงวงจรแหล่งกำเนิดแสง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12	แสดงวงจรรับและขยายสัญญาณ	32
รูปที่ 3.13	แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	33
รูปที่ 3.14	แสดงวงจรรับสัญญาณจาก keyboard	34
รูปที่ 3.15	แสดง block diagram การทำงานของเครื่องวัดความเข้ม ฟิล์มกรองแสง	37
รูปที่ 4.1	แสดงการจัดวางอุปกรณ์	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณสมบัติของ LED	18
ตารางที่ 3.1	ตารางแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 ของ บริษัท intel	20
ตารางที่ 3.2	แสดงการควบคุมเลือกพอร์ต	26
ตารางที่ 3.3	แสดงการควบคุมการอ่านและเขียนพอร์ต	27
ตารางที่ 3.4	แสดงรหัสควบคุมการทำงานของพอร์ต	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

1.1 บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากกว่าบริเวณเขตอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้ขับขี่รถยนต์คิดหาวิธีป้องกันความร้อนและแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งก็คือการติดฟิล์มกรองแสง ฟิล์มกรองแสงที่ผลิตและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ฟิล์มกรองแสงจะทำหน้าที่ลดปริมาณความร้อนลดแสง ลดรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งผู้ขับขี่รถยนต์สามารถเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงได้ตรงกับความต้องการของตนเองได้

รถยนต์ที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยส่วนมากนิยมติดฟิล์มกรองแสงเพื่อลดปริมาณความร้อนและแสง ซึ่งถ้าต้องการลดปริมาณความร้อนและแสงมาก จำเป็นต้องใช้ฟิล์มกรองแสงที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงมาก ฟิล์มกรองแสงประเภทนี้เวลานำไปติดรถยนต์แล้วจะทำให้บุคคลที่อยู่ภายนอกรถยนต์ดังกล่าว ไม่สามารถมองเห็นภายในห้องโดยสารของรถยนต์ ทำให้มีคนส่วนหนึ่งใช้ประโยชน์ของฟิล์มกรองแสงประเภทนี้ทำในสิ่งที่ไม่ถูกต้องตามกฎหมาย เช่น ลักลอบขนสิ่งผิดกฎหมาย ก่อคดีปล้นและลักทรัพย์ผู้โดยสาร(ส่วนมากจะเกิดกับผู้โดยสารรถยนต์รับจ้าง) ดังนั้นหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องจึงได้ออกกฎหมายควบคุมการติดฟิล์มกรองแสงขึ้น โดยให้รถยนต์ทุกชนิดติดฟิล์มกรองแสงที่มีการดูดกลืนแสงได้ไม่เกิน 60 % เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกระทำที่ผิดกฎหมายขึ้น

จากการที่หน่วยราชการได้ออกกฎหมายให้รถยนต์ทุกชนิดติดฟิล์มกรองแสงที่มีการดูดกลืนแสงได้ไม่เกิน 60 % นั้นจึงจะหาวิธีการวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์มกรองแสงขึ้น โดยใช้หลักการทางแสง คือ ใช้แหล่งกำเนิดแสง (light source) ทะลุผ่านฟิล์มกรองแสงที่ต้องการวัดการดูดกลืนแสง ไปตกกระทบบยังตัวรับแสง (detector) ซึ่งตัวรับแสงนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นค่าของกระแสไฟฟ้า และใช้แหล่งกำเนิดแสงไปตกกระทบบยังตัวรับแสงที่ไม่มีฟิล์มกรองแสงมา ก็จะทำให้ทราบการดูดกลืนแสงของฟิล์มกรองแสงได้ โดยนำค่ากระแสที่ได้จากตัวรับแสงทั้งสองเข้าไปในหน่วยประมวลผลของ MCS 8031 นอกจากจะสามารถวัดการดูดกลืนแสงแล้ว ยังสามารถที่จะบันทึกค่าการดูดกลืนแสงและทะเบียนรถยนต์ได้ โดยเก็บข้อมูลที่ได้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

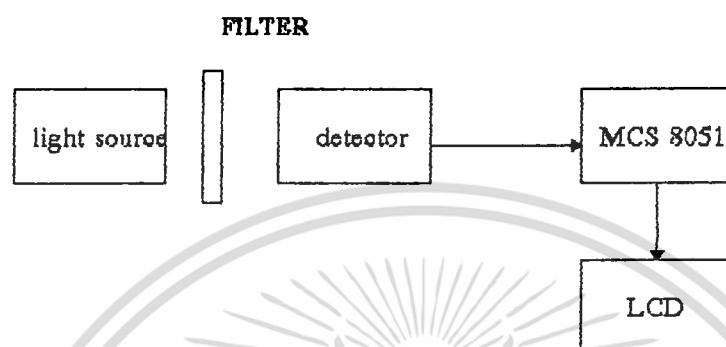
1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสามารถวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์มกรองแสง
2. เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของแสง
3. เพื่อศึกษาการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์
4. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรรับ-ส่งที่ใช้เป็นตัว sensor ได้
5. เพื่อศึกษาและนำไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 มาประยุกต์ใช้งาน
6. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการวัดความเข้มแสง

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาถึงความยาวช่วงคลื่นแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ แล้วนำมาทำเป็นแหล่งกำเนิดแสง
2. ศึกษาถึงอุปกรณ์รับแสง (detector) เพื่อนำมาทำเป็นตัวรับแสง
3. สร้างวงจร A/D เพื่อที่จะเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากตัวรับแสงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะนำไปเชื่อมต่อกับ MCS 31
4. ศึกษาและเขียนโปรแกรมให้จอแสดงผล LCD แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มของฟิล์มคิด
รยยนต์
5. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มฟิล์มคิดรยยนต์ใน
ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.1 แสดงหลักการการทำงานของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

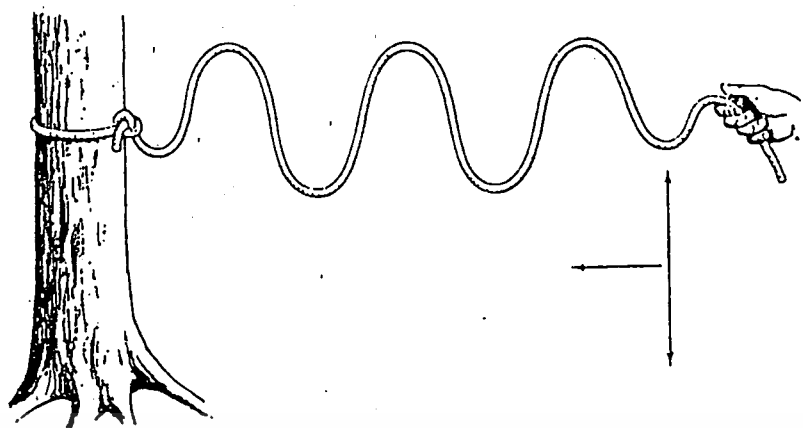
บทที่ 2

คลื่น และ แสง

2.1 ธรรมชาติของคลื่น

คลื่นเกิดจากการกระทบกระเทือนที่จุดใดจุดหนึ่งก่อให้เกิดเป็นคลื่นกระจายออกมาจากจุดนั้น คลื่นจะเกิดขึ้นติดต่อกันได้จะต้องมีการกระทบกระเทือนเกิดขึ้นติดต่อกันด้วย การกระทบกระเทือนนี้ส่วนมากได้มาจากแหล่งกำเนิดที่มีการสั่น พลังงานจะถูกถ่ายทอดจากจุดที่ได้รับการกระทบกระเทือนไปยังจุดอื่นๆ ไกลออกไป โดยที่ตัวกลางในการนำคลื่นนั้นไม่ได้เคลื่อนที่จากจุดที่ได้รับการกระทบกระเทือนเลย

ถ้าโยนก้อนหินก้อนหนึ่งลงไปในน้ำตรงบริเวณใกล้ๆฝั่ง ซึ่งผิวน้ำนิ่งเรียบ สังเกตใบไม้ใบหนึ่งที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ไกลออกไป จะเห็นว่าใบไม้เข้าใบไม้นั้นจะกระเพื่อมขึ้นและลง แสดงว่าใบไม้ได้รับพลังงานจลน์ พลังงานนี้ถูกถ่ายทอดมาได้อย่างไร อาจตั้งข้อสันนิษฐานว่า ใบไม้นั้นได้รับพลังงานมาจากน้ำ ซึ่งเคลื่อนที่จากจุดที่ได้รับการกระทบกระเทือนมายังใบไม้นั้น ถ้าเป็นเช่นนั้น ทำไมน้ำจึงไม่พัดพาเอาใบไม้นั้นลอยตามน้ำไปด้วย ทำไมใบไม้จึงได้แต่กระเพื่อมขึ้นลงอยู่กับที่ ลองพิจารณาไหมคราวนี้ลองสมมติให้มีใบไม้มากมายกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปบนผิวน้ำในบ่อน้ำ จะสังเกตเห็นคลื่นแผ่กระจายออกไปทุกทิศทุกทางจากจุดที่น้ำได้รับการกระทบกระเทือนทำให้เกิดหน้าคลื่นเป็นรูปวงกลม ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่มาถึงใบไม้แต่ละใบ ใบไม้จะกระเพื่อมขึ้นและลง แต่ไม่ได้ลอยตามน้ำไป ด้วยเหตุนี้เราจึงสรุปได้ว่า พลังงานที่ใบไม้ทั้งหลายได้รับมาจากคลื่นบนผิวน้ำนั่นเอง แต่โมเลกุลของน้ำไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากจุดที่ก่อให้เกิดคลื่นไปยังใบไม้ เพียงแต่พลังงานเท่านั้นที่ถูกถ่ายทอดจากโมเลกุลของน้ำไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่ง ตลอดทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไป ดังนั้นจึงพูดได้ว่าความกระทบกระเทือนเท่านั้นที่ถูกแผ่ออกไป



รูปที่ 2.1 คลื่นในเส้นเชือก การเคลื่อนที่ขึ้นๆลงๆ(การสั่น) ของมือที่จับเส้นเชือกก่อให้เกิด คลื่นเคลื่อนที่จากมือไปยังต้นไม้ โดยที่โมเลกุลของเชือกไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย แต่เคลื่อนที่ขึ้นๆลงๆ ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่เคลื่อนที่ ดังนั้นคลื่นในเส้นเชือกจึงเป็นคลื่นชนิดตามขวาง

พิจารณาคลื่นที่เกิดขึ้นบนเส้นเชือก เมื่อผูกปลายเชือกยาวๆ ข้างหนึ่งไว้กับหลักแน่นๆ เช่น ต้นไม้ จับปลายเชือกอีกข้างหนึ่งดึงให้ตึงและสั่นเชือกโดยทำให้เชือกกระตุกขึ้นและลงอย่างรวดเร็วหลายๆ ครั้งติดต่อกัน ดังรูปที่ 2.1 จะสังเกตเห็นว่าผลของการออกแรงของเราที่กระทำที่ปลายเชือกข้างหนึ่งนั้น ก่อให้เกิดพลังงานกระจายจากปลายเชือกนั้นไปยังอีกข้างหนึ่ง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ ถ้าต้นไม้ไม่ใหญ่จนเกินไปนักมันจะสั่น เห็นได้อย่างชัดเจนว่าอนุภาคของเชือกจากปลายที่จับไม่ได้เคลื่อนที่ไปตามเชือกและไปชนกับต้นไม้ แต่สิ่งที่เคลื่อนที่ไปตามเชือก คือคลื่นซुकหนึ่ง พลังงานที่ถูกถ่ายทอดออกไปโดยคลื่นจะต้องเคลื่อนที่จากโมเลกุลของเชือกโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งตลอดความยาวของเชือกนั้น

2.2 ธรรมชาติของแสง

สมบัติของคลื่นดังได้กล่าวมาแล้วพอสรุปได้ดังนี้

1. การกระจายเป็นเส้นตรง เมื่อเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเนื้อเดียวกัน
2. การสะท้อนที่ผิวหรือรอยต่อของตัวกลาง
3. การหักเห เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว
4. การแทรกสอด เมื่อสองคลื่นเคลื่อนที่ปะปนกัน
5. การเลี้ยวเบนหรือเบนไปรอบๆ หรือมุม เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านขอบของวัตถุที่เกิด

ขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติดังกล่าวข้างต้นนี้เห็นได้ชัดเจนจากพฤติกรรมของคลื่นเสียงและคลื่นน้ำ คือ เมื่อมีการกระทบกระเทือนเกิดขึ้นในเนื้อวัตถุตัวกลาง อนุภาคของตัวกลางจะสั่นไปมาจากตำแหน่งเดิมที่เคยอยู่อย่างสมดุลในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปมา

การกระจายของแสงไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางในการนำการเคลื่อนที่ ทั้งนี้จะเห็นได้จากแสงที่ผ่านตัวกลางชนิดต่างๆ ได้ มันก็จะผ่านไปในช่วงระหว่างควาได้และในที่ที่ไม่มีอากาศได้เช่นกัน

การสะท้อนของแสงจากวัตถุเกิดขึ้นมาตั้งแต่สมัยของเพลโตประมาณ 400 ปีก่อนคริสตกาล การสังเกตเกี่ยวกับการหักเหของแสงที่ผิวระหว่างตัวกลางโปร่งใสสองชนิดที่หนาที่บไม่เท่ากัน ได้กระทำโดยชาวกรีกตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 2 เพลโตยูคลิดพีโทเลมีและนักปรัชญาธรรมชาติคนอื่นๆ อีกหลายคน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับการมองเห็นวัตถุว่าตาเป็นผู้เปล่งแสงออกไปมีลักษณะคล้าย tentacles การที่มองเห็นวัตถุได้เพราะว่าความรู้สึกนี้ส่งผ่านไปในช่วงและมาสัมผัสกับวัตถุ ความคิดนี้เชื่อกันมาจนกระทั่งสมัยกลาง อริสโตเติลพยายามหาคำอธิบายเกี่ยวกับชนิดของตัวกลางต่างๆ ที่สามารถทำให้เกิดภาพได้ ความเชื่อเรื่องแสงเปล่งออกไปจากตาเชื่อกันเรื่อยมา นักวิทยาศาสตร์ชาวอาหรับคนหนึ่งชื่อ Alhazen(965-1038) ได้เขียนหนังสือชื่อ Treasury of Optics ซึ่งนับว่าเป็นการเริ่มต้นทฤษฎีแสง นอกจากนี้เขาได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของแสงขณะมันผ่านจากตัวกลางโปร่งไปยังตัวกลางที่ทึบกว่า และรู้ว่ามุมตกและมุมหักเหมีความสัมพันธ์กัน แต่ไม่ได้พบกฎที่เกี่ยวข้อง ซึ่งต่อมาก็ได้พบกฎนี้และได้จัดพิมพ์เป็นหนังสือใน 600 ปีต่อมา

ในส่วนของยูคลิดที่มีความเกี่ยวข้องกับแสงคือ เขาได้ให้คำอธิบายไว้ว่า ไม่ว่าธรรมชาติของการมองเห็นจะเป็นเช่นไร ทางเดินของลำแสงระหว่างตาและวัตถุต้องเป็นเส้นตรง ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้เขาได้ทำการทดลองมากมาย จะเห็นได้จากหนังสือ Optics ที่ยูคลิดเขียนขึ้นประมาณ 300 ปีก่อนคริสตกาล เป็นหนังสือที่มีตัวอย่างการเห็นภาพชนิดต่างๆ ที่ตามองเห็นได้เป็นส่วนใหญ่

การเริ่มต้นภาพพจน์ของแสงก็คือ ลำแสง (ray of light) ซึ่งที่จริงแล้วไม่ใช่เป็นสิ่งที่มืออยู่จริงในธรรมชาติ เพราะลำแสงหนึ่งเราใช้แทนด้วยเส้นตรงเส้นหนึ่ง แต่การเปรียบเทียบนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการเขียนรูปทั่วไปมีภาพพจน์มากมายในทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นหลักทางด้านคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ เป็นจุดเริ่มต้นในการวิเคราะห์อย่างมีเหตุผล

ความคิดเรื่องลำแสงได้ทำการสังเกตโดยนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ลำแสงที่สังเกตเห็นจะมีแนวเป็นทางตรง เห็นได้จากแสงสว่างจากภายนอกผ่านอากาศที่มีฝุ่นละอองเข้าไปในห้องมืดหรือแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องลอดช่องในระหว่างเมฆพุ่งออกมาเป็นลำตรง ไฟฉายส่องเป็นลำตรงในที่มืด สิ่งที่เราสังเกตเห็นทั้งหมดนี้เป็นข้อพิสูจน์ว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง ซึ่งตามเหตุผลดังกล่าวมานี้ คำจำกัดความของเส้นตรงน่าจะเป็นทางเดินของลำแสงที่ผ่านตัวกลางเนื้อเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดมากกว่าที่จะเป็นค่าจำกัดความของยูคลิดที่ว่า ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุด 2 จุด เรามองความชอบของวัตถุเพื่อดูว่ามันอยู่ในแนวเส้นตรงหรือไม่ วิศวกรมองผ่านแนวระดับและทำเส้นตรงขึ้นเพื่อประโยชน์ในการสำรวจ นักดาราศาสตร์บอกตำแหน่งของวัตถุไกลๆ ในอวกาศโดยสมมุติว่าทางเดินของลำแสงเป็นเส้นตรงผ่านมาเข้ากล้องโทรทรรศน์

ประโยชน์ของแสงเดินเป็นเส้นตรงนำมาใช้ในการวางวัตถุให้อยู่ในแนวตรงเช่น การเลี้ยงปิ่น และจากรูปร่างของเงาของวัตถุต่างๆ เป็นสิ่งยืนยันเรื่องการเดินเป็นเส้นตรงของแสง เหล่านี้เป็นที่รู้จักกันดีแก่นักปรัชญากรีก Sir Isaac Newton ได้ทำการทดลองเรื่องเกี่ยวกับการกระจายของแสงโดยใช้ปริซึม และทราบดีเกี่ยวกับเรื่องสีที่เกิดขึ้นบนผิวบางๆ

2.3 ประวัติโดยย่อของแสง

ในศตวรรษที่ 17 นิวตัน (Sir Isaac Newton ค.ศ. 1643-1727) ได้เสนอทฤษฎีว่าแสงเป็นอนุภาค (particle theory) ลำแสงเป็นลำของอนุภาคเล็กๆ ที่หลุดออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง และเคลื่อนที่ไปในแนวเส้นตรง แนวความคิดนี้มาจากการสังเกตเห็นว่าแสงสามารถทำให้เกิดเงาที่คมชัดของวัตถุต่างๆ อย่างไรก็ตามความคิดนี้ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เรียกว่า วงแหวนของนิวตัน (Newton's rings) ได้ แต่นิวตันก็พยายามหาเหตุผลอื่นมาช่วยในการอธิบายโดยยังยึดมั่นในความคิดที่ว่าแสงเป็นอนุภาคอยู่

ฮอยเกนส์ (Christian Huygens ค.ศ. 1629-1695) นักวิทยาศาสตร์ชาวฮอลแลนด์ ได้เสนอทฤษฎีคลื่น (wave theory) ในเวลาต่อมาว่า แสงเป็นการเคลื่อนที่ของคลื่นที่แผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิดในทุกทิศทาง และเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เรียกว่า อีเทอร์ (ether) ฮอยเกนส์ได้แนวความคิดมาจากการที่พบว่า ถ้าฉายแสง 2 ลำให้ตัดกัน ลำแสงที่ผ่านออกไปจะเหมือนเดิม เช่นเดียวกับที่เกิดกับคลื่นน้ำและคลื่นเสียง และเขาสามารถใช้แนวความคิดนี้ไปหากฎการสะท้อน กฎการหักเห และอธิบายการเกิดการหักเหเชิงซ้อนในแร่แคลไซต์ (Calcite) ได้เป็นอย่างดี

หลังจากที่นิวตันเผยแพร่ความคิดได้กว่า 100 ปี แล้ว ทอมัส ยัง (Thomas Young ค.ศ. 1773-1829) ได้ทำการทดลองโดยให้แสงผ่านช่องสลิตคู่ (Young's double slit experiment) พบว่าผลที่ได้ต้องอธิบายโดยใช้แนวความคิดที่ว่าแสงเป็นคลื่น ด้วยเหตุผลดังกล่าวเป็นผลให้นักวิทยาศาสตร์ยอมรับทฤษฎีคลื่นมากกว่าทฤษฎีอนุภาค

ในปี ค.ศ. 1821 เฟรเนล (Augustin Fresnel ค.ศ. 1788-1827) พบว่าจากการวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องการหักเหเชิงซ้อน แสงจะต้องเป็นคลื่นตามขวาง หรือมีสมบัติโพลาไรเซชัน (polarization) ซึ่งผลนี้ชี้ให้เห็นว่าขัดกับความคิดที่ว่า ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านอีเทอร์ (ether) แสงจะเป็นคลื่นตามยาวดังเช่นที่พบในคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ในของเหลว อนุญ และเขาได้แสดงการหักเหการหักเหไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของเฟรเนล (Fresnel equations) เพื่อใช้หาความเข้มแสงที่สะท้อน และทะลุผ่านผิวรอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิดไว้ด้วย

ต่อมาแมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell ค.ศ. 1831-1879) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ได้ผลออกมาเป็นชุดของสมการที่เรียกว่า สมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell equations) จากสมการชุดนี้ สามารถหาค่าอัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ และมีค่าเท่ากับอัตราเร็วของแสงที่วัดได้ และมีค่าเท่ากับอัตราเร็วของแสงที่วัดได้ จากผลดังกล่าวเป็นการชี้แนะว่าแสงมีความเกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อมาได้มีการทดลองของไมเคิลสัน-มอร์ลีย์ (Michelson-Morley experiment, Albert Abraham Michelson ค.ศ. 1852-1931, ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1907 และ Edward Williams Morley ค.ศ. 1838-1929) ที่พยายามศึกษาการเคลื่อนที่ของโลกผ่านอีเทอร์และจากทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์ ทำให้ได้ข้อสรุปว่า สมมุติฐานในเรื่องของอีเทอร์เป็นสิ่งไม่จำเป็น

แนวความคิดของทฤษฎีคลื่นได้รับการยอมรับด้วยดีมาตลอด จนถึงประมาณ ค.ศ. 1900 จึงเริ่มพบปัญหาอันเนื่องจากการไม่สามารถอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่แสงมีอันตรกิริยา (interaction) กับสสารต่างๆ ได้กล่าวคือ

พลังค์ (Max Planck ค.ศ. 1858-1947 ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1918) สามารถอธิบายสเปกตรัมของรังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำได้อย่างถูกต้อง โดยตั้งสมมุติฐานว่า อะตอมเปล่งแสงออกมาเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือ พลังงาน E ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำ มีค่าขึ้นอยู่กับความถี่ f ของรังสีที่แผ่ออกมา โดย

$$E = hf$$

ซึ่ง h เป็นค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant) มีค่า 6.63×10^{-34} J-s

อีก 5 ปีต่อมา ไอน์สไตน์ (Albert Einstein ค.ศ. 1879-1955 ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1921) ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) ซึ่งเป็นการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวโลหะเมื่อมีแสงมาตกกระทบ โดยถือว่าแสงเป็นลำของอนุภาคโฟตอน (photon) ซึ่งมีพลังงานแปรตามความถี่ตามแนวคิดของพลังค์ ดังข้างต้น

ในปี ค.ศ. 1913 โบร์ (Niels Bohr ค.ศ. 1885-1962 ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1922) ได้ใช้แนวความคิดของพลังค์ ในการอธิบายขบวนการปลดปล่อย และดูดกลืนพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนได้ ทำให้เราเข้าใจการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนอะตอมที่ได้จากการทดลอง

คอมป์ตัน (Arthur Compton ค.ศ. 1892-1962 ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1927) ได้พบในปี ค.ศ. 1922 ว่าเขาสามารถอธิบายปรากฏการณ์การกระเจิง (scattering) ของรังสีเอกซ์ (x-ray) จากอิเล็กตรอนได้โดยคิดว่ารังสีเอกซ์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นอนุภาคไม่อาจรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟตอน (photon) และในการชนกันของโฟตอนกับอิเล็กตรอนนั้น พลังงานและโมเมนตัมมีค่าคงที่จะเห็นได้ว่าแนวความคิดข้างต้นสนับสนุนทฤษฎีอนุภาคเป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ตามต่อมาในปี ค.ศ.1924 เดอ เบรย (Louis de Broglie ค.ศ. 1892-1958 ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1929) ได้เสนอแนวความคิดว่าอนุภาคเล็กๆ ภายในอะตอมจะมีสมบัติเป็นคลื่น โดยเขาเสนอว่าอนุภาคที่มีโมเมนตัม p จะมีความยาวคลื่น λ ที่เกี่ยวข้องกัน ดังสมการ

$$\lambda = h/p$$

ซึ่ง h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

การทดลองที่สนับสนุนความคิดของ เดอ เบรย คือ การทดลองของควิสสันกับเจอร์เมอร์ (Clinton Davission ค.ศ. 1881-1958 กับ Lester Germer ค.ศ. 1896-1971) และการทดลองของทอมสัน (Sir George Thomson ค.ศ. 1856-1940) การทดลองนี้อธิบายได้ ถ้าคิดว่ามีการเลี้ยวเบนของลำอิเล็กตรอน (diffraction of electron beam) เท่านั้น

กล่าวโดยสรุปในปัจจุบันคือ แสงมีสมบัติที่เป็นทั้งคลื่นและอนุภาค (wave - partiole duality) ซึ่งสมบัติทางคลื่น สามารถใช้พิจารณาในเรื่องการเคลื่อนที่และปรากฏการณ์การแทรกสอด การเลี้ยวเบนได้ สำหรับสมบัติทางอนุภาค สามารถใช้พิจารณาในเรื่องที่แสงมีอันตรกิริยากับสสาร

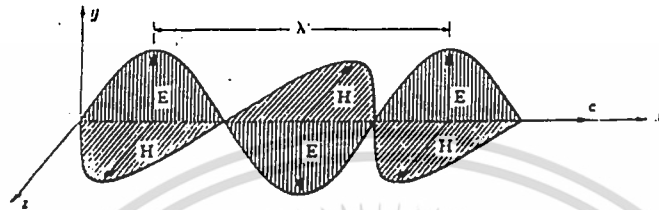
2.4 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แมกซ์เวลล์ (Maxwell) ได้อธิบายทฤษฎีคลื่นแสงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากความคิดของ ฟาราเดย์ (Faraday 1791-1867) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ที่กล่าวถึงเรื่องสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ความคิดนี้ช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของไฟฟ้าและแม่เหล็ก ความคิดของฟาราเดย์อาจกล่าวง่ายๆ ได้ดังนี้ อาณาเขตรอบๆ วัตถุที่มีประจุไฟฟ้า(หรือแท่งแม่เหล็ก) จะมีแรงดูดหรือแรงผลักกับวัตถุอื่นที่นำไปวางในอาณาเขตนั้นเช่น ถ้านำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า (หรือแท่งแม่เหล็ก) อีกอันหนึ่งไปวางไว้ แรงดูดหรือแรงผลักนี้จะหายไปถ้านำวัตถุนั้นออกไป ที่ว่างในอาณาเขตที่มีอำนาจของการดูดหรือผลักได้นี้เรียกว่า สนามไฟฟ้า (หรือสนามแม่เหล็ก) สนามเหล่านี้ไม่สามารถอธิบายได้ในรูปของอนุภาคหรือคลื่นหรือของเหลว มีน้ำหนักรหรือไม่มีน้ำหนักรหรือสิ่งอื่นใด ฟาราเดย์ได้วาดรูปที่ว่างเปล่านี้ว่ามีเส้นแรงอยู่ ในสนามไฟฟ้าก็มีเส้นแรงไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กก็มีเส้นแรงแม่เหล็ก ลักษณะของเส้นแรงคล้ายกับเส้นเชือก แต่ละเส้นมีความสามารถที่จะหดและปลักเส้นแรงอื่นๆ ใกล้เคียงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกซ์เวลล์ นักฟิสิกส์ทฤษฎีและนักคณิตศาสตร์ที่ทั่วโลกรู้จักดีคนหนึ่ง ได้ศึกษาผลงานของฟาราเดย์เกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กและได้นำความคิดของฟาราเดย์เกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กให้มามีความสัมพันธ์กันและอธิบายออกมาในรูปของคณิตศาสตร์ เขาอธิบายว่าในที่ว่างรอบๆ เส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก เรียกว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดนั้น เป็นกระแสตรงและไหลอย่างสม่ำเสมอ สนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆ เส้นลวดก็จะสม่ำเสมอด้วย คือหมายความว่า ที่ระยะหนึ่งห่างจากเส้นลวดเท่าๆ กัน ค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะมีขนาดและทิศทางคงที่ ถ้าระยะห่างจากเส้นลวดเพิ่มขึ้น ค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะลดลง โดยเหตุที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าคงที่สม่ำเสมอ จะไม่มีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปที่ว่าง

แต่ถ้าให้กระแสไฟฟ้าในเส้นลวดมีค่าไม่คงที่ มากบ้างน้อยบ้าง เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่นในไฟฟ้ากระแสสลับ 50 ไซเคิล กระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนทิศทาง 100 ครั้ง ใน 1 วินาที ขนาดของกระแสไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ มีค่าศูนย์และค่อยๆ มากขึ้นจนกระทั่งกระแสมากที่สุด และกลับลดลงๆ จนกระแสเป็นศูนย์ใหม่อีก เป็นดังนี้ตลอดเวลาที่เปลี่ยนแต่ละครั้ง ฉะนั้นก็เสมือนอิเล็กตรอนในเส้นลวดมีความเร่งวิ่งกลับไปกลับมา (การที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอธิบายว่าเนื่องจากอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่) แมกซ์เวลล์ได้สร้างสมการเกี่ยวกับการที่อิเล็กตรอนถูกเร่งให้วิ่งไปในทิศทางหนึ่งและแล้ววิ่งกลับมาอีกทิศทางหนึ่งว่าเป็นสาเหตุให้เกิดพลังงานที่เป็นจิ้งหะๆ ถูกส่งออกมาชุดหนึ่ง พลังงานเหล่านี้จะกระจายออกไปในที่ว่างมีลักษณะคล้ายกับคลื่นต่างๆ และกระจายไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง แหล่งกำเนิดที่จะให้พลังงานเหล่านี้ต้องมีอิเล็กตรอนที่มีความเร่ง ขณะที่อิเล็กตรอนวิ่งช้าลงและหยุดก่อนจะเปลี่ยนทิศทาง พลังงานจลน์ของมันจะเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในคลื่นกล การเคลื่อนที่ไปๆ มาๆ ของอนุภาคของวัตถุ เป็นเหตุให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง แต่ในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้มาจาก การเคลื่อนที่อย่างมีความเร่งของอิเล็กตรอน จะเป็นเหตุให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.2 ทิศทางของสนามทั้งสองตั้งได้ฉากกัน ค่าของสนามทั้งสองมาถึงศูนย์และมากที่สุดพร้อมๆ กัน ดังนั้นเหมือนมีคลื่นไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กที่ผ่านที่ว่างไปพร้อมๆ กัน ในกรณีนี้แมกซ์เวลล์อธิบายว่าจะมีพลังงานที่เรียกว่า พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปที่ว่าง ดังนั้นตลอดเวลาที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างไม่สม่ำเสมอ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ไปตามเส้นลวด หรือเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบๆ นิวเคลียส พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระจายออกไปในว่างรอบๆ นั้นมีลักษณะเหมือนคลื่นที่กระจายออกไป



รูปที่ 2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H มีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และสนามทั้งสองตั้งฉากกับที่เคลื่อนที่

สมการของแมกซ์เวลล์ได้แสดงด้วยสเปกตรัม เมื่ออิเล็กตรอนอื่นๆ เข้าไปอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงๆ ลงๆ เช่นอิเล็กตรอนในสายอากาศของโทรทัศน์ที่ตั้งไว้ในทิศทางที่คลื่นส่งที่ผ่าน อิเล็กตรอนเหล่านี้จะดูดกลืนพลังงานบางส่วนของคลื่นที่ส่งผ่านออกมา แรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กที่มากับคลื่นจะทำให้อิเล็กตรอนในสายอากาศเปลี่ยนทิศทางของมัน ทำให้มีอัตราการเคลื่อนที่เช่นเดียวกับที่เครื่องส่งได้ส่งออกมา ดังนั้นเราจึงเห็นภาพบนจอโทรทัศน์เช่นเดียวกับภาพในห้องส่ง เราจึงเห็นได้ว่าเพียงแต่แมกซ์เวลล์ใช้คณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว เขาก็สามารถทำนายโดยไม่รู้มาก่อนเลยว่าคลื่นอีกชนิดคือคลื่นวิทยุ และจากทฤษฎีของเขายังสามารถทำนายได้ด้วยว่าคลื่นเหล่านี้มีพฤติกรรมคล้ายกับแสง แมกซ์เวลล์จึงสรุปว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่ง

แมกซ์เวลล์ยังได้ชี้ให้เห็นจากสมการของเขาอีกว่า ยังมีคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วง และต่ำกว่าแสงสีแดง คลื่นเหล่านี้มีลักษณะเหมือนแสงทุกประการ เว้นแต่เรามองไม่เห็น เพราะประสาทตาของเรามีขอบเขตจำกัดในการมองเห็น ซึ่งเหมือนกับเสียงก็เช่นเดียวกัน มีขอบเขตจำกัดในการได้ยิน เพราะเสียงบางเสียงอาจสูงหรือต่ำเกินไปที่หูคนจะสามารถได้ยินได้ ดังนั้นคลื่นแสงที่ต่ำกว่าแสงสีแดง คือ Infrared และ สูงกว่าแสงสีม่วงคือ ultraviolet ได้รู้จักมานานตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 และยังไม่มีการพิสูจน์ว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ พอที่จะตรวจสอบด้วยเครื่องมือที่มีอยู่ในขณะนั้นได้ ผู้ทำนายพิสูจน์คือ Hertz เขาได้ทำการพิสูจน์โดยการสร้างเครื่องรับคลื่นวิทยุขึ้นเป็นคนแรก

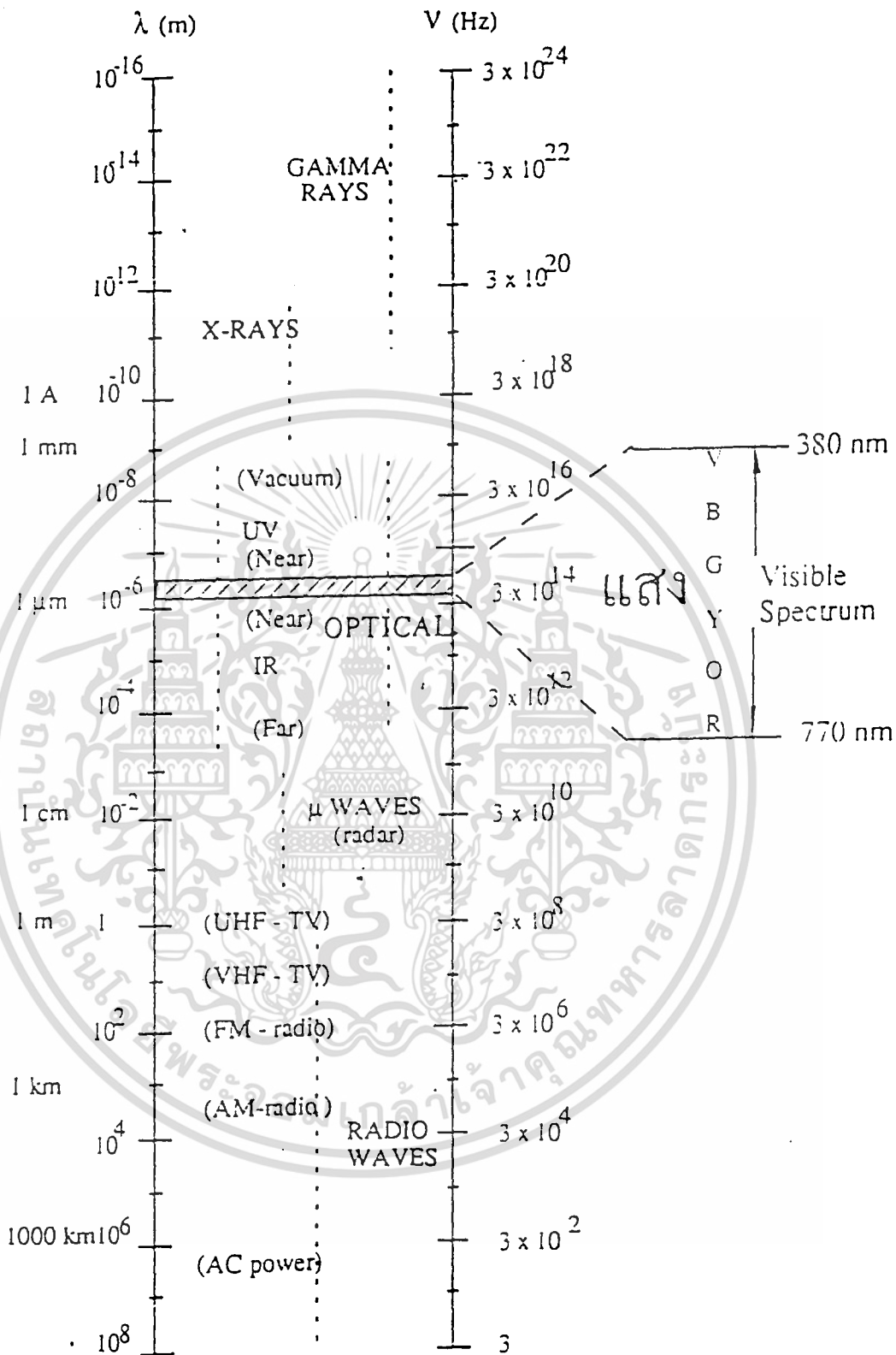
เอ็ดวิน ฮับเบิลได้เสนอไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

แมกซ์เวลล์ได้แสดงให้เห็นว่า แสงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าและในต้นศตวรรษที่ 19 ก็รู้กันว่า นอกจากแสงที่ตามองเห็นได้แล้วยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย เช่น infrared และ ultraviolet ซึ่งรังสีทั้งสองอย่างนี้มีอยู่ในส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ต่อมา Hertz ยังได้พิสูจน์ว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพวกคลื่นวิทยุอยู่ด้วย แสงส่วนที่ตามองเห็นได้เป็นเพียงส่วนน้อยนิดเดียวในส่วนใหญ่ทั้งหมดที่เรียกว่าสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยช่วงความถี่ต่างๆ ที่กว้างมากตั้งแต่ประมาณ 10 ถึงมากกว่า 10^{25} เฮิรตซ์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกคลื่นเคลื่อนที่ในอวกาศด้วยความเร็ว 186,000 ไมล์ ต่อวินาที หรือเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ความยาวช่วงคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3×10^7 เมตร ของคลื่นที่มีความถี่ต่ำจนกระทั่งถึง 3×10^{-17} เมตรของคลื่นที่มีความถี่สูง เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางชนิดมีความยาวช่วงคลื่นสั้นมาก จึงได้กำหนดหน่วยที่ใช้วัดความยาวที่มีขนาดเล็กมากๆ เรียกสเปกตรัม อังสตรอม (angstrom) โดย 1 อังสตรอมมีค่าเท่ากับ 10^{-10} เมตร คลื่นแสงสีแดงจะมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 7600 อังสตรอม และคลื่นแสงสีม่วงมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 4000 อังสตรอม

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าอาจแบ่งได้เป็น 6 อาณาเขตใหญ่ๆ แบ่งตามลักษณะต่างๆ ไปของพลังงานคลื่นคือ

1. gamma rays
 2. x-ray
 3. ultraviolet
 4. แสงที่ตามองเห็นได้
 5. infrared
 6. คลื่นวิทยุ
- ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



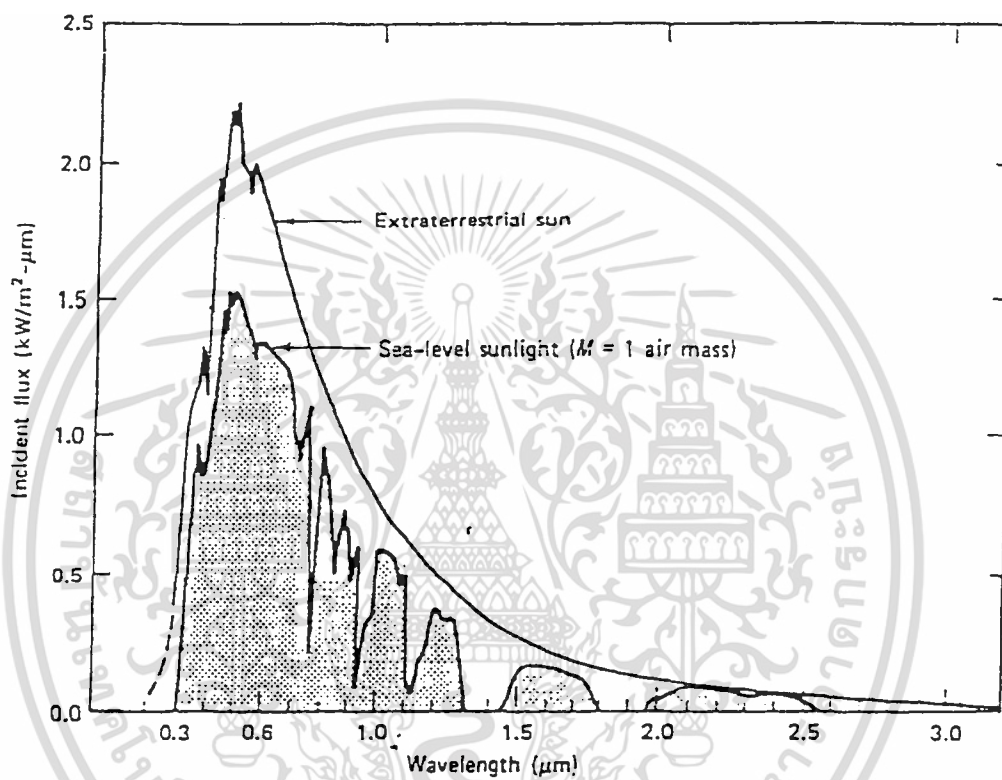
รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แหล่งกำเนิดแสง (light source)

2.6.1 แสงจากดวงอาทิตย์และจากห้องฟ้า

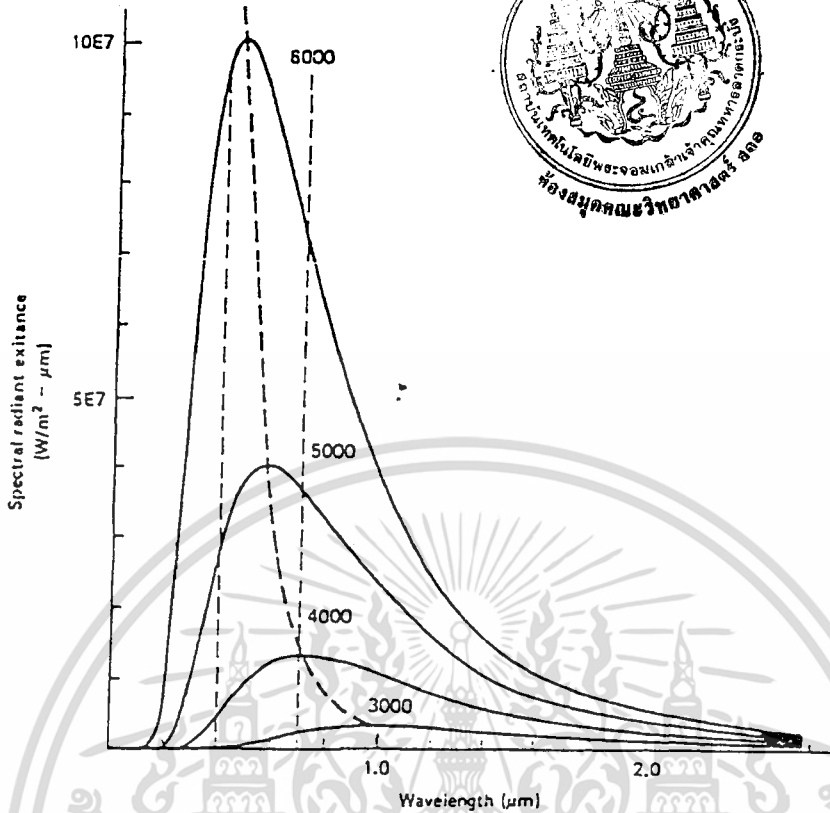
แสงจากแหล่งทั้งสองนี้ จะทำให้เกิดเป็นแสงสว่างในเวลากลางวันบนผิวโลก แสง



รูป 2.4 แสงสเปกตรัมของแสงจากดวงอาทิตย์

จากห้องฟ้าจะมีสีในย่านของสีน้ำเงิน ส่วนแสงจากดวงอาทิตย์จะมีสเปกตรัมคังรูปที่ 2.4 ค่า irradiance ที่วัดนอกชั้นบรรยากาศเฉลี่ยต่อปี เรียกสเปกตรัม solar constant มีค่าเท่ากับ 1350 w/m^2 ในกรณีที่ไม่สามารถนำแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้ได้สะดวก เช่น ในห้องทดลองจะนิยมใช้หลอดซีนอน (xenon) ความดันสูงแทนแสงจากดวงอาทิตย์ สเปกตรัมของแสงจากดวงอาทิตย์นี้ถ้าวัดนอกชั้นบรรยากาศ มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมของวัตถุดำ (blackbody) ที่มีอุณหภูมิ 6000 K ที่จุดศูนย์กลาง และ 5000 K ที่ขอบ คังรูปที่ 2.5 ส่วนที่วัดได้ ณ ระดับน้ำทะเลจะมีการดูดกลืนบางส่วนคังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการแผ่รังสีของวัตถุดำ

วัตถุดำหมายถึง วัตถุที่ดูดกลืนและสะท้อนอย่างสมบูรณ์ (ideal absorber และ perfect emitter) และจะให้รังสีได้มากกว่าวัตถุอื่นที่อุณหภูมิเท่ากัน ในทุกทิศทางความยาวคลื่น พลังค์ได้ตั้งสมมุติฐาน เรื่อง quantization ของการดูดกลืนและการปล่อยสเปกตรัมของวัตถุดำและ แสดงได้ว่า

$$M_\lambda = \frac{2\pi^5hc^2}{15} \left[\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right]$$

เมื่อ k = ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann constant , Ludwig Edward Boltzmann ค.ศ. 1844-1906)

ถ้า นำ M_λ กับ λ ไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.5 λ_{max} หรือ λ ณ. ที่ M_λ มีค่าสูงสุด (ของ T หนึ่งๆ) หาได้โดยการทำการหาอนุพันธ์ (differentiation) ของ M_λ เทียบกับ λ แล้วให้ผลลัพธ์มีค่าเป็น 0 จะได้

$$\lambda_{max} T = \frac{hc}{5k} = 2.88 * 10^3 \quad (\mu m - K)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้เรียกว่า wien displacement law (Stefan-Boltzmann law , Josef Stefan ค.ศ. 1835-1893) ซึ่งเห็นเป็นเส้นประในรูปที่ 2.5

ถ้าทำการอินทิเกรต M_λ สำหรับทุกค่า λ หรือหาพื้นที่ใต้กราฟ จะให้ค่า radiant existence ทั้งหมดเป็น

$$M = \sigma T^4$$

สมการนี้เรียกว่า กฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann law , Josef Stefan ค.ศ. 1835-1893) และ σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann constant) มีค่าเท่ากับ $5.37 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

ที่ T ใดๆ นิยามค่าสภาพเปล่งรังสี (emissivity) ของวัตถุใดๆ ดังสมการ

$$\varepsilon(T) = \frac{M}{M_{bb}}$$

เมื่อ M และ M_{bb} เป็นของสเปกตรัมวัตถุและของวัตถุดำตามลำดับ เนื่องจากกราฟของการแผ่รังสีของวัตถุดำขึ้นกับอุณหภูมิ และมีจุดยอดของกราฟเปลี่ยนตำแหน่งความยาวคลื่นไปตามอุณหภูมิด้วย จึงมีการกำหนดสเกลของสีของวัตถุโดยใช้อุณหภูมิตามสมการที่เรียกว่า อุณหภูมิสี (color temperature) โดยมีความหมายถึงอุณหภูมิของวัตถุดำที่มีการกระจายสเปกตรัมพลังงาน (spectral energy distribution) ใกล้เคียงที่สุดเช่น แสงเทียนมีอุณหภูมิสี 1900 K ดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสี 5500 K เป็นต้น

2.6.2 หลอดเรืองแสง (Fluorescent lamps)

ฟลูออเรสเซนต์เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง เกิดจากสารบางชนิดเมื่อได้รับพลังงาน จากเอ็กซ์-เรย์ (X -rays) แคโทด-เรย์ (cathode - ray) หรือจากอุลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) สารชนิดนี้จะดูดพลังงานดังกล่าวไว้ แล้วปล่อยให้แสงสว่างออกมา เรียกสารชนิดนี้ว่า สารเรืองแสง (phosphor) สารเรืองแสงแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สารฟลูออเรสเซนต์และสารฟอสฟอเรสเซนต์ (phosphorescent) สาร 2 ประเภทนี้มีคุณสมบัติเหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อได้รับพลังงานมันจะให้แสงสว่างออกมา แต่มีความแตกต่างกันที่เมื่อเราหยุดให้พลังงานแก่มันแล้ว สารฟลูออเรสเซนต์จะหยุดเรืองแสงทันที ตรงกันข้ามกับสารฟอสฟอเรสเซนต์ซึ่งจะยังคงให้แสงสว่างต่อไปได้อีกนาน ผู้ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนต์ได้เป็นคนแรก คือ Sir David Brewster นักฟิสิกส์ชาวสก๊อต เมื่อปี ค.ศ. 1833 อีก 105 ปีต่อมา คือในปี ค.ศ. 1938 จึงได้มีการผลิตหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ออกจำหน่าย โดยบริษัท General Electric และ Westinghouse Electric แห่งสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าว วิธีการสร้างหลอดชนิดนี้ทำได้โดยการเคลือบสารฟลูออเรสเซนต์ไว้ภายในผนังหลอดแก้ว แล้วสร้างแหล่งกำเนิดอุลตราไวโอเล็ตก็จะเรืองแสง ซึ่งสามารถให้แสงสีต่างๆ ตามแต่ประเภทของสารที่เคลือบไว้

การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เราทราบแล้วว่า ผนังด้านในของหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกเคลือบไว้ด้วยสารเรืองแสง ซึ่งจะเรืองแสงเมื่อโค่นอุลตราไวโอเล็ต การทำงานของหลอดจึงขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างอุลตราไวโอเล็ตภายในหลอดนั่นเอง

การสร้างอุลตราไวโอเล็ต ทำได้โดยการบรรจุไอปรอท (mercury vapor) ไว้ภายในหลอดและลดความดันภายในหลอดให้ต่ำลงแล้วใช้ขั้วไฟฟ้า (electrode) 2 ขั้วเป็นตัวปล่อยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจะวิ่งเข้าชนอิเล็กตรอนของไอปรอท ทำให้อิเล็กตรอนของไอปรอทเคลื่อนไหว เกิดรังสีอุลตราไวโอเล็ตออกมา

วิธีการทำให้เกิดอิเล็กตรอน (ที่เป็นตัววิ่งเข้าชน) เราสามารถทำได้หลายอย่าง ในที่นี้จะนำวิธีการที่นิยมกันมากกล่าวถึง 2 วิธีการดังนี้

วิธีที่ 1 โดยการเผาไส้หลอด เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันในบ้านเรือน วิธีการนี้จะต้องมีส่วนประกอบเพิ่มเติมเข้ากับหลอดอีก 2 อย่างคือ บาลลาสต์ (ballast) และสตาร์ทเตอร์ (starter) บาลลาสต์เป็นคอยล์แกนเหล็ก ส่วนสตาร์ทเตอร์เป็นสวิทช์อัตโนมัติ บรรจุก๊าซนีออน (หรือก๊าซเฉื่อยอื่นๆ)

วิธีที่ 2 โดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง วิธีการนี้ผู้ที่เคยไปชมห้องส่งวิทยุกระจายเสียงจะเคยเห็นหรือรู้จักกันดี กล่าวคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่อยู่ใกล้สายอากาศของสถานีส่งจะเรืองแสงเองได้ เพียงแต่นำหลอดมาใกล้ๆ เท่านั้น ไม่ต้องต่อวงจรใดๆ เหตุที่หลอดเรืองแสงได้เพราะคลื่นความถี่สูงจากสายอากาศวิทยุ ทำให้เกิดอุลตราไวโอเล็ตขึ้นภายในหลอด แล้วหลอดก็จะเรืองแสงได้ตามที่เคยกล่าวมาแล้ว

2.6.3 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode - LED)

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงความเข้มต่ำและทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อ (p-n junction semiconductor) ซึ่งเมื่อให้ความต่างศักย์แก่รอยต่อในแบบไบอัสตรง (forward bias) แล้วจะเกิดการรวมกัน (recombination) ของโฮล (hole) กับอิเล็กตรอนและให้แสงออกมา เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GaAs ให้ความเข้มสูงสุด (peak output) ที่ 900 นาโนเมตร
SiC ให้ความเข้มสูงสุด (peak output) ที่ 580 นาโนเมตร

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของ LED

Output power (mw)	1-10
Spectral width (rms value nm)	15-60
Brightness ($w/cm^2/sr$)	$10-10^3$
Rise time, 10-90% (ns)	2-20
Frequency response (-30dB , Mhz)	<200
Voltage drop (volt)	1.5-2.5
Forward current (mA)	50-300
Threshold current (mA)	-
Feedback Stabilization request	No

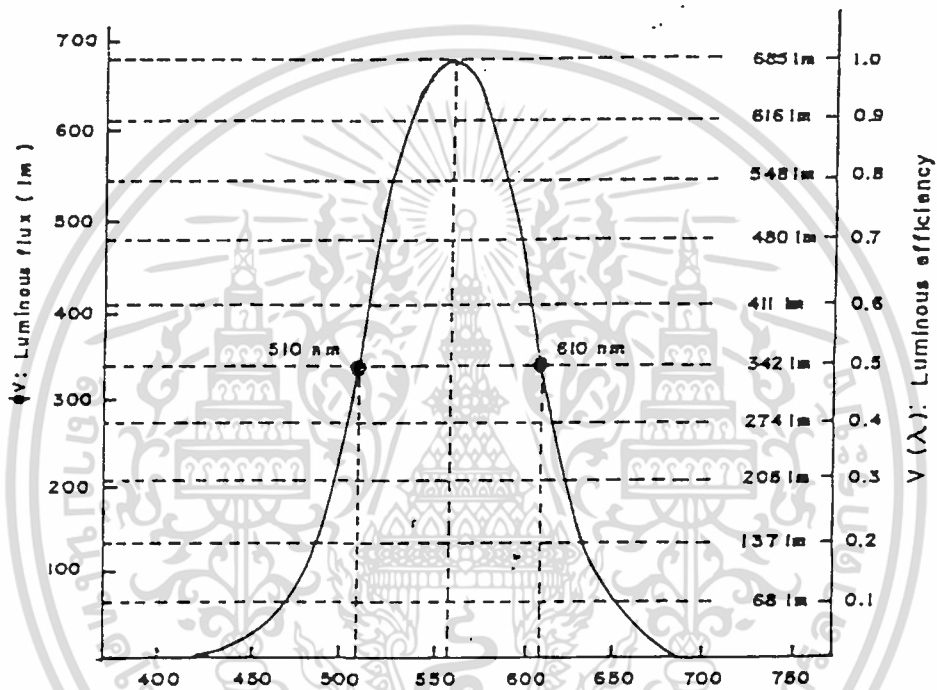
2.7 การวัดแสง (Photometry)

ด้วยเหตุที่ตา (eye) ซึ่งเป็นอวัยวะรับแสงของมนุษย์ มีการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ อย่างไม่เท่ากัน จึงทำให้การวัดปริมาณที่เกี่ยวข้องกับพลังงานของแสงต่างไปจากของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอื่น

ถ้าเรามีแหล่งกำเนิดแสง 3 แหล่ง ซึ่งมีกำลังของการแผ่รังสีเท่ากัน แต่ให้สีต่างกัน เช่น น้ำเงิน เหลือง แดง ตาของเราจะรับรู้ว่ามีแหล่งกำเนิดแสงสีเหลือง สว่างกว่าสีอื่นๆ

ในการวัดปริมาณต่างๆ ของแสง เป็นการวัดที่อ้างอิงกับตาปกติของมนุษย์มาตรฐานของการตอบสนองของตาปกติต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้อย่างอิงกันได้ทั่วไปโดย International Commission on Illumination ซึ่งทำในรูปของกราฟระหว่างการตอบสนองสัมพัทธ์ต่อความสว่างของตา (relative response) กับความยาวคลื่น ดังรูปที่ 2.6 มีจุดยอด (peak sensitivity) ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร หรือในช่วงแสงสีเหลือง-เขียว กราฟในรูปที่ 2.6 เป็นกราฟที่บอกถึงการตอบสนองของตาที่มองเห็นในเวลากลางวัน (photopic vision) สำหรับในเวลากลางคืน (scotopic vision) จะพบว่าจุดยอดเคลื่อนไปทางด้านสีเขียวย และมีค่า 510 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเมตร นอกจากการรับรู้เกี่ยวกับสีของตามนุษย์ก็จะขึ้นกับความยาวคลื่นด้วย กล่าวคือความยาวคลื่นสั้นๆ เราอาจมองไม่เห็นเลย แต่ถ้าความยาวคลื่นยาวๆ เราอาจมองเห็นได้แม้ความยาวคลื่นนั้นจะอยู่นอกบริเวณกราฟ เช่น ในกรณีของแสงจากเลเซอร์ทับทิม (ruby laser) จะมีค่าความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร เราก็สามารถมองเห็นได้เป็นสีแดง หรือกรณีของรังสีอินฟราเรดจากแกเลียมอาเซไนด์ ที่มีความยาวคลื่น 900 นาโนเมตร เราก็จะเห็นแสงสีแดงเข้ม



รูป 2.6 แสดงกราฟการตอบสนองของตาต่อความยาวคลื่นแสง

2.8 อุปกรณ์รับแสง (Detector)

อุปกรณ์รับแสงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้า ในขบวนการนี้ใช้ photodetector ที่มีอยู่หลายชนิดให้เลือกใช้ ทั้งแบบ large area general purpose และอื่นๆ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น speed of response , sensitivity , การรบกวนค่า และกำลังขยายสูงซึ่ง photodetector ที่นิยมใช้กันอย่างมากคือ photodiode ซึ่ง photodiode นี้มีโครงสร้างหลายแบบได้แก่แบบ PN junction , PIN junction ,Avalanche

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

หลักการและการออกแบบเครื่องมือ

8.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031

การควบคุมการทำงานของเครื่องวัดปริมาณความเข้มแสง จะมีหน่วยควบคุมที่ใช้ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท intel ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 เป็น ไอซีที่อยู่ในตระกูลของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 โดยเทคโนโลยีการผลิตไอซี วงจรรวมความจุสูง LSI แบบ LIMOS CLIMOS มีการสิ้นเปลืองไฟน้อยและข้อดีต่างๆ ตามตารางที่ 3.1

EMBEDDED CONTROLLERS										
Feature	8051AH	8031AH	8751H	80C51BH	80C31BH	87C51	8052AH	8032AH	8752	8044H
Program Memory (Bytes)	4K	-	4K	4K	-	4K	8K	-	8K	4K
RAM Memory (Bytes)	128	128	128	128	128	128	256	256	256	192
Program Memory Expansion (Off Chip) (Bytes)	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K
Data Memory Expansion (Off Chip) (Bytes)	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K
Max Clock Frequency (MHz)	12	12	12	16	16	16	16	12	12	12
Typical Instruction Time (µs)	1	1	1	0.75	0.75	0.75	1	1	1	1
16-Bit Timer / Counters	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2
Serial Communications	Synchronous Mode, Asynchronous Mode, 9 or 10 - Bit Programmable									HDLC/SDLC
No. of I/O Lines	32	16	32	32	16	32	32	16	32	32
Interrupt Sources (Two Priority Levels)	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5
Power Requirements (25°C Max. mA)	125	250	24	24	39	175	175	175	200	
Programmable Power Modes	-	-	-	40 mA	40 mA	40 mA	-	-	-	-
Idle Power Down				50 µA	51 µA	52 µA				30 mA

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 ของบริษัท intel

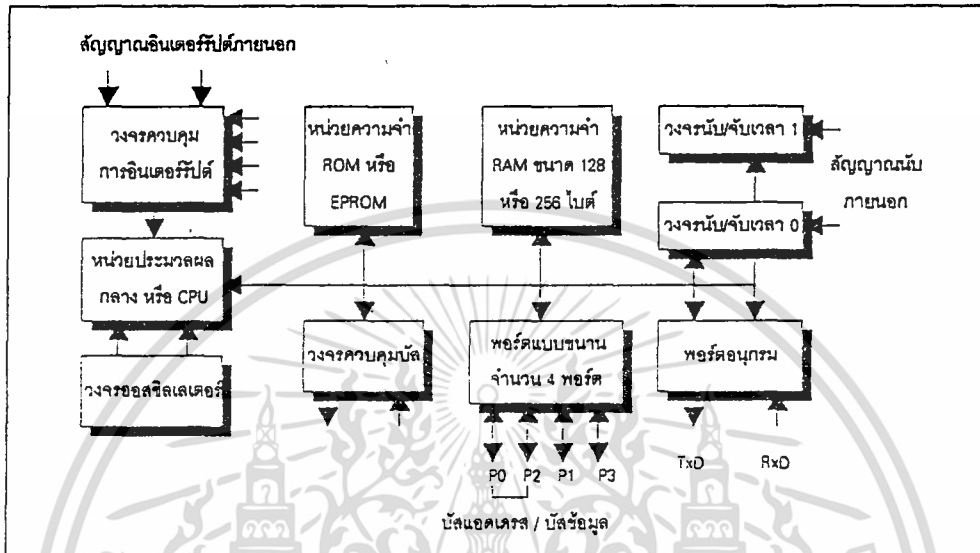
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของ 8031

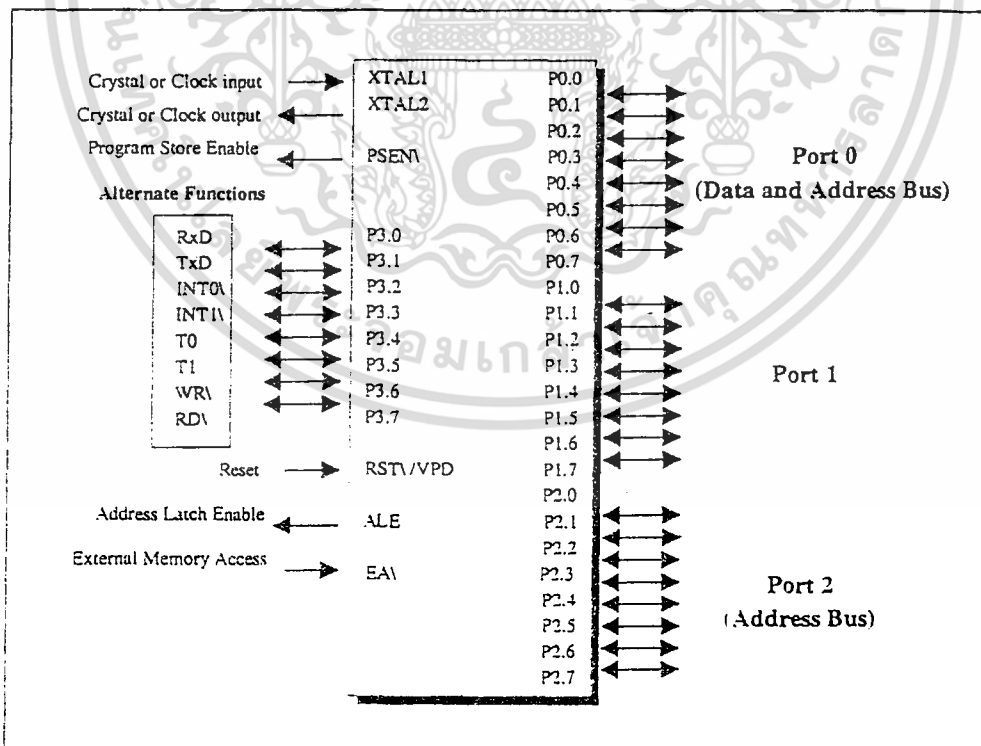
จากแผนภาพในตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงหน่วยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 นี้ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล โปรแกรม 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ แบบ EPROM เบอร์ 8751 หรือแบบ ROM 8051 แต่ในเบอร์ 8031 จะไม่มี ROM ภายใน
- หน่วยความจำ RAM ภายใน จำนวน 128 ไบต์
- input/output แบบขนานจำนวน 32 เส้นซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับจับเวลาขนาด 16 บิต จำนวน 2 วงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบ full duplex
- วงจรควบคุมการ interrupt จากแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งมีถึง 6 ประเภท พร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

โดยมากมีลักษณะและรูปร่างเป็น dip 40 ขา ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ย่อที่กำกับแต่ละขา ซึ่งอย่างไรก็ตามจะมีบางขาที่ทำหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่ แต่จะทำงานในเวลาเดียวกันไม่ได้ เช่น ขาสัญญาณบิตที่ 0 ของ พอร์ต 3 อาจใช้เป็น พอร์ตอินพุต/ เอาท์พุตตามปกติ หรืออาจทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณอินพุตของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (RxD) ให้กับวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของ 8031 ได้ โดยการกำหนดว่าจะทำงานในลักษณะใดก็ขึ้นกับการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับขาสัญญาณและโปรแกรมควบคุมของระบบนั้น



รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกแสดงหน่วยการทำงานพื้นฐานของ MCS-51

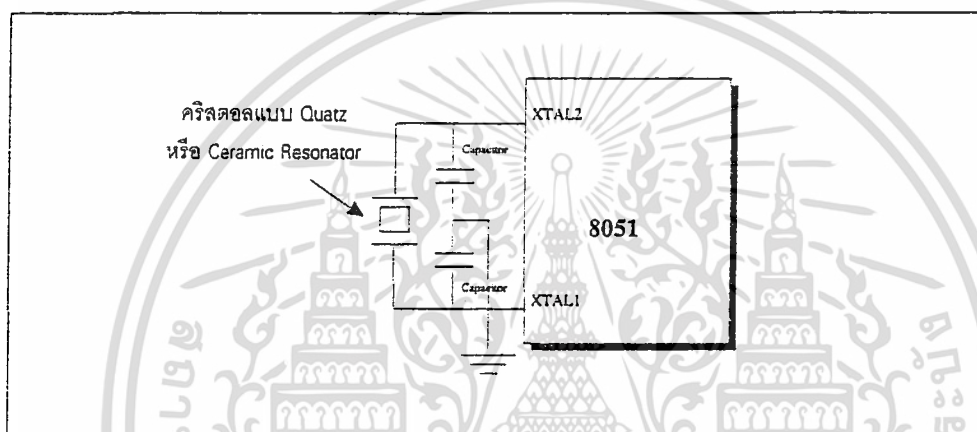


รูปที่ 3.2 การกำหนดหน้าที่การทำงานของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ฐานเวลาในการทำงานของ CPU ภายใน 8051

เป็นการกำหนดจังหวะในการทำงาน พัลส์ความถี่ของสัญญาณพิกาก็จะเรียกว่า pulse และคาบของสัญญาณพิกาก็เรียกว่า คาบเวลาของสัญญาณ และถ้าเป็นจำนวน 2 เท่าเรียกว่า state ซึ่งจะนำไปใช้เป็นช่วงเวลาพื้นฐานการทำงานย่อยของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น fetch decode execute write



รูปที่ 3.3 แสดงการใช้คริสตอลภายนอกต่อกับวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน 8051

การคำนวณหาว่าเวลาที่ใช้ในการทำคำสั่งใดๆ จนเสร็จสิ้นสามารถคำนวณจากสูตรได้ดังนี้

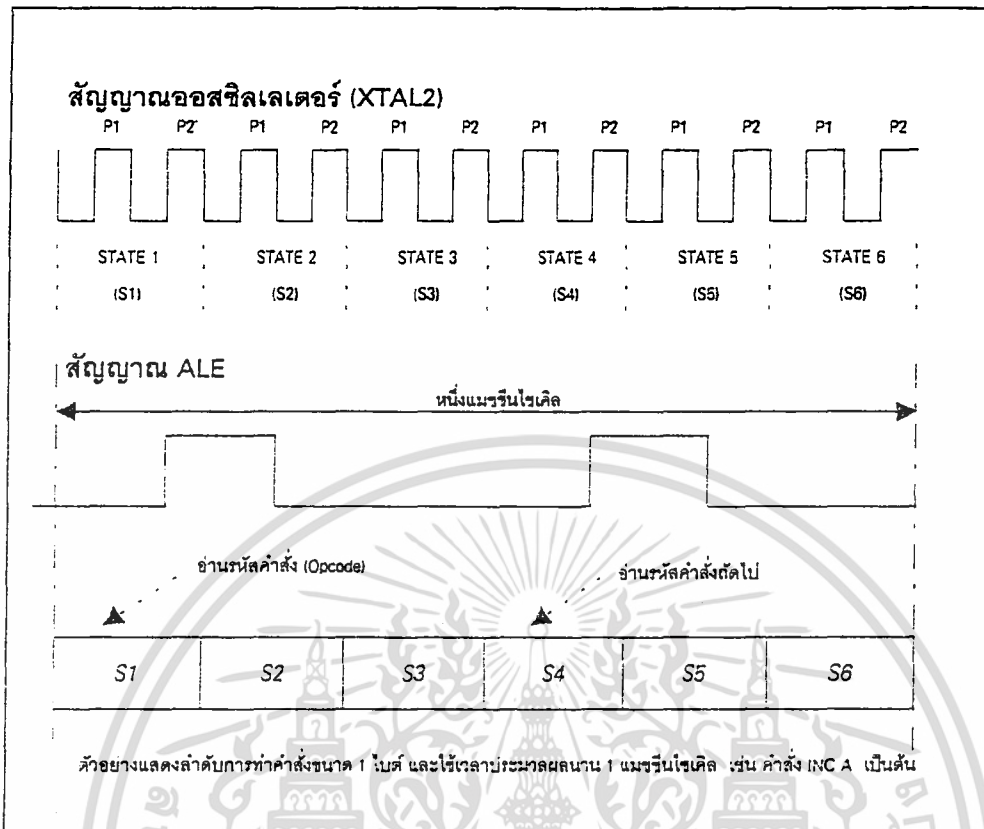
$$T = C * 12 / \text{Crystal Frequency}$$

C = เป็นค่าจำนวนแมชชีนไซเคิลของคำสั่ง

Crystal Frequency = เป็นค่าความถี่ของคริสตอลที่ใช้กับ 8051

การใช้งาน 8051 นี้จะใช้งานเป็นส่วนของการควบคุมการทำงานและการประสานงานระหว่างตัวตรวจจับและอุปกรณ์ภายนอกเพื่อให้มีความเร็วในการทำงานและสะดวกต่อผู้ใช้ในการขยายฐานการทำงานต่อไป

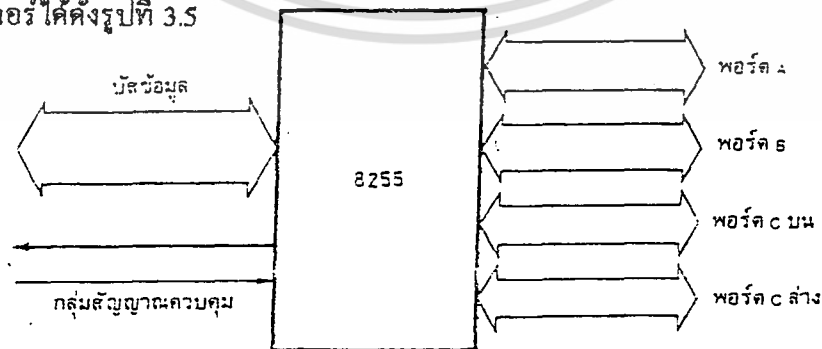
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพเวลาพื้นฐานของ 8031 และลำดับของช่วงเวลา state ในการทำคำสั่ง 1 ไบต์

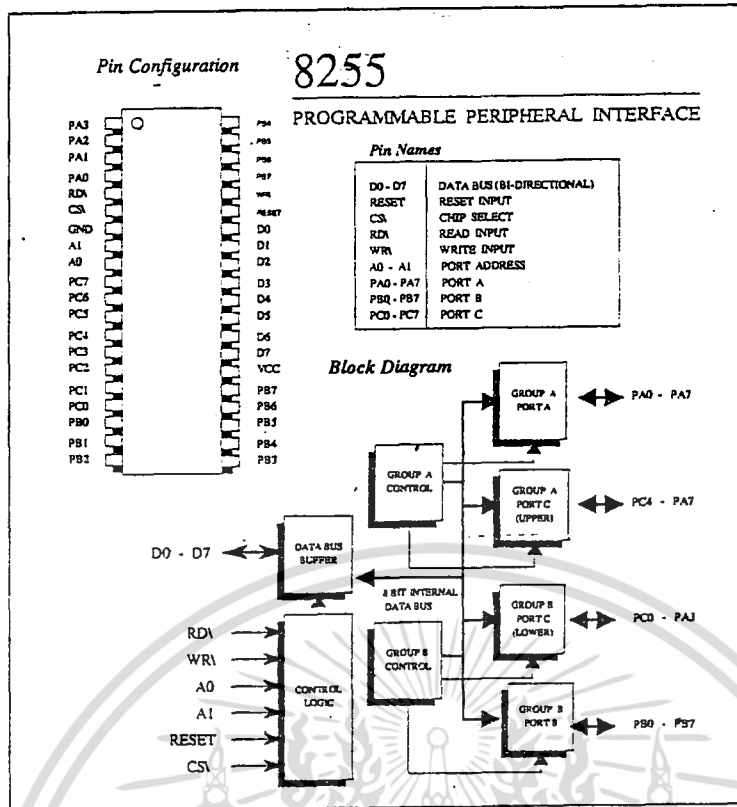
3.4 อุปกรณ์ประเภทพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

8255 ไอซีพอร์ค ข้อมูลแบบขนาน เป็นไอซีที่มีลักษณะเป็น Dip 40 ขา ออกแบบมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์นอกไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถต่อเป็นพอร์ตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังโครงสร้างของไอซี 8255

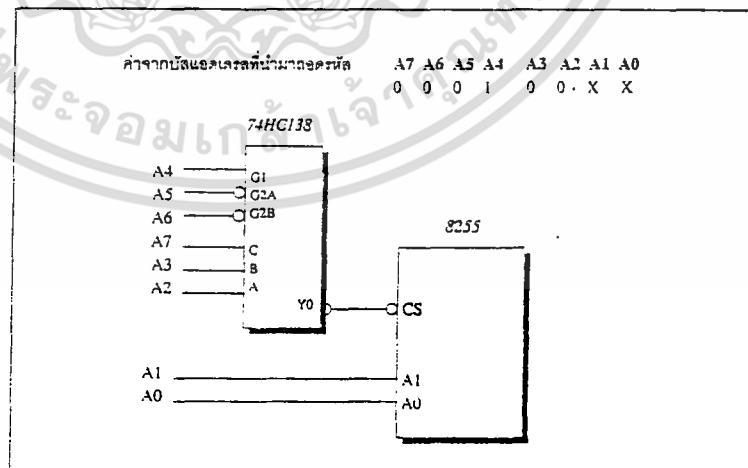
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

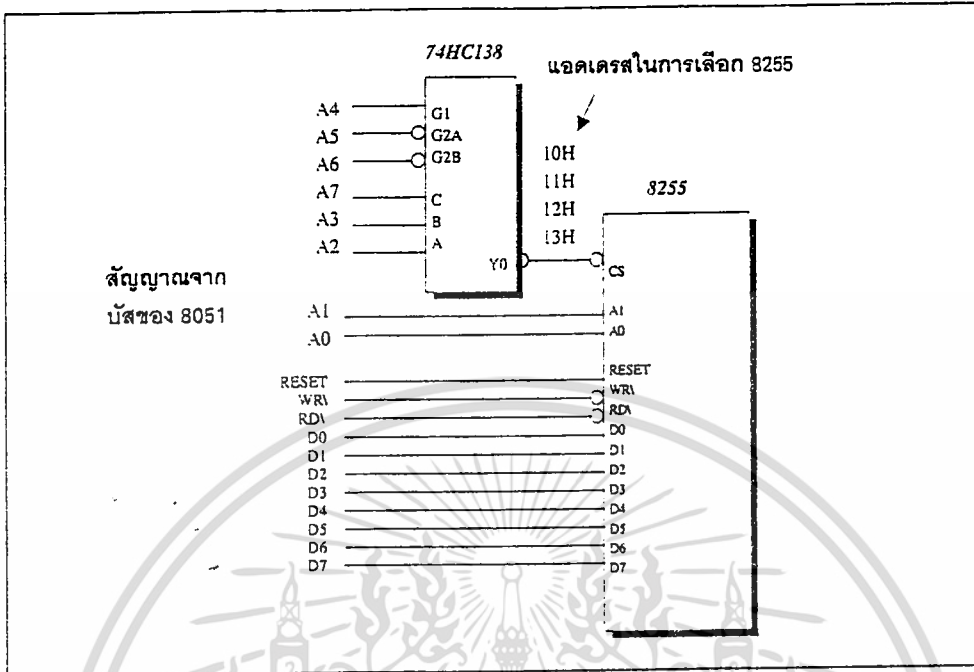
3.5 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8031๐

จะมีลักษณะของการเชื่อมต่อและถอดรหัสแอดเดรสของ 8255 ดังในภาพที่ 3.7 และ 3.8 มีขาสัญญาณ A0, A1 เป็นตัวทำหน้าที่อ้างตำแหน่งของแอดเดรสของพอร์ตต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 การเขียนและอ่านข้อมูลจะพิจารณาจากขาสัญญาณ RDA, WRA และ ทำการเขียนและอ่านข้อมูลเข้าทาง D0-D7 ดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (cs) ให้กับ 8255 โดยการถอดรหัสจากบิตแอดเดรส A2-A7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณจาก บัสของ 8051

รูปที่ 3.8 แผนภาพวงจรแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 กับ 8031

A1	A0	ชื่อของรีจิสเตอร์
0	0	พอร์ต A
0	1	พอร์ต B
1	0	พอร์ต C
1	1	รีจิสเตอร์ควบคุม

ตารางที่ 3.2 แสดงการควบคุมการเลือกพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RDA	WRA	A1	A0	ความหมาย
0	1	0	0	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต A
1	0	0	0	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต A
0	1	0	1	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต B
1	0	0	1	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต B
0	1	1	0	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับพอร์ต C
1	0	1	0	รับ (หรืออ่าน) ข้อมูลจากพอร์ต C
0	1	1	1	ส่ง (หรือเขียน) ข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม
1	0	1	1	เป็นสถานะที่ไม่ถูกต้อง

ตารางที่ 3.3 แสดงการควบคุมการอ่านและเขียนพอร์ต

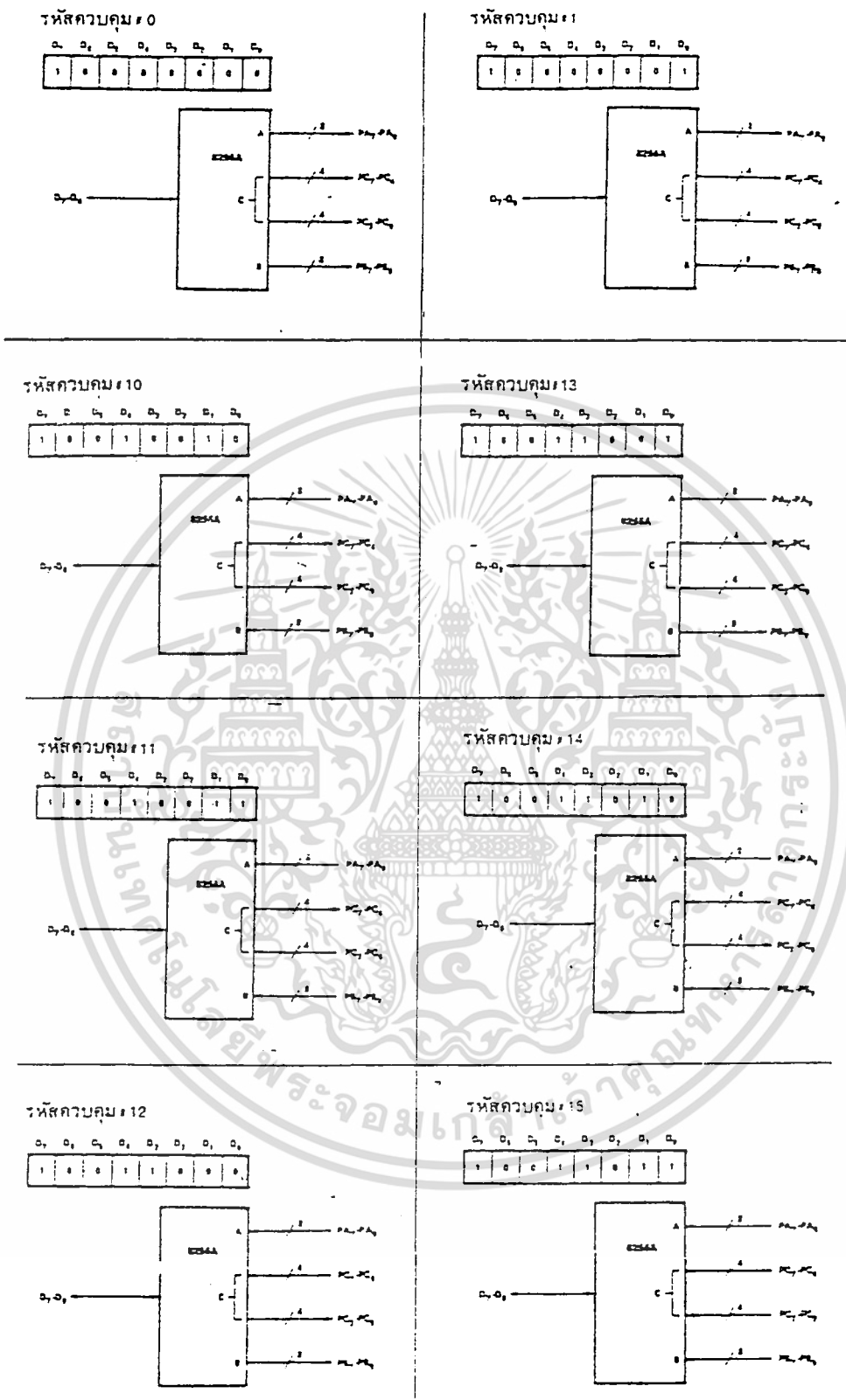
3.6 การทำงานในโหมด 0

เป็นโหมดที่กำหนดให้พอร์ตทุกพอร์ตบนตัว 8255 เป็น port input and port output แบบพื้นฐาน มีรูปแบบที่เป็นไปได้ 16 รูปแบบตามลักษณะ port A และ port B หรือ port C บน port C ล่าง ลักษณะของรหัสควบคุมแสดงดังรูป 3.9

ตำแหน่งบิต	ค่าข้อมูล	ความหมาย
D7	1	ระบุให้ทราบว่าเป็นไบตข้อมูลควบคุม
D6 และ D5	00	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต A เป็นโหมด 0
D4	0	ระบุว่าพอร์ต A เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D3	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสลับบนของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D0	0	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต B เป็นโหมด 0
D1	0	ระบุว่าพอร์ต B เป็นการเอาต์พุตข้อมูล
D2	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสลับล่างของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุตข้อมูล

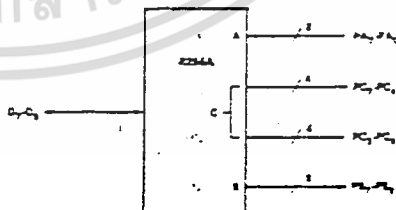
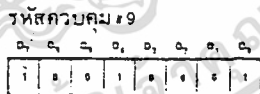
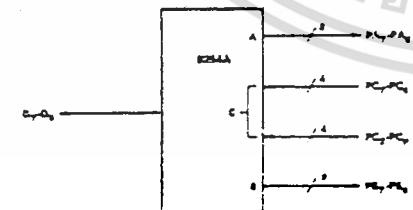
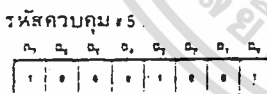
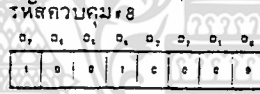
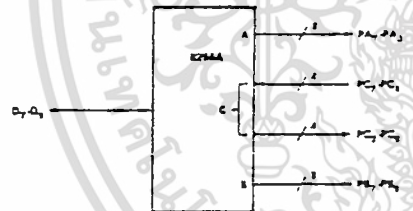
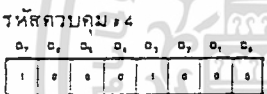
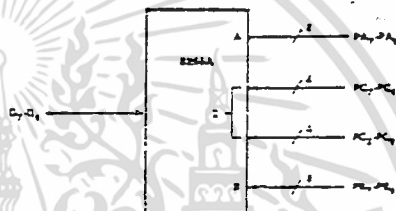
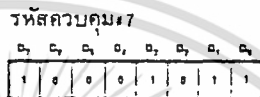
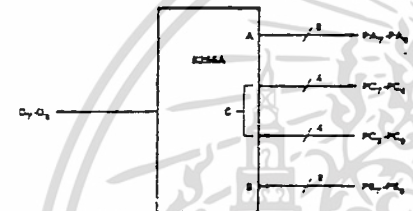
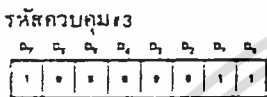
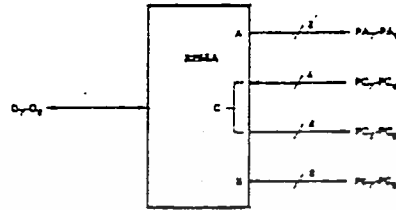
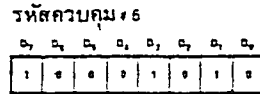
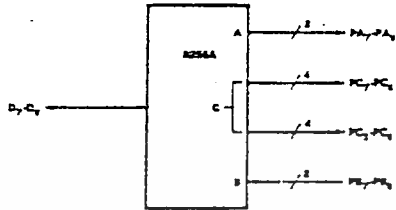
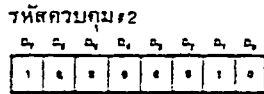
ตารางที่ 3.4 แสดงรหัสควบคุมการทำงานของพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

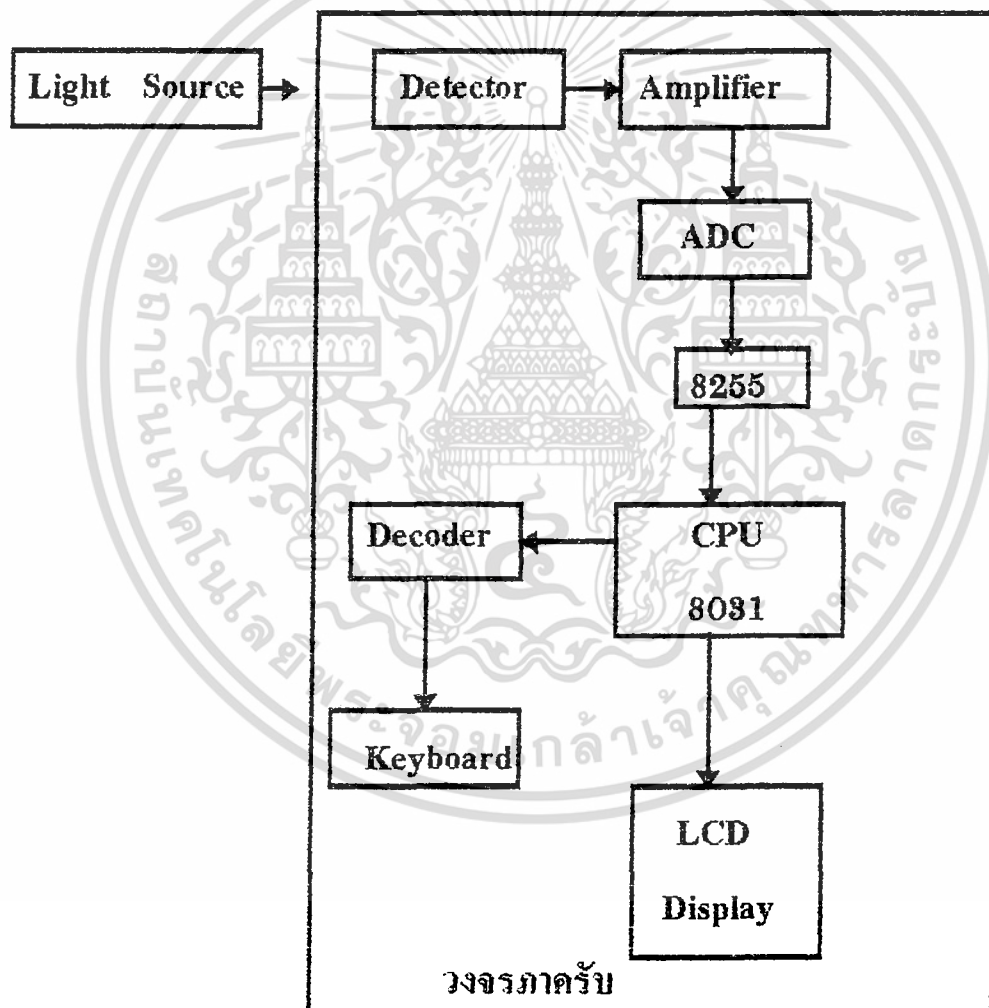


รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่าง ๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องมือวัดความเข้มฟิล์มกรองแสง

โดยอาศัยหลักการโดยจะให้แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงในช่วง visible light มาใช้เป็น ตัวส่ง เพราะเราต้องการวัดค่าความเข้มของแสงในช่วง visible ต่อจากนั้นนำส่งเข้าสู่วงจรรับแสง ซึ่งค่าความเข้มแสงเราจะแทนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า ต่อจากนั้นค่าของกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในรูป voltage ก็จะส่งไปเข้ายังส่วนแสดงผลและการประมวลผล



รูป 3.10 แสดงลักษณะและโครงสร้างโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

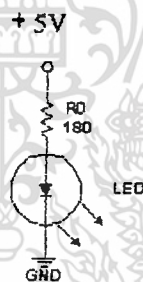
เครื่องมือวัดความเข้มแสงจะมีส่วนประกอบดังรูปที่ 3.10

โครงสร้างโดยทั่วไปในรูปที่ 3.10 ประกอบด้วย

1. แหล่งกำเนิดแสง
2. วงจรรับแสง
3. วงจรขยายสัญญาณ
4. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิทัล
5. ส่วนประมวลผลและแสดงผล

3.8 แหล่งกำเนิดแสง

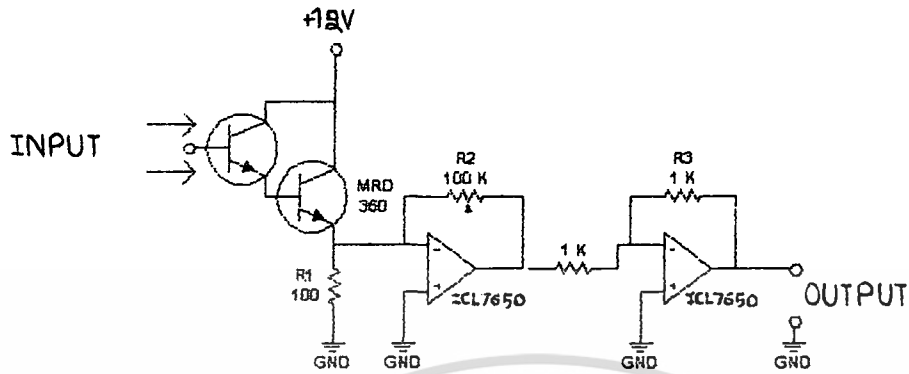
ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้านี้ ให้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานแสงที่สามารถควบคุมได้ แหล่งกำเนิดแสงจะใช้เป็นตัวส่ง โดยค่าความเข้มของแสงจะถูกส่งไปยังวงจรรับแสง



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรแหล่งกำเนิดแสง

3.9 วงจรรับแสงและขยายสัญญาณ

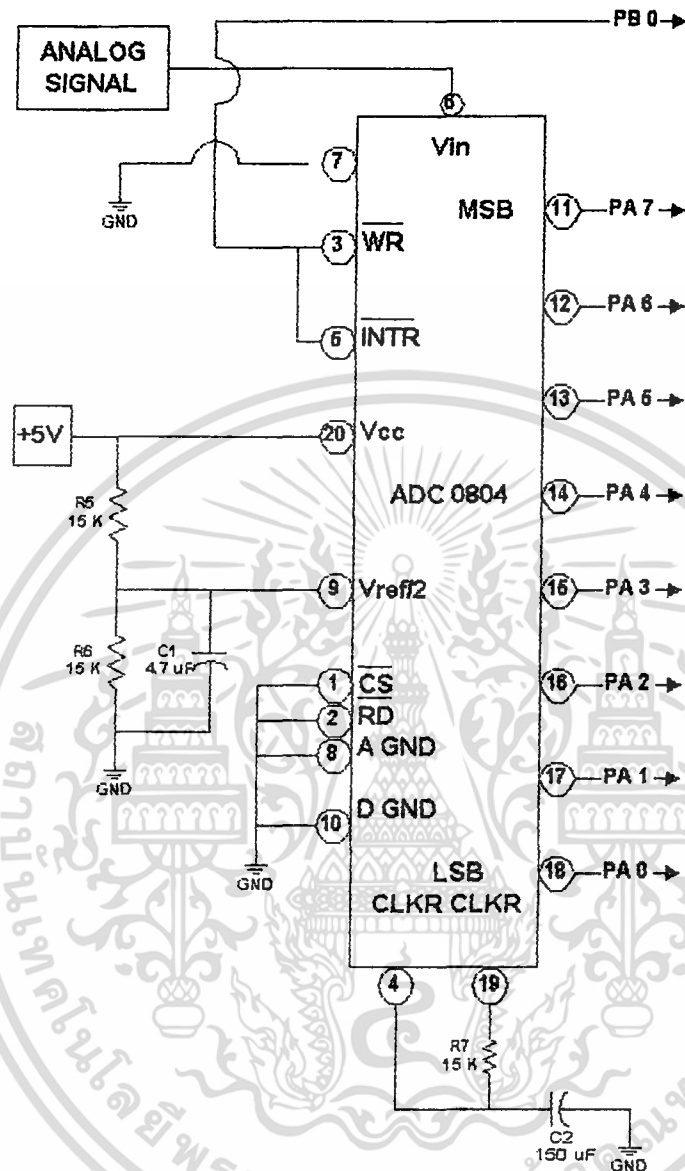
ค่าความเข้มแสงที่ได้จากวงจรแหล่งกำเนิดแสงจะเข้าสู่ในส่วน of วงจรรับแสง ซึ่งค่าความเข้มแสงที่ได้รับจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกระแสและ Voltage จากนั้นสัญญาณที่อยู่ในรูปของ voltage ซึ่งมีค่าน้อยเราจึงทำการขยายสัญญาณเพื่อที่จะเข้าไปสู่ฝั่งส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรรับและขยายสัญญาณ

3.10 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

เมื่อเราทำการขยายสัญญาณที่ได้แล้ว สัญญาณที่ได้ซึ่งอยู่ในรูปของ voltage ซึ่งไม่สามารถนำไปประมวลผลได้ ดังนั้นเราจึงทำการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เมื่อทำการแปลงสัญญาณเสร็จแล้วก็จะสามารถนำสัญญาณนั้นไปประมวลผลได้



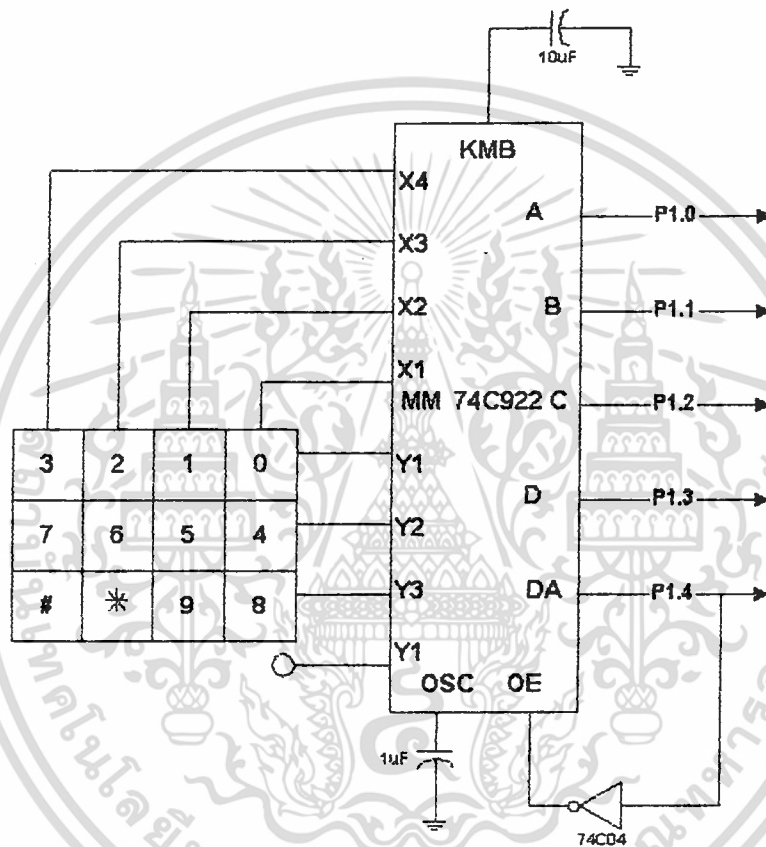
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

3.11 ส่วนประมวลผลและแสดงผล

ส่วนของการประมวลผล เราจะใช้ CPU 8031 มาทำการประมวลผลโดยสัญญาณ 8 bit ที่ได้จากวงจร Analog to Digital ต่อเข้ากับ 8255 ซึ่ง 8255 จะถูก control โดย CPU 8031 สามารถจะทำการโปรแกรมให้ 8255 เป็น input ได้ ดังนั้น จะใช้ 8255 เป็นตัวรับค่าที่ได้ 8 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจร Analog to digital แล้ว ค่า 8 bit ก็จะไปประมวลผล และแสดงผลในส่วนของการแสดงผลจะใช้ LCD เป็นตัวแสดงผลที่ได้จากการวัดค่าความเข้มของแสง โดยการทำงานทั้งหมดจะสามารถควบคุมผ่านทาง key board ได้ โดยจะต่อตัว decoder เพื่อทำการถอดรหัสจาก key board ที่ประกอบด้วย 4 row 4 column ให้เหลือเพียงสายสัญญาณ 4 เส้น การประมวลผลต่าง ๆ เราจะให้ software ช่วยในการประมวลผลที่สั่งงานตามหน้าที่ต่าง ๆ โดยจะได้กล่าวไว้ในช่วงท้าย



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรรับสัญญาณจาก keyboard

3.12 การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจร

เมื่อพิจารณาถึงเป้าหมายของโครงการพิเศษนี้ต้องการวัดความเข้มแสง ซึ่งอยู่ในช่วง visible light ซึ่งวัดความเข้มให้อยู่ในรูปของ เฮอร์เซ็นต์ โดยเราจะวัดความเข้มแสงที่ผ่าน filter ออกมาโดยค่าที่ผ่านจาก filter จะบอกถึง filter ที่นำมากันมีความเข้มเป็น 0.9 เท่าไร เช่นถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ filter ขนาด 50% แสดงว่า filter ชนิดนี้ให้แสงผ่านได้เพียง 50 % แต่ถ้านำ filter ขนาด 80 % มากั้น แสดงว่า filter ชนิดนี้ให้แสงผ่านได้เพียง 20 % ดังนั้นเครื่องวัดจะต้องมีความละเอียดในการวัดและสามารถเชื่อถือค่าที่วัดได้โดยเงื่อนไขหลักดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะต้องให้แสงที่อยู่ในช่วง visible
2. ตัว detector นี้สามารถ ตรวจวัด แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็น

จากเงื่อนไขประการแรกทำให้เราเลือกแหล่งกำเนิดแสงเป็น LED สีเขียว เนื่องจากมี infrared น้อยและอยู่ในช่วง visible light

จากเงื่อนไขประการสอง ตัว detector ที่ใช้สามารถ ตรวจวัด แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นคือมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 470 -770 nm โดย detector ที่ใช้คือ MRD 360 ซึ่งสามารถ ตรวจวัด ในช่วงความยาวคลื่น 490 - 1050 nm

3.13 ลำดับการทำงาน

- เปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรส่งสัญญาณแสงและอุปกรณ์อื่น ๆ
- แสงที่ได้จะผ่านเข้าสู่ขั้ววงจรรับแสง
- ในช่วงจรขยายสัญญาณขยายสัญญาณที่รับเข้ามาให้อยู่ในรูปของ voltage
- เข้าสู่ส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
- ส่วนแสดงผลสามารถแสดงได้หลายรูปลักษณะตามความเหมาะสม เช่น
 1. แสดงผลบนตัว LCD
 2. สนับสนุนโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031
 3. A/D และ ไอซี 8255
- ส่วนควบคุมผ่านทาง keyboard
 1. ใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ
 2. เลือก function การทำงาน

การเลือก function ทำงานจาก keyboard

- function 1 อ่านความเข้มฟิล์มอย่างเฉียด เมื่อเลือกฟังก์ชันนี้แล้วจะแสดงค่าความเข้มฟิล์มที่อ่านได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดย display บน LCD
- function 2 บันทึกหมายเลขทะเบียนรถพร้อมกับบันทึกค่าความเข้มฟิล์ม เมื่อเลือกฟังก์ชันแล้วเราทำการ key หมายเลขทะเบียนรถจาก key 0 - key 9 ซึ่งหมายเลขทะเบียนรถทั้ง 4 หลัก ถูก key แล้ว ซึ่งดูได้จาก จอ LCD จากนั้นถ้าต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกค่าความเข้มที่อ่านได้ ให้กด key # ค่าความเข้ม พร้อมกับหมายเลข ทะเบียนรถทั้ง 4 หลัก จะถูกบันทึก

function 3 อ่านค่าความเข้มฟิล์มของหมายเลขทะเบียนรถที่ได้ บันทึกเอาไว้โดยการทำงาน จะคล้ายกับ function 2 โดยกด key หมายเลขทะเบียนรถจาก key 0 - key 9 จากนั้นหมายเลขทะเบียนรถ ทั้ง 4 หลักถูก key แล้วจึงดูได้จากจอ LCD จากนั้นถ้าต้องการอ่านค่าความเข้มที่บันทึกเอาไว้ ให้กด key # ค่าความเข้มพร้อมกับหมายเลขทะเบียนรถทั้ง 4 หลัก จะถูกแสดงโดยผ่านทางจอ LCD

function 4 ลบข้อมูลทั้งหมดทั้งหมายเลขทะเบียนรถ และค่าความเข้มของฟิล์ม ถ้าต้องการ ทำฟังก์ชันจะทำการ clear ค่าทั้งหมดโดยถ้าต้องการลบข้อมูลทั้งหมดให้กด key # ข้อมูลทั้งหมดจะถูกลบออกไปจากหน่วยความจำ

3.14 ความสามารถในการทำงานของเครื่องวัดความเข้มฟิล์ม

- วัดความเข้มฟิล์มแสดงผลเป็น เปอร์เซ็นต์บน LCD
- บันทึกข้อมูลเก็บค่าทะเบียนรถพร้อมกับค่าความเข้มของฟิล์มของรถ
- การทำงานโดยจะถูกควบคุมผ่านทาง keyboard

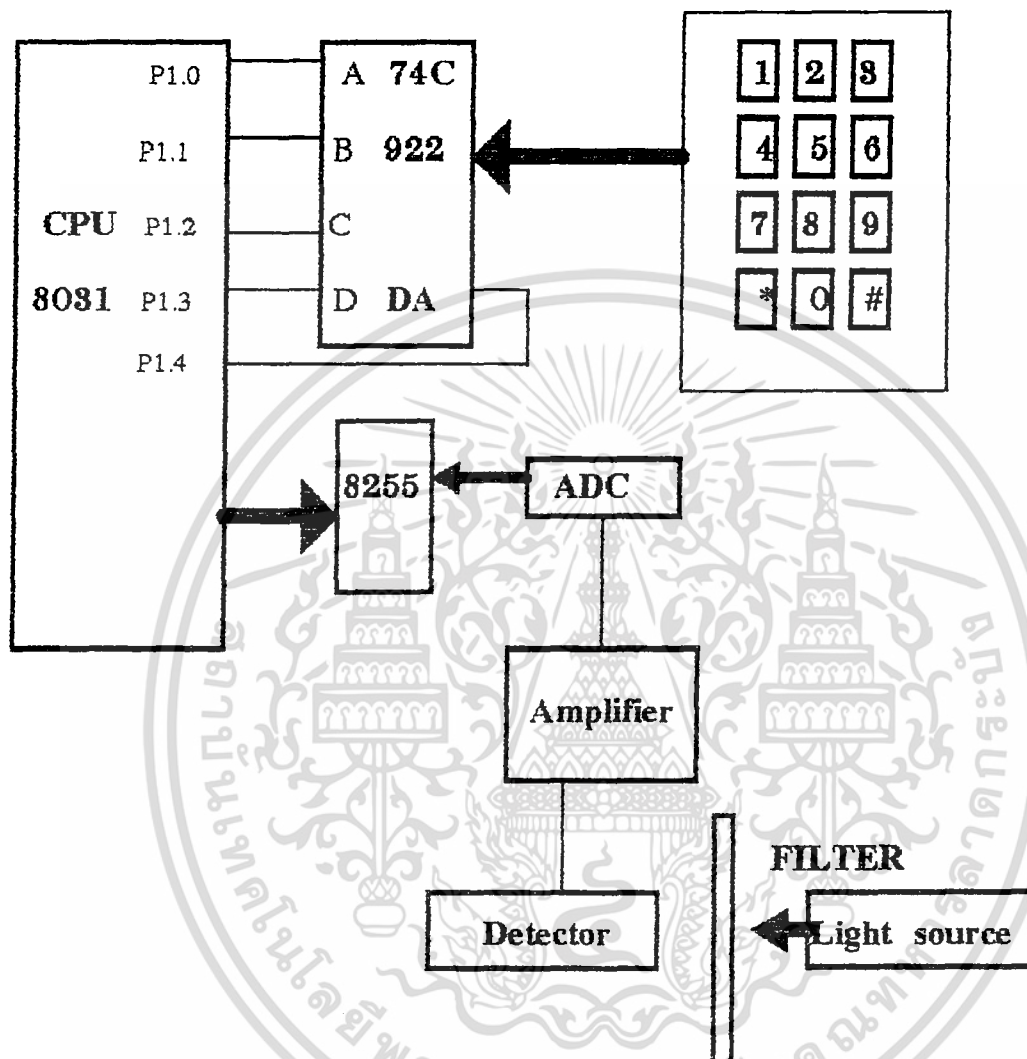
3.15 อธิบายการทำงานจาก Keyboard ทั้ง 12 key

- เมื่อนำจ่ายไฟให้แก่ระบบแล้ว เครื่องมือวัดพร้อมที่จะทำงานแล้วค่อจากนั้น กด key # เลือก function การทำงานจะมี 4 function ประกอบด้วย

1. function 1 อ่านความเข้มฟิล์ม
2. function 2 บันทึกหมายเลขทะเบียนรถพร้อมกับบันทึกค่าความเข้มฟิล์มที่อ่านได้
3. function 3 อ่านค่าความเข้มฟิล์มของหมายเลขทะเบียนรถที่ได้เคยบันทึกเอาไว้
4. function 4 ลบข้อมูลทั้งหมดทั้งหมายเลขทะเบียนรถและค่าความเข้มฟิล์ม

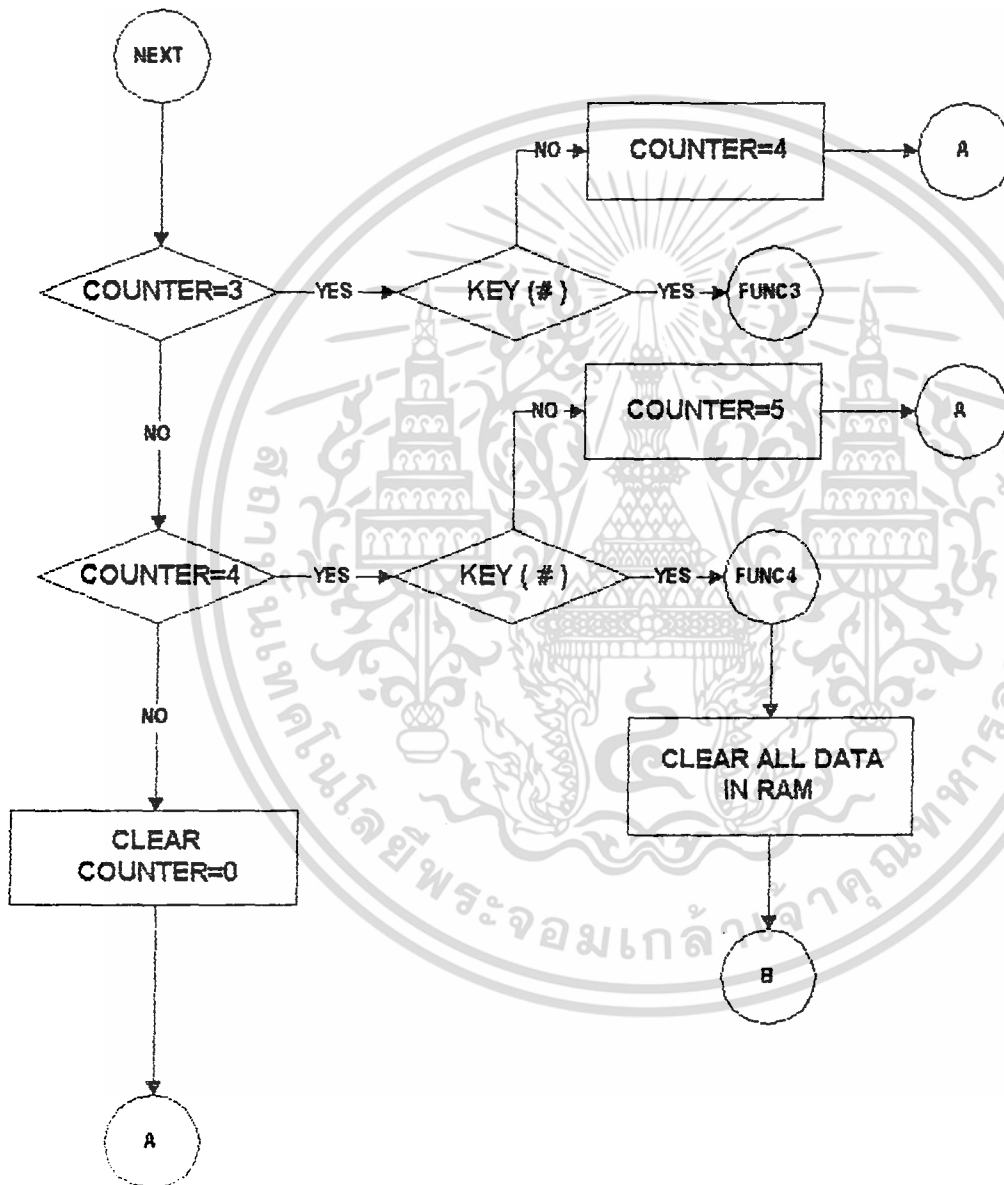
เมื่อกด key * เลือก function การทำงานไปที่ฟังก์ชันใดจากนั้นก็กด key # แสดงว่าต้องการทำงานใน function ที่เลือกเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

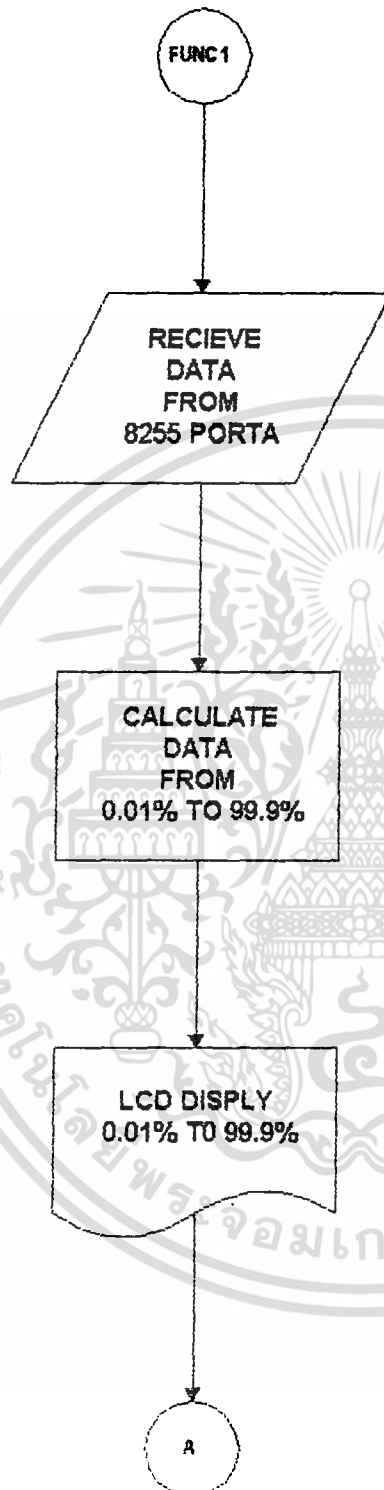


รูป 3.15 แสดง block diagram การทำงานของเครื่องวัดความเข้มฟิล์มกรองแสง

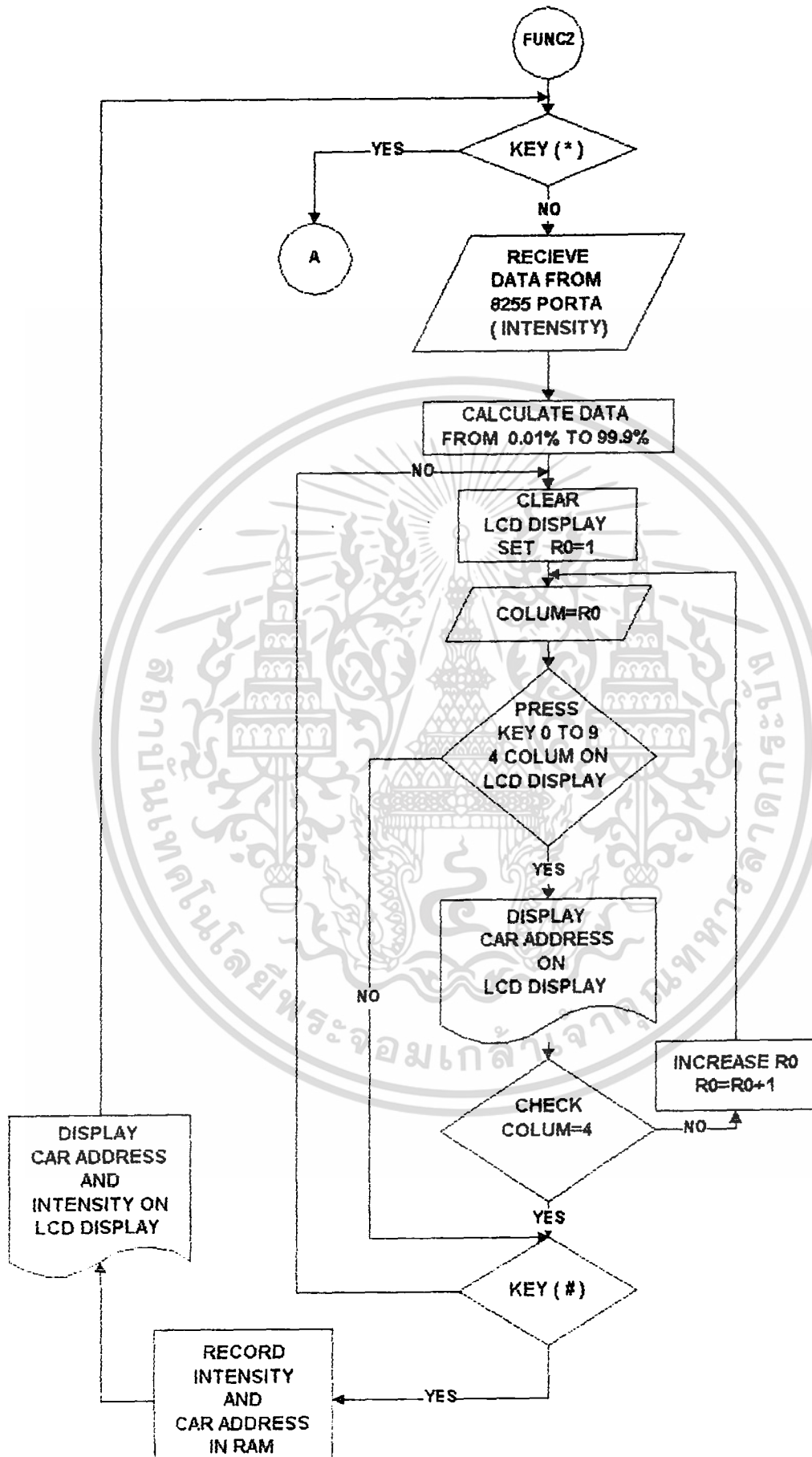
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



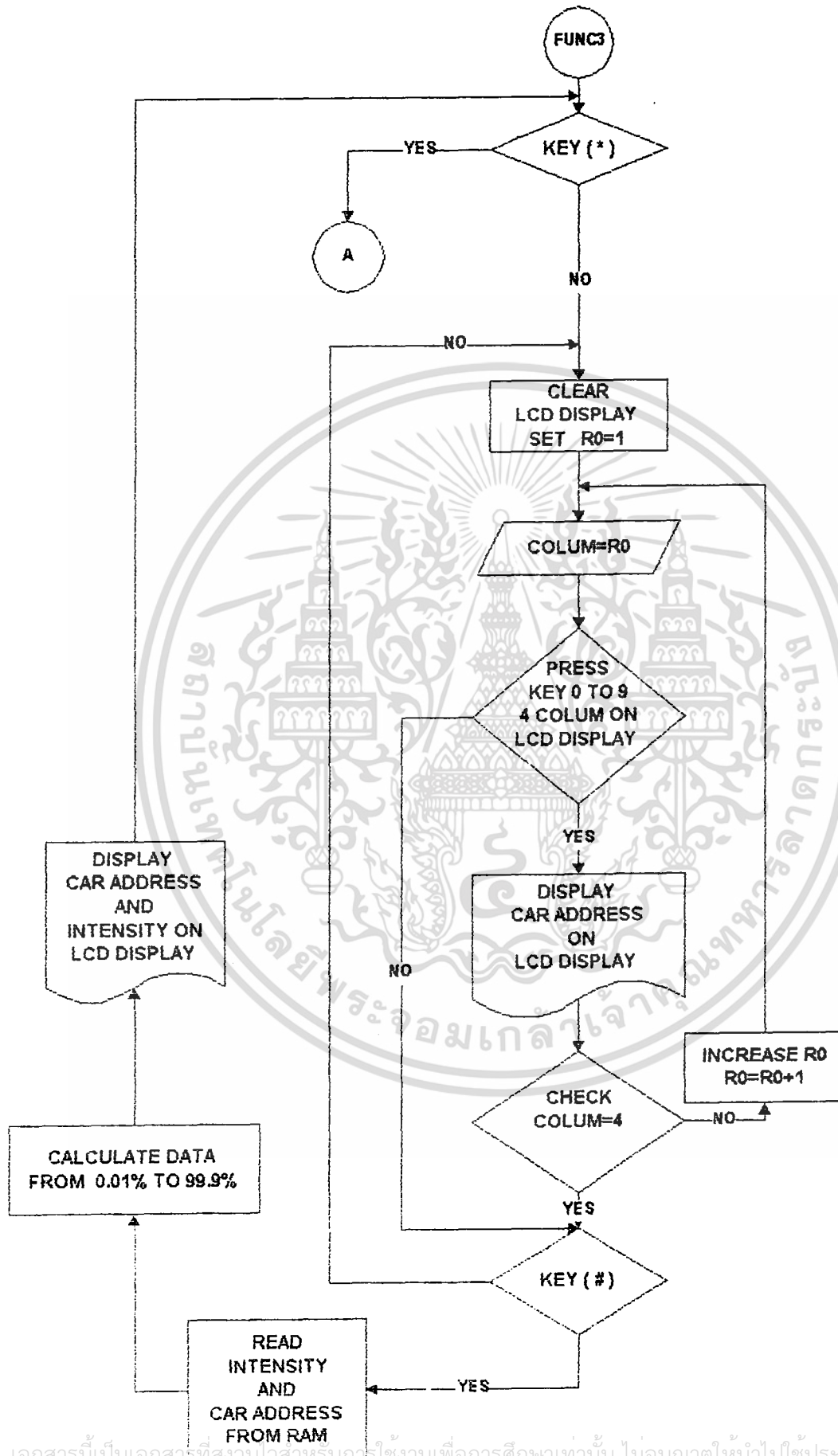
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



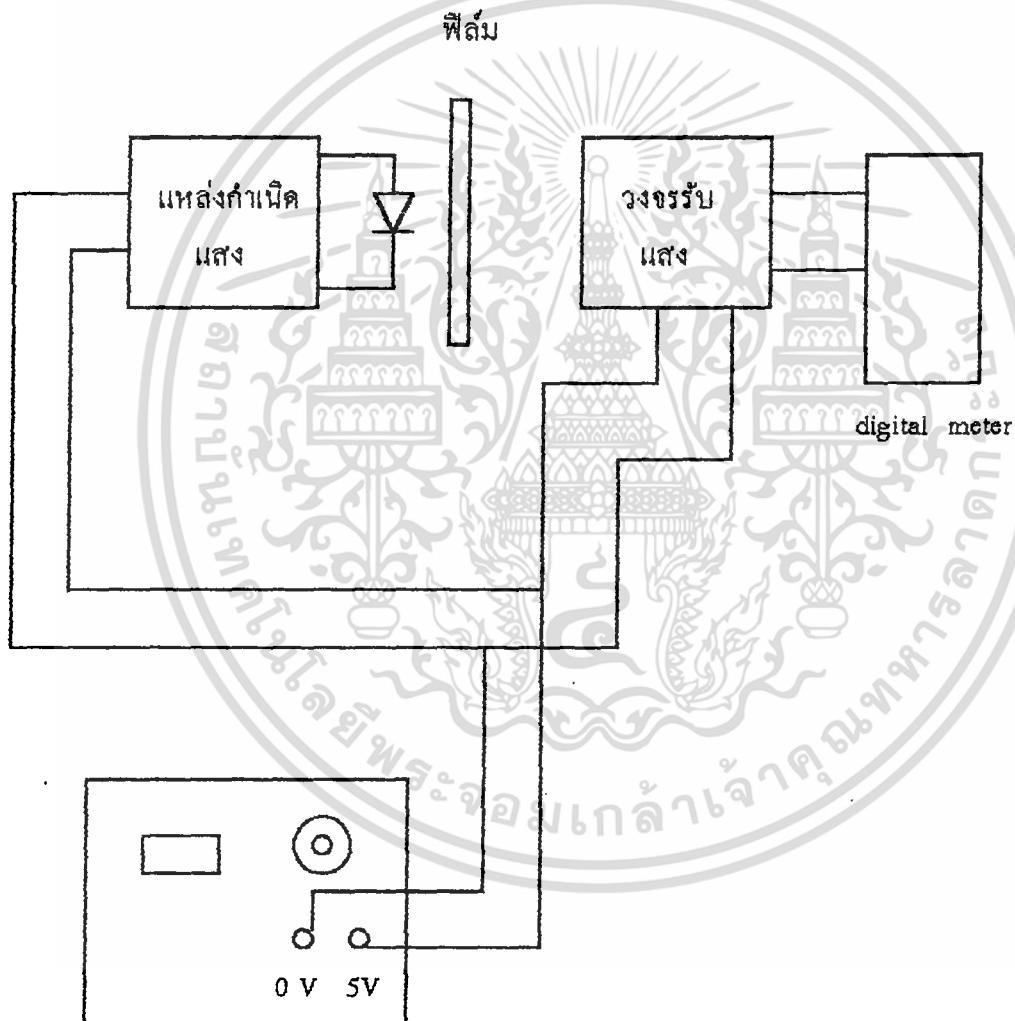
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลอง และ ผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง และ ผลการทดลอง

ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์

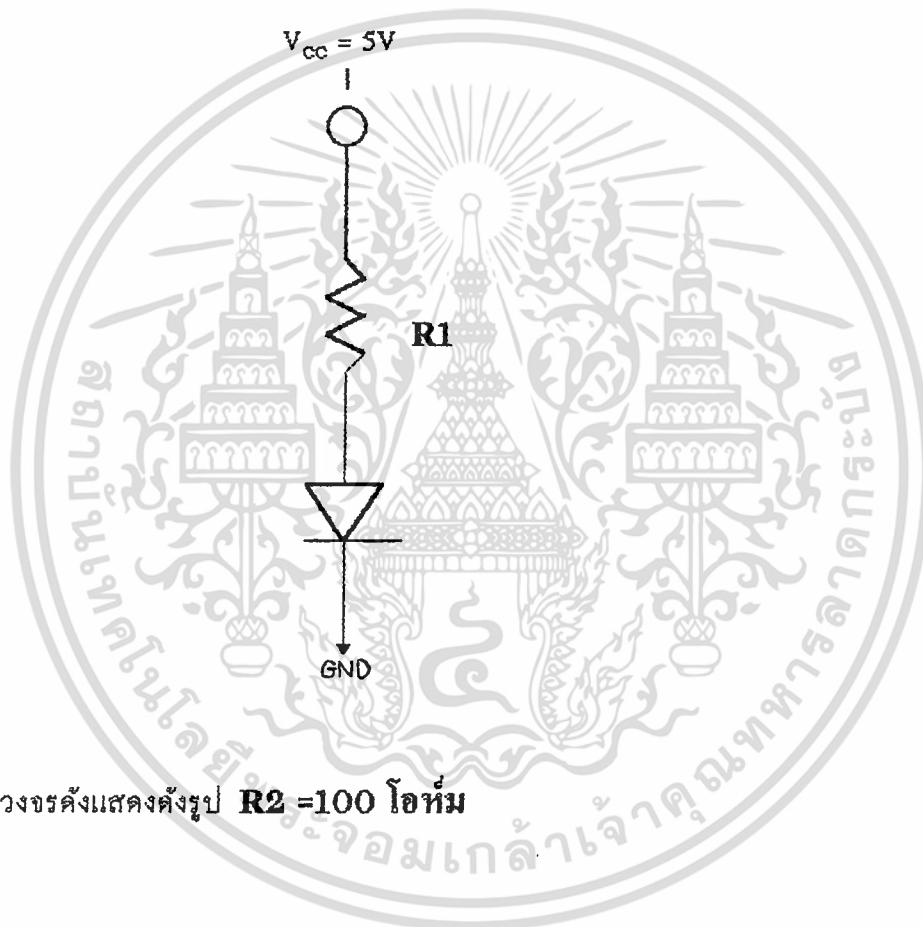


รูป 4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

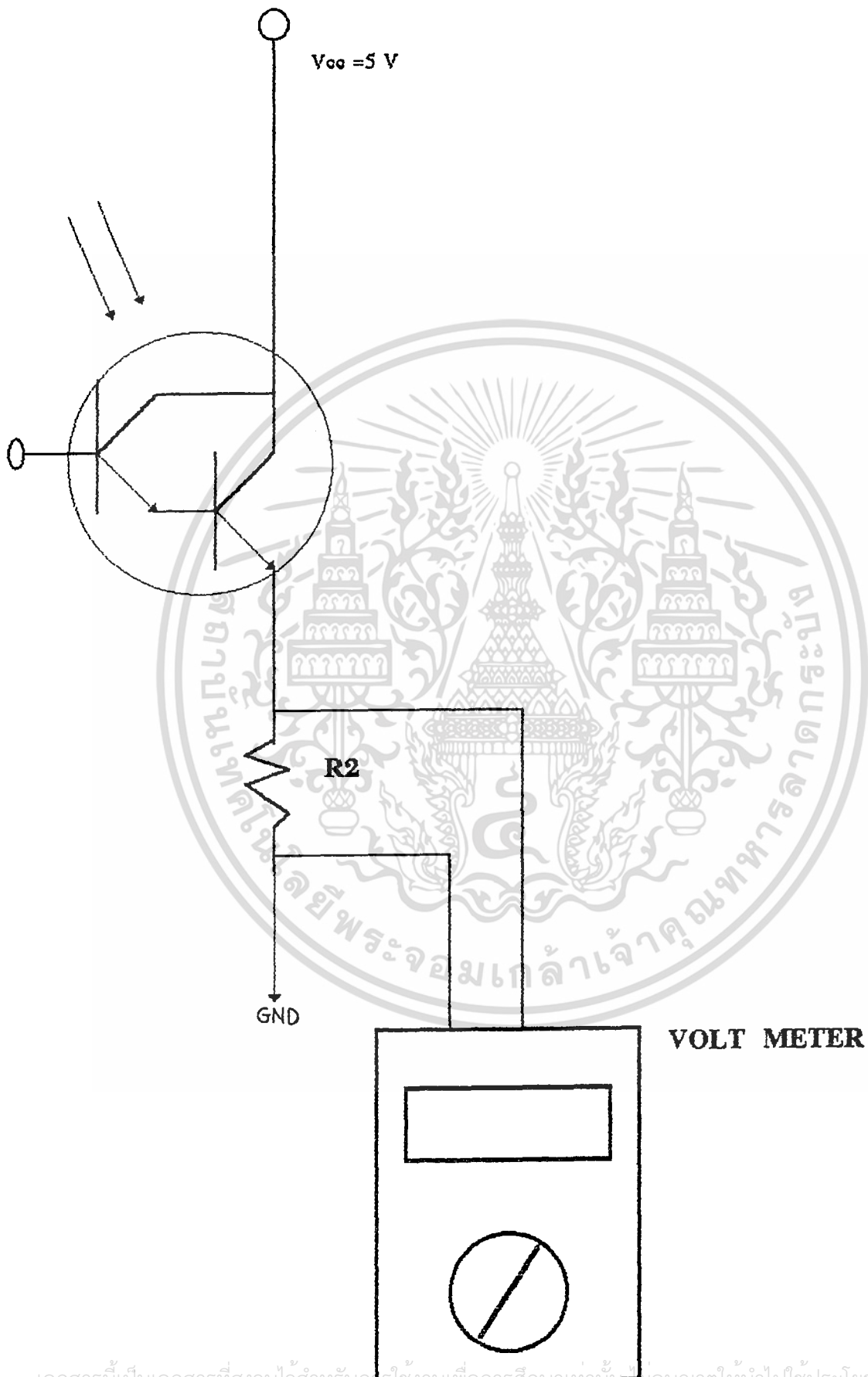
4.2 วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรแหล่งกำเนิดแสงดังรูป $R1=180$ โอห์ม



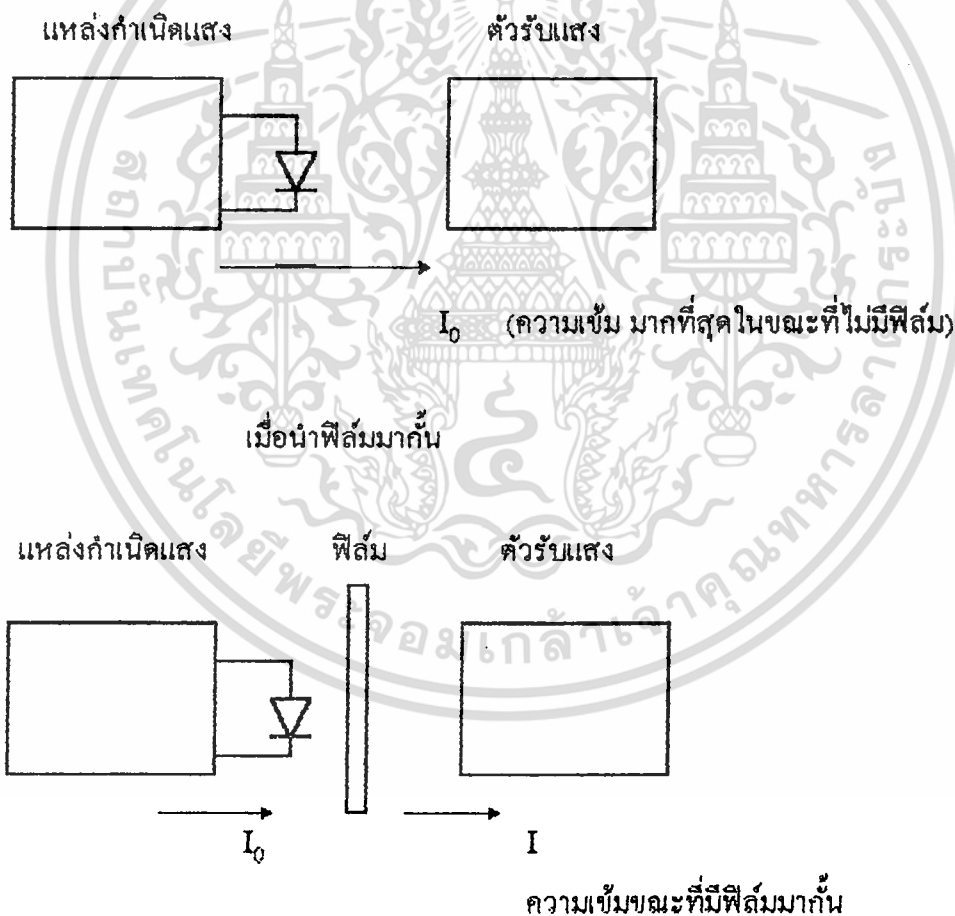
2. ต่อวงจรดังแสดงดังรูป $R2 = 100$ โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการฉายแสงไปยังตัวรับ บันทึกค่า Voltage ที่ได้ทาง out put ขณะที่ยังไม่มีฟิล์มมา
กั้นเพื่อที่จะหาค่า V_0
4. ทำฟิล์มความเข้มต่างๆมากขึ้น แล้วบันทึกค่า Voltage out put ที่ได้คือ V
5. ทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเป็นสีต่างๆ แล้วทำตามตั้งแต่ข้อ 3 โดยใช้ LED สีแดง,
เขียว, เหลือง,
6. เมื่อได้ค่า Voltage แล้วนำมาคำนวณหาค่าความเข้มของแสง โดยพิจารณาจากรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่าความเข้มแสงจากสูตร

$$\text{ปริมาณความเข้มแสงที่ผ่านฟิล์ม \%} = \frac{I}{I_0} * 100$$

เนื่องจากเราไม่สามารถวัดค่าความเข้มแสงได้โดยตรง ดังนั้นเราจึงพิจารณาความเข้มแสงในรูปกระแสไฟฟ้า โดยค่าความเข้มแสงที่ได้ แทนในรูปของค่าความต่างศักย์ ที่วัดได้ ดังนั้น

$$\text{ปริมาณความเข้มแสงที่ผ่านฟิล์ม \%} = \frac{V}{V_0} * 100$$

V_0 = Voltage ที่วัด ได้ขณะที่ยัง ไม่มีฟิล์มมากนัก

V = Voltage ที่วัด ได้ขณะที่มีฟิล์มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ตารางแสดงผลการทดลอง

LED สีเหลือง $V_0 = 0.587 \text{ V}$

film ชนิด	transmit	(V) Voltage output	transmit (V/V_0) x 100
97.5 %	2.5 %	0.031 V	5.2 %
85 %	15 %	0.103 V	17.7 %
68 %	32 %	0.199 V	34.3 %
65 %	35 %	0.197 V	34.2 %
55 %	45 %	0.275 V	47.5 %
50 %	50 %	0.286 V	49.5 %

LED สีแดง $V_0 = 2.12 \text{ V}$

film ชนิด	transmit	(V) Voltage output	transmit (v/v_0) x 100
97.5 %	2.5 %	0.21 V	9.9 %
85 %	15 %	0.29 V	13.5 %
68 %	32 %	0.53 V	29 %
65 %	35 %	0.77 V	35.9 %
55 %	45 %	1.05 V	49.5 %
50 %	50 %	1.11 V	51.8 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED สีเขียว $V_0 = 0.488 \text{ V}$

film ชนิด	transmit	(V) Voltage output	transmit (V / V_0) x 100 %
97.5 %	2.5 %	0.022 V	4.47 %
85 %	15 %	0.082 V	16.8 %
68 %	32 %	0.161 V	32.9 %
65 %	39 %	0.164 V	33.8 %
55 %	45 %	0.227 V	46.5 %
50 %	50 %	0.241 V	49.5 %

4.4 ผลการทดลอง

พบว่า LED แต่ละสีนั้นให้ค่าความเข้มที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถใช้วัดความเข้มของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. เนื่องจากฟิล์มรถยนต์มีปริมาณการทะลุผ่านของแสงในช่วง Infrared , Visible light , Ultraviolet ไม่เท่ากัน ดังนั้นต้องเลือกแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงให้ถูกต้องกับช่วงความยาวคลื่นที่เราต้องการวัด
2. แสงจากภายนอกมีผลกระทบต่อปริมาณการทะลุผ่านของฟิล์ม แก้ไขโดยพยายามทำกล่องเครื่องมือให้มีแสงภายนอกมาตกกระทบบนตัวรับแสงน้อยที่สุดหรือ ไม่มีแสงมากระทบได้เลยก็จะดีที่สุด
3. การเก็บข้อมูลทะเบียนรถยนต์ ไม่สามารถที่จะแสดงเลขทะเบียนที่มีพยัญชนะไทยได้ เช่น รถยนต์ที่มีทะเบียน 7ข 9036 จะแสดงผลออกมาทางจอ LCD ไม่ได้ ดังนั้นในการทำโครงการพิเศษจะบันทึกค่าทะเบียนรถยนต์เพียงเลข 4 ตัวท้ายเท่านั้น

5.2 แนวทางการพัฒนาและข้อเสนอแนะ

1. ในการพัฒนาเครื่องมือวัดความเข้มแสงของฟิล์มติดรถยนต์นั้น สามารถทำได้โดยการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประมวลผล เช่น คำนวณค่าการทะลุผ่านของแสง , คำนวณค่าการสูญเสียความร้อน เป็นต้น
2. พัฒนา LCD ให้สามารถแสดงผลเป็นพยัญชนะไทยได้

5.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดความเข้มฟิล์มรถยนต์ เราจะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านของฟิล์มติดรถยนต์มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสง LED ที่มีสีต่างกัน และค่าที่ได้ผิดพลาดจากมาตรฐาน ไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เครื่องวัดความเข้มฟิล์มรถยนต์นี้สามารถที่จะบันทึกค่าทะเบียนรถยนต์พร้อมเปอร์เซ็นต์ความเข้มได้ โดยเลือกฟังก์ชันการทำงานตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

demo1:call main0
        mov  dptr,#table1
        mov  20h,#06h
demo:call demo2
        call dely
        call dely
        djnz 20h,dem
        ret
demo2:mov  a,#80h
        call demo3
        mov  a,#0c0h
        call demo3
        ret
demo3:push dph
        push dpl
        call lcdwi
        pop  dpl
        pop  dph
        mov  21h,#8
demo4:clr  a
        movc a,@a+dptr
        push dph
        push dpl
        call lcdwd
        pop  dpl
        pop  dph
        inc  dptr
        djnz 21h,demo4
        ret
funct1:mov  a,p1
        orl  a,#11101111b
        cjne a,#0ffh,select2
        jmp  select1
select1:mov  a,p1
        orl  a,#0f0h
        cjne a,#0fch,select2
        mov  17h,#00h
        mov  14h,#00h
        mov  34h,#00h
        mov  35h,#00h
        mov  41h,#00h
        inc  r0
        mov  22h,r0
        call delay
        call set_model
        mov  r0,22h
        cjne r0,#05,select2
        mov  r0,#00h
select2:ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

set_mode1:mov  a,22h
            cjne a,#01h;set_mode2
            call main0
            mov  dptr,#table2
            call mode_1
            ret
set_mode2:cjne a,#02h;set_mode3
            mov  dptr,#table3
            call mode_1
            ret
set_mode3:cjne a,#03h;set_mode4
            mov  dptr,#table4
            call mode_1
            ret
set_mode4:cjne a,#04h;set_mode5
            mov  dptr,#table5
            call mode_1
            ret
set_mode5:
            ret

```

```

mode_1:mov  20h,#01h
mode:call  mode_2
        call delay1
        djnz 20h,mode
        ret
mode_2:mov  a,#80h
        call mode_3
        mov  a,#0c0h
        call mode_3
        ret
mode_3:push dph
        push dpl
        call lcdwi
        pop  dpl
        pop  dph
        mov  21h,#8
mode_4:clr  a
        movc a,@a+dptr
        push dph
        push dpl
        call lcdwd
        pop  dpl
        pop  dph
        inc  dptr
        djnz 21h,mode_4
        ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

enter1:mov    r1,22h
        cjne  r1,#01h,enter2
        mov   a,34h
        cjne  a,#01h,an1
        jmp   an2

an1:    call  main0
        mov   dptr,#table6
        mov   20h,#01h
        call  dem
        call  delay
        call  main0

an2:    CALL   FILM
        mov   34h,#01h
        mov   r0,#00h
        ret

enter2:cjne  r1,#02h,enter3
        mov   a,34h
        cjne  a,#02h,bn1
        jmp   bn2

bn1:    call  main0
        mov   dptr,#table8
        mov   20h,#01h
        call  dem
        call  main0

bn2:    call  address1
        mov   34h,#02h
        mov   r0,#00h

bn3:    ret

enter3:cjne  r1,#03h,enter4
        mov   a,34h
        cjne  a,#03h,cn1
        jmp   cn2

cn1:    call  main0
        mov   dptr,#table12
        mov   20h,#01h
        call  dem
        call  delay
        call  main0

cn2:    call  read1
        mov   34h,#03h
        mov   r0,#00h

cn3:    ret

enter4:cjne  r1,#04h,enter5
        call  clean1
        call  main0
        mov   dptr,#table11
        mov   20h,#01h
        call  dem
        call  delay
        mov   12h,#0fh
        ret

enter5:
        ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clean1: mov 43h,#9bh
        mov 44h,#00h
        mov 29h,#00h
        mov 67h,#0ffh
        mov dptr,#9000h
        mov a,#00h
        movx @dptr,a
clean2: mov dph,43h
        mov dpl,44h
        mov a,#0ffh
        movx @dptr,a
        inc dptr
        mov 43h,dph
        mov 44h,dpl
        djnz 67h,clean2

        ret

main0: mov a,#00111000b ;function set
        call lcdwi
        mov a,#00001100b ;display on/off
        call lcdwi
        mov a,#01h ;clear
        call lcdwi
        ret
address1: mov dptr,#9000h
        movx a,@dptr
        cjne a,#09h,address2
        mov dptr,#table10
        call mode_1
        jmp address3
address2: CALL CHK0
        call semicolon1
        call load1
        call record1
        call delay00
        call lcd2
address3: ;mov 47h,#00h
        ret

read1:  mov a,61h
        cjne a,#01h,read2
        call main0
        call delay
        mov dptr,#table13
        mov 20h,#03h
        call dem
        call main0
        mov 61h,#00h
        mov 41h,#00h

read2: call chk0
        call semicolon1
        call load1
        call read_data1
        call delay00
        call lcd2
        ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

chk0:
    mov  a,p1
    orl  a,#0f0h
    cjne a,#0fdh,chk1
    call key0
    call count1
    ret
chk1:
    cjne a,#0f0h,chk2
    call key1
    call count1
    ret
chk2:cjne a,#0f1h,chk3
    call key2
    call count1
    ret
chk3:cjne a,#0f2h,chk4
    call key3
    call count1
    ret
chk4:cjne a,#0f4h,chk5
    call key4
    call count1
    ret
chk5:cjne a,#0f5h,chk6
    call key5
    call count1
    ret
chk6:cjne a,#0f6h,chk7
    call key6
    call count1
    ret
chk7:cjne a,#0f8h,chk8
    call key7
    call count1
    ret
chk8:cjne a,#0f9h,chk9
    call key8
    call count1
    ret
chk9:cjne a,#0fah,chk10
    call key9
    call count1
    ret
chk10:cjne a,#0feh,chk12
    mov  47h,#01
    mov  a,41h
    cjne a,#04h,chk11
    CALL LCD1
chk11:ret
chk12:mov  48h,#00h
    ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

key0: mov a,#00h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key1: mov a,#01h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key2: mov a,#02h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key3: mov a,#03h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key4: mov a,#04h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key5: mov a,#05h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key6: mov a,#06h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key7: mov a,#07h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret
key8: mov a,#08h
      mov 17h,a
      mov dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov 18h,a
      ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

key9:  mov  a,#09h
      mov  17h,a
      mov  dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov  18h,a
      ret
key10: mov  a,#0ah
      mov  dptr,#table9
      movc a,@a+dptr
      mov  18h,a
      ret
count1:mov  a,41h
      inc  a
      mov  41h,a
      cjne a,#05h,count2
      mov  41h,#01h
      call main0
count2:ret
record1: mov  a,41h
      cjne a,#04h,last3
      mov  a,47h
      cjne a,#01h,last3
      mov  a,48h
      cjne a,#00h,last3
      mov  47h,#00h
      mov  48h,#01h
      mov  a,66h
      call mo
      call displ
      clr  a
      mov  a,36h
      orl  a,37h
      mov  45h,a
      mov  a,38h
      orl  a,39h
      mov  46h,a
      mov  dph,43h
      mov  dpl,44h
      mov  a,#3ah
      movx @dptr,a
      inc  dptr
      mov  a,45h
      movx @dptr,a
      inc  dptr
      mov  a,46h
      movx @dptr,a
      inc  dptr
      mov  a,59h
      movx @dptr,a
      inc  dptr
      mov  a,#3bh
      movx @dptr,a
      mov  a,29h
      +inc  a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        inc     a
        mov     dptr,#9000h.
        movx   @dptr,a
        mov     29h,a
        cjne   a,#09h,last1
        mov     dptr,#table10
        call   mode_1
        jmp    last2

last1:  inc     dptr
last2:  mov     43h,dph
        mov     44h,dpl
        call   delay
last3:  ret

read_data1:
        mov     a,41h
        cjne   a,#04h,data_5
        mov     a,47h
        cjne   a,#01h,data_5
        mov     47h,#00h
        mov     54h,#9bh
        mov     55h,#00h
        clr    a

data_0:  mov     a,36h
        orl    a,37h
        mov     45h,a
        mov     a,38h
        orl    a,39h
        mov     46h,a

data_1:  mov     dph,54h
        mov     dpl,55h
        mov     a,55h
        cjne   a,#0FFH,data_mat1
        jmp    data_6

data_mat1:  movx   a,@dptr
        cjne   a,#3ah,data_3
        jmp    data_2

data_2:  inc     dptr
        movx   a,@dptr
        cjne   a,45h,data_3
        inc     dptr
        movx   a,@dptr
        cjne   a,46h,data_3
        inc     dptr
        movx   a,@dptr
        mov     58h,a
        MOV    R5,58H
        CALL   MO
        CALL   DISP1
        jmp    data_5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

data_3:      inc     dptr
             mov     54h,dph
             mov     55h,dpl
             jmp     data_1

data_4:      inc     dptr
             mov     54h,dph
             mov     55h,dpl
             jmp     data_1

data_5:      ret

data_6:      mov     61h,#01h
             jmp     data_5

lcd1: mov     a,#81h
       call   lcdwi
       mov     a,#28h
       call   lcdwd
       call   delay
       mov     a,#82h
       call   lcdwi
       mov     a,#2ah
       call   lcdwd
       call   delay
       mov     a,#83h
       call   lcdwi
       mov     a,#29h
       call   lcdwd
       call   delay
       ret

lcd2: mov     a,#81h
       call   lcdwi
       mov     a,#0a0h
       call   lcdwd
       mov     a,#82h
       call   lcdwi
       mov     a,#0a0h
       call   lcdwd
       mov     a,#83h
       call   lcdwi
       mov     a,#0a0h
       call   lcdwd
       ret

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

semicolon1: mov  13h,#3ah
             mov  a,#85h
             call lcdwi
             mov  a,13h
             call lcdwd
             mov  a,#0c2h
             call lcdwi
             mov  a,13h
             call lcdwd
             call delay
             ret

load1:
             mov  a,41h
             cjne a,#01h,load3
             mov  19h,#86h
             mov  36h,17h
             mov  a,36h
             swap a
             mov  36h,a
             call lcdldp
load3:       cjne a,#02h,load4
             mov  19h,#87h
             mov  37h,17h
             call lcdldp
load4:       cjne a,#03h,load5
             mov  19h,#0c0h
             mov  38h,17h
             mov  a,38h
             swap a
             mov  38h,a
             call lcdldp
load5:       cjne a,#04h,load6
             mov  19h,#0c1h
             mov  39h,17h
             call lcdldp
load6:       ret

table1:      db  "  POWE"
             db  "R  ON  "
             db  " _ _ _ _ "
             db  " _ _ _ _ "
             db  "  KMI"
             db  "TL  "
             db  "APPLIED "
             db  "PHYSICS "
             db  "  FILM D"
             db  "ETECTOR "
             db  "FUNCTION"
             db  " SELECT "
table2:      db  " * FUNCT"
             db  "ION 1  "
table3:      db  " * FUNCT"
             db  "ION 2  "

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

table4:db " * FUNCT"
         db "ION 3  "
table5:db " * FUNCT"
         db "ION 4  "
table6:db "# INTENS"
         db "ITY SHOW"
table7:db "0123456789%."
table8:db " # DATA"
         db " MEMORY "
table9:db "0123456789*ABCDEF"
table10:db "[*] FULL"
         db " MEMORY "
table11:db " # SYSTE"
         db "M RESET "
table12:db " # READ "
         db " DATA  "
table13:db " NO NU"
         db "MBER  "
         db " # PLEAS "
         db "E ENTER "
         db "NEW NUMB"
         db "ER AGAIN"

lcdldp:  mov  a,19h
         call lcdwi
         mov  a,18h
         call lcdwd
         call delay
         ret

lcdwd:   mov  dptr,#wrd
         movx @dptr,a
         mov  dptr,#rdc

lcdwd1: movx a,@dptr
         jb  acc.7,lcdwd1
         ret

lcdwi:  mov  dptr,#wrc
         movx @dptr,a
         mov  dptr,#rdc

lcdwi1: movx a,@dptr
         jb  acc.7,lcdwi1
         ret

FILM:   MOV    65H,#00H
         MOV    66H,#00H
         MOV    67H,#0FFH

FILMO:  MOV    25H,#00H
         MOV    26H,#00H
         MOV    27H,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FILM1: CALL TRICK
        CALL RECIEVE
        DJNZ 27H,FILM1
```

```
        MOV A,26H
        CLR C
        ADDC A,65H
        MOV 65H,A
        MOV A,66H
        ADDC A,#00H
        MOV 66H,A
        DJNZ 67H,FILMO
        MOV R5,66H
        MOV 59H,66H
        CALL MO
        CALL OUT
        RET
```

```
TRICK: MOV DPTR,#PB_USER
        MOV A,#00H
        MOVX @DPTR,A
        NOP
        MOV A,#01H
        MOVX @DPTR,A
        NOP
        RET
```

```
RECIEVE: MOV DPTR,#PA_USER
          MOVX A,@DPTR
          CLR C
          ADDC A,25H
          MOV 25H,A
          MOV A,26H
          mov 66h,a
          ADDC A,#00H
          MOV 26H,A
          RET
```

```
MO:
     CLR C
     MOV 25h,#00H
     MOV 26h,#00H
     MOV 27h,#00H
     MOV R5,A
     CJNE R5,#00H,SUB
     RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUB:

```
CLR    C
MOV    A,27h
ADDC   A,#21H
DA     A
MOV    27h,A

MOV    A,25h
ADDC   A,#39H
DA     A
MOV    25h,A

MOV    A,26h
ADDC   A,#00H
DA     A
MOV    26h,A
DJNZ   R5,SUB
RET
```

OUT:

```
MOV    A,#0C2H
CALL   LCDWI
MOV    A,#0aH
MOV    DPTR,#TABLE7
MOVC   A,@A+DPTR
CALL   LCDWD

MOV    A,#0C1H
CALL   LCDWI
MOV    A,25h
ANL    A,#0F0H
SWAP   A
MOV    DPTR,#TABLE7
MOVC   A,@A+DPTR
CALL   LCDWD

MOV    A,#0C0H
CALL   LCDWI
MOV    A,#0bH
MOV    DPTR,#TABLE7
MOVC   A,@A+DPTR
CALL   LCDWD

MOV    A,#87h
CALL   LCDWI
MOV    A,26h
ANL    A,#0FH
MOV    DPTR,#TABLE7
MOVC   A,@A+DPTR
CALL   LCDWD

MOV    A,#86H
CALL   LCDWI
MOV    A,26h
ANL    A,#0F0H
SWAP   A
MOV    DPTR,#TABLE7
MOVC   A,@A+DPTR
CALL   LCDWD
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DISP1: MOV    A,#0C7H
        CALL   LCDWI
        MOV    A,#0aH
        MOV    DPTR,#TABLE7
        MOVC  A,@A+DPTR
        CALL   LCDWD

        MOV    A,#0C6H
        CALL   LCDWI
        MOV    A,25h
        ANL   A,#0FOH
        SWAP  A
        MOV    DPTR,#TABLE7
        MOVC  A,@A+DPTR
        CALL   LCDWD

        MOV    A,#0C5H
        CALL   LCDWI
        MOV    A,#0bh
        MOV    DPTR,#TABLE7
        MOVC  A,@A+DPTR
        CALL   LCDWD

        MOV    A,#0C4h
        CALL   LCDWI
        MOV    A,26h
        ANL   A,#0FH
        MOV    DPTR,#TABLE7
        MOVC  A,@A+DPTR
        CALL   LCDWD

        MOV    A,#0C3H
        CALL   LCDWI
        MOV    A,26h
        ANL   A,#0FOH
        SWAP  A
        MOV    DPTR,#TABLE7
        MOVC  A,@A+DPTR
        CALL   LCDWD
        RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay: mov 31h,#05h
delay1: mov 32h,#03Fh
delay2: mov 33h,#05h
        djnz 33h,$
        djnz 32h,delay2
        djnz 31h,delay1
        ret
```

```
dely: mov 31h,#095h
dely1: mov 32h,#03fh
dely2: mov 33h,#01fh
        djnz 33h,$
        djnz 32h,dely2
        djnz 31h,dely1
        ret
```

```
delay00: mov 31h,#02h
delay11: mov 32h,#0efh
delay22: mov 33h,#0efh
        djnz 33h,$
        djnz 32h,delay22
        djnz 31h,delay11
        ret
```

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



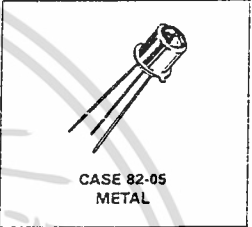
ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photo Detectors
Darlington Output

MRD360
MRD370

PHOTO DETECTORS
DARLINGTON OUTPUT
NPN SILICON



... designed for application in industrial inspection, processing and control, counters, sorters, switching and logic circuit or any design requiring very high radiation sensitivity at low light levels.

- Popular TO-18 Type Hermetic Package for Easy Handling and Mounting
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wider Application
- Minimum Light Current 12 mA at $H = 0.5 \text{ mW/cm}^2$ (MRD360)
- External Base for Added Control
- Switching Times —
 - $t_r @ I_L = 1 \text{ mA peak} = 15 \mu\text{s (Typ)} \text{ — MRD370}$
 - $t_f @ I_L = 1 \text{ mA peak} = 25 \mu\text{s (Typ)} \text{ — MRD370}$

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	40	Volts
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	10	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	50	Volts
Light Current	I_L	250	mA
Total Device Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	P_D	250 2.27	mW mW/°C
Operating Temperature Range	T_A	-55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10 \text{ V}, H = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{CEO}	—	10	100	nA
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	50	—	—	Volts
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)CEO}$	40	—	—	Volts
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 100 \mu\text{A}$)	$V_{(BR)EBO}$	10	—	—	Volts

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Light Current ($V_{CC} = 5 \text{ V}, R_L = 10 \text{ Ohms}$) Note 1	I_L	12 3	20 10	—	mA
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_L = 10 \text{ mA}, H = 2 \text{ mW/cm}^2$ at 2870K)	$V_{CE(sat)}$	—	—	1	Volt
Photo Current Rise Time (Note 2) ($R_L = 100 \text{ ohms}, I_L = 1 \text{ mA peak}$)	t_r	—	40 15	100 100	μs
Photo Current Fall Time (Note 2) ($R_L = 100 \text{ ohms}, I_L = 1 \text{ mA peak}$)	t_f	—	60 25	150 150	μs
Wavelength of Maximum Sensitivity	λ_s	—	0.8	—	μm

NOTES: 1. Radiation flux density (H) equal to 0.5 mW/cm^2 emitted from a tungsten source at a color temperature of 2870 K.
 2. For unsaturated response time measurements, radiation is provided by pulsed GaAs (gallium-arsenide) light-emitting diode ($\lambda = 840 \text{ nm}$) with a pulse width equal to or greater than 500 microseconds (see Figure 8) $I_L = 1 \text{ mA peak}$.

1MRD360, 1MRD370

TYPICAL CHARACTERISTICS

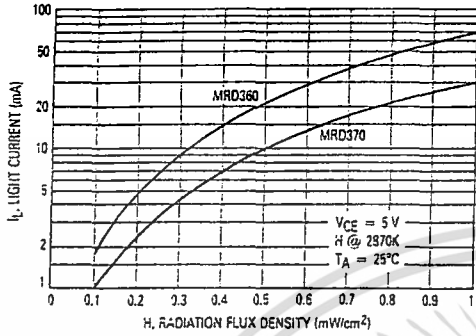


Figure 1. Light Current versus Irradiance

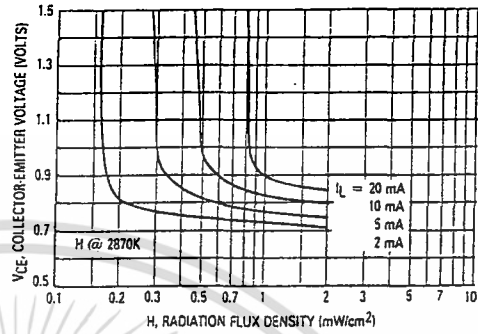


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Characteristic

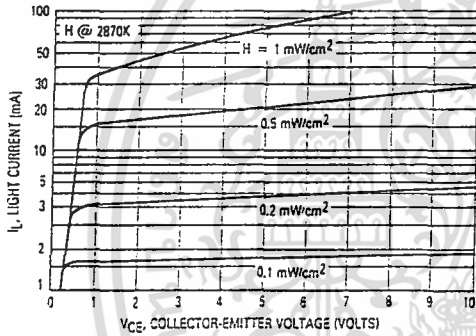


Figure 3. Collector Characteristics

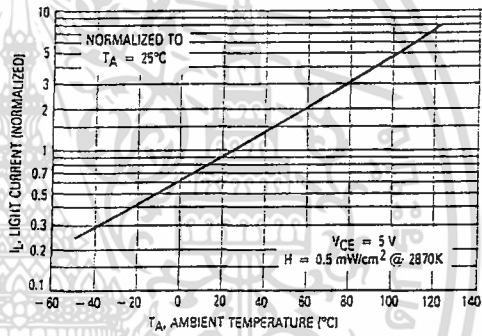


Figure 4. Normalized Light Current versus Temperature

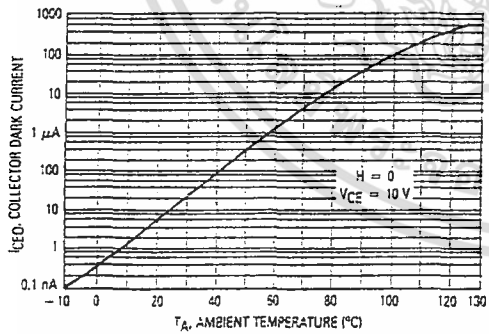


Figure 5. Dark Current versus Temperature

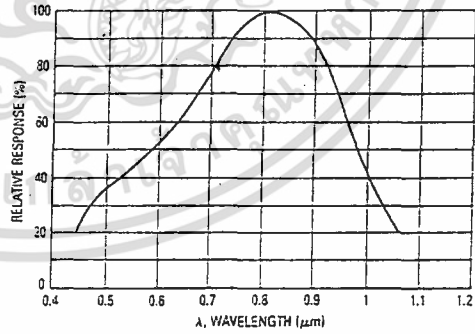


Figure 6. Constant Energy Spectral Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1N4350, 1N4370

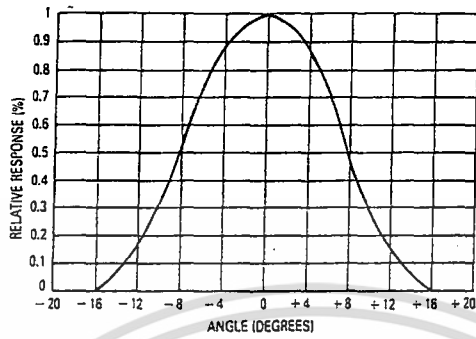


Figure 7. Angular Response

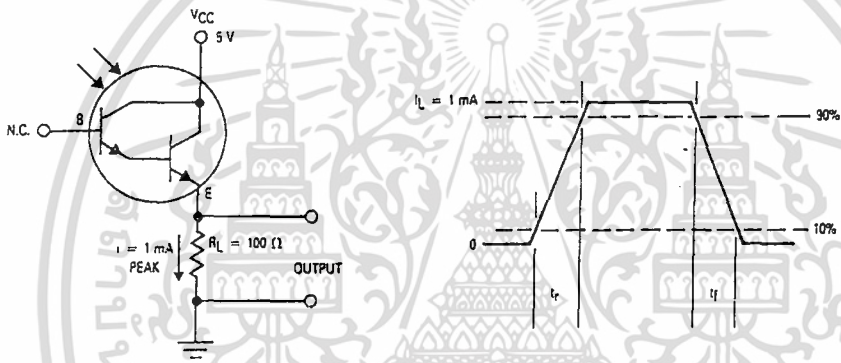


Figure 8. Pulse Response Test Circuit and Waveform

OUTLINE DIMENSIONS

NOTES:
 1. LEADS WITHIN .13mm (.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE, AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
 2. PIN 3 INTERNALLY CONNECTED TO CASE.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	5.31	5.82	2.209	0.230
B	4.52	4.95	0.178	0.195
C	4.57	5.48	0.180	0.216
D	0.41	2.48	0.016	0.098
F	—	1.14	—	0.045
G	2.54 BSC	—	0.100 BSC	—
H	0.99	1.17	0.039	0.046
J	0.84	1.22	0.033	0.048
K	12.70	—	0.500	—
L	3.25	4.01	0.128	0.158
M	—	45° BSC	—	45° BSC

STYLE 1:
 PIN 1. EMITTER
 2. BASE
 3. COLLECTOR

**CASE 82-05
 METAL**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder

general description

These CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 k Ω on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be defeated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period; this two key roll over is provided between any two switches.

An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The TRI-STATE[®] outputs

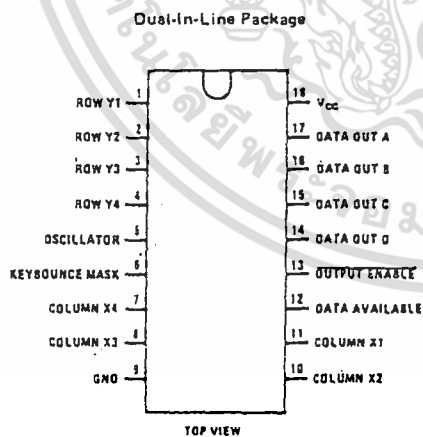
provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

features

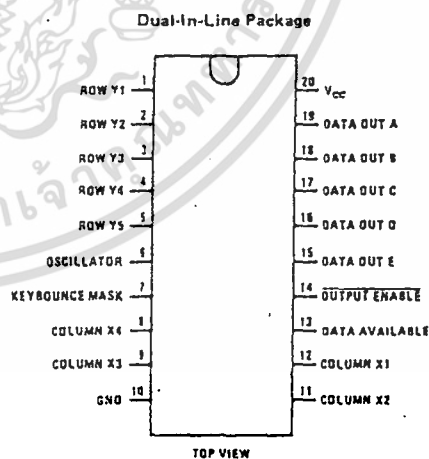
- 50 k Ω maximum switch on resistance
- On or off chip clock
- On chip row pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keybounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- TRI-STATE outputs LPTTL compatible
- Wide supply range
- Low power consumption

3V to 15V

connection diagrams



Order Number MM54C922N
or MM74C922N
See Package 20



Order Number MM54C923N
or MM74C923N
See Package 20A

absolute maximum ratings

Voltage at Any Pin	$V_{CC} - 0.3V$ to $V_{CC} + 0.3V$	Package Dissipation	500 mW
Operating Temperature Range		Operating V_{CC} Range	3V to 15V
MM54C922, MM54C923	55°C to +125°C	V_{CC}	18V
MM74C922, MM74C923	-40°C to +85°C	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C		

dc electrical characteristics Min./max limits apply across temperature range unless otherwise noted

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS					
V_{T+} Positive-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V, I_{IN} \geq 0.7mA$	3	3.6	4.3	V
	$V_{CC} = 10V, I_{IN} \geq 1.4mA$	6	6.8	8.6	V
	$V_{CC} = 15V, I_{IN} \geq 2.1mA$	9	10	12.9	V
V_{T-} Negative-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V, I_{IN} \geq 0.7mA$	0.7	1.4	2	V
	$V_{CC} = 10V, I_{IN} \geq 1.4mA$	1.4	3.2	4	V
	$V_{CC} = 15V, I_{IN} \geq 2.1mA$	2.1	5	6	V
$V_{IN(1)}$ Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V$	3.5	4.5		V
	$V_{CC} = 10V$	8	9		V
	$V_{CC} = 15V$	12.5	13.5		V
$V_{IN(0)}$ Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V$		0.5	1.5	V
	$V_{CC} = 10V$		1	2	V
	$V_{CC} = 15V$		1.5	2.5	V
I_{rp} Row Pull-Up Current at Y1, Y2, Y3, Y4 and Y5 Inputs	$V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0.1V_{CC}$		-2	5	μA
	$V_{CC} = 10V$		-10	-20	μA
	$V_{CC} = 15V$		-22	-45	μA
$V_{OUT(1)}$ Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = -10\mu A$	4.5			V
	$V_{CC} = 10V, I_O = -10\mu A$	9			V
	$V_{CC} = 15V, I_O = -10\mu A$	13.5			V
$V_{OUT(0)}$ Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = 10\mu A$			0.5	V
	$V_{CC} = 10V, I_O = 10\mu A$			1	V
	$V_{CC} = 15V, I_O = 10\mu A$			1.5	V
R_{on} Column "ON" Resistance at X1, X2, X3 and X4 Outputs	$V_{CC} = 5V, V_O = 0.5V$		500	1400	Ω
	$V_{CC} = 10V, V_O = 1V$		300	700	Ω
	$V_{CC} = 15V, V_O = 1.5V$		200	500	Ω
I_{CC} Supply Current	$V_{CC} = 5V, \text{Osc at } 0V$		0.55	1.1	mA
	$V_{CC} = 10V$		1.1	1.9	mA
	$V_{CC} = 15V$		1.7	2.6	mA
$I_{IN(1)}$ Logical "1" Input Current at Output Enable	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	1.0	μA
$I_{IN(0)}$ Logical "0" Input Current at Output Enable	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	1.0	-0.005		μA
CMOS/LPTTL INTERFACE					
$V_{IN(1)}$ Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, $V_{CC} = 4.5V$	$V_{CC} - 1.5$			V
	74C, $V_{CC} = 4.75V$	$V_{CC} - 1.5$			V
$V_{IN(0)}$ Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, $V_{CC} = 4.5V$			0.8	V
	74C, $V_{CC} = 4.75V$			0.8	V
$V_{OUT(1)}$ Logical "1" Output Voltage	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = -360\mu A$	2.4			V
	74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -360\mu A$	2.4			V
$V_{OUT(0)}$ Logical "0" Output Voltage	54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = -360\mu A$			0.4	V
	74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -360\mu A$			0.4	V

dc electrical characteristics (con't)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet)					
I _{SOURCE} Output Source Current (P-Channel)	V _{CC} = 5V, V _{OUT} = 0V, T _A = 25°C	-1.75	-3.3		mA
I _{SOURCE} Output Source Current (P-Channel)	V _{CC} = 10V, V _{OUT} = 0V, T _A = 25°C	-8	-15		mA
I _{SINK} Output Sink Current (N-Channel)	V _{CC} = 5V, V _{OUT} = V _{CC} , T _A = 25°C	1.75	3.6		mA
I _{SINK} Output Sink Current (N-Channel)	V _{CC} = 10V, V _{OUT} = V _{CC} , T _A = 25°C	8	16		mA

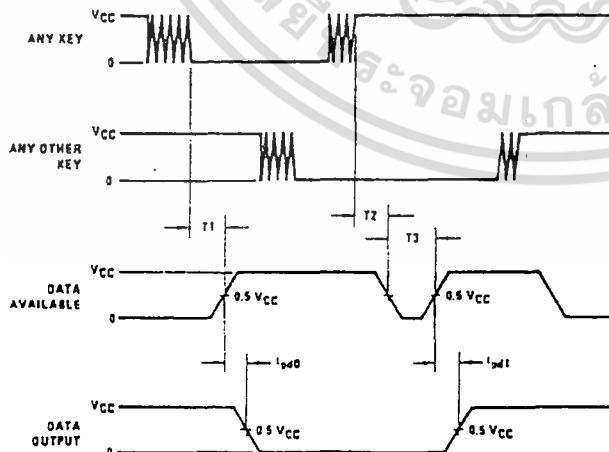
ac electrical characteristics T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{pd0} , t _{pd1} Propagation Delay Time to Logical "0" or Logical "1" from D.A.	C _L = 50 pF, (Figure 1) V _{CC} = 5V V _{CC} = 10V V _{CC} = 15V		60 35 25	150 80 60	ns
t _{OH} , t _{1H} Propagation Delay Time from Logical "0" or Logical "1" into High Impedance State	R _L = 10k, C _L = 5 pF, (Figure 2) V _{CC} = 5V R _L = 10k V _{CC} = 10V C _L = 10 pF V _{CC} = 15V		80 65 50	200 150 110	ns
t _{HO} , t _{H1} Propagation Delay Time from High Impedance State to a Logical "0" or Logical "1"	R _L = 10k, C _L = 50 pF, (Figure 2) V _{CC} = 5V R _L = 10k V _{CC} = 10V C _L = 50 pF V _{CC} = 15V		100 55 40	250 125 90	ns
C _{IN} Input Capacitance	Any Input, (Note 2)		5	7.5	pF
C _{OUT} TRI-STATE Output Capacitance	Any Output, (Note 2)		10		pF

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

switching time waveforms



T₁ = T₂ ≈ RC, T₃ ≈ 0.7 RC where R ≈ 10k and C is external capacitor at KBM input.

FIGURE 1

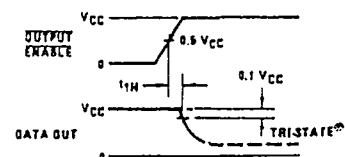
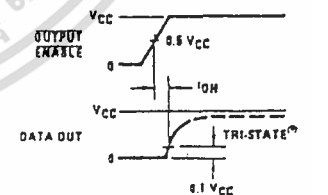
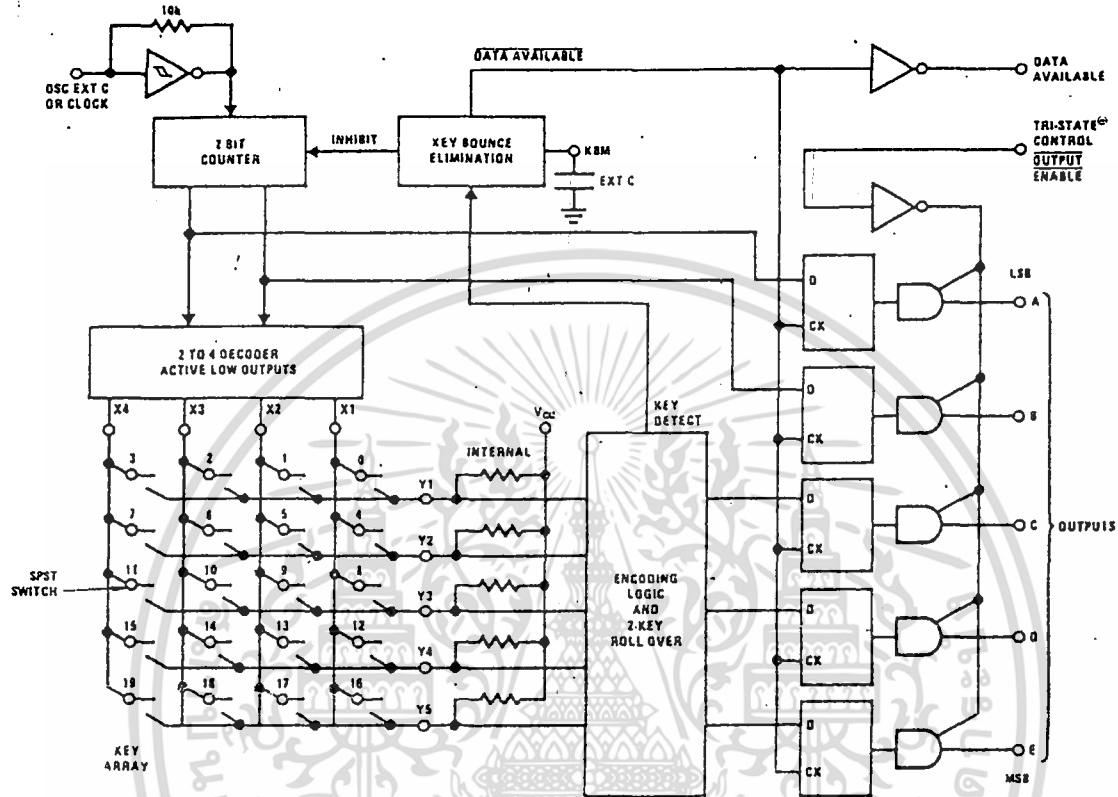


FIGURE 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

block diagram

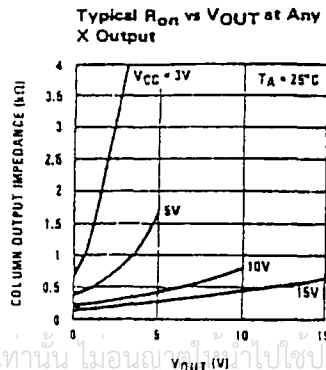
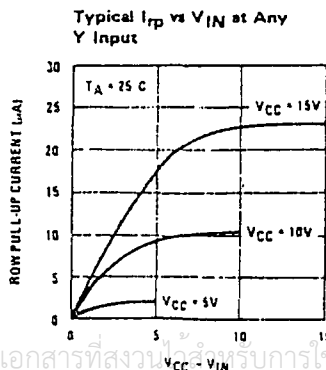


truth table

SWITCH POSITION	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Y1,X1	Y1,X2	Y1,X3	Y1,X4	Y2,X1	Y2,X2	Y2,X3	Y2,X4	Y3,X1	Y3,X2	Y3,X3	Y3,X4	Y4,X1	Y4,X2	Y4,X3	Y4,X4	Y5,X1	Y5,X2	Y5,X3	Y5,X4
D	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
A	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
T	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

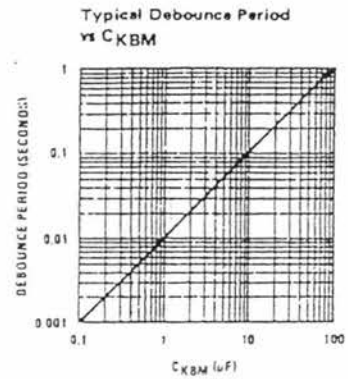
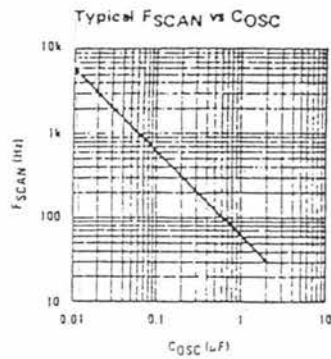
*Omit for MM54C922/MM74C922

typical performance characteristics

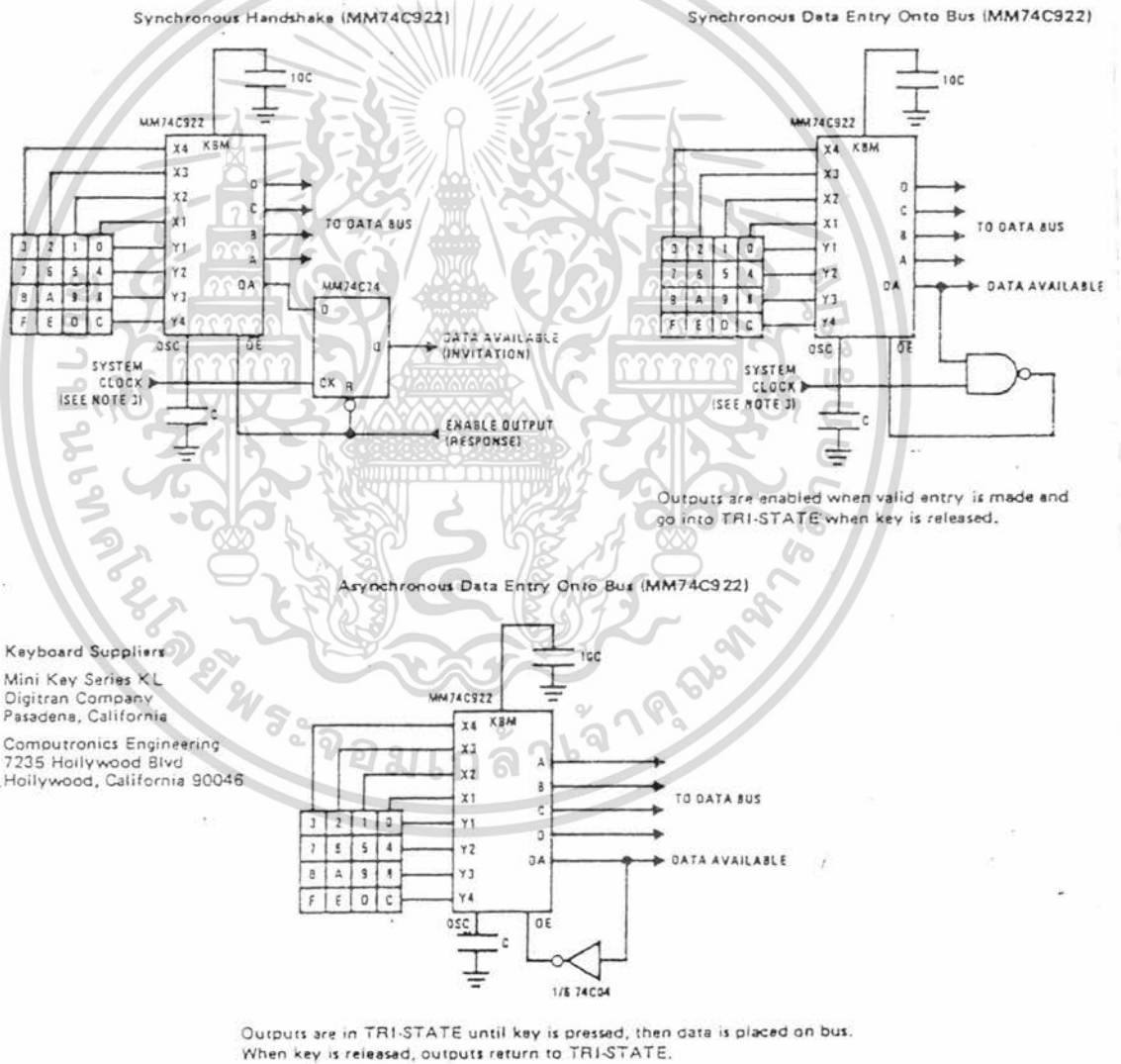


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

typical performance characteristics (con't)



typical applications



Note 3: The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc, and driving osc. directly if the system clock rate is lower than 10 kHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7650 Chopper-Stabilized Operational Amplifier



GENERAL DESCRIPTION

The ICL7650 chopper-stabilized amplifier is a high-performance device which offers exceptionally low offset voltage and input-bias parameters, combined with excellent bandwidth and speed characteristics. Intersil's unique CMOS approach to chopper-stabilized amplifier design yields a versatile precision component that can replace more expensive hybrid or monolithic devices.

The chopper amplifier achieves its low offset by comparing the inverting and non-inverting input voltages in a nulling amplifier, nulled by alternate clock phases. Two external capacitors are required to store the correcting potentials on the two amplifier nulling inputs; these are the only external components necessary.

The clock oscillator and all the other control circuitry is entirely self-contained, however the 14-pin version includes a provision for the use of an external clock, if required for a particular application. In addition, the ICL7650 is internally compensated for unity-gain operation.

FEATURES

- Extremely Low Input Offset Voltage — 2 μ V
- Low Long-Term and Temperature Drifts of Input Offset Voltage
- Low DC Input Bias Current — 10pA (20pA 7650B)
- Extremely High Gain, CMRR and PSRR — Min 120dB
- High Slew Rate — 2.5V/ μ s
- Wide Bandwidth — 2MHz
- Unity-Gain Compensated
- Very Low Intermodulation Effects (Open Loop Phase Shift < 10° @ Chopper Frequency)
- Clamp Circuit to Avoid Overload Recovery Problems and Allow Comparator Use
- Extremely Low Chopping Spikes at Input and Output

ORDERING INFORMATION

PART	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7650CPA-1	0°C to +70°C	8-PIN Plastic
ICL7650BCPA-1	0°C to +70°C	8-PIN Plastic
ICL7650CPD	0°C to +70°C	14-PIN Plastic
ICL7650BCPD	0°C to +70°C	14-PIN Plastic
ICL7650CTV-1	0°C to +70°C	8-PIN TO-99
ICL7650BCTV-1	0°C to +70°C	8-PIN TO-99
ICL7650IJA-1	-25°C to +85°C	8-PIN CERDIP
ICL7650BIJA-1	-25°C to +85°C	8-PIN CERDIP

PART	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7650IJD	-25°C to +85°C	14-PIN CERDIP
ICL7650BIJD	-25°C to +85°C	14-PIN CERDIP
ICL7650ITV-1	-25°C to +85°C	8-PIN TO-99
ICL7650BITV-1	-25°C to +85°C	8-PIN TO-99
ICL7650MJD	-55°C to +125°C	14-PIN CERDIP
ICL7650BMJD	-55°C to +125°C	14-PIN CERDIP
ICL7650MTV-1	-55°C to +125°C	8-PIN TO-99
ICL7650BMTV-1	-55°C to +125°C	8-PIN TO-99

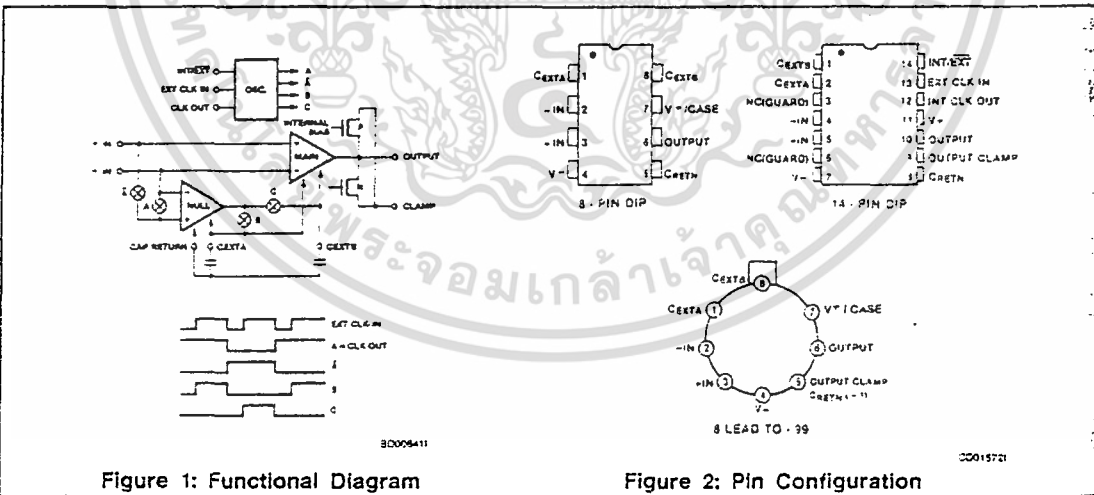


Figure 1: Functional Diagram

Figure 2: Pin Configuration

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Total Supply Voltage (V^+ to V^-)18 Volts
 Input Voltage ($V^+ + 0.3$) to ($V^- - 0.3$) Volts
 Voltage on oscillator control pins V^+ to V^-
 except EXT CLOCK IN:($V^+ + 0.3$) to ($V^+ - 6.0$) Volts
 Duration of Output short circuit Indefinite
 Current into any pin 10mA
 —while operating (Note 4) 100 μ A

Cont. Total Power Dissipn ($T_A = 25^\circ\text{C}$)
 CERDIP Package500mW
 Plastic Package375mW
 TO-99250mW
 Storage Temp. Range -65°C to 150°C
 Operating Temp. Range See Note 1
 Lead Temperature (Soldering, 10sec)300 $^\circ\text{C}$

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: $V^+ = +5\text{V}$, $V^- = -5\text{V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS 7650			LIMITS 7650B			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$T_A = -25^\circ\text{C}$ $-25^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$ $-55^\circ\text{C} < T_A < +125^\circ\text{C}$		± 2 ± 5	± 5 ± 50		± 2 ± 5	± 10.0 ± 75	μV
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta T}$	Average Temp. Coefficient of Input Offset Voltage	$-25^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$		0.1			0.1		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta t}$	Change in Input Offset Voltage With Time			100			100		nV/month
I_{BIAS}	Input Bias Current (doubles every 10°C) Polarity is + or - (Note 5)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} < T_A < +70^\circ\text{C}$ $-25^\circ\text{C} < T_A < +85^\circ\text{C}$		± 1.5 ± 35 ± 100	± 10		± 1.5 ± 35 ± 100	± 20	pA
I_{OS}	Input Offset Current (Note 5)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		5.0			5.0		pA
R_{IN}	Input Resistance			10^{12}			10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$R_L = 10\text{k}\Omega$	1×10^6	5×10^6		1×10^6	5×10^6		V/V
V_{OUT}	Output Voltage Swing (Note 3)	$R_L = 10\text{k}\Omega$ $R_L = 100\text{k}\Omega$	± 4.7	± 4.85 ± 4.95		± 4.7	± 4.85 ± 4.95		V
CMVR	Common Mode Voltage Range		-5.0	-5.2 to +2.0	1.5	-5.0	-5.2 to +2.0	1.5	V
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	CMVR = -5V to +1.5	110	120		110	120		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$\pm 3\text{V}$ to $\pm 8\text{V}$	120	130		120	130		dB
e_n	Input Noise Voltage	$R_S = 100\Omega$ $f = 0$ to 10Hz		2			2		μV_{0-p}
i_n	Input Noise Current	$f = 10\text{Hz}$		0.01			0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
GBW	Unity Gain Bandwidth			2.0			2.0		MHz
SR	Slew Rate	$C_L = 50\text{pF}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$		2.5			2.5		V/ μs
t_r	Rise Time			0.2			0.2		μs
	Overshoot			20			20		%
V^+ to V^-	Operating Supply Range		4.5		16	4.5		16	V
I_{SUPP}	Supply Current	no load		2.0	3.5		2.0	3.5	mA
f_{CH}	Internal Chopping Frequency	pins 12-14 open (DIP)	120	200	375	120	200	375	Hz
	Clamp ON Current (note 2)	$R_L = 100\text{k}\Omega$	25	70	150	25	70	150	μA
	Clamp OFF Current (note 2)	$-4.0\text{V} < V_{OUT} < -4.0\text{V}$		1			1		pA

- NOTES: 1. Operating temperature range for M series parts is -55°C to $+125^\circ\text{C}$, for I series is -25°C to $+85^\circ\text{C}$, for C series is 0°C to $+70^\circ\text{C}$
 2. See OUTPUT CLAMP under detailed description.
 3. OUTPUT CLAMP not connected. See typical characteristic curves for output swing vs clamp current characteristics.
 4. Limiting input current to $100\mu\text{A}$ is recommended to avoid latchup problems. Typically 1mA is safe, however this is not guaranteed.
 5. $I_{OS} = 2 \cdot I_{BIAS}$

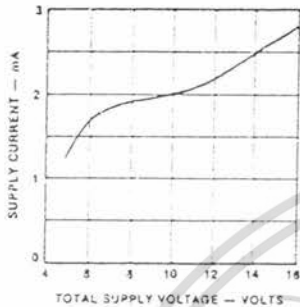
Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

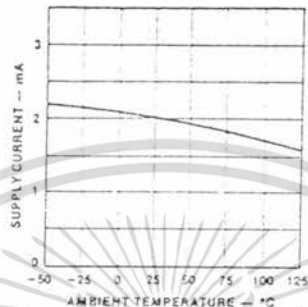
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

SUPPLY CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



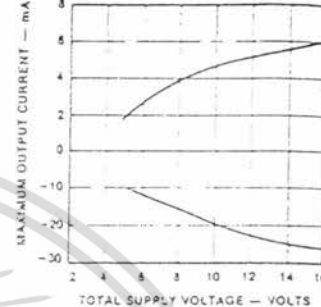
CP019401

SUPPLY CURRENT vs. AMBIENT TEMPERATURE



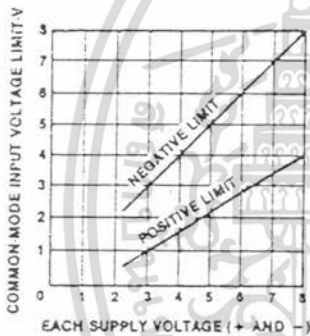
CP019401

MAXIMUM OUTPUT CURRENT vs. SUPPLY VOLTAGE



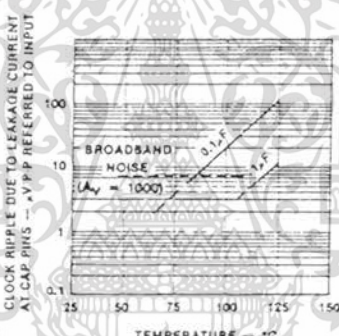
CP019600

COMMON-MODE INPUT-VOLTAGE RANGE vs SUPPLY VOLTAGE



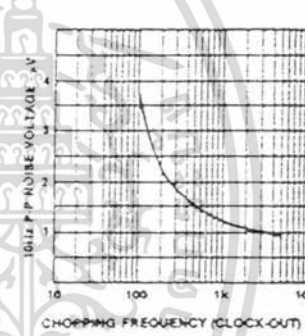
CP019700

CLOCK RIPPLE REFERRED TO THE INPUT vs. TEMPERATURE



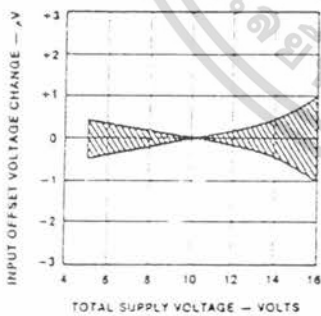
CP019500

10Hz P-P NOISE VOLTAGE vs. CHOPPING FREQUENCY



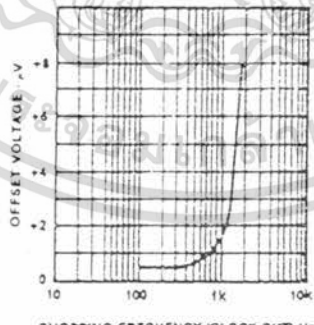
CP019910

INPUT OFFSET VOLTAGE CHANGE vs. SUPPLY VOLTAGE



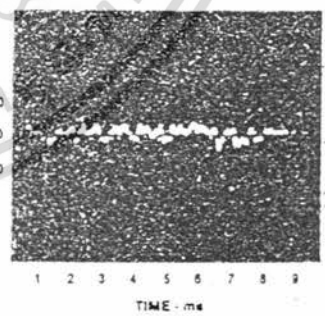
CP020000

INPUT OFFSET VOLTAGE vs. CHOPPING FREQUENCY



CP020110

OUTPUT WITH ZERO INPUT; GAIN = 1000; BALANCED SOURCE IMPEDANCE = 10KΩ

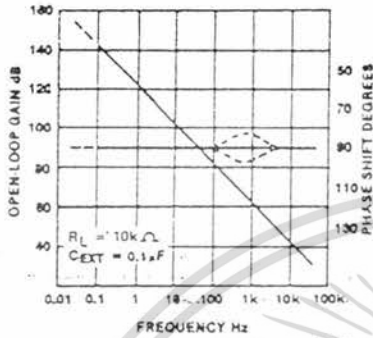


CP000020

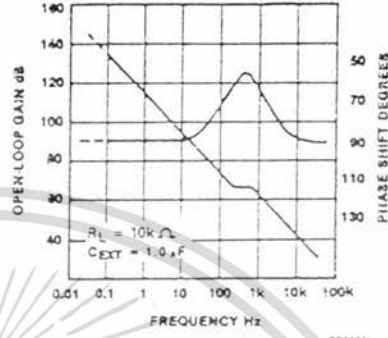
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (CONT.)

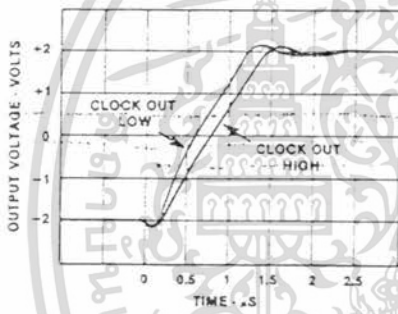
OPEN LOOP GAIN AND PHASE SHIFT vs. FREQUENCY



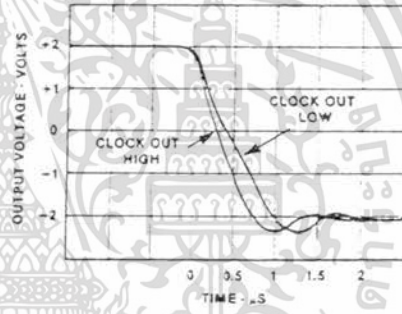
OPEN LOOP GAIN AND PHASE SHIFT vs. FREQUENCY



VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE*

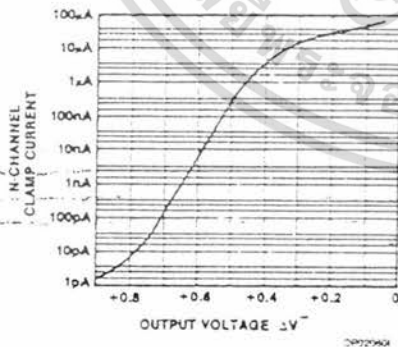


VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE*

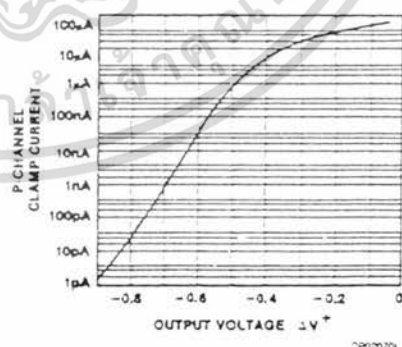


* THE TWO DIFFERENT RESPONSES CORRESPOND TO THE TWO PHASES OF THE CLOCK.

N-CHANNEL CLAMP CURRENT vs. OUTPUT VOLTAGE



P-CHANNEL CLAMP CURRENT vs. OUTPUT VOLTAGE



*Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

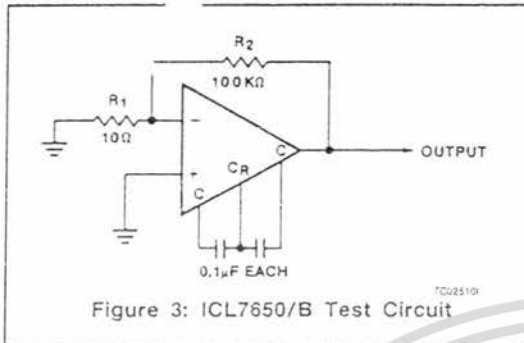


Figure 3: ICL7650/B Test Circuit

DETAILED DESCRIPTION

Amplifier

The functional diagram shows the major elements of the ICL7650. There are two amplifiers, the main amplifier, and the nulling amplifier. Both have offset-null capability. The main amplifier is connected continuously from the input to the output, while the nulling amplifier, under the control of the chopping oscillator and clock circuit, alternately nulls itself and the main amplifier. The nulling connections, which are MOSFET gates, are inherently high impedance, and two external capacitors provide the required storage of the nulling potentials and the necessary nulling-loop time constants. The nulling arrangement operates over the full common-mode and power-supply ranges, and is also independent of the output level, thus giving exceptionally high CMRR, PSRR, and A_{VOL} .

Careful balancing of the input switches, and the inherent balance of the input circuit, minimizes chopper frequency charge injection at the input terminals, and also the feedforward-type injection into the compensation capacitor, which is the main cause of output spikes in this type of circuit.

Intermodulation

Previous chopper-stabilized amplifiers have suffered from intermodulation effects between the chopper frequency and input signals. These arise because the finite AC gain of the amplifier necessitates a small AC signal at the input. This is seen by the zeroing circuit as an error signal, which is chopped and fed back, thus injecting sum and difference frequencies and causing disturbances to the gain and phase vs. frequency characteristics near the chopping frequency. These effects are substantially reduced in the ICL7650 by feeding the nulling circuit with a dynamic current, corresponding to the compensation capacitor current, in such a way as to cancel that portion of the input signal due to finite AC gain. Since this is the major error contribution to the ICL7650, the intermodulation and gain/phase disturbances are held to very low values, and can generally be ignored.

Capacitor Connection

The null/storage capacitors should be connected to the C_{EXTA} and C_{EXTB} pins, with a common connection to the C_{RETN} pin. This connection should be made directly by either a separate wire or PC trace to avoid injecting load current IR drops into the capacitive circuitry. The outside foil, where available, should be connected to C_{RETN} .

Output Clamp

The OUTPUT CLAMP pin allows reduction of the over-load recovery time inherent with chopper-stabilized amplifiers. When tied to the inverting input pin, or summing junction, a current path between this point and the OUTPUT pin occurs just before the device output saturates. This uncontrolled input differential inputs are avoided, together with the consequent charge build-up on the correction-storage capacitors. The output swing is slightly reduced.

Clock

The ICL7650 has an internal oscillator giving a chopping frequency of 200Hz, available at the CLOCK OUT pin on the 14-pin devices. Provision has also been made for the use of an external clock in these parts. The INT/EXT pin has an internal pull-up and may be left open for normal operation but to utilize an external clock this pin must be tied to V^+ to disable the internal clock. The external clock signal may then be applied to the EXT. CLOCK IN pin. At low frequencies, the duty cycle of the external clock is not critical, since an internal divide-by-two provides the desired 50% switching duty cycle. However, since the capacitors are charged only when EXT CLK IN is HIGH, a 50-80% positive duty cycle is favored for frequencies above 500Hz to ensure that any transients have time to settle before the capacitors are turned OFF. The external clock should swing between V^+ and GROUND for power supplies up to $\pm 6V$, and between V^+ and $V^+ - 6V$ for higher supply voltages. Note that a signal of about 400Hz will be present at the EXT CLK IN pin with INT/EXT high or open. This is the internal clock signal before the divider.

In those applications where a strobe signal is available, an alternate approach to avoid capacitor misbalancing during overload can be used. If a strobe signal is connected to EXT CLK IN so that it is low during the time that the overload signal is applied to the amplifier, neither capacitor will be charged. Since the leakage at the capacitor pins is quite low at room temperature, the typical amplifier will drift less than $10\mu V/sec$, and relatively long measurements can be made with little change in offset.

BRIEF APPLICATION NOTES

Component Selection

The two required capacitors, C_{EXTA} and C_{EXTB} , have optimum values depending on the clock or chopping frequency. For the preset internal clock, the correct value is $0.1\mu F$, and to maintain the same relationship between the chopping frequency and the nulling time constant this value should be scaled approximately in proportion if an external clock is used. A high-quality film-type capacitor such as mylar is preferred, although a ceramic or other lower-grade capacitor may prove suitable in many applications. For quickest settling on initial turning, low dielectric absorption capacitors (such as polypropylene) should be used. With ceramic capacitors, several seconds may be required to settle to $1\mu V$.

Static Protection

All device pins are static-protected by the use of input diodes. However, strong static fields and discharges should be avoided, as they can cause degraded diode junction characteristics, which may result in increased input-leakage currents.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

on of the over-
abilized ampli-
), or summing
nd the OUTPUT
aturates. Thus
oided, together
the correction
ightly reduced

ing a chopping
OUT pin on the
a for the use of
EXT pin has an
ormal operation,
e tied to V^- to
ck signal may
l pin. At low
l clock is not
es the desired
the capacitors
3H, a 50-80%
s above 500Hz
ttle before the
ck should swing
ies up to $\pm 6V$,
upply voltages
sent at the EXT
s is the interna

al is available.
al misbalancing
al is connected
e time that the
either capacitor
apacitor pins is
mplifier will drift
asurements can

EXTs, have
or chopping
correct value is
between the
stant this value
if an external
ecitor such as
er lower-grade
lications. For
tric absorption
be used. With
e required in

use of input
charges should
ode junction
input-leakage

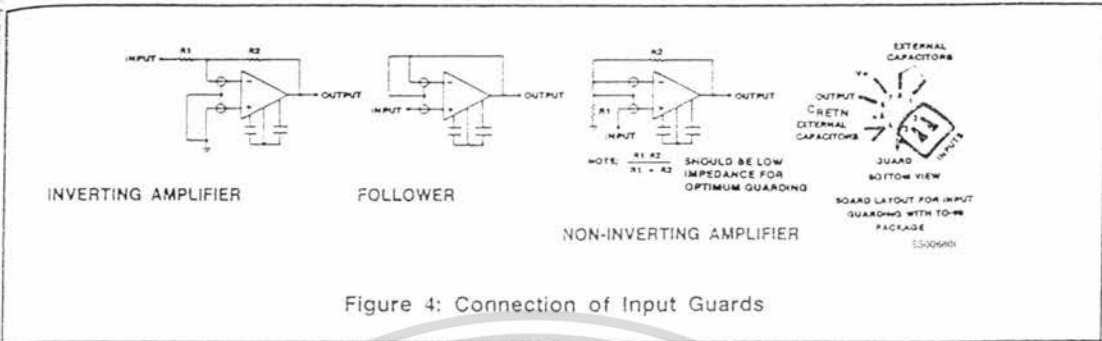


Figure 4: Connection of Input Guards

Latchup Avoidance

Junction-isolated CMOS circuits inherently include a parasitic 4-layer (p-n-p-n) structure which has characteristics similar to an SCR. Under certain circumstances this junction may be triggered into a low-impedance state, resulting in excessive supply current. To avoid this condition, no voltage greater than 0.3V beyond the supply rails should be applied to any pin. In general, the amplifier supplies must be established either at the same time or before any input signals are applied. If this is not possible, the drive circuits must limit input current flow to under 1mA to avoid latchup, even under fault conditions.

Output Stage/Load Driving

The output circuit is a high-impedance type (approximately 18k Ω), and therefore with loads less than this value, the chopper amplifier behaves in some ways like a transconductance amplifier whose open-loop gain is proportional to load resistance. For example, the open-loop gain will be 17dB lower with a 1k Ω load than with a 10k Ω load. If the amplifier is used strictly for DC, this lower gain is of little consequence, since the DC gain is typically greater than 120dB even with a 1k Ω load. However, for wideband applications, the best frequency response will be achieved with a load resistor of 10k Ω or higher. This will result in a smooth 6dB/octave response from 0.1Hz to 2MHz, with phase shifts of less than 10° in the transition region where the main amplifier takes over from the null amplifier.

Thermo-Electric Effects

The ultimate limitations to ultra-high precision DC amplifiers are the thermo-electric or Peltier effects arising in thermocouple junctions of dissimilar metals, alloys, silicon, etc. Unless all junctions are at the same temperature, thermoelectric voltages typically around 0.1 $\mu V/^\circ C$, but up to tens of $\mu V/^\circ C$ for some materials, will be generated. In order to realize the extremely low offset voltages that the chopper amplifier can provide, it is essential to take special precautions to avoid temperature gradients. All components should be enclosed to eliminate air movement, especially that caused by power-dissipating elements in the system. Low thermoelectric-coefficient connections should be used where possible and power supply voltages and power dissipation should be kept to a minimum. High-impedance loads are preferable, and good separation from surrounding heat-dissipating elements is advisable.

Guarding

Extra care must be taken in the assembly of printed circuit boards to take full advantage of the low input currents of the ICL7650. Boards must be thoroughly cleaned with TCE or alcohol and blown dry with compressed air. After cleaning the boards should be treated with eoxo or silicone rubber to prevent contamination.

Even with properly cleaned and coated boards, leakage currents may cause trouble, particularly since the input pins are adjacent to pins that are at supply potentials. This leakage can be significantly reduced by using guarding to lower the voltage difference between the inputs and adjacent metal runs. Input guarding of the 8-lead TO-99 package is accomplished by using a 10-lead pin circle, with the leads of the device formed so that the holes adjacent to the inputs are empty when it is inserted in the board. The guard, which is a conductive ring surrounding the inputs, is connected to a low impedance point that is at approximately the same voltage as the inputs. Leakage currents from high-voltage pins are then absorbed by the guard.

The pin configuration of the 14-pin dual in-line package is designed to facilitate guarding, since the pins adjacent to the inputs are not used (this is different from the standard 741 and 101A pin configuration, but corresponds to that of the LM108).

Pin Compatibility

The basic pinout of the 8-pin device corresponds, where possible, to that of the industry-standard 8-pin devices, the LM741, LM101, etc. The null-storing external capacitors are connected to pins 1 and 8, usually used for offset null or compensation capacitors, or simply not connected. The output-clamp pin (5) is similarly used. In the case of the OP-05 and OP-07 devices, the replacement of the offset-null pot, connected between pins 1 and 8 and V^- , by two capacitors from those pins to V^- , will provide easy compatibility. As for the LM108, replacement of the compensation capacitor between pins 1 and 8 by the two capacitors to V^- is all that is necessary. The same operation, with the removal of any connection to pin 5, will suffice for the LM101, $\mu A748$, and similar parts.

The 14-pin device pinout corresponds most closely to that of the LM108 device, owing to the provision of "NC" pins for guarding between the input and all other pins. Since this device does not use any of the extra pins, and has no provision for offset-nulling, but requires a compensation capacitor, some changes will be required in layout to convert it to the ICL7650.

Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7650

TYPICAL APPLICATIONS

Clearly the applications of the ICL7650 will mirror those of other op. amps. Anywhere that the performance of a circuit can be significantly improved by a reduction of input-offset voltage and bias current, the ICL7650 is the logical choice. Basic non-inverting and inverting amplifier circuits are shown in Figures 5 and 6. Both circuits can use the output clamping circuit to enhance the overload recovery performance. The only limitations on the replacement of other op amps by the ICL7650 are the supply voltage ($\pm 8V$ max.) and the output drive capability ($10k\Omega$ load for full swing). Even these limitations can be overcome using a simple booster circuit, as shown in Figure 7, to enable the full output capabilities of the LM741 (or any other standard device) to be combined with the input capabilities of the ICL7650. The pair form a composite device, so loop gain stability, when the feedback network is added, should be watched carefully.

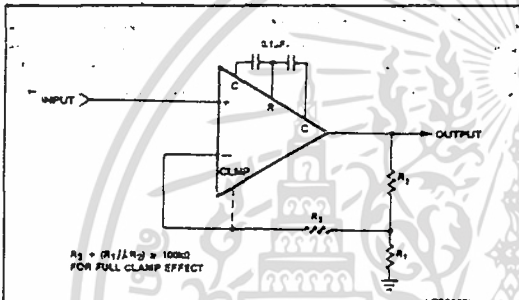


Figure 5: Non Inverting Amplifier With (Optional Clamp)

NOTE: $R_1//R_2$ INDICATES THE PARALLEL COMBINATION OF R_1 AND R_2

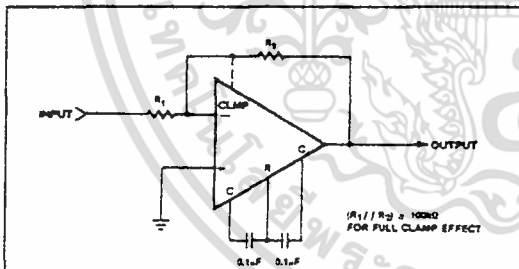


Figure 6: Inverting Amplifier With (Optional Clamp)

NOTE: $R_1//R_2$ INDICATES THE PARALLEL COMBINATION OF R_1 AND R_2

Figure 8 shows the use of the clamp circuit to advantage in a zero-offset comparator. The usual problems in using a chopper stabilized amplifier in this application are avoided, since the clamp circuit forces the inverting input to follow the input signal. The threshold input must tolerate the output clamp current $\approx V_{IN}/R$ without disturbing other portions of the system.

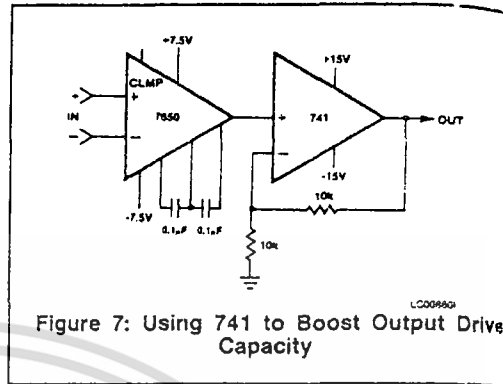


Figure 7: Using 741 to Boost Output Drive Capacity

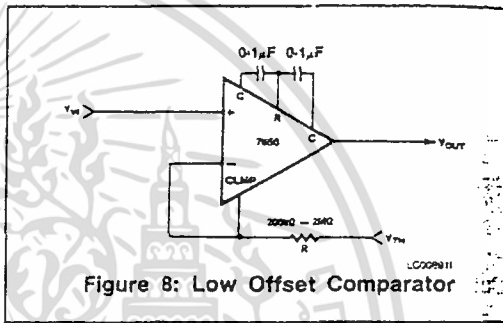


Figure 8: Low Offset Comparator

Normal logarithmic amplifiers are limited in dynamic range in the voltage-input mode by their input-offset voltage. The built-in temperature compensation and convenience features of the ICL8048 can be extended to a voltage-input dynamic range of close to 6 decades by using the ICL7650 to offset-null the ICL8048, as shown in Figure 9. The same concept can also be used with such devices as the HA2500 or HA2500 families of op amps to add very low offset voltage capability to their very high slew rates and bandwidths. Note that these circuits will also have their DC gains, CMRR, and PSRR enhanced.

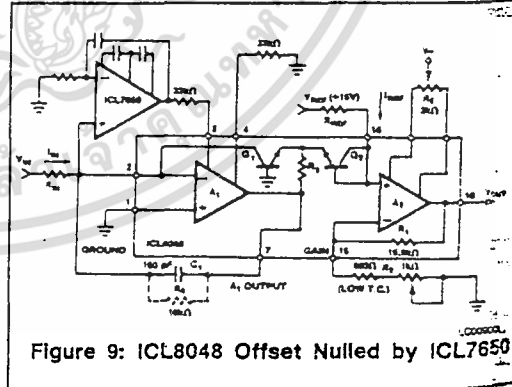


Figure 9: ICL8048 Offset Nulled by ICL7650

FOR FURTHER APPLICATIONS ASSISTANCE, SEE A053 AND R017

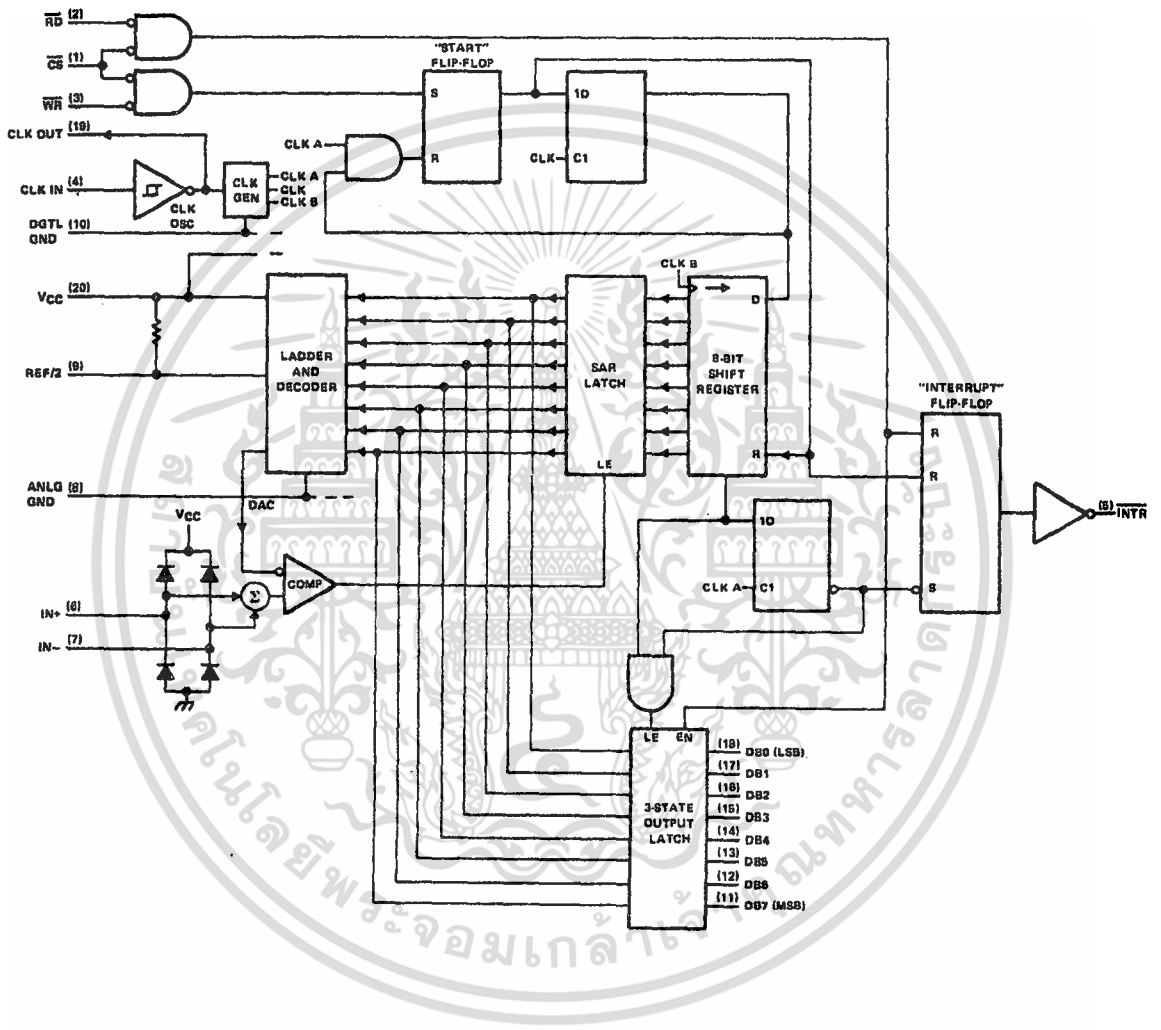
Note: All typical values have been guaranteed by characterization and are not tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

functional block diagram (positive logic)

2 Data Sheets



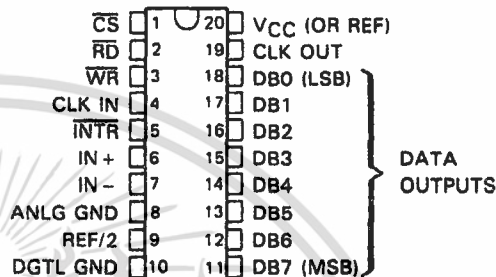
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

D2755, OCTOBER 1983—REVISED OCTOBER 1988

- 8-Bit Resolution
- Ratiometric Conversion
- 100- μ s Conversion Time
- 135-ns Access Time
- No Zero Adjust Requirement
- On-Chip Clock Generator
- Single 5-V Power Supply
- Operates with Microprocessor or as Stand-Alone
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor and Signetics ADC0804

N DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The ADC0804 is a CMOS 8-bit successive-approximation analog-to-digital converter that uses a modified potentiometric (256R) ladder. The ADC0804 is designed to operate from common microprocessor control buses, with the three-state output latches driving the data bus. The ADC0804 can be made to appear to the microprocessor as a memory location or an I/O port. Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

A differential analog voltage input allows increased common-mode rejection and offset of the zero-input analog voltage value. Although a reference input (REF/2) is available to allow 8-bit conversion over smaller analog voltage spans or to make use of an external reference, ratiometric conversion is possible with the REF/2 input open. Without an external reference, the conversion takes place over a span from VCC to analog ground (ANLG GND). The ADC0804 can operate with an external clock signal or, with an additional resistor and capacitor, can operate using an on-chip clock generator.

The ADC0804I is characterized for operation from -40°C to 85°C . The ADC0804C is characterized for operation from 0°C to 70°C .

ADC0804I, ADC0804C
8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH DIFFERENTIAL INPUTS

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: \overline{CS} , \overline{RD} , \overline{WR}	-0.3 V to 18 V
other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Output voltage range	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range: ADC0804I	-40°C to 85°C
ADC0804C	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to digital ground (DGTL GND) with DGTL GND and ANLG GND connected together (unless otherwise noted).

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6.3	V
Voltage at REF/2, $V_{REF/2}$ (see Note 2)	0.25	2.5		V
High-level input voltage at \overline{CS} , \overline{RD} , or \overline{WR} , V_{IH}	2		15	V
Low-level input voltage at \overline{CS} , \overline{RD} , or \overline{WR} , V_{IL}			0.8	V
Analog ground voltage (see Note 3)	-0.05	0	1	V
Analog input voltage (see Note 4)	-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V
Clock input frequency, f_{clock} (see Note 5)	100	640	1480	kHz
Duty cycle for $f_{clock} \geq 640$ kHz (see Note 5)	40		60	%
Pulse duration clock input (high or low) for $f_{clock} < 640$ kHz, $t_w(CLK)$ (see Note 5)	275	781		ns
Pulse duration, \overline{WR} input low (start conversion), $t_w(WR)$	100			ns
Operating free-air temperature, T_A	ADC0804I		85	°C
	ADC0804C		70	

- NOTES: 2. The internal reference voltage is equal to the voltage applied to REF/2, or approximately equal to one-half of the V_{CC} when REF/2 is left open. The voltage at REF/2 should be one-half the full-scale differential input voltage between the analog inputs. Thus, the differential input voltage when REF/2 is open and $V_{CC} = 5$ V is 0 to 5 V. $V_{REF/2}$ for an input voltage range from 0.5 V to 3.5 V (full-scale differential voltage of 3 V) is 1.5 V.
3. These values are with respect to DGTL GND.
4. When the differential input voltage ($V_{IN+} - V_{IN-}$) is less than or equal to 0 V, the output code is 0000 0000.
5. Total unadjusted error is specified only at an f_{clock} of 640 kHz with a duty cycle of 40% to 60% (pulse duration 625 ns to 937 ns). For frequencies above this limit or pulse duration below 625 ns, error may increase. The duty cycle limits should be observed for an f_{clock} greater than 640 kHz. Below 640 kHz, this duty cycle limit can be exceeded provided $t_w(CLK)$ remains within limits.

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 5\text{ V}$,
 $f_{\text{clock}} = 640\text{ kHz}$, $V_{\text{REF}/2} = 2.5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	All outputs $V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OH} = -360\text{ }\mu\text{A}$			2.4	V
		DB and INTR $V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OH} = -10\text{ }\mu\text{A}$			4.5	
V_{OL}	Low-level output voltage	Data outputs $V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OL} = 1.6\text{ mA}$			0.4	V
		INTR output $V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OL} = 1\text{ mA}$			0.4	
		CLK OUT $V_{CC} = 4.75\text{ V}$, $I_{OL} = 360\text{ }\mu\text{A}$			0.4	
V_{T+}	Clock positive-going threshold voltage		2.7	3.1	3.5	V
V_{T-}	Clock negative-going threshold voltage		1.5	1.8	2.1	V
$V_{T+} - V_{T-}$	Clock input hysteresis		0.6	1.3	2	V
I_{IH}	High-level input current			0.005	1	μA
I_{IL}	Low-level input current			-0.005	-1	μA
I_{OZ}	Off-state output current	$V_O = 0$			-3	μA
		$V_O = 5\text{ V}$			3	
I_{OHS}	Short-circuit output current	Output high $V_O = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-4.5	-6		mA
I_{OLS}	Short-circuit output current	Output low $V_O = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	9	16		mA
I_{CC}	Supply current plus reference current	REF/2 open, $T_A = 25^\circ\text{C}$, CS at 5 V		1.9	2.5	mA
$R_{\text{REF}/2}$	Input resistance to reference ladder	See Note 6	1	1.3		k Ω
C_i	Input capacitance (control)			5	7.5	pF
C_o	Output capacitance (DB)			5	7.5	pF

operating characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 5\text{ V}$,
 $V_{\text{REF}/2} = 2.5\text{ V}$, $f_{\text{clock}} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Supply-voltage-variation error (See Notes 2 and 7)		$V_{CC} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Total unadjusted error (See Notes 7 and 8)		$V_{\text{REF}/2} = 2.5\text{ V}$			± 1	LSB
DC common-mode error (See Note 8)				$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
t_{en}	Output enable time	$C_L = 100\text{ pF}$		135	200	ns
t_{dis}	Output disable time	$C_L = 10\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$		125	200	ns
$t_{\text{d(INTR)}}$	Delay time to reset INTR			300	450	ns
t_{conv}	Conversion cycle time (See Note 9)	$f_{\text{clock}} = 100\text{ kHz to }1.46\text{ MHz}$		65%	72%	clock cycles
	Conversion time			103	114	μs
CR	Free-running conversion rate	INTR connected to WR, CS at 0 V			8827	conv/s

† All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 2. The internal reference voltage is equal to the voltage applied to REF/2, or approximately equal to one-half of the V_{CC} when REF/2 is left open. The voltage at REF/2 should be one-half the full-scale differential input voltage between the analog inputs. Thus, the differential input voltage when REF/2 is open and $V_{CC} = 5\text{ V}$ is 0 to 5 V. $V_{\text{REF}/2}$ for an input voltage range from 0.5 V to 3.5 V (full-scale differential voltage of 3 V) is 1.5 V.

6. The resistance is calculated from the current drawn from a 5-V supply applied to pins 8 and 9.

7. These parameters are specified for the recommended analog input voltage range.

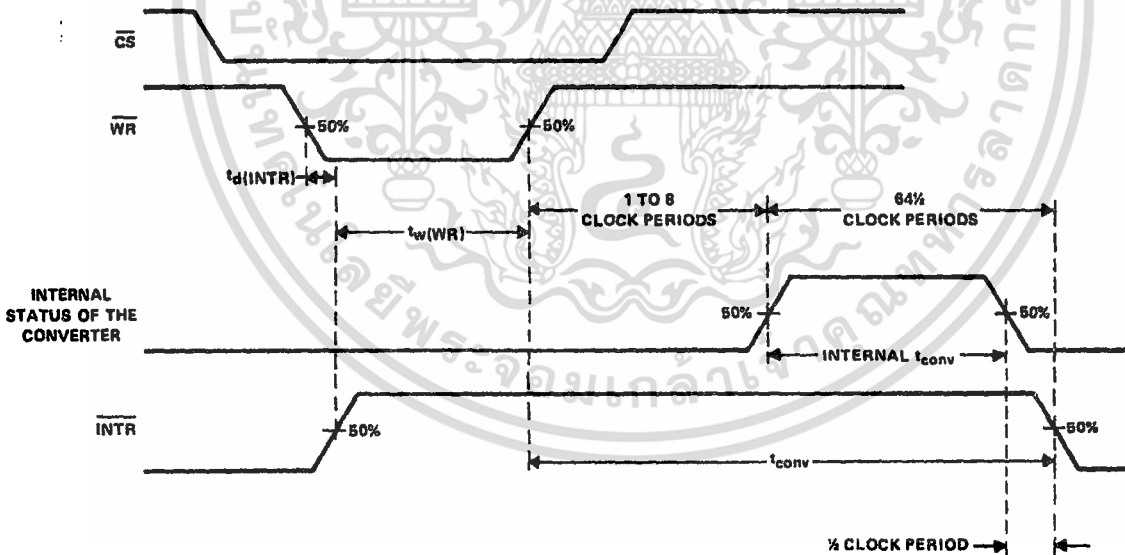
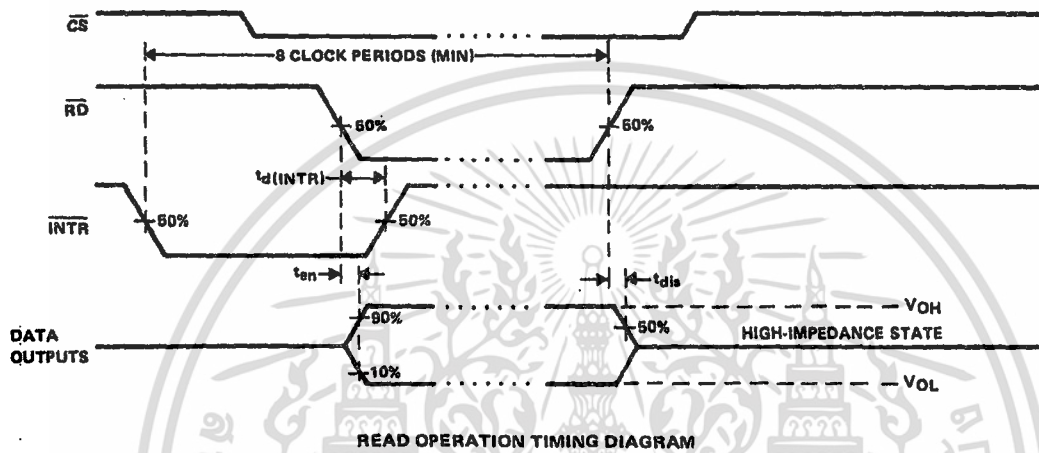
8. All errors are measured with reference to an ideal straight line through the end-points of the analog-to-digital transfer characteristic.

9. Although internal conversion is completed in 64 clock periods, a CS or WR low-to-high transition is followed by 1 to 8 clock periods before conversion starts. After conversion is completed, part of another clock period is required before a high-to-low transition of INTR completes the cycle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ADC0804I, ADC0804C
8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH DIFFERENTIAL INPUTS**

timing diagrams



WRITE OPERATION TIMING DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0804I, ADC0804C 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIFFERENTIAL INPUTS

PRINCIPLES OF OPERATION

The ADC0804 contains a circuit equivalent to a 256-resistor network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match an analog differential input voltage ($V_{in+} - V_{in-}$) to a corresponding tap on the 256-resistor network. The most-significant bit (MSB) is tested first. After eight comparisons (64 clock periods), an 8-bit binary code (1111 1111 = full scale) is transferred to an output latch and the interrupt (\overline{INTR}) output goes low. The device can be operated in a free-running mode by connecting the \overline{INTR} output to the write (\overline{WR}) input and holding the conversion start (\overline{CS}) input at a low level. To ensure start-up under all conditions, a low-level \overline{WR} input is required during the power-up cycle. Taking \overline{CS} low anytime after that will interrupt a conversion in process.

When the \overline{WR} input goes low, the ADC0804 successive approximation register (SAR) and 8-bit shift register are reset. As long as both \overline{CS} and \overline{WR} remain low, the ADC0804 remains in a reset state. One to eight clock periods after \overline{CS} or \overline{WR} makes a low-to-high transition, conversion starts.

When the \overline{CS} and \overline{WR} inputs are low, the start flip-flop is set and the interrupt flip-flop and 8-bit register are reset. The next clock pulse transfers a logic high to the output of the start flip-flop. The logic high is ANDed with the next clock pulse, placing a logic high on the reset input of the start flip-flop. If either \overline{CS} or \overline{WR} have gone high, the set signal to the start flip-flop is removed, causing it to be reset. A logic high is placed on the D input of the 8-bit shift register and the conversion process is started. If the \overline{CS} and \overline{WR} inputs are still low, the start flip-flop, the 8-bit shift register, and the SAR remain reset. This action allows for wide \overline{CS} and \overline{WR} inputs with conversion starting from one to eight clock periods after one of the inputs goes high.

When the logic high input has been clocked through the 8-bit shift register, completing the SAR search, it is applied to an AND gate controlling the output latches and to the D input of a flip-flop. On the next clock pulse, the digital word is transferred to the three-state output latches and the interrupt flip-flop is set. The output of the interrupt flip-flop is inverted to provide an \overline{INTR} output that is high during conversion and low when the conversion is completed.

When a low is at both the \overline{CS} and \overline{RD} inputs, an output is applied to the DB0 through DB7 outputs and the interrupt flip-flop is reset. When either the \overline{CS} or \overline{RD} inputs return to a high state, the DB0 through DB7 outputs are disabled (returned to the high-impedance state). The interrupt flip-flop remains reset.

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS
 D2642, JUNE 1981—REVISED MAY 1988

- Total Unadjusted Error . . . ± 0.75 LSB Max for ADC0808 and ± 1.25 LSB Max for ADC0809
- Resolution of 8 Bits
- 100 μ s Conversion Time
- Ratiometric Conversion
- Monotonicity Over the Entire A/D Conversion Range
- No Missing Codes
- Easy Interface with Microprocessors
- Latched 3-State Outputs
- Latched Address Inputs
- Single 5-V Supply
- Low Power Consumption
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor ADC0808, ADC0809

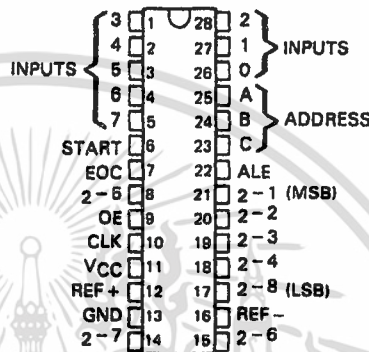
description

The ADC0808 and ADC0809 are monolithic CMOS devices with an 8-channel multiplexer, an 8-bit analog-to-digital (A/D) converter, and microprocessor-compatible control logic. The 8-channel multiplexer can be controlled by a microprocessor through a 3-bit address decoder with address load to select any one of eight single-ended analog switches connected directly to the comparator. The 8-bit A/D converter uses the successive-approximation conversion technique featuring a high-impedance threshold detector, a switched-capacitor array, a sample-and-hold, and a successive-approximation register (SAR). Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

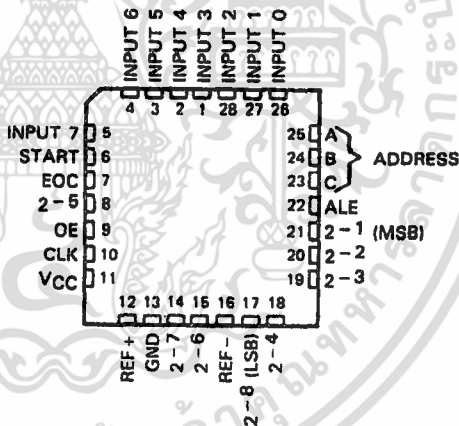
The comparison and converting methods used eliminate the possibility of missing codes, nonmonotonicity, and the need for zero or full-scale adjustment. Also featured are latched 3-state outputs from the SAR and latched inputs to the multiplexer address decoder. The single 5-V supply and low power requirements make the ADC0808 and ADC0809 especially useful for a wide variety of applications. Ratiometric conversion is made possible by access to the reference voltage input terminals.

The ADC0808 and ADC0809 are characterized for operation from -40°C to 85°C .

DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



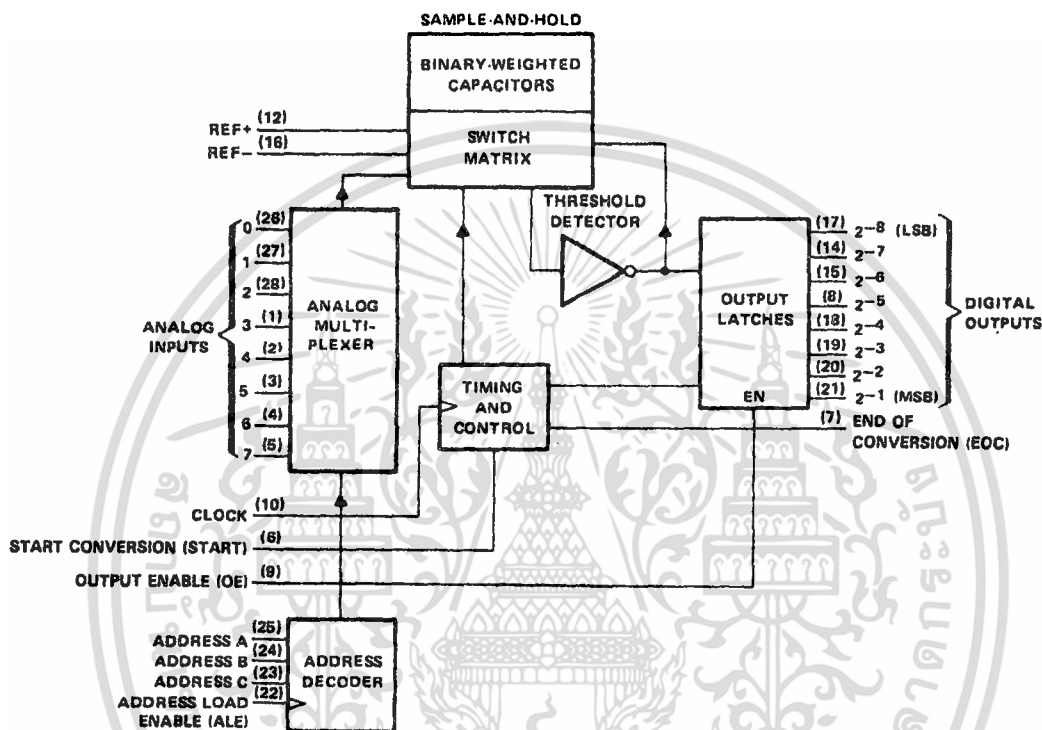
FN PACKAGE
(TOP VIEW)



2
Data Sheets

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

functional block diagram (positive logic)



MULTIPLEXER FUNCTION TABLE

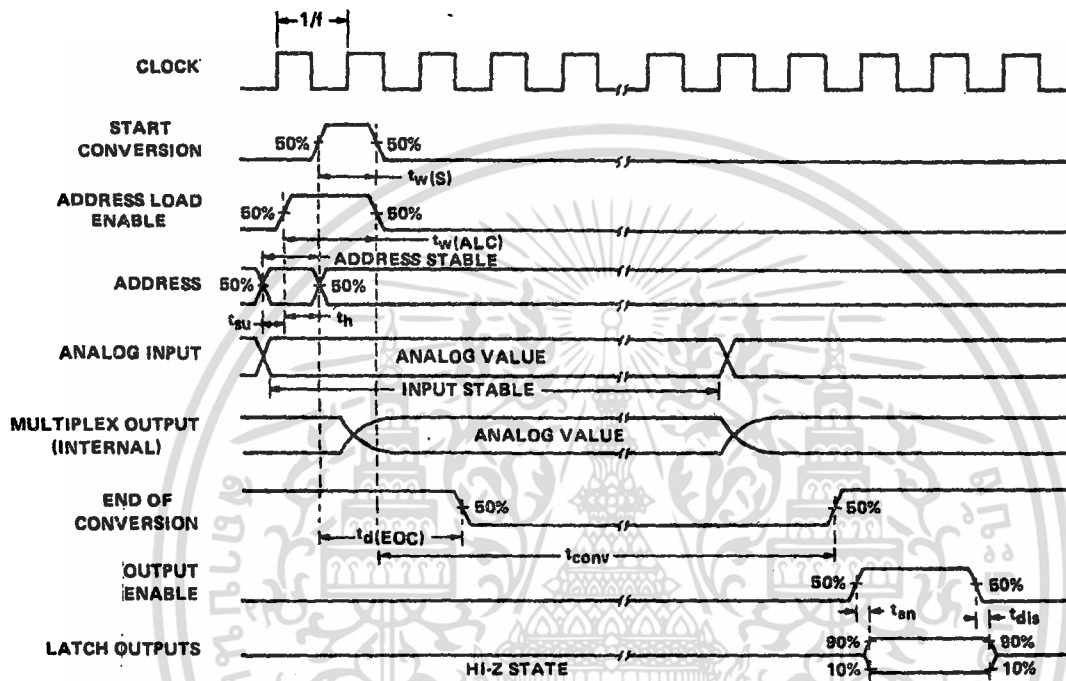
ADDRESS		INPUTS		SELECTED ANALOG CHANNEL
C	B	A	ADDRESS STROBE	
L	L	L	↑	0
L	L	H	↑	1
L	H	L	↑	2
L	H	H	↑	3
H	L	L	↑	4
H	L	H	↑	5
H	H	L	↑	6
H	H	H	↑	7

H = high level, L = low level
 ↑ = low-to-high transition

2 Data Sheets

ADC0808, ADC0809
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

operating sequence



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808, ADC0809 CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: control inputs	-0.3 to 15 V
all other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range	-40°C to 85°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 10 seconds: FN package	260°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: N package	260°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6	V
Positive reference voltage, V_{ref+} (see Note 2)		V_{CC}	$V_{CC} + 0.1$	V
Negative reference voltage, V_{ref-}		0	-0.1	V
Differential reference voltage, $V_{ref+} - V_{ref-}$		5		V
High-level input voltage, V_{IH}	$V_{CC} - 1.5$			V
Low-level input voltage, V_{IL}			1.5	V
Operating free-air temperature, T_A	-40		85	°C

NOTE 2: Care must be taken that this rating is observed even during power-up.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range. $V_{CC} = 4.75$ V to 5.25 V (unless otherwise noted)

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
V_{OH} High-level output voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC} - 0.4$			V
V_{OL} Low-level output voltage	Data outputs			0.45	V
	End of conversion			0.45	
I_{OZ} Off-state (high-impedance-state) output current	$V_O = V_{CC}$			3	μA
	$V_O = 0$			-3	
I_I Control input current at maximum input voltage	$V_I = 15$ V			1	μA
I_{IL} Low-level control input current	$V_I = 0$			-1	μA
I_{CC} Supply current	$f_{clock} = 640$ kHz		0.3	3	mA
C_i Input capacitance, control inputs	$T_A = 25$ °C		10	15	pF
C_o Output capacitance, data outputs	$T_A = 25$ °C		10	15	pF
Resistance from pin 12 to pin 16			1000		k Ω

analog multiplexer

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP [†]	MAX	UNIT
I_{on} Channel on-state current (see Note 3)	$V_I = V_{CC}$, $f_{clock} = 640$ kHz			2	μA
	$V_I = 0.1$ V, $f_{clock} = 640$ kHz			-2	
I_{off} Channel off-state current	$V_{CC} = 5$ V, $T_A = 25$ °C		10	200	nA
	$V_I = 0$		-10	-200	
	$V_{CC} = 5$ V			1	μA
	$V_I = 0$			-1	

[†]Typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25$ °C.

NOTE 3: Channel on-state current is primarily due to the bias current into or out of the threshold detector, and it varies directly with clock frequency.

ADC0808, ADC0809 CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

timing requirements, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{clock}	Clock frequency	10	640	1280	kHz
t_{conv}	Conversion time	See Note 4			μs
$t_{w(s)}$	Pulse duration, START	200			ns
$t_{w(ALE)}$	Pulse duration, ALE	200			ns
t_{su}	Setup time, ADDRESS	50			ns
t_h	Hold time, ADDRESS	50			ns
t_d	Delay time, EOC	See Notes 4 and 5			μs

operating characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = V_{ref+} = 5\text{ V}$, $V_{ref-} = 0\text{ V}$, $f_{clock} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADC0808			ADC0809			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
k_{SVS}	Supply voltage sensitivity $V_{CC} = V_{ref+} = 4.75\text{ V to } 5.25\text{ V}$, $T_A = -40^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$, See Note 6	± 0.05			± 0.05			%/V
Linearity error (see Note 7)		± 0.25			± 0.5			LSB
Zero error (see Note 8)		± 0.25			± 0.25			LSB
Total unadjusted error (See Note 9)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.25 ± 0.5			± 0.5			LSB
	$T_A = -40^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	± 0.75			± 1.25			
	$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$				± 1			
t_{en}	Output enable time $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	80 250			80 250			ns
t_{dis}	Output disable time $C_L = 10\text{ pF}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	105 250			105 250			ns

†Typical values for all except supply voltage sensitivity are at $V_{CC} = 5\text{ V}$, and all are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 4. Refer to the operating sequence diagram.

5. For clock frequencies other than 640 kHz, $t_d(\text{EOC})$ maximum is 8 clock periods plus 2 μs .

6. Supply voltage sensitivity relates to the ability of an analog-to-digital converter to maintain accuracy as the supply voltage varies. The supply and V_{ref+} are varied together and the change in accuracy is measured with respect to full-scale.

7. Linearity error is the maximum deviation from a straight line through the end points of the A/D transfer characteristic.

8. Zero error is the difference between 00000000 and the converted output for zero input voltage; full-scale error is the difference between 11111111 and the converted output for full-scale input voltage.

9. Total unadjusted error is the maximum sum of linearity error, zero error, and full-scale error.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808, ADC0809 CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXERS

PRINCIPLES OF OPERATION

The ADC0808 and ADC0809 each consists of an analog signal multiplexer, an 8-bit successive-approximation converter, and related control and output circuitry.

multiplexer

The analog multiplexer selects 1 of 8 single-ended input channels as determined by the address decoder. Address control loads the address code into the decoder on a low-to-high transition. The output latch is reset by the positive-going edge of the start pulse. Sampling also starts with the positive-going edge of the start pulse and lasts for 32 clock periods. The conversion process may be interrupted by a new start pulse before the end of 64 clock periods. The previous data will be lost if a new start of conversion occurs before the 64th clock pulse. Continuous conversion may be accomplished by connecting the End-of-Conversion output to the start input. If used in this mode an external pulse should be applied after power up to assure start up.

converter

The CMOS threshold detector in the successive-approximation conversion system determines each bit by examining the charge on a series of binary-weighted capacitors (Figure 1). In the first phase of the conversion process, the analog input is sampled by closing switch S_C and all S_T switches, and by simultaneously charging all the capacitors to the input voltage.

In the next phase of the conversion process, all S_T and S_C switches are opened and the threshold detector begins identifying bits by identifying the charge (voltage) on each capacitor relative to the reference voltage. In the switching sequence, all eight capacitors are examined separately until all 8 bits are identified, and then the charge-convert sequence is repeated. In the first step of the conversion phase, the threshold detector looks at the first capacitor (weight = 128). Node 128 of this capacitor is switched to the reference voltage, and the equivalent nodes of all the other capacitors on the ladder are switched to REF^- . If the voltage at the summing node is greater than the trip-point of the threshold detector (approximately one-half the V_{CC} voltage), a bit is placed in the output register, and the 128-weight capacitor is switched to REF^- . If the voltage at the summing node is less than the trip point of the threshold detector, this 128-weight capacitor remains connected to REF^+ through the remainder of the capacitor-sampling (bit-counting) process. The process is repeated for the 64-weight capacitor, the 32-weight capacitor, and so forth down the line, until all bits are counted.

With each step of the capacitor-sampling process, the initial charge is redistributed among the capacitors. The conversion process is successive approximation, but relies on charge redistribution rather than a successive-approximation register (and reference DAC) to count and weigh the bits from MSB to LSB.

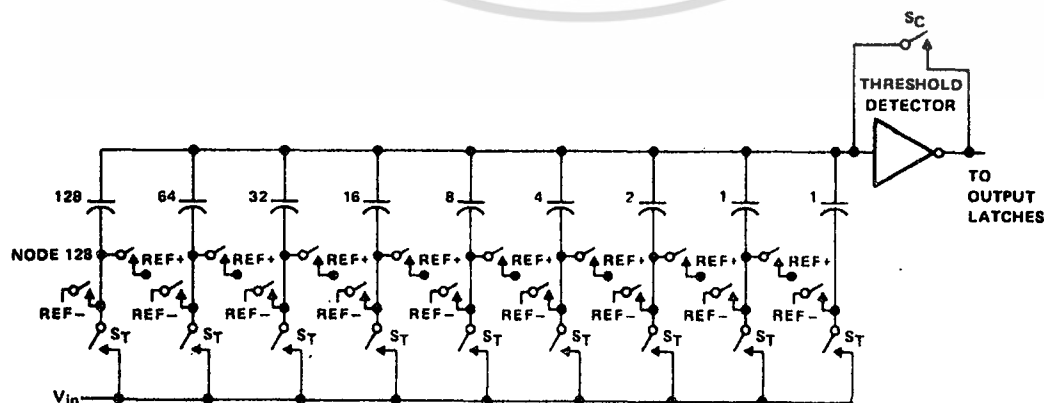


FIGURE 1. SIMPLIFIED MODEL OF THE SUCCESSIVE-APPROXIMATION SYSTEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER
D2842, NOVEMBER 1986—REVISED MAY 1988

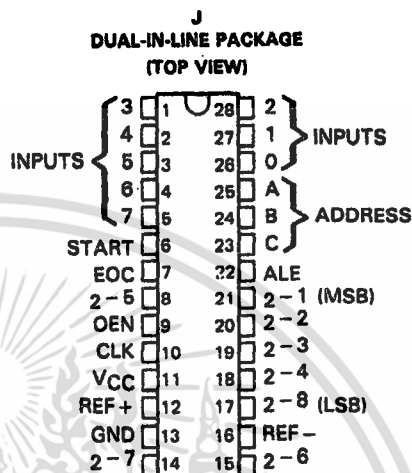
- Total Unadjusted Error . . . ± 0.75 LSB Max
- Resolution of 8 Bits
- 100 μ s Conversion Time
- Ratiometric Conversion
- Monotonous Over the Entire A/D Conversion Range
- No Missing Codes
- Easy Interface with Microprocessors
- Latched 3-State Outputs
- Latched Address Inputs
- Single 5-Volt Supply
- Low Power Consumption
- Designed to be Interchangeable with National Semiconductor ADC0808CJ

description

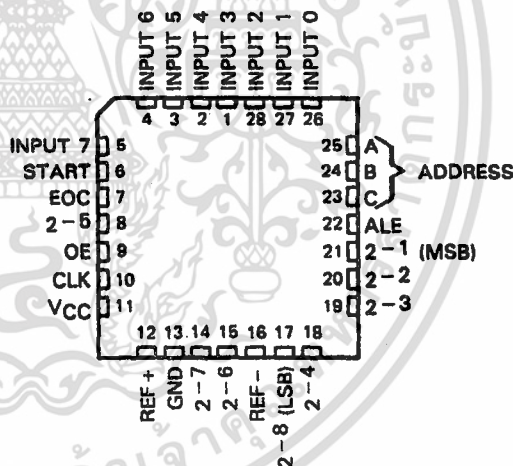
The ADC0808M is a monolithic CMOS device with an 8-channel multiplexer, an 8-bit analog-to-digital (A/D) converter, and microprocessor-compatible control logic. The 8-channel multiplexer can be controlled by a microprocessor through a 3-bit address decoder with address load to select any one of eight single-ended analog switches connected directly to the comparator. The 8-bit A/D converter uses the successive-approximation conversion technique featuring a high-impedance threshold detector, a switched capacitor array, a sample-and-hold, and a successive-approximation register (SAR). Detailed information on interfacing to most popular microprocessors is readily available from the factory.

The comparison and converting methods used eliminate the possibility of missing codes, nonmonotonicity, and the need for zero or full-scale adjustment. Also featured are latched 3-state outputs from the SAR and latched inputs to the multiplexer address decoder. The single 5-volt supply and low power requirements make the ADC0808M especially useful for a wide variety of applications. Ratiometric conversion is made possible by access to the reference voltage input terminals.

The ADC0808M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C .



FK PACKAGE
(TOP VIEW)

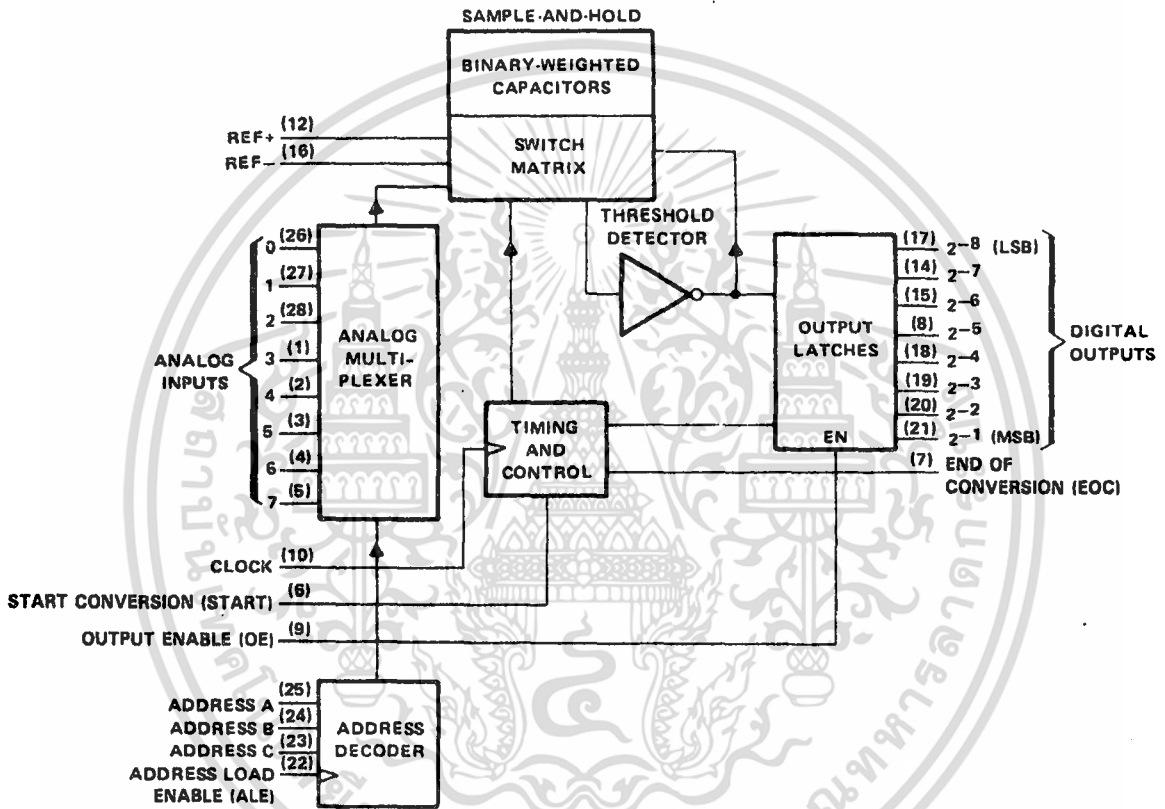


2
Data Sheets

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

functional block diagram (positive logic)

2
Data Sheets



MULTIPLEXER FUNCTION TABLE

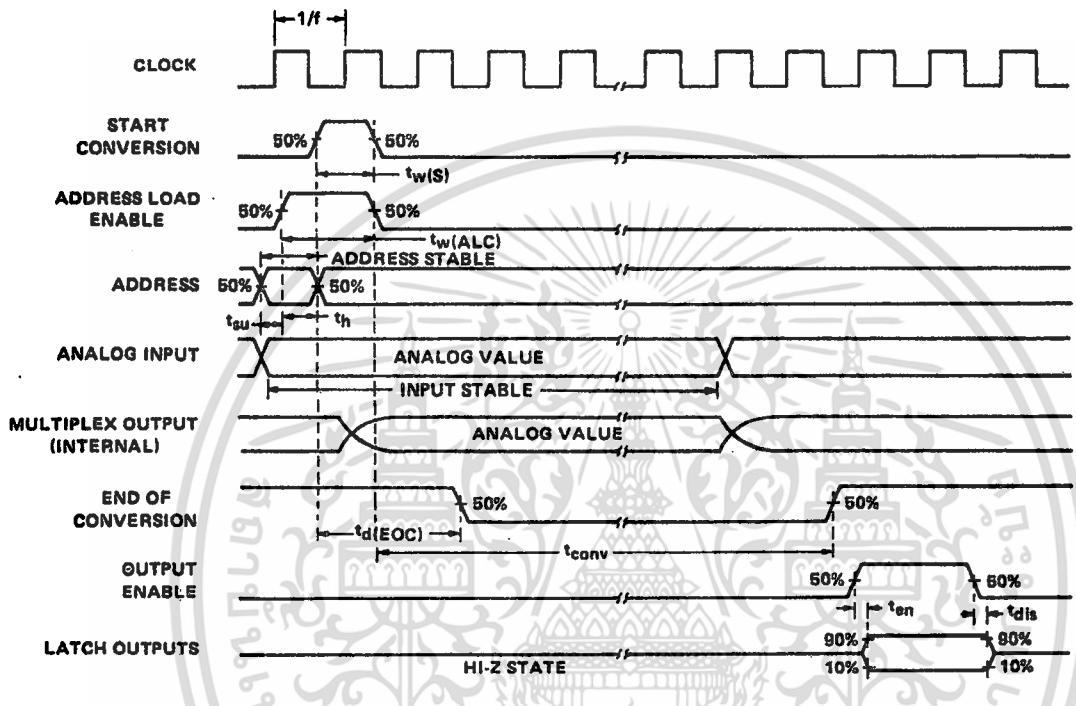
INPUTS				SELECTED
ADDRESS			ADDRESS	ANALOG
C	B	A	STROBE	CHANNEL
L	L	L	↑	0
L	L	H	↑	1
L	H	L	↑	2
L	H	H	↑	3
H	L	L	↑	4
H	L	H	↑	5
H	H	L	↑	6
H	H	H	↑	7

H = high level, L = low level
 ↑ = low-to-high transition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

operating sequence



2
Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	6.5 V
Input voltage range: control inputs	-0.3 to 15 V
all other inputs	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Operating free-air temperature range	-55°C to 125°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: J package	300°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	6	V
Positive reference voltage, V_{ref+} (see Note 2)		V_{CC}	$V_{CC} + 0.1$	V
Negative reference voltage, V_{ref-}		0	-0.1	V
Differential reference voltage, $V_{ref+} - V_{ref-}$		5		V
High-level input voltage, V_{IH}	$V_{CC} - 1.5$			V
Low-level input voltage, V_{IL}			1.5	V
Start pulse duration, $t_w(S)$	200			ns
Address load control pulse duration, $t_w(ALC)$	200			ns
Address setup time, t_{su}	50			ns
Address hold time, t_h	50			ns
Clock frequency, f_{clock}	10	640	1280	kHz
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	°C

NOTE 2: Care must be taken that this rating is observed even during power-up.

Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M
CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 4.5\text{ V}$ to 5.5 V (unless otherwise noted)

total device

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	$I_O = -360\ \mu\text{A}$	$V_{CC}-0.4$			V
V_{OL}	Low-level output voltage	Data outputs			0.45	V
		End of conversion	$I_O = 1.2\ \text{mA}$		0.45	
I_{OZ}	Off-state (high-impedance-state) output current	$V_O = V_{CC}$			3	μA
		$V_O = 0$			-3	
I_I	Control input current at maximum input voltage	$V_I = 15\ \text{V}$			1	μA
I_{IL}	Low-level control input current	$V_I = 0$			-1	μA
I_{CC}	Supply current	$f_{\text{clock}} = 640\ \text{kHz}$		0.3	3	mA
C_I	Input capacitance, control inputs	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10		pF
C_O	Output capacitance, data outputs	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10		pF
	Resistance from pin 12 to pin 16			1000		k Ω

analog multiplexer

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
I_{on}	Channel on-state current (see Note 3)	$V_I = V_{CC}$, $f_{\text{clock}} = 640\ \text{kHz}$			2	μA
		$V_I = 0$, $f_{\text{clock}} = 640\ \text{kHz}$			-2	
I_{off}	Channel off-state current	$V_{CC} = 5\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	200	nA
		$V_I = 0$		-10	-200	
		$V_{CC} = 5\ \text{V}$			1	μA
		$V_I = 0$			-1	

†Typical values are at $V_{CC} = 5\ \text{V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 3: Channel on-state current is primarily due to the bias current into or out of the threshold detector, and it varies directly with clock frequency.

timing characteristics, $V_{CC} = V_{\text{ref}+} = 5\ \text{V}$, $V_{\text{ref}-} = 0\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{clock}	Clock frequency		10	640	1280	kHz
t_{conv}	Conversion time	See Notes 4 and 5 and Figure 1	90	100	116	μs
t_{enH}	Enable time, high	See Figure 1		150	360	ns
t_{enL}	Enable time, low	See Figure 1		90	250	ns
t_{dis}	Output disable time	See Figure 1		200	405	ns
$t_{w(\text{s})}$	Pulse duration, START		200			ns
$t_{w(\text{ALE})}$	Pulse duration, ALE		200			ns
t_{su}	Setup time, ADDRESS		50			ns
t_{h}	Hold time, ADDRESS		50			ns
$t_{\text{d(EOC)}}$	Delay time, EOC	See Notes 4 and 6 and Figure 1	0		14.5	μs

NOTES: 4. Refer to the operating sequence diagram.

5. For clock frequencies other than 640 kHz, t_{conv} is 57 clock cycles minimum and 74 clock cycles maximum.

6. For clock frequencies other than 640 kHz, $t_{\text{d(EOC)}}$ maximum is 8 clock cycles plus 2 μs .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

operating characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = V_{\text{ref}+} = 5\text{ V}$, $V_{\text{ref}-} = 0\text{ V}$, $f_{\text{clock}} = 640\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
kSVS Supply voltage sensitivity	$V_{CC} = V_{\text{ref}+} = 4.5\text{ V to } 5.5\text{ V}$, $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$, See Note 7		± 0.05		%/V
Linearity error (see Note 8)			± 0.25		LSB
Zero error (see Note 9)			± 0.25		LSB
Total unadjusted error (see Note 10)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 0.25	± 0.5	LSB
	$T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$			± 0.75	

† Typical values for all except supply voltage sensitivity are at $V_{CC} = 5\text{ V}$, and all are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTES: 7. Supply voltage sensitivity relates to the ability of an analog-to-digital converter to maintain accuracy as the supply voltage varies. The supply and $V_{\text{ref}+}$ are varied together and the change in accuracy is measured with respect to full-scale.

8. Linearity error is the maximum deviation from a straight line through the end points of the A/D transfer characteristic.

9. Zero error is the difference between 00000000 and the converted output for zero input voltage; full-scale error is the difference between 11111111 and the converted output for full-scale input voltage.

10. Total unadjusted error is the maximum sum of linearity error, zero error, and full-scale error.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

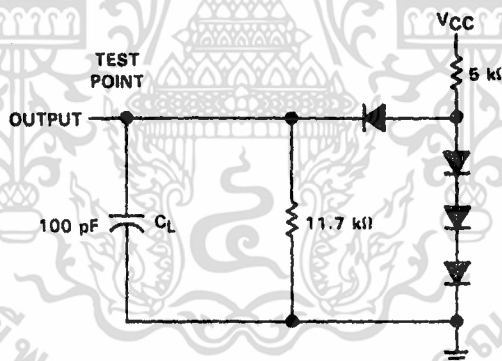


FIGURE 1. TEST CIRCUIT

2

Data Sheets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808M CMOS ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH 8-CHANNEL MULTIPLEXER

PRINCIPLES OF OPERATION

The ADC0808M consists of an analog signal multiplexer, an 8-bit successive-approximation converter, and related control and output circuitry.

multiplexer

The analog multiplexer selects 1 of 8 single-ended input channels as determined by the address decoder. Address load control loads the address code into the decoder on a low-to-high transition. The output latch is reset by the positive-going edge of the start pulse. Sampling also starts with the positive-going edge of the start pulse and lasts for 32 clock periods. The conversion process may be interrupted by a new start pulse before the end of 64 clock periods. The previous data will be lost if a new start of conversion occurs before the 64th clock pulse. Continuous conversion may be accomplished by connecting the End-of-Conversion output to the start input. If used in this mode an external pulse should be applied after power up to assure start up.

converter

The CMOS threshold detector in the successive-approximation conversion system determines each bit by examining the charge on a series of binary-weighted capacitors (Figure 2). In the first phase of the conversion process, the analog input is sampled by closing switch S_C and all S_T switches, and by simultaneously charging all the capacitors to the input voltage.

In the next phase of the conversion process, all S_T and S_C switches are opened and the threshold detector begins identifying bits by identifying the charge (voltage) on each capacitor relative to the reference voltage. In the switching sequence, all eight capacitors are examined separately until all 8 bits are identified, and then the charge-convert sequence is repeated. In the first step of the conversion phase, the threshold detector looks at the first capacitor (weight = 128). Node 128 of this capacitor is switched to the reference voltage, and the equivalent nodes of all the other capacitors on the ladder are switched to REF-. If the voltage at the summing node is greater than the trip-point of the threshold detector (approximately one-half the V_{CC} voltage), a bit is placed in the output register, and the 128-weight capacitor is switched to REF-. If the voltage at the summing node is less than the trip point of the threshold detector, this 128-weight capacitor remains connected to REF+ through the remainder of the capacitor-sampling (bit-counting) process. The process is repeated for the 64-weight capacitor, the 32-weight capacitor, and so forth down the line, until all bits are counted.

With each step of the capacitor-sampling process, the initial charge is redistributed among the capacitors. The conversion process is successive approximation, but relies on charge redistribution rather than a successive-approximation register (and reference DAC) to count and weigh the bits from MSB to LSB.

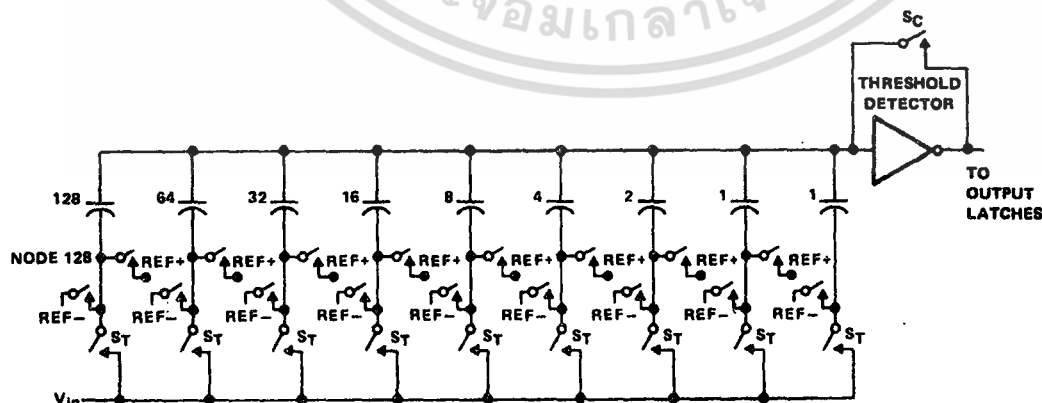


FIGURE 2. SIMPLIFIED MODEL OF THE SUCCESSIVE-APPROXIMATION SYSTEM

เอกสารอ้างอิง

1. การสื่อสารสัญญาณแสง ของอภิรักษ์ มั่นขานนท์ , ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม เทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
2. การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ของสุนทร วิฑูรพงษ์ , บริษัท ซีอีค ยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
3. semiconductor electronics journal ฉบับที่ 100 การเชื่อมต่องานทดลองทางที่ลิกต์กับคอมพิวเตอร์ , จิตี หนูแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้