

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจหาแนวทางของแสงอาทิตย์
(SOLAR TRACKING)



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36924
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้ยืมไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2542


ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจหาแนวทางของแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นางสาวตันทันท์ จินดา
2. นายศิริ ศิริไพบุตย์


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์พลศาสตร์ เดิสรประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ โครงการ เครื่องตรวจหาแนวทางของแสงอาทิตย์
SOLAR TRACKING

ชื่อ นักศึกษา นางสาวศินันท์ จินดา 39014423
นายศิริ ศิริไพบูลย์ 39014517

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้



(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจหาแนวทางของแสงอาทิตย์

นางสาวรัตนันท์ จินดา

นายศิริ ศิริไพบูลย์

ยาเขารักษ์พตศาสตร์ เตีศประเสริฐ

(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแผ่น Solar cells ในการหาค่าแทนที่แผ่น Solar cells ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยจะใช้ค่าสัญญาณดิจิทัล 8 บิต (ที่ถูก A/D Converter เปลี่ยนมาจากค่า Voltage ที่ได้มาจากแผ่น Solar cells) ในการประมวลผลเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์และ การทำงานของวงจร Charge Battery (เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้งานต่อไป) ซึ่งผลของการประมวลผลจะถูกส่งไปแสดงที่หน้าจอกอมพิวเตอร์ในรูปของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับโดยประมาณ ในช่วงเวลาต่างๆ

Solar Tracking

Miss Ratinan Chinda

Mr. Siri Siripiboon

Mr. Polasart Lertprasert(Adviser)

Education Year 1999

Abstract

This project is about applying of using the microcontroier MCS-51 to control the moving of the solar cells plate to search the position that give the maximum power by using the 8-bit digital value (from changing the voltage of Solar cells plate by A/D converter) for the processing of the microcontroier that is used to control the rotating of the motors and the processing of the Charging Battery circuit . The result of the processing will be shown on the monitor as the approximate voltage value from the solar cells (at each time) .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
สารบัญ	iii
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ความรู้ประกอบ	2
2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	2
2.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	3
2.3 โครงสร้างหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	3
2.3.1 หน่วยความจำโปรแกรม	4
2.3.1.1 หน่วยความจำโปรแกรมภายใน	5
2.3.1.2 หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก	5
2.3.2 หน่วยความจำข้อมูล	6
2.4 ไทม์เมอร์คาน์เตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	6
2.5 ชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	7
2.6 โครงสร้างอินเตอร์รัพต์ของเอ็มซีเอส-51	9
2.7 การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล	12
2.7.1 หลักการของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D converter)	13
2.7.2 วงจร A/D คอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter)	15
2.7.2.1 สโโลปคู่ (Dual Slop)	15
2.8 เซลล์แสงอาทิตย์	18
2.8.1 ทฤษฎีแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	18
2.8.2 ลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่มีต่อแสง	21
2.8.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell Module)	26
2.8.5	ลักษณะและพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	29
2.8.6	วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	30
2.8.7	ผลตอบสนองและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเซลล์แสงอาทิตย์	31
2.8.8	ข้อมูลต่างๆที่มากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	37
2.8.9	ประสิทธิภาพของเซลล์และประสิทธิภาพของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์	38
2.8.10	พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย	38
2.9	คอนโทรลของ Visual Basic	40
2.9.1	คอนโทรลที่สำคัญๆ ที่ได้นำมาใช้กับโครงการนี้	41
2.9.1.1	คอนโทรลภายใน	41
2.9.1.1.1	คอนโทรล ComumandButton (Command Button)	41
2.9.1.1.2	คอนโทรล TextBox (Text Box)	42
2.9.1.1.3	คอนโทรล Label (Label)	43
2.9.1.2	คอนโทรล Communications	44
2.9.1.2.1	คอนโทรล MSComm (Communication)	45
2.9.1.3	การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟ	46
2.9.1.3.1	Property ของ Graph	47
2.9.1.3.2	การกำหนดข้อมูลให้กับกราฟ	48
บทที่ 3 โครงสร้างและวงจรที่ใช้งาน		51
3.1	โครงสร้างทางด้านกลศาสตร์	51
3.2	วงจรควบคุมการหมุนของมอเตอร์โดยใช้ทวานซิสเตอร์	53
3.3	วงจร analog to digital	54
3.4	Flow chart แสดงการทำงานของ การ Tracking	56
3.5	การต่อ MAX232 เพื่อการอินเตอร์เฟสแบบ Serial กับ Port ของคอมพิวเตอร์	58
3.6	วงจร Charge Battery	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง	60
4.1 ผลการทดลองของวงจร Analog to Digital	60
4.2 ผลการทดลองวัดค่า Voltage ของ Solar cells ที่ Load และความเข้มแสงค่าต่างๆ	60
4.3 ผลการทดลองจากการ Tracking ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์	62
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	65
5.1 สรุปผลการทดลอง	65
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	65
5.3 ปัญหา อุปสรรค และ แนวทางแก้ไข	65
5.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ	66
ภาคผนวก	67
1. โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของ MCS-51	68
2. หน้าจอของการแสดงผล	78
2.1 Form1	78
2.2 Form2	79
2.3 Form3	80
2.4 Form4	81
3. โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกสำหรับการแสดงผลหน้าจอ	82
Form1	82
Form2	90
Form3	92
Form4	94
4. Data Sheet ของ A/D Converter เบอร์ 0804	97
5. Data Sheet ของ MAX232	108
6. Data Sheet ของ LM311	116
หนังสืออ้างอิง	123
กิตติกรรมประกาศ	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 แสดงการจัดวางขาต่างๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	3
รูป 2.2 แสดงโครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	4
รูป 2.3 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	5
รูป 2.4 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51	7
รูป 2.5 แสดงบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ IE (Interrupt Enable)	9
รูป 2.6 แสดงบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ IP (Interrupt Priority)	10
รูป 2.7 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	12
รูป 2.8 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D คอนเวอร์เตอร์	13
รูป 2.9 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิทัลด้วย A/D คอนเวอร์เตอร์	14
รูป 2.10 วงจร Sample and Hold	14
รูป 2.11 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์	15
รูป 2.12 ตัวแปลงสัญญาณ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบแรมป์	15
รูป 2.13 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/D คอนเวอร์เตอร์	16
รูป 2.14 ลักษณะแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำ และ ฉนวน	19
รูป 2.15 โครงสร้างอะตอมของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ และสารกึ่งตัวนำที่ผ่านกระบวนการ ได้ปี	20
รูป 2.16 ระดับชั้นพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ N-Type และ P-Type	21
รูป 2.17 แผนภูมิพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ Direct และ Indirect Bandgap	23
รูป 2.18 การดูดกลืนโฟตอนในสารกึ่งตัวนำที่เป็น Indirect Bandgap	23
รูป 2.19 พาหะนำไฟฟ้าที่ถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้าของหัวต่อพีเอ็น	24
รูป 2.20 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพีเอ็น	25
รูป 2.21 เส้นลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	29
รูป 2.22 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	30
รูป 2.23 แสดง I-V characteristic curve	32
รูป 2.24 แสดงผลจากความเข้มแสงที่ค่าต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25°C	33
รูป 2.25 แสดง Time response ของ Photovoltaic Cds cell	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.26	แสดง Voc ที่อุณหภูมิต่างๆ	35
รูป 2.27	แสดง Isc ที่อุณหภูมิต่างๆ	35
รูป 2.28	ประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่างๆ	36
รูป 2.29	แสดงคอนโทรล CommandButton ในขณะออกแบบ	42
รูป 2.30	แสดงคอนโทรล TextBox ในการออกแบบ	43
รูป 2.31	แสดงคอนโทรล Label ในขณะออกแบบ	43
รูป 2.32	แสดงคอนโทรล MSComm ในขณะออกแบบ	46
รูป 2.33	การเลือกคอนโทรลกราฟในจอภาพคอมพิวเตอร์	47
รูป 2.34	คอนโทรลกราฟที่ปรากฏอยู่ใน Toolbox	47
รูป 2.35	ชนิดของกราฟ	48
รูป 2.36	การวาดรูปกราฟลงบน Form	48
รูป 2.37	รูปภาพขณะรันโปรแกรม	49
รูป 2.38	การวาดรูปกราฟลงบน Form	49
รูป 2.39	รูปภาพขณะรันโปรแกรม	50
รูป 3.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมทิศทางการรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051	51
รูป 3.2	โครงสร้าง	51
รูป 3.3	แสดงองค์ประกอบของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์	52
รูป 3.4	แสดงการตกกระทบของแสงบนแผ่นสะท้อนแสง	53
รูป 3.5	แสดงรูปวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	53
รูป 3.6	การต่อวงจรที่ใช้งานระหว่าง MCS-51 กับ ADC 0804	55
รูป 3.7	Flow chart แสดงการทำงานของ การ Tracking	56
รูป 3.8	แสดงการต่อ MAX-232 เพื่อการอินเทอร์เฟซแบบ Serial กับ port ของคอมพิวเตอร์	58
รูป 3.9	วงจร Charge Battery	59
รูป 4.1	รูปภาพที่ได้จากผลการทดลอง	62
รูป 4.2	ผลการทดลองจากการ Tracking ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ก-ค)	63
รูป 4.2	ผลการทดลองจากการ Tracking ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ง-ฉ)	64

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงระดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัพต์ในเอ็มซีเอส-51	10
ตาราง 2.2 แสดงตำแหน่งอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์ของสัญญาณอินเตอร์รัพต์ต่างๆ	11
ตาราง 2.3 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย	39
ตาราง 4.1 ผลการทดลองวงจร Analog to Digital	60
ตาราง 4.2 ความเข้มแสงค่าที่ 1	60
ตาราง 4.3 ความเข้มแสงค่าที่ 2	61
ตาราง 4.4 ความเข้มแสงค่าที่ 3	61
ตาราง 4.5 ความเข้มแสงค่าที่ 4	61



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานได้โดยการใช้ Solar cells เป็นตัวแปลงพลังงาน ซึ่ง Solar cells จะสามารถแปลงพลังงานได้มากน้อยแค่ไหนนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง มุมในการตกกระทบของแสงอาทิตย์บนแผ่น Solar cells ก็เป็นปัจจัยหนึ่ง (โดยการตกกระทบในแนวตั้งฉากจะทำให้เกิดการแปลงพลังงานมากที่สุด) ซึ่งการควบคุมให้แผ่น Solar cells เคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งที่ให้พลังงานมากที่สุดจะทำให้เกิดการแปลงพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อให้แผ่น Solar cells สามารถหมุนหาค่าตำแหน่งที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาต่างๆและนำพลังงานที่ได้ สะสมไว้ในแบตเตอรี่ได้
- เพื่อแสดงผลของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยประมาณ ในรูปของกราฟที่ช่วงเวลาต่างๆ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควบคุมการหมุนของแผ่น Solar cells เพื่อหาค่าตำแหน่งที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและควบคุมการ Charge Battery ได้
- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงผลรูปกราฟที่ช่วงเวลาต่างๆ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.4 วิธีดำเนินการ

- ศึกษาการทำงานและการใช้งานของ Solar cells , A/D Converter ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 , วงจร Drive motor และ วงจร Charge Battery
- ศึกษาการอินเทอร์เฟสไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับเครื่องคอมพิวเตอร์
- เขียนโปรแกรมสำหรับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 และการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย

- เข้าใจการใช้งาน A/D Converter , วงจร Drive motor และ วงจร Charge Battery
- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้
- สามารถเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้ประกอบ

ลักษณะงานที่เหมาะสมกับการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานนั้น มักจะเป็นงานประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม หรือจัดการสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และวงจรดิจิทัลต่าง ๆ เช่น ระบบแสดงผล หรือระบบเตือนภัย ระบบควบคุมภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งงานควบคุมเหล่านี้มัก ไม่มีการคิดคำนวณที่ซับซ้อนมากนัก และต้องการพื้นที่ของแผงวงจรควบคุมที่จำกัด

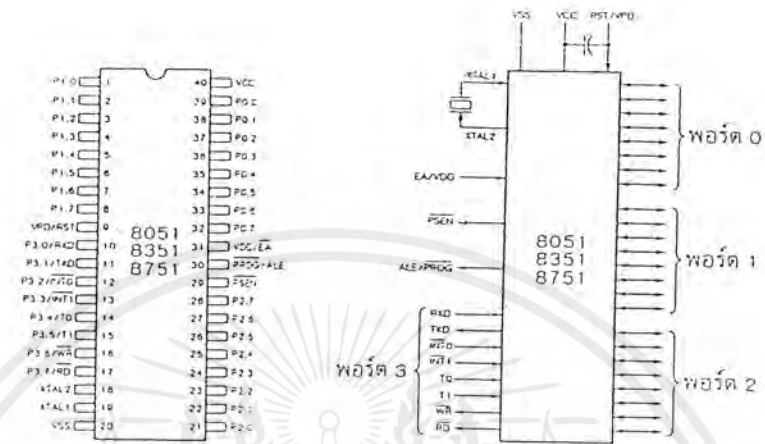
2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51

มีคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญ ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51 ประกอบด้วย

- มีหน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- มีหน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต หรือแบบบูลีน (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบ อีพรอม (EPROM:เบอร์8751) หรือแบบรอม (ROM:เบอร์8051)
- หน่วยความจำแบบภายใน (INTERNAL RAM) จำนวน 128 ไบต์
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- มีวงจรนับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวนสองวงจร
- มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
- มีวงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท และยังสามารถกำหนดลำดับความสามารถได้สองระดับ
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

โดยมากแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มักจะมีรูปร่างของไอซี ขนาด 40 ขาดังแสดงในรูป 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 แสดงการจัดวางขาต่าง ๆ ของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51

2.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส-51 แสดงได้ดังรูป 2.2 ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละบล็อกที่เป็น วงจรควบคุม, รีจิสเตอร์ (Register) หรือหน่วยความจำภายใน จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันผ่านทางเส้นสัญญาณที่เรียกว่าบัสข้อมูลภายใน รีจิสเตอร์และหน่วยความจำเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ระหว่างการประมวลผลคำสั่ง หน้าที่ของโปรแกรมที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา ก็เป็นการควบคุมการรับหรือส่งข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์เหล่านี้ ซึ่งอาจจะมีการดำเนินการร่วมกับหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and Logic Unit) ด้วย

2.3 โครงสร้างหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส-51 แยกการจัดการหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และ หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำทั้งสองนี้ มีหน้าที่ที่แตกต่างกันไปจากกัน และใช้วิธีการอ้างแอดเดรส สัญญาณการตีคือแยกออกจากกัน

ตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้น จะต้องทำการพิจารณา ระดับลอจิกของสัญญาณ EA ในขณะนั้นด้วย

2.3.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) เป็น แรม ขนาด 128 ไบต์ โดยจะใช้เนื้อที่ แยกต่างหากจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ตำแหน่ง 00H-1FH รวม 32 ไบต์ จะถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ตัว (RO-R7) โดยจะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวในขณะใดขณะหนึ่ง โดยดูจากบิต RSO,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ถัดจากกลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปทั้ง 4 กลุ่ม ตั้งแต่ตำแหน่ง 20H-2FH รวม 16 ไบต์ จะสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต ในแต่ละบิตของหน่วยความจำ ส่วนนี้จะมีหมายเลขตำแหน่งกำหนดไว้แน่นอน โดยมีหมายเลขเริ่มต้นตั้งแต่ 00FH-007FH รวม 128 บิต

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะจะเริ่มตั้งแต่ตำแหน่ง 80H-OFFH รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเฉพาะแต่ละตัวมีไว้เพื่อควบคุมการทำงานและรายงานผลการทำงานของวงจรภายในชิปที่ทำหน้าที่เฉพาะต่าง ๆ เช่น รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TCON ใช้ควบคุม การทำงานของไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON ใช้ควบคุมและรายงานการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม และรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัวที่มีหมายเลขตำแหน่ง 3 บิตสุดท้ายเป็น 0 (xxxxx000) สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิตอีกด้วย

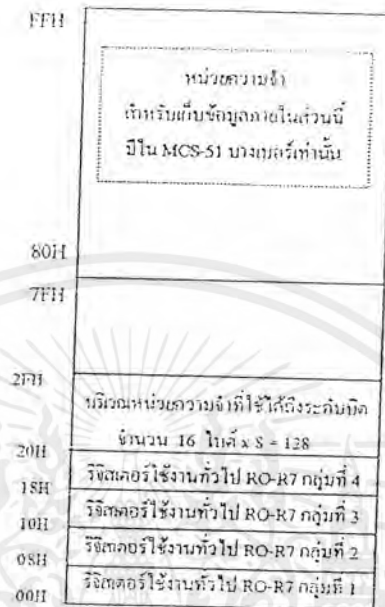
2.4 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ซีเอส-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส-51 มีรีจิสเตอร์พิเศษที่สามารถใช้งานเป็นไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์ได้อย่างใดอย่างหนึ่งอยู่ 2 ตัว แต่ละตัวมีขนาด 16 บิตมีชื่อเรียกว่าไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ 0 ประกอบจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TLO และ THO ส่วนที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ 1 ประกอบจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TL1 และ TH1 โดยการใช้ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1 จะต้องเกี่ยวข้องกับรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ 2 ตัว คือ TMOD (Timer/Counter Mode control Register) และ TCON (Timer/Counter Control Register) การเลือกใช้ไทม์เมอร์ ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์จะถูกเพิ่มค่าทุก ๆ แมกซิมัซเกิด นั่นคือเป็นรีจิสเตอร์ที่นับจำนวนแมกซิมัซไซเคิลนั่นเอง

การเลือกใช้เคาน์เตอร์ ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นเคาน์เตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะซึ่งตรวจจับได้ที่ขา TO หรือ T1 ขึ้นกับรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการจัดพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูล ได้แสดงในรูปที่ 2.4



รูป 2.4 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลสำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซีเอส-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถโปรแกรมให้มันทำงานได้ต่างกันถึง 4 โหมด โดยการตั้งค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ซึ่งการทำงานแต่ละโหมดจะเป็นดังนี้

โหมด 0 โดยรีจิสเตอร์นี้จะถูกกำหนดให้มี 13 บิต ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ TH1 8 บิต และ TL1 อีก 5 บิตอันคล้าย

โหมด 1 โดยการทำงานจะเหมือนกับโหมด 0 ทุกอย่าง ยกเว้นรีจิสเตอร์ตัวนี้จะ เป็น 16 บิต

โหมด 2 จะใช้รีจิสเตอร์ TL1 เป็นตัวนับเพียงตัวเดียวและเมื่อ TL1 นับจนเป็น "1" หมดทุกบิต ก็จะมีการโหลดค่าจากรีจิสเตอร์ TH1 เข้าไปไว้ใน TL1 โดยอัตโนมัติและทำการ ทดแทนฟลิปฟล็อปรีจิสเตอร์ TF1 ให้เป็น "1" ค่าใน TH1 นี้เราสามารถตั้งค่าโดยซอฟต์แวร์

โหมด 3 เป็นการเพิ่มตัวจับเวลาขึ้นอีก 1 ตัวแต่จะเป็นขนาด 8 บิต ทั้งคู่ ซึ่งลักษณะการทำงานอื่น ๆ จะเหมือนกับโหมด 0

สำหรับรายละเอียดบิตควบคุมในรีจิสเตอร์ TMOD และรีจิสเตอร์ TCON ได้แสดงไว้ในภาคผนวกแล้ว

2.5 ชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์เอ็มซีเอส-51

คำสั่งทั้งหมดสามารถแยกเป็นประเภทตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instructions) เป็นกลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยการ บวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งคำสั่งในการเพิ่มข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป

กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instruction) ประกอบด้วยคำสั่งทางตรรกศาสตร์ เช่น AND, OR, Exclusive-OR, Complement รวมทั้งคำสั่งสำหรับเลื่อนบิตข้อมูลไปทางซ้าย หรือขวา โดยผ่านบิต Carry flag หรือ ไม่ก็ ไล่นอกจากนี้ยังมีคำสั่งพิเศษที่ใช้ในการสลับที่ข้อมูล 4 บิตบน และ 4 บิตล่าง (swap)

กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer Instruction) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูล เพื่อใช้ในการนำข้อมูลที่ได้ออกจากการประมวลผล ไปเก็บยังหน่วยความจำบริเวณใด หรือเพื่อย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์เพื่อประมวลผล เนื่องจากคำสั่งบางคำสั่งจำเป็นต้องทำที่รีจิสเตอร์เฉพาะตัวเท่านั้น เช่น คำสั่งในการคูณหรือหารที่ต้องทำงานกับรีจิสเตอร์ A,B เท่านั้น คำสั่งนี้ยังแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ดังนี้

- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป
- กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลสำหรับเก็บ โปรแกรมทั้งภายในและภายนอกชิป

กลุ่มคำสั่งในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม (Program Control Instruction) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม ในกลุ่มคำสั่งนี้ยังแบ่งออกเป็นคำสั่งที่ควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม โดยมีเงื่อนไข และ ไม่มีเงื่อนไข

กลุ่มคำสั่งสำหรับการประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instructions) การประมวลผลแบบนี้มีสำหรับงานทางด้านควบคุมโดยเฉพาะ โดยการประมวลผลแบบบูลีนจะเป็นการประมวลผลด้วยข้อมูลขนาด 1 บิต โดยมีหน่วยความจำขนาด 1 บิต สำหรับประมวลผลซึ่งสามารถที่จะอ้างตำแหน่งได้โดยตรง ซึ่งหน่วยความจำนี้จะอยู่ในบริเวณเดียวกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปในชิป และที่เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะบางตัว โดยการประมวลผลแบบนี้จะประกอบด้วย

- เซตบิต
- เกล็ดยร์บิต
- กระทำคำสั่งทางตรรกศาสตร์ระหว่างหน่วยความจำกับบิต แครี่แฟล็ก
- ตรวจสอบสถานะบิตและข้ามไปทำงานในส่วนอื่นของโปรแกรมขึ้นกับสถานะบิต
- เคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่าง แครี่แฟล็ก กับหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 โครงสร้างอินเตอร์รัพต์ของเอ็มซีเอส-51

ตามโครงสร้างค่านการอินเตอร์รัพต์ของเอ็มซีเอส-51 สามารถกำหนดเลือกเพื่อยินยอมหรือ ไม่ยินยอม (Enable/Disable) ให้มีการอินเตอร์รัพต์ของแต่ละสัญญาณได้ โดยใช้วิธีการกำหนดค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ IE(แสดงในรูป 2.5)ซึ่งจะมีทั้งแบบที่ระบุถึงอินเตอร์รัพต์โดยรวมทั้งหมด (บิตที่ 7) และอินเตอร์รัพต์แต่ละประเภทได้ ในกรณีที่กำหนดค่าข้อมูลเป็น 1 ให้กับบิตจะมีความหมายถึงการยินยอมให้มีการอินเตอร์รัพต์เกิดขึ้นได้ และจะเป็นกรณีตรงข้ามกันสำหรับการกำหนดค่าข้อมูลที่เป็น 0 และจำเป็นต้องทำการกำหนดให้ยินยอมการอินเตอร์รัพต์ทั้งหมดให้เกิดขึ้นก่อนจึงจะมีผลทำให้การกำหนดบิตเพื่อยินยอมของแต่ละอินเตอร์รัพต์มีผลขึ้นได้

การกำหนดระดับความสำคัญให้กับสัญญาณอินเตอร์รัพต์แต่ละประเภทนั้น สามารถทำได้โดยการกำหนดข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 หรือ 0 ให้กับบิตภายในรีจิสเตอร์ IP (Interrupt Priority) ดังแสดงในรูป 2.6 โดยหากว่ามีค่าเป็น 1 ก็จะทำให้สัญญาณอินเตอร์รัพต์นั้น ๆ มีระดับความสำคัญสูง และเป็นกรณีตรงข้ามกัน สำหรับการกำหนดค่าเป็น 0

IE: INTERRUPT ENABLE REGISTER, สามารถอ้างถึงแบบบิตได้

ชื่อบิต: IE

ตำแหน่ง: A8h

ค่าบิตเริ่มต้น: 0X00 0000

EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX
----	---	-----	----	-----	-----	-----	----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
EA	0IE.7	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์โดยรวม
	IE.6	
ET2	IE.5	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์ Timer2
ES	IE.4	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์พอร์ตอนุกรม
ET1	IE.3	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์ Timer2
EX1	IE.2	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์ INT1
ET0	IE.1	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์ INT1
EX0	IE.0	อีนาเบิล/คิสเอเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์ INTO

รูป 2.5 แสดงบิตต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ IE (Interrupt Enable)

IP: INTERRUPT PRIORITY REGISTER, สามารถอ้างถึงแบบบิตได้

ชื่อบิต: IP

ตำแหน่ง: B8h

ค่าบิตเริ่มต้น: 0000 0000

-	-	PT2	PS	PT1	PX	PT0	PX0
---	---	-----	----	-----	----	-----	-----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
	IP.7	
	IP.6	
PT2	IP.5	ระดับความสำคัญของ Timer1
PS	IP.4	ระดับความสำคัญของพอร์ตคอนโทรลเลอร์
PT1	IP.3	ระดับความสำคัญของ Timer1
PX1	IP.2	ระดับความสำคัญของ INT1
PT0	IP.1	ระดับความสำคัญของ Timer0
PX0	IP.0	ระดับความสำคัญของ INTO

รูป 2.6 แสดงบิตต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ IP (Interrupt Priority)

กรณีที่มีสัญญาณที่เข้ามาอินเทอร์รัพต์มีระดับความสำคัญเดียวกันเกิดขึ้นพร้อมกัน ก็อาจจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม เอ็มซีเอส-51 ก็มีโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ในการพิจารณาตามลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ดังตารางดังต่อไปนี้

ตาราง 2.1 แสดงระดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ในเอ็มซีเอส-51

ระดับความสำคัญ	สัญญาณ	ความหมาย
1	IE0	อินเทอร์รัพต์ภายนอก 0
2	TFO	วงจรรนับ/จับเวลา 0
3	IE1	อินเทอร์รัพต์ภายนอก 1
4	TF1	วงจรรนับ/จับเวลา 1
5	RI หรือ TI	วงจรรับหรือส่งข้อมูลอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการอินเทอร์รัพต์เกิดขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำคำสั่งที่กำลังดำเนินการอยู่ให้แล้วเสร็จจากนั้นจึงจะทำการเก็บค่าตำแหน่งแอดเดรสของคำสั่งที่จะทำงานต่อไปไว้ยังบริเวณของหน่วยความจำที่ถูกกำหนดไว้ให้เป็นสแต็ก (Stack) และกระโดดไปยังตำแหน่งแอดเดรสที่ได้มีการกำหนดไว้แน่นอนค่าแห่งหนึ่งโดยฮาร์ดแวร์ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งผู้ใช้จะต้องทำการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) ที่ตำแหน่งแอดเดรสเหล่านี้ไว้ ซึ่งเรียกว่า โปรแกรมย่อยบริการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Service Routine)

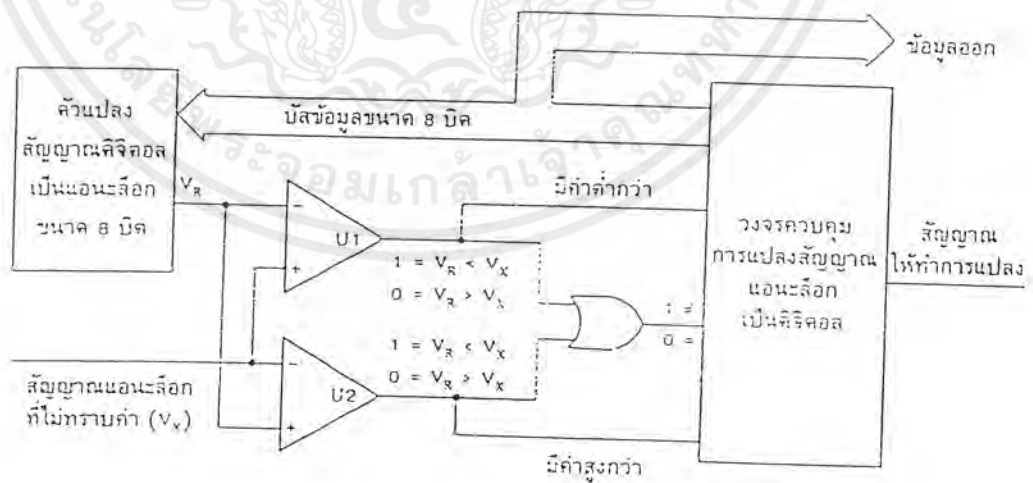
ตาราง 2.2 แสดงตำแหน่งอินเทอร์รัพต์แอดเดรสของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ต่าง ๆ

แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์	ตำแหน่งอินเทอร์รัพต์ (ฐานสิบหก)
อินเทอร์รัพต์ภายนอก 0	003
วงจรรีเซ็ต/จับเวลา 0	00B
อินเทอร์รัพต์ภายนอก 1	0013
วงจรรีเซ็ต/จับเวลา 1	001B
วงจรรีเซ็ต/ส่งข้อมูลอนุกรม	0023

2.7 การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ในการวัดสัญญาณต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์นั้น โดยทั่วไปจะทำการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ซึ่งต้องรับข้อมูลเป็นดิจิทัล ดังนั้นในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่เป็นสัญญาณอนาล็อกจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนจะนำไปประมวลผล

จากรูปแสดงตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่ประกอบด้วยตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกตัวเปรียบเทียบระดับสัญญาณไฟฟ้าตัวและวงจรควบคุมในวงจรนี้ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกจะสร้างสัญญาณอนาล็อกให้มีระดับสัปดาห์เท่ากับสัญญาณอนาล็อกที่ไม่ทราบค่า (ที่ป้อนเข้า) และเมื่อระดับสัปดาห์ไฟฟ้าทั้ง 2 มีค่าเท่ากัน ค่าเอาต์พุตที่ออกมาจะเป็น 0 นั้นหมายความว่าค่าเลขฐานสองที่เราป้อนเข้าตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกจะทำให้มันสร้างสัญญาณอนาล็อกที่มีสัปดาห์ไฟฟ้าเท่ากับสัญญาณอนาล็อกที่ไม่ทราบค่า แต่ถ้าสัญญาณอนาล็อกที่ถูกสร้างจากตัวแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อกนี้มีระดับขนาดของสัปดาห์ไฟฟ้ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอนาล็อกที่ไม่ทราบค่า 2 ตัวเปรียบเทียบระดับสัปดาห์ทั้ง 2 ตัวก็จะส่งสัญญาณไปบอกหน่วยควบคุมการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ให้ทำการปรับค่าเลขฐานสองที่ป้อนเข้าตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกจนกว่าตัวแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อกนี้จะสร้างสัญญาณอนาล็อกที่มีระดับสัปดาห์ไฟฟ้าเท่ากับสัญญาณอนาล็อกที่ไม่ทราบค่า

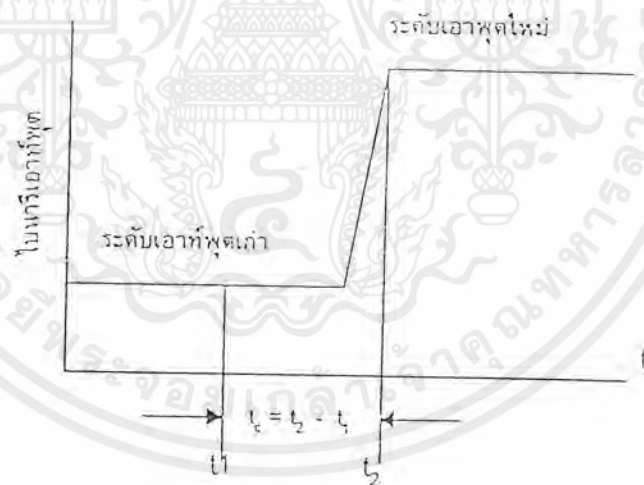


รูป 2.7 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

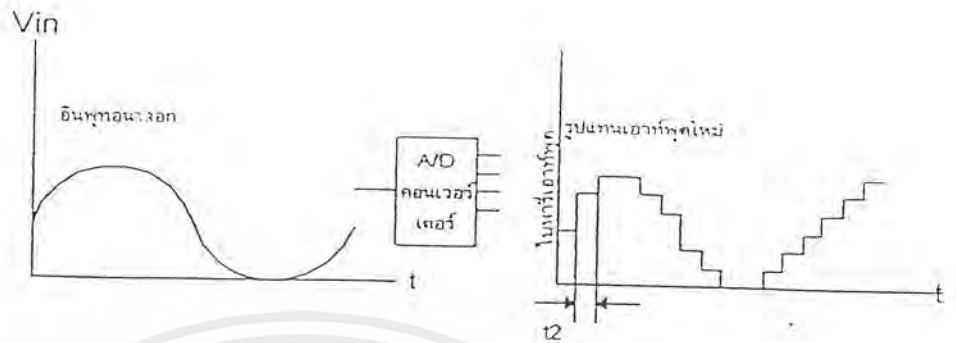
2.7.1 หลักการของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D converter)

A/D คอนเวอร์เตอร์ มีสัญญาณอินพุต เป็นสัญญาณอนาล็อกและมีสัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณเอาต์พุตจำนวน n บิต อินพุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์เป็นสัญญาณอนาล็อก ที่ผ่านออกมาจากวงจร sample and Hold ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็น สัญญาณดิจิทัลเข้ามาในวงจรแล้วนำเอาท์พุต ไปต่อเชื่อมกับอินพุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยการแปลงสัญญาณจาก A/D คอนเวอร์เตอร์ แต่ละครั้งวงจรนี้รับสัญญาณอนาล็อกแล้วส่งเข้าหา อินพุตของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ในช่วงเวลาที่เท่ากับเวลา Sample ที่กำหนดจากความถี่ Sample ที่กำหนดในวงจร ดังนั้นในการควบคุมการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ในการแปลง สัญญาณจะมีค่าจำนวนข้อมูลเท่าใดพิจารณาได้จากความถี่ Sample ภายในชุดวงจร Sample and Hold การทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์นี้ ยังขึ้นอยู่กับผลของเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion Time, T_c) ภายใน A/D คอนเวอร์เตอร์ซึ่งก็คือเวลาที่ใช้ในระหว่างที่อินพุตเข้ามา จนถึง การแสดงค่าระดับเอาต์พุตใหม่



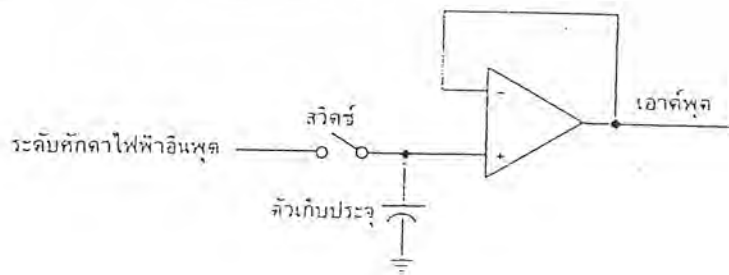
รูป 2.8 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D คอนเวอร์เตอร์

พิจารณาตามรูปดังกล่าว อินพุตจากสัญญาณอนาล็อกที่เข้าไปใน A/D คอนเวอร์เตอร์จะอยู่ ณ เวลา t_1 และสัญญาณตอบสนองของอินพุตจะเกิดขึ้นจากผลต่างของเวลาทั้ง 2 คือเวลาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณซึ่งเป็นเวลาที่ใช้จริงของ A/D คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นการกำหนดเวลา Sample จากความถี่ Sample ควรมีเวลามากกว่าเวลาในการแปลงสัญญาณ จึงจะได้ค่าดิจิทัลเอาต์พุตที่ถูกเอกสารนี้ต้องการและเพื่อให้ทราบถึงผลของการ Sample จนสัญญาณอินพุตอนาล็อกแปลงเป็นดิจิทัลเอาต์พุต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.9 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลด้วย A/D คอนเวอร์เตอร์

ทั้งตัวแปลงสัญญาณที่ปรับค่าอย่างค่อนเนื่องและตัวแปลงสัญญาณที่ประมาณค่าผลสำเร็จจะเปลี่ยนค่าในแต่ละครั้งเมื่อมันได้รับคำสั่งจากไมโครโพรเซสเซอร์เท่านั้น ซึ่งก็คือตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่ประมาณค่าผลสำเร็จขนาด 8 บิต (ที่ใช้เวลา 1 ไมโครวินาทีในการทำงานแต่ละขั้นตอน) จะใช้เวลาทั้งหมด 8 ไมโครวินาทีในการแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล ในช่วงเวลา 8 ไมโครวินาทีที่สัญญาณอนาล็อกที่ไมทราบค่าที่ป้อนเข้าตัวแปลงสัญญาณนั้นจะต้องมีระดับศักดาไฟฟ้าที่คงที่ มิฉะนั้นเอาต์พุตที่ได้อาจไม่ถูกต้องเพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น จึงได้มีการนำวงจร Sample and Hold มาใช้ โดยวงจรนี้จะคล้ายกับระดับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณที่รับเข้ามาในชั่วขณะประจุก่อนที่ตัวแปลงสัญญาณจะเริ่มทำงานเมื่อสวิตช์ถูกปิด ตัวเก็บประจุจะได้รับประจุจนมีระดับไฟฟ้าตกคร่อมเท่ากับศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา และเมื่อสวิตช์ถูกเปิดระดับศักดาไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะคงอยู่ที่ค่านี้นจนกว่าสวิตช์จะถูกปิดอีกครั้ง โดยปกติสวิตช์แบบ FET (Field effect transistor) ที่ทำงานได้ด้วยความเร็วสูงจะถูกนำมาใช้ในวงจรนี้



รูป 2.10

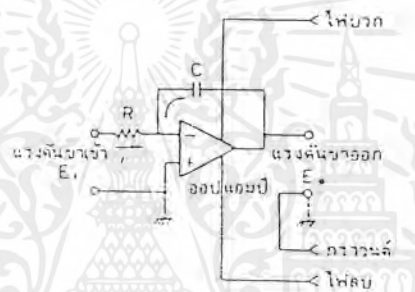
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 วงจร A/D คอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter) มี 3 แบบคือ

- แบบสโปลคู่ (Dual Slop)
- แบบแปลงสัญญาณเป็นความถี่ (V To F Converter)
- แบบประมาณทีละบิต (Successive Approximation)

2.7.2.1 สโปลคู่ (Dual Slop)

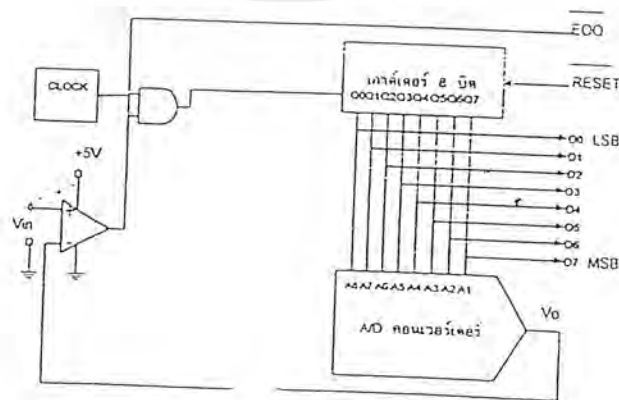
เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียตรงที่ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณมากเกินไป จึงไม่เหมาะในการวัดแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ



รูป 2.11 การทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์

พิจารณาจากรูป เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบพื้นฐาน ประกอบด้วยออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรรยายสัญญาณแตกต่าง แรมป์เฮาท์พุท (Ramp Output) ของ A/D คอนเวอร์เตอร์

เป็น A/D คอนเวอร์เตอร์ที่เข้าใจการทำงานง่ายที่สุด โดยแสดงโครงสร้างการทำงานดังรูป

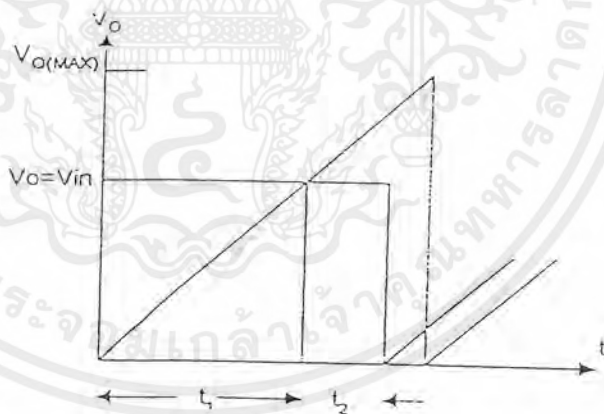


รูป 2.12 ตัวแปลงสัญญาณ A/D คอนเวอร์เตอร์แบบแรมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอธิบายการทำงานหลักการ ได้ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณรีเซ็ตไปที่เคาท์เตอร์ เพื่อให้สามารถรับสัญญาณอินพุตได้ โดยขณะนั้นผลเอาต์พุตของ A / D คอนเวอร์เตอร์ (V_0) มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำสุด
2. การทำงานของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณนาฬิกาซึ่งสัญญาณอินพุต ถูกนำมา And กับสัญญาณนาฬิกาแล้วจึงส่งไปยังเคาท์เตอร์เป็นผลทำให้ V_0 แสดง ระดับแรงดันที่สูงขึ้นทีละ 1 LSB
3. ณ จุดเดียวกันนั้นตัวเคาท์เตอร์จะนับเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเอาต์พุตของ A / D คอนเวอร์เตอร์สูงกว่าค่าแรงดันอินพุต V_{in} เมื่อถึงจุดนี้ของคอมพิวเตอร์จะแสดงค่าไปจนกระทั่งเป็น 0 โวลต์เมื่อถึง 0 โวลต์ จะมีสัญญาณนาฬิกาหยุดการนับที่จุดซึ่ง V_0 เริ่มมากกว่า V_{in} ษา EOC จะลดระดับเป็นระดับต่ำ และส่งสัญญาณไปให้คอมพิวเตอร์วางข้อมูล ขณะนี้พร้อมที่จะอ่านได้แล้ว ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณดิจิทัลออกผ่าน ไปทางอินพุตพอร์ท
4. หลังจากคอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลเสร็จ คอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรีเซ็ตมาที่ A / D คอนเวอร์เตอร์หลังจากนั้นก็เริ่มทำกระบวนการแบบเดิมอีกครั้ง



รูป 2.13 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A / D คอนเวอร์เตอร์

กราฟนี้แสดงการทำงานของแรมป์ โดย t_1 แทนเวลาที่นับใช้เพื่อแรมป์เอาต์พุตของ D / A คอนเวอร์เตอร์ที่เริ่มจะเลย V_{in} และ t_2 แทนเวลาระหว่างที่คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลและส่งสัญญาณรีเซ็ตกลับมาให้ A / D คอนเวอร์เตอร์ เริ่มต้นกระบวนการเดิมอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นในการเก็บข้อมูล 1 ค่าจะต้องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณ 2 ช่วงด้วยกัน คือ เวลา t_1 ถูกกำหนดโดยอ่านข้อมูลและส่งสัญญาณรีเซ็ตกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นซสซีพีแอปพริออกซิเมชัน (Successive Approximation)A/D คอนเวอร์เตอร์

SAR เป็น A/D คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งลักษณะใกล้เคียงกับแบบแรมปี โดย SAR คอนเวอร์เตอร์ต้องใช้ D/A คอนเวอร์เตอร์ และคอมพาราเตอร์ในการทำงานเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างได้แก่ ส่วนของเคาเตอร์ วิธีที่แรมปีทำงานโดยอาศัยการนับขึ้นในลำดับไบนารี



2.8 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ และสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ดังนั้นการเรีขนรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ จึงจำเป็นต้องมีพื้นฐานที่ดี ในการที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นทฤษฎีแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ทฤษฎีห้วงค่อที่เย็นของสารกึ่งตัวนำ ทฤษฎีการเกิด Optical Transition ล่าง ๆ ในสารกึ่งตัวนำ กระบวนการเกิดพาหะและการรวมตัวของพาหะในสารกึ่งตัวนำ ฯลฯ เพื่อที่จะสามารถศึกษาและใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2.8.1 ทฤษฎีแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

จำนวนอิเล็กตรอนในสารที่มีอยู่ในแถบพลังงานนั้นมีอยู่น้อย เมื่อเทียบกับเฟอร์มิชันส์ของ ที่ว่างที่ยอมให้อิเล็กตรอนอยู่ได้ อิเล็กตรอนจึงพยายามอยู่ในชั้นพลังงานที่ต่ำกว่าเสมอ แต่ก็มักจะ ถูกกระตุ้นให้ขึ้น ไปอยู่ในชั้นพลังงานที่สูงกว่า โดยการรับพลังงานจากอนุภาคอื่น ๆ เช่น โฟตอน (Photon) ในกรณีทั่วไปการกระจายของอิเล็กตรอนในชั้นพลังงานเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเฟอร์มิ ฟังก์ชัน (Fermi function) จากการใช้สถิติแบบ เฟอร์มิ - ไคเรค (Fermi - Dirac Statistics) ความเป็นไปได้ $f(E)$ ของชั้นพลังงาน E ที่มีอิเล็กตรอนเข้าไปอยู่ จะกำหนดได้จากสูตร

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp(E - E_F) / kT}$$

ในสมการนี้

$f(E)$ เรียกว่าเฟอร์มิฟังก์ชัน

E เป็นชั้นพลังงานที่ยอมให้อิเล็กตรอนอยู่ได้

E_F เป็นชั้นพลังงานเฟอร์มิ

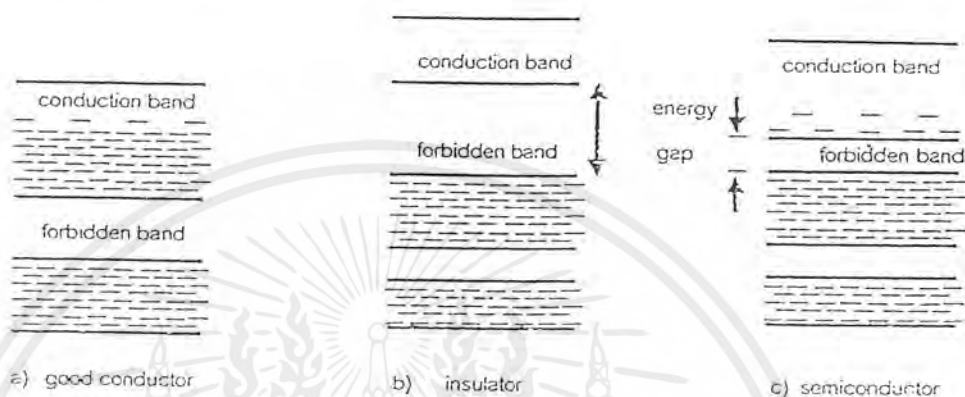
k เป็นค่าคงที่ของ Boltzman

T เป็นอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์

ที่อุณหภูมิห้องผลคูณ kT จะมีค่าประมาณ 0.025 eV ชั้นพลังงานเฟอร์มิจึงมีนิยามดังนี้ คือ เป็นชั้นพลังงานที่มีความเป็นไปได้ในการมีอิเล็กตรอนเต็มอยู่เท่ากับครึ่งหนึ่งพอดี หรือจะพิจารณาว่าเป็นระดับพลังงานสูงสุดที่อิเล็กตรอนจะมีได้ที่ $0^\circ K$ และลักษณะสมมติที่สำคัญที่สุดของชั้นพลังงานเฟอร์มิได้แก่ การแสดงถึงความสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ คือ ชั้นพลังงานเฟอร์มินี้จะมีลักษณะ ต่อเนื่องข้ามรอยต่อของสารสองชนิดที่นำมาล่อเชื่อมกันเสมอ จาก รูป 2.14 แสดงถึงแถบพลังงานสูงสุดสองแถบของ ของแข็ง 3 ชนิด แถบพลังงานสองแถบนี้ คือ วัลเลนซ์แบนด์ (Valence Band)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นอนเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์โดยขาดความยินยอมจากผู้เกี่ยวข้อง (Conduction Band) และที่ว่างระหว่างแถบพลังงานทั้งสองนี้ คือ แถบพลังงานว่างวาคานีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คั้งห้าม (Forbidden Band) จะไม่มีระดับพลังงานในที่ว่างนี้ และไม่มีอิเล็กตรอนที่มีพลังงานพอจะกว้างของที่ว่างนี้ เรียกว่า พลังงานช่องว่าง (Energy Gap) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในวัสดุแต่ละชนิด วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีค่าพลังงานช่องว่างสูงกว่าวัสดุสารกึ่งตัวนำ และสารกึ่งตัวนำจะมีค่าพลังงานช่องว่าง สูงกว่าวัสดุตัวนำ



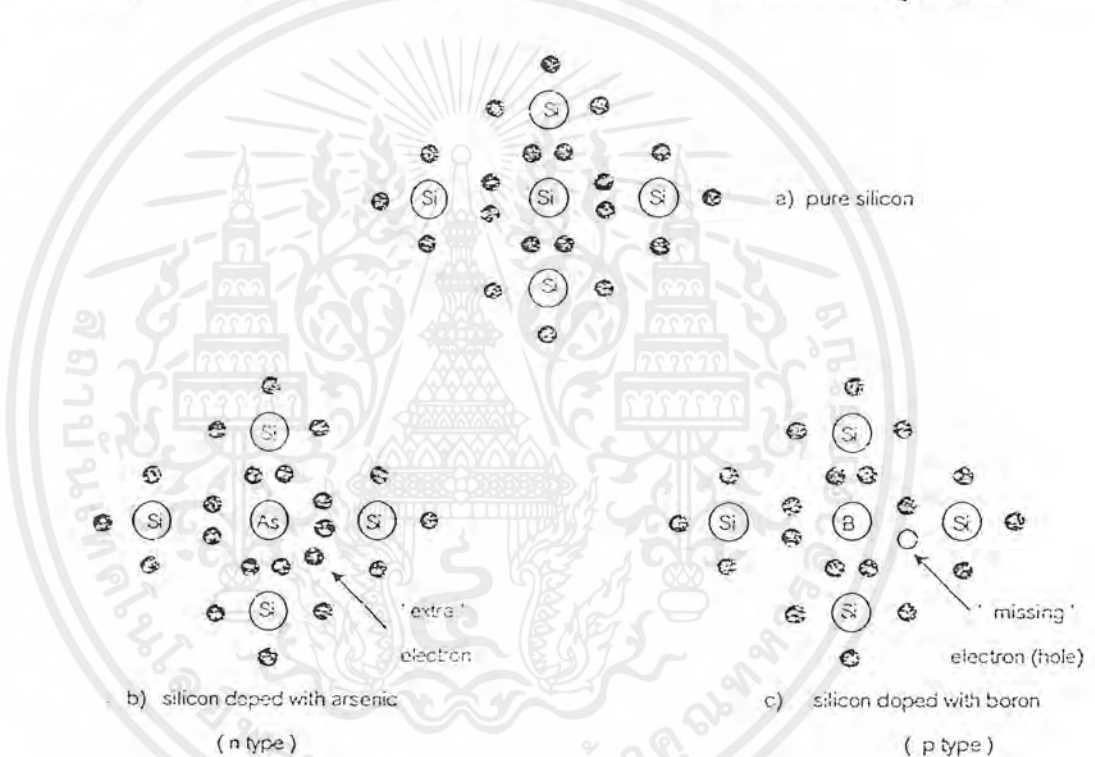
รูป 2.14 ลักษณะแถบพลังงานของสารตัวนำ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน

การที่วัสดุที่เป็นฉนวน จะกลายเป็นวัสดุตัวนำได้ เมื่อได้รับพลังงานที่เหมาะสมค่าหนึ่ง อิเล็กตรอนสามารถรับพลังงานจากนิวเคลียส โดยทางพลังงานอิเล็กตรอนดลิส อะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่เสียดชิดอิเล็กตรอน 1 ตัวหรือมากกว่านี้ จะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก เมื่ออุณหภูมิของแข็งเพิ่มขึ้น ในอุณหภูมิที่พอเหมาะ อิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งจะได้รับพลังงานจนมีค่ามากกว่าพลังงานช่องว่าง ทำให้สามารถข้ามแถบพลังงานคั้งห้าม ขึ้นไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์ และวัสดุจะเปลี่ยนสภาพจากฉนวนไปเป็นตัวนำ เมื่อพลังงานช่องว่างมีขนาดกว้างมาก การเปลี่ยนสภาพของวัสดุจะเกิดได้คือเมื่อมีอุณหภูมิสูงมาก ๆ สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นที่อุณหภูมิห้อง อิเล็กตรอนที่มีอยู่เดิมในวาเลนซ์แบนด์ส่วนหนึ่งจะได้รับพลังงานความร้อน หรือพลังงานแสงเพียงพอที่จะกระโดดข้ามแถบพลังงานคั้งห้ามนี้ขึ้นไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์ซึ่งว่างอยู่ได้ หากอุณหภูมิยังสูงหรือแสงที่ฉายกระทบมีความเข้มยิ่งสูง จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามเมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากวาเลนซ์แบนด์ขึ้นไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์แล้ว จะเกิด ที่ว่างหรือโฮล (Hole) ขึ้นในวาเลนซ์แบนด์ โฮลนี้จะนำมาพิจารณาว่าเป็นพาหะนำไฟฟ้าที่มีประจุได้ อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณโฮลจะเคลื่อนเข้าไปแทนที่ และเกิดโฮลตัวใหม่ขึ้นเพื่อให้อิเล็กตรอนตัวต่อไปเข้าแทนที่อีกต่อไป จึงเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หรืออาจพิจารณาได้จากการเคลื่อนที่ของโฮล ซึ่งมีประจุบวกในทิศทางตรงข้าม การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำจึงเกิดขึ้นได้ เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮล การนำไฟฟ้าด้วยกระแสที่เกิดจากอิเล็กตรอน ที่ถูกกระตุ้นจากวาเลนซ์แบนด์ไปสู่คอนดักชันแบนด์นั้น จะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) เยอรมันเนียม (Ge) และ ซิลิกอน (Si) นั้นมีในลวดต่างของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน

การเติมสารเจือปน (Impurity atom) เข้าไปในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) ซึ่งทำให้มีการเพิ่มหรือลดจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำนั้น คือ กระบวนการโด๊ป (Doping Process) สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ป เรียกว่า Extrinsic Semiconductor วาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารเจือปนที่เติมลงไปในสารกึ่งตัวนำนั้นจะสร้าง พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับวาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงในรูป 2.15

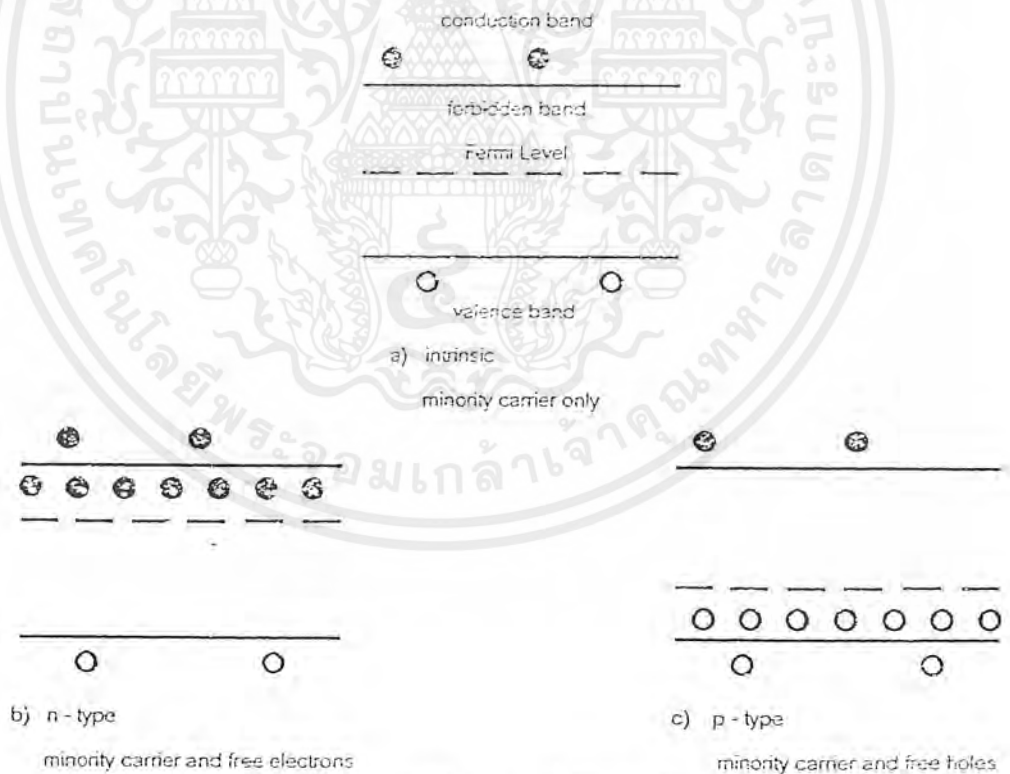


รูป 2.15 โครงสร้างอะตอมของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ และสารกึ่งตัวนำที่ผ่านกระบวนการโด๊ป

สารเจือปนที่เติมลงไปเป็นธาตุหมู่ 3 และ 5 ในที่นี้ ได้แก่ โบรอน (Boron; B) และอาร์เซนิก (Arsenic; As) ตามลำดับ รูป 2.15 (a) แสดงถึงสารกึ่งตัวนำซิลิกอนบริสุทธิ์ และในรูป 2.15 (b) เป็นการเติมสารเจือปนด้วยธาตุหมู่ที่ 5 (As) ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัวและจะสร้างพันธะโควาเลนต์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอนทั้ง 4 ตัวของ Si ส่วนอิเล็กตรอนตัวที่ 5 ของ As จะไม่มีคู่พันธะ และหลุดออกจากอะตอมกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ เรียกว่าวัสดุที่ได้รับการโด๊ปแบบนี้ว่า สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-Type Semiconductor) ส่วนในรูป 2.15 (c) เป็นการเติมสารเจือปนด้วยธาตุหมู่ที่ 3 (B) ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนแค่ 3 ตัว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่ต้องไปสร้างพันธะโควาเลนต์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอนของซิลิกอนมีไม่พอ เกิดที่ว่าง หรือโฮลขึ้น ทำให้มีสภาพไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางไฟฟ้าเป็นบวก เรียกว่าวัสดุที่รับกานโพสิทีฟ (สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-Type Semiconductor))

สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิค่า อิเล็กตรอนทั้งหมดจะอยู่ในวาเลนซ์แบนด์ และอยู่ในระดับพลังงานของมันเองอย่างสมบูรณ์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น จะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวกระโดดข้ามแถบพลังงานต้องห้าม ขึ้นไปอยู่ในคอนดักชันแบนด์ และจะเหลือจำนวนโฮลที่มีค่าเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนนั้นไว้ใน วาเลนซ์แบนด์ สารกึ่งตัวนำทั่วไป ชั้นพลังงานเฟอร์มิ (Fermi Level) จะอยู่ที่ระดับกึ่งกลางของแถบพลังงานต้องห้าม ดังแสดงในรูป 2.16 (a) ถ้าสารกึ่งตัวนำได้รับการโด๊ปให้เป็นแบบ N-Type อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ได้ต่างอิสระ และมีพลังงานใกล้เคียงกับค่าพลังงานในคอนดักชันแบนด์ ดังนั้นชั้นพลังงานเฟอร์มิ จึงอยู่สูงกว่าระดับกึ่งกลางของแถบพลังงานต้องห้าม ใกล้เคียงบริเวณต่ำสุดของคอนดักชันแบนด์ ดังแสดงในรูป 2.16 (b) ในทางตรงกันข้ามสารกึ่งตัวนำชนิด P นั้น ชั้นพลังงานเฟอร์มิ จะอยู่ต่ำกว่าระดับกึ่งกลางของแถบพลังงานต้องห้าม และอยู่เหนือวาเลนซ์แบนด์ ดังแสดงในรูป 2.16 (c)



รูป 2.16 ระดับชั้นพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ N-Type และ P-Type

2.8.2 ลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่มีต่อแสง

เพื่อให้การใช้ ประโยชน์ของ Interaction ระหว่างโฟตอน และสารกึ่งตัวนำมีประสิทธิภาพ เอกสารนี้เป็น จึงต้องมีเงื่อนไขของกระบวนการดังนี้ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) พลังงานของโฟลตอนจะถูกดูดกลืน และกระตุ้นให้อิเล็กตรอนชั้นในไปอยู่ในชั้นพลังงานที่สูงกว่า
- 2) พหะอิเล็กตรอน โฮส ที่ถูกสร้างขึ้นจากการดูดกลืนโฟลตอน จะถูกแยกแยะชั้นในเล็ก ๆ ไปยังขั้วโลหะที่ทำหน้าที่รวบรวมพหะเหล่านั้น
- 3) พหะนำไฟฟ้าจะถูกจ่ายให้กับ โหลด เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ก่อนที่พหะเหล่านั้นจะรวมตัวหรือสูญเสียพลังงานที่มีอยู่

การดูดกลืนโฟลตอนในเนื้อสาร จะมีรูปลักษณะของฟังก์ชันที่ขึ้นกับระยะทาง X ในเนื้อสาร

ดังนี้

$$I(X) = I(0) \exp(-\alpha X)$$

ซึ่ง $I(X)$ เป็นความเข้มของโฟลตอนที่ความลึก X

$I(0)$ เป็นความเข้มของโฟลตอนที่ตกกระทบที่ผิวสาร

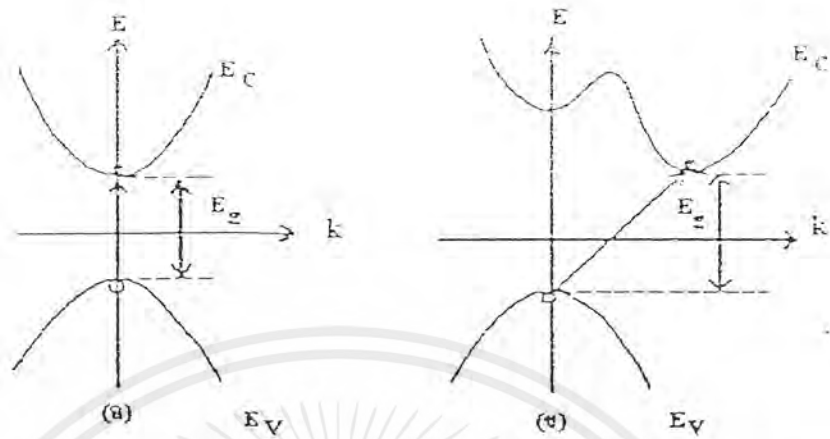
α เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืน

ตัวอย่างเช่น หาก α มีค่า 10^4 cm^{-1} 90% ของโฟลตอนทั้งหมดจะถูกดูดกลืนที่เนื้อสารซึ่งลึกเพียง 2.3 ไมครอน

โฟลตอนที่ม่พลังงานสูงกว่าขนาดของแถบพลังงานต้องห้าม จะถูกอิเล็กตรอนดูดกลืนอย่างสมบูรณ์แบบ และอิเล็กตรอนสามารถกระโดดข้ามแถบพลังงานต้องห้ามนั้นได้ พลังงานที่มากกว่าความต้องการที่จำเป็นในการกระโดดข้ามแถบพลังงานต้องห้าม จะคายให้แก่ Lattice ในรูปพลังงานความร้อน เพื่อให้อิเล็กตรอนตกลงมาอยู่ส่วนล่างของคอนดักชันแบนด์ ส่วนโฟลตอนที่ม่พลังงานน้อยกว่าแถบพลังงานต้องห้าม จะทะลุผ่านเนื้อสารนั้นไปได้ โดยปราศจากการดูดกลืน ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนอย่างกะทันหันในรูปฟังก์ชันของพลังงานโฟลตอน เมื่อพลังงานโฟลตอนมีค่าเท่ากับแถบพลังงานต้องห้ามของสารนั้น ๆ ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจริงในสารกึ่งตัวนำหลายชนิด ซึ่งเราเรียกว่าเป็นสารกึ่งตัวนำประเภท Direct Bandgap แต่ยังมีสารกึ่งตัวนำอีกหลายชนิด ที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วครั้งทีละการณ์ไว้ สารกึ่งตัวนำประเภทหลังนี้ เรียกว่า Indirect Bandgap

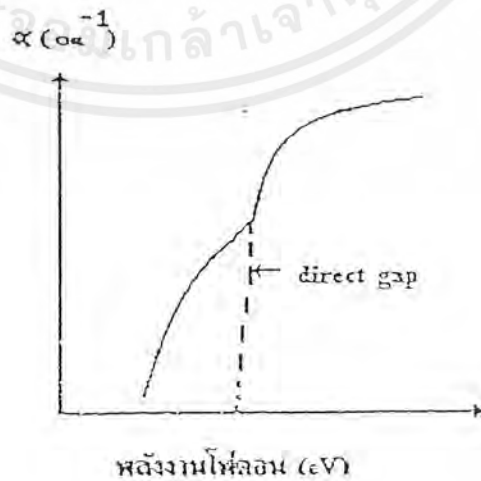
เมื่อลองแก้สมการทางควอนตัมแมคานิกส์ สำหรับบ่อพลังงานศักย์แบบ Periodic ในผลึกจะได้คำตอบอยู่ในรูปฟังก์ชันของ Lattice Parameter K พารามิเตอร์ตัวนี้เกี่ยวกับคุณสมบัติเป็น Periodicity ของผลึก และมีความหมายทางฟิสิกส์ที่แสดงถึงค่าโมเมนตัม รูป 2.17 แสดงถึงแถบพลังงานที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของ K ทั้งแบบ Direct Bandgap ดังรูป 2.17 (ก) และ แบบ Indirect Bandgap ดังรูป 2.17 (ข) ค่าจำกัดความของค่าแถบพลังงานต้องห้ามนั้นหมายถึง การวัดค่าพลังงาน

ในแนวตั้งระหว่างจุดค่าสุดของคอนดักชันแบนด์ กับค่าสูงสุดของวาเลนซ์แบนด์ โยชน์ด้านการคำนวณวารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.17 แผนภูมิพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ Direct และ Indirect Bandgap

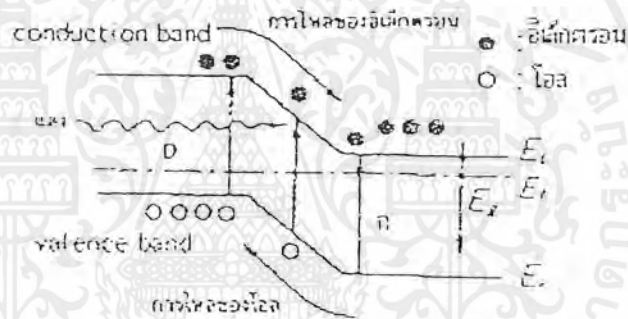
ดังนั้นเมื่อเกิดการดูดกลืนโฟตอนแบบ Indirect อนุภาคที่จำเป็นต่อการ Interaction นั้นจะต้องประกอบด้วยโฟตอน อิเล็กตรอน และโฟตอนที่เกิดจาก Lattice เพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ โมเมนตัมขึ้น โฟตอนที่มีพลังงานมากกว่า E_g จะมีอำนาจทะลุทะลวงที่ต่ำกว่าอันเนื่องมาจากการดูดกลืนจะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานของโฟตอนมีค่าเท่ากับ E_g และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพลังงานของโฟตอนมีค่ามากพอทำให้เกิด Direct Transition ที่ $K = 0$ (ดูรูป 2.18) สารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนอยู่ใต้มวลพลังงานต้องห้ามสำหรับอิเล็กตรอน ขนาดความกว้างแถบพลังงานทั้งที่ ต้องห้ามและยินยอมให้อิเล็กตรอนอยู่ได้หรือไม่นี้ จะมีค่าตามแคระนิคของสารและระยะห่างระหว่างอะตอม



รูป 2.18 การดูดกลืนโฟตอนในสารกึ่งตัวนำที่เป็น Indirect Bandgap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโฟตอนถูกดูดกลืนในเนื้อสารกึ่งตัวนำ จะสร้างให้เกิดคู่อิเล็กตรอน โฮลขึ้น พาหะนำไฟฟ้าทั้งสองจะถูกแยกออกจากกัน ในเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปกระบวนการแยกพาหะนำไฟฟ้าทั้งสองออกจากกันนี้ ทำโดยอาศัยโครงสร้างหัวต่อพีเอ็น รูป 2.19 แสดงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหัวต่อพีเอ็น เมื่อมีแสงมากระทบ หัวต่อพีเอ็นจะสร้างสนามไฟฟ้าที่ควาเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปทางหนึ่ง และโฮลไปอีกทางหนึ่ง การเกิดสนามไฟฟ้าดังกล่าวอธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อหัวต่อพีเอ็นอยู่ในสภาวะสมดุลอุณหภูมิต่ำ ระดับพลังงานเฟอร์มีทั้งระบบจะต้องมีค่าเท่ากัน แต่เนื่องจากระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ n-type อยู่ใกล้ทางส่วนบนของแถบพลังงานต้องห้าม และระดับพลังงานเฟอร์มีในสารกึ่งตัวนำ p-type อยู่ใกล้ทางส่วนล่างของแถบพลังงานต้องห้าม ดังนั้นครบบริเวณหัวต่อพีเอ็น จึงเกิดสนามไฟฟ้าได้ และทำหน้าที่แยกพาหะนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ให้ไหลไปคนละทิศทางได้

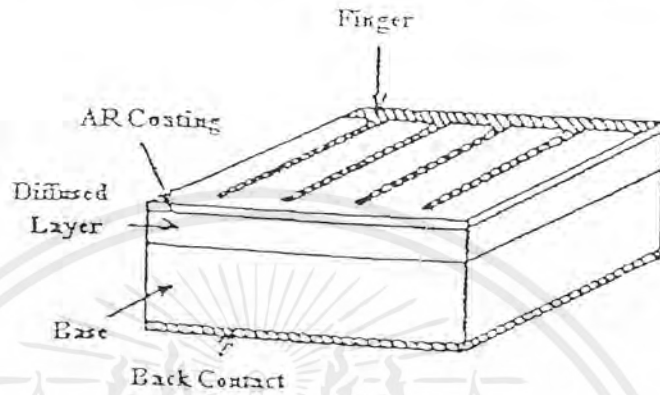


รูป 2.19 พาหะนำไฟฟ้าที่ถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้าของหัวต่อพีเอ็น

2.8.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ หัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ หรือหัวต่อแบบซีคกี ซึ่งเป็นหัวต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ รูป 2.20 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบหัวต่อพีเอ็น ที่ทำด้วยซิลิกอน แผ่นสลิคซิลิกอนที่ใช้เป็นฐานจะมีความหนาประมาณ 200 ไมครอน ด้านรับแสงจะมีชั้นแพรร่าซิมที่มีชนิดการนำไฟฟ้าตรงข้ามกับฐานที่หนาประมาณ 0.5 ไมครอน ความลึกของหัวต่อพีเอ็นซึ่งมีค่าสั้น ๆ นี้เป็นการออกแบบที่จำเป็นสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะต้องการให้แสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทะลุทะลวงถึงหัวต่อมากที่สุด หากหัวต่อพีเอ็นอยู่ลึกเกินไปจะทำให้จำนวนพาหะที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนแสงแพรร่าซิมถึงหัวต่อได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณกระแสไฟฟ้ที่ได้มีจำนวนน้อยลง ดังนั้นชั้นซิลิโคนรับแสงมักจะได้รับการออกแบบให้เป็นรูปนิ้วมือ หรือรูปแบบอื่น เพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด และในขณะที่เดียวกันชั้นไฟฟ้านั้น สามารถรวบรวมพาหะนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดด้วย ส่วนชั้นไฟฟ้าทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องเป็นชนิดผสมแบบโอห์มมิกที่ตีซึ่งฉาบไว้เต็มหน้า ผิวทางด้านรับแสงที่นอกเหนือจากซิลิโคนแล้วยังมีชั้นฉนวนป้องกันการสะท้อนแสง (Anti - reflection Coating) ปกติไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขึ้นฟิล์มประติมากรรมออกไซด์บนผิว ชั้นสื่อนำการสะท้อนแสงที่อาจใช้คือ SiO_2 ซึ่งทำขึ้นหนาประมาณ 800-1000 อังสตรอม จากนั้นจึงนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ไปประกอบในแผงที่ห่อหุ้มมีลึศสามารถป้องกันความชื้น ฝุ่นละออง ฯลฯ เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีคุณภาพดี



รูป 2.20 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบห้วล่อที่อื่น

ถ้ารับเซลล์ที่ทำจาก GaAs นั้นอาจมีชั้น GaAlAs ปิดทับเพิ่มอีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่เป็น Window ของเซลล์ ชั้น Window นี้ นอกจากจะสามารถดูดกลืนพลังงานโฟตอนที่สูงขึ้นแล้ว ยังช่วยลดอัตราการรวมตัวของพาหะที่ผิว ซึ่งมีค่าสูงในกรณีของสาร GaAs ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำแบบ Direct Bandgap

นอกจากโครงสร้างห้วล่อที่อื่นของซิลิกอน และ GaAs ซึ่งเป็นห้วล่อแบบ Homojunction แล้วการสร้างห้วล่อที่อื่นแบบ Heterojunction ก็เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์อีกแบบหนึ่ง คือ การนำสาร P และสาร N ที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดกัน มาสร้างเป็นห้วล่อที่อื่น เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก CdS , Cu_2S เป็นต้น

ในการลดต้นทุนการผลิตในอนาคต จะสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง เพื่อใช้เนื้อวัสดุน้อยกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากความหนาที่จำเป็นต่อปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกนั้น มีค่าเพียงไม่กี่ไมครอนก็เพียงพอแล้ว การสร้างชั้นสารกึ่งตัวนำที่เป็น n-type และ p-type ในลักษณะฟิล์มบางสลับกัน ไปบนฐานวัสดุอื่นๆ ที่มีราคาถูกจึงเป็นแนวคิดที่กำลังพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก อมอฟสซิลิกอน เป็นต้น เมื่อคาดคะเนถึงโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ว่าจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง เนื้อวัสดุที่ใช้จะน้อยลง ความสำคัญของวัสดุที่ใช้ทำขั้วโลหะ ซึ่งเดิมคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์แล้ว น้อยกว่าเนื้อวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำมาก จะเริ่มมีความหมายทางด้านการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น ดังนั้นการศึกษาเรื่องโลหะต่าง ๆ ที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและควรได้รับการพัฒนา เพื่อสนองความต้องการในการลดต้นทุน

เอกสารนี้เป็นการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบฟิล์มบางในอนาคตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell Module)

เซลล์แสงอาทิตย์หรืออาจเรียกว่า Photovoltaic Cell ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยทั่วไปมักสร้างมาจากผลึกรูปเหลี่ยมของซิลิกอน โครงสร้างของไดโอดชนิดนี้ ก็คือรอยต่อพีเอ็นนั่นเอง แต่ต้องมีโครงสร้าง ซึ่งแสงสามารถตกกระทบที่รอยต่อได้ง่ายและมีพื้นที่ของรอยต่อจำนวนมาก โคดมีส่วนอื่นเป็นชั้นบางๆ ประมาณ 1 ไมครอนอยู่บนส่วนพี ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทำด้วยซิลิกอน เมื่อรอยต่อได้รับ ไดโอดแต่ละตัวจะให้แรงดัน ได้ถึง 0.5-1 โวลท์ และมีความหนาแน่นของกระแสประมาณ $20-40 \text{ mA/cm}^2$ ถ้าต้องการแรงดันที่มีค่าสูงกว่านี้สามารถทำได้โดยการนำตัว Solar Cell มาต่ออนุกรมกันหรือในกรณีที่ต้องการกระแสสูงๆ ก็สามารถใช้ได้โดยการนำตัว Solar Cell นี้มาต่อขนานกัน ในสมัยแรก cell ที่ใช้จะมีรูปร่างเป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 6-15 cm แต่ในปัจจุบันมักออกแบบให้ cell มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม

การทำงานของ Solar Cell แบบผลึกซิลิคอนเดี่ยว (Single Crystal Silicon) เริ่มตั้งแต่จากชั้น p เกิดจากการโด๊ปซิลิกอนด้วยโบรอนที่มีความหนา 1 ไมครอนเมตร โดยเจือชั้น n เกิดจากการโด๊ปด้วยอาร์เซนิก (Arsenic) ด้วยความหนาเฉลี่ย 800 ไมครอนเมตร และฟิล์มบางๆ ถูกฉาบด้วย Copper Sulfide สำหรับสาร p ที่มีความหนาเฉลี่ย 12 ไมครอนเมตรถูกฉาบด้วย Cadmium Sulfide และสาร n ที่มีความหนาเฉลี่ย 20 ไมครอนเมตร เมื่อโฟตอนของแสงกระทบเซลล์บนด้านสาร p และทะลุเข้าไปถึง Junction ซึ่งที่ Junction นั้น ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น เมื่อต่อเซลล์กับโหลดอิเล็กตรอนก็แพร่จาก n ไป p โดยทิศทางของกระแสปกติจะตรงข้ามกับทิศทางของอิเล็กตรอน Solar Cell ไม่ได้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดได้ เพราะโฟตอนที่มีความถี่ต่ำที่มากตกกระทบจะไม่มีพลังงานพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ เมื่อโฟตอนที่มีความถี่สูงมาตกกระทบ ซึ่งโฟตอนจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจะเห็นว่า มีพลังงานบางส่วนที่ไม่ได้ใช้ ดังนั้นตัว Solar Cell จึงมีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอน สำหรับกรรมวิธีในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออก ได้ดังนี้

ก. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกเดี่ยว (Single Crystal Silicon)

- ผลึกเดี่ยวซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตใช้เป็นอุตสาหกรรมอยู่ในปัจจุบันนี้ มีโครงสร้างเป็นแบบเวกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในวงการศึกษาเท่านั้นที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการผลิต หรือ กระบวนการผลิตแบบอื่นหรือทำจากผลึกเดี่ยวของซิลิกอน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต คือ กระบวนการผลิตแบบเวก ไม่วากานีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามา ซึ่งก็คือ การนำแว่นสลักซิลิกอนไปเคลือบกระจกเงา ให้เป็นสารกึ่งตัวนำแบบเอ็นและประเภทที่
สามต้องการในเสาแพรวซึม เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบหัวค่อพีเอ็นนี้ จะมีราคาต่อม
ข้างสูงพอสมควร ประสิทธิภาพของเซลล์ที่มีขนาดอยู่ที่ 1 ตารางซม. อยู่ที่ประมาณ 12-16 % ดังนั้นถ้า
นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการรับแสงอาทิตย์ในโลกจะต้องการแผ่นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงมาก ผลิตภัณฑ์
ซิลิกอนจะมีราคาถูกลงไปอีกถ้ามีการพัฒนาปลูกผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น การปลูกผลิตภัณฑ์ Silicon แบบริบ
บอน (Ribbon) การใช้เทคโนโลยี EFG เป็นต้น

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลิตภัณฑ์ซิลิกอนอาจเป็นแบบ ซ็อกกี้นบเรียว ก็ได้ โดย
ที่เซลล์แบบนี้อาศัยความต่างศักรีระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำมาทำหน้าที่แทนหัวค่อพีเอ็น ดังนั้น
กรรมวิธีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะง่ายกว่าหัวค่อพีเอ็นมาก ดังนั้นจึงคาดว่าเซลล์แสง
อาทิตย์แบบซ็อกกี้นบเรียว นี้จะมีราคาถูกกว่าหัวค่อพีเอ็น ในขณะที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์แสง
อาทิตย์แบบหัวค่อพีเอ็นเพียงเล็กน้อย

- ผลิตภัณฑ์ของแกเลียมอาเซนายด์

ในการใช้แกเลียมอาเซนายด์ ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบที่มีแบบ
พลังงานแบบตรง และขนาดของแถบพลังงานนั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของสเปกตรัมแสง
อาทิตย์มากกว่าคือ 1.4 ev. นอกจากนี้ระบบของแกเลียมอาเซนายด์ยังสามารถนำหัวค่อแบบเฮ
เลอวีโร ไลค์คัวย (Heterojunction) เช่น หัวค่อระหว่างแกเลียมอาเซนายด์ และแกเลียมอุมิเนียมอา
เซนายด์ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลทาง Window Effect และเพิ่มการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่า
แถบพลังงานของแกเลียมอาเซนายด์ได้

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำขึ้นจากผลิตภัณฑ์ของแกเลียมอาเซนายด์
นี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15 % ขึ้นไป แต่ราคาค้นทุนการผลิตของเซลล์ชนิดนี้ก็จะสูงมากเช่น
เดียวกัน เซลล์ชนิดนี้จึงเหมาะสมกับงานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น การใช้งานในอวกาศ นอกจากนี้
ยังมีความพยายามที่จะผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบฟิล์มบาง (Thinfilm Silicon) คัวยแง่นผลิตภัณฑ์
เริ่มต้นขึ้นแล้วแต่ใช้หลายครั้ง โดยเทคนิค Selective Etching คัวย ฉะนั้นราคาของเซลล์แสง
อาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาเซนายด์อาจจะมีราคาถูกลงได้

ข. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลิตภัณฑ์ซิลิกอนหลายผลิตภัณฑ์ (Poly Silicon)

การใช้ผลิตภัณฑ์ซิลิกอนหลายผลิตภัณฑ์มาทำเซลล์แสงอาทิตย์นั้น อาจใช้โครงสร้างได้ทั้งหัว
ค่อแบบพีเอ็นและแบบซ็อกกี้นบเรียว แต่ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำขึ้นจากผลิตภัณฑ์
หลายผลิตภัณฑ์จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าแบบที่ทำขึ้นมาจากผลิตภัณฑ์เดี่ยว เพราะอิทธิพลของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะนำ
ให้ความยาวในการแพรวซึมของพาหะน้อยลง แต่ถ้าใช้ผลิตภัณฑ์ซิลิกอนหลายผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของผลิตภัณฑ์ย่อยที่
โคพอสมควร และผลิตภัณฑ์เรียงตัวกันในทิศทางเดียวกัน คือ การเรียงตัวในทิศทางที่ขนานกับแสง

เอกสารนี้เป็นที่ขายกระดาษแล้ว วัตถุประสงค์ของเอกสารนี้จะใกล้เคียงกับแบบที่ทำจากผลิตภัณฑ์ซิลิกอนเดี่ยว นอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนี้ ต้นทุนในการผลิตเซลล์กึ่งออสซิลเลเตอร์จะถูกกว่าแบบเซลล์เดี่ยว เนื่องจากจะลดขั้นตอนการทำ
ผลิตกึ่งออสซิลเลเตอร์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ออก ดังนั้นในอนาคตถ้าสามารถปลูกผลิตกึ่งออสซิลเลเตอร์
ความถี่สูงการได้คือ จะทำให้ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลงไปอีก

ค. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอมอฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon)

ลักษณะการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้พลังงานปริมาณมากนั้นขึ้นอยู่กับ
พื้นที่ของเซลล์ ดังนั้น การประดิษฐ์สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่โต และมีราคาถูกนั้นจะเป็นไป
ได้ ถ้าใช้สารที่เป็นอมอฟัส ซึ่งได้มีการทำสารอมอฟัสจากซิลิคอนด้วยวิธีปล่อยประจุในก๊าซไซ
เลน SiH_4 นอกจากนี้ยังมีการนำสารอมอฟัสจากซิลิคอน ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นแบบเอ็น
และแบบพี โดยการเติมสารเจือปนโดยวิธีปล่อยประจุในก๊าซฟอสฟีน PH_3 และก๊าซไดโบเรน
 B_2H_6 ดังนั้น จึงสามารถประดิษฐ์ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอมอฟัสซิลิคอน โดยมีโครงสร้าง
เป็นแบบห้วค่อพีเอ็นได้ และในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำด้วยอมอฟัสนี้สามารถลดต้นทุน
ในการผลิตได้มาก

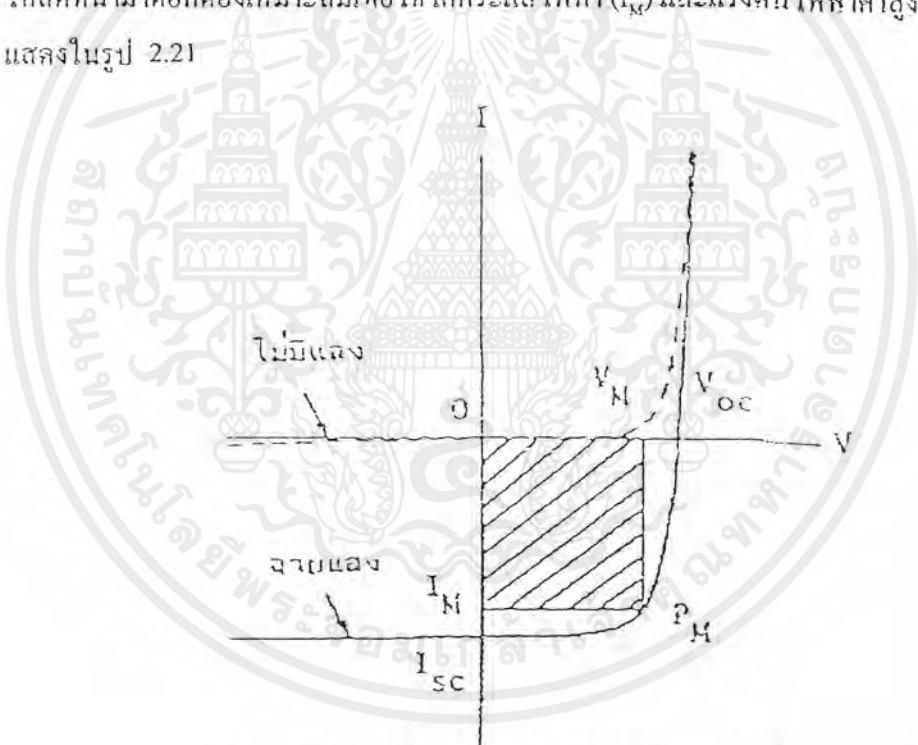
แม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเซลล์เดี่ยวจะได้รับความนิยม เพราะมีประสิทธิภาพ
กว่าแบบอื่น แต่ในปัจจุบันก็ให้มีการพัฒนาอมอฟัสซิลิคอนอย่างกว้างขวาง แม้ว่าอมอฟัสซิลิคอน
จะมีจุดข้อคือความเชื่อถือในด้านการใช้งาน โดยคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่
ทำจากอมอฟัสซิลิคอน จะเสื่อมลงเมื่อถูกใช้งานเป็นเวลานาน แต่ด้วยผลการค้นคว้าและวิจัยใน
หลายๆประเทศจะพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์นี้มีประสิทธิภาพและความเชื่อถือในด้านการใช้งานสูง
ขึ้น และคุณสมบัติเด่นของฟิล์มบางอมอฟัสซิลิคอน ก็มีหลายประการดังนี้ คือ มีคุณสมบัติทาง
ไฟฟ้าแสงที่ต่ำเยี่ยม จึงเป็นวัสดุประหยัดทรัพยากรและประหยัดพลังงาน คือมันมีประสิทธิภาพ
การดูดกลืนแสงสูงกว่าของเซลล์เดี่ยวซิลิคอน และมีสภาพนำไฟฟ้าแสงที่ต่ำกว่า ด้วยความหนา
เพียง 1 ไมครอนของแสงอมอฟัสซิลิคอนก็สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงความถี่
แสงที่มองเห็นได้เกือบทั้งหมด ฉะนั้นอมอฟัสซิลิคอนจึงถูกผลิตเป็นแผ่นฟิล์มบาง ในขณะที่เซลล์
แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนคือคือเป็นแผ่น Wafer ที่มี ความหนาหลายสิบถึงหลายร้อย
ไมครอน การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากแผ่นฟิล์มบางอมอฟัสซิลิคอน จึงเป็นการประหยัดเนื้อวัสดุ
และลดต้นทุนการผลิต คุณสมบัติที่อื่น ๆ ก็คือ สามารถผลิตที่อุณหภูมิต่ำ จึงประหยัดพลังงาน
และสามารถปลูกติดบนแผ่นฐานอะไรก็ได้ เช่น แผ่นแก้ว แผ่นสแตนเลส แผ่นโพลีเมอร์

ปัจจุบัน ได้มีความพยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น
โดยการปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตที่เรียกว่า Multijunction คือมีเซลล์หลายชนิดซ้อนกัน
หลายชั้นและช่วงคลื่นความถี่ของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบน จะใช้ประโยชน์ในชั้นถัดไป ซึ่งยังอยู่ใน
ช่วงวิจัยและพัฒนา นอกจากนี้ยังมีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 ลักษณะและพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ หัวต่อพีเอ็น และ หัวต่อซิลิกอนเวีย ซึ่งมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับไดโอดทั่วไป ก็มีความสามารถในการคัดกระแสไฟฟ้า (Current Rectification) ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันตรงเส้นประ ในรูป 2.21 ในสภาพที่ไม่ถูกแสง เมื่อมีแสงตกกระทบหัวต่อจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก ลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นเส้นเต็มในรูป 2.21 พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งที่แรเงา คือ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตได้ ซึ่งไปจ่ายให้โหลดได้ประมาณ 90% แต่ต้องผ่านแบบลอรี จึงเหลือกำลังไฟฟ้าไปจ่ายโหลดได้เพียง 50% เป็นที่น่าสนใจว่าบริเวณรอยต่อที่เกิดปฏิกิริยาโฟโตโวลตาอิกนั้น จะมีกระแสไหลย้อนกลับ และเกิดควมเค้งศักย์ในทิศทาง forward โหลดที่นำมาต่อก็ควรเหมาะสมเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้า (I_M) และแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุด (V_M) ดังแสดงในรูป 2.21



รูป 2.21 เส้นลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์หลัก ๆ 3 ตัว คือ

- 1) ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมเปิด (V_{oc}) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ค่ากระแสไฟฟ้าัดวงจร (I_{sc}) ซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด

มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าฟิลต์แฟกเตอร์ (F.F.) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลคูณของแรงดันไฟฟ้าวงรีคิก และกระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่อเข้าถึงไฟฟ้าสูงสุด (ได้แก่ผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_n) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_n)) ซึ่งกำหนดได้จากอัตราต่อโวลต์ที่มีค่าเหมาะสม เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ จะมีค่าฟิลต์แฟกเตอร์เท่ากับ 1 ค่าฟิลต์แฟกเตอร์ อาจเท่ากับ 0.8 หรือสูงกว่า สำหรับการออกแบบเมื่อเกิดลัดวงจร ได้คือ คิวค้ำทานอนุกรม และผลกระทบอื่นๆ ทำให้ค่าฟิลต์แฟกเตอร์ ลดลงได้ ค่าฟิลต์แฟกเตอร์เป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้วัดคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในด้านการออกแบบ และในด้านการผลิต

$$F.F. = \frac{V_n \times I_n}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

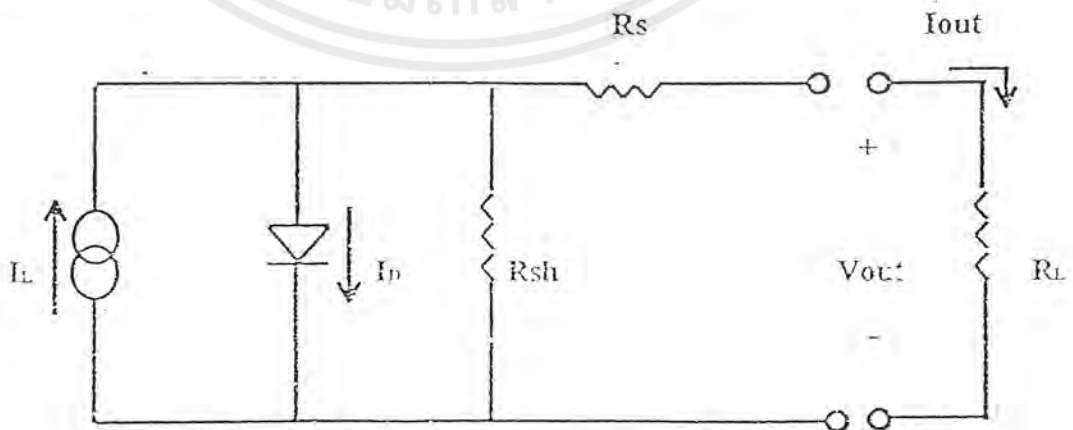
พารามิเตอร์ทั้งสามตัวนี้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพ และเงื่อนไขการลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพในการแปรพลังงานจึงเขียนแสดงสูตร ได้ดังนี้

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times F.F. \times 100}{P_{in}}$$

โดยที่ค่า P_{in} ได้แก่ input ที่ป้อนให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกำหนดได้จากความเข้มของแสงอาทิตย์ ซึ่งมีหน่วยลึคเป็นวัตต์ต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย

2.8.6 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นฐานมาจากคอนเวอร์เตอร์ (Converter) โดยทั่วไปจะใช้รูปแบบของวงจรสมมูลย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 และยังสามารรถปรับเปลี่ยนให้ก้าวหน้าในการใช้งานที่สภาวะปกติ โดยลัดส่วนที่เป็นคิวค้ำทานที่ค้อขนาน (R_{sh}) ออก จากการวิเคราะห์ห้พบว่า R_{sh} มีความสำคัญเมื่อทำการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่ได้รับแสงที่มีค่าค้ำทานั้น



รูป 2.22 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ดูเดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้ว่า วงจรสมมูลอยู่ในรูปแบบของกระแสขนานนอร์เตอร์(I_L) คงที่มัน ไปตามสมการ

$$I_L = q n(\lambda) \phi(\lambda)$$

โดยที่

- q = ประจุลบ
- $n(\lambda)$ = ประสิทธิภาพฟวอนดัม หรือ จำนวนคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็น คือ ควอนตัมของพลังงานแสงขณะนั้นที่ความยาวคลื่น (λ)
- $\phi(\lambda)$ = โฟตอนฟลักซ์ขณะนั้นบริเวณรอยต่อของเซลล์
- λ = ค่าความยาวคลื่นแสงขณะนั้นบริเวณรอยต่อของเซลล์

จากสมการข้างต้นสังเกตได้ว่าขนาดของ I_L มีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพฟวอนดัมของเซลล์ และโฟตอนฟลักซ์ของแสงขณะนั้น ซึ่งให้เห็นว่าสถานะทางกายภาพของของแข็งได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการเลือกชนิดของวัสดุที่ไร้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพฟวอนดัมมีค่าสูงสุด สำหรับทุก ๆ ค่าความยาวคลื่นแสง

พิจารณากระแสไอโอดีน สมการ

$$I_p = I_o (e^{\alpha V_j} - 1)$$

โดยที่

- I_o = กระแสรั่วของไอโอดีน
- α = $q/\eta kT$
- η = ideality factor ของไอโอดีน
- V_j = ความต่างศักย์ที่รอยต่อ

ในการคิดค่ากระแสไหลลดย่างง่าย เราจึงสมมติให้ $R_{sh} = \infty$

$$I_{out} = I_L - I_D$$

สมการ ที่ได้ทั้งสาม สามารถรวมกัน และใช้ประโยชน์ได้ในหลายรูปแบบ ถ้ากระแสไหลลดยกแบ่ง โดยพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะคงค่าความหนาแน่นของกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ (J) แล้ว ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าของเซนเนอร์ (P) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ

$$P = V \times J \quad \text{watts / cm}^2$$

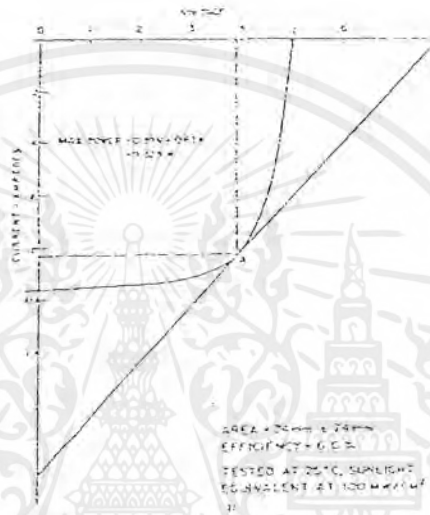
การนำสมการ ไปประยุกต์ใช้ โดยการคำนวณจากพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ให้ผลลัพธ์เป็น P_{out} ที่แน่นอนสำหรับการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็น array แบบขนาน

2.8.7 ผลตอบสนองและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเซลล์แสงอาทิตย์

R. Power Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการผิดกฎหมาย ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โพลและค่าของแอมเพิลจังก์ชันที่ต่อขั้วโพล (ซึ่งกำหนดเป็นรูป) สามารถวัดและนำมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อออกมาได้ (คือ I-V characteristic curve ซึ่งมีตัวอย่างในรูป 2.23 กราฟที่เห็นในรูปนี้จัดได้ว่าเป็นกราฟที่ดี มี efficiency 6% เป็นกราฟของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากฟิล์มบางของ CdS ขนาด 74 mm*74 mm ทดสอบที่อุณหภูมิ 25^oc ในบริเวณที่มีแสงเท่ากัน คือ 100 mW/cm² V_{oc} 0-5 V



รูปที่ 2.23 แสดง I-V characteristic curve

จากกราฟ: พลังงานสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้สูงสุดอยู่ที่จุด A ที่ซึ่งรูปสี่เหลี่ยมเกิดจากการวาดระหว่างเส้นกราฟและแกน coordinate และสามารถดูได้จาก i-V curve โดยการลากเส้นตรงสัมผัสกับกราฟไปตัดแกนที่เป็น I และ V จุดกึ่งกลางของเส้นนั้นก็คือ จุด A ซึ่งก็คือจุดที่ผลิตพลังงานได้สูงสุด

วงจรในทางอุดมคติที่ใช้แทนเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงโดยแหล่งกำเนิดกระแสตรงที่ต่อขนานกับไดโอด เป็นผลให้การแสดงของ output ก็จะเป็นลักษณะของ exponential

$$I = I_s - I_0 [e^{-QV/AKT} - 1]$$

I_s เป็นกระแสที่กำเนิดโดยแสง, I_0 เป็นกระแส reverse ที่สภาวะอิมพัลซ์ของไดโอด, V เป็น output voltage และ A เป็นค่าคงที่ ถ้าเป็น output ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำจาก CdS จะไม่แทนด้วยสมการนี้

ถ้าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก CdS วงจรสมมูลจะแสดงโดยการเพิ่มความต้านทานขนาน R_{sh} กับแหล่งกำเนิดกระแสตรงที่และเพิ่มความต้านทานอนุกรม R_s เข้าไป สมการจะกลายเป็น

$$J = I_s - I_0 [e^{(V-IR_s)/AKT} - 1] + (V-IR_s)/R_{sh}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดหาค่า R_{sh} และ R_s ค่ามากไปมีผลบวกต่อความต้านทานเพิ่มขึ้น สำหรับการแสดงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากฟิล์มบางของ CdS

ถ้าหวั่นในทางปฏิบัตินี้ เราจะต้องสนใจในความชันของ I-V curve ที่แกน voltage มีกับความต้านทานอนุกรมภายใน และความชันของกราฟที่แกนของกระแสเป็นความต้านทานขนานภายใน สำหรับ cell ที่ดีมากๆ เกออมของความต้านทานขนานและความต้านทานอนุกรมของสมการที่ 2 จะไม่น่ามาคิด จึงสามารถแทนสมการที่ 2 ได้ด้วยสมการที่ 1 และค่าคงที่ A สำหรับโซลาร์เซลล์ที่ทำจาก CdS จะมีค่าประมาณ 1.5-2

ข. Voltage Output

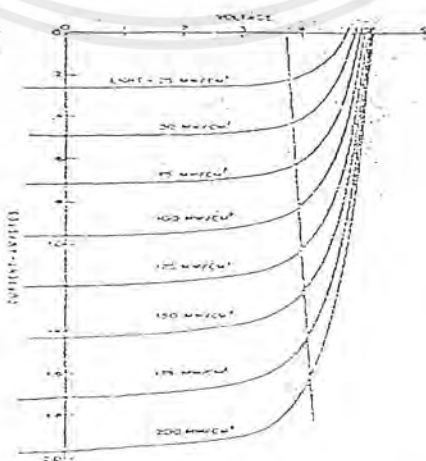
ความต่างศักย์ของ p-n junction ของเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนความสูงของ barrier ระหว่าง p และ n regions ถ้า CdS cells นั้นมีประสิทธิภาพ 4-8 % จะทำให้ V_{oc} อยู่ในช่วง 0.45-0.5 volt โดยที่ค่าของ V_{oc} จะไม่ขึ้นกับพื้นที่ของ cell

ค. Current Output

cell ในรูป 2.23 มี $I_{sc} = 17.5 \text{ mA/cm}^2$ บนพื้นที่ทั้งหมดของ cell ถ้า cell ที่มีประสิทธิภาพสูง I_{sc} จะสูงถึง 30 mA/cm^2 ถ้านำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก CdS มาผ่านกระบวนการพิเศษ จะทำให้ความหนาแน่นของกระแสสูงถึง 72 mA/cm^2 สาเหตุของการเกิดแบบนี้ก็คือ การขจัดของ barrier ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ V_{oc} output ค่าแล้วถ้าเมื่อการสร้าง barrier เสร็จสมบูรณ์โดยการให้ความร้อน V_{output} จะเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นของกระแสจะลดลงที่ค่าปกติ

ง. Effect of Illumination intensity

ผลของ output จากปริมาณแสงที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากฟิล์มบางของ CdS แสดงในรูป 2.24 โดยจะแสดงที่ความเข้มแสงจาก 25 ถึง 200 mW/cm^2 และที่อุณหภูมิคงที่ 25°C



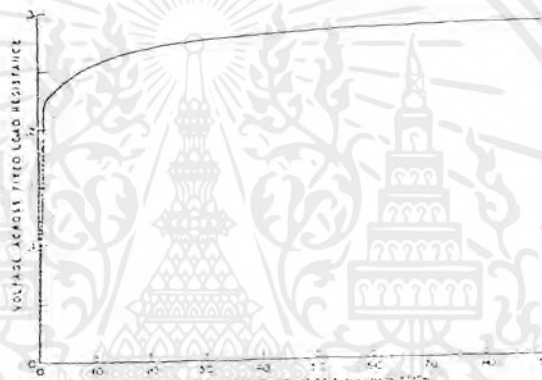
รูป 2.24 แสดงผลของความเข้มแสงที่ค่าต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่จะเห็นได้ว่า V_{oc} เพิ่มขึ้นเมื่อระดับแสงที่เข้ามาบนเซลล์จะเข้าผู้หุ้มมีค่า I_{sc} จะเพิ่มขึ้นเป็นแบบ linear ถ้าหุ้ม cell นี้จะมีประสิทธิภาพพอ % ที่ถูกวิเคราะห์ตรง จุดที่มีพลังงานสูงที่สุดของอุปกรณ์แล้วเส้นตรงนี้จะไม่คงขนาดถ้าเปลี่ยนค่า v_{oltage} หรือ v_{oltage} ที่จุดที่มีพลังงานสูงที่สุดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแสงเพิ่มขึ้น

จ. Time Response

Response ของระบบโฟโตโวลตาอิกที่ทำจาก CdS จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากที่ระดับแสงต่ำ แต่ถ้าเป็นที่ระดับแสงสูง จะมีทั้งส่วนที่ช้าและเร็ว แต่ถ้าเราต้องการได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าเรา จะวัด Response ที่ระดับแสงต่ำ



รูป 2.25 แสดง Time response ของ photovoltaic CdS cell

ในรูป 2.25 จะแสดง Response ที่มีระยะเวลาช้าในระดับแสงที่สูง output เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 85% ของค่าสุดท้าย (การเพิ่มรวดเร็วกว่าที่แสดงไว้ ณ ที่นี้) ส่วน 15 %สุดท้ายของ output ของ cell นี้ จะใช้เวลานานหลายนาที่

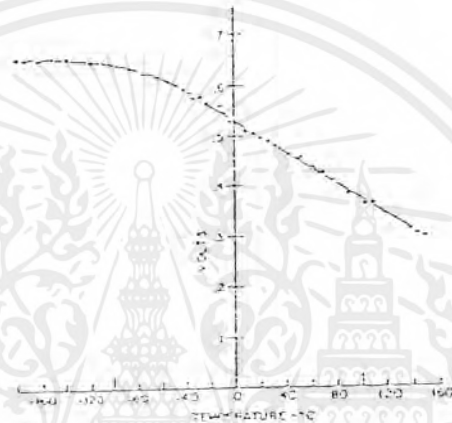
ฉ. Effect of Temperature

การแสดงทางอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก CdS ที่สังเคราะห์ในเวลาต่าง ๆ กัน จะแสดงได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน การแตกต่างกันเหล่านี้เป็นผลมาจากการที่ cell มีพื้นฐานที่แตกต่างกันการทดสอบที่ไม่สมบูรณ์ของ cell หรือ cell อาจ ไม่มีเสถียรภาพพอ และในบางกรณีอาจมาจากเหตุผลที่ว่า cell ถูกทดลองในช่วงเวลาที่น้อยเกินไปจึงทำให้ได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง

การทดสอบของ cell ที่มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง จะถูกทดสอบในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ทำให้ได้ข้อมูลหลายจุดและการทดสอบนั้นจะทำให้มั่นใจว่าจะมั่นใจว่าไม่มีผลกระทบจาก transient หรือการเปลี่ยนแปลงไปของ cell โดยจะเริ่มค้นหาค่าที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว และเพิ่มความร้อนอย่างช้าๆ ในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิ ค่าที่อ่านออกมาแต่ละค่าเป็นค่าที่จุดสมดุลของแต่ละอุณหภูมิเนื่องจากใช้เวลานานเพียงพอในการอ่านแต่ละค่า

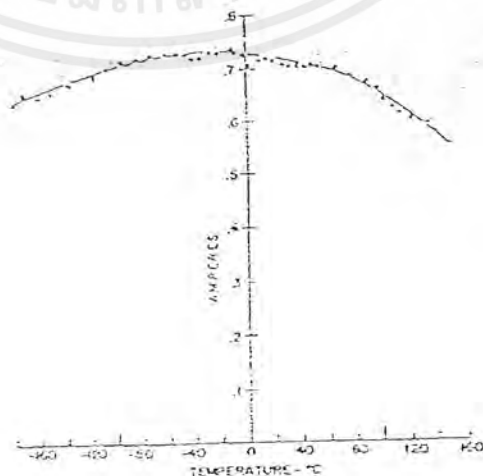
การเปลี่ยนแปลงของ V_{oc} เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแสดงได้ในรูป 2.26 จากรูปจะเห็นได้ว่า V_{oc} จะลดลงในช่วงหนึ่ง ในช่วงแรกๆ จะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงที่อุณหภูมิประมาณ -50°C วกว่าที่ จะลดลงอย่างรวดเร็วแต่จะเป็นไปอย่าง linear ในช่วง -50°C ถึง 150°C V_{oc} จะลดลงเฉลี่ย $1.6 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ที่เพิ่มขึ้น

Figure 4, SINGHANI



รูปที่ 2.26 แสดง V_{oc} ที่อุณหภูมิต่างๆ

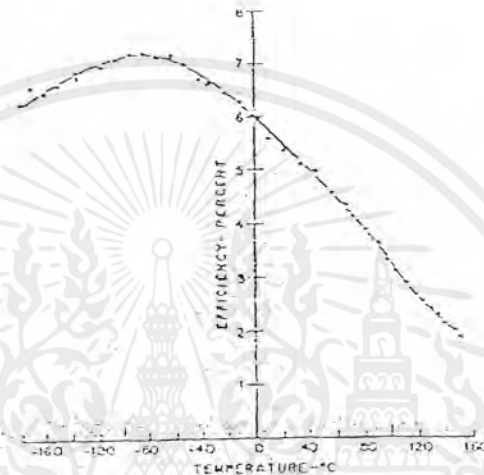
ส่วนการเปลี่ยนแปลงของ I_{sc} เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแสดงได้ในรูป 2.27 จากกราฟ จะเห็นได้ว่า I_{sc} ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มันจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิและ จะถึงจุดที่สูงที่สุดที่อุณหภูมิตั้งที่ประมาณ -40°C และที่อุณหภูมิสูงขึ้นอีก มันจะลดลง และตั้งแต่ อุณหภูมิ 100°C เป็นต้นไปมันจะลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.27 แสดง I_{sc} ที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงเล็บที่วารสารศึกษานานาชาติเพื่อเผยแพร่ข้อมูลทางวิชาการโดยไม่หวังประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจาก Voc และ Isc แล้ว เราอาจจะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของ cell เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังแสดงได้ในรูป 2.28 ที่อุณหภูมิค่ามาก ๆ ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ -80°C และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ประสิทธิภาพก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว



รูป 2.28 ประสิทธิภาพ ที่อุณหภูมิล่างๆ

ข. Spectral Response

cell ที่แตกต่างกันก็จะมีรูปแบบของ Response ที่แตกต่างกัน การที่จะวัด spectral response ให้ได้ค่าที่ถูกต้องนั้นทำได้ยากและที่ยากไปกว่านั้นก็คือ การตีความของข้อมูลที่ได้รับ และการวัด spectral response ของ cell 1 cell เป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานพอสมควร กราฟของ spectral response จะถูกทำให้มี energy input เท่ากันในแต่ละความยาวคลื่น เพื่อให้ power output ที่ออกมานั้นถูกต้อง response ส่วนใหญ่มาจากโฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่า 2.4 eV โดยปกติเราจะใช้คู่ของโฟตอนที่มีพลังงานไม่เท่ากันในการทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล

ข. Stability

ได้มีการทดลองเกี่ยวกับเสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากฟิล์มบางของ CdS บาง cell ก็มีเสถียรภาพเป็นเวลานาน แต่บาง cell ก็ไม่มี การไม่มีเสถียรภาพโดยปกติอาจเกิดจากความผิดพลาดที่ร่องคอของ cell

barrier ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก CdS จะไวต่อความชื้นมาก ถ้าหากมีความชื้น output ที่ได้จะลดลงและจะลดลงมากแค่ไหนขึ้นกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นใน barrier region การลดลงของ output ที่เกิดจากความชื้นนั้นสามารถทำให้กลับมามีสภาพปกติได้โดย

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100°C ที่ระยะเวลาสั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์รับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.8 ข้อมูลต่างๆที่มากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายประเภท การพิจารณาเลือกใช้ประเภทใดประเภทหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้งและความต้องการของผู้ใช้ เช่น ผู้ใช้มีปัญหาเรื่องขนาดของพื้นที่ติดตั้งหรือไม่ ถ้าไม่มีปัญหา ก็อาจจะเลือกใช้ชนิดที่เป็นฟิล์มบางซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดที่เป็นผลึกเดี่ยวซิลิคอน หรือ ผลึกโพลีซิลิคอน ซึ่งราคาอาจถูกกว่า อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ชนิดใด ข้อมูลที่ควรพิจารณาซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานสากลที่ใช้กันอยู่ สำหรับแผงแสงอาทิตย์ จะมีข้อมูลต่างๆเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบดังต่อไปนี้-

Peak Power (Pmax)	คือกำลังสูงสุดของแผงชนิดนั้นๆ ซึ่งจะบอกตัวเลขเป็นวัตต์ (W)
Operating Voltage (V mp)	คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า บอกตัวเลขเป็น โวลท์
Operating Current (I mp)	คือกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ที่กำลังสูงสุดเมื่อใช้งานปกติ บอกตัวเลขเป็นแอมป์
Open Circuit Voltage (V oc)	คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร ซึ่งเป็นแรงดันที่วัดได้เมื่อไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า
Short Circuit Current (I sc)	คือกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจร (แอมป์)
Dimensions	คือขนาดของแผง ซึ่งมี
Length	ความยาวแผง
Width	ความกว้างแผง
Depth	ความหนาแผง
Weight	คือน้ำหนักแผงเพื่อประโยชน์ในการคำนวณโครงสร้างรองรับแผง
Standard Test Condition	คือเงื่อนไขของการทดสอบแผง เช่น
Air Mass 1.5	ระดับความเข้มของแสงที่ใช้ในการทดสอบที่ 1000 W ต่อ ตารางเมตร
Operating Temperature	ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ และใช้งาน
Cell Specifications	ข้อมูลจำนวนชิ้นและชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.9 ประสิทธิภาพของเซลล์และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์และประสิทธิภาพของแผงจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการคำนวณประสิทธิภาพนั้นจะคำนวณจากขนาดของซิลินเซลล์ หรือ ขนาดของแผง เปรียบเทียบกับ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากซิลินเซลล์ หรือจากแผงนั้นๆ ซึ่งจะมีความแตกต่างกัน เพราะการนำซิลินเซลล์ไป ประกอบเป็นแผงนั้นจะมีช่องรอยต่อระหว่างซิลินเซลล์ ทำให้ขนาดของแผงใหญ่ขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ซิลินเซลล์ขนาด 125 x 125 มม. ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ $125 \times 125 = 15,625$ ตร.มม. ต่อซิลิน จำนวน 36 ซิลิน จะมีพื้นที่รวม 562,500 ตร.มม. หรือเท่ากับ 0.562 ตร.เมตร และเซลล์ทั้ง 36 ซิลินที่วางนี้สามารถให้ กำลังได้รวมกัน เท่ากับ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสงมาตรฐาน 1,000 วัตต์ ต่อ ตร. เมตรแล้ว ประสิทธิภาพของซิลินเซลล์ขนาดนี้จะเท่ากับ 75×100 หารด้วย $0.562 \times 1,000 = 13.34\%$ ถ้าหากซิลินเซลล์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในกรณีที่เซลล์มีการตัดมุมทิ้งไปทั้ง 4 มุม ทำให้พื้นที่จริงของซิลินเซลล์ลดลง ประสิทธิภาพของเซลล์ก็จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

แต่เมื่อนำซิลินเซลล์ทั้ง 36 ซิลินนี้ไปประกอบเป็นแผงแสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีช่องระหว่างรอยต่อของเซลล์แต่ละซิลิน ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดของแผงใหญ่ขึ้นกว่าพื้นที่ของซิลินเซลล์ทั้ง 36 ซิลินรวมกัน เช่น เมื่อประกอบเป็นแผง ขนาดของแผงแสงอาทิตย์นั้น จะมีความกว้างเท่ากับ 530 มม. และมีความยาวแผงเท่ากับ 1,188 มม. ซึ่งเมื่อคิดเป็นพื้นที่แล้วจะได้พื้นที่ เท่ากับ $530 \times 1,188$ หรือ 629,640 ตร.มม. หรือเท่ากับ 0.630 ตร. เมตร ในขณะที่แผงดังกล่าวให้กำลังเท่าเดิมคือ 75 วัตต์ ที่ความเข้มของแสงมาตรฐาน 1,000 วัตต์ ต่อ ตร. เมตรแล้ว ประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์นั้นจะเท่ากับ 75×100 หารด้วย $0.63 \times 100 = 11.90\%$

ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีความพยายามในการพัฒนาประสิทธิภาพของซิลินเซลล์ให้สูงขึ้น ในขณะที่ขนาดของซิลินเซลล์เท่าเดิม ทั้งนี้เพื่อให้แผงขนาดเท่าเดิมแต่สามารถให้กำลังได้เพิ่มขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการติดตั้งแผงที่มีพื้นที่ติดตั้งจำกัด

2.8.10 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย

อัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน กิโลวัตต์ / ตารางเมตร / วัน

สถานที่	14ม.ค.-26ก.พ.	27ก.พ.-12เม.ย.	13เม.ย.- 28พ.ค.
ภาคกลาง(กรุงเทพฯ)	4.66	5.41	4.94
ภาคเหนือ(เชียงใหม่)	4.65	5.35	5.59
ภาคอีสาน(ขอนแก่น)	4.69	5.01	5.37
ภาคใต้(สงขลา)	4.97	5.37	4.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่	29พ.ค.-15ก.ค.	16ก.ค.-31ค.ค.	1ก.ย.-15ค.ค.
ภาคกลาง(กรุงเทพฯ)	4.62	4.30	4.49
ภาคเหนือ(เชียงใหม่)	4.79	4.40	4.67
ภาคอีสาน(ขอนแก่น)	4.86	4.57	4.55
ภาคใต้(สงขลา)	4.64	4.72	4.54

สถานที่	16ค.ค.-29พ.ย.	30พ.ย.-13ม.ค.	เฉลี่ยทั้งปี
ภาคกลาง(กรุงเทพฯ)	4.55	4.63	4.70
ภาคเหนือ(เชียงใหม่)	4.72	4.33	4.81
ภาคอีสาน(ขอนแก่น)	4.86	4.58	4.81
ภาคใต้(สงขลา)	4.19	4.12	4.68
เฉลี่ยทั้งประเทศ			4.75

ตาราง 2.3 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 คอนโทรลของ Visual Basic

Visual Basic เป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวินโดวส์ตัวแรกที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากแนวความคิดที่จะนำเอาความสามารถของคอนโทรลมาใช้ในการออกแบบโปรแกรมนี้เอง เพราะคอนโทรลเป็นเครื่องมือที่ช่วยลดความซับซ้อนในการเขียนโค้ดลงไปได้มากทีเดียว และนอกจากนี้คอนโทรลยังมีส่วนที่แสดงผลเพื่อสื่อความหมายของการทำงานระหว่างคอนโทรลและผู้ใช้ได้อีกด้วย ส่วนการใช้งานก็ไม่มี ความซับซ้อนเพียงแต่ผู้อ่านทำการเชื่อมต่อคอนโทรลเข้ากับสภาพแวดล้อมของ Visual Basic จากนั้นก็สามารถที่จะนำมาเพิ่มลงในฟอร์มได้ทันที สำหรับ Visual Basic 5.0 ได้มีการแบ่งคอนโทรลออกเป็น 4 กลุ่มหลักๆ ดังนี้

1. คอนโทรลภายใน (Intrinsic Control) เช่น ComboBox, CommandButton หรือ PictureBox เป็นต้น ซึ่งเป็นคอนโทรลที่ถูกสร้างลงในสภาพแวดล้อมของ vb.exe ดังนั้นทุกครั้งที่ผู้อ่านโหลด Visual Basic คอนโทรลเหล่านี้จะสามารถนำออกใช้จากแถบกล่องเครื่องมือได้เลย ดังนั้นจึงจัดได้ว่าเป็นคอนโทรลมาตรฐาน (Standard Control) กลุ่มหนึ่งของ Visual Basic
2. คอนโทรลมาตรฐาน (Standard Control) เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกสร้างเป็นไฟล์ .ocx ที่แยกออกมาต่างหาก เช่น DBGrid (Apex data-bound grid), MSFlexGrid หรือ CommonDialog เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะสามารถใช้งานคอนโทรลในกลุ่มนี้ได้เราต้องทำการเชื่อมต่อไฟล์ .ocx เหล่านี้เข้ากับสภาพแวดล้อมของ Visual Basic เสียก่อน โดยใช้คำสั่ง Component ในเมนู Project เช่นเดียวกัน
3. คอนโทรลร่วมวินโดวส์ (Window Common Control) เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกสร้างเป็นไฟล์ .ocx ที่ต้องใช้ร่วมกับไฟล์ .dll ของวินโดวส์ เช่น RichTextBox, Slider หรือ StatusBar เป็นต้น เช่นเดียวกับคอนโทรลมาตรฐาน เพียงแต่คอนโทรลในกลุ่มนี้ได้ถูกจัดเป็นคอนโทรลพื้นฐานของวินโดวส์ 95 ซึ่งจะคิดมากับวินโดวส์ 95 โดยที่คอนโทรลร่วมกับวินโดวส์จะถูกจัดเก็บในไฟล์ conct132.ocx และ conct232.ocx
4. คอนโทรล ActiveX รุ่นมืออาชีพ (Professional Active Control) เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกสร้างเป็นไฟล์ .ocx เช่นเดียวกับคอนโทรลมาตรฐาน เช่น MSCom (Communications), MapiMessages (MAPI messages) หรือ MMControl (Multimedia MCI) เป็นต้น แต่คอนโทรลในกลุ่มนี้ได้ถูกสร้างและแจกจ่ายมากับ Visual Basic รุ่น Professional และ Enterprise เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 คอนโทรลที่สำคัญๆ ที่ได้นำมาใช้กับโครงการนี้

คอนโทรลทั้งหมดที่มากับ Visual Basic ไม่ว่าจะเป็นคอนโทรลภายในหรือ ActiveX จะมีคุณสมบัติตัวหนึ่งที่ถูกใช้สำหรับการกำหนดค่า (Value) หรืออ่านค่าจากคอนโทรล และคุณสมบัตินี้ได้ถูกกำหนดให้เป็นคุณสมบัติปกติ (Default) ของคอนโทรล โดยในการเขียนโค้ดเราสามารถใช้เพียงชื่อของคอนโทรล (Control Name) โดยไม่ต้องกำหนดคุณสมบัติของทุกๆ คอนโทรลได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด เช่น คอนโทรล TextBox ก็จะมีคุณสมบัติ Text เป็นคุณสมบัติปกติของคอนโทรล

2.9.1.1 คอนโทรลภายใน

การแบ่งกลุ่มของคอนโทรลภายใน

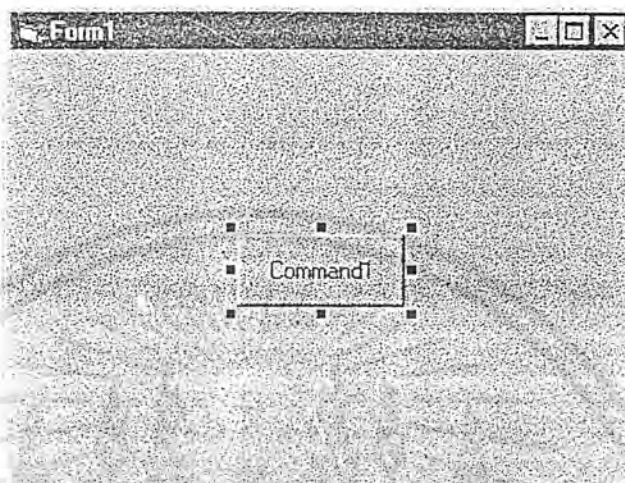
เราจะแยกตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม

1. คอนโทรลภายในทั่วไป ประกอบด้วยคอนโทรลที่แสดงผลในลักษณะของการเลือกตอบหรือเลือกรายการ เช่น CheckBox , OptionBox หรือ ListBox เป็นต้น
2. คอนโทรลภายในด้านระบบไฟล์ ประกอบด้วยคอนโทรลที่ทำหน้าที่ติดต่อหรือแสดงผลระบบไฟล์ (รวมทั้ง ไคร์ฟและ ไคเรททอรีด้วย) ของวินโดวส์ เช่น FileListBox หรือ DirListBox เป็นต้น
3. คอนโทรลภายในด้านกราฟฟิก ประกอบด้วยคอนโทรลที่ทำหน้าที่ด้านแสดงผลกราฟฟิกด้วยวิธีการกราฟฟิกของคอนโทรล หรือฟังก์ชันวินโดวส์ API หรือไฟล์กราฟฟิกในรูปแบบต่างๆ เช่น PictureBox , Shape หรือ Image เป็นต้น
4. คอนโทรลภายในด้านเวลา ซึ่งจะมีคอนโทรลเดียว ได้แก่ Timer ซึ่งมีหน้าที่สร้างเหตุการณ์ที่ตอบสนองเป็นครั้งๆตามช่วงเวลาที่ถูกกำหนด

2.9.1.1.1 คอนโทรล CommandButton (Command Button)

คอนโทรล CommandButton จะเป็นคอนโทรลที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะในการกำหนดให้ผู้ใช้งานเลือก OK หรือ Cancel นั้นเรามักจะใช้คอนโทรล CommandButton เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงถือว่าเป็นคอนโทรลที่พื้นฐานที่สุดของ Visual Basic เนื่องจากคอนโทรลนี้เป็นปุ่มสำคัญที่ใช้งานในรูปแบบของการคลิกเพื่อยืนยัน ดังนั้นจึงอาจเรียกคอนโทรล CommandButton

ได้อีกอย่างว่า Push Button ในขณะที่ออกแบบคอนโทรล CommandButton ที่วางลงบนฟอร์มจะมีลักษณะดังตัวอย่างในรูป 2.17

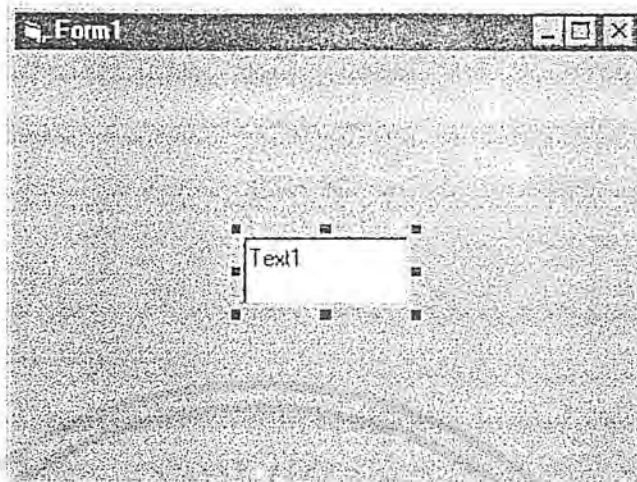


รูป 2.29 แสดงคอนโทรล CommandButton ในขณะที่ออกแบบ

เราสามารถแก้ไขข้อความที่แสดงผลในคอนโทรลนี้ได้ โดยการแก้ไขข้อความของคุณสมบัติ Caption ของคอนโทรล ในหน้าต่างคุณสมบัติหรือแก้ไขโค้ดในแอปพลิเคชันก็ได้

2.9.1.1.2 คอนโทรล TextBox (Text Box)

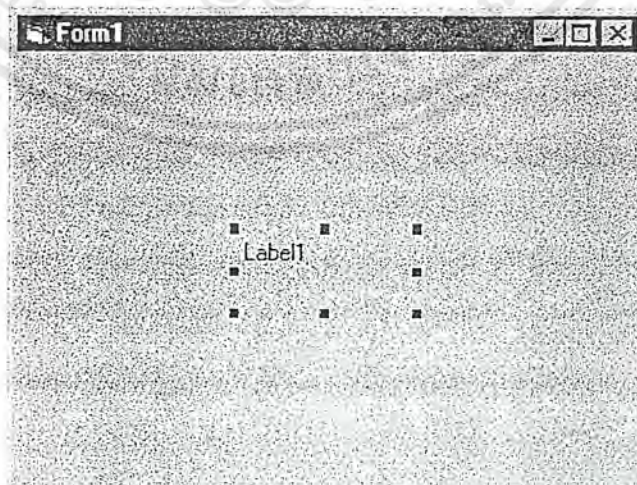
คอนโทรล TextBox มักจะถูกนำไปใช้ทุกๆ ฟอร์มที่มีการรับการกรอกข้อความจากผู้ใช้ เนื่องจากคอนโทรลนี้ทำหน้าที่แสดงข้อมูล (โดยผ่านทางคุณสมบัติ Text) ในคอนโทรล และยังอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขตัวอักษรต่างๆ ของคุณสมบัตินี้ได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้แล้วคอนโทรล TextBox ยังได้ร่วมเอาความสามารถหลายๆด้านของคอนโทรล Label มาใช้ เช่น สามารถแสดงข้อความได้มากกว่า 1 บรรทัด ความสามารถด้าน DDE (Dynamic Data Exchange) และนอกจากนี้ยังสามารถถูกนำไปใช้ในลักษณะของการกรอกรหัสผ่าน (Password) ได้อีกด้วยดังรูป 2.18



รูป 2.30 แสดงคอนโทรล TextBox ในการออกแบบ

2.9.1.1.3 คอนโทรล Label (Label)

คอนโทรล Label เป็นคอนโทรลในลักษณะของกราฟฟิกที่ถูกใช้งานด้านการแสดงผลข้อความบนฟอร์ม เหมือนกับผู้อ่านได้นำป้ายข้อความอย่างหนึ่งไปวางไว้บนฟอร์มเพื่อใช้ในการสื่อข้อความกับผู้ใช้ และคอนโทรลนี้ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้โดยตรงด้วยวิธีการคีย์หรือใช้เมาส์ในขณะรันแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ภายในแอปพลิเคชันจะมีการเขียนโค้ดสำหรับแก้ไขข้อความในคอนโทรล โดยการแก้ไขค่าคุณสมบัติ Caption เท่านั้น และนอกจากนี้ Label ยังเป็นคอนโทรลที่มีความสามารถด้าน DDE (Dynamic Data Exchange) อีกด้วย ในขณะที่ออกแบบเราสามารถเพิ่มคอนโทรลลงในฟอร์มหรือตัวบรรจุอื่นๆ ก็จะปรากฏหน้าต่างของคอนโทรลดังรูป 2.19



รูป 2.31 แสดงคอนโทรล Label ในขณะออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมพฤติกรรมของคอนโทรล เราสามารถกระทำได้โดยการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับคุณสมบัติของคอนโทรล ซึ่งการแก้ไขค่าของคุณสมบัติเราสามารถกระทำได้ทั้งในขณะที่ออกแบบ โดยการแก้ไขค่าในหน้าต่างคุณสมบัติ และรับแอปพลิเคชัน โดยการเขียนโค้ดเพื่อแก้ไขค่าของคุณสมบัติ แต่ก็มีบางคุณสมบัติที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในขณะรันแอปพลิเคชัน เช่น Name เป็นต้น

2.9.1.2 คอนโทรล Communications

การคอนโทรลด้านการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port) โดยอาศัยคอนโทรล MSComm ซึ่งกล่าวถึงพอร์ตอนุกรม ซึ่งหมายถึงพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่วินโดวส์รู้จักในชื่อของ COM1: หรือ COM: เป็นต้น แต่สำหรับแอปพลิเคชันที่เรานำคอนโทรล MSComm ไปใช้นั้นมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน เช่น การเขียนโปรแกรมสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ หรือศูนย์บริการ BBS หรือแม้กระทั่งโฮสต์ที่ใช้บริการอินเทอร์เน็ตโดยผ่านทางโมเด็ม หรือนอกจากนี้เรายังสามารถที่จะใช้คอนโทรล MSComm ในการติดต่อหรือควบคุมบอร์ดต่างๆ หรือแม้กระทั่งอ่านรหัสบาร์โค้ด (Barcode Reader) ที่ต่อผ่านพอร์ตอนุกรมก็ได้เช่นกัน ด้วยเหตุผลนี้คอนโทรล MSComm จึงมีประโยชน์อย่างมากต่อการสร้างแอปพลิเคชันด้านการสื่อสารหรือการควบคุมบอร์ดต่างๆ

พอร์ตอนุกรม (Serial Port)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานตามมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232-C กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดโดย EIA ซึ่งเป็นองค์กรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของสหรัฐอเมริกา โดยแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ลักษณะคือ DTE (Data Terminal Equipment) และ DCE (Data Communication Equipment) ซึ่งโดยปกติ DTE จะต้องต่อเข้ากับ DCE เสมอ เช่น การต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ (อุปกรณ์ DTE) เข้ากับอุปกรณ์โมเด็ม (อุปกรณ์ DCE) เป็นต้น

พอร์ตอนุกรม RS-232-C จะเป็นพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขาต่อ (Connector) ทั้งประเภท 9 และ 25 ขา และเราเรียกกันว่าพอร์ต COM1: และ COM2: นั่นเอง ในความจริงพอร์ตอนุกรมไม่ได้ถูกควบคุมโดยตรงจาก CPU บนเมนบอร์ด แต่การสื่อสารทั้งหมดจะถูกเก็บโดยชิป UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) อีกทีหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันเบอร์ที่ใช้กันมากที่สุดก็คือเบอร์ 16550C ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ได้รับการแก้ไขข้อผิดพลาดแล้ว ซึ่งชิป UART นี้จะทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูล (Data Transmission)

- รับตัวอักษรจากเครื่องคอมพิวเตอร์
- แปลงตัวอักษรให้เป็นสายข้อมูลแบบบิต (เราเรียกว่าขบวนการ Serialization)
- สร้างเฟรมข้อมูล โดยการเพิ่มบิตที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารและการตรวจสอบ เช่น บิต START , STOP และ Parity เป็นต้น
- ส่งผ่านเฟรมข้อมูลที่สร้างขึ้นมาแล้วจากขั้นตอนที่ผ่านมา ด้วยความเร็วของโมเด็มหรือพอร์ตอนุกรม (Baud Rate)
- แสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

การรับข้อมูล (Data Receiver)

- รับตัวอักษรจากอินเตอร์เฟส
- ตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐานเฟรมที่กำหนด โดยถ้าหากเฟรมข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่ถูกต้องก็จะมีอาการแจ้งข้อผิดพลาดทันที
- ตรวจสอบความถูกต้องของพาริตี
- แปลงสายข้อมูลแบบบิตให้เป็นตัวอักษร
- ส่งตัวอักษรให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์
- แสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับอินเตอร์เฟส

2.9.1.2.1 คอนโทรล MSComm (Communication)

คอนโทรล MSComm เป็นคอนโทรลตัวหนึ่งซึ่งช่วยในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ซึ่งผู้อ่านสามารถทำการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ด้วยคอนโทรลนี้ เช่น การติดต่อกับทางโมเด็ม (Modem) หรือ ติดต่อกับบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งคอนโทรล MSComm ที่มากับ Visual Basic จะเป็นคอนโทรลที่ทำงานโดยมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์แบบ Event-Driven นั่นก็คือคอนโทรลจะทำหน้าที่ตรวจสอบการเกิดขึ้นหรือร้องขอให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆกับพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติ และจะมีการแจ้งเตือนให้ผู้อ่านได้รับทราบโดยผ่านโพธิ์ซีเอร์เหตุการณ์ เช่นเดียวกับคอนโทรลทั่วไปของ Visual Basic นั่นเอง ดังนั้นในการเขียนโค้ดเราจึงไม่จำเป็นต้องสร้างโพธิ์ซีเอร์ที่ทำหน้าที่คอยตรวจสอบเหตุการณ์ต่างๆของพอร์ตอนุกรมซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการทำงานเป็นอย่างมาก

คอนโทรล MSComm จะมีหน้าที่มาตรฐานหลักๆสำหรับการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม 3 ประการดังต่อไปนี้

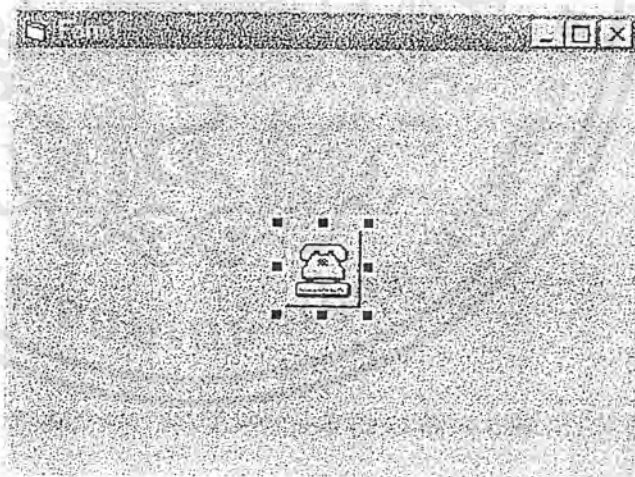
- หมุนหมายเลขติดต่อกับโทรศัพท์ปลายทางที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบการเข้ามาของข้อมูลยังพอร์ตอนุกรมโดยฮัส โนมัตติ
- ส่งข้อมูลตามที่กำหนดจากโปรแกรมไปยังพอร์ตอนุกรม

ในความจริงคอนโทรล MSComm ไม่ได้ทำหน้าที่ที่ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมโดยตรง แต่มันจะทำหน้าที่เรียกใช้ฟังก์ชันวินโดวส์ API ซึ่งวินโดวส์จะทำการส่งหรือรับข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยอาศัยไดรเวอร์ Comm.drv อีกทอดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถสรุปสั้นๆ ได้ว่าทุกครั้งที่เรามีการเรียกใช้คอนโทรล MSComm ก็หมายถึงเรียกใช้ฟังก์ชันวินโดวส์ API ซึ่งจะถูกต้องความอีกทอดหนึ่งโดยไดรเวอร์ Comm.drv จากนั้นก็จะส่งผ่านข้อมูลที่ถูกจัดรูปแบบตามมาตรฐานการสื่อสาร (ทั้งนี้ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต่อเข้าพอร์ตอนุกรม) ให้กับดีไวซ์ไดรเวอร์อีกทอดหนึ่งนั่นเอง

การกำหนดคุณสมบัติของคอนโทรล MSComm ในขณะที่ออกแบบเราสามารถกระทำได้อย่างสะดวกโดยการคลิกที่ปุ่มของรายการ (Custom) ในหน้าต่างคุณสมบัติ ซึ่งก็จะปรากฏไอคอน ล็อกบ็อกซ์ Property Page เพื่อให้เราได้ปรับแต่งค่าคุณสมบัติที่คอนโทรล MSComm สนับสนุน

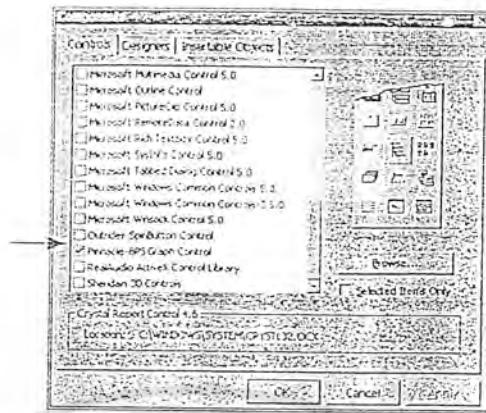


รูป 2.32 แสดงคอนโทรล MSComm ในขณะที่ออกแบบ

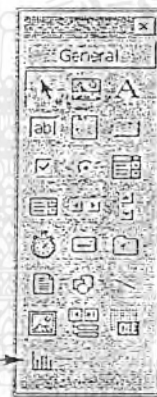
2.9.1.3 การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟ

เราสามารถนำข้อมูลที่อยู่ใน Database มาเสนอในรูปแบบของกราฟได้ โดยอาศัย Control “Graph” ซึ่งไม่ใช่ Control มาตรฐาน ดังนั้นจึงต้องเพิ่มเข้ามาใน Toolbox โดยเลือก “Pinnacle-BPS Graph Control” ในจอภาพคอมโพเนนท์ (Components) ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.33 การเลือกคอนโทรลกราฟในจอภาพคอมพิวเตอร์



รูป 2.34 คอนโทรลกราฟที่ปรากฏอยู่ใน Toolbox

2.9.1.3.1 Property ของ Graph

ประกอบด้วย

- BottomTitle ใช้แสดงข้อความใ้รู้รูปกราฟ
- ColorData ใช้กำหนดสีของกราฟ
- GraphStyle ใช้กำหนดรูปแบบในการแสดงผล เช่น แสดงโนแนวนอน ในแบบ Stacked
- GraphTitle ใช้แสดงข้อความเหนือรูปกราฟ
- GraphType ใช้กำหนดรูปแบบของกราฟ เช่น กราฟแท่ง กราฟรูปพาย กราฟเส้น กราฟวงกลม
- GridStyle ใช้กำหนดรูปแบบของเส้นที่ปรากฏในรูปกราฟเพื่อบอกขนาด ประกอบด้วย

0 – gphNone ไม่ปรากฏเส้นในรูปกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 - gphHorizontal ปรากฏเส้นในแนวแกน X

2 - gphVertical ปรากฏเส้นในแนวแกน Y

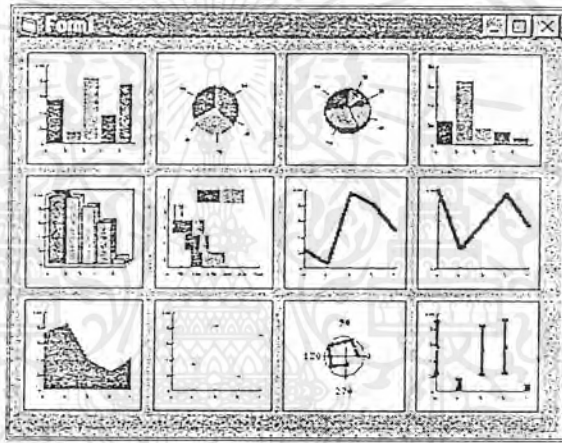
3 - ghpBoth ปรากฏเส้นในทั้ง 2 แกน

- NumPoint ใช้กำหนดจำนวนข้อมูลในแนวแกน X

- NumSets ใช้กำหนดจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

ตัวอย่าง การแสดงรูปกราฟในแบบต่างๆ

1. เปิด Project ใหม่ แล้ววาด Graph จำนวน 12 รูป ลงบน Form
2. กำหนด Property "GraphType" ของแต่ละรูป ให้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 11 ตามลำดับ จะได้รูปกราฟแต่ละรูป ดังรูป



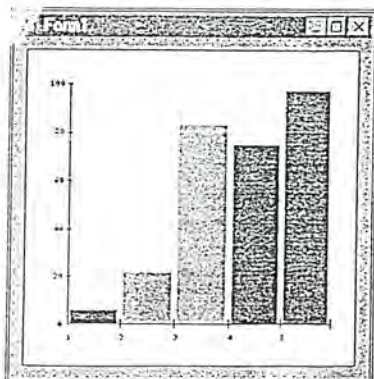
รูป 2.35 ชนิดของรูปกราฟ

2.9.1.3.2 การกำหนดข้อมูลให้กับกราฟ

จะอาศัย Property "GraphData" ในการกำหนด โดยค่าที่กำหนดในครั้งแรกจะเป็นค่าของกราฟที้งแรก ค่าที่กำหนดในครั้งที่ 2 จะสำหรับกราฟแท่งที่ 2 ต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับ

ตัวอย่าง การกำหนดข้อมูลให้กับกราฟ

1. เปิด Project ใหม่ แล้ววาด Fraph ลงบน Form ดังรูป



รูป 2.36 การวาดรูปกราฟลง บน Form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิมพ์คำสั่งต่าง ๆ ดังนี้

```
Private Sub Form_Load()
    Graph1.GraphData = 10
    Graph1.GraphData = 8
    Graph1.GraphData = 20
    Graph1.GraphData = 12
    Graph1.GraphData = 15
End Sub
```

3. Run จะได้จอภาพดังรูป

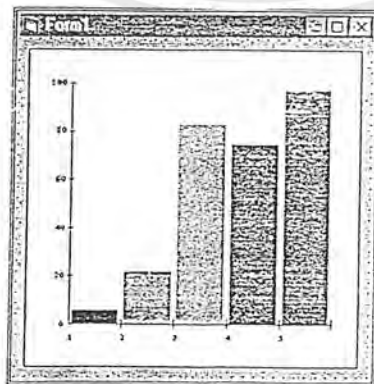


รูป 2.37 รูปกราฟขณะรันโปรแกรม

ในตัวอย่างนี้ เราได้กำหนดค่าให้กับ Property “GraphData” จำนวน 5 ค่าด้วยกัน ซึ่งค่าที่กำหนดจะใช้แสดงรูปกราฟจำนวน 5 รูปโดยมีค่าตามลำดับที่กำหนดให้ เช่น กราฟรูปที่ 1 มีค่าเท่ากับ 8 เป็นต้น

ตัวอย่าง การกำหนดข้อมูลในกราฟในลักษณะเป็นกลุ่ม

1. เปิด Project ใหม่แล้ววาด Graph ลงบน Form ดังรูป



รูป 2.38 การวาดรูปกราฟลง บน Form

2. พิมพ์คำสั่งต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Graph1.NumSets = 2
```

```
    Graph1.NumPoints = 3
```

```
    Graph1.GraphData = 10
```

```
    Graph1.GraphData = 20
```

```
    Graph1.GraphData = 5
```

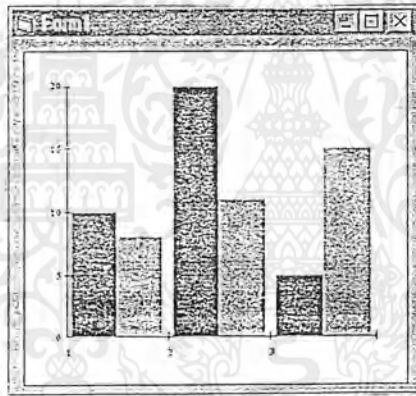
```
    Graph1.GraphData = 8
```

```
    Graph1.GraphData = 11
```

```
    Graph1.GraphData = 15
```

```
End Sub
```

3. Run จะได้ออกภาพดังรูป

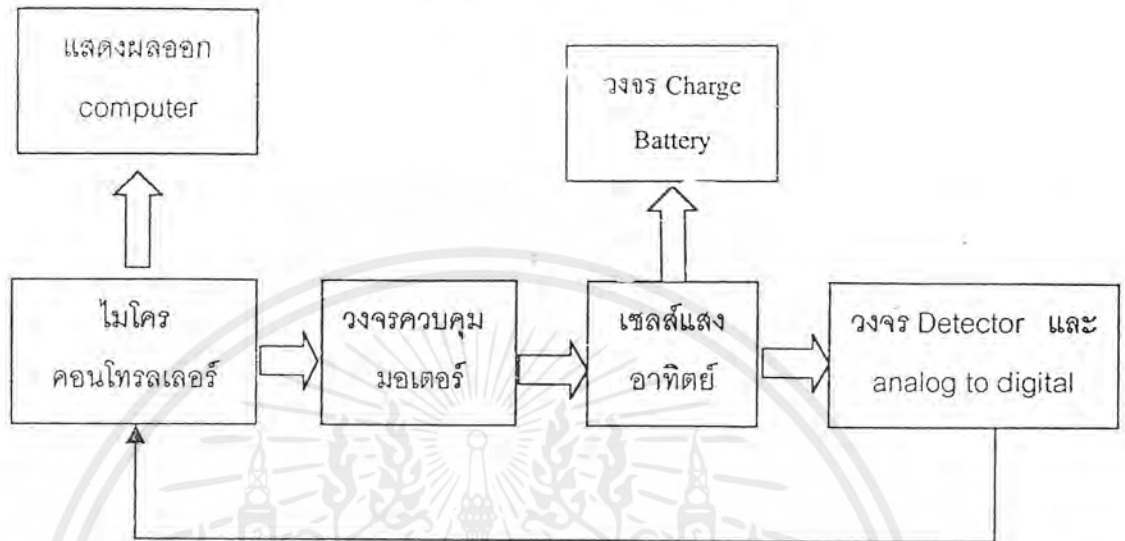


รูป 2.39 รูปกราฟขณะรันโปรแกรม

ในตัวอย่างนี้ เราได้ใช้ Property “NumSets” เพื่อกำหนดจำนวนกราฟในแต่ละกลุ่มซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีค่าเป็น 2 จึงปรากฏกราฟจำนวน 2 แท่งในแต่ละกลุ่ม และใช้ Property “NumPoints” เพื่อกำหนดจำนวนชุดข้อมูลซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีค่าเป็น 3 จึงปรากฏกราฟจำนวน 3 กลุ่ม ในการกำหนดข้อมูลให้กับ Property “GraphData” 3 บรรทัดแรก จะใช้สำหรับกำหนดให้กับกราฟแ่งแรกในแต่ละกลุ่ม ส่วน 3 บรรทัดถัดมา จะใช้สำหรับกำหนดให้กับกราฟแท่งที่ 2 ในแต่ละกลุ่ม

บทที่ 3

โครงสร้างและวงจรที่ใช้งาน

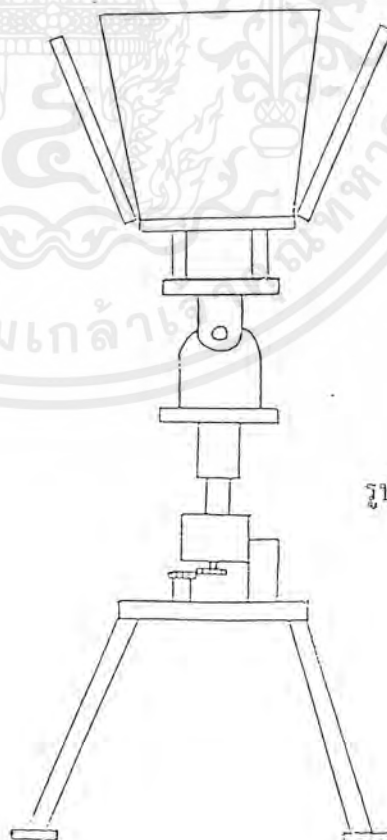


รูป 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมทิศทางการรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

ซึ่งอธิบายรายละเอียดของส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

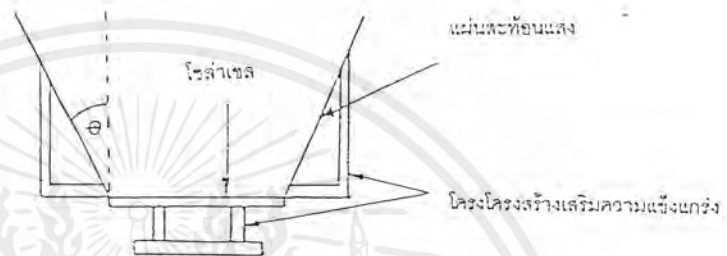
3.1 โครงสร้างทางด้านกลศาสตร์



รูป 3.2 โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างมีขนาด 4 ขา มีมอเตอร์ควบคุมทิศทาง 2 ตัวคือมอเตอร์ a และ b ซึ่งมอเตอร์ a จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนรอบตัวเองและมอเตอร์ b จะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวตรงซึ่งส่วนบนจะติดเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ซึ่งถ้าแยกพิจารณาเฉพาะส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์จะได้ดังนี้



รูป 3.3 แสดงองค์ประกอบของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

ซึ่งค่า θ หาได้จากสมการ

$$2X \sin^2 \theta + L \sin \theta - X = 0$$

ซึ่งสมการหาได้ดังนี้คือ

$$C = L \sin \theta$$

$$\text{หา } \tan(90 - \theta) = E/C$$

$$\tan(90 - 2\theta) = E/(X + C)$$

$$\tan(90 - 2\theta) = [C \tan(90 - \theta)] / [X + C]$$

$$\tan(90 - 2\theta) = [L \sin \theta (\cos \theta / \sin \theta)] / [X + L \sin \theta]$$

$$[\cos 2\theta] / [\sin 2\theta] = [L \sin \theta] / [X + L \sin \theta]$$

$$\tan 2\theta = X / [L \cos \theta] + \tan \theta$$

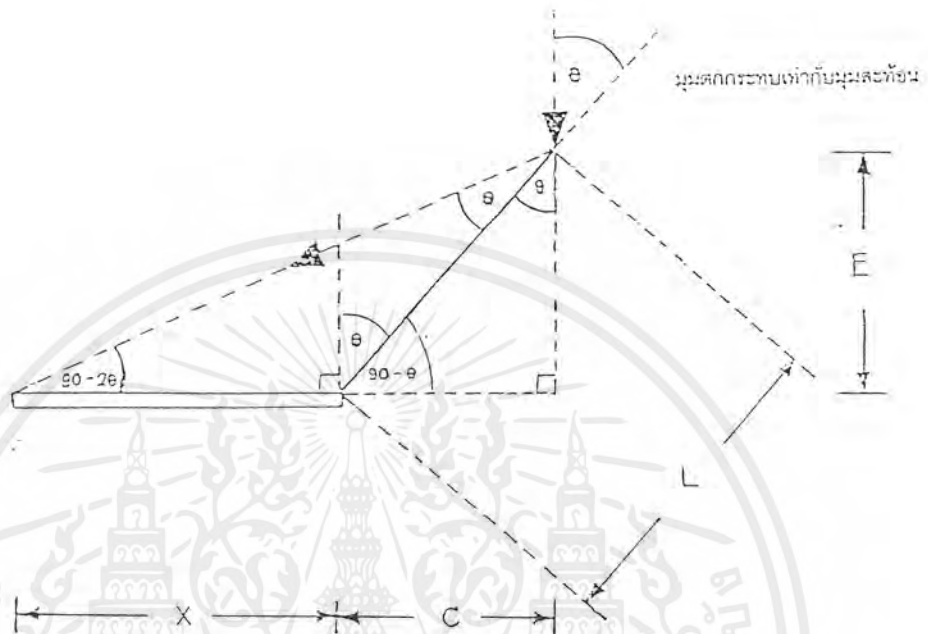
$$\cos \theta (\tan 2\theta - \tan \theta) = X/L$$

$$\cos \theta \{ [(2 \sin \theta \cos \theta) / (2 \cos^2 \theta - 1)] - [\sin \theta / \cos \theta] \} = X/L$$

$$\sin \theta / (1 - 2 \sin^2 \theta) = X/L$$

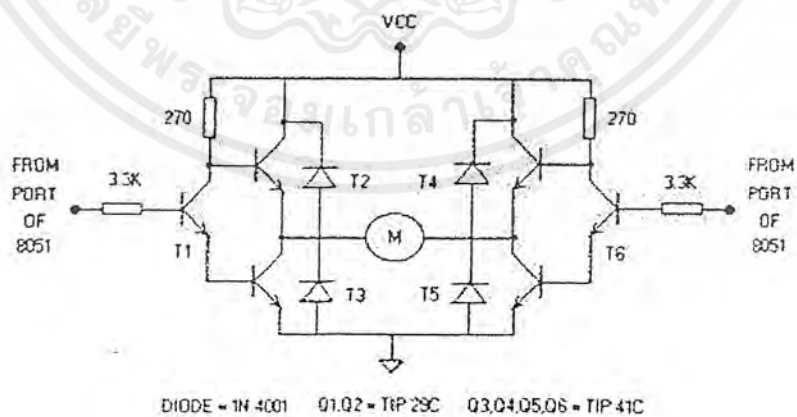
$$2X \sin^2 \theta + L \sin \theta - X = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 แสดงการตกกระทบของแสงบนแผ่นสะท้อนแสง

3.2 วงจรควบคุมการหมุนของมอเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์



รูป 3.5 แสดงรูปวงจควบคุมความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

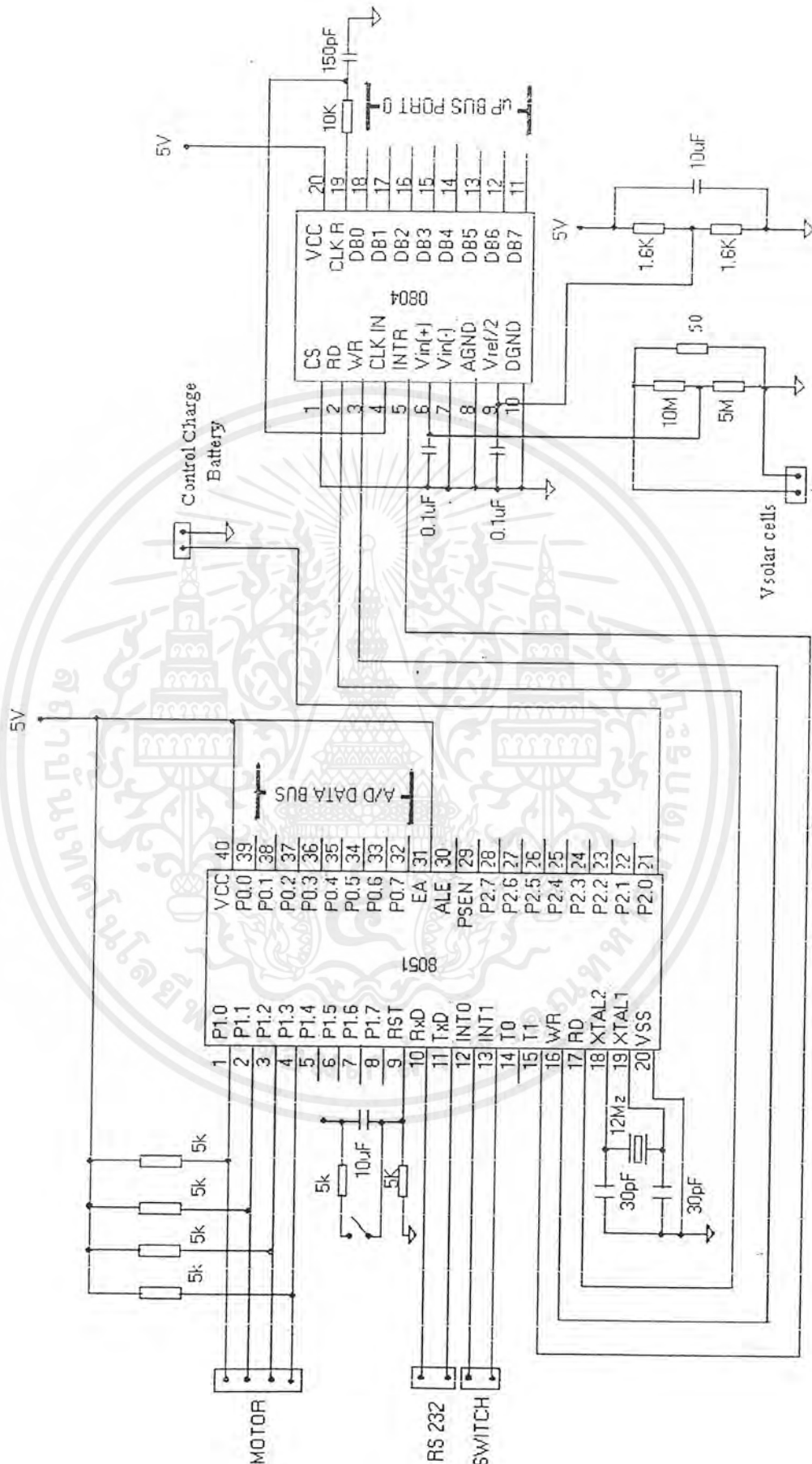
ในรูป เราใช้ทรานซิสเตอร์ 6 ตัวในการควบคุมแต่จริง ๆ แล้วเราจะใช้ทรานซิสเตอร์เพียง 3 ตัวเท่านั้นในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนในแต่ละทิศ

จากรูป 3.2 จะเห็นว่าเมื่อให้ logic 1 กับจุด a และให้ logic 0 กับจุด b จะทำให้ T1 กระแสไหล ฉะนั้น T2, T5 จะ off แล้ว T3, T4 จะ on ทำให้กระแสไหลผ่านจาก T4 มาที่มอเตอร์แล้วที่ T3 ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางหนึ่ง แต่ถ้าให้ logic 0 กับจุด a และ logic 1 กับจุด b จะทำให้เกิดผลในลักษณะคล้ายกันแต่มอเตอร์จะหมุนไปในอีกทาง

เนื่องจากแรงบิดในการหมุนแต่ละทิศทางและแต่ละมอเตอร์ไม่เท่ากันทำให้ค่า $\cdot R1$ และ $R2$ ต้องเปลี่ยนค่าตามค่าแรงบิดนั้น

3.3 วงจร analog to digital

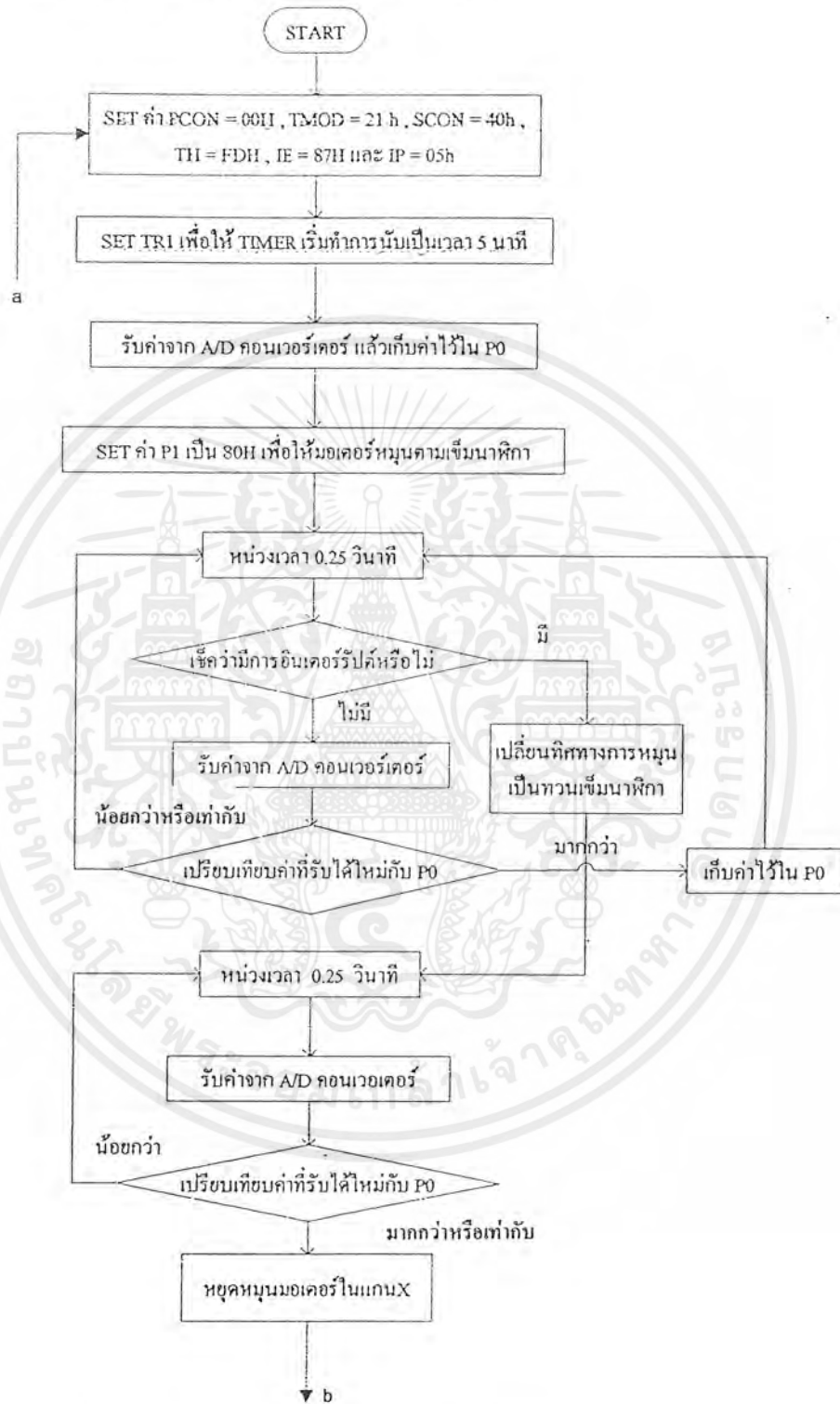
จาก Timing Diagrams ในภาคผนวก การรับค่า input voltage ของ A/D converter เบอร์ 0804 นั้นต้อง \overline{CS} หรือ \overline{CS} และ \overline{WR} ก่อนจึงจะสามารถเก็บค่า input เข้ามาได้และหลังจากรับค่า input เสร็จต้องรอให้ data ถูก converse เป็น สัญญาณ digital 8 bit แล้ว A/D จะส่งสัญญาณ interrupts ออกมาที่ขา \overline{INTR} ซึ่งทำให้หลังจากนี้สามารถส่งข้อมูล digital 8 bit ออกมาใช้งานได้ โดยการ clear ขา \overline{CS} และ \overline{RD} (เมื่อทำการส่งค่าแล้วสัญญาณ \overline{INTR} จะถูก set bit เป็น logic 1 โดยฮาร์ดแวร์)



รูป 3.6 การต่อวงจรที่ใช้งานระหว่าง MCS-51 กับ ADC 0804

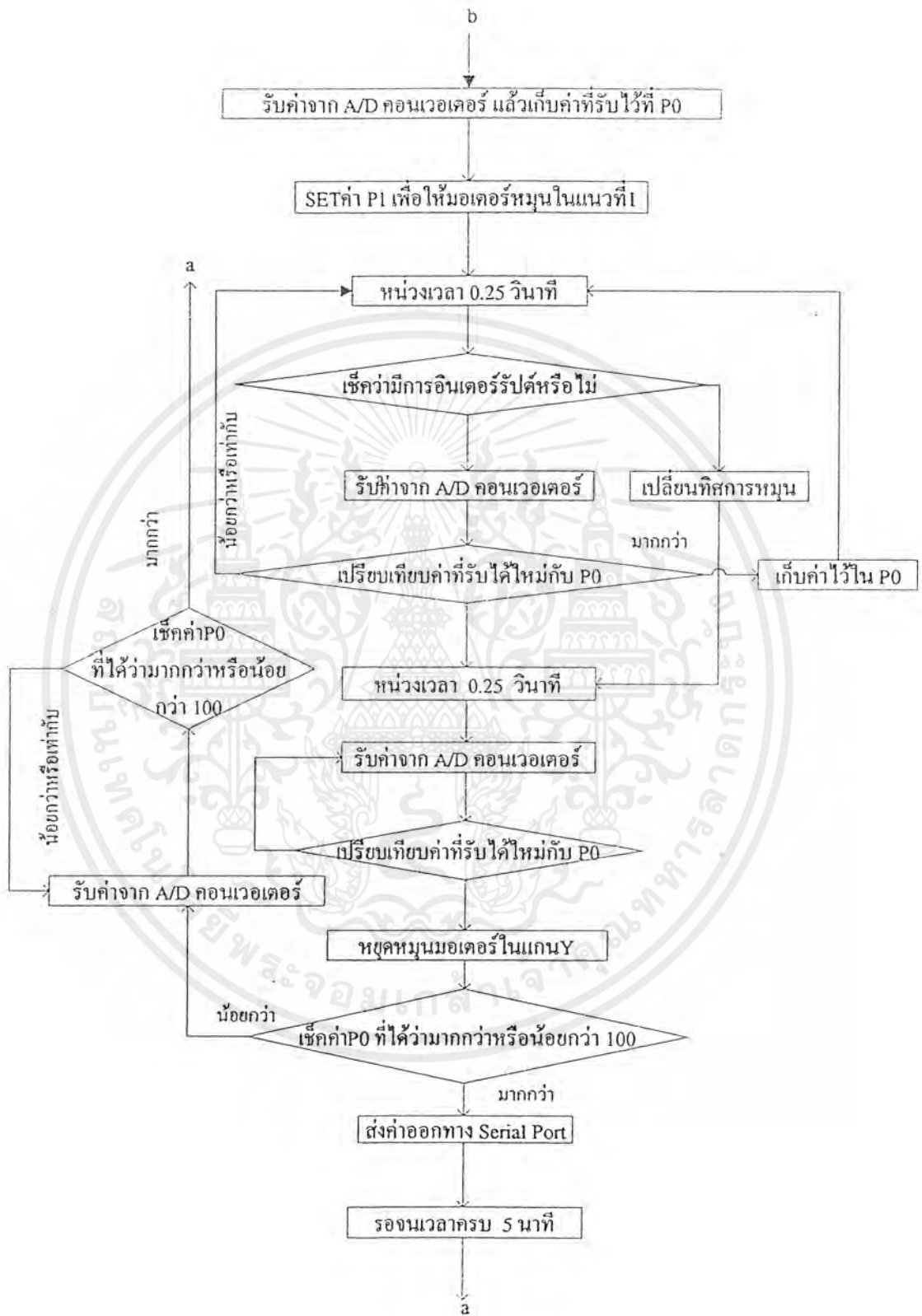
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Flow chart แสดงการทำงานของกา Tracking



รูป 3.7 Flow chart แสดงการทำงานของกา Tracking

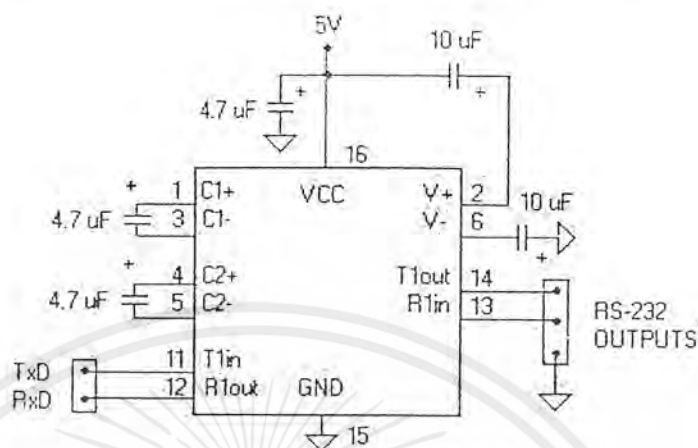
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

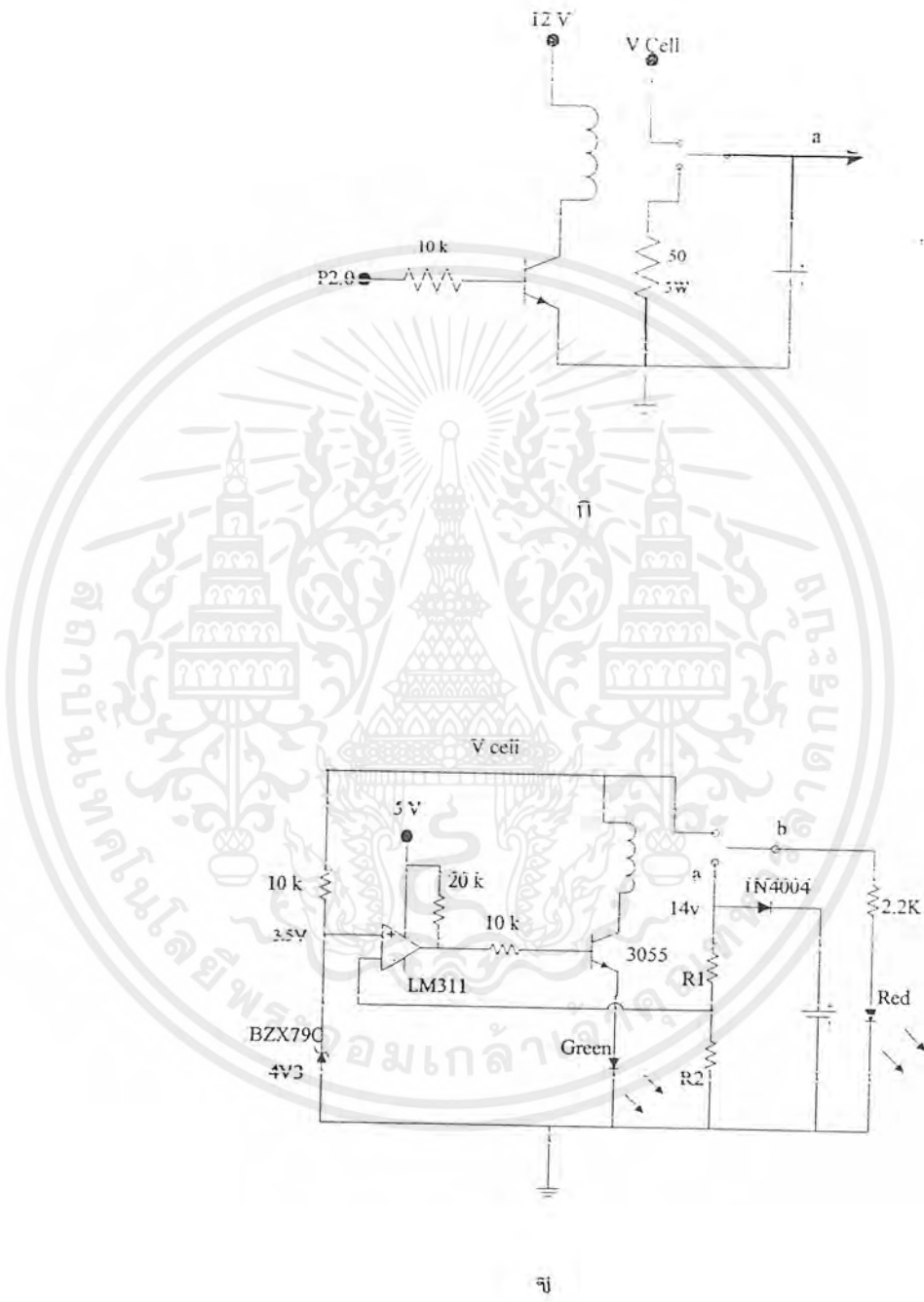
3.5 การต่อ MAX-232 เพื่อการอินเตอร์เฟซแบบ Serial กับ Port ของคอมพิวเตอร์



รูป 3.8 แสดงการต่อ MAX-232 เพื่อการอินเตอร์เฟซแบบ Serial กับ port ของคอมพิวเตอร์

3.6 วงจร Charge Battery

การ Charge Battery จะเริ่มเมื่อ P2.0 เป็น Logic 0 ซึ่งจะเป็นการควบคุม Relay ในรูป 3.9 เพื่อทำให้วงจรในรูป 3.9 ทำงาน วงจรดังกล่าวจะมี ไอซี LM311 ในการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาบวกกับขาลบของไอซี ซึ่งขาบวกเป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ได้มาจากซีเนอร์ไดโอด 3.5 V ส่วนขาลบจะใช้การแบ่งแรงดันมาจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาแอนโอดของไดโอด IN4004 ซึ่งถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขาลบเท่ากับ 3.5 V แรงดันไฟฟ้าที่ขาแอนโอดของไดโอดจะมีค่า 14 V ซึ่งถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขาแอนโอดของไดโอดมีค่าน้อยกว่า 14 V ไอซีเบอร์ LM311 จะทำให้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 3055 ในรูป 3.9 “ON” ซึ่งทำให้ LED สีเขียวสว่างและ Relay จะสวิทช์มาที่จุด a ทำให้เกิดการ Charge Battery ขึ้น แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขาแอนโอดของไดโอดเกิน 14 V ซึ่งหมายความว่า Battery ถูก charge ถึงระดับแล้ว ไอซีเบอร์ LM311 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวดังกล่าว “OFF” ซึ่งทำให้ Relay สวิทช์ไปที่จุด b ทำให้ LED สีแดงสว่าง



รูป 3.9 วงจร Charge Battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของวงจร Analog to Digital

ค่าแรงดันอนาล็อก (V)	ค่าดิจิทัลที่ได้จากการวัด	ค่าดิจิทัลที่ได้จากการคำนวณ
0.0	00000000b	00000000b
0.5	00011011b	00011010b
1.0	00110110b	00110010b
1.5	01001100b	01001101b
2.0	01100110b	01100110b
2.5	10000010b	10000000b
3.0	10011100b	10011001b
3.5	10110011b	10110011b
4.0	11001110b	11001100b
4.5	11100111b	11100110b
5.0	11111110b	11111111b

ตาราง 4.1 ผลการทดลองวงจร Analog to Digital

4.2 ผลการทดลองวัดค่า Voltage ของSolar cells ที่ Load และความเข้มแสงค่าต่างๆ

ตาราง 4.2 ความเข้มแสงค่าที่ 1

V (V)	1.40	2.30	3.75	4.80	6.80	8.00	9.80	11.50
I (A)	-0.255	-0.230	-0.250	-0.240	-0.226	-0.200	-0.196	-0.153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V (V)	12.80	14.20	15.00	15.40	16.40	17.00	17.60
I (A)	-0.128	-0.0761	-0.075	-0.0616	-0.0328	-0.017	-0.0018

ตาราง 4.3 ความเข้มแสงค่าที่ 2

V (V)	1.00	2.13	2.80	3.60	4.95	6.20	7.60	9.80
I (A)	-0.200	-0.210	-0.186	-0.180	-0.165	-0.155	-0.152	-0.131

V (V)	11.25	13.10	14.00	14.50	15.70	16.30	17.10
I (A)	-0.112	-0.087	-0.070	-0.058	-0.0314	-0.0163	-0.00171

ตาราง 4.4 ความเข้มแสงค่าที่ 3

V (V)	0.65	1.20	2.10	2.38	3.90	4.83	8.10
I (A)	-0.150	-0.145	-0.140	-0.135	-0.130	-0.120	-0.100

V (V)	9.50	11.12	12.10	13.00	14.80	15.80	17.00
I (A)	-0.090	-0.070	-0.0605	-0.050	-0.030	-0.0158	-0.0016

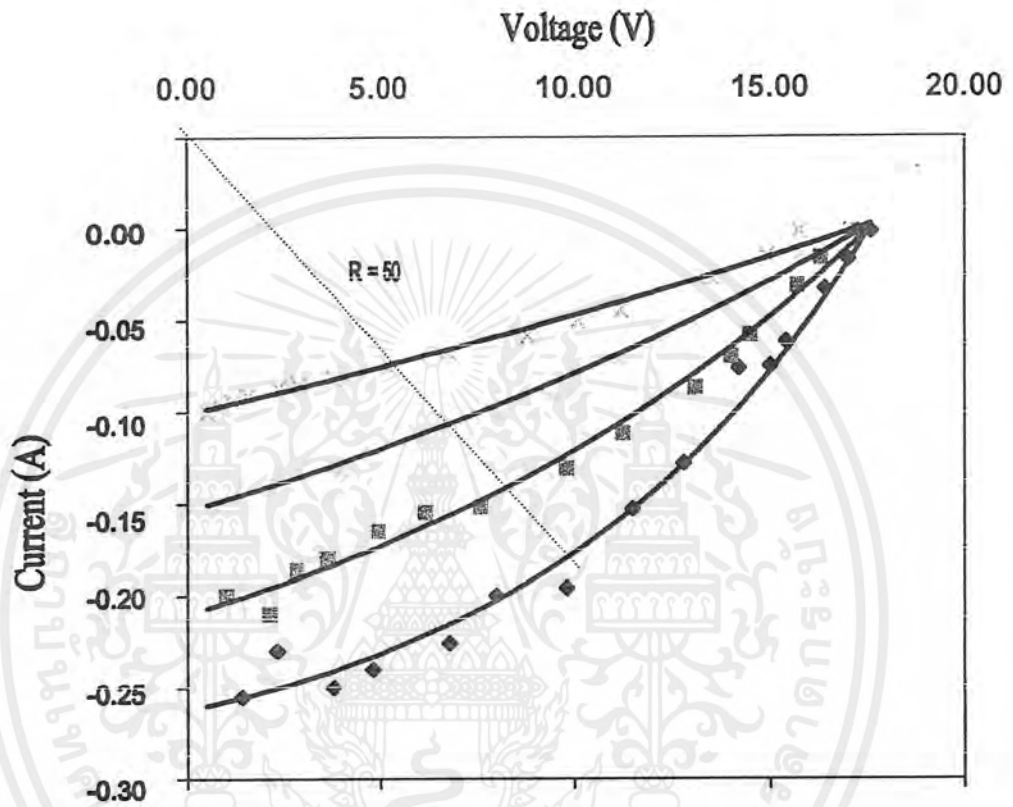
ตาราง 4.5 ความเข้มแสงค่าที่ 4

V (V)	0.50	0.875	1.15	1.55	2.35	2.85	3.78	5.25
I (A)	-0.100	-0.097	-0.094	-0.091	-0.086	-0.085	-0.082	-0.075

V (V)	6.78	8.80	10.10	11.20	13.50	14.90	15.75
I (A)	-0.0678	-0.0586	-0.0505	-0.0448	-0.027	-0.0149	-0.0016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูป

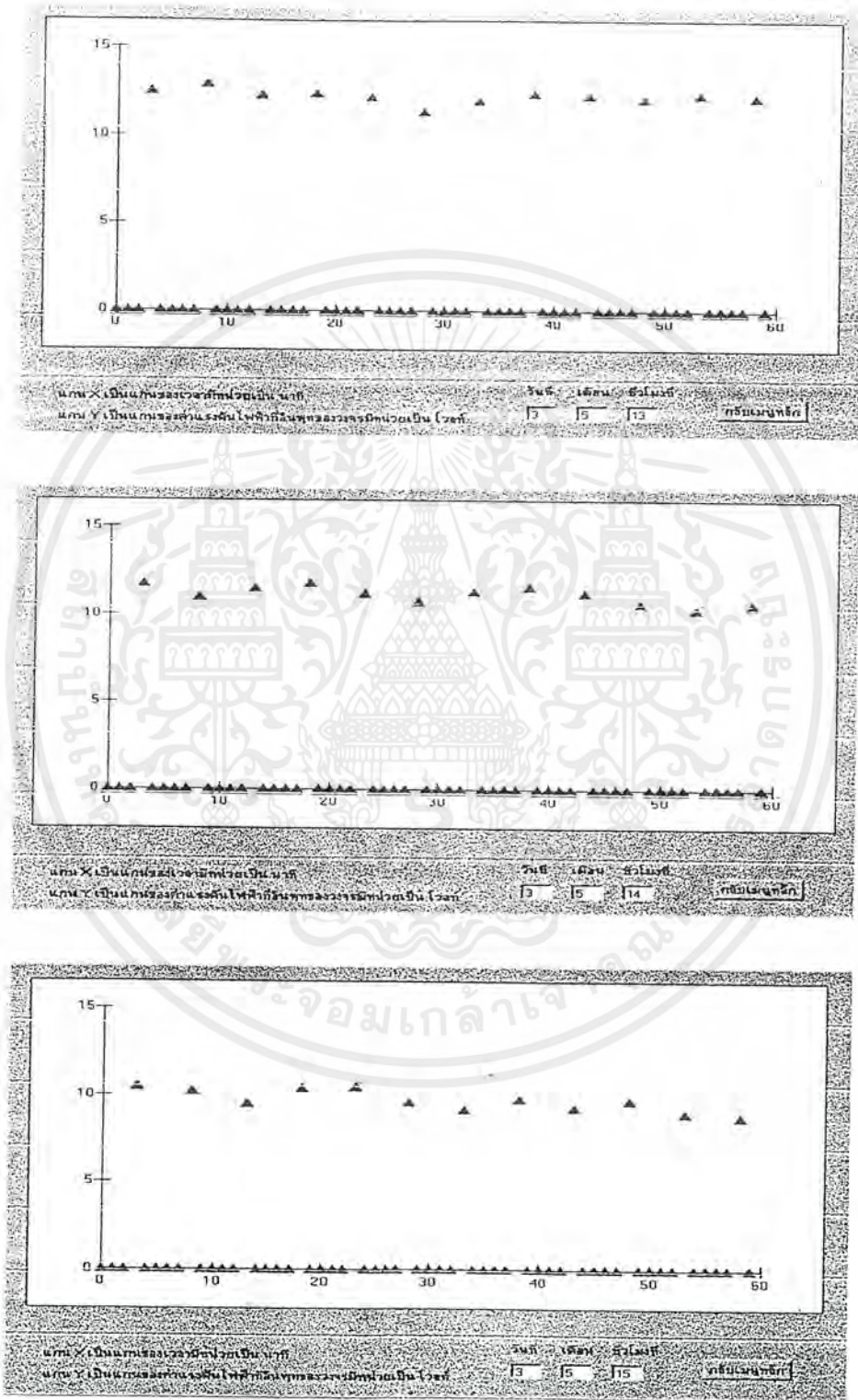


รูป 4.1 รูปกราฟที่ได้จากผลการทดลอง

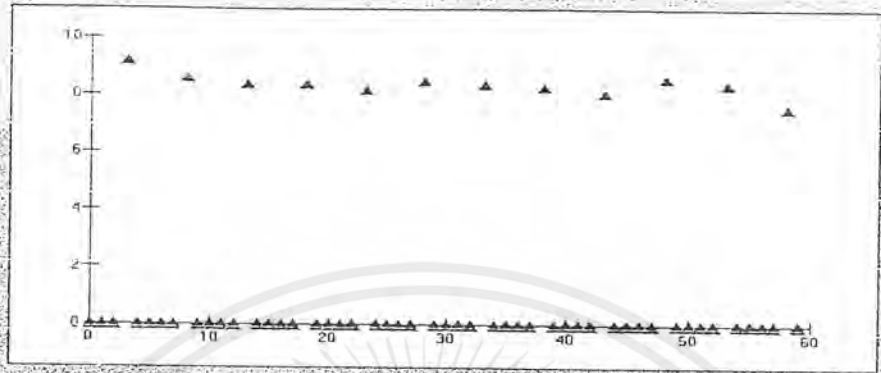
4.3 ผลการทดลองจากการ Tracking ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

จากผลการทดลองตั้งแต่ ช่วงเวลา 13 นาฬิกา ถึง 18 นาฬิกา จะเห็นว่า รูปกราฟที่ได้แสดงให้ทราบว่าค่ากำลังไฟฟ้าโดยประมาณที่ได้รับจาก Solar cells มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆอย่างที่ควรจะเป็น

รูป 4.2 ผลการทดลองจากการ Tracking ที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

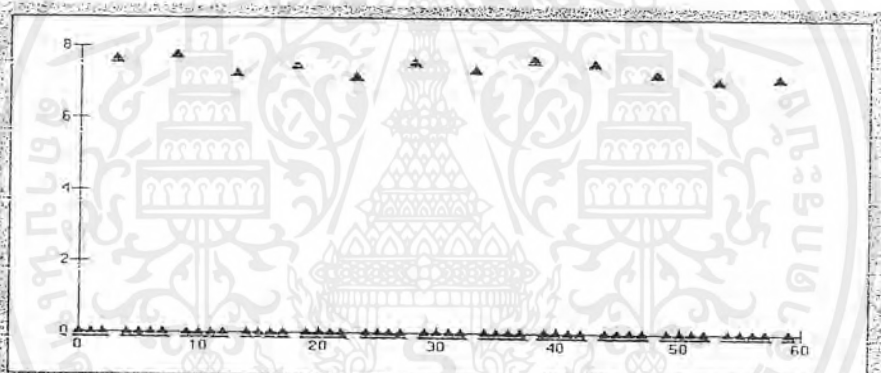


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



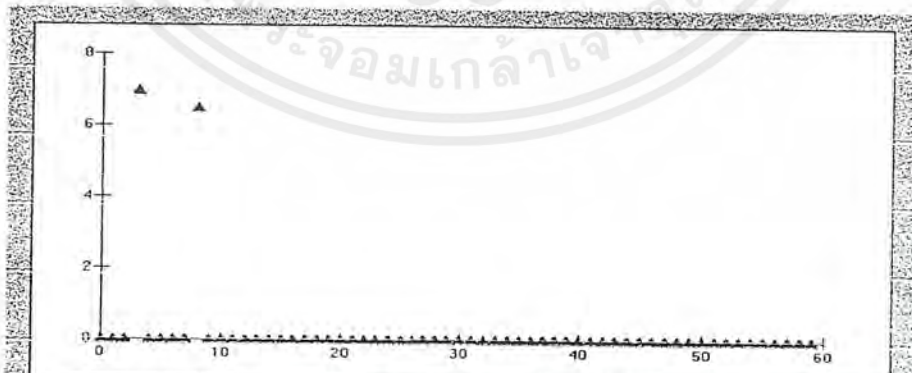
แกน X เป็นแกนของเวลาที่มีหน่วยเป็น นาที
 แกน Y เป็นแกนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับขึ้นที่ขั้วของหลอดที่มีหน่วยเป็น โวลต์
 วันที่ เดือน ปี พ.ศ. 13 15 16
 ทัศนเมฆพลศึกษา

4



แกน X เป็นแกนของเวลาที่มีหน่วยเป็น นาที
 แกน Y เป็นแกนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับขึ้นที่ขั้วของหลอดที่มีหน่วยเป็น โวลต์
 วันที่ เดือน ปี พ.ศ. 13 15 17
 ทัศนเมฆพลศึกษา

5



แกน X เป็นแกนของเวลาที่มีหน่วยเป็น นาที
 แกน Y เป็นแกนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับขึ้นที่ขั้วของหลอดที่มีหน่วยเป็น โวลต์
 วันที่ เดือน ปี พ.ศ. 13 15 18
 ทัศนเมฆพลศึกษา

6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

แผ่น Solar cells จะหมุนจนในที่สุดก็จะหยุดที่ตำแหน่งที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์ และจากรูปกราฟที่แสดงที่หน้าเจย์ ทำให้มองเห็นแนวโน้มว่า ในช่วงบ่ายจนถึงเย็น กำลังไฟฟ้าของแผ่น Solar cells จากการ tracking จะมีค่าลดลง อย่างที่ควรจะเป็น

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

แผ่น Solar cells จะหยุดที่ตำแหน่งที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์แต่คลาดเคลื่อนเล็กน้อย (เบี่ยงเบนจากตำแหน่งที่ตั้งจากกับแสงอาทิตย์เล็กน้อย) เนื่องจากข้อจำกัดในการเขียนโปรแกรม และผลที่วัดได้จะไม่ใช้ค่ากำลังงานที่แท้จริง เนื่องจากไม่สามารถทำให้ค่าความต้านทานภายในของ Solar cells คงที่ทุกๆเวลาที่ใช้งานได้

5.3 ปัญหา อุปสรรค และ แนวทางแก้ไข

1. ส่วนของโครงการหลายส่วนเป็น Mechanics ทำให้ยากต่อการสร้าง บำรุงรักษา ปรับปรุง ฉะนั้นจึงต้องหลีกเลี่ยงการกระทบกระทั่งซึ่งจะส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย
2. งานโดยส่วนใหญ่ทำได้เฉพาะตอนกลางวัน เพราะ ต้องใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้อง เตรียมอุปกรณ์ในการทดลองให้เสร็จในคืนก่อนทดลอง เพื่อจะได้ใช้เวลาในตอนกลางวันได้ อย่างเต็มที่
3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ต้องทำงานกลางแดดจ้า ทำให้อุปกรณ์บางตัวทำงานได้ไม่ถูกต้อง และการระบายความร้อนทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร ฉะนั้นจึงต้องมีการติดอุปกรณ์ระบายความร้อน และ ทำกล่องอุปกรณ์ที่มีลักษณะที่บดบังเพื่อกันความร้อนให้กับอุปกรณ์
4. ความร้อนของแดดทำให้เสียสมาธิในการทำงาน
5. การจัดหาที่ในการทดลองเป็นไปอย่างยากลำบาก เนื่องจากตัวชิ้นงานมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายลำบากดังนั้นสถานที่ทดลองต้องมีที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ และ ต้องเป็นที่ ๆ แสงแดดส่องถึงตลอดทั้งวันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ

1. สามารถนำไปใช้เป็นตัว tracking สำหรับ โซล่าเซลล์แผงอื่น ๆ
2. ทำให้สามารถบันทึกระดับผลของแสงในเวลาต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบและเก็บเป็นสถิติเพื่อเป็นประโยชน์ในอนาคต
3. ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ใช้งานได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของ MCS-51

```

//////////////////////////////////// SOLACELL POWER CONTROL //////////////////////////////////////

turn_x      equ    30h
turn_y      equ    31h
po          equ    32h    ;binary power
po1         equ    33h    ;real power
inte0       equ    34h
inte1       equ    35h
del         equ    36h    ;delay bit

//////////////////////////////////// START //////////////////////////////////////

org         0000h
ljmp       main
org         0003h                ;int0
ljmp       int_0
org         000bh                ;timer0
ljmp       timer
org         0013h                ;int1
ljmp       int_1

//////////////////////////////////// MAIN //////////////////////////////////////

main:      org         0040h                ;start
mov        ie,#10000111b                ;int enable - timer0,int0,int1 (in order)
mov        ip,#00000101b                ;int priority
mov        tmod,#00100001b                ;use timer0,model1
mov        tcon,#00010101b                ;timer control
mov        pcon,#00h
mov        scon,#040h
mov        th1,#0fdh
setb       ea                ;enable global interrupts
setb       et0                ;enable timer 0 interrupt
setb       tr1

start:    mov        r6,#222                ;equar 222 ,for count time about 5 minute
mov        r7,#19                ;equar 19 ,for count time
mov        tl0,#00h                ;set number of time
mov        th0,#00h                ;set number of time
setb       p3.5
setb       p3.6
setb       p3.7
setb       tr0                ;start timer 0
clr        inte1
mov        pl,#00010000b

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

s:   jnb     intel,s
      clr     intel
      mov     p1,#00100000b
del_s: mov    r1,#00h      ;set time delay
      mov    r2,#00h      ;set time delay
      mov    r3,#02h      ;set time delay  about 0.25 second
del_sl: djnz  r1,del_sl   ;count time delay
      djnz  r2,del_sl   ;count time delay
      djnz  r3,del_sl   ;count time delay
      setb   p2.0

```

```

;////////////////////////////////////// A to D START WORKS ////////////////////////////////////////

```

```

      clr     p3.6
      nop
      nop
      nop
      setb   p3.6      ;write
a_d0: jb     p3.5,$      ;interrupt
      clr     p3.7      ;read
      nop
      nop
      mov    a,p0
      mov    po,a
      nop
      setb   p3.7
      setb   turn_x
      setb   turn_y
      clr    inte0
      clr    intel
      clr    del

```

```

;////////////////////////////////////// A TO D END WORKS ////////////////////////////////////////

```

```

mot_x: jnb   turn_x,mot x1
      mov    p1,#10000000b      ;start motor in x axis
      ljmp   del_x              ;jump to delay
mot_x1: mov   p1,#01000000b
del_x:  mov   r1,#00h           ;set time delay
      mov   r2,#00h           ;set time delay
      mov   r3,#02h           ;set time delay  about 0.25 second
del_x1: djnz  r1,del_x1        ;count time delay
      jb    inte0,bit_x        ;check int in x axis
      djnz  r2,del_x1        ;count time delay
      djnz  r3,del_x1        ;count time delay

```

```

;////////////////////////////////////// CHECK A TO D ////////////////////////////////////////

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

check_x:clr          p3.6
             nop
             nop
             nop
             setb          p3.6
a_d1:  jb           p3.5,$
             clr          p3.7
             nop
             nop
             mov          a,p0
             mov          r1,a           ;keep value new power
             nop
             setb          p3.7

;////////////////////////////////////// END A TO D ////////////////////////////////////////

             clr          c
             cjne         a,po,chec_x1  ;compare old power with new power
             clr          c             ;clear carry factor
chec_x1:jc         del_x             ;check carry factor
             mov          po,r1        ;keep value new power in place of old power
             ljmp         del_x        ;return del_x for new loop
bit_x:  jnb         turn_x,pmax_x
             clr          c
             clr          turn_x
             clr          inte0
             ljmp         mot_x
pmax_x:mov          a,po             ;for error value
             subb         a,#15      ;for error value
             mov          po,a
             clr          inte0
             mov          p1,#10000000b
dell_x:mov          r1,#00h          ;set time delay
             mov          r2,#00h          ;set time delay
             mov          r3,#02h          ;set time delay about 0.25 second
dell_x1:djnz        r1,dell_x1        ;count time delay
             jb           inte0,stop_x    ;check int in x axis
             djnz        r2,dell_x1        ;count time delay
             djnz        r3,dell_x1        ;count time delay

;////////////////////////////////////// CHECK A TO D ////////////////////////////////////////

checkx1:clr          p3.6
             nop
             nop
             nop

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        cjne      a,p0,che2_x1      ;compare old power with new power
        clr      c                  ;clear carry factor
che2_x1: jc      stop2_x           ;check carry factor
        mov     po,r1              ;keep value new power in place of old power
        ljmp    del2_x             ;return del2_x for new loop
stop2_x: clr     c
        mov     p1,#00000000b      ;stop motor

```

```

;////////////////////////////////////// MOTOR Y ////////////////////////////////////////

```

```

check_yy:clr    p3.6
        nop
        nop
        nop
        setb   p3.6
a_d3y:  jb     p3.5,$
        clr    p3.7
        nop
        nop
        mov   a,p0
        mov   po,a          ;keep value new power
        nop
        setb   p3.7
mot_y:  jnb   turn_y,mot_y1
        mov   p1,#00100000b ;start motor in y axis
        ljmp  del_y         ;jump to delay
mot_y1: mov   p1,#00010000b
del_y:  mov   r1,#00h       ;set time delay
        mov   r2,#00h       ;set time delay
        mov   r3,#02h       ;set time delay about 0.25 second
del_y1: djnz  r1,del_y1     ;count time delay
        jb    inte1,bit_y   ;check int in y axis
        djnz  r2,del_y1     ;count time delay
        djnz  r3,del_y1     ;count time delay

```

```

;////////////////////////////////////// CHECK A TO D ////////////////////////////////////////

```

```

check_y:clr    p3.6
        nop
        nop
        nop
        setb   p3.6
a_d3:  jb     p3.5,$
        clr    p3.7
        nop
        nop
        mov   a,p0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov     r1,a           ;keep value new power
nop
setb    p3.7

;////////////////////////////////////// END A TO D ////////////////////////////////////////

clr     c
cjne   a,po,chech_y1  ;compare old power with new power
clr     c               ;clear carry factor
chech_y1:jc del_y      ;check carry factor
mov     po,r1          ;keep value new power in place of old power
ljmp   del_y          ;return del_y for new loop
bit_y: jnb turn_y,pmax_y
clr     c
clr     turn_y
clr     intel
ljmp   mot_y
pmax_y:mov a,po        ;for error value
subb   a,#15          ;for error value
mov     po,a
clr     intel
mov     p1,#00100000b
dell_y:mov r1,#00h     ;set time delay
mov     r2,#00h       ;set time delay
mov     r3,#02h       ;set time delay about 0.25 second
dell_y1:djnz r1,dell_y1 ;count time delay
jb     intel,stop_y   ;check int in y axis
djnz   r2,dell_y1    ;count time delay
djnz   r3,dell_y1    ;count time delay

;////////////////////////////////////// CHECK A TO D ////////////////////////////////////////

checky1:clr p3.6
nop
nop
nop
setb    p3.6
a_d4:  jb p3.5,$
clr     p3.7
nop
nop
mov     a,p0
mov     r1,a           ;keep value new power
nop
setb    p3.7
pmax1_y:clr c
cjne   a,po,pmax2_y

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        clr          c
pmax2_y:jnc  stop_y
        clr          c
        ljmp         del1_y
stop_y: mov        po,r1
        mov          p1,#00000000b      ;stop motor
mot2_y:mov        p1,#00100000b      ;start motor in y axis
del2_y: mov        r1,#00h           ;set time delay
        mov          r2,#00h           ;set time delay
        mov          r3,#02h           ;set time delay about 0.25 second
del2_y1:djnz      r1,del2_y1         ;count time delay
        djnz         r2,del2_y1         ;count time delay
        djnz         r3,del2_y1         ;count time delay

```

```

;//////////////////////////////////// CHECK A TO D //////////////////////////////////////

```

```

che2_y:clr        p3.6
        nop
        nop
        nop
        setb         p3.6
a2_d2:  jb          p3.5,$
        clr          p3.7
        nop
        nop
        mov          a,p0
        mov          r1,a              ;keep value new power
        nop
        setb         p3.7

```

```

;//////////////////////////////////// END A TO D //////////////////////////////////////

```

```

        clr          c
cjne     a,po,che2_y1 ;compare old power with new power
        clr          c              ;clear carry factor
che2_y1:jc  stop2_y      ;check carry factor
        mov          po,r1          ;keep value new power in place of old power
        ljmp         del2_y        ;return del2_y for new loop
stop2_y:clr          c
        mov          p1,#00000000b ;stop motor
        mov          r1,#00h        ;set time delay
        mov          r2,#00h        ;set time delay
        mov          r3,#18h        ;set time delay about 3 second
del2_c:djnz      r1,del2_c         ;count time delay
        djnz         r2,del2_c         ;count time delay
        djnz         r3,del2_c         ;count time delay
        clr          p3.6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

nop
nop
nop
setb      p3.6
a_d123: jb      p3.5,S
clr      p3.7
nop
nop
mov      a,p0
mov      r5,a          ;keep value new power
nop
setb      p3.7

;//////////////////////////////////// compute //////////////////////////////////////

compute:clr      c
cjne     a,#120,send
setb     c
send: mov      b,r5
mov      sbuf,b
wait:  jnb     ti,wait
clr      ti
pause1:jc     pause12
clr      p2.0
delay: jnb     del_delay ;wait about 5 minute
ljmp     start ;return to begin
pause12:call   pause2
ljmp     start

;//////////////////////////////////// INTERRUPT //////////////////////////////////////

int_0: push     acc
push     psw
setb     inte0
jnb     p1.7,int_01
mov     p1,#01000000b ;uturn util stop int
int_00: jnb     p3.2,int_00
mov     r1,#00h ;set time delay
mov     r2,#00h ;set time delay
mov     r3,#03h ;set time delay about 0.375 second
del_s4: djnz    r1,del_s4 ;count time delay
djnz    r2,del_s4 ;count time delay
djnz    r3,del_s4 ;count time delay
ljmp    turn_0 ;return to int
int_01: mov     p1,#10000000b ;uturn util stop int
int_02: jnb     p3.2,int_02

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        mov     r1,#00h           ;set time delay
        mov     r2,#00h           ;set time delay
        mov     r3,#03h           ;set time delay  about 0.375 second
del_s5: djnz   r1,del_s5         ;count time delay
        djnz   r2,del_s5         ;count time delay
        djnz   r3,del_s5         ;count time delay
turn_0: pop    psw
        pop    acc
        reti

int_1:  push   acc
        push   psw
        setb   int1
        jnb   p1.5,int_11        ;turn_y,int_11
        mov   p1,#00010000b      ;uturn util stop int
int_10: jnb   p3.3,int_10
        mov   r1,#00h           ;set time delay
        mov   r2,#00h           ;set time delay
        mov   r3,#03h           ;set time delay  about 0.375 second
del_s2: djnz   r1,del_s2         ;count time delay
        djnz   r2,del_s2         ;count time delay
        djnz   r3,del_s2         ;count time delay

        ljmp   turn_1           ;return to int
int_11: mov   p1,#00100000b      ;uturn util stop int
int_12: jnb   p3.3,int_12
        mov   r1,#00h           ;set time delay
        mov   r2,#00h           ;set time delay
        mov   r3,#03h           ;set time delay  about 0.375 second
del_s3: djnz   r1,del_s3         ;count time delay
        djnz   r2,del_s3         ;count time delay
        djnz   r3,del_s3         ;count time delay
turn_1: pop    psw
        pop    acc
        reti

timer:  push   acc
        push   psw
        djnz   r6,reti_1
        mov   r6,#222
        djnz   r7,reti_1
        mov   r7,#19
        setb  del
        clr   tr0
reti_1: pop    psw
        pop    acc
        reti

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;; SUBROUTINE ;;

```

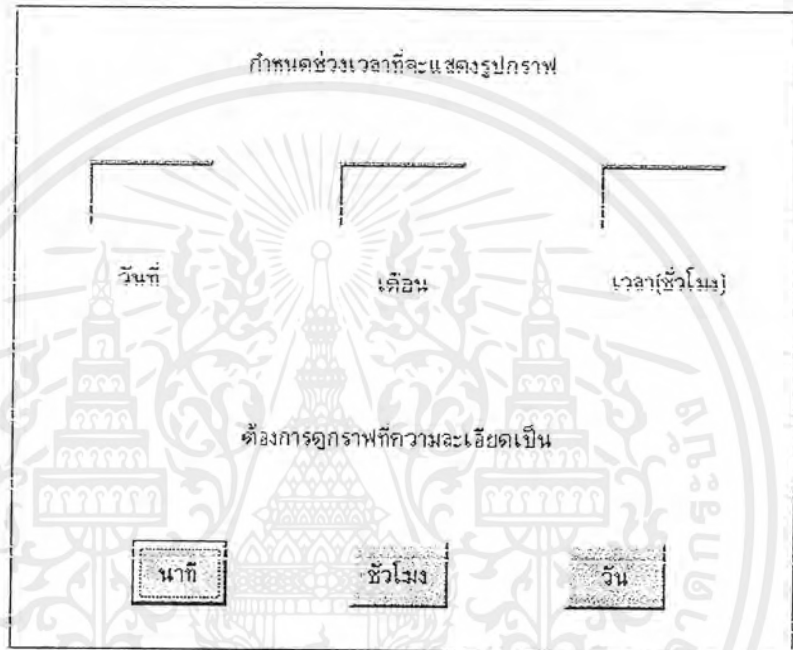
pause2:push      acc
        push     psw
pause20:clr      p3.6          ;read power's value of cell
        nop
        nop
        nop
        setb    p3.6
a_d5:  jb       p3.5,$
        clr     p3.7
        nop
        nop
        mov     a,p0
        mov     r5,a
        nop
        setb    p3.7
        clr     c
        cjne   a,#140,pause21 ;compare for pass to work
        setb    c
pause21:jc      pause20      ;check carry factor for return to work
return:mov     po,a
        pop     psw
        pop     acc
        ret
        end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน้าจอของการแสดงผล

2.1 Form1



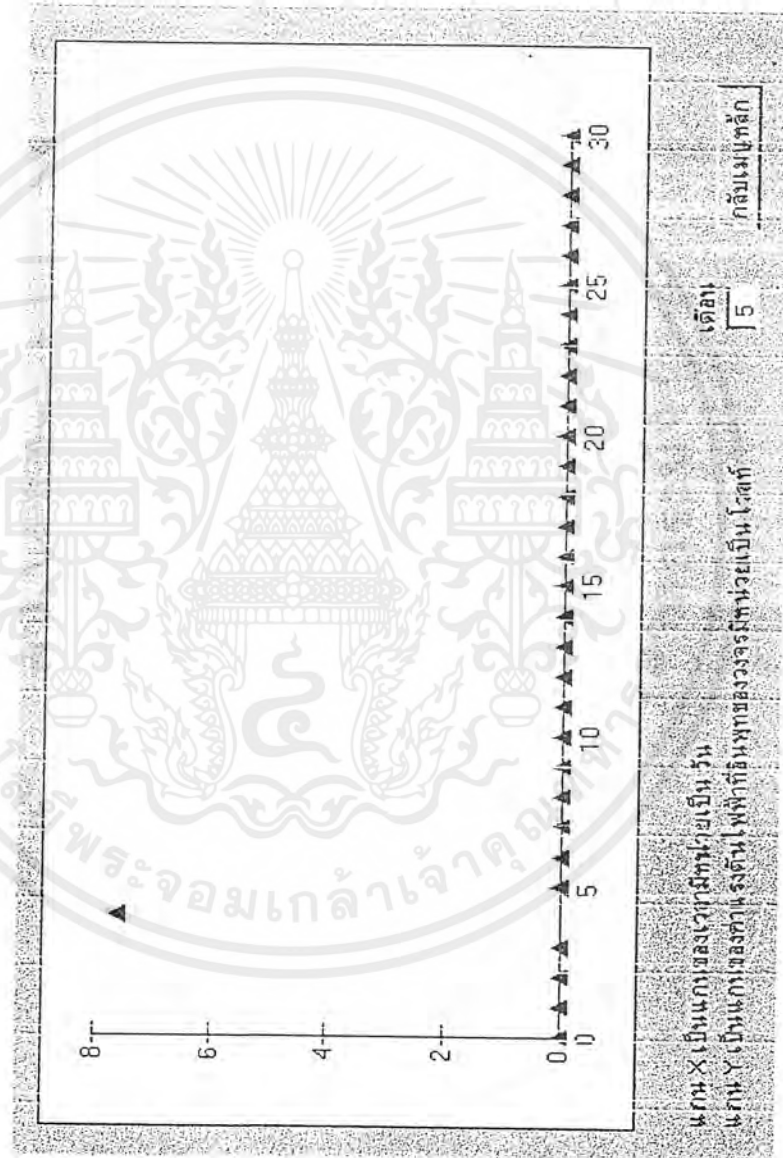
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Form 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Form3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Form4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกสำหรับการแสดงผลหน้าจอ

Form1

```

Public x0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, x11, x12, x13, x14, x15, x16, x17, x18,
x19, x20, x21, x22, x23, x24, x25, x26, x27, x28, x29, x30, x31, x32, x33, x34, x35,
x36, x37, x38, x39, x40, x41, x42, x43, x44, x45, x46, x47, x48, x49, x50, x51, x52,
x53, x54, x55, x56, x57, x58, x59 As Currency

Dim xmo(12) As Currency
Dim xd(12, 31) As Currency
Dim xh(12, 31, 24) As Currency
Dim xmi(12, 31, 24, 60) As Currency
Dim mo_num(12) As Integer
Dim d_num(12, 31) As Integer
Dim h_num(12, 31, 24) As Integer
Dim mi_num(12, 31, 24, 60) As Integer
Dim p As Integer
Public mot, dt, ht, mit, mo, d, h, mi, a As Integer

```

Private Sub daycmd_Click()

```
mot = Val(monthtxt.Text)
```

```
If mot = 0 Then
```

```
mot = Month(Now)
```

```
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x0 = xd(mot, 0)$$

$$x1 = xd(mot, 1)$$

$$x2 = xd(mot, 2)$$

$$x3 = xd(mot, 3)$$

$$x4 = xd(mot, 4)$$

$$x5 = xd(mot, 5)$$

$$x6 = xd(mot, 6)$$

$$x7 = xd(mot, 7)$$

$$x8 = xd(mot, 8)$$

$$x9 = xd(mot, 9)$$

$$x10 = xd(mot, 10)$$

$$x11 = xd(mot, 11)$$

$$x12 = xd(mot, 12)$$

$$x13 = xd(mot, 13)$$

$$x14 = xd(mot, 14)$$

$$x15 = xd(mot, 15)$$

$$x16 = xd(mot, 16)$$

$$x17 = xd(mot, 17)$$

$$x18 = xd(mot, 18)$$

$$x19 = xd(mot, 19)$$

$$x20 = xd(mot, 20)$$

$$x21 = xd(mot, 21)$$

$$x22 = xd(mot, 22)$$

$$x23 = xd(mot, 23)$$

$$x24 = xd(mot, 24)$$

$$x25 = xd(mot, 25)$$

$$x26 = xd(mot, 26)$$

$$x27 = xd(mot, 27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x28 = xd(mot, 28)
x29 = xd(mot, 29)
x30 = xd(mot, 30)
x31 = xd(mot, 31)

Form3.Show

End Sub

Private Sub Form_Load()
    If MSComm1.PortOpen = False Then
        MSComm1.PortOpen = True
    End If
End Sub

Private Sub hourcmd_Click()
    dt = Val(daytxt.Text)
    mot = Val(monthtxt.Text)

    If dt = 0 Then
        dt = Day(Now)
    End If

    If mot = 0 Then
        mot = Month(Now)
    End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$x0 = xh(mot, dt, 0)$
 $x1 = xh(mot, dt, 1)$
 $x2 = xh(mot, dt, 2)$
 $x3 = xh(mot, dt, 3)$
 $x4 = xh(mot, dt, 4)$
 $x5 = xh(mot, dt, 5)$
 $x6 = xh(mot, dt, 6)$
 $x7 = xh(mot, dt, 7)$
 $x8 = xh(mot, dt, 8)$
 $x9 = xh(mot, dt, 9)$
 $x10 = xh(mot, dt, 10)$
 $x11 = xh(mot, dt, 11)$
 $x12 = xh(mot, dt, 12)$
 $x13 = xh(mot, dt, 13)$
 $x14 = xh(mot, dt, 14)$
 $x15 = xh(mot, dt, 15)$
 $x16 = xh(mot, dt, 16)$
 $x17 = xh(mot, dt, 17)$
 $x18 = xh(mot, dt, 18)$
 $x19 = xh(mot, dt, 19)$
 $x20 = xh(mot, dt, 20)$
 $x21 = xh(mot, dt, 21)$
 $x22 = xh(mot, dt, 22)$
 $x23 = xh(mot, dt, 23)$

Form2.Show

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub minutecmd_Click()
    dt = Val(daytxt.Text)
    mot = Val(monthtxt.Text)
    ht = Val(hourtxt.Text)

    If dt = 0 Then
        dt = Day(Now)
    End If

    If mot = 0 Then
        mot = Month(Now)
    End If

    If ht = 0 Then
        ht = Hour(Now)
    End If

    x0 = xml(mot, dt, ht, 0)
    x1 = xml(mot, dt, ht, 1)
    x2 = xml(mot, dt, ht, 2)
    x3 = xml(mot, dt, ht, 3)
    x4 = xml(mot, dt, ht, 4)
    x5 = xml(mot, dt, ht, 5)
    x6 = xml(mot, dt, ht, 6)
    x7 = xml(mot, dt, ht, 7)
    x8 = xml(mot, dt, ht, 8)
    x9 = xml(mot, dt, ht, 9)
    x10 = xml(mot, dt, ht, 10)
    x11 = xml(mot, dt, ht, 11)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$x_{12} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 12)$
 $x_{13} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 13)$
 $x_{14} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 14)$
 $x_{15} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 15)$
 $x_{16} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 16)$
 $x_{17} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 17)$
 $x_{18} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 18)$
 $x_{19} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 19)$
 $x_{20} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 20)$
 $x_{21} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 21)$
 $x_{22} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 22)$
 $x_{23} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 23)$
 $x_{24} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 24)$
 $x_{25} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 25)$
 $x_{26} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 26)$
 $x_{27} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 27)$
 $x_{28} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 28)$
 $x_{29} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 29)$
 $x_{30} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 30)$
 $x_{31} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 31)$
 $x_{32} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 32)$
 $x_{33} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 33)$
 $x_{34} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 34)$
 $x_{35} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 35)$
 $x_{36} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 36)$
 $x_{37} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 37)$
 $x_{38} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 38)$
 $x_{39} = \text{xmI}(\text{mot}, \text{dt}, \text{ht}, 39)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x40 = xml(mot, dt, ht, 40)
x41 = xml(mot, dt, ht, 41)
x42 = xml(mot, dt, ht, 42)
x43 = xml(mot, dt, ht, 43)
x44 = xml(mot, dt, ht, 44)
x45 = xml(mot, dt, ht, 45)
x46 = xml(mot, dt, ht, 46)
x47 = xml(mot, dt, ht, 47)
x48 = xml(mot, dt, ht, 48)
x49 = xml(mot, dt, ht, 49)
x50 = xml(mot, dt, ht, 50)
x51 = xml(mot, dt, ht, 51)
x52 = xml(mot, dt, ht, 52)
x53 = xml(mot, dt, ht, 53)
x54 = xml(mot, dt, ht, 54)
x55 = xml(mot, dt, ht, 55)
x56 = xml(mot, dt, ht, 56)
x57 = xml(mot, dt, ht, 57)
x58 = xml(mot, dt, ht, 58)
x59 = xml(mot, dt, ht, 59)

```

```
Form4.Show
```

```
End Sub
```

```
.Private Sub MSComm1_OnComm()
```

```
For j = 1 To MSComm1.InBufferCount
```

```
    p = Asc(MSComm1.Input) '
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mo = Month(Now)
```

```
d = Day(Now)
```

```
h = Hour(Now)
```

```
mi = Minute(Now)
```

```
xmo(mo) = ((xmo(mo) * mo_num(mo)) + p) / (mo_num(mo) + 1)
```

```
xd(mo, d) = ((xd(mo, d) * d_num(mo, d)) + p) / (d_num(mo, d) + 1)
```

```
xh(mo, d, h) = ((xh(mo, d, h) * h_num(mo, d, h)) + p) / (h_num(mo, d, h) + 1)
```

```
xmi(mo, d, h, mi) = ((xmi(mo, d, h, mi) * mi_num(mo, d, h, mi)) + p) /  
                    (mi_num(mo, d, h, mi) + 1)
```

```
mo_num(mo) = mo_num(mo) + 1
```

```
d_num(mo, d) = d_num(mo, d) + 1
```

```
h_num(mo, d, h) = h_num(mo, d, h) + 1
```

```
mi_num(mo, d, h, mi) = mi_num(mo, d, h, mi) + 1
```

```
Next j
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form2

```
Dim x(0 To 23) As Currency
```

```
Dim n As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
monthtxt.Text = Str(Form1.mot)
```

```
daytxt.Text = Str(Form1.dt)
```

```
x(0) = Form1.x0
```

```
x(1) = Form1.x1
```

```
x(2) = Form1.x2
```

```
x(3) = Form1.x3
```

```
x(4) = Form1.x4
```

```
x(5) = Form1.x5
```

```
x(6) = Form1.x6
```

```
x(7) = Form1.x7
```

```
x(8) = Form1.x8
```

```
x(9) = Form1.x9
```

```
x(10) = Form1.x10
```

```
x(11) = Form1.x11
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x(12) = Form1.x12
x(13) = Form1.x13
x(14) = Form1.x14
x(15) = Form1.x15
x(16) = Form1.x16
x(17) = Form1.x17
x(18) = Form1.x18
x(19) = Form1.x19
x(20) = Form1.x20
x(21) = Form1.x21
x(22) = Form1.x22
x(23) = Form1.x23
For n = 0 To 23
    Graph1.GraphData = x(n)
Next n
End Sub
```

Form3

```
Dim x(0 To 31) As Currency
```

```
Dim n As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Text1.Text = Str(Form1.mot)
```

```
    x(0) = Form1.x0
```

```
    x(1) = Form1.x1
```

```
    x(2) = Form1.x2
```

```
    x(3) = Form1.x3
```

```
    x(4) = Form1.x4
```

```
    x(5) = Form1.x5
```

```
    x(6) = Form1.x6
```

```
    x(7) = Form1.x7
```

```
    x(8) = Form1.x8
```

```
    x(9) = Form1.x9
```

```
    x(10) = Form1.x10
```

```
    x(11) = Form1.x11
```

```
    x(12) = Form1.x12
```

```
    x(13) = Form1.x13
```

```
    x(14) = Form1.x14
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x(15) = Form1.x15
```

```
x(16) = Form1.x16
```

```
x(17) = Form1.x17
```

```
x(18) = Form1.x18
```

```
x(19) = Form1.x19
```

```
x(20) = Form1.x20
```

```
x(21) = Form1.x21
```

```
x(22) = Form1.x22
```

```
x(23) = Form1.x23
```

```
x(24) = Form1.x24
```

```
x(25) = Form1.x25
```

```
x(26) = Form1.x26
```

```
x(27) = Form1.x27
```

```
x(28) = Form1.x28
```

```
x(29) = Form1.x29
```

```
x(30) = Form1.x30
```

```
x(31) = Form1.x31
```

```
For n = 0 To 31
```

```
    Graph1.GraphData = x(n)
```

```
Next n
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form4

```
Dim x(0 To 59) As Currency
```

```
Dim n As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
monthtxt.Text = Str(Form1.mot)
```

```
hourtxt.Text = Str(Form1.ht)
```

```
daytxt.Text = Str(Form1.dt)
```

```
x(0) = Form1.x0
```

```
x(1) = Form1.x1
```

```
x(2) = Form1.x2
```

```
x(3) = Form1.x3
```

```
x(4) = Form1.x4
```

```
x(5) = Form1.x5
```

```
x(6) = Form1.x6
```

```
x(7) = Form1.x7
```

```
x(8) = Form1.x8
```

```
x(9) = Form1.x9
```

```
x(10) = Form1.x10
```

```
x(11) = Form1.x11
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $x(12) = \text{Form1.x12}$
 $x(13) = \text{Form1.x13}$
 $x(14) = \text{Form1.x14}$
 $x(15) = \text{Form1.x15}$
 $x(16) = \text{Form1.x16}$
 $x(17) = \text{Form1.x17}$
 $x(18) = \text{Form1.x18}$
 $x(19) = \text{Form1.x19}$
 $x(20) = \text{Form1.x20}$
 $x(21) = \text{Form1.x21}$
 $x(22) = \text{Form1.x22}$
 $x(23) = \text{Form1.x23}$
 $x(24) = \text{Form1.x24}$
 $x(25) = \text{Form1.x25}$
 $x(26) = \text{Form1.x26}$
 $x(27) = \text{Form1.x27}$
 $x(28) = \text{Form1.x28}$
 $x(29) = \text{Form1.x29}$
 $x(30) = \text{Form1.x30}$
 $x(31) = \text{Form1.x31}$
 $x(32) = \text{Form1.x32}$
 $x(33) = \text{Form1.x33}$
 $x(34) = \text{Form1.x34}$
 $x(35) = \text{Form1.x35}$
 $x(36) = \text{Form1.x36}$
 $x(37) = \text{Form1.x37}$
 $x(38) = \text{Form1.x38}$
 $x(39) = \text{Form1.x39}$
 $x(40) = \text{Form1.x40}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x(41) = Form1.x41

x(42) = Form1.x42

x(43) = Form1.x43

x(44) = Form1.x44

x(45) = Form1.x45

x(46) = Form1.x46

x(47) = Form1.x47

x(48) = Form1.x48

x(49) = Form1.x49

x(50) = Form1.x50

x(51) = Form1.x51

x(52) = Form1.x52

x(53) = Form1.x53

x(54) = Form1.x54

x(55) = Form1.x55

x(56) = Form1.x56

x(57) = Form1.x57

x(58) = Form1.x58

x(59) = Form1.x59

For n = 0 To 59

Graph1.GraphData = x(n)

Next n

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

General Description

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

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

Features

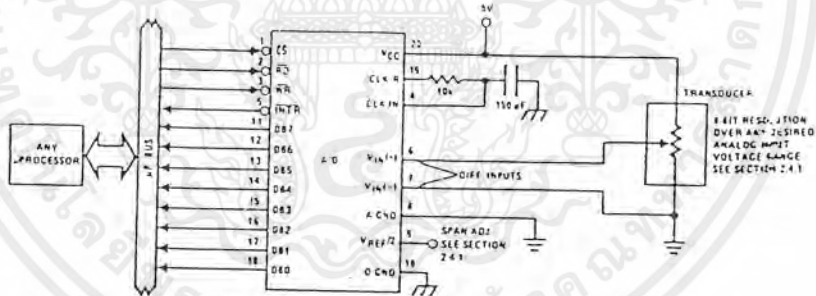
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

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

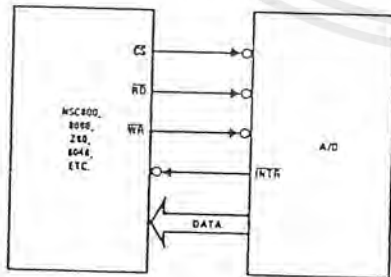
Key Specifications

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

Typical Applications



8080 Interface



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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

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

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/04LCJ	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/05LCN	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0804LCN	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCV	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCWM	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

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

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

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	$f_{CLK} = 640$ kHz (Note 6)	103		114	μs
T_C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency Clock Duty Cycle	$V_{CC} = 5V$, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	\overline{INTR} tied to \overline{WR} with $\overline{CS} = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(WR)}$	Width of \overline{WR} Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS} = 0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid)	$C_L = 100$ pF		135	200	ns
t_{1H}, t_{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of \overline{RD} to Hi-Z State)	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{W}, t_{RI}	Delay from Falling Edge of \overline{WR} or \overline{RD} to Reset of \overline{INTR}			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF
CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 5.25 V_{DC}$	2.0		15	V_{DC}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

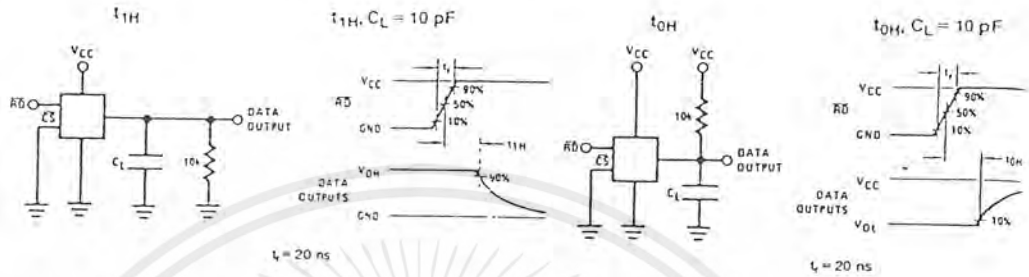
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two resistor divider connected from V_{CC} to ground. Each resistor is 2.2k, except for the ADC0804LCJ where each resistor is 16k. Total ladder input resistance is the sum of the two equal resistors.

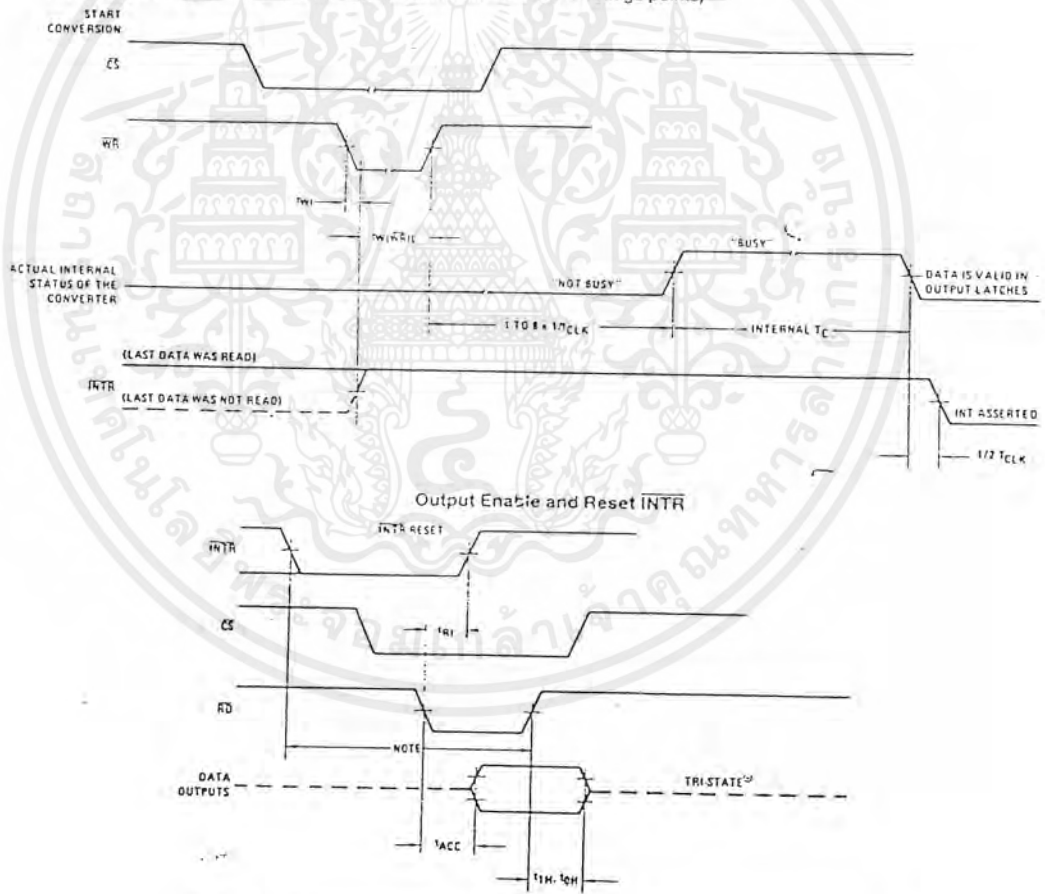
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



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

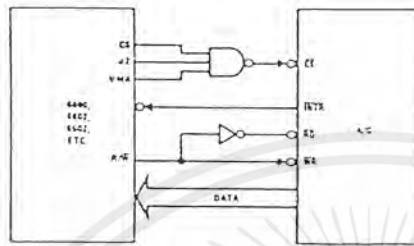


Note: Read strobe must occur 8 clock periods ($8/T_{CLK}$) after assertion of interrupt to guarantee reset of \overline{INTR} .

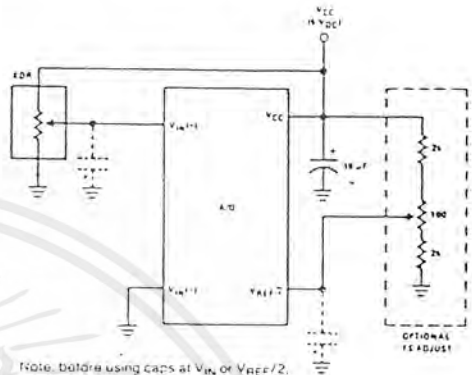
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

5800 Interface

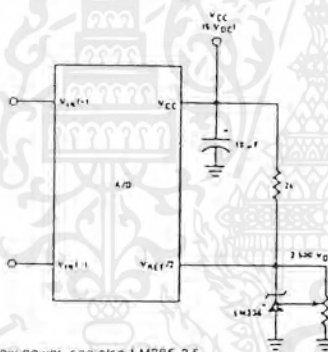


Ratiometric with Full-Scale Adjust



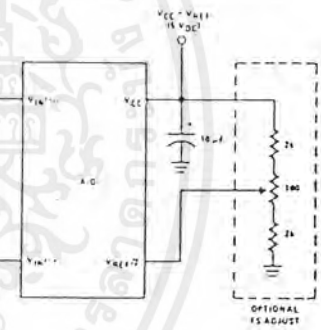
Note: beware using caps at V_{IN} or V_{REF}/2, see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors

Absolute with a 2.500V Reference

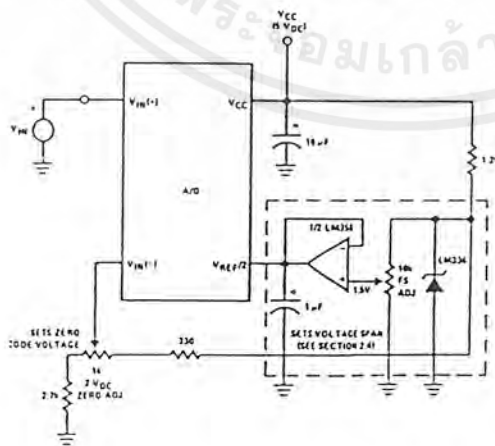


*For low power, see also LM385-2.5

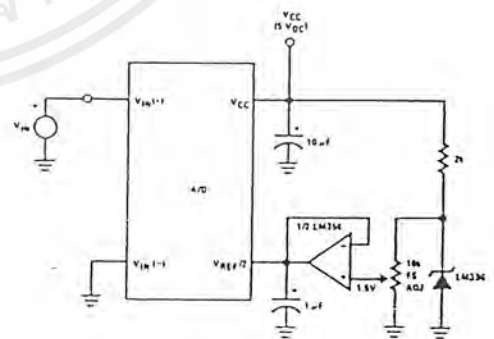
Absolute with a 5V Reference



Zero-Shift and Span Adjust: 2V ≤ V_{IN} ≤ 5V



Span Adjust: 0V ≤ V_{IN} ≤ 3V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

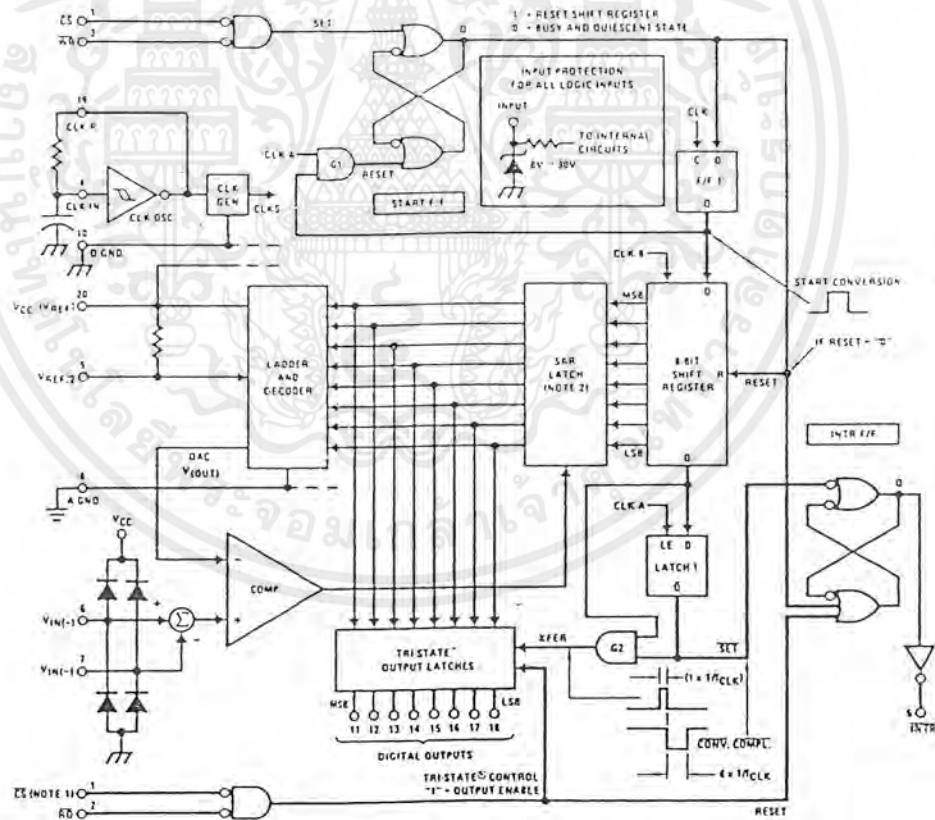
2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The ADC0801 series contains a circuit equivalent of the 256R network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match the analog difference input voltage $[V_{IN}(+) - V_{IN}(-)]$ to a corresponding tap on the R network. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles) a digital 8-bit binary code (1111 1111 = full-scale) is transferred to an output latch and then an interrupt is asserted (INTR makes a high-to-low transition). A conversion in process can be interrupted by issuing a second start command. The device may be operated in the free-running mode by connecting INTR to the WR input with CS=0. To ensure start-up under all possible conditions, an external WR pulse is required during the first power-up cycle.

On the high-to-low transition of the WR input the internal SAR latches and the shift register stages are reset. As long as the CS input and WR input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition.

A functional diagram of the A/D converter is shown in Figure 2. All of the package pinouts are shown and the major logic control paths are drawn in heavier weight lines.

The converter is started by having CS and WR simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the Interrupt (INTR) F/F and inputs a "1" to the D flop, F/F1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of F/F1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either WR or CS is a "1") the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would momentarily be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This logic therefore allows for wide CS and WR signals and the converter will start after at least one of these signals returns high and the internal clocks again provide a reset signal for the start F/F.



Note 1: CS shown twice for clarity.
 Note 2: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 2. Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR search) it appears as the input to the D-type latch, LATCH 1. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the TRI-STATE output latches. When LATCH 1 is subsequently enabled, the Q output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the $\overline{\text{INTR}}$ input signal.

Note that this $\overline{\text{SET}}$ control of the INTR F/F remains low for 8 of the external clock periods (as the internal clocks run at $1/8$ of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled ($\overline{\text{CS}}$ and $\overline{\text{RD}}$ both held low), the $\overline{\text{INTR}}$ output will still signal the end of conversion (by a high-to-low transition), because the SET input can control the Q output of the INTR F/F even though the RESET input is constantly at a "1" level in this operating mode. This $\overline{\text{INTR}}$ output will therefore stay low for the duration of the SET signal, which is 8 periods of the external clock frequency (assuming the A/D is not started during this interval).

When operating in the free-running or continuous conversion mode (INTR pin tied to $\overline{\text{WR}}$ and $\overline{\text{CS}}$ wired low—see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the INTR signal. This resets the SHIFT REGISTER which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the $\overline{\text{Q}}$ output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting $\overline{\text{INTR}}$ output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

When data is to be read, the combination of both $\overline{\text{CS}}$ and $\overline{\text{RD}}$ being low will cause the INTR F/F to be reset and the TRI-STATE output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

2.1 Digital Control Inputs

The digital control inputs ($\overline{\text{CS}}$, $\overline{\text{RD}}$, and $\overline{\text{WR}}$) meet standard TTL logic voltage levels. These signals have been renamed when compared to the standard A/D Start and Output Enable labels. In addition, these inputs are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the $\overline{\text{CS}}$ input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function is obtained by an active low pulse applied at the $\overline{\text{WR}}$ input (pin 3) and the Output Enable function is caused by an active low pulse at the $\overline{\text{RD}}$ input (pin 2).

2.2 Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D has additional applications flexibility due to the analog differential voltage input. The $V_{\text{IN}}(-)$ input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4 mA–20 mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input. The time interval between sampling $V_{\text{IN}}(+)$ and $V_{\text{IN}}(-)$ is $4 \cdot 1/2$ clock periods. The maximum error voltage due to this

slight time difference between the input voltage sample given by:

$$\Delta V_e(\text{MAX}) = (V_p) (2\pi f_{\text{cm}}) \left(\frac{4.5}{f_{\text{CLK}}} \right)$$

where:

ΔV_e is the error voltage due to sampling delay

V_p is the peak value of the common-mode voltage

f_{cm} is the common-mode frequency

As an example, to keep this error to $1/4$ LSB (~ 5 mV) w. operating with a 60 Hz common-mode frequency, f_{cm} , using a 640 kHz A/D clock, f_{CLK} , would allow a peak V_p of the common-mode voltage, V_p , which is given by:

$$V_p = \frac{[\Delta V_e(\text{MAX}) (f_{\text{CLK}})]}{(2\pi f_{\text{cm}}) (4.5)}$$

or:

$$V_p = \frac{(5 \times 10^{-3}) (640 \times 10^3)}{(6.28) (60) (4.5)}$$

which gives

$$V_p \approx 1.9\text{V}$$

The allowed range of analog input voltages usually place more severe restrictions on input common-mode noise levels.

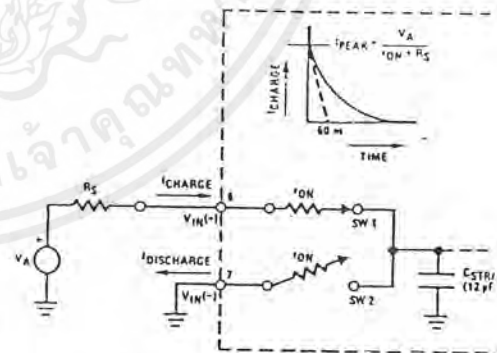
An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be handled easily by making use of differential input (see section 2.4 Reference Voltage).

2.3 Analog Inputs

2.3.1 Input Current

Normal Mode

Due to the internal switching action, displacement current will flow at the analog inputs. This is due to on-chip capacitance to ground as shown in Figure 3.



I_{ON} of SW 1 and SW 2 = 5 k Ω
 $\tau = I_{\text{ON}} C_{\text{STRAY}} = 5 \text{ k}\Omega \times 12 \text{ pF} = 60 \text{ ns}$

FIGURE 3. Analog Input Impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

The voltage on this capacitance is switched and will result in currents entering the $V_{IN}(+)$ input pin and leaving the $V_{IN}(-)$ input which will depend on the analog differential input voltage levels. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and *do not cause errors* as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

Fault Mode

If the voltage source applied to the $V_{IN}(+)$ or $V_{IN}(-)$ pin exceeds the allowed operating range of $V_{CC} + 50$ mV, large input currents can flow through a parasitic diode to the V_{CC} pin. If these currents can exceed the 1 mA max allowed spec, an external diode (1N914) should be added to bypass this current to the V_{CC} pin (with the current bypassed with this diode, the voltage at the $V_{IN}(+)$ pin can exceed the V_{CC} voltage by the forward voltage of this diode).

2.3.2 Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the $V_{IN}(+)$ input voltage at full-scale. For continuous conversions with a 640 kHz clock frequency with the $V_{IN}(+)$ input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately 5 μ A. Therefore, *bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the $V_{REF}/2$ pin* for high resistance sources (> 1 k Ω). If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the detrimental effects of the voltage drop across this input resistance, which is due to the average value of the input current, can be eliminated with a full-scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage.

2.3.3 Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used, *will not cause errors* as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor (≤ 1 k Ω) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, (≤ 1 k Ω), a 0.1 μ F bypass capacitor at the inputs will prevent noise pickup due to series lead inductance of a long wire. A 100 Ω series resistor can be used to isolate this capacitor—both the R and C are placed outside the feedback loop—from the output of an op amp, if used.

2.3.4 Noise

The leads to the analog inputs (pin 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize input noise coupling. Both noise and undesired digital clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below 5 k Ω . Larger values of source resistance can cause undesired system noise pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate system noise pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see section 2.3.1.). This scale error depends on both a large source

resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be eliminated by doing a full-scale adjustment of the A/D (adjust $V_{REF}/2$ for a proper full-scale reading—see section 2.5.2 on Full-Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place.

2.4 Reference Voltage

2.4.1 Span Adjust

For maximum applications flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a 5 V_{DC} , 2.5 V_{DC} or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 4.

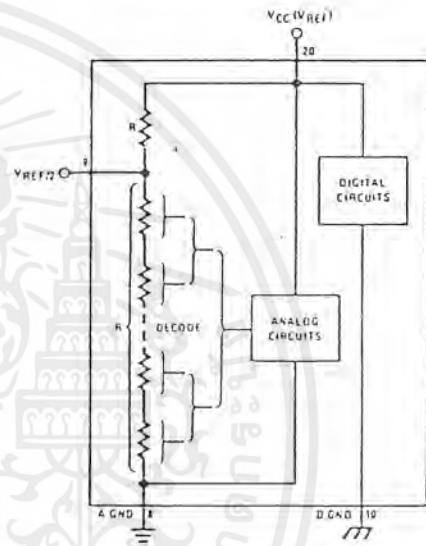


FIGURE 4. The $V_{REFERENCE}$ Design on the IC

Notice that the reference voltage for the IC is either $1/2$ of the voltage applied to the V_{CC} supply pin, or is equal to the voltage that is externally forced at the $V_{REF}/2$ pin. This allows for a ratiometric voltage reference using the V_{CC} supply, a 5 V_{DC} reference voltage can be used for the V_{CC} supply or a voltage less than 2.5 V_{DC} can be applied to the $V_{REF}/2$ input for increased application flexibility. The internal gain to the $V_{REF}/2$ input is 2, making the full-scale differential input voltage twice the voltage at pin 9.

An example of the use of an adjusted reference voltage is to accommodate a reduced span—or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from 0.5 V_{DC} to 3.5 V_{DC} , instead of 0V to 5 V_{DC} , the span would be 3V as shown in Figure 5. With 0.5 V_{DC} applied to the $V_{IN}(-)$ pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to $1/2$ of the 3V span or 1.5 V_{DC} . The A/D now will encode the $V_{IN}(+)$ signal from 0.5V to 3.5 V with the 0.5V input corresponding to zero and the 3.5 V_{DC} input corresponding to full-scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range.

Functional Description (Continued)

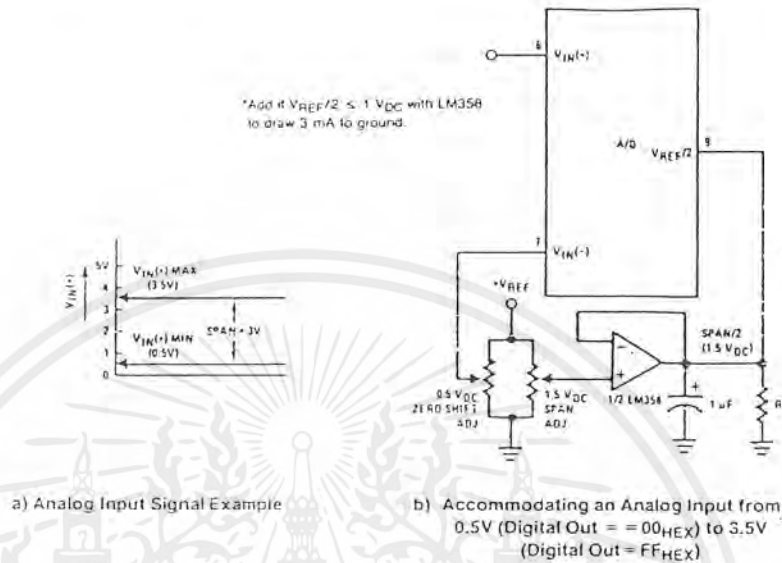


FIGURE 5. Adapting the A/D Analog Input Voltages to Match an Arbitrary Input Signal Range

2.4.2 Reference Accuracy Requirements

The converter can be operated in a ratiometric mode or an absolute mode. In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter and therefore cancels out in the final digital output code. The ADC0805 is specified particularly for use in ratiometric applications with no adjustments required. In absolute conversion applications, both the initial value and the temperature stability of the reference voltage are important factors in the accuracy of the A/D converter. For $V_{REF}/2$ voltages of 2.4 V_{DC} nominal value, initial errors of ± 10 mV V_{DC} will cause conversion errors of ± 1 LSB due to the gain of 2 of the $V_{REF}/2$ input. In reduced span applications, the initial value and the stability of the $V_{REF}/2$ input voltage become even more important. For example, if the span is reduced to 2.5V, the analog input LSB voltage value is correspondingly reduced from 20 mV (5V span) to 10 mV and 1 LSB at the $V_{REF}/2$ input becomes 5 mV. As can be seen, this reduces the allowed initial tolerance of the reference voltage and requires correspondingly less absolute change with temperature variations. Note that spans smaller than 2.5V place even tighter requirements on the initial accuracy and stability of the reference source.

In general, the magnitude of the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper value of reference voltage appear as full-scale errors in the A/D transfer function. IC voltage regulators may be used for references if the ambient temperature changes are not excessive. The LM336B 2.5V IC reference diode (from National Semiconductor) has a temperature stability of 1.8 mV typ (6 mV max) over $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$. Other temperature range parts are also available.

2.5 Errors and Reference Voltage Adjustments

2.5.1 Zero Error

The zero of the A/D does not require adjustment. The minimum analog input voltage value, $V_{IN(MIN)}$, is not a zero offset can be done. The converter can be made to output 0000 0000 digital code for this minimum input voltage by biasing the A/D $V_{IN(-)}$ input at this $V_{IN(MIN)}$ value (Applications section). This utilizes the differential measurement of the A/D.

The zero error of the A/D converter relates to the level of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the $V_{IN(-)}$ input and applying a magnitude positive voltage to the $V_{IN(+)}$ input. Zero is the difference between the actual DC input voltage necessary to just cause an output digital code transition from 0000 0000 to 0000 0001 and the ideal $1/2$ LSB ($1/2$ LSB = 9.8 mV for $V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$).

2.5.2 Full-Scale

The full-scale adjustment can be made by applying a differential input voltage that is $1/2$ LSB less than the analog full-scale voltage range and then adjusting the magnitude of the $V_{REF}/2$ input (pin 9 or the V_{CC} supply if not used) for a digital output code that is just changing from 1111 1110 to 1111 1111.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

2.5.3 Adjusting for an Arbitrary Analog Input Voltage Range

If the analog zero voltage of the A/D is shifted away from ground (for example, to accommodate an analog input signal that does not go to ground) this new zero reference should be properly adjusted first. A $V_{IN}(+)$ voltage that equals this desired zero reference plus $1/2$ LSB (where the LSB is calculated for the desired analog span, $1 \text{ LSB} = \text{analog span}/256$) is applied to pin 6 and the zero reference voltage at pin 7 should then be adjusted to just obtain the 01_{HEX} to 01_{HEX} code transition.

The full-scale adjustment should then be made (with the proper $V_{IN}(-)$ voltage applied) by forcing a voltage to the $V_{IN}(+)$ input which is given by:

$$V_{IN}(+) \text{ fs adj} = V_{\text{MAX}} - 1.5 \left[\frac{(V_{\text{MAX}} - V_{\text{MIN}})}{256} \right]$$

where:

V_{MAX} = The high end of the analog input range

and

V_{MIN} = the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

The $V_{\text{REF}}/2$ (or V_{CC}) voltage is then adjusted to provide a code change from FE_{HEX} to FF_{HEX} . This completes the adjustment procedure.

2.6 Clocking Option

The clock for the A/D can be derived from the CPU clock or an external RC can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 6.

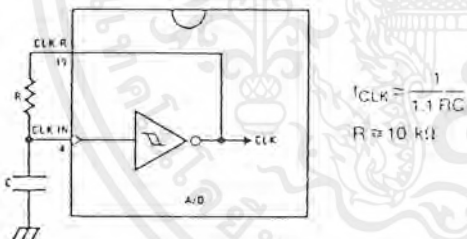


FIGURE 6. Self-Clocking the A/D

Heavy capacitive or DC loading of the clock R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation. Loads less than 50 pF, such as driving up to 7 A/D converter clock inputs from a single clock R pin of 1 converter, are allowed. For larger clock line loading, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the clock R pin (do not use a standard TTL buffer).

2.7 Restart During a Conversion

If the A/D is restarted ($\overline{\text{CS}}$ and $\overline{\text{WR}}$ go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the

conversion in process is not allowed to be completed, therefore the data of the previous conversion remains in this latch. The $\overline{\text{INTR}}$ output simply remains at the "1" level.

2.8 Continuous Conversions

For operation in the free-running mode an initializing pulse should be used, following power-up, to ensure circuit operation. In this application, the $\overline{\text{CS}}$ input is grounded and the $\overline{\text{WR}}$ input is tied to the $\overline{\text{INTR}}$ output. This $\overline{\text{WR}}$ and $\overline{\text{INTR}}$ node should be momentarily forced to logic low following a power-up cycle to guarantee operation.

2.9 Driving the Data Bus

This MOS A/D, like MOS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry, which is tied to the data bus, will add to the total capacitive loading, even in TRI-STATE (high impedance mode). Backplane bussing also greatly adds to the stray capacitance of the data bus.

There are some alternatives available to the designer to handle this problem. Basically, the capacitive loading of the data bus slows down the response time, even though DC specifications are still met. For systems operating with a relatively slow CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus and therefore higher capacitive loads can be driven (see typical characteristics curves).

At higher CPU clock frequencies time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (6800) or using clock extending circuits (6800).

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be TRI-STATE buffers (low power Schottky such as the DM74LS240 series is recommended) or special higher drive current products which are designed as bus drivers. High current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

2.10 Power Supplies

Noise spikes on the V_{CC} supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. A low inductance tantalum filter capacitor should be used close to the converter V_{CC} pin and values of 1 μF or greater are recommended. If an unregulated voltage is available in the system, a separate LM340LA2-5.0, TO-92, 5V voltage regulator for the converter (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the V_{CC} supply.

2.11 Wiring and Hook-Up Precautions

Standard digital wire wrap sockets are not satisfactory for breadboarding this A/D converter. Sockets on PC boards can be used and all logic signal wires and leads should be grouped and kept as far away as possible from the analog signal leads. Exposed leads to the analog inputs can cause undesired digital noise and hum pickup, therefore shielded leads may be necessary in many applications.

Functional Description (Continued)

A single point analog ground that is separate from the logic ground points should be used. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any $V_{REF}/2$ bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of $1/4$ LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see section 2.5.1 for measuring the zero error).

3.0 TESTING THE A/D CONVERTER

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 7.

For ease of testing, the $V_{REF}/2$ (pin 9) should be supplied with $2.560 V_{DC}$ and a V_{CC} supply voltage of $5.12 V_{DC}$ should be used. This provides an LSB value of 20 mV.

If a full-scale adjustment is to be made, an analog input voltage of $5.090 V_{DC}$ ($5.120 - 1/2$ LSB) should be applied to the $V_{IN}(+)$ pin with the $V_{IN}(-)$ pin grounded. The value of the $V_{REF}/2$ input voltage should then be adjusted until the digital output code is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. This value of $V_{REF}/2$ should then be used for all the tests.

The digital output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, the 4 most significant (MS) and the 4 least significant (LS). Table I shows the fractional binary equivalent of these two 4-bit groups. By adding the voltages obtained from the "VMS" and "VLS" columns in Table I, the nominal value of the digital display (when

$V_{REF}/2 = 2.560V$) can be determined. For example, output LED display of 1011 0110 or B6 (in hex), the V_{IN} values from the table are $3.520 + 0.120$ or 3.640. These voltage values represent the center-values of a perfect A/D converter. The effects of quantization error must be accounted for in the interpretation of the test results.

For a higher speed test system, or to obtain plotted digital-to-analog converter is needed for the test set. A more accurate 10-bit DAC can serve as the precision V_{IN} source for the A/D. Errors of the A/D under test can be expressed as either analog voltages or differences in digital words.

A basic A/D tester that uses a DAC and provides the test set as an analog output voltage is shown in Figure 8. The DAC can be eliminated if a lab DVM with a numeric readout feature is available to read the difference voltage "A-C", directly. The analog input voltage can be supplied by a low frequency ramp generator and an X-Y plotter can be used to provide analog error (Y axis) versus analog input (X axis). The construction details of a tester of this type are provided in the NSC application note AN-179, "Analog Digital Converter Testing".

For operation with a microprocessor or a computer-test system, it is more convenient to present the error results. This can be done with the circuit of Figure 9, where the digital output code transitions can be detected as the 10-bit input is incremented. This provides $1/4$ LSB steps for the 8-bit under test. If the results of this test are automatically plotted with the analog input on the X axis and the error (in bits) as the Y axis, a useful transfer function of the A/D test results. For acceptance testing, the plot is not necessary and the testing speed can be increased by establishing internal limits on the allowed error for each code.

4.0 MICROPROCESSOR INTERFACING

To discuss the interface with 8080A and 6800 microprocessors, a common sample subroutine structure is used. The microprocessor starts the A/D, reads and stores the results of 16 successive conversions, then returns to the program. The 16 data bytes are stored in 16 successive memory locations. All Data and Addresses will be in hexadecimal form. Software and hardware details are provided separately for each type of microprocessor.

4.1 Interfacing 8080 Microprocessor Derivatives (8085)

This converter has been designed to directly interface derivatives of the 8080 microprocessor. The A/D is mapped into memory space (using standard memory address decoding for \overline{CS} and the \overline{MEMR} and \overline{MEMW} signals) or it can be controlled as an I/O device by using the \overline{RD} and \overline{WR} strobes and decoding the address bits A7 (or address bits A8 \rightarrow A15 as they will contain the same 8-bit address information) to obtain the \overline{CS} input to the I/O space provides 256 additional address may allow a simpler 8-bit address decoder but the decoder only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. An example of an A/D space is shown in Figure 10.

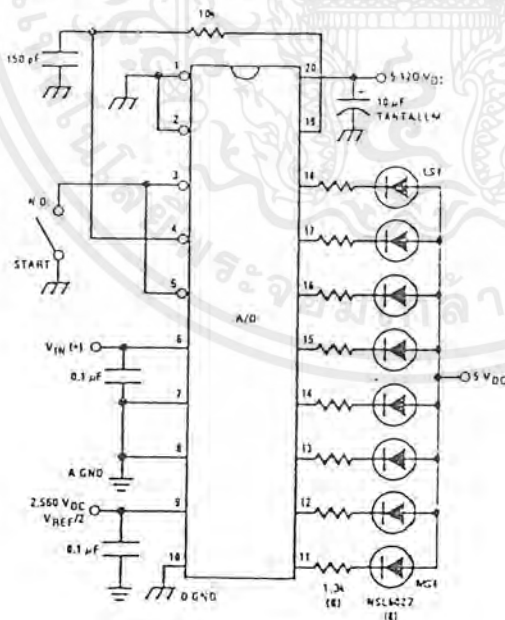


FIGURE 7. Basic A/D Tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than $5\mu W$. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multi-Drop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	4.7/10	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

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

MAX220-MAX249

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V_{CC})	-0.3V to +6V	16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	696mW
Input Voltages		16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
T_{IN}	-0.3V to ($V_{CC} - 0.3V$)	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R_{IN}	$\pm 30V$	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T_{OUT} (Note 1)	$\pm 15V$	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	640mW
Output Voltages		16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T_{OUT}	$\pm 15V$	18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW
R_{OUT}	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)	Operating Temperature Ranges	
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AC_, MAX2_C_	0°C to +70°C
Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ C$)		MAX2_AE_, MAX2_E_	-40°C to +85°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW	MAX2_AM_, MAX2_M_	-55°C to +125°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW	Storage Temperature Range	
20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	440mW	-65°C to +160°C	
		Lead Temperature (soldering, 10sec)	
		+300°C	

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, \overline{SHDN} or $V_{CC} = 0V$.

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

($V_{CC} = +5V \pm 10\%$, $C_1-C_4 = 0.1\mu F$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3k Ω to GND		± 5	± 8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High			2	1.4		V
Logic Pull-Up/Input Current	Normal operation			5	40	μA
	$\overline{SHDN} = 0V$, MAX222/242, shutdown		± 0.01		± 1	
Output Leakage Current	$V_{CC} = 5.5V$, $\overline{SHDN} = 0V$, $V_{OUT} = \pm 15V$, MAX222/242		± 0.01		± 10	μA
	$V_{CC} = \overline{SHDN} = 0V$, $V_{OUT} = \pm 15V$		± 0.01		± 10	
Data Rate	All except MAX220, normal operation			200	116	kbits/ sec
	MAX220			22	20	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	$V_{OUT} = 0V$		± 7	± 22		mA
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range					± 30	V
RS-232 Input Threshold Low	$V_{CC} = 5V$	All except MAX243 R_{2IN}	0.8	1.3		V
		MAX243 R_{2IN} (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	$V_{CC} = 5V$	All except MAX243 R_{2IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R_{2IN} (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, $V_{CC} = 5V$, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	k Ω
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 3.2mA$			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1.0mA$		3.5	$V_{CC} - 0.2$		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing $V_{OUT} = GND$		-2	-10		mA
	Shrinking $V_{OUT} = V_{CC}$		10	30		
TTL/CMOS Output Leakage Current	$\overline{SHDN} = V_{CC}$ or $\overline{EN} = V_{CC}$ ($\overline{SHDN} = 0V$ for MAX222), $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			± 0.05	± 10	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

($V_{CC} = +5V \pm 10\%$, $C_1-C_4 = 0.1\mu F$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current ($\overline{SHDN} = V_{CC}$), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3k Ω load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T _A = +25°C		0.1	10	μ A
		T _A = 0°C to +70°C		2	50	
		T _A = -40°C to +85°C		2	50	
		T _A = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				± 1	μ A
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C _L = 50pF to 250pF, R _L = 3k Ω to 7k Ω , V _{CC} = 5V, T _A = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/ μ s
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μ s
		MAX220		4	10	
	t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t _{PHLR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μ s
		MAX220		0.6	3	
	t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t _{PHLS}	MAX242		0.5	10	μ s
	t _{PLHS}	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}			125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}			160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t _{ET}			250		μ s
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t _{DT}			600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLT} - t _{PLHT}			300		ns
	MAX220			2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLR} - t _{PLHR}			100		ns
	MAX220			225		

Note 2: MAX243 R_{2OUT} is guaranteed to be low when R_{2IN} is $\geq 0V$ or is floating.

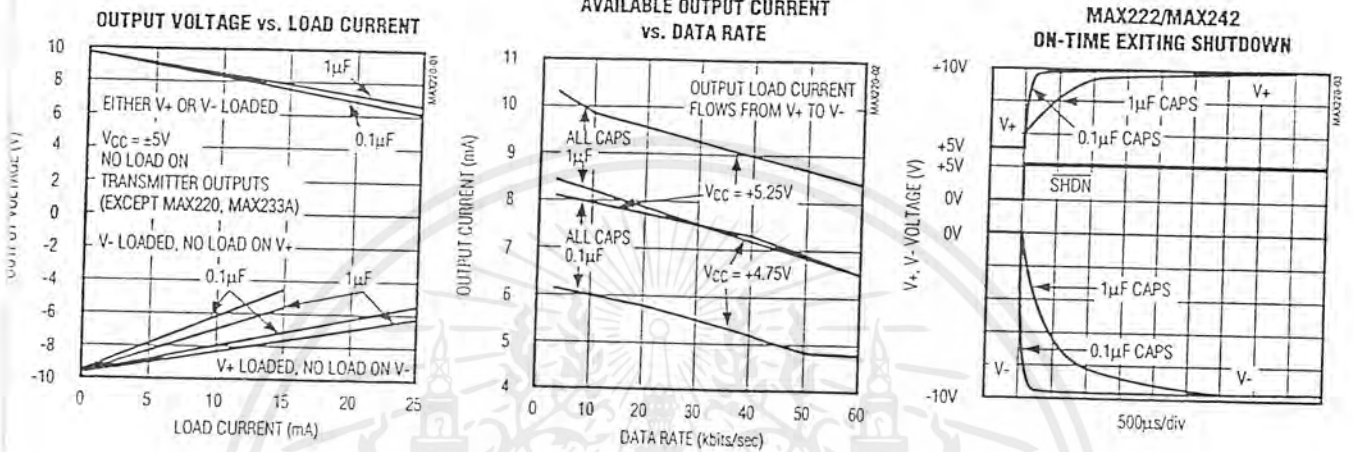
MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230—MAX241

V _{CC}	-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
V ₊	(V _{CC} - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....	941mW
V ₋	+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
Input Voltages		44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	727mW
R _{IN}	±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
Output Voltages		20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T _{OUT}	(V ₊ + 0.3V) to (V ₋ - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	24-Pin Sidebrase (derate 20.0mW/°C above +70°C).....	1.6W
Short-Circuit Duration, T _{OUT}	Continuous	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		Operating Temperature Ranges	
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW	MAX2 __ C __.....	0°C to +70°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....	842mW	MAX2 __ E __.....	-40°C to +85°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW	MAX2 __ M __.....	-55°C to +125°C
24-Pin Narrow Plastic DIP (derate 13.33mW/°C above +70°C).....	1.07W	Storage Temperature Range.....	-65°C to +160°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	500mW	Lead Temperature (soldering, 10sec).....	+300°C
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW		

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230—MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V_{CC} = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V_{CC} = 5V ±5%, C1-C4 = 1.0μF; MAX231/MAX239, V_{CC} = 5V ±10%; V₊ = 7.5V to 13.2V; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground	±5.0	±7.3		V
V _{CC} Power-Supply Current	No load, T _A = +25°C	MAX232/233	5	10	mA
		MAX223/230/234-238/240/241	7	15	
		MAX231/239	0.4	1	
V ₊ Power-Supply Current		MAX231	1.8	5	mA
		MAX239	5	15	
Shutdown Supply Current	T _A = +25°C	MAX223	15	50	μA
		MAX230/235/236/240/241	1	10	
Input Logic Threshold Low	T _{IN} ; EN, SHDN (MAX233); EN, SHDN (MAX230/235-241)			0.8	V
Input Logic Threshold High	T _{IN}	2.0			V
	EN, SHDN (MAX223); EN, SHDN (MAX230/235/236/240/241)	2.4			
Logic Pull-Up Current	T _{IN} = 0V		1.5	200	μA
Receiver Input Voltage Operating Range		-30		30	V

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230–MAX241 (continued)

MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$; MAX233/MAX235, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, C_1 – $C_4 = 1.0\mu F$; MAX231/MAX239, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $V_+ = 7.5V$ to $13.2V$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R_{4IN} , R_{5IN})	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R_{4IN} , R_{5IN})		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$, no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k Ω
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233), $I_{OUT} = 3.2mA$				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$; EN = 0V (MAX223); EN = V_{CC} (MAX235–241)			0.05	± 10	μA
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150pF$	Normal operation		0.5	10	μs
		SHDN = 0V (MAX223)	t_{PHLS}	4	40	
			t_{PLHS}	6	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234–241, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ μs
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$		300			Ω
Transmitter Output Short-Circuit Current			± 10			mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

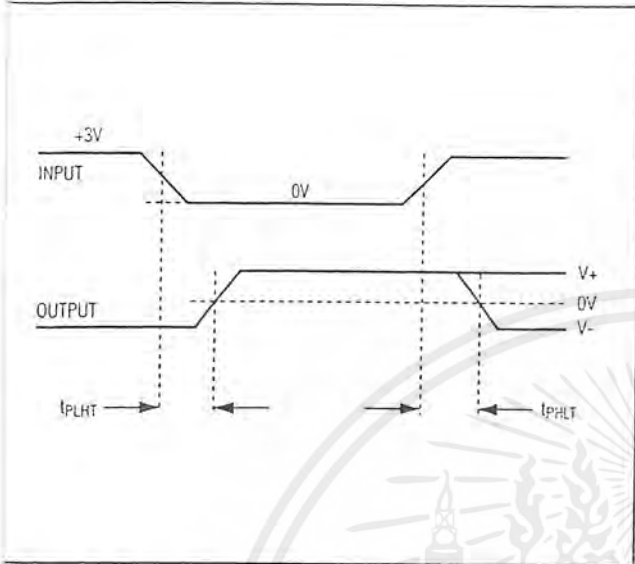


Figure 1. Transmitter Propagation-Delay Timing

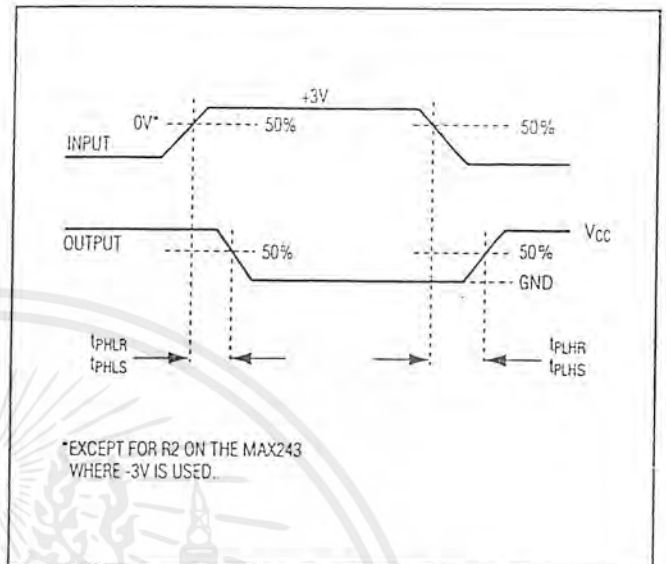


Figure 2. Receiver Propagation-Delay Timing

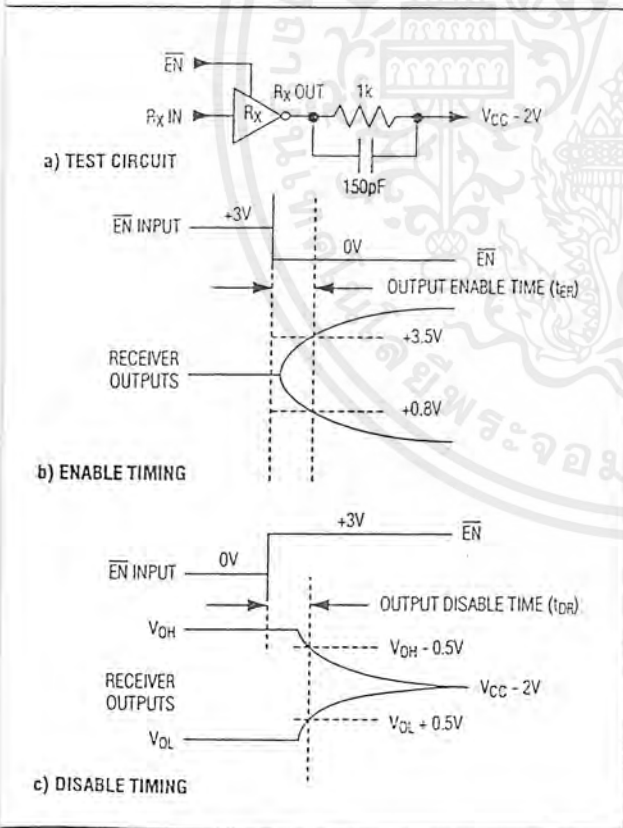


Figure 3. Receiver-Output Enable and Disable Timing

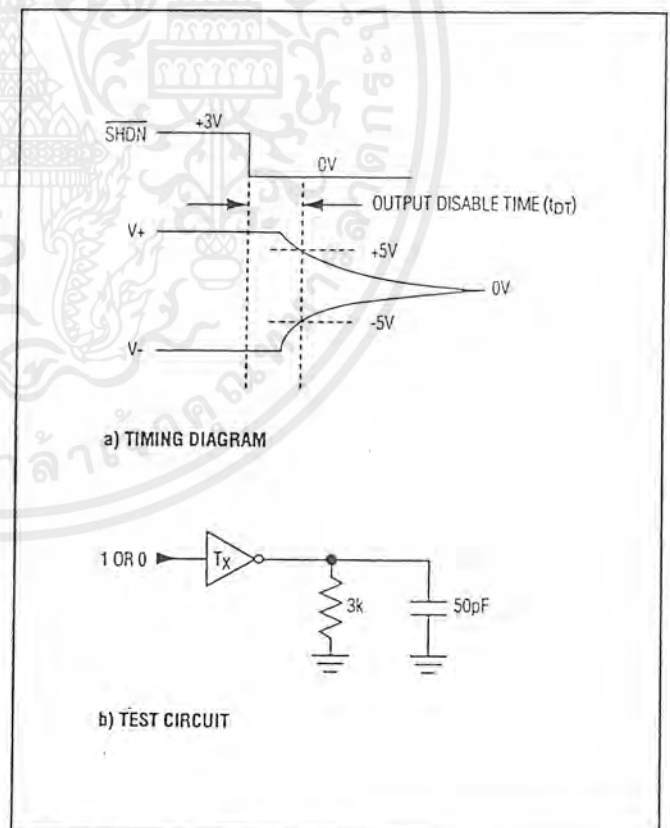


Figure 4. Transmitter-Output Disable Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

TOP VIEW

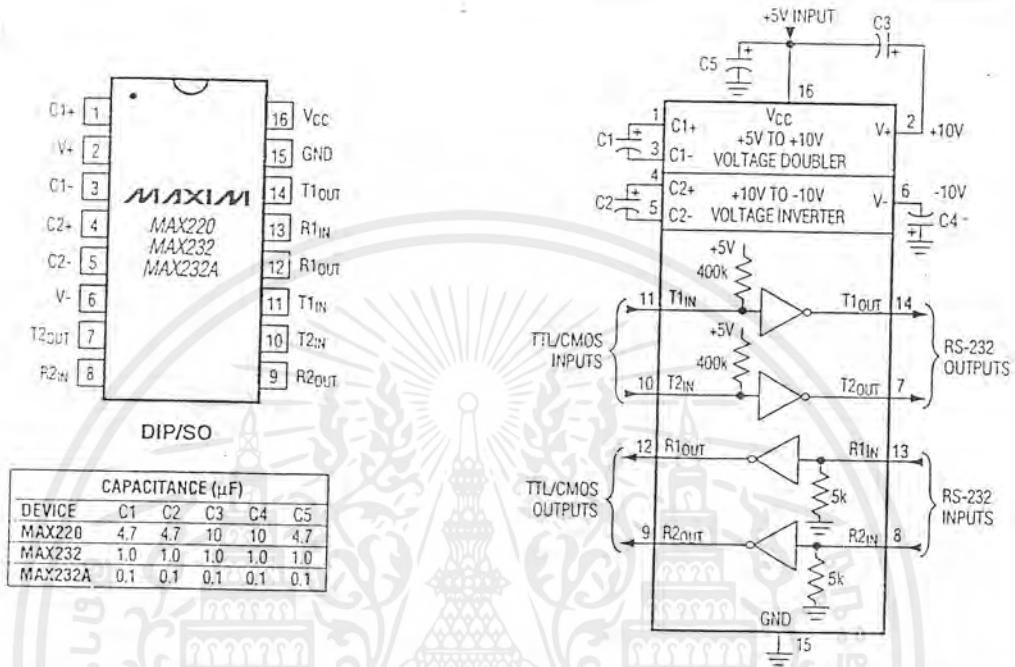


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

TOP VIEW

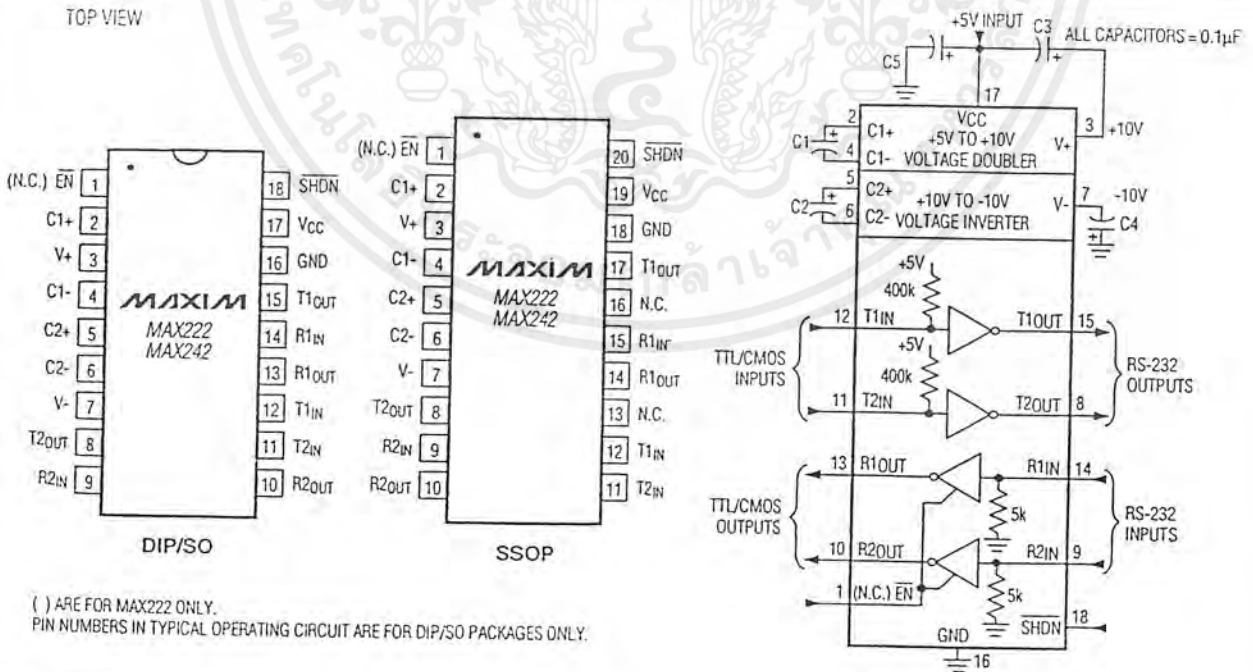


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM111/LM211/LM311 Voltage Comparator

General Description

The LM111, LM211 and LM311 are voltage comparators that have input currents nearly a thousand times lower than devices like the LM106 or LM710. They are also designed to operate over a wider range of supply voltages: from standard $\pm 15V$ op amp supplies down to the single 5V supply used for IC logic. Their output is compatible with RTL, DTL and TTL as well as MOS circuits. Further, they can drive lamps or relays, switching voltages up to 50V at currents as high as 50 mA.

Both the inputs and the outputs of the LM111, LM211 or the LM311 can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire OR'ed. Although slower than the LM106 and LM710 (200 ns response time vs

40 ns) the devices are also much less prone to spurious oscillations. The LM111 has the same pin configuration as the LM106 and LM710.

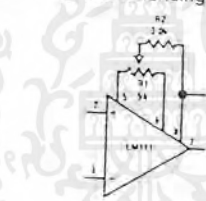
The LM211 is identical to the LM111, except that its performance is specified over a $-25^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ temperature range instead of $-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$. The LM311 has a temperature range of $0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$.

Features

- Operates from single 5V supply
- Input current: 150 nA max. over temperature
- Offset current: 20 nA max. over temperature
- Differential input voltage range: $\pm 30V$
- Power consumption: 135 mW at $\pm 15V$

Typical Applications**

Offset Balancing

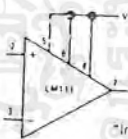


Strobing



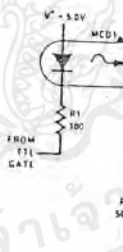
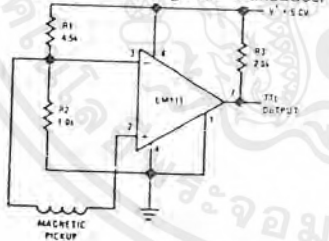
**Note: Pin connections shown on schematic diagram and typical applications are for TO-5 package.

Increasing Input Stage Current*

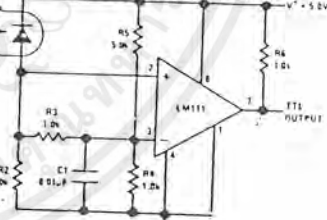


*Increases typical common mode slew from 7.0V/ μs to 18V/ μs .

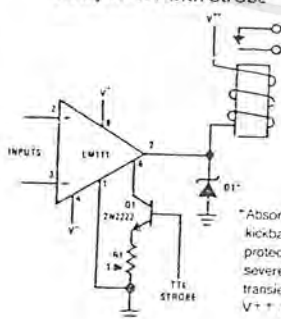
Detector for Magnetic Transducer



Digital Transmission Isolator



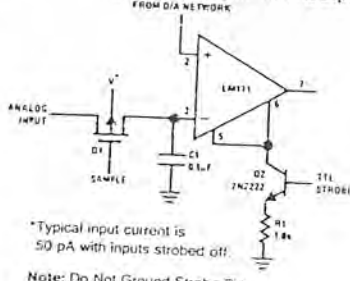
Relay Driver with Strobe



*Absorbs inductive kickback of relay and protects IC from severe voltage transients on V^+ line.

Note: Do Not Ground Strobe Pin.

Strobing off Both Input* and Output Stages



*Typical input current is 50 pA with inputs strobed off.

Note: Do Not Ground Strobe Pin.

TL/H/5704-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings for the LM111/LM211

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

Supply Voltage (V_{B+})	36V
Input to Negative Supply Voltage (V_{74})	50V
Ground to Negative Supply Voltage (V_{14})	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 1)	$\pm 15V$
Power Dissipation (Note 2)	500 mW
Input Short Circuit Duration	10 sec

Operating Temperature Range LM111	-55°C to 125°C
LM211	-25°C to 85°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	260°C
Voltage at Strobe Pin	$V^+ - 5V$
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

Electrical Characteristics for the LM111 and LM211 (Note 3)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_S \leq 50k$		0.7	3.0	mV
Input Offset Current (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		4.0	10	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		60	100	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$	40	200		V/mV
Response Time (Note 5)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -5\text{ mV}$, $I_{OUT} = 50\text{ mA}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	2.0	3.0	5.0	mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 5\text{ mV}$, $V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_{STROBE} = 3\text{ mA}$		0.2	10	nA
Input Offset Voltage (Note 4)	$R_S \leq 50k$			4.0	mV
Input Offset Current (Note 4)				20	nA
Input Bias Current				150	nA
Input Voltage Range	$V^+ = 15V$, $V^- = -15V$, Pin 7 Pull-Up May Go To 5V	-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V$, $V^- = 0$ $V_{IN} \leq -6\text{ mV}$, $I_{SINK} \leq 8\text{ mA}$		0.23	0.4	V
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 5\text{ mV}$, $V_{OUT} = 35V$		0.1	0.5	μA
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		5.1	6.0	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		4.1	5.0	mA

Note 1: This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 2: The maximum junction temperature of the LM111 is 150°C, while that of the LM211 is 110°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 110°C/W, junction to ambient.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and Ground pin at ground, and $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, unless otherwise stated. With the LM211, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to $\pm 15V$ supplies.

Note 4: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and input impedance.

Note 5: The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Note 6: Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

Note 7: Refer to RETS111X for the LM111H, LM111J and LM111J-8 military specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings for the LM311

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

Total Supply Voltage (V_{B4})	36V
Output to Negative Supply Voltage (V_{74})	40V
Ground to Negative Supply Voltage (V_{14})	30V
Differential Input Voltage	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 1)	$\pm 15V$
Power Dissipation (Note 2)	500 mW

Output Short Circuit Duration	10 sec
Operating Temperature Range	0° to 70°C
Storage Temperature Range	- 65°C to 150°C
Lead Temperature (soldering, 10 sec)	260°C
Voltage at Strobe Pin	$V^+ - 5V$
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics for the LM311 (Note 3)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Input Offset Voltage (Note 4)	$T_A = 25^\circ C, R_S \leq 50k$		2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 4)	$T_A = 25^\circ C$		6.0	50	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ C$		100	250	nA
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ C$	40	200		V/mV
Response Time (Note 5)	$T_A = 25^\circ C$		200		ns
Saturation Voltage	$V_{IN} \leq -10 mV, I_{OUT} = 50 mA$ $T_A = 25^\circ C$		0.75	1.5	V
Strobe ON Current	$T_A = 25^\circ C$	1.5	3.0		mA
Output Leakage Current	$V_{IN} \geq 10 mV, V_{OUT} = 35V$ $T_A = 25^\circ C, I_{STROBE} = 3 mA$ $V^- = V_{GRND} = -5V$		0.2	50	nA
Input Offset Voltage (Note 4)	$R_S \leq 50K$			10	mV
Input Offset Current (Note 4)				70	nA
Input Bias Current				300	nA
Input Voltage Range		-14.5	13.8, -14.7	13.0	V
Saturation Voltage	$V^+ \geq 4.5V, V^- = 0$ $V_{IN} \leq -10 mV, I_{SINK} \leq 8 mA$		0.23	0.4	V
Positive Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		5.1	7.5	mA
Negative Supply Current	$T_A = 25^\circ C$		4.1	5.0	mA

Note 1: This rating applies for $\pm 15V$ supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.

Note 2: The maximum junction temperature of the LM311 is 110°C. For operating at elevated temperature, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and the Ground pin at ground, and $0^\circ C < T_A < +70^\circ C$, unless otherwise specified. The offset voltage, offset current and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to $\pm 15V$ supplies.

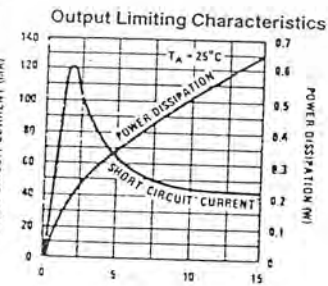
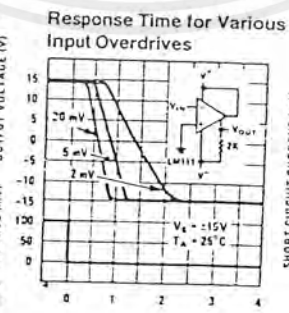
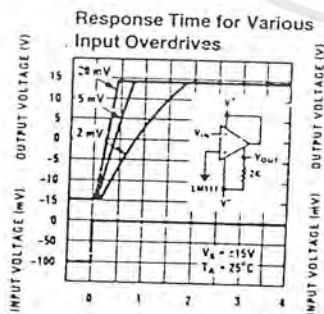
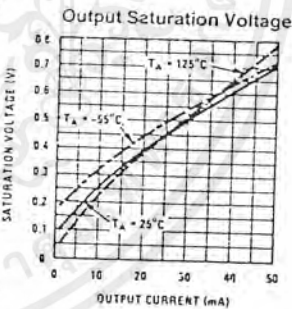
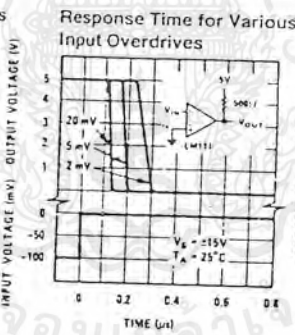
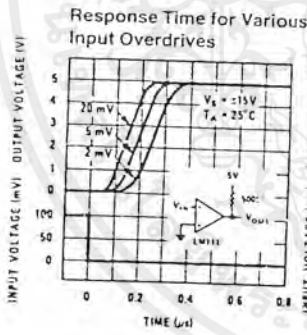
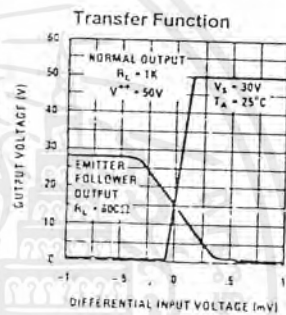
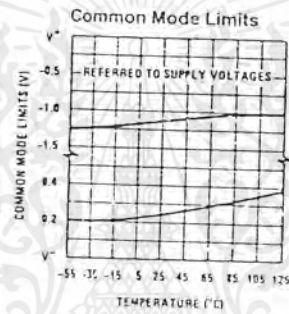
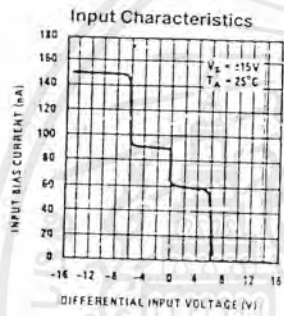
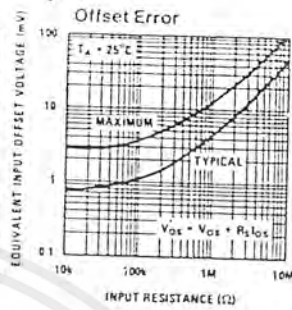
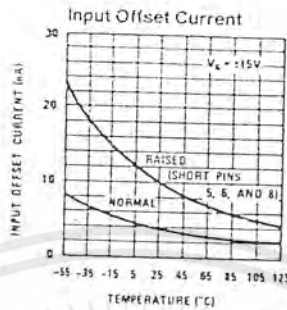
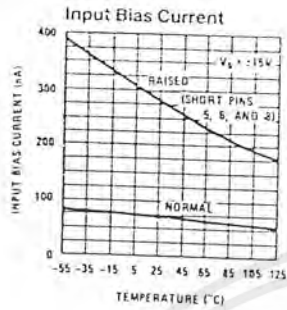
Note 4: The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with 1 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and input impedance.

Note 5: The response time specified (see definitions) is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive.

Note 6: Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3 to 5 mA.

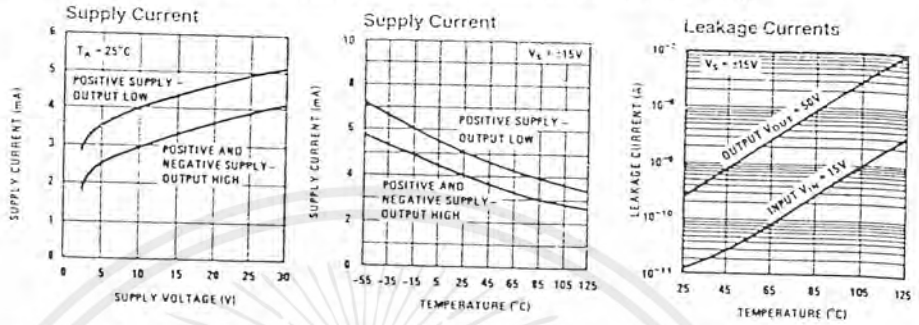
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM111/LM211 Typical Performance Characteristics

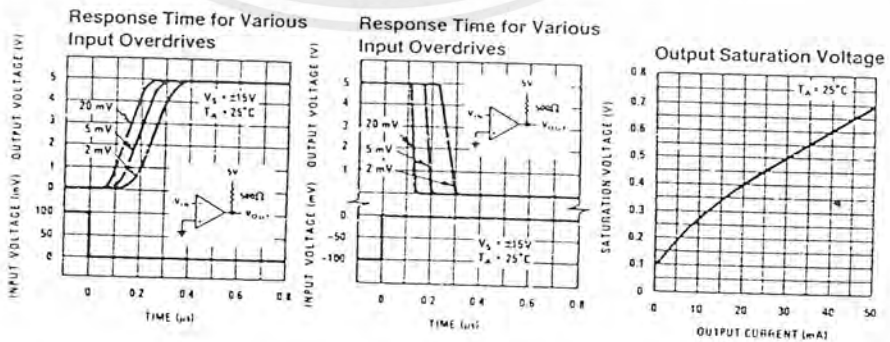
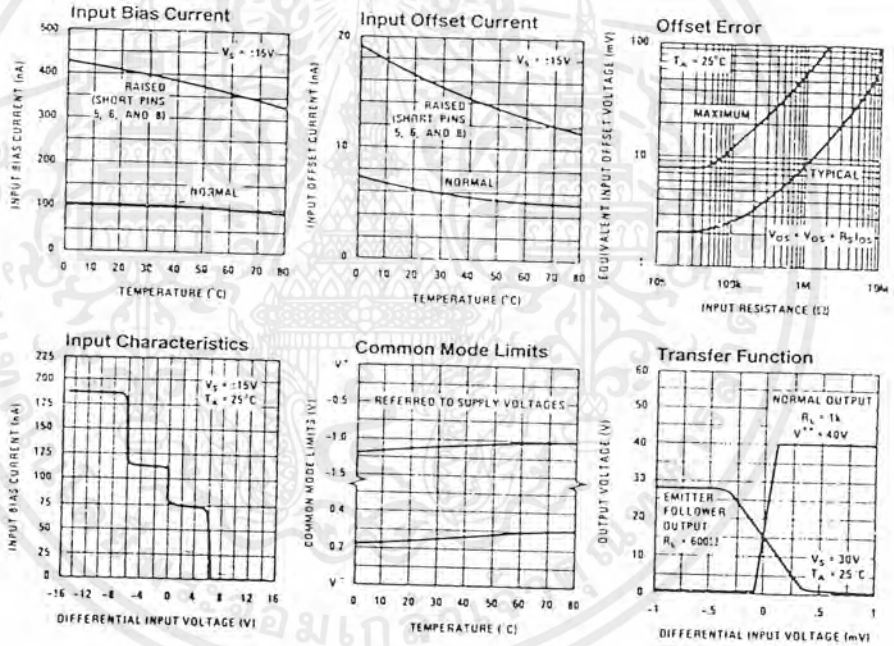


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM111/LM211 Typical Performance Characteristics (Continued)

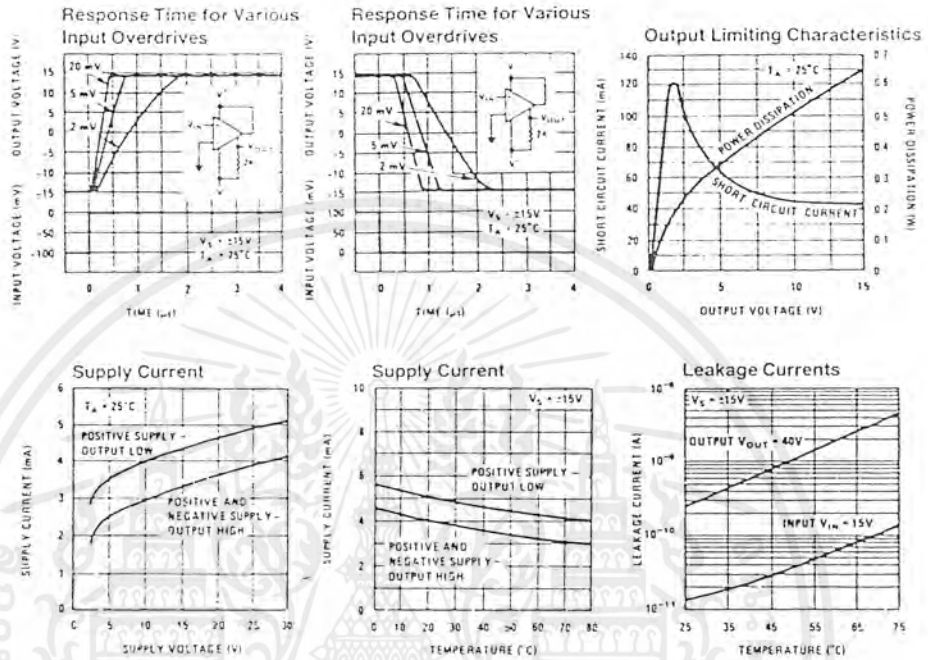


LM311 Typical Performance Characteristics



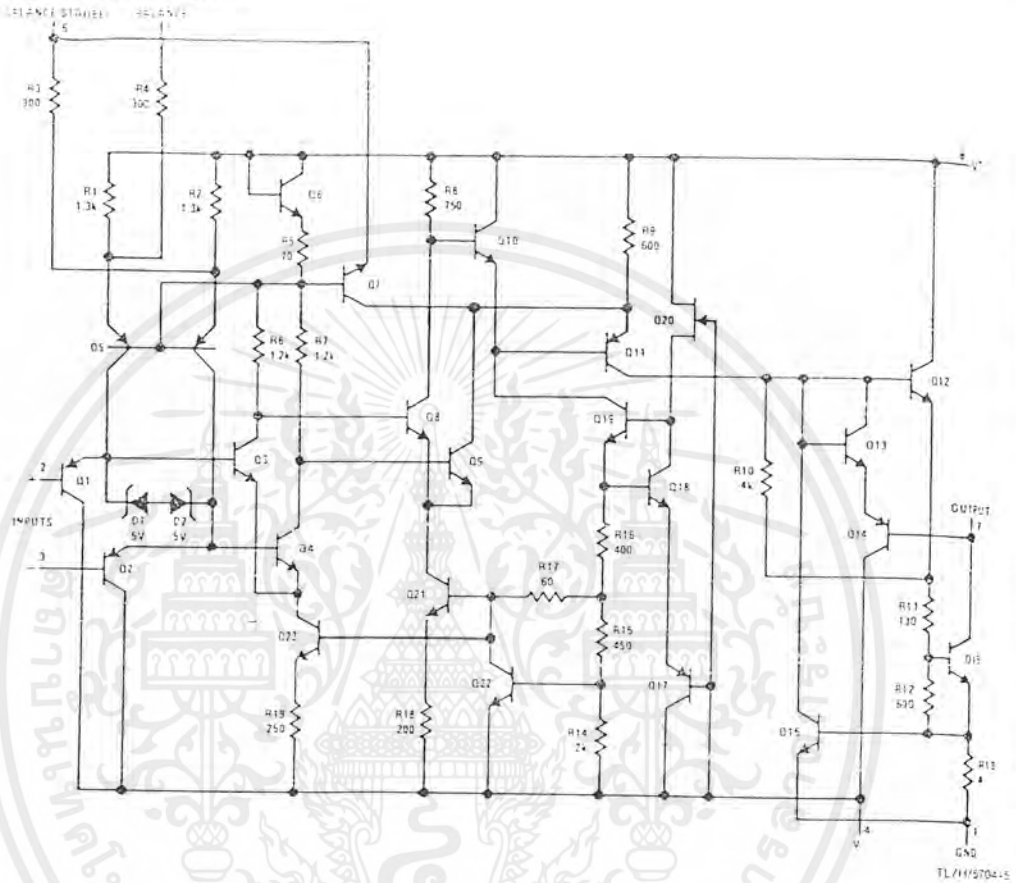
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ311 Typical Performance Characteristics (Continued)



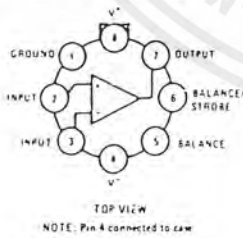
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagram



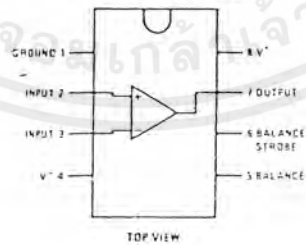
Connection Diagrams*

Metal Can Package



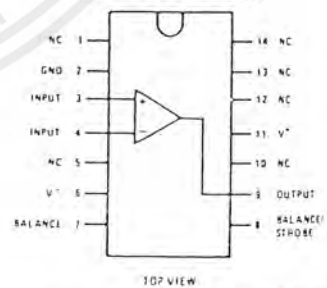
Order Number LM111H,
LM211H or LM311H
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package



Order Number LM111J-8, LM211J-8,
LM311J-8, LM311M or LM311N
See NS Package Number J08A,
M08A or N08E

Dual-In-Line Package



Order Number LM111J, LM211J,
LM311J or LM311N-14
See NS Number Package
J14A or N14A

*Pin connections shown on schematic diagram are for TO-8 package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กฤษณา วิษวธีรานนท์ , ไอซีทีจิตตอล , กรุงเทพฯ:บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2521
2. ทวีชัย ภูริทิพย์ , ไขปัญหา RS-232 , กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ,2528
3. สุนทร วิทูรพจน์ , การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051 , กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ,2537
4. สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช , Visual Basic 5.0 . กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2541
5. สุนทร วิทูรพจน์; “การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051”, ซีเอ็ดยูเคชั่น ,198หน้า , 2530
6. ประเมษฐ์ ประณยานันท์ และ ปิยพงศ์ เผ่าวณิช, “คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”,ซีเอ็ดยูเคชั่น,380 หน้า,2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคล
หลายๆท่าน คณะผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
และอาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญไว้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และชุมชนอิเล็กทรอนิกส์ ที่เอื้อเฟื้อ อุปกรณ์และเครื่องมือ
ทั้งหมด ตลอดจนสถานที่ๆใช้ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ทุกคน (คุณ , อ้น , จุ้ม , บี) ซึ่งเป็น ที่ปรึกษา เป็นกำลังใจที่ดี และเป็นเรี่ยว
แรงสำคัญในการทำโครงการครั้งนี้

และกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เคารพรักยิ่ง ที่ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่
และกำลังทุนทรัพย์ที่สำคัญตลอดการทำปริญญานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขออภัย
ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

พฤษภาคม 2543