

ปีการศึกษา 2541

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

The controllable Uninterruptible Power Supply by Microcontroller and computerize display



นายวรัตน์	เก่งธรรมกิจ	รหัส	39013085
นายวุฒิพล	ธาราธิรเศรษฐ์	รหัส	39013102
นายเสนาห์	แก้วงาม	รหัส	39013109
นายพรเทพ	ต้นประเสริฐ	รหัส	39013127

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 34133  
วัน, เดือน, ปี..... 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
มาวารณีสฤต พงษ์วิบูลย์ อธิการบดี  
เปลี่ยนแปลงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ

- |    |            |               |      |          |
|----|------------|---------------|------|----------|
| 1. | นายชวรัตน์ | เก่งธรรมกิจ   | รหัส | 39013085 |
| 2. | นายวุฒิพล  | ธาราธีรเศรษฐ์ | รหัส | 39013102 |
| 3. | นายเสนาห์  | แก้วงาม       | รหัส | 39013109 |
| 4. | นายพรเทพ   | ตันประเสริฐ   | รหัส | 39013127 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

นายขรรค์ เก่งธรรมกิจ

นายวุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์

นายเสน่ห์ แก้วงาม

นายพรเทพ ตันประเสริฐ

รศ.ดร. วิริยะ พิษฐ์จำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

### บทคัดย่อ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองหรือยูพีเอส ( Uninterruptible power supply ; UPS) คือ อุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อเตรียมจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองให้กับภาระได้อย่างต่อเนื่อง เช่น จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบคอมพิวเตอร์แทนการไฟฟ้าหากการไฟฟ้าเกิดเหตุขัดข้องเนื่องมาจากสาเหตุใดก็ตาม จะเห็นได้ว่ายูพีเอสเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น แต่ยูพีเอสก็มีขีดจำกัดในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ณ ระดับหนึ่งเท่านั้น โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในโครงการนี้เป็นแหล่งจ่ายชนิด 1 เฟส ขนาดพิกัด 400 โวลต์-แอมป์ และสามารถจ่ายไฟฟ้าสำรองได้นาน 10 นาทีที่พิกัดกำลังไฟฟ้า โดยการควบคุมระบบการทำงานทั้งหมดจะอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นตัวสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz เป็นสัญญาณสวิตชิ่งซึ่งให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นชนิด พูช - พูล (Push Pull Inverter) ซึ่งทำงานในโหมดออฟไลน์ (off-line mode) และมีผลการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ในรูปแบบกราฟฟิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Controllable Uninterruptible Power Supply : By Microcontroller and Computerize  
Display

Mr.Chawarat	Kengthamakit	
Mr.Wutthipol	Tharatheerasate	
Mr.Sanea	Keawngarm	
Mr.Pornthep	Tonprasert	
Prof.Asso.Dr.Viriya	Phichetchumreon	Advisor

1998

ABSTRACT

Uninterruptible Power Supply or UPS is designed to supply reserved electrical energy for uninterruptable load. Inspire of the failing of system or no power supply from source, load (or computer, etc) be able to work continuously. So UPS is an equipment which improve stability to load, but it is limited to supply electrical energy which is appropriate which a lower power system. The UPS in this project is 1 phase power supply, 400 VA. Rated. Supply 10 minutes at rated power. It is controlled by 8-bit microcontroller, which generates 50 Hz square wave as switching signal for inverter circuit. This type of inverter is Push-Pull inverter, which work in off-line mode. Graphic display is shown on PC monitor.

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองชนิดออฟไลน์ (Off-Line UPS)
2. เพื่อนำเทคโนโลยีด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองแทนแบบอนาล็อก
3. เพื่อเป็นการง่ายต่อการปรับปรุงคุณลักษณะพิเศษการทำงานของฮาร์ดแวร์โดยพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์
4. เพื่อเป็นการลดคุณลักษณะและขนาดวงจรอนาล็อก ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีบทบาทต่อการควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง
5. เพื่อสามารถจ่ายภาระได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่คำนึงถึงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ดังนั้นรูปคลื่นเอาต์พุตที่ได้จึงไม่เป็นรูปคลื่นชายน้อย่างแท้จริง
6. สืบเนื่องจากข้อ 5 เพื่อเป็นการสอดคล้องกับการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานให้ต่ำที่สุดจึงไม่มีส่วนฟิลเตอร์กรองแรงดันเอาต์พุตเพื่อเป็นรูปคลื่นชายน้อย
7. เพื่อแสดงถึงความแตกต่างทางด้านอนาล็อกกับดิจิทัลจึงมีการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ในรูปแบบกราฟฟิก
8. วิเคราะห์และปรับปรุงระบบ Sensor ต่างๆ
9. พัฒนารูปแบบการแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

### ขอบเขตในการดำเนินงาน

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541

ทำในส่วนของ

- ศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่อง UPS
- ทดลองสร้างและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นทางการ Sensor ค่าของระบบ

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2541

ทำในส่วนของ

- ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
- ทดลองและสรุปผลการทำงาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1            บทนำ	1
บทที่ 2            วงจรอินเวอร์เตอร์	2
2.1    พื้นฐานการทำงานของวงจรพุ่ม - พุด	4
2.2    มอสเฟตกำลัง	7
2.3    คุณลักษณะของเพาเวอร์มอสเฟต	9
2.4    คุณลักษณะของสัญญาณขับ	19
บทที่ 3            เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่	20
3.1    ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่	20
3.2    พารามิเตอร์ในการอัดประจุ	21
3.3    วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่	22
3.4    การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดโดยทั่วไป	23
3.5    การประยุกต์ใช้งาน	23
3.6    คุณลักษณะที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด	24
บทที่ 4            สวิตช์สับเปลี่ยน	25
4.1    เงื่อนไขในการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน	26
4.2    ลำดับการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน	27
บทที่ 5            ไมโครคอนโทรลเลอร์	32
5.1    โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51	32
5.2    พอร์ตของ MCS - 51	36
5.3    ฝั่งเวลาของ CPU	41
5.4    Timer / Counter	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	5.5	การโปรแกรม Timer / Counter	45
	5.6	การอินเทอร์รัปต์	49
บทที่ 6		การใช้งาน Visual Basic	56
	6.1	การสร้างและออกแบบจอภาพ	59
	6.2	หลักการเขียนโปรแกรม	64
	6.3	ฟังก์ชันสำหรับเขียนโปรแกรม	84
บทที่ 7		การคำนวณและออกแบบ	91
	7.1	การออกแบบหม้อแปลง	91
	7.2	การออกแบบวงจร พูซ – พูล อินเวอร์เตอร์	93
	7.3	การเลือกขนาดแบตเตอรี่	95
	7.4	การออกแบบสวิตช์สับเปลี่ยน	96
	7.5	การตรวจสอบแรงดันไฟเกินไฟตกของระบบ	99
	7.6	การตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าเกินพิกัด	101
	7.7	การทำงานของวงจรขับที่ออกแบบ	103
	7.8	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	105
	7.9	การออกแบบในส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	109
	7.10	การออกแบบในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	114
บทที่ 8		ผลการทดลอง	116
		จุดประสงค์ในการทดลอง	117
		การทดลองโครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง	118
บทที่ 9		วิจารณ์และสรุปผล	132
		กิตติกรรมภาค	135
		ภาคผนวก	
		เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	เรื่อง	หน้าที่
รูปที่ 2.1	แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรพูน-พูล อินเวอร์เตอร์	4
รูปที่ 2.2	แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตชิงเนื่องจาก ประจุสะสม	5
รูปที่ 2.3	แสดงการกำหนดค่าเพื่อ $t_D$ ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	7
รูปที่ 2.4	สัญลักษณ์ของมอสเฟตที่ใช้งานทั่วไป	8
รูปที่ 2.5	โครงสร้างเปรียบเทียบระหว่าง (ก) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (ข) เพาเวอร์วีมอสเฟต (ค) ดีมอสเฟต	8
รูปที่ 2.6	แรงดันพังทลายที่ตรงกับซอร์สต่ออูณหภูมิมิรอยต่อ	10
รูปที่ 2.7	วงจรวัดจ็โดยใช้มอสเฟต	11
รูปที่ 2.8	ค่าความต้านทานที่ตรงกับซอร์สต่ออูณหภูมิมิรอยต่อขณะนำกระแส	11
รูปที่ 2.9	วงจรมุมมูลย์ของเพาเวอร์มอสเฟต	12
รูปที่ 2.10	วงจรถอด	12
รูปที่ 2.11	ตัวเก็บประจุแฝงภายในมอสเฟต	13
รูปที่ 2.12	ลักษณะการนำกระแสและหยุดนำกระแส	14
รูปที่ 2.13	ลักษณะกราฟ SOAR	15
รูปที่ 2.14	แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบจากกราฟระหว่างมอสเฟตและ ทรานซิสเตอร์	16
รูปที่ 2.16	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ที่เด่นชัดเปรียบเทียบกับอูณหภูมิมิ	17
รูปที่ 2.15	ยี่ดบริเวณลิเนียร์ (L) ของมอสเฟตเพื่อหาความต้านทาน ( $r_{DS}$ )	18
รูปที่ 4.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟสำรอง	25
รูปที่ 4.4	แสดงลำดับการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบดับ	28
รูปที่ 4.5	แสดงลำดับการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบต่ำหรือ เกินกว่าปกติ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6	แสดงลำดับการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน เมื่อกระแสไฟฟ้าของภาระเกินกว่าพิกัด	30
รูปที่ 4.7	แสดงลำดับการทำงานของเมื่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ภาระ	31
รูปที่ 5.1	(a) 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	33
	(b) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน	34
รูปที่ 5.2	การจัดวางขาของ 8051	35
รูปที่ 5.3	แสดงโครงสร้าง พอร์ท 0 (บิต)	36
รูปที่ 5.4	โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)	37
รูปที่ 5.5	โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)	38
รูปที่ 5.6	โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)	39
รูปที่ 5.7	ผังเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง	41
รูปที่ 5.8	แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก	43
รูปที่ 5.9	ผังการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 0) 13-bit Counter และรีจิสเตอร์ควบคุม	45
รูปที่ 5.11	ไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์ 2 Capture Mode	47
รูปที่ 5.12	ไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์ 2 Reload Mode	47
รูปที่ 5.13	แหล่งที่มาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์	49
รูปที่ 5.14	รายละเอียดของรีจิสเตอร์ IE	50
รูปที่ 5.15	รายละเอียดของ IP	51
รูปที่ 5.16	รายละเอียดของระบบขัดจังหวะของ 8051, 83C154, 83C154D	52
รูปที่ 7.1	Inverter	94
รูปที่ 7.2	ATS	97
รูปที่ 7.3	เช็คระดับอินพุต	100
รูปที่ 7.4	เช็กระแส	102
รูปที่ 7.5	วงจรขับ	104
รูปที่ 7.6	วงจร A To D	106
รูปที่ 7.7	แสดงสถานะและเลือกเมนู	110
รูปที่ 7.8	แสดงสถานะแรงดัน-ความถี่-กระแสแบตเตอรี่	110
รูปที่ 7.9	แสดงพิกัดของระบบ	111

รูปที่ 7.10	แสดงสถานะของระบบ	111
รูปที่ 7.11	แสดงหน้าจอการสั่งการ Shutdown	112
รูปที่ 7.12	แสดงหน้าจอการสั่งงานทดสอบอินเวอร์เตอร์	112
รูปที่ 7.13	แสดงหน้าจอการเก็บข้อมูลของระบบ	113
รูปที่ 7.14	แสดงรูปคลื่นอินพุตให้กับอินเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีภาระ	118
รูปที่ 8.2	แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W	119
รูปที่ 8.3	แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 200 W	120
รูปที่ 8.4	แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 300 W	121
รูปที่ 8.5	แสดงรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลด ไฟ 100 W	122
รูปที่ 8.6	แสดงรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ โหลดไฟ 200 W	123
รูปที่ 8.7	แสดงรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลด ไฟ 300 W	124
รูปที่ 8.8	แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W	125
รูปที่ 8.9	แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W	126
รูปที่ 8.10	แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W	127
รูปที่ 8.11	แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 200 W	128
รูปที่ 8.12	แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 300 W	129
รูปที่ 8.13	แสดงผลในสถานะผิดปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W	130
รูปที่ 8.14	แสดงอัตราเวลาการ Transfer ของ UPS เมื่อเกิดเหตุผิดปกติที่การไฟ ฟ้า	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 5.1	การโปรแกรมไทม์เมอร์ เคนเตอร์(เลือกค่า TMOD)	46
ตารางที่ 5.2	การโปรแกรมไทม์เมอร์ เคนเตอร์ 2 (เลือกค่า T2CON)	48
ตารางที่ 5.4	Vector Address	53
ตารางที่ 7.1	การทดสอบหาค่า ERROR ของวงจรแปลงสัญญาณ A/D	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันนี้การแก้ไขปัญหาผิดปกติที่เกิดจากระบบจ่ายไฟฟ้า อันเกิดจากไฟฟ้าดับ , ไฟฟ้าตก , ไฟฟ้าเกิน หรือการขัดข้องของระบบไฟฟ้า สามารถแก้ไขได้โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองซึ่งเห็นระบบที่ยอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาในกรณีไฟฟ้าที่จ่ายมาเกิดการผิดปกติ โดยที่โหลดไม่สามารถยอมรับได้ โดยเฉพาะโหลดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้ามากและโหลดที่ต้องการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเช่น โหลดฉุกเฉิน เป็นต้น

ในการทำโครงการนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงหลักการทำงานในส่วนต่างๆของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ส่วนที่สำคัญ ซึ่งสามารถอธิบายโดยย่อได้ดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์ ( Inverter ) เป็นชนิดพุช - พูล ( Push - Pull Inverter ) โดยใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตชิง โดยอาศัยหลักการสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ( Square Wave ) ที่มีความถี่ 50 Hz จากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเมื่อก้าวถึงวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับในทางปฏิบัติแล้วรูปคลื่นที่ได้จากวงจรไม่มีโอกาสเป็นรูปคลื่นขายนได้เลย โดยรูปคลื่นที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะที่ประกอบด้วยคลื่นความถี่หลักมูล ดังนั้นเพื่อจำกัดฮาร์โมนิคส์อันดับต่างๆ และให้รูปคลื่นเอาท์พุทมีลักษณะเป็นขายน่มากที่สุดจะทำได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ขนาดเล็กในการกรองฮาร์โมนิคส์ออกซึ่งการประยุกต์การใช้งานของวงจรอินเวอร์เตอร์มีลักษณะการใช้งานหลายๆด้าน เช่น ใช้ในงานยานพาหนะต่างๆที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟสลับใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์จากโซลาร์เซลล์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสสลับโดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยสามารถควบคุมได้ทั้งแรงดันและความถี่ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อควบคุมความเร็วแบบแรงบิดของมอเตอร์ได้
2. เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ( Battery Charger ) โดยใช้หลักการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบตะกั่ว - กรด ( Lead Acid ) ลักษณะปิดผนึกแรงดันไฟตรงปกติ 12 โวลท์ ขนาด 7 แอมป์ - ชั่วโมง โดยที่เครื่องชาร์จประจุจะใช้วงจรบริดจ์เรกติไฟ์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และผ่านเข้าไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้ ( Adjustable Regurater ) โดยใช้ IC LM 317 N และใช้ทรานซิสเตอร์ควบคุมขาราวด์เพื่อควบคุมแรงดันเอาท์พุทเพื่อให้เป็นไปตามสภาวะปกติและผิดปกติ สำหรับส่วนเรกติไฟ์เออร์จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และรักษาระดับแรงดันให้คงที่ และจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไม่ให้นักค่าที่ต้องการ เพื่อจ่ายให้กับวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ซึ่งในโครงการนี้ใช้วงจร  
บริดจ์เรกติไฟด์และใช้คาปาซิเตอร์กรองแรงดันรีปเปิลเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเรียบขึ้น

3. สวิตช์สับเปลี่ยน ( Transfer Switch ) เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองนี้เป็นแบบ ออฟ –  
ไลน์ ( OFF – LINE UPS ) โดยที่ในส่วนของอินเวอร์เตอร์จะทำงานก็ต่อเมื่อระบบไฟฟ้า  
ปกติเกิดการผิดพลาด ดังนั้นสวิตช์สับเปลี่ยนจะทำงานใน 2 สถานะคือ สถานะปกติจะสวิตช์  
ไปที่ระบบไฟฟ้าและเมื่อสถานะผิดปกติจะสวิตช์ไปที่วงจรอินเวอร์เตอร์ ในส่วนของการที่จะ  
สวิตช์ซึ่งจะได้รับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการทำงานได้  
ถูกต้องทั้ง 2 สถานะโดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวทรานเซอร์สวิตซ์ในโครงการจะใช้รีเลย์ โดยทำการ  
สับเปลี่ยนเมื่อได้รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของแหล่งจ่ายไฟฟ้า  
สำรอง โดยจะมีทั้งการรับอินพุต ประมวลผล และส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ในส่วน  
ต่างๆ และส่งสัญญาณเอาต์พุตออกพอร์ตเอาต์พุต RS 232 เพื่อที่เป็นสัญญาณอินพุตให้กับ  
อุปกรณ์ MComM ในโปรแกรมวิชวลเบสิก ( Visual Basic ) เพื่อแสดงผลออกทาง  
คอมพิวเตอร์คดียใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51 และมีไอซี ADC 0809 เป็นตัว  
แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งจะทำการรับสัญญาณอนาล็อกจากวงจรตรวจ  
จับแล้วแปลงสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลแล้วทำการควบคุมระบบต่อ  
ไป
5. แสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ( Displaying On Computer ) ในส่วนของโปรแกรม  
แสดงผลจะใช้ Visual Basic Program เวอร์ชัน 4.0 ซึ่งทำการเขียนคำสั่งบนวินโดวส์ โดย  
จะรับอินพุตมาจากพอร์ต RS 232 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะทำการแสดงข้อมูลต่างๆ  
เช่น แรงดัน กระแสทั้งด้านอินพุต และ ทางด้านเอาต์พุต แรงดันแบตเตอรี่ รวมทั้งความถี่  
ของระบบ หรือสั่งการทำงานจากคีย์บอร์ดเพื่อสั่งให้ UPS ไม่ทำงาน ( Shutdown ) จากทาง  
คอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วงจรอินเวอร์เตอร์(Inverter)

สำหรับในโครงงานนี้วงจรอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้งานจะใช้แบบ พูช - พูล อินเวอร์เตอร์ (Push - Pull Inverter) ซึ่งคุณลักษณะที่เหมาะสมของการเลือกใช้นี้ก็เพื่อ

1. สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง 500 วัตต์ขึ้นไป ดังนั้นค่าพิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในโครงงานนี้จึงอยู่ในเกณฑ์ที่พิจารณา
2. แรงดันที่ใช้ในการสวิตซ์ของอุปกรณ์มีค่าต่ำ
3. ราคาถูกที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอินเวอร์เตอร์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากว่าใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยในการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์
4. ไม่คำนึงถึงผลของคุณสมบัติของรูปคลื่นเท่าไรนัก เนื่องจากว่าจุดประสงค์ของโครงงานนี้ เพื่อสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองแทนระบบได้เท่านั้น เมื่อเกิดผิดปกติขึ้นกับระบบ แต่สิ่งที่พิเศษกว่าคือการควบคุมที่ง่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์
5. เนื่องจากรูปคลื่นสัญญาณในการสวิตซ์วงจรอินเวอร์เตอร์ จะ สวิตซ์ที่ความถี่ 50 Hz ดังนั้นอุปกรณ์สวิตซ์จึงไม่จำเป็นต้องตอบสนองใช้เวลาที่รวดเร็ว (Slow dynamic Response)
6. เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการขับเป็นรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม มีความถี่ 50 Hz ดังนั้นการสร้างสัญญาณขับนี้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำได้ง่าย
7. การออกแบบวงจรได้ง่าย เนื่องจากว่าใช้งานที่ความถี่ต่ำ จึงมักไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องของสไปท์ (Spike) การใช้หม้อแปลงความถี่สูง หรือผลจากเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าไม่เท่ากัน การออกแบบหม้อแปลงไม่ต้องใช้แกนเฟอร์ไรท์ ซึ่งจะช่วยประหยัดได้มาก

ดังนั้นจากคุณลักษณะข้างต้นจึงได้ทำการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้ให้มีเงื่อนไขเป็นไปตามคุณลักษณะดังกล่าว โดยแสดงเป็นหัวข้อได้ดังนี้

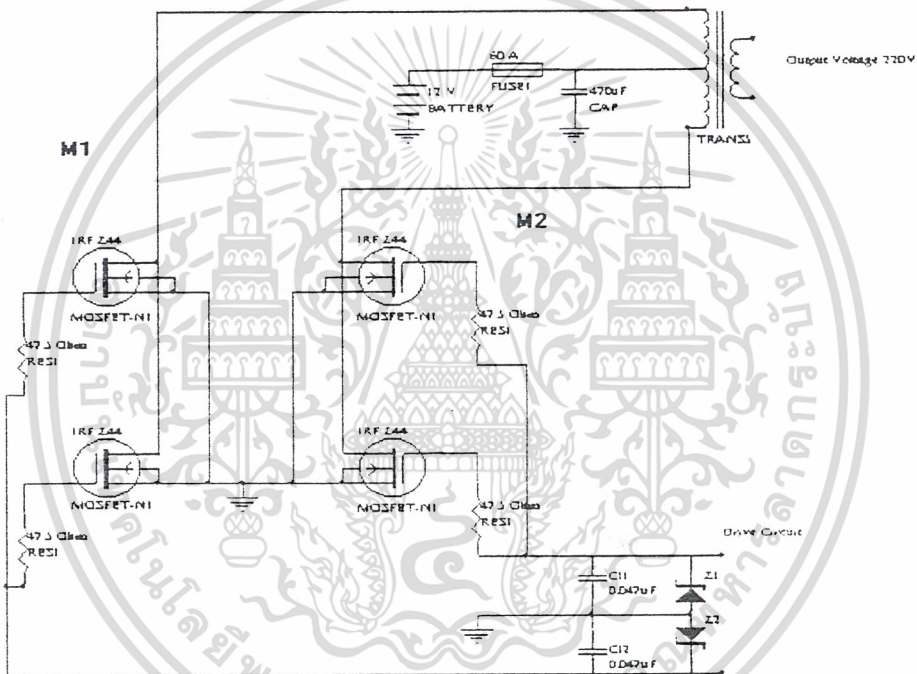
1. วงจรอินเวอร์เตอร์ใช้อุปกรณ์สวิตซ์คือ มอสเฟต จำนวน 4 ตัวแบ่งเป็นกิ่งละ 2 ตัว
2. ใช้รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square wave signal) มีความถี่ที่ 50 Hz จำนวน 2 สัญญาณกลับเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์
3. แรงดันไฟตรงที่ใช้ขับเคลื่อนมอสเฟตมีค่า 12 โวลต์
4. หม้อแปลงถูกออกแบบใช้งานที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการออกแบบจะอาศัยคุณลักษณะและเงื่อนไขดังกล่าวนี้ในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีการใช้งานไปจนถึงการออกแบบวงจรที่ใช้ในโครงการนี้

## 2.1 พื้นฐานการทำงานของวงจร พูช - พูล อินเวอร์เตอร์

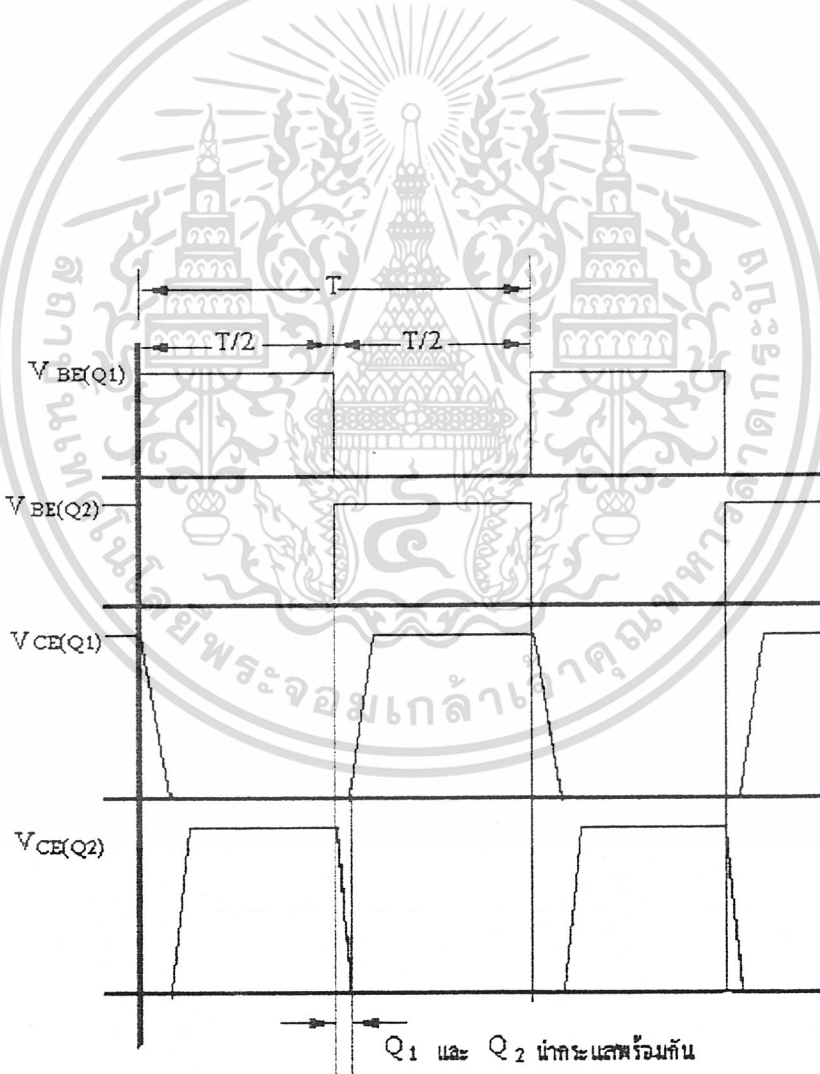
(Basic of Push-Pull operating Inverter)



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรพูช-พูล อินเวอร์เตอร์

หลักการการทำงานของวงจรพูช-พูล อินเวอร์เตอร์ โดยอธิบายได้คือเพาเวอร์มอสเฟต M1 และ M2 จะสลับการทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งของคาบเวลา T ขณะที่ M1 นำกระแสจะมีกระแสไฟโพรมารี (IP1) ไหลผ่านขดไฟโพรมารี (NP1) เนื่องจากมีสัญญาณมาขับเคลื่อนและในจังหวะนี้จะไม่สัญญาณขับเคลื่อนที่เกตของ M2 ดังนั้น M2 จะไม่ทำงานแรงดันที่ควมเตรน-ซอร์ส (VDS) จะมีค่าเป็น  $2V_{in}$  ซึ่งเป็นผลรวมของแรงดันของขด NP1 และ NP2 รวมกัน เนื่องจากถูกเหนี่ยวนำเกิดขึ้นมีทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจากเหตุผลนี้ทั้ง M1 และ M2 จะต้องสามารถทนแรงดันได้อย่างต่ำได้เป็น 2 เท่าของแรงดันอินพุต โดยในสภาวะขณะนี้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในครึ่งคาบเหนี่ยวนำแรงดันขึ้นสมมติมีทิศทางตามจุดดอท ในเวลาต่อมาสัญญาณขับเคลื่อนจะขับเคลื่อนที่ M2 แทน

และ M1 สัญญาณขับจะเป็นศูนย์ ซึ่งจะมีความถี่ของสัญญาณเท่ากันแต่มีความต่างเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า กระแสไฟโรมารี (IP2) จะไหลผ่านเกตไฟโรมารี (NP2) ไหลครบวงจรโดยผ่าน M2 ซึ่งหม้อแปลงก็จะเหนี่ยวนำแรงดันขึ้นโดยมีทิศทางคอตจะอยู่ด้านล่างซึ่งแรงดันที่ปรากฏที่ด้านทุติยภูมิจะมีลักษณะเป็นกระแสสลับ โดยเกิดจากการสลับการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์นั่นเอง สำหรับสัญญาณขับจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) กลับเฟสกัน และทำการขับเพียงครึ่งคาบเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วหากสัญญาณขับพร้อมกันหรือมีการทำงานที่ต่างกันบางประการ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์มีการทำงานผิดพลาดขึ้น ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยจึงต้องมีเวลาเพื่อสำหรับการสวิตซ์ของอุปกรณ์ด้วย ซึ่งจะแสดงได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 2.2 แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์เนื่องจากประจุสะสม

โดยจะขออธิบายโดยการพิจารณา ซึ่งจะเป็นเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แทน ซึ่งจะมีหลัก การในการพิจารณาแบบเดียวกัน กล่าวคือการกำหนดค่าเวลาเมื่อ ( $t_D$ ; dead time) ไว้ เพื่อไม่ให้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีช่วงการนำกระแสมากเกินไป เมื่อสัญญาณขับมีความกว้างพัลส์ใกล้ 180 องศา ไฟฟ้า ซึ่งจะมีเหตุผลสองประการคือ

1. ถ้าไม่มีการจำกัดช่วงเวลานำกระแสเอาไว้ เมื่อเกิดกรณีโหลดดึงกระแสมากขึ้น วงจร ควบคุมจะสั่งงานให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าช่วงเวลานำกระแสเพิ่มขึ้น ทำให้ช่วงเวลานำกระแส ของอีกตัวหนึ่งลดลง และเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ (Flux imbalance) ขึ้นในแกนเหล็กของหม้อ แปลง ซึ่งจะทำให้แกนอิ่มตัวอย่างรวดเร็วและอุปกรณ์สวิตซิ่งเกิดพังเสียหายขึ้นได้ โดยสาเหตุที่ สำคัญที่ทำให้เกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ของแกนเหล็กนั้น เนื่องมาจากการมีช่วงเวลาก่อนหยุดนำ กระแส (turn off time) ไม่เท่ากันอย่างแท้จริงเนื่องจากข้อจำกัดในการผลิต ถ้าหากว่าอุปกรณ์ตัวใด ใช้ในการหยุดนำกระแสมากกว่า จะทำให้ค่ากระแสสูงสุดของมันในช่วงที่นำกระแสมีค่ามากกว่า ของอีกตัวหนึ่ง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ได้ฟลักซ์ที่เรียกว่า “Flux walking” เกิดขึ้น โดยค่าฟลักซ์สูง สุดจะวิ่งเข้าหาจุดอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว ถ้าแกนเกิดการอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็กก็จะเป็นอันตรายต่อ ตัวเพาเวอร์มอสเฟตได้

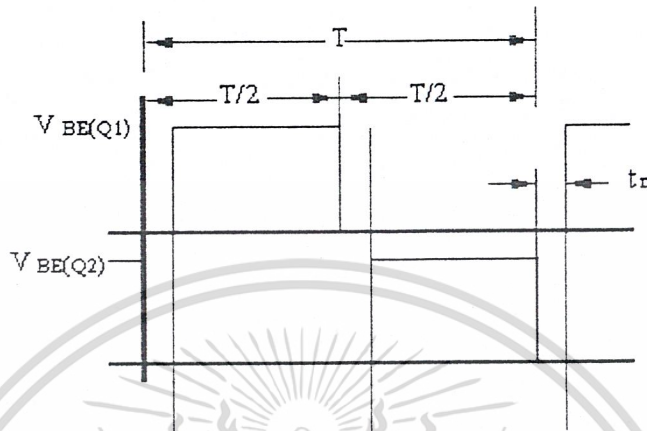
2. ถึงแม้จะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งงานให้ทำงานที่ครึ่งหนึ่งของคาบแล้วก็ตาม ก็ยัง ไม่มีการปลดลอคภัยเพียงพอเพราะการตอบสนองของอุปกรณ์อาจเป็นไปได้ช้า เนื่องจากเกิดประจุ สะสมขึ้นในขณะนำกระแส เมื่อหยุดจ่ายสัญญาณขับให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เวลา  $t-T/2$  ประจุสะสมจะทำให้นำกระแสต่อไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ในขณะที่อีกตัวหนึ่งเริ่มรับสัญญาณ ขับที่เวลา  $t-T/2$  เช่นเดียวกัน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเกิดนำกระแสพร้อมกัน ในกรณี นี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะเท่ากับค่าแรงดันของอินพุท และทำให้เกิดการพังเสียหายอย่างรวดเร็ว

การกำหนดค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  สำหรับช่วงเวลานำกระแสให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ดังรูปที่ 2.3 จะช่วยป้องกันปัญหาที่กล่าวมาแล้วได้ ค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ ประมาณ 20% ของครึ่งคาบเวลา ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จึงไม่ควรมีค่าเกิน

$$\begin{aligned} t_{ON}(\max) &= 0.8 (T/2) \\ &= 0.4 T \end{aligned} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะแสดงได้ดังรูป

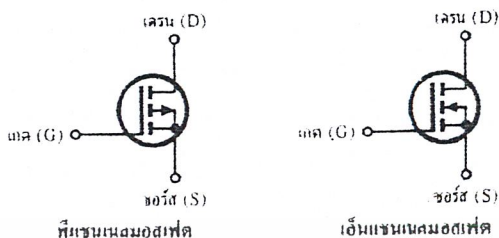


รูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดค่าเพื่อ  $t_D$  ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

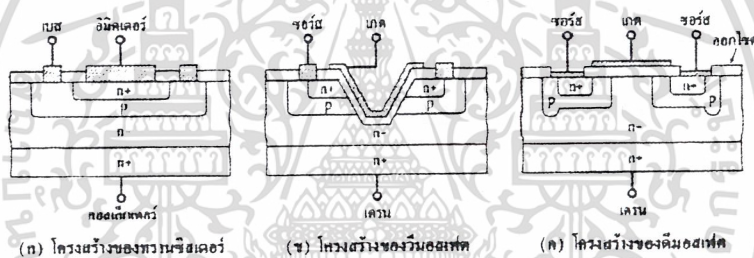
## 2.2 มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet)

มอสเฟต (MOSFET) เป็นเฟตอีกแบบหนึ่งที่กำลังนิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุด มอสเฟตมีชื่อย่อว่า เมทัลออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์เฟต (metal oxide semiconductor fet) มีอยู่ด้วยกันสองแบบคือแบบดีพลีชันไทป์มอสเฟต (depletion type MOSFET) และเอ็นแฮนซ์เมนต์ไทป์ มอสเฟต (enhancement type MOSFET) ซึ่งปัจจุบันมีใช้กันมากที่สุดเพราะสามารถทำลงบนแผ่นซิลิกอนเล็ก ๆ ในรูปแบบของไอซี (IC) ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าเดิมและกินเนื้อที่บนแผ่นซิลิกอนเล็กกว่า มอสเฟตมีสัญลักษณ์ที่ใช้งานทั่วไปดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์ของมอสเฟตที่ใช้งานทั่วไป



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเปรียบเทียบระหว่าง

- (ก) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
- (ข) เพาเวอร์วีเอ็มอสเฟต
- (ค) ดีมอสเฟต

ปัจจุบันจะพบมอสเฟตในงานทั้งดิเนียร์และงานดิจิตอล ตัวอย่างเช่นพวกซีมอส ดีมอส พีมอส และมอสเฟตแบบอื่นอีกมากมาย สำหรับในรูปที่ 2.5 จะเป็นการเปรียบเทียบให้ดูถึงโครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์ วีเอ็มอสเฟตและดีมอสเฟต โดยโครงสร้างจะเป็นโครงสร้างจริงที่ใช้ผลิตเป็นจำนวนมาก ๆ หรือที่เรียกว่าเป็นแบบแพนนาร์ คือแผ่นซิลิกอนกว้างกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และแบ่งเป็นช่วง ๆ โดยขบวนการผลิตแบบไอซีนั่นเอง แล้วจึงตัดเอาช่วงเล็ก ๆ ขนาด 2 มิล x 2 มิล มาติดตัวถังเป็นมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณลักษณะของเพาเวอร์มอสเฟต

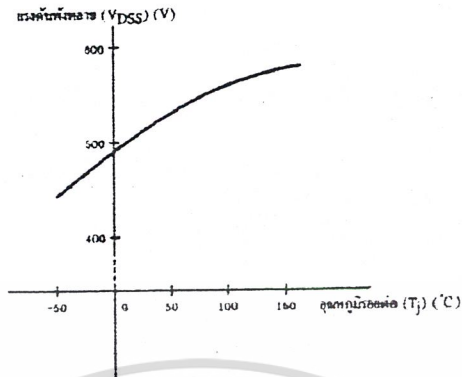
เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้มากใน วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย การควบคุมมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์หรือวงจรถยายเสียง เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ

- กำลังงานสูญเสียขณะสวิตซ์ต่ำ
- ไม่มีช่วงแรงดันพังทลายที่ 2
- มีอัตราการขยายสูงและวงจรถ่ายสร้างได้ง่าย ราคาถูก
- มีความทนทานและเสถียรภาพทางอุณหภูมิดี
- มีความจุหรือรับกระแสได้สูง
- สามารถนำมาต่อขานานได้ง่ายเนื่องจากสัมประสิทธิ์ความต้านทานเป็นบวก
- ใช้ในวงจรความถี่สูงได้ดี

แต่ข้อเสียของเพาเวอร์มอสเฟตก็มีเช่นเดียวกันคือ แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสมีค่า มากประมาณ 4.5 โวลต์ ซึ่งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีเพียง 1 โวลต์(อัตรา 400 โวลต์ 10 แอมป์)

### คุณลักษณะของเพาเวอร์มอสเฟต

แรงดันทั้งทลาย( $V_{DS}$ ) แรงดันค่านี้เป็นค่าแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สซึ่งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.6 โดยที่อุณหภูมิค่า ๆ ค่าแรงดันพังทลายของ เพาเวอร์มอส เฟตจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเมื่อป้อนแรงดันให้ระหว่างเดรนกับซอร์สโดยเปิดขาเกตไว้ดัง เช่นวงจรถัดไปในรูปที่ 2.7(ก) แรงดันตกคร่อมระหว่างเกตและซอร์สจะถูกสร้างขึ้นเนื่องมาจากค่า ความจุภายในมอสเฟตทำให้มอสเฟตนำกระแสเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ จึงเป็นอันตรายต่อมอสเฟต ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ควรใส่ค่าความต้านทานหลายสิบบิโลห์มไว้ระหว่างขาเกตและซอร์ส ดังรูปที่ 2.7(ข)



รูปที่ 2.6 แรงดันพังทลายที่ตรงกับขอร์สต่ออุณหภูมิรอยต่อ

ค่าความต้านทานขณะนำกระแส ( $R_{DS(on)}$ ) เพาเวอร์มอสเฟตในขณะที่น่ากระแสอย่างสมบูรณ์ แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างเดรนกับซอร์สจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน เนื่องจากค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์ส ซึ่งมีลักษณะเดียวกับโอห์มมิกรีซิแตนซ์ (Ohmic Resistance) หรือ ความต้านทานไฟกระแสตรงทั่ว ๆ ไป โดยหาได้จากกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสจากสูตร

$$P_{cond} = I_{DM}^2 \cdot R_{DS(on)} \quad (2.2)$$

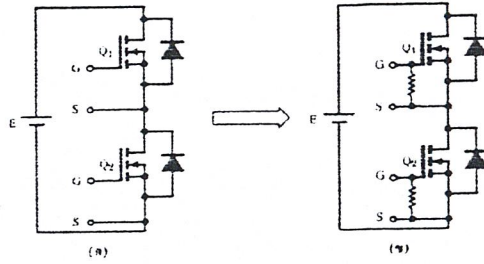
ค่า  $R_{DS(on)}$  จะเพิ่มตามอุณหภูมิที่รอยต่อโดยมีลักษณะกราฟดังรูปที่ 2.8 และอาจจะเขียนความสัมพันธ์ของค่า  $R_{DS(on)}$  ที่อุณหภูมิ 25 องศา กับอุณหภูมิใดๆ ได้ดังสมการ

$$\frac{R_{DS(on)}(T_J)}{R_{DS(on)}(25^\circ \text{C})} = \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right)^{T_J - 25^\circ \text{C}} \quad (2.3)$$

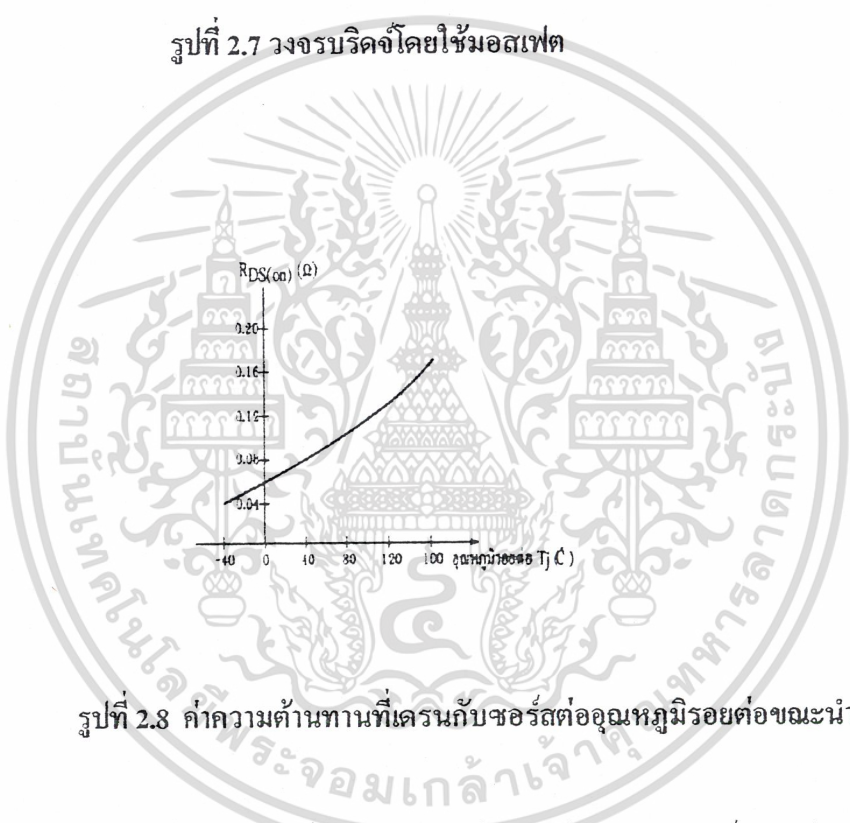
โดยที่  $\alpha = 0.6 - 0.9$

$T_J$  = อุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรบริดจ์โดยใช้มอสเฟต

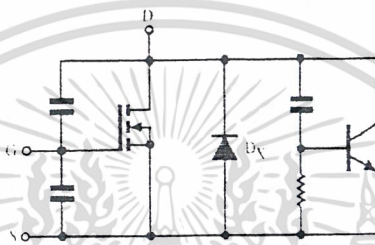


รูปที่ 2.8 ค่าความต้านทานที่ทรานซิสเตอร์ต่ออุณหภูมิรอยต่อของหน้ากระแส

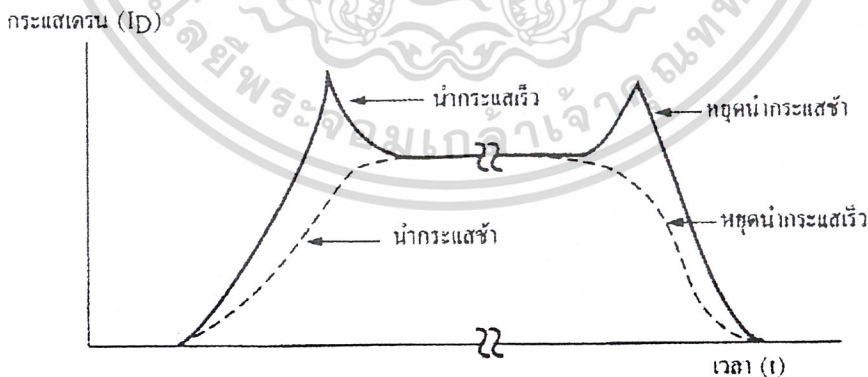
วงจรสมมูลย์ของเพาเวอร์มอสเฟต จากโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตสามารถสร้างเป็นวงจรสมมูลย์ซึ่งประกอบไปด้วยไดโอด ( $D_x$ ), ค่าความจุ, ค่าความต้านทาน และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ( $Q_x$ ) ดังในรูปที่ 2.9 การพิจารณาวงจรสมมูลย์นี้มีความสำคัญมากในการใช้งาน PWM เพราะในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแสค่าแรงดันระหว่างทรานซิสเตอร์กับไดโอดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ( $\frac{dv}{dt}$  มีค่าสูง) กระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านค่าความจุที่ต่ออยู่ระหว่างคอลเล็กเตอร์และเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_x$  ค่ากระแสนี้ ( $i_c = c \frac{dv}{dt}$ ) จะทำให้เกิดแรงดันที่ความต้านทานขาเบสและ

อิมิตเตอร์ของ  $Q_x$  ซึ่งแรงดันนี้อาจเกิดการลัดวงจรขึ้นได้  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขานานเพาเวอร์มอสเฟต เนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ  $R_{ds(on)}$  มีค่าเป็นบวก ดังนั้นปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตที่ต่อขานานกัน จึงมีปริมาณใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิเดียวกัน นั่นคือ ควรติดตั้งไว้บนแผ่นระบายความร้อนอันเดียวกันหรือในบริเวณใกล้เคียงกันและอาจต่อค่าความต้านทานอนุกรมกับขาเกต เพื่อให้เกิดความต้านทานของเวลาที่ใช้ในการ ON และ OFF น้อยที่สุดโดยช่วงเวลาที่ใช้ในการ ON และ OFF ของเพาเวอร์มอสเฟตนี้ แสดงให้เห็นในรูปของกระแสเดรน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลย์ของเพาเวอร์มอสเฟต



รูปที่ 2.10 กระแสเดรนในเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสและหยุดนำกระแส

การทำงานที่ความเร็วสูง ถึงแม้ว่าเพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานด้วยแรงดันเกตเพียงเล็กน้อย แต่ก็ต้องเพียงพอในการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุที่แฝงอยู่ภายในไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบสแรงเหนื่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเกต ดังรูปที่ 2.11 ดังนั้นการทำงานที่ความเร็วสูง ตัวเก็บประจุที่อินพุตจะต้องทำการเก็บประจุอย่างรวดเร็ว จึงควรใช้แหล่งจ่ายสัญญาณที่มีค่าความต้านทานต่ำ ๆ จึงสรุปได้ว่าวงจรขับกระแสเกตจะมีผลต่อความเร็วในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตส่วนอุณหภูมินั้นจะมีผลกระทบต่อความเร็วไม่มากเท่าใดนัก

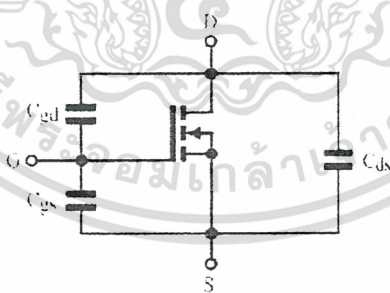
ในรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเกตกับซอร์ส และเดรนกับซอร์ส ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงระหว่างเกตกับซอร์สจะเก็บประจุขณะเพาเวอร์มอสเฟต เริ่มนำกระแสจนมีแรงดันเทรตไฮสโตประมาณ 3 โวลต์ ในช่วงเวลานี้ เรียกว่า ช่วงเวลาหน่วงการนำกระแสซึ่งขึ้นอยู่กับค่า  $C_{GS}(R_{dr} + R_g)$

เมื่อ  $R_{dr}$  คือค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรขับกระแสเกต ส่วน  $R_g$  คือค่าความต้านทานขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต

ในช่วงเวลา  $t_1$  ถึง  $t_2$  ค่าความจุทางด้านอินพุตจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลของมิลเลอร์ คือ

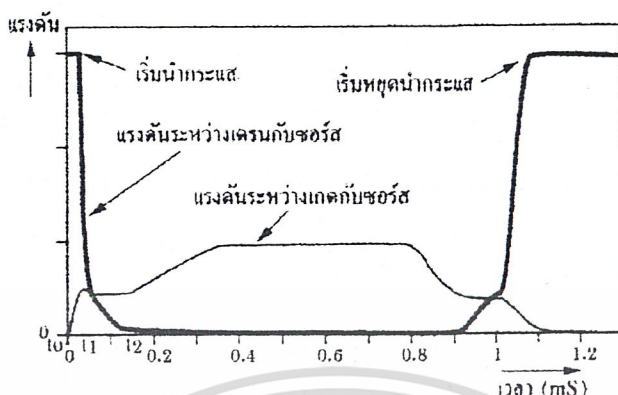
$$C_{ISS} = C_{GS} + (1 + A_V)C_{GD} \quad (2.4)$$

ดังนั้นควรป้อนกระแสเกตที่มีค่าพีคสูงๆจากแหล่งจ่ายอิมพีแดนซ์ต่ำ



รูปที่ 2.11 ตัวเก็บประจุแฝงภายในมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะการนำกระแสและหยุดนำกระแส

### ช่วงการทำงานที่ปลอดภัย

ช่วงการทำงานที่ปลอดภัย หรือ SOAR (Safety Operating Area) ของเพาเวอร์มอสเฟตจะต่างจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์คือไม่มีแรงดันพังทลายที่ 2 (Second breakdown) ดังนั้น SOAR ของเพาเวอร์มอสเฟตนี้จะแสดงช่วงของอัตราณหากำลังที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ เป็นหลัก ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปบ้างตามอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ โดยปกติจะไม่เกิน 150 องศาเซลเซียสถึง 175 องศาเซลเซียส ดังนั้นรูปร่างของตัวถังและการระบายความร้อนที่ดียิ่งจะช่วยให้ SOAR ดีขึ้น

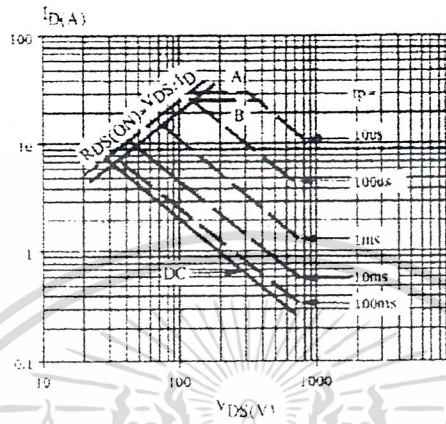
ในรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นตัวอย่างกราฟ SOAR ของเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราณหำลังจะแปรเปลี่ยนไปตามขนาดความกว้างของพัลส์อินพุตปกติแล้วกราฟ SOAR ที่คู่มือหรือบริษัทให้มานั้น มักจะเป็นกราฟในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตมีอุณหภูมิบริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงสุด แต่ในการใช้งานเราจะไม่กำหนดได้ เพาเวอร์มอสเฟตทำงานจนกระทั่งอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงสุด เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ซึ่งสามารถเลี่ยงได้โดยกำหนดกำลังสูงสุดที่ต้องทำงานได้กับเพาเวอร์มอสเฟตก่อนตามสมการดังนี้

$$P_{\max} = \frac{(T_j - T_m)}{Z_m} \quad (2.5)$$

$T_j$  คืออุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำ (กำหนดให้น้อยกว่าค่า  $T_j$  สูงสุดในกราฟ)

เอกสาร  $T_m$  คืออุณหภูมิขณะทำงานที่บริเวณตัวถัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่  $Z_m$  คือสัมประสิทธิ์การระบายความร้อนของตัวนำ (ทราบได้จากกราฟในคู่มือ) ภาครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติค่า  $Z_m$  ขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวถังและยิ่งถ้าระบายความร้อนที่ดียิ่งจะช่วยลดค่า  $T_m$  ลงยอม ทำให้มีอัตราทนกำลังเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 ลักษณะกราฟ SOAR

นอกจากนั้นขนาดกระแสและแรงดันของพัลส์อินพุตก็มีอิทธิพลต่อช่วง SOAR เช่นกันซึ่งขนาดกระแสมากเกินไปจะทำให้้อัตรการทนกำลังลดลง ส่วนพัลส์ทรานเซียนต์จะทำให้เกิดแรงดันพังทลายขึ้น

**กำลังสูญเสีย**

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเพาเวอร์มอสเฟต มีมาจากสาเหตุหลักต่าง ๆ กันดังนี้

กำลังสูญเสียขณะนำกระแส เกิดขึ้นจากค่าความต้านทานของเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสนั้นเอง ซึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิบริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำซึ่งหาได้จาก

$$P_c = I_{(on)}^2 \cdot R_{DS(on)} \tag{2.6}$$

กำลังสูญเสียขณะสวิตช์ ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านอยู่ในขณะที่มีแรงดันตกคร่อมจึงเป็นเหตุให้เกิดกำลังงานสูญเสียขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานที่ความถี่สูง ๆ และปกติแล้วช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสจะนานกว่าช่วงเริ่มนำกระแสมาก ดังนั้นกำลังสูญเสียในขณะสวิตช์จึงเกิดขึ้นในช่วงหยุดนำกระแสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเราอาจลดทอนกำลังสูญเสียนี้ได้ โดยการใส่วงจร snubber ระหว่างขาเดรนกับซอร์ส เพื่อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน  $V_{DS}$  และ  $dv_{DS}$  ขณะที่หยุดนำกระแสให้เหมาะสม

กำลังสูญเสียจากไดโอดแฝง เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านไดโอดในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแส ซึ่งจะพบในวงจรที่มีโหลดอินดักแตนซ์รวมอยู่ เช่น มอเตอร์

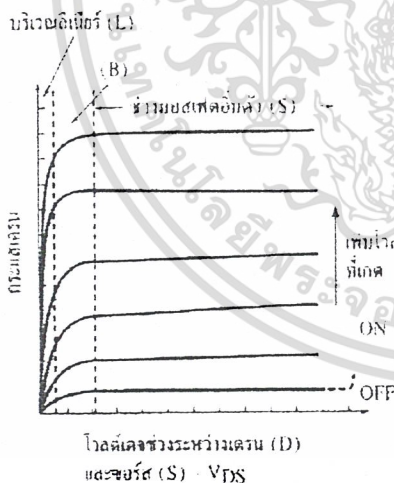
กำลังสูญเสียในภาคเกตอินพุต กำลังสูญเสียในส่วนนี้จะมีค่าน้อยที่สุดเพราะว่าขนาดของแรงดันและกระแสมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับเอาต์พุต โดยส่วนใหญ่แล้วกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนนี้เกิดจากค่าความต้านทานของขาเกตและวงจรขับกระแสเกตนั่นเอง

**เปรียบเทียบทรานซิสเตอร์กับมอสเฟต**

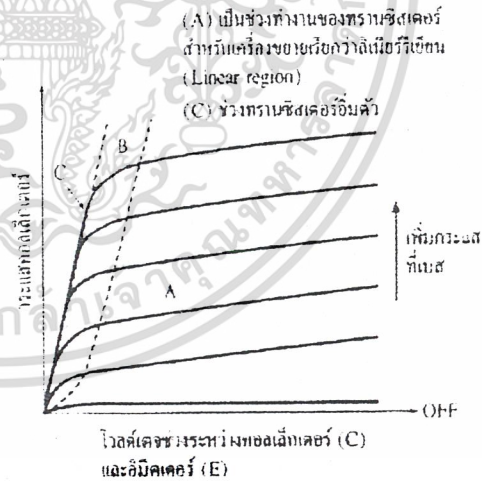
กราฟแสดงคุณสมบัติของมอสเฟตและทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.14 บอกข้อมูลมากที่สุด สำหรับคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างมอสเฟตและทรานซิสเตอร์

ข้อที่ 1 จะบอกความแตกต่างระหว่างการควบคุมกระแสที่นำไปใช้งานหรือที่เรียกว่ากระแสเอาต์พุต โดยมอสเฟตจะใช้โวลต์ที่เกิดควบคุมกระแสเอาต์พุตส่วนทรานซิสเตอร์จะใช้กระแสที่เบสควบคุมกระแสคอลเล็กเตอร์

ข้อที่ 2 ช่วงลิเนียร์รีเยียน (L) ของมอสเฟตจะอยู่ติดกับแกน Y และชันมากแสดงว่าอัตราส่วนของกระแสเดรน ( $I_D$ ) กับโวลต์เตจที่เดรนและซอร์ส ( $V_{DS}$ ) มีค่าสูงมากและอัตราการขยายทางกระแสของมอสเฟตมีค่าสูงมากเป็น 109 เท่า ทั้งนี้เพราะกระแส  $I_G$  เกือบเท่ากับศูนย์และกระแส  $I_{DS}$  สูงมากนั่นเอง



(ก) กราฟแสดงคุณสมบัติของมอสเฟต



(ข) กราฟแสดงคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

รูปที่ 2.14 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบจากกราฟระหว่างมอสเฟตและทรานซิสเตอร์

คำว่าช่วงลิเนียร์แปลว่าการทำงานของอุปกรณ์นั้นช่วงลิเนียร์ของทรานซิสเตอร์จะอยู่ตรงบริเวณ A การเพิ่มกระแสที่เบสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_C$ ) ซึ่งมีการรบกวนไม่มากนักเมื่อเทียบกับของมอสเฟต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

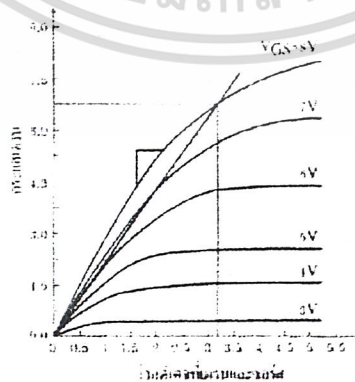
ข้อที่ 3 ช่วงอิมิตัวของทรานซิสเตอร์อยู่ตรงจุด C ช่วงนี้หมายความว่า การเพิ่มกระแสที่เบสไม่มีผลต่อการควบคุมกระแสคอลเล็กเตอร์หรือที่เรียกว่าฟูลลีออน (fully on) จะใช้ในงานดิจิตอลส่วนช่วงอิมิตัวหรือช่วงการทำงานเต็มที่ของมอสเฟตนั้นจะอยู่บริเวณ (S) เป็นบริเวณที่มอสเฟตจะมีกระแสไหลตลอดเวลาและโวลต์เตจที่เกิดสามารถควบคุมกระแสที่เดรนให้มากขึ้นตามต้องการและกระแส  $I_D$  จะคงที่มากต่อค่าโวลต์ที่เกิดและบริเวณนี้จะเป็นบริเวณใช้งานของมอสเฟต

ข้อที่ 4 ช่วงหยุดทำงานมอสเฟตและทรานซิสเตอร์อยู่ที่เดียวกันคืออยู่ตรงติดกับแกน X โดยของมอสเฟต  $V_{GS}$  จะมีค่าเป็นลบมากหรือ  $V_{GS}$  เป็นศูนย์ส่วนของทรานซิสเตอร์นั้นเป็นช่วงที่  $V_{BE}$  เป็นลบต่ำกว่า  $-100\text{ mV}$  หรืออยู่ในบริเวณต่ำกว่ากราฟรูปที่ 2.14 (ข) สำหรับ (NPN) TRANSISTOR

ข้อที่ 5 ในงานดิจิตอลจะมีจุดทำงานสองจุดเท่านั้นคือจุดทำงาน (On) กับจุดไม่ทำงาน (off) บริเวณจุดทำงานและไม่ทำงานมอสเฟตอยู่ติดกันนั้นหมายถึงทันทีที่ให้ศักย์ไฟที่เกิดมีโวลต์สูงเกินค่าหนึ่งๆเท่านั้นมอสเฟตจะทำงานทันทีส่วนของทรานซิสเตอร์นั้นกว่าจะให้ทำงานได้จะต้องให้กระแสที่เบสสูงมากเพื่อจะให้มันกำลังขับให้ทรานซิสเตอร์เริ่มเปลี่ยนบริเวณจากจุดทำงานผ่าน A และ B แล้วจึงเข้าสู่บริเวณจุดทำงานคือบริเวณ C

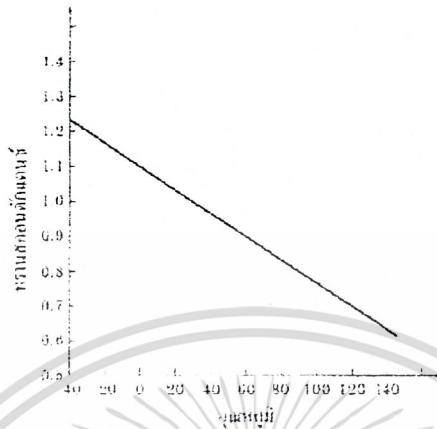
ดังนั้นความเร็วของการทำงานในงานดิจิตอลมอสเฟตจึงทำงานได้ไวกว่าทรานซิสเตอร์มากมายหลายเท่า

ค่าทรานสคอนดักแตนซ์ (Trans-conductance) จัดเป็นค่าสำคัญค่าหนึ่งมีชื่อย่อว่า  $g_{fs}$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเดรนและโวลต์เตจที่เกิดและ



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงค่าทรานสคอนดักแตนซ์เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ยืดบริเวณลิเนียร์ (L) ของมอสเฟตเพื่อหาความต้านทาน ( $r_{DS}$ )

ซอร์ส ( $V_{GS}$ ) ในช่วงมอสเฟตอิมิตัว (s) ในรูปที่ 2.14 ซึ่งถ้าจะเทียบได้กับอัตราการขยายทางกระแสของทรานซิสเตอร์  $h_{fe}$  แต่  $g_{fs}$  มีหน่วยเป็นโม(mho)ซึ่ง  $h_{fe}$  มีหน่วยเป็นเท่ารูปที่ 2.15 เป็นกราฟแสดงถึงค่าทรานสคอนดักแตนซ์ว่ามีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งจะตรงกันข้ามกับทรานซิสเตอร์และเป็นข้อดีของมอสเฟตนั่นเอง

รูปที่ 2.15 เป็นการยืดบริเวณลิเนียร์ (L) ของมอสเฟต โดยบริเวณลิเนียร์ของมอสเฟตจะอยู่ที่บริเวณ  $V_{DS}$  ไม่เกิน 3.5 โวลต์ เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงมอสเฟตแต่ละตัวที่จะเปลี่ยนสภาพจากความต้านทานสูงเป็นสภาพนำ ซึ่งเรียกค่านี้ว่า  $r_{DS}$  ออน และค่านี้จะบอกในคู่มือของมอสเฟต โดยค่า  $r_{DS}$  ออนจะเป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของโวลท์ที่เดรน และกระแสเดรนดังสมการ

$$r_{DS} = V_{DS} / I_{DS} \tag{2.7}$$

ณ. ค่าโวลท์ที่เกตคงที่ (ในรูป  $V_{GS} = 8$  โวลต์)

รูปที่ 2.16 เป็นคุณสมบัติที่ดื้อของมอสเฟตเมื่อเทียบกับทรานซิสเตอร์ กล่าวคือ ทรานซิสเตอร์จะมีปัญหาเกี่ยวกับความร้อนมาก เพราะเมื่อความร้อนเพิ่มจะเกิดกระแสลัด  $I_{CBO}$  และจะเพิ่มหรือสะสมและเพิ่มขึ้นอย่างหนักแล้วเป็นทาบวี่ ส่วนมอสเฟตนั้นไม่มีปัญหาเลยทั้งนี้ เพราะยิ่งอุณหภูมิเพิ่มค่า  $g_{fs}$  หรือทรานสคอนดักแตนซ์จะลดลง เป็นคล้ายการช่วยแก้อุณหภูมิได้ในตัว เมื่อเป็นแบบนี้คงพิจารณาว่ามอสเฟตดีกว่าทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท... ไม่สามารถเปิดเผย... แจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณขับ (Drive Signal)

เนื่องจากการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการขับ ให้กับมอเตอร์จะใช้วงจรหน่วงเวลา โดยที่วงจรหน่วงเวลาที่ใช้ในโครงงานนี้สามารถที่จะเปลี่ยนเวลาในการหน่วงได้ตามสถานะของแรงดันเอาต์พุตของโหนด ซึ่งเราสามารถที่จะอธิบายทฤษฎีของวงจรหน่วงเวลาได้ดังนี้

โปรแกรมหน่วงเวลาแบบ 2 LOOP ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้โปรแกรมแบบนี้เป็นพื้นฐานในการออกแบบซึ่งมีรูปแบบดังนี้

MACHINE CYCLE

DELAY : MOV R1,#X1	(1)
DEL2 : MOV R0,#X2	(1)
DEL1 : DJNZ R0,DEL1	(2)
DJNZ R1,DEL2	(2)
RET	(2)

จากโปรแกรมเราสามารถที่จะเขียนสูตรในการคำนวณ จำนวน Machine Cycle ได้ดังนี้

$$\text{จำนวน Machine Cycle} = 3 + R1 \{ 3 + R0(2) \} \quad \mu s \quad (2.8)$$

สูตรนี้จะใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้สัญญาณ Clock = 12 MHz

ดังนั้นเราสามารถที่จะนำสูตรนี้ ไปใช้ได้เลย เมื่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานที่ความเร็ว 12 MHz แต่ถ้าใช้งานที่ความถี่ 11.059 MHz เราจะใช้สูตรดังข้างล่าง

$$\text{จำนวน Machine Cycle} = [ 3 + R1 \{ 3 + R0(2) \} ] \times 1.085 \quad \mu s \quad (2.9)$$

ซึ่งในโครงงานนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้สัญญาณ Clock ที่ 11.059 MHz ดังนั้นเราจึงใช้สมการที่ 2.8 เป็นสมการคำนวณในโปรแกรมหน่วงเวลา ที่จะใช้สร้างพัลส์ไปขับให้กับ มอเตอร์

### บทที่ 3

#### เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ ( Battery Charger )

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่อัดประจุให้กับแบตเตอรี่โดยอุปกรณ์นี้จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับยูทีเอสระบบออฟ - ไลน์ ( Off - Line UPS ) ขณะระบบไฟฟ้าการไฟฟ้าสาธารณะปกติเครื่องอัดประจุจะทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่เท่านั้นโดยไม่มีการจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์แต่เมื่อระบบไฟฟ้าผิดปกติขึ้นมันจะหยุดทำงานและแบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานให้กับอินเวอร์เตอร์แทน

#### 3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโรงงานนี้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดซึ่งจะขอกว่าชนิดและคุณสมบัติต่างๆโดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

##### 1. Non spill lead - acid Battery แบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่

1.1 Standard Battery แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมี self - discharge ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม จึงต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4 - 6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่า self - discharge ซึ่งแบตเตอรี่นี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

1.2 Permanent Battery แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลานานหลายๆเดือนโดยไม่ต้องมีการดูแลรักษาและสามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือนและมี self - discharge ต่ำเนื่องจากใช้ lead alloy ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้งานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบ Standard Battery

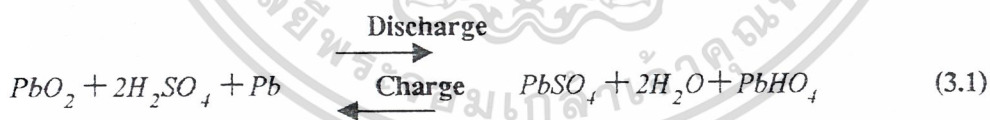
##### 2. Recombining sealed lead - acid battery

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับ overcharge กรดซัลฟิวริกที่เป็นอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซ  $H_2$  และ  $O_2$  ทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นจึงเป็นเหตุให้ต้องมีการเติมน้ำกลั่นมิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้การเติมน้ำกลั่นเป็นการจำกัดวงในการใช้งานแบตเตอรี่ฉะนั้นจึงมีการพัฒนาแบตเตอรี่ใช้งานโดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารนี้ เป็นเอกสาร 2.1 ชนิดนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆและไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับ overcharge เพื่อให้ ด้านการค้ำ  
ไม่ว่า แบตเตอรี่เต็มในกรณีที่อยู่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้น้ำไปใช้

ความดันสูงขึ้นซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันทีและวาล์วจะปิดอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลงด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อมแบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ซึ่งภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซอีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำและจ่ายกระแสได้สูงๆภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่ จะอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุสูงๆในตอนเริ่มต้น และในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นและต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่โดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆเพื่อไม่ให้เกิด over voltage และป้องกัน electrolyte loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีขนาดความจุเดียวกันสามารถต่อกันแบบอนุกรมหรือขนานก็ได้ ถ้าประจุแบตเตอรี่แบบอนุกรมจะใช้แรงดันสูงและกระแสเล็กน้อย ส่วนถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบขนานใช้แรงดันต่ำและกระแสสูงๆ แบตเตอรี่แบบนี้สามารถอัดประจุและจ่ายประจุที่อุณหภูมิได้ตั้งแต่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียสซึ่งดีกว่าแบบนิเกิล - แคดเมียม (Nikel - Cadmium)

2.2 แบตเตอรี่แบบ Fully Recombining โครงสร้างคล้ายกับแบบ Standard Cylindrical Ni - Cad เหมาะสำหรับใช้งาน Standby มีการรวมตัวของก๊าซ  $O_2$  ที่ดี ก๊าซที่เกิดขึ้นคือ  $H_2$  และ  $O_2$  จะรวมตัวกันเป็นน้ำ ทำให้ปริมาตรของอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและสภาพแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำอัตราการ discharge สูงการอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบ constant voltage , constant current , pulse charging และอื่นๆ ขบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี



### 3.2 พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

1. การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ โดยการอัดประจุจะปรับแต่งค่าแรงดันที่อัดประจุซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิโดยการตรวจจับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม
2. เวลาที่อัดประจุเสร็จ เวลาที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุเต็มขึ้นอยู่กับสภาวะการดิซชาร์จและลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย
3. อุณหภูมิในขณะการอัดประจุควรทำการอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0 - 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการอัดประจุมีประสิทธิภาพดีคือในช่วง 0 - 40 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้การอัดประจุได้ไม่มาก หรือร้อนเกินไป

4. การชาร์จประจุเกิน การอัดประจุเพิ่มขึ้นอีกหลังจากแบตเตอรี่อัดประจุเต็มแล้วเรียกว่า Overcharge ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง
- วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

### 1. การอัดประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ว่าไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิเหมือนกับการชาร์จแบบแรงดันคงที่ แต่มีข้อเสียคือต้องระวังเรื่องเวลาในการอัดประจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ซึ่งแบตเตอรี่จะเต็มภายในเวลาสั้นๆเท่านั้น การอัดประจุด้วยอัตราสูงมีผลทำให้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงเกินไป น่าจะเกิดการแตกตัวและมีความร้อนเกิดขึ้นการอัดประจุแบบนี้อาจใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอรี่ที่เก็บไว้นานแล้ว ซึ่งสามารถอัดประจุได้ทีเดียวหลายๆลูก

### 2. การอัดประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging)

โดยมีความต้องการให้แบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม Fully charge เสมอโดยต้องระวังเรื่องอัตราการอัดประจุสูงเกินไป ซึ่งการอัดประจุแบบนี้ทำให้แรงดันเอาท์พุทมีเสถียรภาพ พร้อมทั้งมีความจุกระแสสูง ซึ่งในช่วงที่แรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าความต้านทานของแบตเตอรี่มีค่าน้อยมากจะนั่นกระแสที่อัดประจุจึงมีค่าสูงมาก เป็นผลให้เครื่องอัดประจุต้องมีขนาดใหญ่และราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ ซึ่งปกติเครื่องอัดประจุแบบนี้จะมีอุปกรณ์ช่วยในการจำกัดกระแสเริ่มต้น โดยใช้ constant current regulation ซึ่งในช่วงสุดท้ายของการอัดประจุกระแสจะถูกลดลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการสลายตัว

### 3. การอัดประจุแบบลดค่ากระแส (Tapered Current Charging)

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อน ราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรกติไฟด์ และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับในการอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด ปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไฟฟ้าของระบบ ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย

แต่ก็สามารถลดผลอันนี้ได้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่ และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการจำกัดกระแส โดยที่การอัดประจุแบบนี้

สามารถใช้แทนการอัดแบบกระแสคงที่ได้ ไม่เพียงเฉพาะการอัดประจุแบตเตอรี่หลายลูกในครั้งเดียวเท่านั้นยังสามารถใช้ในระบบ trickle charge ได้อีกด้วย

#### 4. การอัดประจุแบบรวม (Combination Charging : Two step )

วิธีนี้บางที่เรียกว่า “ two - rate ” โดยเกิดจากการรวมตัวกัน 2 แบบคือ การอัดประจุแบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่ โดยในขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุเร็ว และขั้นที่สองจะอัดประจุด้วยกระแสต่ำๆ การสวิตซ์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่สองทำได้หลายวิธีเช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุหรือตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

### 3.4 การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดโดยทั่วไป

ในการอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีการจำกัดกระแสที่ใช้อัดประจุและแรงดันต้องพยายามให้คงที่มากที่สุด ปริมาณกระแสที่ใช้ในการอัดประจุโดยปกติจะจำกัดอยู่ที่ 0.2 C สำหรับ Lead - antimony battery และ 0.5 C สำหรับ Lead calcium battery เมื่อ C คือความจุแบตเตอรี่ ( หน่วย Ampere - hour : AH ) ถ้าหากการอัดประจุโดยใช้กระแสมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิภายใน แบตเตอรี่สูงและทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงและถ้าหากอัดประจุที่กระแสน้อยเกินไปจะทำให้มี Lead - sulfate เกาะหลงเหลืออยู่ในแผ่นเพลท ( plate ) ของแบตเตอรี่ซึ่งจะทำให้การจ่าย Ampere - hour ไม่ได้เท่าพิกัดของแบตเตอรี่และถ้าต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนาน แรงดันพีกทูพีก ( peak - to - peak ripple ) ซึ่งเป็นแรงดันเอาท์พุทของอุปกรณ์อัดประจุแบตเตอรี่ควรมีค่าไม่เกิน 0.5 % ของแรงดัน DC พึงระลึกเสมอว่าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ค่าพิกัดของแบตเตอรี่จะสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ยาวนานขึ้น

### 3.5 การประยุกต์ใช้งาน

ในการประยุกต์ใช้งานของ Sealed lead - acid Battery แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

#### 1. Cyclic Operation

การทำงานเป็นรอบๆต้องการเวลาในการอัดประจุขึ้น และต้องป้องกันการอัดประจุและดิสชาร์จเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่คือ การรักษาแรงดันเอาท์พุทไว้ที่ระดับสุดท้ายของการอัดประจุและจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด

ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสถานะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มิฉะนั้นการอัดประจุอาจสูงไปหรือต่ำไปในอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. standby / Backup Charging

ใช้งานในประเภทสำรองไว้ใช้ในยามต้องการ ปกติจะเก็บในสภาวะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจะจ่ายพลังงานไปให้ภาระเมื่อระบบผิดปกติซึ่งการทำงานแบบนี้แบ่งเป็น 2 โหมดคือ

### 2.1 Trickle Charge

โดยปกติระบบของการไฟฟ้า ฯ ทำการจ่ายพลังงานให้ภาระหรืออุปกรณ์ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่อกับภาระ ถ้าหากเกิดการผิดปกติขึ้นที่ระบบนั้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมเข้ากับภาระเพื่อจ่ายพลังงานโดยจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับ Self Discharge โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ที่กระแสดังกล่าวเพื่อให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะประจุเต็มตลอดเวลา ในกรณี Deep Discharge จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานานๆ ฉะนั้นวิธีอัดประจุแบบ Two - rate และแบบแรงดันคงที่ที่เหมาะสมมากในการอัดประจุ เนื่องจากมีโหมดการอัดประจุเริ่มต้นเร็วแต่แบบ Two - rate charger จะเหมาะสมกว่าเพราะไม่จำเป็นต้องชดเชยทางอุณหภูมิ

### 2.2 Float Charge

โดยในแบบนี้ทั้งภาระและแบตเตอรี่ต่อกันแบบขนานกับวงจรเรกติไฟล์ ระบบนี้จะใช้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีเสถียรภาพ การกระเพื่อมอย่างมากของแรงดันที่อัดประจุ มีผลให้แบตเตอรี่ดิสชาร์จเพียงเล็กน้อย ซึ่งการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ที่จะต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่ภาระมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงโดยตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แบบ Float จะสั้นกว่าการอัดประจุแบบ Trickle

## 3.6 คุณสมบัติที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด

โดยปกติแบตเตอรี่ชนิด Lead - Acid ที่ออกแบบให้ใช้ได้กับ UPS ต้องมีความจุสูงอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 80% ของช่วงเปิดวงจร แรงดันที่อัดประจุแบตเตอรี่จะเท่ากับ 2.1 เซลล์ และจะลดลงขณะแบตเตอรี่คายประจุ หรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันของแบตเตอรี่ และแรงดันที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์เทียบกับย่านการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ถ้าหากว่ากำลังเอาท์พุทเพิ่มขึ้นจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมกันจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันกระแสเกิน

สำหรับรูปกราฟแสดงการคายประจุ ( Discharge ) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดซึ่งเป็นการคายประจุที่ค่าความจุต่างๆของแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

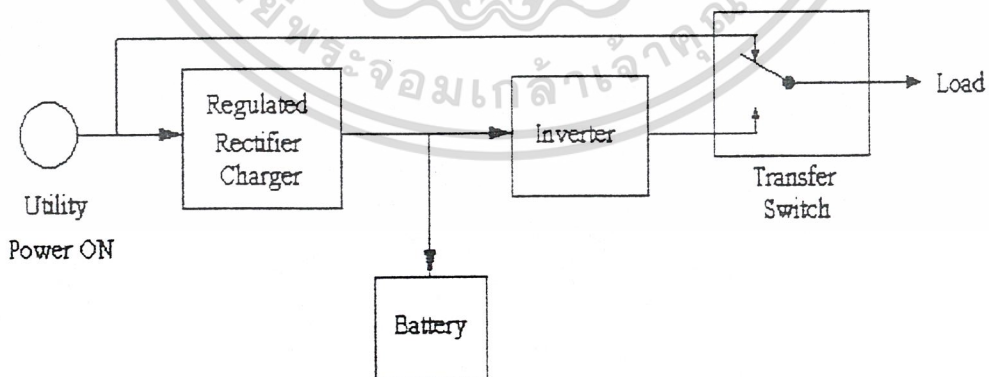
## บทที่ 4

### สวิตช์สับเปลี่ยน ( Transfer Switch )

สวิตช์สับเปลี่ยน ( Transfer Switch ) นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างมากที่เดียวในแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่องโดยจะทำงานในสองสถานะคือ

1. ในสถานะปกติ สวิตช์สับเปลี่ยนจะสับไปที่ระบบเพื่อรับกำลังไฟฟ้าจากระบบโดยรีเลย์จะถูกควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในสถานะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบแล้วว่าระบบมีสถานะปกติมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าพร้อมที่จะจ่ายให้กับภาระ ดังนั้นรีเลย์จึงถูกสับเข้ากับระบบเพื่อเป็นทางผ่านของพลังงานจากระบบไปสู่ภาระ

2. ในสถานะผิดปกติ สวิตช์สับเปลี่ยนจะไปที่อินเวอร์เตอร์เพื่อรับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ซึ่งในสถานะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบแล้วพบว่าระบบมีสถานะผิดปกติเนื่องมาจากสาเหตุ ระบบไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า ( Brownout ), แรงดันระบบมีค่าต่ำเกินไป ( Under Voltage ) ซึ่งในสถานะนี้จะไม่มีความพร้อมที่จะจ่ายให้กับภาระ ดังนั้นรีเลย์จึงถูกสับเข้ากับอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ภาระแทนระบบซึ่งจะแสดง Block Diagram ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 เงื่อนไขการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน

1. เมื่อมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ แต่แรงดันของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 195 – 245 Volt ซึ่งหากไม่มีการเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์แล้วอาจทำให้อินเวอร์เตอร์ได้รับความเสียหายได้ กล่าวคือถ้าแรงดันของระบบมีค่าไม่เท่ากับแรงดันของอินเวอร์เตอร์ในช่วงที่มีการสับเปลี่ยนจะทำให้มีกระแสทรานเซียนส์เกิดขึ้นดังนั้นเพื่อป้องกันในส่วนนี้จึงต้องมีการสับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์

2. แรงดันไฟฟ้าผิดปกติเนื่องจากไฟฟ้าดับ ( Brown out ) เป็นลักษณะเมื่อในสถานะปกติจะมีแรงดันไฟฟ้าจากระบบให้กับภาระแต่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นได้มีการขาดหายไปของแรงดันระบบ ทำให้ภาระไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากระบบ

3. แรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินของระบบ (Under Voltage and Over Voltage) คือสภาพที่แรงดันไฟฟ้าสลับมีค่าต่ำกว่าและสูงกว่า 10% ของแรงดันไฟฟ้าปกติหรือมีค่า 198 โวลท์และ 242 โวลท์ ตามลำดับจากค่าแรงดันปกติ 220 โวลท์ ซึ่งค่าแรงดันทั้งสองนั้นจะเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายกับภาระได้

4. กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินพิกัด ( Over current ) คือเมื่อขณะที่มีการเพิ่มภาระ UPS จะการจ่ายกระแสให้ภาระมากขึ้นจนอาจเกินพิกัดของ UPS โดยแบ่งลักษณะของการเกิดกระแสไฟฟ้าเกินได้ 3 ประเภท

4.1 กระแสลัดวงจร จะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรของเอาต์พุตค่าของกระแสที่ จะเป็นกระแสลัดวงจรคือมีค่ามากกว่า 200% ที่ค่าพิกัด

4.2 กระแสภาระเกิน เป็นค่าของกระแสที่มากกว่าพิกัดของ UPS แต่อย่างน้อยกว่ากระแสลัดวงจรซึ่งกระแสทั้งสองตัวนี้ได้มีการป้องกันไว้อีกส่วนคือฟิวส์ที่ต่อไว้ทางด้านเอาต์พุต

4.3 กระแสอินรัช (Inrush Current) เป็นลักษณะของกระแสที่มีค่าสูงในเวลาสั้นๆและเกิดขึ้นไม่ถี่ถี่ถี่ มักจะเกิดขึ้นในขณะที่เปิด - ปิดภาระ ซึ่งจะ มีค่าประมาณ 150% ของกระแสพิกัด แม้จะเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ ก็อาจ ทำอันตรายให้กับยูทีเอสได้ แต่ได้มีการป้องกันไว้อีกลักษณะคือ ใช้วารริส เตอร์ต่อคร่อมแหล่งจ่ายทางด้านอินพุต ซึ่งจะคอยจำกัดกระแสอินรัชนี้อยู่

แล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ลำดับการทำงานของสวิตช์ สับเปลี่ยน

ที่กล่าวมาทั้งหมดอาจกล่าวได้ว่า สวิตช์สับเปลี่ยนมีหน้าที่หลักคือเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ดีที่สุดให้กับภาระ ทั้งนี้อาจจะเป็นจากระบบหรืออินเวอร์เตอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับภาระ ทั้งยังป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับอินเวอร์เตอร์ด้วย ซึ่งในการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น ซึ่งในโครงการนี้จะมีการพิจารณาการออกแบบสวิตช์สับเปลี่ยนโดยจะแสดงให้เห็นเป็นลำดับในลักษณะโพลซาร์ท ดังนี้

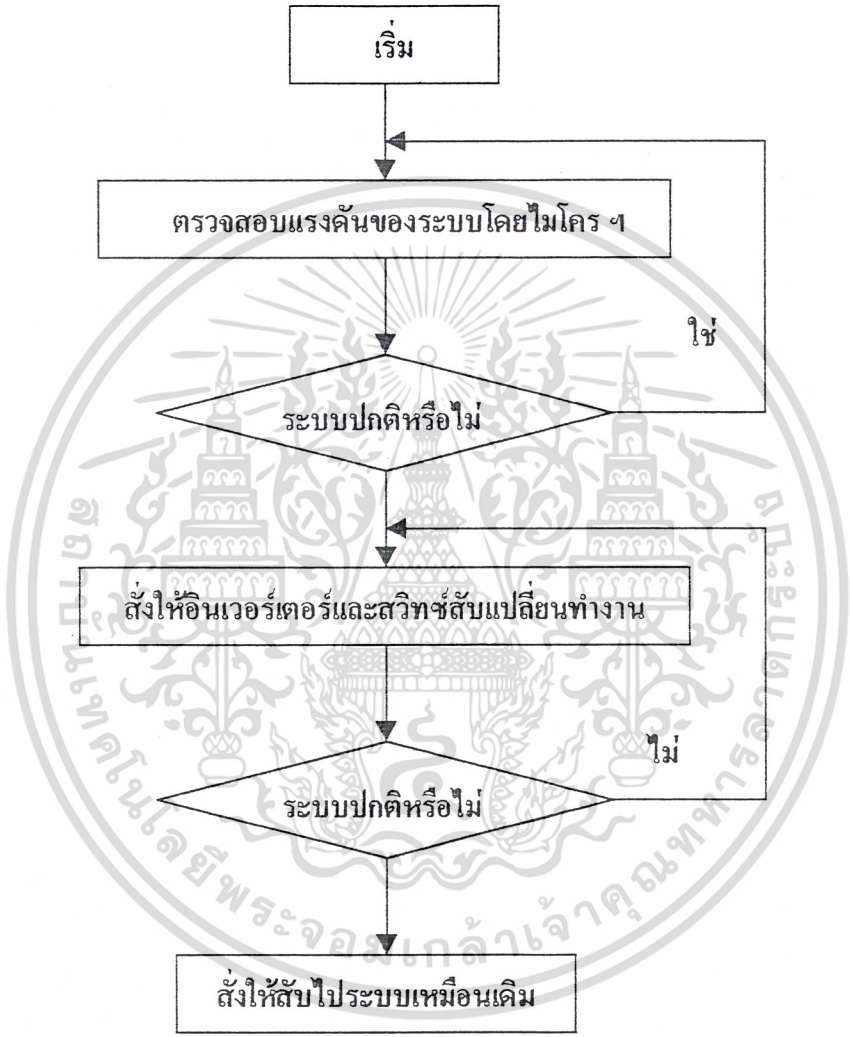
1. แรงดันไฟฟ้าผิดปกติ เนื่องจากไฟฟ้าดับ (Brownout)
2. แรงดันไฟฟ้าตกและแรงดันไฟฟ้าเกินของระบบและภาระ (Under Voltage and Over Voltage)
3. กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินพิกัด (Over Current)
4. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current)

จากทั้ง 4 กรณีจะขอกล่าวขบวนการทำงาน ดังนี้

### 1. เมื่อแรงดันระบบเกิดผิดปกติขึ้น (Brownout)

โดยแรงดันได้มีการขาดหายไปทันทีทันใด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบสถานะนี้ และเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าแรงดันอินพุตเป็นศูนย์ ไมโครฯจะเข้าสู่การทำงานในโหมดสถานะผิดปกติ โดยจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีความถี่ 50 Hz จำนวน 2 สัญญาณซึ่งมีความแตกต่างเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า ไปขับให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ในขณะเดียวกันก็ส่งสัญญาณทริกไปที่สวิตช์สับเปลี่ยนเพื่อให้เปลี่ยนสถานะการทำงานมาทำในสถานะผิดปกติ ดังนั้นในขณะนี้จะภาระจะได้รับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์แทน ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการวนรอบตรวจแรงดันของระบบตลอดเวลา ถ้าหากว่าระบบมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในสถานะปกติแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจสอบถ้าหากพบว่าอยู่ในสภาพปกติแล้วก็จะเข้าสู่การทำงานในโหมดสถานะปกติคือ ไม่ส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์และส่งสัญญาณอีกสถานะให้กับสวิตช์สับเปลี่ยนเพื่อให้ทำงานในโหมดสถานะปกติแต่ถ้าหากว่าแรงดันของระบบยังผิดปกติอยู่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำงานในโหมดผิดปกติต่อไปจนกว่าถึงเวลาที่กำหนดไว้

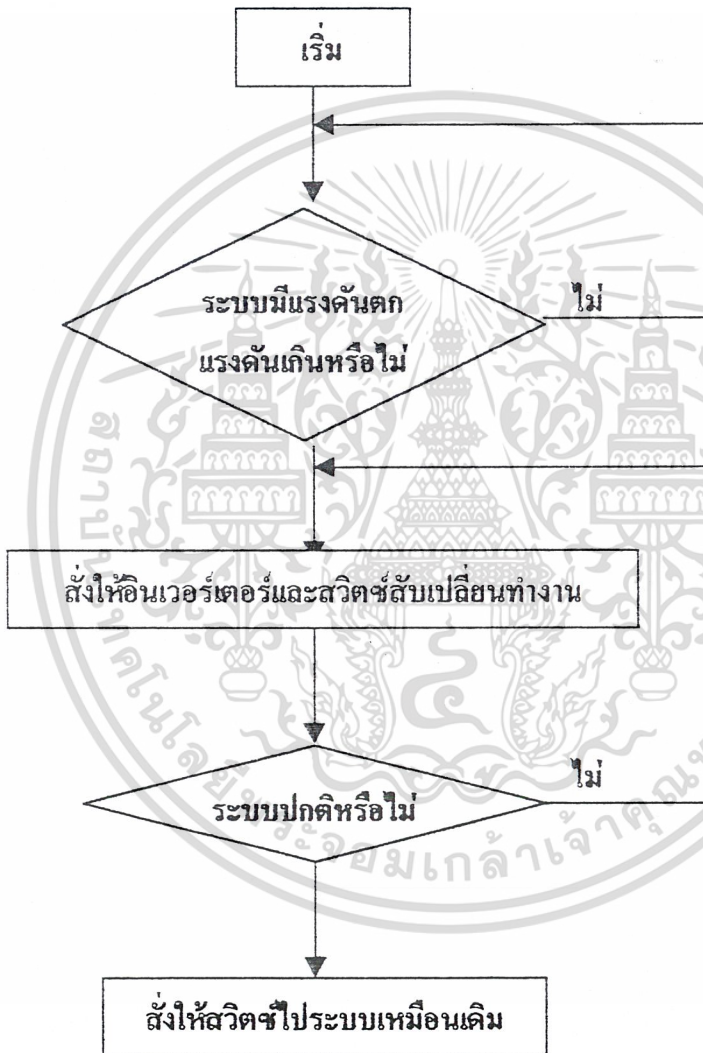
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงลำดับการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

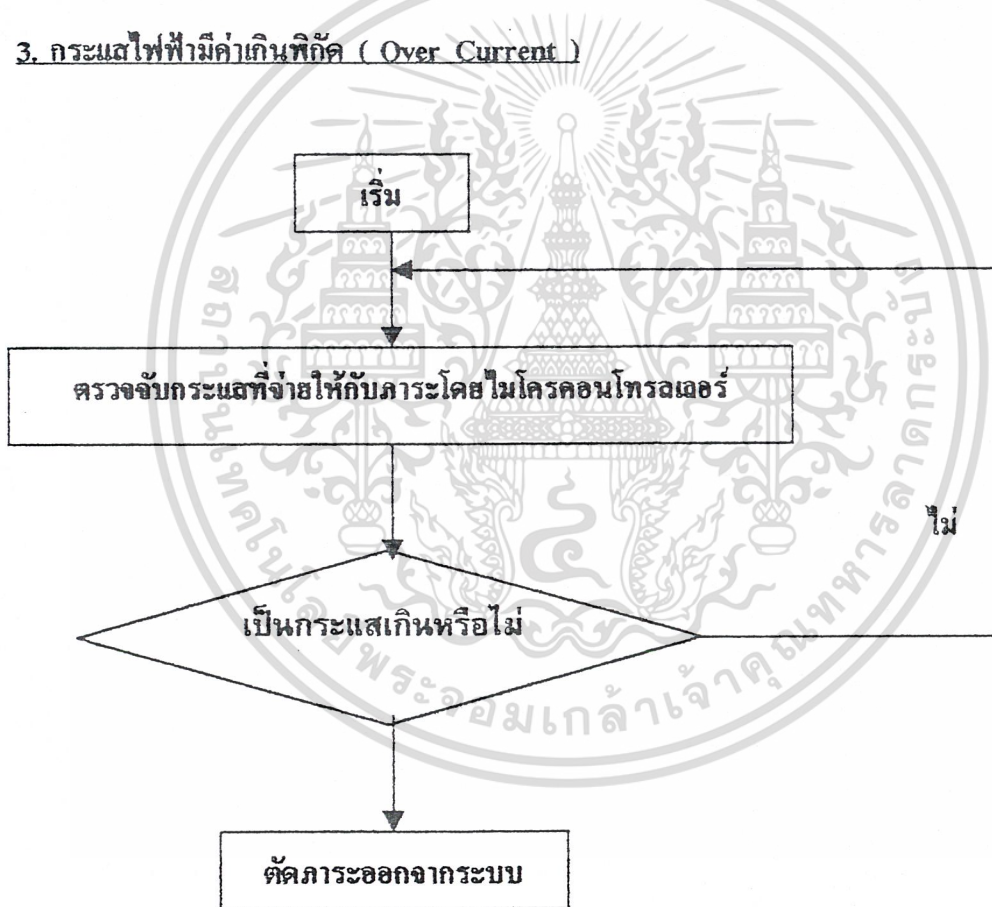
2. เมื่อระบบเกิดแรงดันไฟตก – เกิน ( Over and Under Voltage )



รูปที่ 4.5 แสดงลำดับการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบต่ำหรือเกินกว่าปกติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระบบเกิดแรงดันไฟตก - เกิน ทางด้านภาระจะมีแรงดันต่ำหรือสูงกว่าปกติ ในวงจรตรวจสอบโดยใช้หม้อแปลงเป็นตัวตรวจสอบสถานะและนำสัญญาณเข้าสู่วงจรตรวจสอบ ดังนั้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบแล้วพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น แรงดันที่ภาระมีสภาพไม่เหมาะสมซึ่งจะเป็นอันตรายต่อภาระอย่างมากทั้งสองสถานะและจะทำการตรวจสอบแรงดันเอาท์พุทตลอดเวลาถ้าหากแรงดันของระบบเสถียรภาพมีค่าอยู่ในระดับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ยอมรับได้ก็จะกลับเข้าสู่โหมดการทำงานในสภาวะปกติเช่นเดิมต่อไป

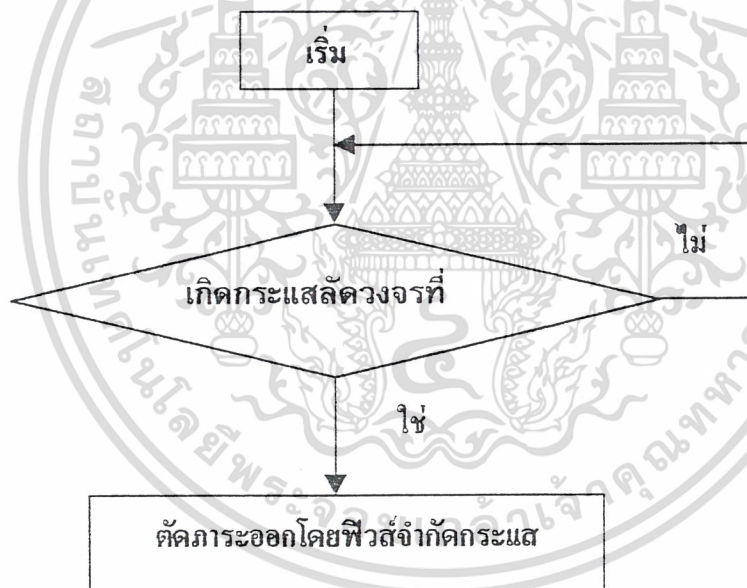
### 3. กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินปกติ ( Over Current )



รูปที่ 4.6 แสดงลำดับการทำงานของสวิทช์สับเปลี่ยน เมื่อกระแสไฟฟ้าของภาระเกินกว่าปกติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด แสดงว่าทางด้านภาระมีการใช้งานเกินพิกัดซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างยิ่งหากไม่หยุดการณั้เกิดขึ้นต่อเนื่องไป ดังนั้นจะมีการป้องกันโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณตรวจสอบมาจากหม้อแปลงกระแสที่ต่ออนุกรมอยู่กับภาระซึ่งหากเกิดกระแสภาระเกินพิกัดจริง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตัดภาระออกจากระบบทันที โดยไม่มีการหน่วงเวลาเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นตามมา ซึ่งจะมีความไวในการตรวจสอบและตัดภาระที่เร็วมาก ดังนั้นภาระที่ใช้จึงต้องมั่นใจว่าไม่ควรมีค่าเกินพิกัด เมื่อภาระถูกตัดออกจากระบบแล้ว จำเป็นต้องตรวจสอบภาระให้มีค่าเหมาะสมก่อนที่จะทำการใช้งานครั้งใหม่ต่อไป

#### 4. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( Short Circuit Current )



รูปที่ 4.7 แสดงลำดับการทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ภาระ

4. เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร แสดงว่ามีการลัดวงจรทางด้านภาระซึ่งในสภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อ UPS มากที่สุด ดังนั้นเพื่อความแน่นอนและปลอดภัยต่อระบบจึงใช้อุปกรณ์ป้องกันจากการลัดวงจรคือ ฟิวส์จำกัดกระแสโดยต่ออนุกรมกับภาระซึ่งถ้าหากมีการลัดวงจรด้านภาระ ฟิวส์ก็จะตัดภาระออกก่อนทันทีเพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่อ UPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)

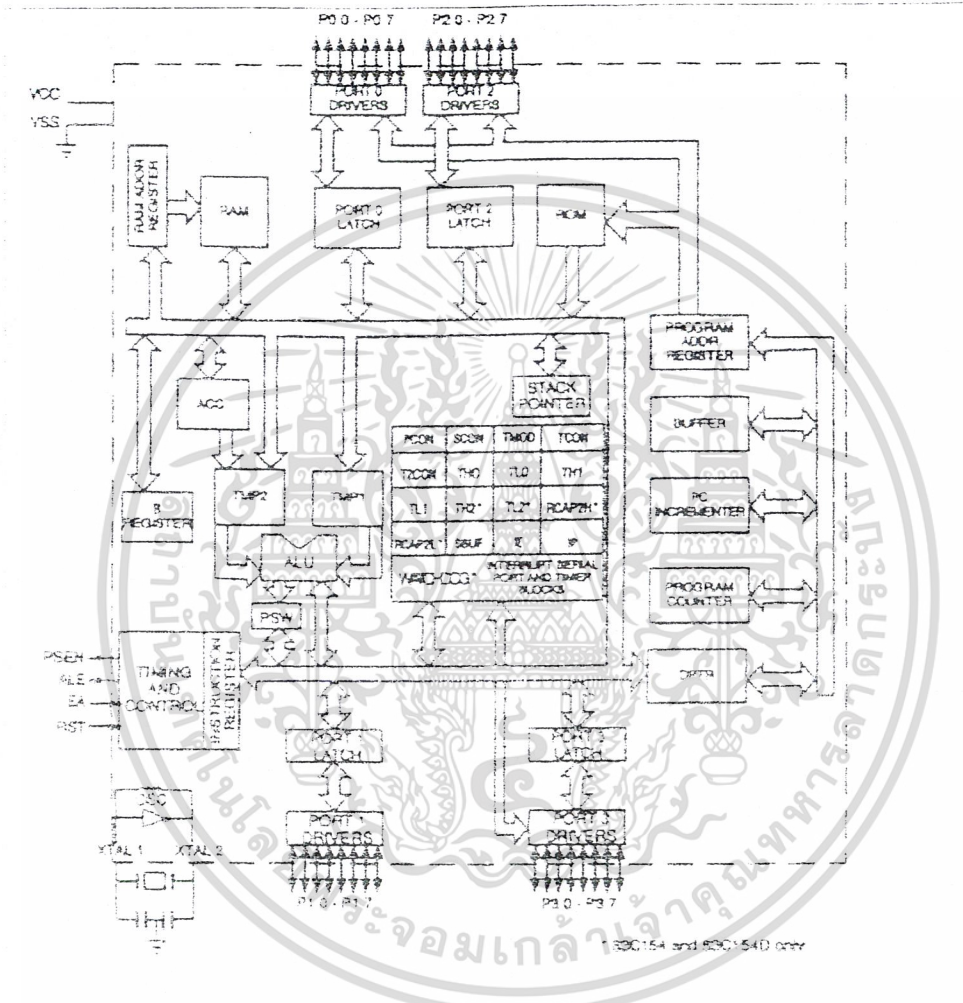
คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ + 5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- มีทิมเมอร์ เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวกเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ตแบบ Full Duplex เลือกรูปได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

#### 5.1 โครงสร้างภายในของ 8051

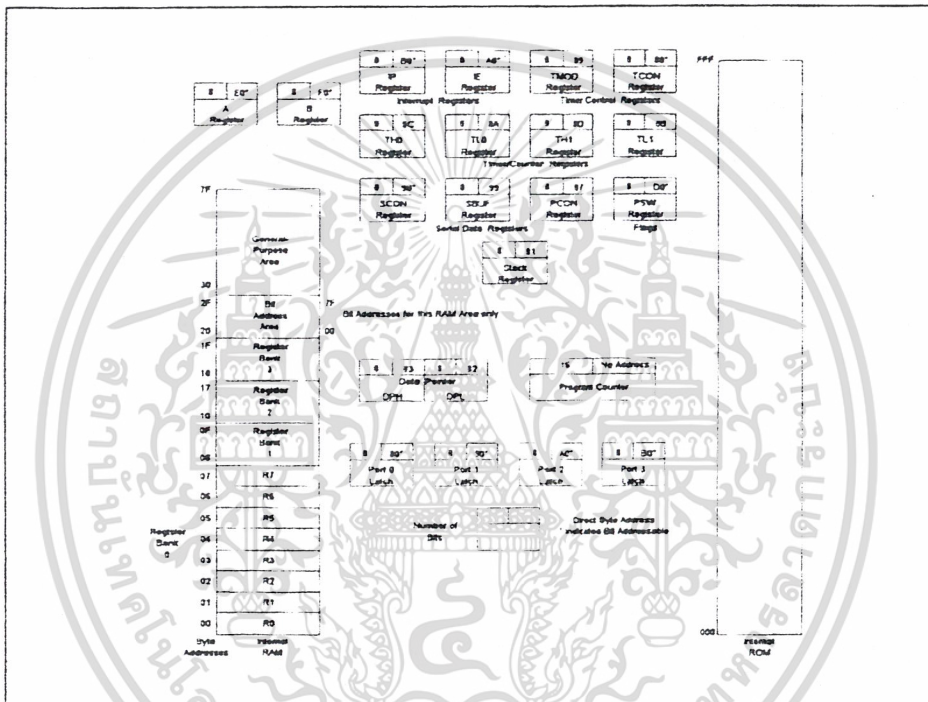
MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกสำหรับโปรแกรมเบอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูป 5.1 (a) และ 5.1 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



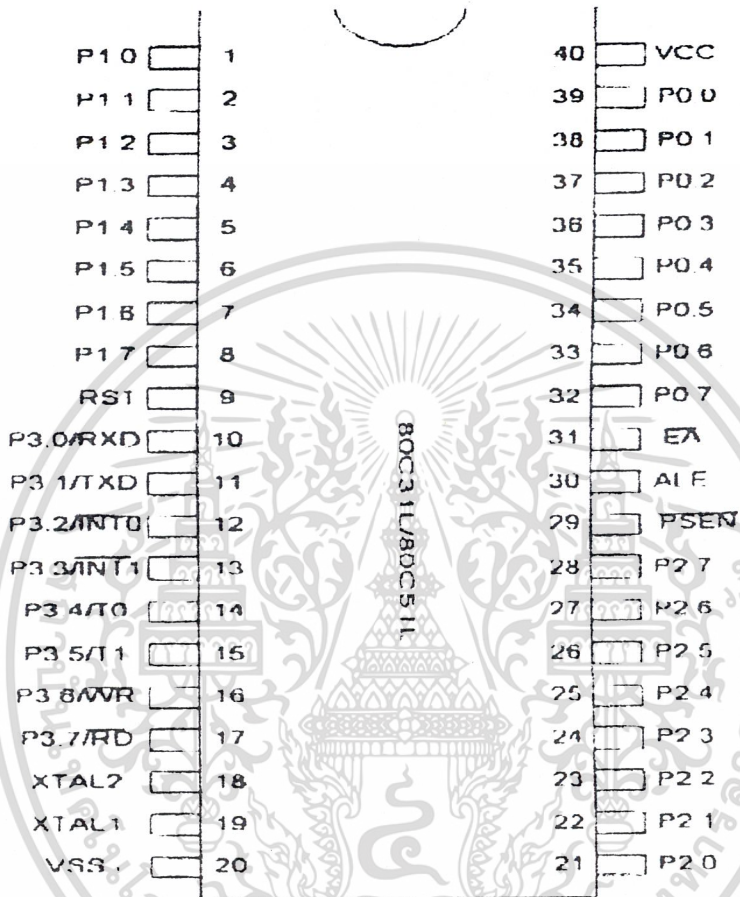
รูป 5.1 (a) 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.1 (b) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.2 การจัดวางขาของ 8051

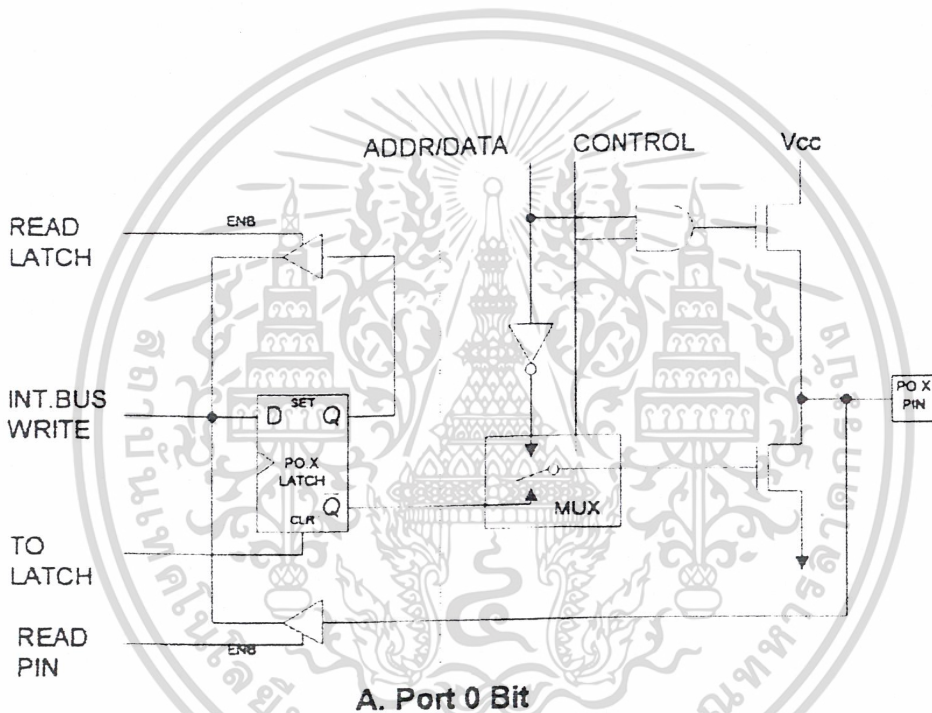
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2 พอร์ตของ 8051**

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ + 5V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) มีโครงสร้างแบบ Open-Drain Bi-directional ดังแสดงในรูป 5.3

Drain Bi-directional ดังแสดงในรูป 5.3

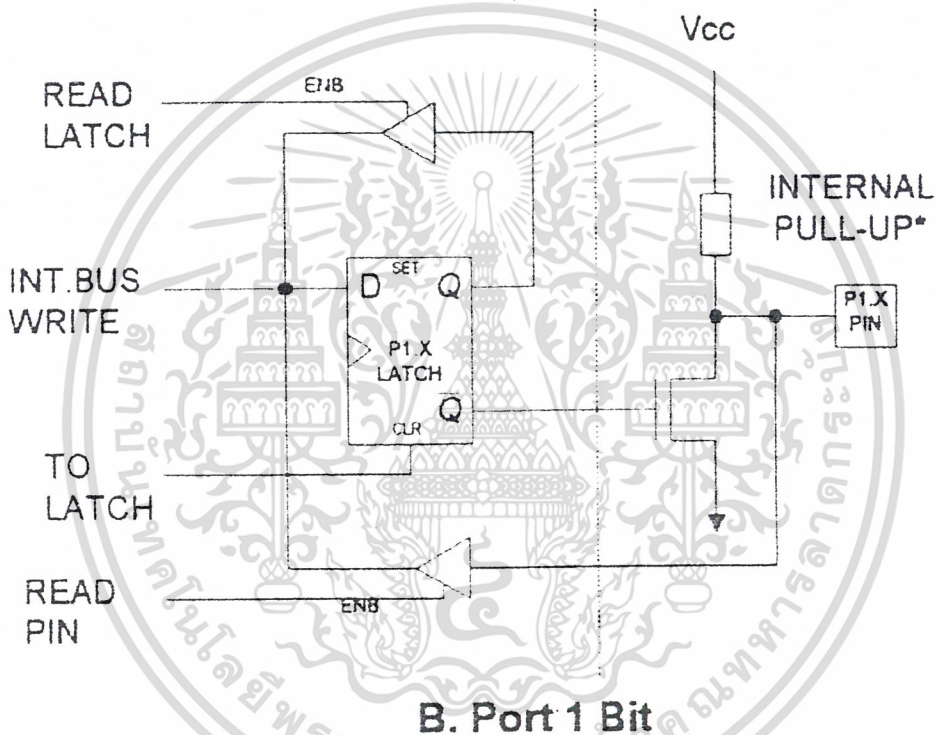


รูป 5.3 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต)

- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือแอดเดรสบัสและดาต้าบัสเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็นไอโอพอร์ต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุตพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” ไปยังพอร์ตนี จะมีผลให้ Q ของ D-FF เป็น “0” ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุตพอร์ตแลตช์ โดยส่งสัญญาณ READ LATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบนและการอ่าน Port (pin) จะใช้สัญญาณ Read (pin)

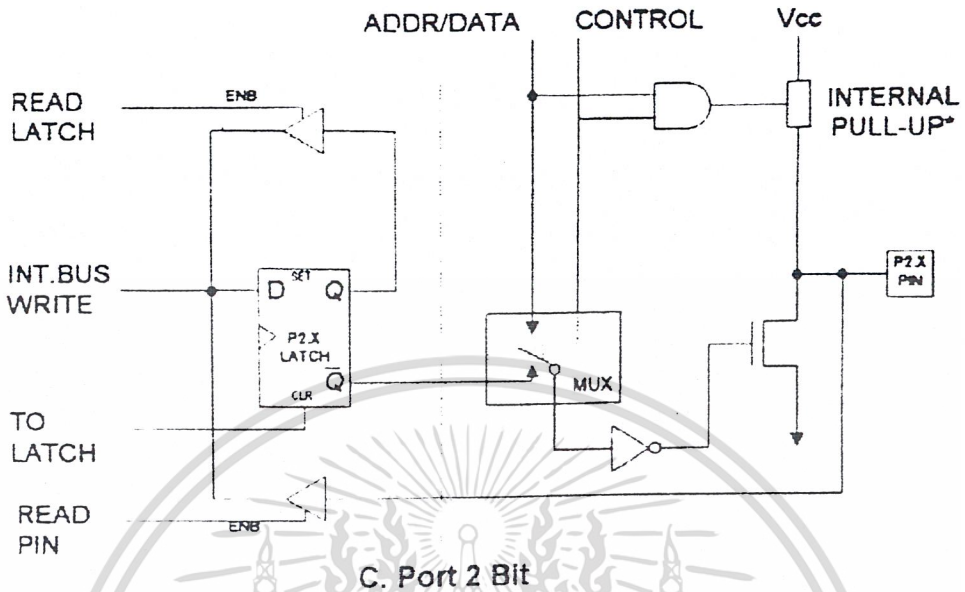
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำออกนอกระบบโดยไม่ได้รับอนุญาต  
 - พอร์ต 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 แต่จะ  
 ใช้ความต้านทานภายในที่เรียกว่า Internal Pull up Register มีโครงสร้างดังรูป 5.4 ที่มีการนำไปใช้

- พอร์ต 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.7-P2.0) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (Internal pull up) พอร์ตนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือ สามารถใช้เป็นแอดเดรสบิตขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอพอร์ตใช้งานทั่วไปเมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ติก่อน เพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสถานะ off ดังแสดงในรูป 5.5



รูป 5.4 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.5 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)

- พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา (P3.7-P3.0) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 ทำงานได้ 2 หน้าที่คือเป็นไอโอพอร์ท ถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ทนี้ก่อน และอีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.2/INT0 (External Interrupt 0) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0

P3.3/INT1 (External Interrupt 1) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1

P3.4/T0 (Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุทเข้าไปยังวงจรถับ Counter 0 (เป็นอินพุทโหมดเคาน์เตอร์)

P3.5/T1 (Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุทเข้าไปยังวงจรถับ Counter 1 (เป็นอินพุทโหมดเคาน์เตอร์)

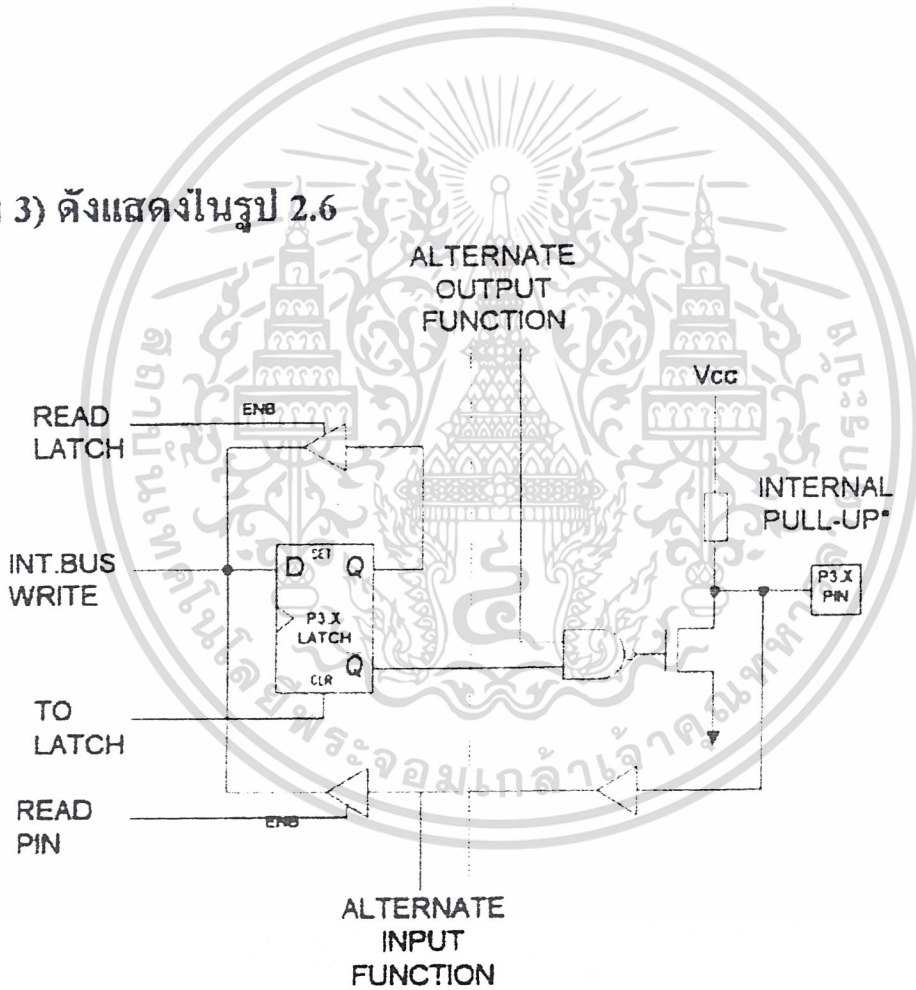
นอกจากนี้ P3.6/ $\overline{\text{WR}}$  (External Data Memory Write Strobe) ขารับสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

ไม่ว่าการเขียนหรือการอ่านข้อมูลเข้าออกไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจำเป็นต้องมีการนำเอาสัญญาณเหล่านี้ไปใช้

P3.7/RD (External Data Memory Read Strobe) ขาดสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

โครงสร้างของ (พอร์ท 3) ดังแสดงในรูป 5.6

รูป 3) ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 5.6 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสไตรบสำหรับใช้ในการแลตซ์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A7-A0) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ท 0) สัญญาณนี้จะแอดคทีฟทุก ๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมซซีนไซเคิล

-PSEN(ขา 29) เป็นขาสไตรบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้ง ในแต่ละแมซซีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้

-EA(ขา 30) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

    ป้อน “0” จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ

    ป้อน “1” จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ

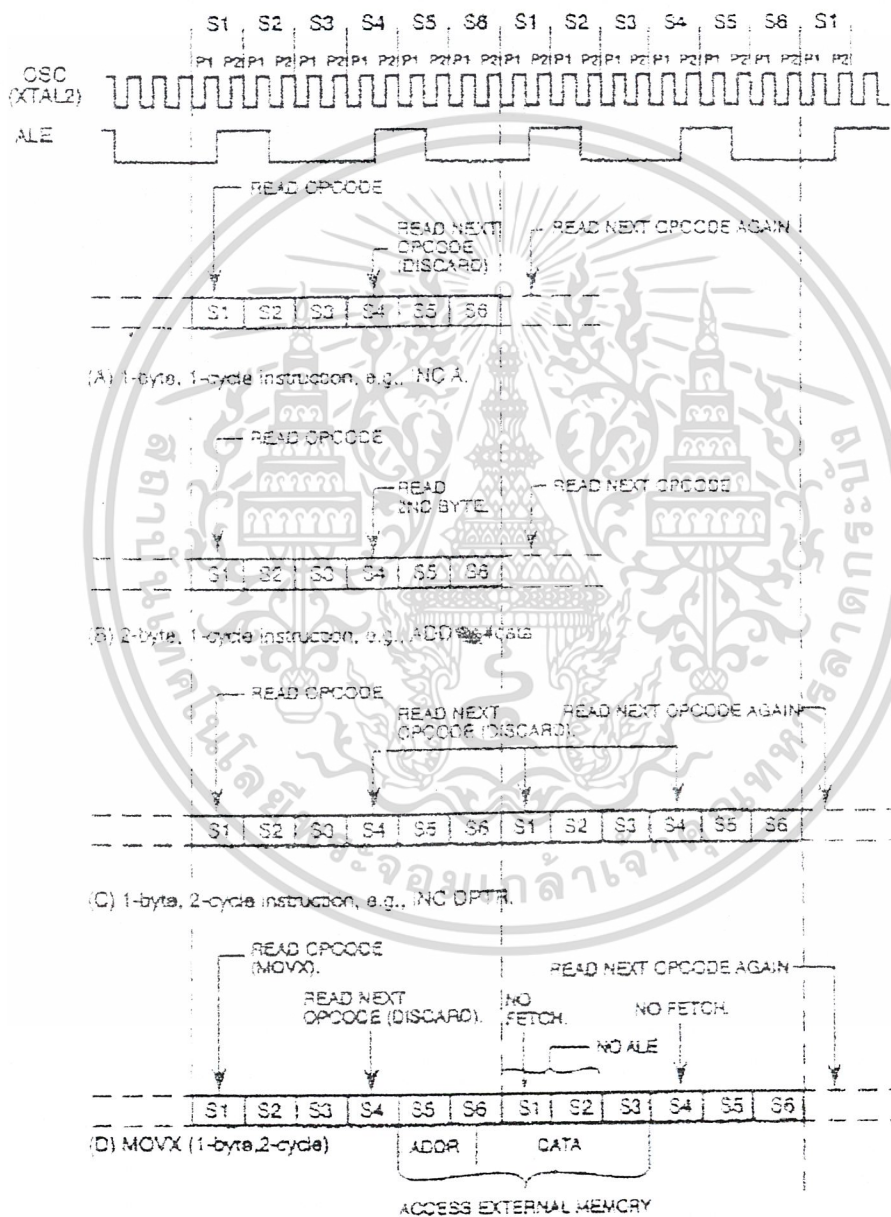
-RST(ขา 9) ขารีเซ็ต จะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขานี้ นานอย่างน้อย 2 แมซซีนไซเคิล

-XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิเตเตอร์ภายใน

-XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุตของวงจรรอสซิเตเตอร์ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.3 ฝั่งเวลาของซีพียู(CPU Timing)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูป 5.7 ฝั่งเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง

การทำงานใน 1 คำสั่งต่ำสุดจะกินเวลาเพียง 1 Sec เช่นคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ 1 แมกซีนไซเคิล ซึ่งจะใช้คล็อกไปเท่ากับ 12 ลูก โดยคล็อกลูกที่ 1 และ 2 จะอยู่ในช่วง S1 P1 และ S1 P2 และคล็อกลูกที่ 12 ก็อยู่ในช่วง S6P2 นั่นเอง (ปกติแล้ว ซีพียูจะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อก 12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ 1 Sec)

คำว่า 1 แมกซีนไซเคิล คือช่วงการทำงานตั้งแต่ S1 จนถึง S6\*

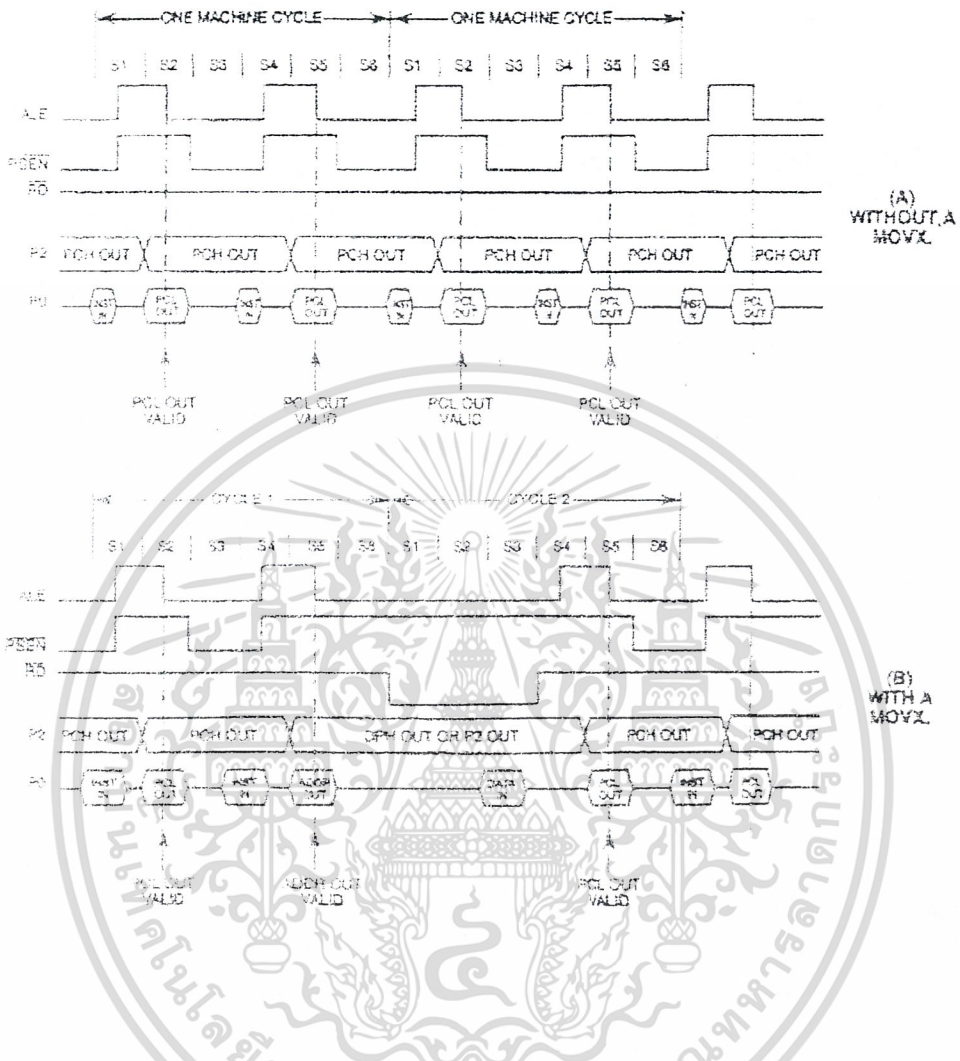
รูป 5.7 (a) การทำงานของคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ทำงานเสร็จภายใน 1 แมกซีนไซเคิล

รูป 5.7 (b) การทำงานของคำสั่ง ADD A.#Data ซึ่งเป็นคำสั่ง 2 ไบต์ทำงานเสร็จใน 1 แมกซีนไซเคิล

รูป 5.7 (c) การทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมกซีนไซเคิล

รูป 5.7 (d) การทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมกซีนไซเคิล





รูป 5.8 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

รูป 5.8(a) เป็นผังเวลาของสัญญาณซึ่งเกี่ยวข้องกับเฟลช์เมื่อส่วนของ Program Memory อยู่ภายนอก ดังนั้น สัญญาณที่จะนำไปใช้อ่านอปได้ค จาก Program Memory ก็คือ PSEN ซึ่งจะแอกทีฟ 2 ครั้งใน 1 แมกซิมไซเคิล ดังนั้น สัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ PSEN รูป 5.8 (b) เป็นผังเวลาของสัญญาณที่ใช้การอ่านข้อมูลจาก Data Memory สัญญาณ PSEN จะมีเพียง 1 ลูก เพราะช่วงเวลถัดมาจะเป็นช่วงเวลาในการอ่านข้อมูลจาก Data Memory โดยใช้สัญญาณ RD (การอ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ PSEN และการอ่านข้อมูลจาก Data Memory จะใช้สัญญาณ RD ส่วนสัญญาณ ALE คือ สัญญาณที่ใช้ในการ Latch Address A7-A0 นั้นเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า  
 ไม่ว่าใครละเมิดลิขสิทธิ์ หากมีเหตุเห็นสมควรจะแจ้งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

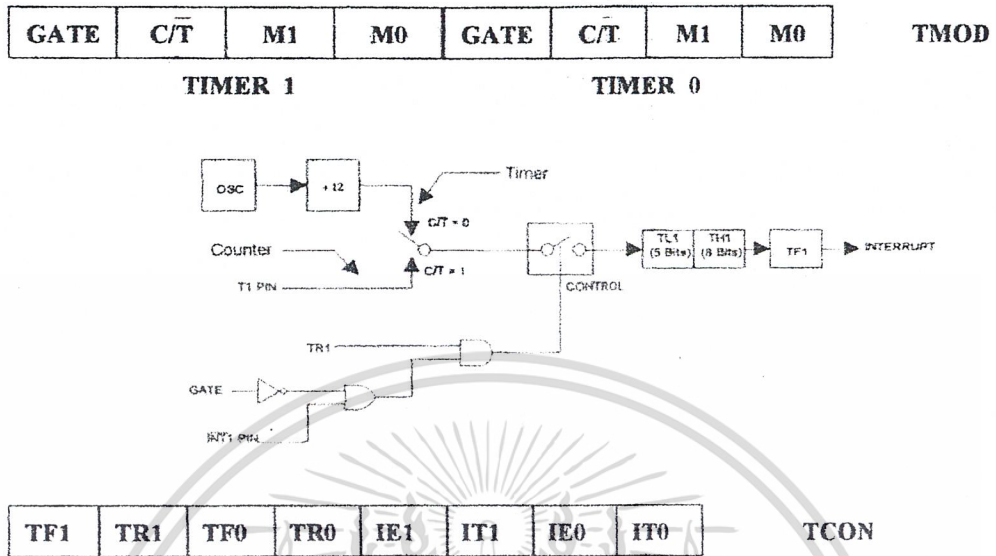
ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ สามารถเลือกให้มีความทำงานเป็นไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเลือกที่บิต C/T ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD ดังแสดงในรูปที่ 5.10 ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์จะใช้ up Counter Register (THx, TLx) ตัวเดียวกันซึ่งเป็นแบบนับขึ้น

โหมดไทม์เมอร์ up Counter Register (THx, TLx) จะถูกเพิ่มค่าทุก ๆ 1 แมกซ์ซีนาไซเคิล (12 คาบเวลาของ CPU osc) โหมดนี้ไม่ต้องป้อนสัญญาณจากภายนอกเข้ามาแต่จะใช้สัญญาณ CPU osc

โหมดเคาน์เตอร์ up Counter Register (THx, TLx) จะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อป้อนสัญญาณคล็อกจากภายนอกเข้ามา 1 ลูกเข้ามาทางขา T0 (pin) หรือ T1 (pin) อยู่ที่ขา 14 และ 15 ตามลำดับ โดยไม่สนใจคาบเวลาของพัลส์แต่ละลูกการตรวจสอบสัญญาณที่เข้ามาทางขานี้โดยจะตรวจสอบทุก ๆ S5P2 ของแต่ละแมกซ์ซีนาไซเคิล ดังนั้นการตรวจสอบคล็อก 1 ลูกจะต้องใช้ถึง 2 แมกซ์ซีนาไซเคิล (1/24 คาบเวลาของ CPU osc)

โครงสร้างของ ไทม์เมอร์ และ เคาน์เตอร์ มีโครงสร้างดังนี้

- เคาน์เตอร์ แบบนับขึ้น up Counter Register (THx, TLx)
- ส่วนเลือกโหมดไทม์เมอร์ และ เคาน์เตอร์ เลือกที่บิต C/T
- ส่วนควบคุมการนับ และหยุดนับ (Start Counter) ควบคุมที่บิต TRx.GATE และสัญญาณจากภายนอก ที่ขา INTx(pin)
- ในโหมดเคาน์เตอร์จะรับอินพุตพัลส์จากภายนอกที่ขา Tx pin
- ในโหมดไทม์เมอร์จะรับอินพุตพัลส์จากคล็อกซีพียูที่หารด้วย 12 แล้ว
- โหมดเคาน์เตอร์และไทม์เมอร์ใช้เคาน์เตอร์ตัวเดียวกันเป็นแบบนับขึ้น



รูปที่ 5.9 ผังการทำงานของไทเมอร์/คาน์เตอร์ 1 (โหมด 0) 13-bit Counter และรีจิสเตอร์ควบคุม

**5.5 การโปรแกรมไทเมอร์ คาน์เตอร์**

การโปรแกรมจะต้องโปรแกรมค่าใน TMOD ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งเลือกสแตร์ทแบบ Internal Control สแตร์ทโดยใช้คำสั่ง SETB Trx เลือกสแตร์ทแบบ External Control สแตร์ทโดยใช้ การกระตุ้นจากสัญญาณภายนอกที่ขา INTx pin สำหรับ 8051

ตารางที่ 5.10 การโปรแกรมไทม์เมอร์ เคน์เตอร์x (เลือกค่า TMOD)

TIMER/COUNTER 0			
MODE	TIMER 0 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	00H	08H
1	16-bit Timer	01H	09H
2	8-bit Auto-Reload	02H	0AH
3	Two 8-bit Timers	03H	0BH

As a Timer : Table 3

TIMER/COUNTER 1			
MODE	TIMER 1 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	00H	30H
1	16-bit Timer	01H	31H
2	8-bit Auto-Reload	20H	A0H
3	does not run	30H	B0H

As a Timer : Table 5

Notes : 1. The Timer is turned ON/OFF by setting/clearing bit TR0 in the software.  
2. The Timer is turned ON/OFF by the INT0 transition on INT0 (P3.2) when TR0 = 1 (hardware control).

MODE	TIMER 0 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	04H	0CH
1	16-bit Timer	05H	0DH
2	8-bit Auto-Reload	06H	0EH
3	one 8-bit counter	07H	0FH

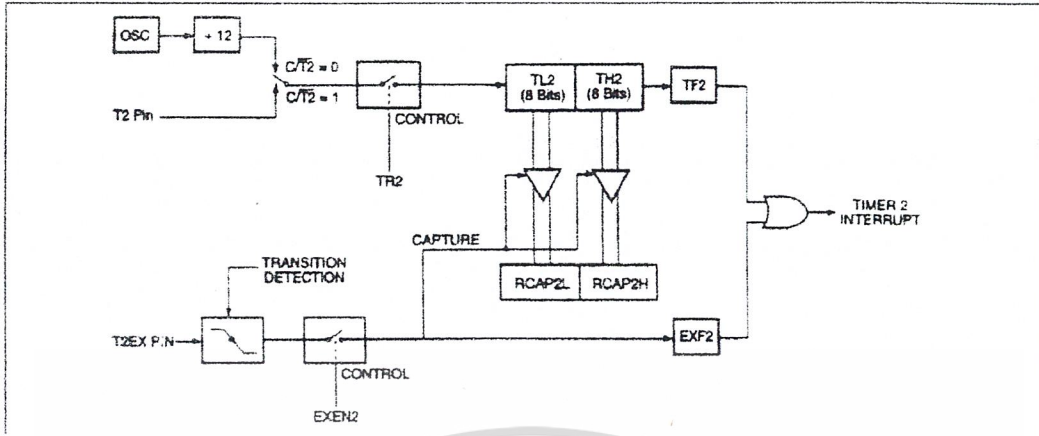
As a Counter : Table 4

MODE	COUNTER 1 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	40H	C0H
1	16-bit Timer	50H	D0H
2	8-bit Auto-Reload	60H	E0H
3	not available	-	-

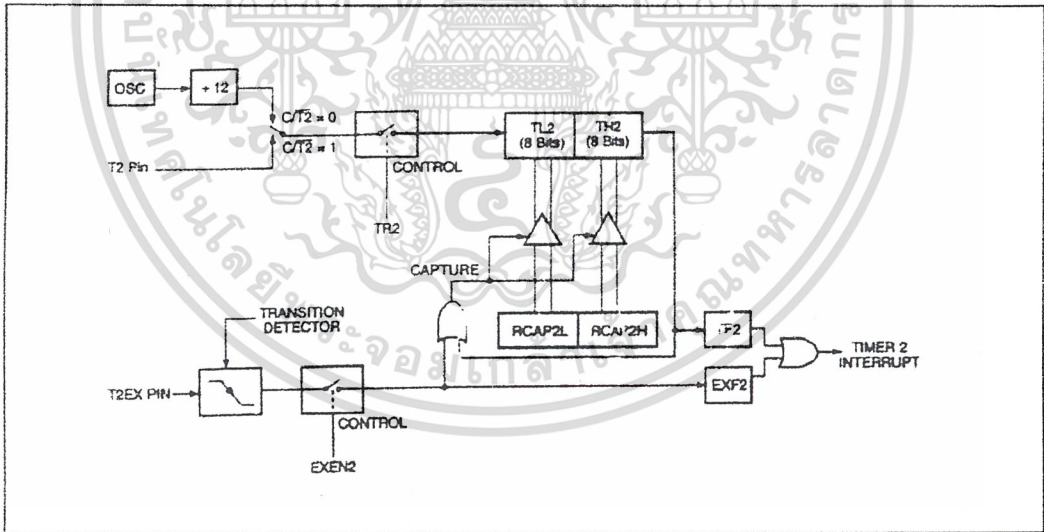
As a Counter : Table 6

Notes : 1. The Timer is turned ON/OFF by setting/clearing bit TR1 in the software.  
2. The Timer is turned ON/OFF by the INT1 transition on INT1 (P3.2) when TR1 = 1 (hardware control).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.11 ไทเมอร์ เคาน์เตอร์ 2 Capture Mode



รูป 5.12 ไทเมอร์ เคาน์เตอร์ 2 Reload Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การโปรแกรมไทม์เมอร์ เคน์เตอร์ 2

การโปรแกรมจะต้องโปรแกรมค่าใน TMOD ดังตารางที่ 5.2 ซึ่ง

เลือกสตาร์ทแบบ Internal Control สตาร์ทโดยใช้คำสั่ง SETB TR2

เลือกสตาร์ทแบบ External Control สตาร์ทโดยใช้ การกระตุ้นจากสัญญาณภายนอกที่ขา T2EX pin

สำหรับ 80C154

ตารางที่ 5.2 การโปรแกรมไทม์เมอร์ เคน์เตอร์ 2 (เลือกค่า T2CON)

MODE	T2CON		MODE	TMOD	
	INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
16-bit Auto-Reload	00H	08H	16-bit Auto-Reload	02H	0AH
16-bit Capture	01H	09H	16-bit Capture	03H	0BH
BAUD rate generator					
receive & transmit same					
baud rate	34H	36H			
receive only	24H	26H			
transmit only	14H	16H			

As a Counter : Table 8

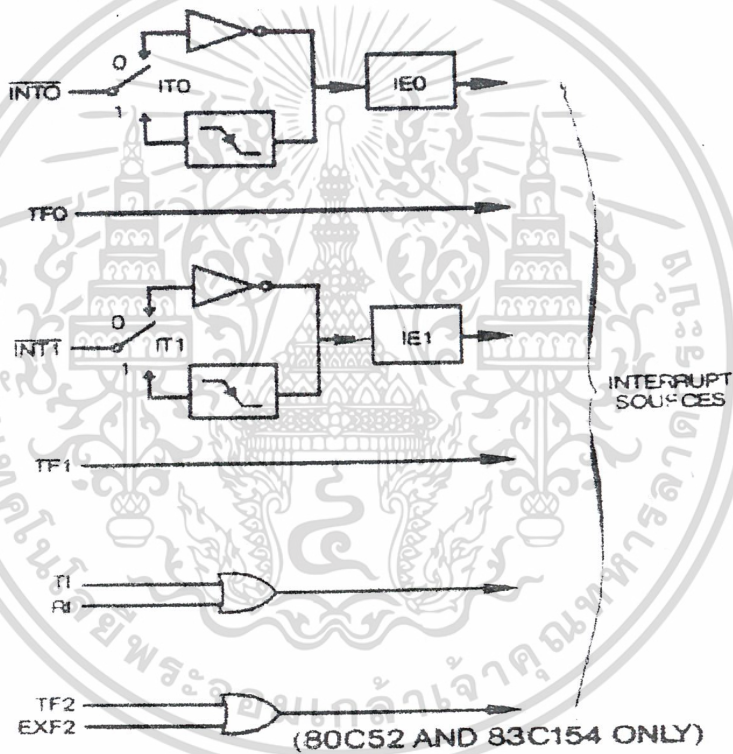
As a Timer : Table 7

NOTE : 1. Capture/Reload occurs only Timer/Counter overflow.  
2. Capture/Reload occurs on Timer/Counter overflow and a 1 to 0 transition on T2EX (P1.1) pin except when Timer 2 is used in the baud rate generating mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 การอินเทอร์รัปต์

คือการขัดจังหวะโปรแกรมชั่วคราวแล้วมาทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine; ISR) การตรวจสอบสัญญาณการร้องขออินเทอร์รัปต์จะตรวจสอบที่ตำแหน่ง S5P2 ของทุก ๆ แมกซ์ชิปไซเคิลเมื่อพบแล้วในช่วงแมกซ์ชิปไซเคิลที่ 2 จะเป็นการตรวจสอบว่าเป็นของอุปกรณ์ใดและแมกซ์ชิปไซเคิลที่ 3 จะกระโดดไปทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine; ISR) ดังรูป 5.13 อินเทอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้มาจาก 8 แหล่ง และแต่ละแหล่งมีเพียง 6 Vector (TI และ RI ใช้ตำแหน่งเดียวกัน) ตำแหน่งของเวกเตอร์ดังแสดงดังตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.13 แหล่งที่มาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Interrupt Enable Register (IE) อยู่ใน SFR ตำแหน่งที่ (0A8H)

ใช้ควบคุมอินเทอร์รัปต์ได้ 8 แหล่ง ดูตาราง 5.2 ประกอบ เราสามารถสั่งห้ามหรือไม่ห้ามการอินเทอร์รัปต์ได้จากรีจิสเตอร์ชุดนี้ดังมีรายละเอียดดังรูป 5.14 เราสามารถสั่งห้ามไม่ให้เกิดการขัดจังหวะทั้งหมดก็ได้เพียงแต่ไปรีเซ็ตบิต EA ใน Interrupt Enable Register (IE) ถ้าต้องการ Enable อินเทอร์รัปต์จากอุปกรณ์ตัวไหนก็เพียงแต่ไปเซ็ตบิตของอุปกรณ์ตัวนั้นไว้ แต่อย่าลืมเซ็ตบิต EA รายละเอียดของ IE ดังแสดงในรูป 5.14

		(MSB)						(LSB)	
		EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
Symbol	Position	Function							
EA	IE.7	disables all interrupts. if EA = 0, no interrupt will be acknowledged. if EA = 1 each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.							
—	IE.6	reserved							
ET2	IE.5	enables or disables the Timer 2 Overflow or capture interrupt. if ET2 = 0, the Timer 2 interrupt is disabled.							
ES	IE.4	enables or disables the Serial Port interrupt. if ES = 0, the Serial Port interrupt is disabled.							
ET1	IE.3	enables or disables the Timer 1 Overflow interrupt. if ET1 = 0, the timer 1 interrupt is disabled.							
EX1	IE.2	enables or disables External Interrupt 1. if EX1 = 0, External Interrupt 1 is disabled.							
ET0	IE.1	enables or disables the Timer 0 Overflow interrupt. if ET0 = 0, the Timer 0 interrupt is disabled.							
EX0	IE.0	enables or disables External Interrupt 0. if EX0 = 0, External Interrupt 0 is disabled.							

รูปที่ 5.14 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ IE

## Interrupt Priority Register (IP) อยู่ใน SFR ตำแหน่งที่ (0B8H)

ใช้กำหนดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์

		(MSB)							(LSB)
		PCT	X	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0
Symbol	Position	Function							
PCT	IP.7	83C154/C154D only. Priority interrupt circuit control bit. The priority register contents are valid and priority assigned interrupts can be processed when this bit is "0". When the bit is "1", the priority interrupt circuit is stopped, and interrupts can only be controlled by the interrupt enable register (IE).							
-	IP.6	reserved							
PT2	IP.5	defines the Timer 2 interrupt priority level. PT2 = 1 programs it to the higher priority level.							
PS	IP.4	defines the Serial Port interrupt priority level. PS = 1 programs it to the higher priority level.							
PT1	IP.3	defines the Timer 1 interrupt priority level. PT1 = 1 programs it to the higher priority level.							
PX1	IP.2	defines the External Interrupt 1 priority level. PX1 = 1 programs it to the higher priority level.							
PT0	IP.1	defines the Timer 0 interrupt priority level. PT0 = 1 programs it to the higher priority level.							
PX0	IP.0	defines the External Interrupt 0 priority level. PX0 = 1 programs it to the higher priority level.							

รูปที่ 5.15 รายละเอียดของ IP

### คำอธิบายความหมายในแต่ละบิตใน (IP)

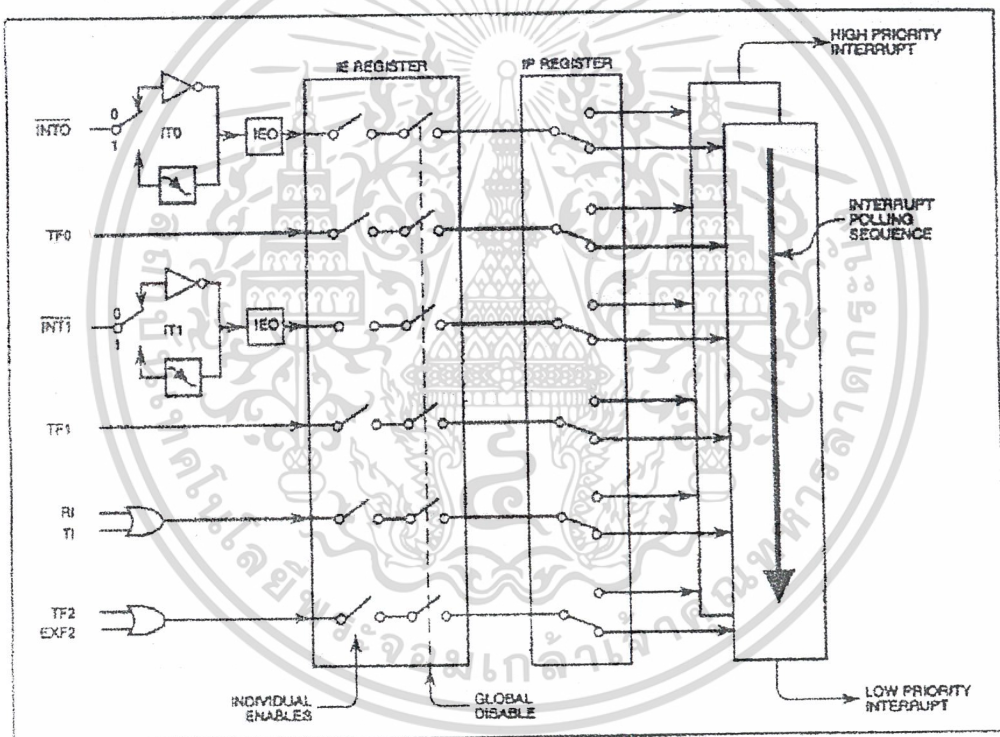
PT2:	0	Timer 2 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด
	1	Timer 2 มีลำดับความสำคัญสูงสุด
PS :	0	พอร์ตสื่อสารอนุกรม UART มีลำดับความสำคัญต่ำสุด
	1	พอร์ตสื่อสารอนุกรม มีลำดับความสำคัญสูงสุด
PT1:	0	Timer 1 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด
	1	Timer 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด
PT0:	0	Timer 0 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด
	1	Timer 0 มีลำดับความสำคัญสูงสุด
PX0:	0	อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด
	1	อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 มีลำดับความสำคัญสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการ (83C154/83C154D Only) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 0 ยอมให้มีการจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์ ( Priority )
- 1 ไม่ยอมให้มีการจัดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์ให้ควบคุมการอินเทอร์รัปต์จาก IE แทน

ถ้าทุกบิตเป็น 1 หมด จะถือว่าทุกตัวมีลำดับความสำคัญสูงสุดเท่ากัน เมื่อสัญญาณมาพร้อมกันจะต้องตัดสินใจ ตามตารางที่ 5.3 เราสามารถสรุประบบการขัดจังหวะของ 8052 ได้ดังรูป

5.16



รูป 5.16 รายละเอียดของระบบขัดจังหวะของ 8051, 83C154, 83C154D

\*83C154, 83C154D มี Interrupt Source เพิ่มจาก 8051 อยู่ที่ TF2 และ EXF2\*

Interrupt Vector ของ MCS-51 มีอยู่ 8 แหล่งดังแสดงในตารางที่ 5.4 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0 ให้ทำซ้ำจนกว่าจะเป็น  
00

	RET	[2]	
รวม	=MOV R0,#01H [1] + DJNZ R0,DELAY1 [2] + RET [2]		
	(R0 = 01)	(R0 = 00)	

รวม = [1] + [2] + [2]

รวม = 5 Machine Cycle

กินเวลา = 5(1 S) = 5 S      ที่ความเร็ว 12 MHz

กินเวลา = 5(1.082 S) = 5.3 S      ที่ความเร็ว 11.085 MHz

ตัวอย่างที่ 2 ถ้า R0=00H จะหน่วงเวลาไปเท่าไร

วิธีทำ      เนื่องจาก R0=00H เมื่อลดค่าลงหนึ่งจะเหลือ FFH ดังนั้นคำสั่ง DJNZ R0,DELAY1 จะทำ 256 ครั้ง

รวม = [1] + [2]256 + [2]

รวม = 515 Machine Cycle

เวลาที่หน่วงไป = 515 (1 S) = 515 S      ที่ความเร็ว 12MHz

เวลาที่หน่วงไป = 515 (1.085 S) = 558.2 S      ที่ความเร็ว 11.059 MHz

โปรแกรมหน่วงเวลาแบบ 2 ลูป

การคิดเวลาที่หน่วงไป จะคิดจาก Loop ใน คูณ Loop นอก ถ้ากำหนด R0 ทำงานวนลูป ในและ R1 ทำงานวนลูป นอก

โปรแกรมหน่วงเวลาแบบ 3 ลูป

การหน่วงเวลาที่ต้องการเวลามาก ๆ จะใช้ลูปนอกอีก 1 ชั้นรวมเป็น 3 ชั้นดังโปรแกรมข้างล่าง

8051 Cross-assembler (1.3)(C) 1987, 1989 Binary Technology

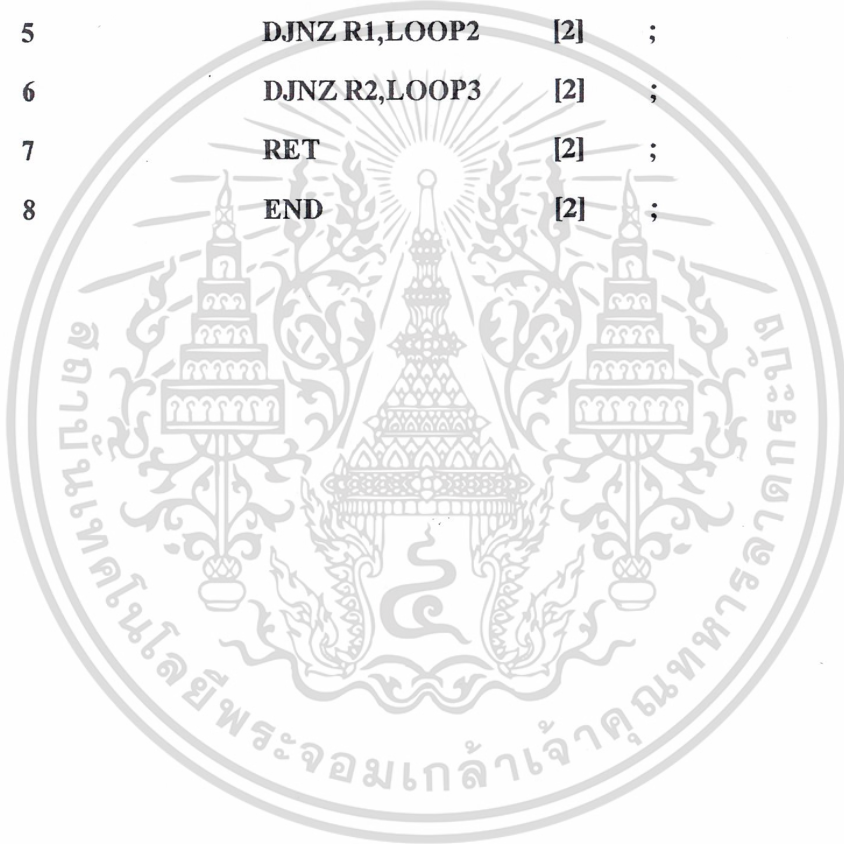
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Page 1  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DEL31.ASM

```

                ORG 0000H                ;
1             MOV R2,#02H                [1] ;
2 LOOP3:      MOV R1,#03H                [1] ;
3 LOOP2:      MOV R0,#04H                [1] ;
4 LOOP1:      DJNZ R0,LOOP1              [2] ;
5             DJNZ R1,LOOP2              [2] ;
6             DJNZ R2,LOOP3              [2] ;
7             RET                        [2] ;
8             END                        [2] ;

```



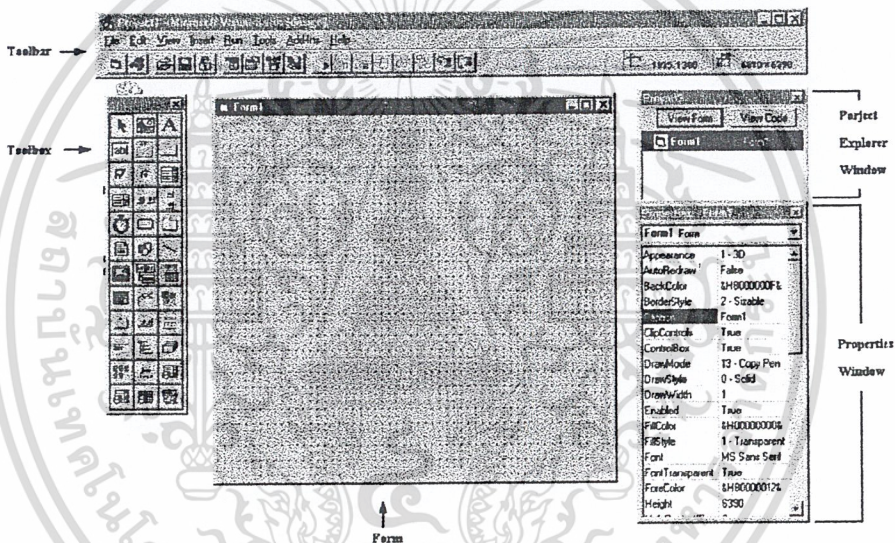
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การใช้งาน Visual Basic

เมื่อทำการเริ่มใช้งาน Visual Basic จะเข้าสู่จอภาพที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม โครงการใหม่จะถูกเปิดในสถานะแวดล้อมสำหรับการโปรแกรมของ Visual Basic พร้อมด้วยหน้าต่างเครื่องมือหลายอย่างซึ่งแสดงบนหน้าจอ

ภาวะแวดล้อมสำหรับการโปรแกรมของ Visual Basic ประกอบด้วยเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมบน Visual Basic เมนูบาร์เตรียมไว้สำหรับเข้าถึงคำสั่งส่วนใหญ่ซึ่งควบคุมสถานะแวดล้อมของการเขียนโปรแกรม เมนูและคำสั่งต่างๆทำงานตามแบบมาตรฐานที่ใช้กับ



โปรแกรมบนวินโดวส์

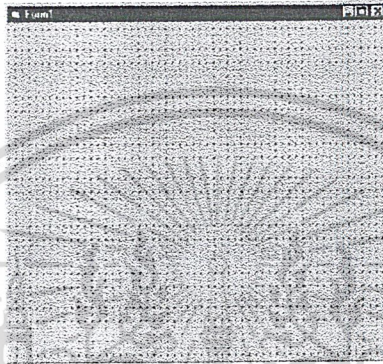
ส่วนประกอบของ Visual Basic มีดังนี้

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
Form	เป็นจอภาพที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้งาน
Toolbox	ประกอบด้วย Icon ต่างๆซึ่งใน Visual Basic เรียกว่า "Control" ที่จะนำไปใช้งานโดยการนำลงไปยัง Form สำหรับหน้าที่ของแต่ละ Control จะกล่าวถึงในลำดับต่อไป
Toolbar	ประกอบด้วย Icon ต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม
Project Explorer Window	สำหรับเรียก Form ต่างๆขึ้นมาทำการแก้ไข ในกรณีที่มี Project ประกอบด้วย Form มากกว่า 1 Form

Property Window	ใช้สำหรับกำหนดคุณสมบัติ(Properties)ให้กับ Form และ Object ต่างๆ ที่อยู่บนForm
-----------------	---

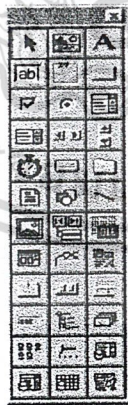
### Form

ใช้สำหรับสร้างจอภาพของโปรแกรม โดยจะทำหน้าที่เป็นพื้นที่ (Background) ของจอภาพ ทุกครั้งของการเปิด Project ใหม่ จะได้ Form ใหม่ดังรูป



### Toolbox

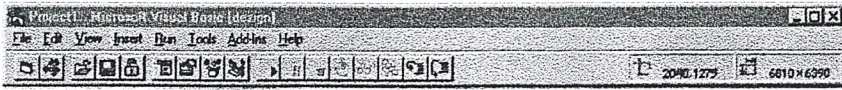
เป็นแถบเครื่องมือที่ประกอบไปด้วย Icon ต่างๆ ซึ่งเรียกว่า “Control” โดยจะนำมาใช้ร่วมกับ Form เพื่อสร้างจอภาพของ Project แต่ละ Control จะใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ หรือที่เรียกว่า “User Interface” เช่น ข้อความต่างๆ ช่องว่างสำหรับรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ปุ่มต่างๆ เป็นต้น โดยการนำ Control ที่ต้องการไปวางลงบน Form ยกตัวอย่างดังรูป



Control แต่ละตัวจะมีหน้าที่แตกต่างกันไปเมื่อต้องการดูชื่อของ Control ใดก็เพียงแค่เลื่อนเมาส์ไปชี้ยัง Control นั้นชื่อของ Control นั้นจะปรากฏ

### Toolbar

เอกสารนี้เป็นเอกสาร เป็นแถบเครื่องมือที่ประกอบด้วย Icon ต่างๆ ดังรูป เอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

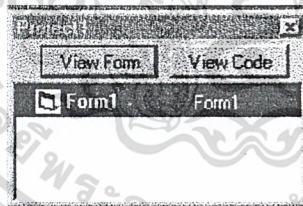


Toolbar ทำหน้าที่ช่วยในการพัฒนา โปรแกรม เมื่อทำการเลื่อนเมาส์ไปชี้ยัง Icon ใด ก็ จะปรากฏชื่ออยู่ที่ Icon นั้น แต่ละ Icon จะมีหน้าที่ต่างกันตามคุณลักษณะ

### Project

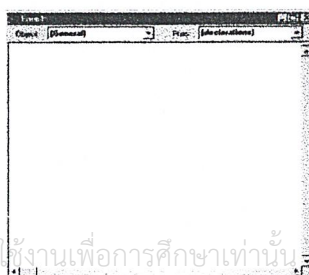
โดยทั่วไประบบงานหนึ่งๆ จะประกอบด้วยหลายๆจอภาพเช่นจอภาพสำหรับป้อนข้อมูล (Data Entry) จอภาพสำหรับค้นหาข้อมูล(Data Inquiry) เป็นต้น ดังนั้นในการพัฒนา โปรแกรมจึงนิยมที่จะแยกจอภาพออกเป็นโปรแกรมเพื่อความสะดวกต่อการแก้ไขตามหลักของการ เขียนโปรแกรมแบบ Modularity เช่นภาษาตระกูล XBase แยกเป็นไฟล์ นามสกุล PRG หรือใน ภาษา BASIC ก็แยกออกเป็นไฟล์นามสกุล BAS เป็นต้นแล้วจึงนำแต่ละโปรแกรมาย่อยมา ประกอบกันขึ้นเป็นระบบโดยการ Compile ไฟล์เหล่านั้นรวมกันเป็น Executed Program (ไฟล์ นามสกุล EXE) เพื่อจะนำไปใช้งาน

ใน Visual Basic ก็เช่นเดียวกัน แต่ละจอภาพที่พัฒนาขึ้นก็คือ Form ต่างๆ และเมื่อนำ มารวมกันก็จะเรียกว่า Project ดังนั้น Project และ Form จะต้องทำงานร่วมกันจะขาดไฟล์ใดไฟล์ หนึ่งไม่ได้



### Editor Windows

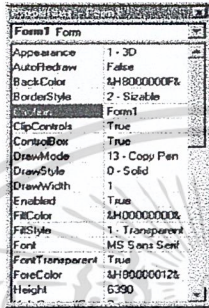
วินโดว์เอดิเตอร์(Editor Window)ดังรูป เป็นหน้าต่างที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมหรือ กำหนดอีเวนต์(Event) ให้กับ วัตถุที่เลือก โดยสามารถเลือกอีเวนต์ที่ต้องการได้จาก ตรีอป ดาวน์ลิสต์บ็อกซ์ Object หรือ กำหนดโพรซีเจอร์ประจำเหตุการณ์จากตรีอปดาวน์ลิสต์บ็อกซ์ Proc



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ (คือ Procedure นั้นเอง) ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Properties Window

วินโดว์พร็อพเพอร์ตี้ (Property Window) ดังรูป เป็นหน้าต่างที่แสดงคุณสมบัติทั้งหมดของออปเจกต์ที่เลือก เช่นถ้าเลือก Form ขึ้นหน้าต่างคุณสมบัติก็จะแสดงคุณสมบัติของ Form ทั้งหมด เป็นต้น นอกจากนี้อาจจะเลือกออปเจกต์อื่นๆได้จากกรอบความลิสต์บ็อกซ์ที่อยู่บนสุด ถัดลงมาเป็นเซตติงบ็อกซ์ที่แสดงค่าคุณสมบัติตามที่เลือกจากพร็อพเพอร์ตี้ลิสต์ข้างล่างซึ่งถ้าต้องการ



เปลี่ยนแปลงค่าให้เลือกได้จากกรอบความลิสต์บ็อกซ์นั้น (ในกรณีที่มีค่าให้เลือก) สำหรับการเลือกคุณสมบัติด้านล่างให้เลื่อนสโครลบาร์จนพบคุณสมบัติที่ต้องการแล้วให้คลิก

## 6.1 การสร้างและออกแบบจอภาพ

### การวาด Control ลงบน Form

Control ต่างๆใน Toolbox ใช้ในการวาดจอภาพสำหรับโปรแกรม ซึ่งแต่ละ Control จะมีชื่อเรียกและการทำงานที่แตกต่างกันไป การจะเลือก Control ใดมาทำงานนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบจอภาพของนักพัฒนาโปรแกรม (Programming) ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น Label ใช้สำหรับเขียนข้อความ TextBox ใช้กำหนดพื้นที่เพื่อป้อนข้อมูล เป็นต้น

ในการวาด Control บน Form ทำได้ดังนี้

1. คลิกที่ Control ที่ต้องการใน Toolbox (Control ที่ถูกเลือกจะยุบลงไป)
2. เลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวาดบน Form คลิกเมาส์ค้างไว้แล้วลากเป็นทแยงมุม จะปรากฏเป็นจุดไขใบลารูปสี่เหลี่ยมล้อมรอบพื้นที่ไว้เพื่อบอกขนาดที่จะใช้ จากนั้นจึงปล่อยเมาส์ก็จะปรากฏ Control นั้นบน Form

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในรูป Object ที่วาดไว้ (Control ที่วางไปใน Form เมื่อวาดเสร็จ จะเรียก Control นั้นๆว่า "Object") จะเป็นชื่อและหมายเลขของ Object นั้นๆ เพื่อเป็นการจำแนก ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงลำดับของ Object ชนิดเดียวกันที่ปรากฏบน Form โดยจะเริ่มนับจาก 1 เป็นต้นไป เช่น Label1 , Label2 เป็นต้น

### การกำหนดคุณสมบัติ (Property) ให้กับ Object

หลังจากที่วาด Control ลงบน Form แล้ว ขั้นตอนต่อไปในการพัฒนาโปรแกรมด้วย Visual Basic ก็คือการกำหนดคุณสมบัติ (ต่อไปนี้จะเรียกว่า “Property”) ให้กับแต่ละ Object ที่ปรากฏอยู่บน Form Object หนึ่งๆจะมี Property ประจำตัวบางอย่างที่เป็นส่วนตัวไม่ซ้ำกับ Object อื่น แต่ก็มีบาง Property ที่เหมือนกับ Object อื่นๆ เช่น Property ที่เกี่ยวกับความยาว ความสูง ชื่อ เป็นต้น การกำหนด Property ให้กับ Object จะกระทำตั้งแต่เริ่มต้นวาด Object ลงบน Form หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงโดยการเขียนโปรแกรมก็ได้ สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการกำหนด Property ในขณะที่วาด Object ลงบน Form เท่านั้น

การกำหนด Property ให้กับ Object ทำได้ 2 วิธี คือ

#### วิธีที่ 1

คลิกที่ Object หรือ Form ที่ต้องการกำหนด Property จะปรากฏจุดสี่เหลี่ยมล้อมรอบ Object นั้น ยกเว้น Form ซึ่งจะมองไม่เห็นจุดดังกล่าว คลิกเมาส์ปุ่มขวาจะปรากฏเมนูขึ้นบนจอภาพ ให้เลือกเมนู Properties

#### วิธีที่ 2

เลื่อนเมาส์ไปคลิกยัง Object หรือ Form จะมีจุดล้อมรอบ แล้วให้กด F4 แทน (ในบางครั้งอาจจะปรากฏจอภาพของ Project Explorer Window แทนให้ปิดจอภาพดังกล่าวก่อน แล้วจึงเรียกจอภาพ Properties ใหม่)

จะปรากฏจอภาพสำหรับกำหนด Property ของ Form หรือ Object ขึ้นมาบนจอภาพ

### การ Run และเลิกงาน Project

Visual Basic จะเป็นทั้ง Interpreter และ Compiler กล่าวคือ เราสามารถทดลอง Run สิ่งต่างๆ ที่เราจัดทำขึ้นไปพร้อมกับการแก้ไขโปรแกรมในส่วนต่างๆ และเมื่อทำเสร็จจนสมบูรณ์แล้วก็สามารถที่จะ Compile โปรแกรมให้อยู่ในรูปของ Executed Program เพื่อนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกัน แต่ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็น Interpreter ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการ Run Project ที่เราจัดทำขึ้นนั้น ทำได้ 3 วิธี คือ	สำหรับวิธีเลิกงาน Project ทำได้ 2 วิธี คือ
<b>วิธีที่ 1</b> Run โดยการกด F5	<b>วิธีที่ 1</b> คลิกที่ Icon “End” ใน ToolBar
<b>วิธีที่ 2</b> คลิกที่ Icon “Run” ใน ToolBar	<b>วิธีที่ 2</b> เลือกจากเมนู Run และ End ตามลำดับ
<b>วิธีที่ 3</b> เลือกจากเมนู Run และ Start ตามลำดับ	

### หน้าที่ของแต่ละ Control และ Property ที่เกี่ยวข้อง

Control มาตรฐานที่ปรากฏอยู่ใน Toolbar จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป แต่ละ Control จะมี Property เฉพาะตัวแต่ก็มีบาง Property ที่เหมือนกัน (Property ที่มีชื่อเดียวกันจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน) เช่น Property Caption ของ Object Label และ Command Button ต่างก็ใช้สำหรับกำหนดข้อความบน Object เหมือนกัน เป็นต้น ดังนั้นในส่วนนี้เราจะมาเพิ่มศึกษาถึงหน้าที่ของ Control แต่ละตัว รวมทั้ง Property ต่าง ๆ ที่น่าสนใจ และเมื่อเราเรียนรู้ถึงหน้าที่ของ Property นั้น ๆ ใน Object หนึ่ง ก็สามารถไปประยุกต์ใช้ใน Object อื่นได้เช่นเดียวกัน

### Label

เป็น Control ที่ใช้สำหรับเขียนข้อความบนจอภาพ ซึ่งมี Property ต่าง ๆ ที่น่าสนใจดังนี้

- Property Caption ใช้สำหรับกำหนดข้อความให้แสดงบนจอภาพ
- Property Font ใช้สำหรับกำหนดรูปแบบของตัวอักษร
- Property Fore Color ใช้สำหรับกำหนดสีของตัวอักษร
- Property Alignment ใช้สำหรับกำหนดรูปแบบในการแสดงผลของข้อความที่กำหนดใน Property Caption
- Property Back Color ใช้สำหรับกำหนดสีฉากหลังของ Object

### TextBox

เป็น Control ที่ใช้สำหรับรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ซึ่งมี Property ต่าง ๆ ที่น่าสนใจดังนี้

- Property Text ใช้สำหรับรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดและแสดงผล
- Property Width ใช้สำหรับกำหนดความยาวของ Object
- Property Height ใช้สำหรับกำหนดความสูงของ Object

- **Property Left** ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของ Object ในแนวแกน X
- **Property Top** ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของ Object ในแนวแกน Y
- **Property MaxLength** ใช้สำหรับกำหนดจำนวนตัวอักษรสูงสุดที่จะได้รับ
- **Property MultLine** เป็นข้อมูลชนิดตรรกะ ซึ่งจะมีค่าเป็น จริง(True) หรือ เท็จ(False)

โดยเมื่อกำหนดให้มีค่าเป็นจริง จะทำให้สามารถรับข้อมูลได้หลายบรรทัดในกรณีที่ใช้กับข้อมูลชนิด Memo

### CommandButton

ใช้เป็นปุ่มต่างๆ บน Form ซึ่งมี Property ต่างๆ ที่น่าสนใจดังนี้

<b>ชื่อ Property</b>	การเช็ทค่า	
<b>Enabled</b>	ถ้ามีค่าเป็น True จะทำให้ Object นั้นใช้งานได้	
<b>Default</b>	ถ้ามีค่าเป็น True จะทำให้ปุ่มนั้นเป็นปุ่มที่ถูกเลือก โดยจะปรากฏกรอบสีดำล้อมรอบปุ่มนั้น	
<b>ToolTipText</b>	ให้แสดงข้อความอธิบาย Object ใดๆ เมื่อนำเมาส์ไปชี้ยัง Object นั้น	
<b>Picture</b>	ใช้สำหรับแสดงรูปภาพบนปุ่ม	
<b>Style</b>	ใช้สำหรับกำหนดรูปแบบของปุ่ม ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ	
	0 – Standard	เป็นปุ่มที่มีเฉพาะข้อความบนปุ่มเท่านั้น
	1. Graphical	เป็นปุ่มที่มีทั้งรูปภาพและข้อความบนปุ่ม โดยจะต้องใช้คู่กับ Property Picture ในการแสดงภาพ
<b>TabIndex</b>	ใช้สำหรับกำหนดลำดับในการทำงานของ Object บน Form	

### OptionButton

ใช้สำหรับกำหนดข้อความที่เป็นทางเลือก โดยบังคับให้เลือกตัวเลือกใดตัวเลือกหนึ่ง ซึ่งมี Property ที่น่าสนใจคือ Property Value ที่ใช้สำหรับกำหนดตัวเลือกเริ่มต้นไว้ล่วงหน้า ซึ่งมักจะเป็นตัวเลือกที่ถูกเลือกบ่อยครั้งกว่าตัวเลือกอื่น หรือใช้ตรวจสอบว่าตัวเลือกใดที่ถูกเลือกในการเขียน

### โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Frame

ใช้สำหรับวาดกรอบลงบน Form ซึ่งนอกจากความสวยงามแล้ว เรายังนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแบ่งกลุ่มของ OptionButton ที่ต่างกันออกจากกัน

### CheckBox

จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ OptionButton ต่างกันตรงที่สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ทางเลือก

### ListBox

เป็น Control ที่มีลักษณะเป็นทางเลือกเช่นเดียวกับ OptionButton แต่จะมีทางเลือกไม่จำกัด เนื่องจากสามารถเพิ่มเติมได้ และสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ทางเลือก ซึ่งแตกต่างจาก OptionButton ที่มีทางเลือกที่ตายตัวและเลือกได้เพียงทางเลือกเดียว Property ที่น่าสนใจได้แก่ Property List ซึ่งใช้สำหรับกำหนดข้อมูลให้กับ ListBox

หมายเหตุ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ในการกำหนดข้อมูลให้กับ ListBox ไม่ขอแนะนำให้กำหนดผ่านทาง Property List เพราะจะกล่าวถึงในบทต่อไป</li> <li>2. ในตัวอย่างนี้ เนื่องจากยังไม่ได้เขียนโปรแกรมขึ้นควบคุมการทำงานของ ListBox ดังนั้นเมื่อเลือกข้อมูลใน ListBox จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น ซึ่งรายละเอียดในการเขียนโปรแกรมกับ ListBox จะกล่าวถึงในบทต่อไป</li> </ol>
----------	--

### DriveListBox, DirListBox และ FileListBox

ทั้ง 3 Control นี้จะเกี่ยวข้องกับ File, Directory และ Drive โดยที่ DriveListBox จะทำหน้าที่เป็น Drop Down ListBox mujclf Drive ต่างๆ ของเครื่อง DirListBox ใช้แสดง Directory ต่างๆ และ FileListBox ใช้แสดงรายชื่อ File ใน Directory ที่เลือกไว้ใน DirListBox

### Image และ PictureBox

เป็น Control ที่ใช้อ่านไฟล์รูปภาพมาแสดงบน Form โดยการกำหนดชื่อไฟล์ใน Property Picture สามารถอ่านไฟล์รูปภาพได้ทั้งไฟล์ที่มีนามสกุล BMP, ICO, WMF, GIF และ

JPG ทั้ง 2 Control มีชื่อแตกต่างกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Control Image ไม่สามารถใช้งานร่วมกับ Control ที่ใช้ในการวาดรูปอื่น ๆ ได้ เช่น Control Line หรือ Shape เป็นต้น ส่วน Control PictureBox ทำได้
2. Control Image ไม่สามารถใช้กับไฟล์รูปภาพในลักษณะ Date Dynamic Exchange (DDE) ซึ่งเป็นความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโปรแกรมที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ Windows ได้ ส่วน Control PictureBox ทำได้
3. Control Image สามารถใช้งานในลักษณะของปุ่มที่มีรูปภาพได้ ส่วน Control PictureBox ทำไม่ได้
4. Control Image จะปรับขนาดของภาพที่อ่านมาให้เหมาะสมกับขนาดของ Object ที่เตรียมไว้โดยอัตโนมัติ ส่วน Control PictureBox จะต้องกำหนดให้ Property AutoSize มีค่าเป็น True จึงจะทำได้
5. Control Image สามารถย่อขยายรูปภาพได้ เมื่อกำหนดค่าให้กับ Property Stretch เป็น True ส่วน Control PictureBox ทำไม่ได้

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมให้อ่านในเรื่อง “การเขียนโปรแกรมกับ Image และ PictureBox  
Timer

เป็น Control ที่จะไม่ปรากฏบนจอภาพเมื่อทำการ Run ทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลาเพื่อกำหนดการทำงานของโปรแกรมตามเวลาที่กำหนด จึงใช้ในการเขียนโปรแกรมเพียงอย่างเดียว สำหรับรายละเอียดจะกล่าวถึงในเรื่อง “การเขียนโปรแกรมกับ Timer

Data

เป็น Control ที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

## 6.2 หลักการเขียนโปรแกรม

Procedure และ Function ใน Visual Basic

Visual Basic ยังคงใช้หลักการแบ่งโปรแกรมออกเป็นส่วนๆ ที่เรียกว่า “โมดูล” (ตามหลักการเขียนโปรแกรมแบบ Modularity) โดยจะแบ่งโปรแกรมออกเป็น “Procedure” และ “Function” แต่เนื่องจากการกำหนดการทำงานของโปรแกรมจะกำหนดตาม Event ที่เกิดขึ้นกับ Object ดังนั้นการแบ่ง Procedure ใน Visual Basic จึงแบ่งตามชื่อ Object และ Event

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งชื่อของ Procedure ใน Visual Basic จะอยู่ในรูปแบบดังนี้

```

Private Sub Object-
Name-Object-Event (parameters)
.
.
.
End Sub

```

โดยที่ Private Sub จะเป็นคำเฉพาะที่ใช้บอกว่าเป็น Procedure

Object-Name ได้แก่ ชื่อของ Object ที่เราต้องการเขียนโปรแกรม

Object-Event ได้แก่ ชื่อของ Event ซึ่งแต่ละ Object ก็จะมี Event เฉพาะตัว เช่นเดียวกับ Property

เป็นเครื่องหมายที่ใช้เชื่อมระหว่าง Object-Name และ Object-Event

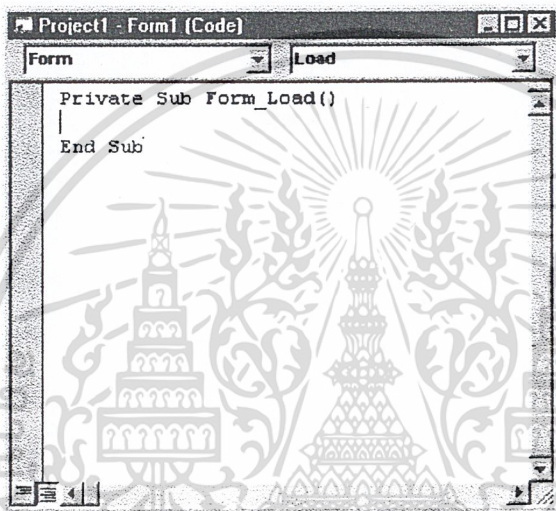
Parameters ได้แก่ ค่าต่างๆ ที่จะส่งมาให้ Procedure ในไปใช้งาน (จะมีหรือไม่ก็ได้)

End Sub เป็นคำเฉพาะที่ใช้สำหรับจบการทำงานของแต่ละ Procedure

ชื่อของ Procedure จะประกอบขึ้นจาก Object-Name และ Object-Event โดยมีขีดกั้น ในการดูว่าแต่ละ Object มี Event ไດเกิดขึ้นได้บ้าง สามารถดูได้ใน Editor ของ Visual Basic ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

## การใช้ Editor ของ Visual Basic

เครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาโปรแกรมของทุกๆ ภาษาคอมพิวเตอร์ คือ “Editor” ในการเรียก Editor ของ Visual Basic ขึ้นมาทำงาน มี 2 ลักษณะ คือ Editor ของ Object เรียกใช้โดยการดับเบิลคลิกที่ Object ที่ต้องการเขียนโปรแกรม แต่ถ้าต้องการเรียกใช้ Editor ของ Form จะต้องดับเบิลคลิกตรงตำแหน่งที่ไม่มี Object ใดวางอยู่ (ในขณะที่ยังไม่ได้ Run โปรแกรม)



Editor จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ

### ส่วนที่ 1 ส่วนแสดงรายชื่อ Object

ใช้แสดงชื่อของ Object ต่างๆ ที่เราได้วางไว้บน Form รวมทั้งส่วนของ General ที่ใช้ในการนิยาม (Declare) ตัวแปร และ User-Defined Procedure หรือ User-Defined Function สำหรับรายละเอียดของการนิยามตัวแปรและการเขียน User-Defined Procedure และ User-Defined Function จะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

### ส่วนที่ 2 ส่วนแสดงรายชื่อ Event

เป็นส่วนของ Event ภายใต้อ Object นั้น ซึ่งแต่ละ Object จะมี Event ที่แตกต่างกันไป สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับ Event จะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

### ส่วนที่ 3 ส่วนสำหรับเขียนโปรแกรม

ใช้สำหรับเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเข้าสู่จอภาพ Editor ทุกครั้ง ในส่วนที่ 3 จะปรากฏตัวโปรแกรมของ Procedure ของ Object ที่เราดับเบิ้ลคลิก เพื่อเรียกจอภาพ Editor แต่ถ้ายังไม่ได้เขียนโปรแกรมใด ๆ ไว้ ก็ จะปรากฏ Procedure ว่างแทน ในการเรียก Procedure ที่ต้องการขึ้นมา ทำได้โดย

1. เลือกชื่อ Object จากส่วนแสดงรายชื่อ Object
2. เลือก Event ที่ต้องการในส่วนแสดงรายชื่อ Event (Event ที่ปรากฏขึ้นในส่วนนี้ จะเป็น Event ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของ Object ที่เลือกไว้ในข้อ 1)

Procedure ที่ต้องการ ก็จะปรากฏในส่วนสำหรับเขียนโปรแกรม

หมายเหตุ	ชื่อในทั้ง 3 ส่วนของ Editor จะเรียงตามตัวอักษร
----------	--

Editor ของ Visual Basic จะมีส่วนที่เรียกว่า “Automatic Syntax Checking” ซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของ Syntax ในแต่ละคำสั่ง โดยจะเริ่มตรวจสอบทันทีเมื่อมีการกด Enter ซึ่งถ้ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ก็จะมีข้อความมาเตือนให้ผู้ใช้ทราบในทันที ทำให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขคำสั่งได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ Visual Editor ยังมีความสามารถพิเศษในการแยกคำเฉพาะ (Reserved Word) ออกจากตัวแปรต่าง ๆ โดยจะทำการเปลี่ยนตัวอักษรตัวแรกของแต่ละคำสั่ง ให้เป็นตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เสมอ ไม่ว่าตัวอักษรที่ป้อนเข้าไปจะเป็นอักษรตัวเล็ก หรือตัวใหญ่ก็ตาม เช่น คำสั่ง End อาจพิมพ์เป็น end, End หรือ END เมื่อพิมพ์เสร็จ Visual Basic จะเปลี่ยนเป็น End เสมอสำหรับตัวแปรที่เราได้ Declare (กำหนดนิยาม) ไว้ก็เช่นเดียวกัน เมื่อพิมพ์ตัวแปรดังกล่าว Visual Basic จะเปลี่ยนรูปแบบของตัวแปรนั้น ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับที่ Declare ไว้ เช่น ทำการ Declare ตัวแปร “NumStudents” ไว้เมื่อพิมพ์คำสั่ง “numstudents” Visual Basic จะทำการเปลี่ยนตัวแปรนี้ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับที่ได้ Declare ไว้โดยจะเปลี่ยนเป็น “NumStudents” โดยอัตโนมัติ

นอกจากนั้น Visual Basic ยังได้ใช้สีเพื่อแยกความแตกต่างของคำสั่ง, ตัวแปร และ Comment ออกจากกัน โดยจะทำการเปลี่ยนสีของคำสั่งให้เป็นสีน้ำเงิน ตัวแปรเป็นสีดำ และ Comment เป็นสีเขียว (การเขียน Comment ใน Visual Basic จะเขียนตามเครื่องหมาย ‘)’ ให้โดยอัตโนมัติเมื่อพิมพ์เสร็จ ในการเรียกใช้ Editor ของ Object ขึ้นมาทำงานนั้น Visual Basic จะเตรียม Procedure เอาไว้ให้เสมอ โดยจะอยู่ในรูปแบบที่ขึ้นต้นด้วยประโยค Private Sub และจบด้วยประโยค End Sub ซึ่งหน้าที่ของผู้พัฒนาโปรแกรมก็คือ จะต้องพิมพ์คำสั่งต่างๆ ลงไปในไม่ระหว่าง 2 ประโยคนี้เพื่อให้แต่ละ Object ทำงานภายใต้ Event ต่างๆ ตามต้องการครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หมายเหตุ</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การเพิ่ม แทรก หรือลบบรรทัดใน Editor ของ Visual Basic จะมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับ Microsoft Word ดังนั้นจึงขอไม่กล่าวถึงในที่นี้</li> <li>2. เมื่อต้องการปิดจอภาพของ Editor ทำได้โดยคลิกที่ปุ่มกากบาทเหมือนการเปิดจอภาพบน Windows ทั่วไป หรือเมื่อต้องการย้ายการทำงานไปที่จอภาพอื่น เช่น Form หรือจอภาพ Property ก็เพียงคลิกที่จอภาพที่ต้องการ จอภาพนั้นก็จะปรากฏขึ้นมาทับจอภาพของ Editor แทน</li> </ol>
-----------------	---

ใน Visual Basic 5.0 ได้มีการเพิ่มเติมความสามารถให้กับ Editor ในการแสดงรูปแบบของคำสั่ง (Syntax) ที่กำลังพิมพ์ขึ้นมาบนจอภาพ โดยจะปรากฏอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมเล็กๆ ได้คำสั่งที่กำลังพิมพ์

#### ประเภทของข้อมูล (Data Type)

ใน Visual Basic จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 7 ประเภท ดังตาราง

ประเภทตัวแปร	สัญลักษณ์	เนื้อที่ที่ใช้	ขอบเขตของค่าที่รับได้
String	\$	ความยาวของ String + 4	ใช้ได้ถึง 65,535 ตัวอักษร
Integer	%	2 Bytes	-32,768 ถึง +32,767
Long	&	4 Bytes	-2,147,483,648 ถึง - 2,147,483,647
Single	!	4 Bytes	-3.402823E+38 ถึง -1.401298E+45 และ +1.401298E-45 ถึง 3.402823 E+38
Double	#	8 Bytes	-1.797693134862315D+308 ถึง - 4.94066D-324 และ +4.94066D-324 ถึง + 1.797693134862315D+308
Currency	@	8 Bytes	-922337203685477.5808 ถึง - 922337203685477.5807
Variant	(None)	Varies	Any of the other data types

เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานโดยไม่หวังผลตอบแทนใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. String ใช้เก็บข้อความต่างๆ
2. Integer และ Long ใช้เก็บค่าของเลขจำนวนเต็ม ซึ่ง Long จะใช้กับเลขจำนวนที่มีขนาดใหญ่
3. Single และ Double ใช้เก็บค่าของเลขจำนวนจริง ซึ่ง Double จะใช้กับเลขจำนวนที่มีขนาดใหญ่
4. Currency ใช้เก็บค่าที่เป็นจำนวนเงิน
5. Variant ใช้เก็บค่าประเภทใดก็ได้ใน 6 ประเภทข้างต้น โดยจะแปรเปลี่ยนไปตามข้อมูลที่มันจัดเก็บ

ตัวแปรอีกประเภทหนึ่งที่ต่างจากตัวแปรทั้ง 7 ประเภทข้างต้น ก็คือ ค่าคงที่ (Constant) ซึ่งใช้เก็บค่าใดค่าหนึ่งตลอดการใช้โปรแกรม โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า เช่น จะใช้ตัวแปร PI เป็นค่าคงที่

ตัวแปรประเภท String มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ String ในแบบที่ไม่จำกัดความยาว (Variable Length) และแบบจำกัดความยาว (Fixed Length) ซึ่ง String แบบ Variable length นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงความยาว หรือจำนวนตัวอักษรได้ ขึ้นอยู่กับความยาวของข้อมูลที่มันเก็บอยู่ ส่วน String แบบ Fixed Length จะตรงข้ามกับแรกคือ ความยาวของ String จะมีค่าสูงสุดตามที่ได้กำหนดไว้ ถ้านำ String ชนิดนี้ไปเก็บข้อมูลที่มีความยาวเกินกว่าที่กำหนดไว้ ตัวอักษรที่เกินจะถูกจัดการตัดค่าทิ้งไป

ตัวอย่างการกำหนดให้ตัวแปร String เป็นแบบ Fixed length และ Variable length

```
Dim Rstring As String * 15
```

```
Lstring$ = Rstring
```

ในบรรทัดแรกจะเป็นการกำหนด String แบบ Fixed length ที่มีขนาด 15 ตัวอักษร และทำการสร้างตัวแปร String ชื่อ Lstring\$ ซึ่งเป็นแบบ Variable Length ในบรรทัดที่ 2 โดยที่เริ่มต้นจะมีขนาด 15 ตัวอักษร เพราะถูกกำหนดให้มีค่าเดียวกับ Rstring แต่ขนาดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในภายหลัง ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กฎในการตั้งชื่อตัวแปร

1. ชื่อของตัวแปรจะยาวได้ไม่เกิน 40 ตัวอักษร
2. ตัวอักษรตัวแรกของชื่อจะต้องเป็นตัวอักษร A-Z
3. ตัวอักษรตัวถัดไปจะเป็นตัวอักษร A-Z ตัวเลข 0-9 หรือขีด (-)
4. ตัวอักษรตัวสุดท้ายอาจเป็นเครื่องหมายที่ใช้แสดงถึงประเภทของตัวแปร ได้แก่ %, &, \$, #, !, @ หรืออาจไม่มีเครื่องหมายใดๆ ก็ได้ ในกรณีที่ทำการ Declare ตัวแปรด้วยคำสั่ง Dim
5. ชื่อของตัวแปรจะต้องไม่ซ้ำกับคำเฉพาะ (Reserved Word)
6. ตัวอักษรในชื่อสามารถเป็นได้ทั้งตัวอักษรตัวใหญ่และตัวเล็ก

### การ Declare คำตัวแปร

การ Declare คำตัวแปรใน Visual Basic ทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 **Explicit Declaration** : กำหนดประเภทของตัวแปรโดยใช้คำสั่ง

Dim <ชื่อตัวแปร> AS <ประเภทตัวแปร>

การกำหนดในลักษณะนี้จะกำหนดไว้ในส่วน General หรือจะกำหนดไว้ต้นโปรแกรมของแต่ละ Procedure ก็ได้ แต่ทั้ง 2 วิธีจะมีข้อแตกต่างกันคือตัวแปรที่ Declare ไว้ในส่วน General จะเป็นตัวแปรส่วนกลางที่ Procedure ต่าง ๆ ภายใน Form เดียวกันสามารถเรียกใช้งานได้ แต่ถ้าทำการ Declare ไว้ใน Procedure ใด Procedure หนึ่งก็จะใช้ได้เพียงใน Procedure นั้นเท่านั้น จะไม่สามารถเรียกใช้ใน Procedure อื่นได้ โดยจะถือว่าเป็นตัวแปรคนละตัวกัน ถึงแม้จะมีชื่อเดียวกันก็ตาม

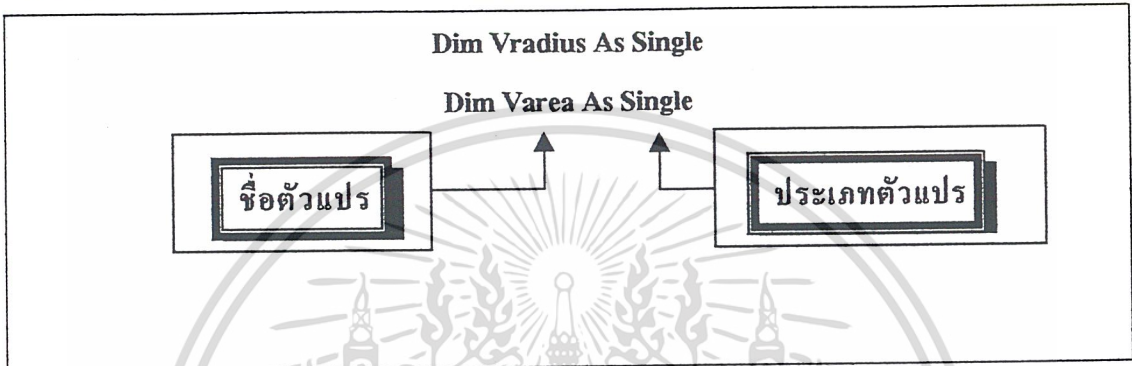
วิธีที่ 2 **Implicit Declaration** : การกำหนดประเภทของตัวแปรจะทำอยู่ในรูป

ชื่อตัวแปร <Type Identifier>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น Mradius!, Vamount@ เป็นต้น ซึ่งการกำหนดประเภทตัวแปรลักษณะนี้ ตัวแปรนั้นจะต้องเขียนในลักษณะนี้ตลอดการใช้งานใน Procedure นั้น และจะถือว่าเป็นตัวแปร ที่ถูกกำหนดให้ใช้งานเฉพาะใน Procedure นั้นเท่านั้น

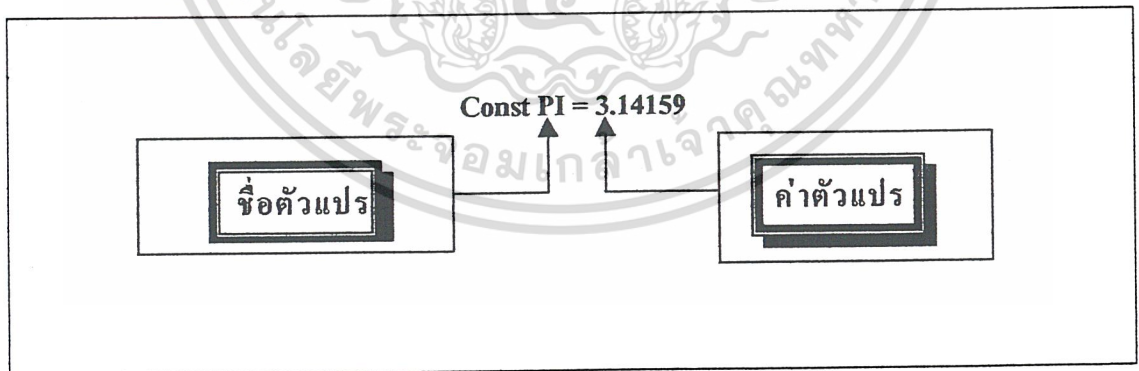
สำหรับตัวอย่างการใช้งานในวิธีที่ 1 ก็คือ การ Declare ตัวแปรในตัวอย่างที่ 3.3 ได้แก่ ประโยคคำสั่ง



สำหรับการกำหนดค่าตัวแปร Constant ให้ใช้ประโยคคำสั่ง

```
Const <ชื่อตัวแปร> = <ค่าของตัวแปร>
```

ดังเช่นดังนี้



**Operator ต่างๆ**

Operator ที่ใช้ใน Visual Basic จะแบ่งออกได้ 4 ประเภท ดังนี้

**ประเภทที่ 1 Assignment Operator**

ได้แก่เครื่องหมาย “=” ซึ่งใช้กำหนดค่าให้กับตัวแปร หรือ Property ของ Object

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Height\%} = 100$$

$$\text{Areal} = \text{PI} * \text{Radius} ^ 2$$

$$\text{MyBox.Text} = \text{MyPrompt\$}$$

Operator นี้ จะกำหนดค่าให้กับตัวแปร หรือ Property ของ Object ที่อยู่ทางซ้ายของ Object ที่อยู่ทางซ้ายของ เครื่องหมาย “=” ค่าที่กำหนดให้กับตัวแปรอาจเป็นค่าคงที่ หรือประโยคคำสั่ง (Expression) ก็ได้ ตัวอย่างเช่น การกำหนดให้ตัวแปร Height ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรประเภท Integer (มีเครื่องหมาย % อยู่หลังตัวแปร) มีค่าเท่ากับ 100 หรือการนำค่าจากการคำนวณของประโยคคำสั่ง  $\text{PI} * \text{Radius} ^ 2$  (นำค่าของตัวแปร PI คูณกับยกกำลังสองของตัวแปร Radius) ให้แก่ตัวแปร Area ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรประเภท Single (มีเครื่องหมาย ! อยู่หลังตัวแปร)

จากบรรทัดที่ 3 ของตัวอย่างข้างต้น เป็นการกำหนดค่าให้กับ Property Text ของ Object MyBox (เขียนในรูป MyBox Text) โดยค่าที่กำหนดให้ได้มาจากตัวแปร MyPrompt ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรประเภท String (มีเครื่องหมาย \$ อยู่หลังตัวแปร)

หมายเหตุ	<ol style="list-style-type: none"> <li>ในการอ้างถึง Property ของ Object จะเขียนรูป Object-Name.Property เสมอ เช่น Command1.Caption หรือ MyBox.Text เป็นต้น</li> <li>Property Text จะใช้รับค่าจากคีย์บอร์ด หรือ แสดงผลใน Object TextBox ก็ได้ เช่น  <math display="block">\text{A\\$} = \text{MyBox.Text}</math>           ตัวแปร A รับค่าจาก TextBox MyBox (ค่าที่ป้อนเข้ามา)  <math display="block">\text{MyBox.Text} = \text{A\\$}</math>           Object TextBox ชื่อ MyBox รับค่าจากตัวแปร A ผ่านทาง Property Text</li> <li>ถ้าไม่ระบุ Property Text ก็ได้ ค่าที่รับหรือกำหนดให้กับ Property นี้ ก็ยังมีค่าเหมือนเดิม เช่น           <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <math display="block">\text{A\\$} = \text{MyBox}</math> <math display="block">\text{MyBox} = \text{A\\$}</math> </div> </li> </ol>
----------	--

## ประเภทที่ 2 Arithmetic Operators

เป็น Operator ที่ใช้ในการคำนวณ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนชื่อผู้พิมพ์/ผู้เผยแพร่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมาย	ความหมาย	ตัวอย่าง
^	ยกกำลัง	$A! = 3^4$ (3 ยกกำลัง 4)
-	เครื่องหมายลบ	$A! = -1$
*, /	คูณ หรือหาร	$A! = B! * C!$ หรือ $A! = B! / C!$
\	การหารแบบ Integer	$A\% = B\% \setminus C\%$
Mod	Modulo	$A\% = B\% + \text{Mod } C\%$
+, -	บวก หรือ ลบ	$A\% = B\% + C\%$ หรือ $A\% = B\% - C\%$
&	การต่อ String	$AS = BS \& CS$

ในการต่อ String มีสิ่งที่น่าสนใจ คือ เราสามารถใช้ Operator “+” แทน Operator “&” ได้ เช่น

```

AS = "Hello"
BS = "World"
CS = AS & "," & BS
DS = AS + "." + BS

```

ค่าของ CS และ DS จะมีค่าเท่ากันคือ “Hello, World” แต่ถ้าเราใช้ Operator “+” ในการต่อ String ซึ่งเก็บอยู่ในกับตัวแปรประเภท Variant กลับให้ผลที่ต่างกับการใช้ Operator “&” ในการต่อ เช่น

```

A = "5"
B = "6"
C = A + B
D = A & B

```

ตัวแปร A และ B ซึ่งไม่ได้ทำการ Declare จึงถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรประเภท Variant และใช้เก็บ String “5” และ “6” ตามลำดับ ตัวแปร C จะมีค่าเป็น 11 เพราะค่าของ A และ B จะถูกแปลงไปเป็นตัวเลขด้วยความเข้าใจว่าเป็นการบวก ในขณะที่ D จะมีค่าเป็น “56” ซึ่งด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ประเภทที่ 3 Relational Operators

ใช้สำหรับเปรียบเทียบประโยคคำสั่งตั้งแต่ 2 ประโยคขึ้นไป ซึ่งผลที่ได้จะเป็นค่าจริง (True) หรือ เท็จ (False) ดังนั้นจึงมักใช้ในประโยคคำสั่ง If

Operator	ความหมาย	ตัวอย่าง
=	เท่ากับ	$A\% = B\%$ จะเป็นจริง ถ้าค่าของ A% เท่ากับค่าของ B%
<>	ไม่เท่ากับ	$A\% <> B\%$ จะเป็นจริงถ้าค่าของ A% ไม่เท่ากับค่าของ B%
>	มากกว่า	$A\% > B\%$ จะเป็นจริงถ้าค่าของ A% มากกว่าค่าของ B%
<	น้อยกว่า	$A\% < B\%$ จะเป็นจริงถ้าค่าของ A% น้อยกว่าค่าของ B%
>=	มากกว่าหรือเท่ากับ	$A\% > = B\%$ จะเป็นจริงถ้าค่าของ A% มากกว่าหรือเท่ากับค่าของ B%
<=	น้อยกว่าหรือเท่ากับ	$A\% < = B\%$ จะเป็นจริงถ้าค่าของ A% น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ B%
Like	ใช้เปรียบเทียบ String	$A\$ \text{ like } B\$$ จะเป็นจริง ถ้าค่าของ String A ตรงกับค่าของ String B
Is	ใช้เปรียบเทียบ Object	$A \text{ Is } B$ จะเป็นจริงถ้าค่าของ A และ B อ้างถึง Object เดียวกัน

ตัวอย่างเช่น ประโยคคำสั่ง `If A% = B% Then Label1.Caption = "These are equal"` ซึ่งหมายถึง ถ้าค่าของตัวแปร A เท่ากับค่าของตัวแปร B แล้ว ให้ใส่ข้อความ "These are equal" ใน Property Caption ของ Object Label1

### ประเภทที่ 4 Logical (Bitwise) Operators

Operator นี้ใช้เชื่อมประโยคคำสั่ง (Expression) หลาย ๆ ประโยคเข้าด้วยกัน โดยผลที่ได้จะมีค่าเป็น True หรือ False เช่นเดียวกับแบบที่ 3 แต่จะเกิดจากการนำเอาค่า True หรือ False ของแต่ละประโยคคำสั่งมาทำการประมวลผล

Operator	สำหรับ	ตัวอย่าง
Not	Logical Negation	<code>If Not (A% = B%)</code>
And	Logical and	<code>If (A% = B%) And (C% = D%)</code>
Or	Inclusive or	<code>If (A% = B%) Or (C% = D%)</code>

<b>Xor</b>	<b>Exclusive or</b>	<b>If (A% = B%) Xor (C% = D%)</b>
<b>Eqv</b>	<b>Logical Equivalence</b>	<b>If (A% = B%) Eqv (C% =D%)</b>
<b>Imp</b>	<b>Implication</b>	<b>If(A% = B%) Imp (C% = D%)</b>

สำหรับ Operator Not ผลที่ได้จากการทำจะมีผลตรงข้ามกับค่าตั้งต้นเสมอ

ค่าของประโยค	ผลที่ได้จาก Operator Not
True	False
False	True

สำหรับ Operator And ผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าของประโยคที่มากกว่าด้วย ซึ่งถ้าค่าของทั้ง 2 ประโยคที่มากกว่าเป็น True ทั้งคู่ ผลที่ได้ก็จะเป็น True เสมอ

ค่าของประโยคที่ 1	ค่าของประโยคที่ 2	ผลที่ได้จาก Operator And
True	True	True
True	False	False
False	True	False
False	False	False

สำหรับ Operator Or ถ้าทั้ง 2 ประโยคเป็น False ทั้งคู่ ผลที่ได้จะเป็น False เสมอ

ค่าของประโยคที่ 1	ค่าของประโยคที่ 2	ผลที่ได้จาก Operator Or
True	True	True
True	False	True
False	True	True
False	False	False

สำหรับ Operator Exclusive Or (Xor Operator) ถ้าทั้ง 2 ประโยคมีค่าต่างกัน ผลที่

ได้จะเป็น True เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของประโยคที่ 1	ค่าของประโยคที่ 2	ผลที่ได้จาก Operator And
True	True	False
True	False	True
False	True	True
False	False	False

สำหรับ Operator Logical Equivalence (Eqv Operator) ถ้าทั้ง 2 ประโยคมีค่าต่างกัน ผลที่ได้จะเป็น False เสมอ

ค่าของประโยคที่ 1	ค่าของประโยคที่ 2	ผลที่ได้จาก Operator Eqv
True	True	True
True	False	False
False	True	False
False	False	True

สำหรับ Operator Implication (Quarter Imp) ผลที่ได้จะมีค่าเป็น False กรณีเดียวคือ ค่าของประโยคที่ 1 เป็น True และค่าของประโยคที่ 2 เป็น False

ค่าของประโยคที่ 1	ค่าของประโยคที่ 2	ผลที่ได้จาก Operator Imp
True	True	True
True	False	False
False	True	True
False	False	True

### ส่วนควบคุมการทำงานของโปรแกรม (Process Control)

ส่วนที่ใช้ควบคุมลำดับการทำงานและทิศทางของโปรแกรม ประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่ง 3 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มคำสั่ง Branching, Iteration และ Conditional

#### กลุ่มคำสั่ง Branching

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการกระโดดข้ามการทำงานจากคำสั่งหนึ่งไปอีกคำสั่งหนึ่ง แบ่ง

ออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มคำสั่งที่เมื่อกระโดดข้ามไปยังอีกคำสั่งหนึ่งแล้วจะไม่กลับมา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานยังคำสั่งที่อยู่ถัดจากคำสั่งที่กระโดดไป และกลุ่มที่สองเมื่อกระโดดไปทำงานยังคำสั่งอีกส่วนหนึ่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะกลับมาทำงานยังคำสั่งถัดจากคำสั่งที่กระโดดไปต่อไป

### กลุ่มคำสั่ง Iteration

เป็นกลุ่มคำสั่งที่มีลักษณะการทำซ้ำ บ่อยครั้งที่โปรแกรมจะมีลักษณะการทำงานที่ซ้ำคำสั่งเดิมเป็นจำนวนครั้งภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

### กลุ่มคำสั่ง Conditional

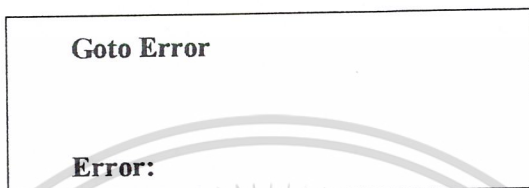
เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการตัดสินใจในการทำงานตามเงื่อนไขต่างๆ ภายในโปรแกรม  
กลุ่มคำสั่งทั้ง 3 กลุ่ม จะประกอบไปด้วยคำสั่งต่างๆ ดังตาราง

ชื่อ	ประเภท	ใช้สำหรับ
Do ... Loop	คำสั่ง	ทำซ้ำคำสั่งจนกระทั่งเงื่อนไขเป็นเท็จ
Exit	คำสั่ง	เลิกการทำซ้ำ
For ... Next	คำสั่ง	ทำซ้ำตามจำนวนครั้งที่กำหนด
Gosub ... Return	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยัง Subroutine แล้วกลับไปยังโปรแกรมที่ทำการ Call เมื่อทำเสร็จ
Goto	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยังบรรทัดใด ๆ ในโปรแกรม
If...Then...Else ...	เงื่อนไข	กำหนดเงื่อนไขในการทำงานแบบทางเลือกเดียว
If...Then...Elseif ...	เงื่อนไข	กำหนดเงื่อนไขในการทำงานแบบมีหลายทางเลือก
On...Gosub	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยัง Subroutine ตามเงื่อนไข (เสร็จแล้วจะกลับมาที่เดิม)
On ... Goto	คำสั่ง	ย้ายการทำงานไปยังบรรทัดใด ๆ ตามเงื่อนไข (ไม่กลับมาที่เดิมอีก)
Select Case...	คำสั่ง	กำหนดเงื่อนไขในการทำงานโดยมีหลายทางเลือก
Stop	คำสั่ง	หยุดการทำงานในการทำ Debugging
While ... Wend	คำสั่ง	ทำซ้ำการทำงานในขณะที่เงื่อนไขเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กลุ่มคำสั่ง Branching

ได้แก่ คำสั่ง Goto และ Gosub โดยจะกระโดดไปยังคำสั่งแรกที่อยู่ถัดจาก Label ที่กำหนด แต่จะแตกต่างกันที่ คำสั่ง Goto เมื่อกระโดดไปทำงานแล้วจะไม่กลับมาทำงานยังคำสั่งที่อยู่ถัดจาก คำสั่ง Goto อีก แต่คำสั่ง Gosub เมื่อกระโดดไปแล้ว สามารถกลับมาทำงานยังคำสั่งที่อยู่ถัดจาก คำสั่ง Gosub ได้ เช่น

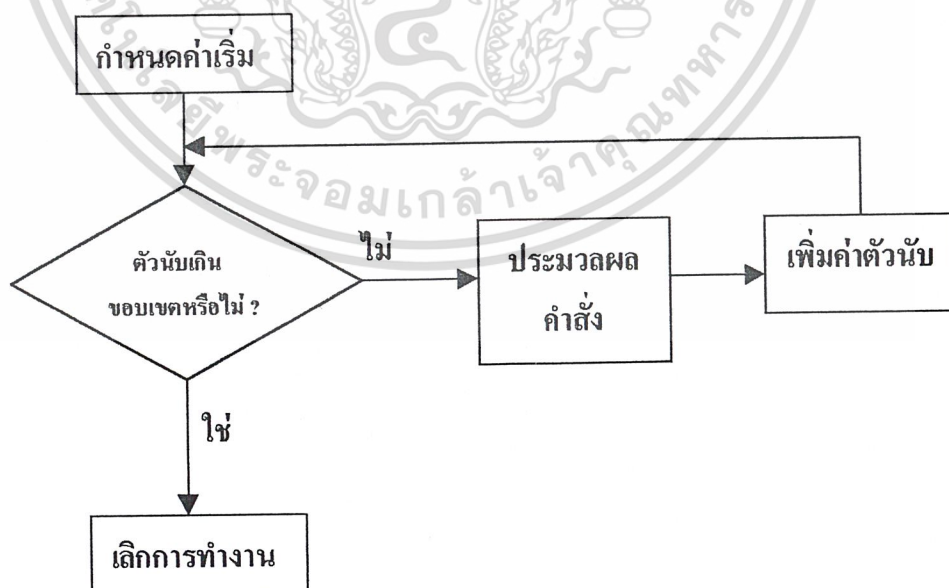


### กลุ่มคำสั่ง Iteration

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการทำซ้ำ มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบคือ คำสั่ง For ... Next, Do ... Loop และ While ...End ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีลักษณะการทำซ้ำที่แตกต่างกันไป

#### คำสั่ง For ... Next

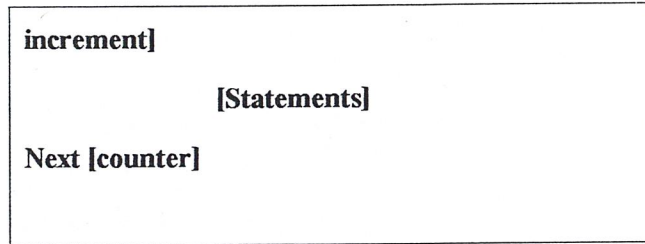
มีลักษณะการทำซ้ำในแบบ Block โดยสามารถกำหนดค่าเริ่ม และค่าสิ้นสุดที่ใช้ควบคุม จำนวนครั้งของการทำซ้ำ ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวนับ (Counter) ตัวนับนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ค่าเริ่มต้น และจะถูกเปลี่ยนแปลงค่าทุกครั้งในแต่ละรอบของการทำซ้ำ จนกระทั่งค่าของตัวนับมีค่า เกินค่าสิ้นสุดที่กำหนดไว้ ก็จะออกจาก Block การทำซ้ำ เพื่อทำงานในบรรทัดถัดไป ดังรูป



#### รูปแบบของคำสั่ง For ... Next คือ

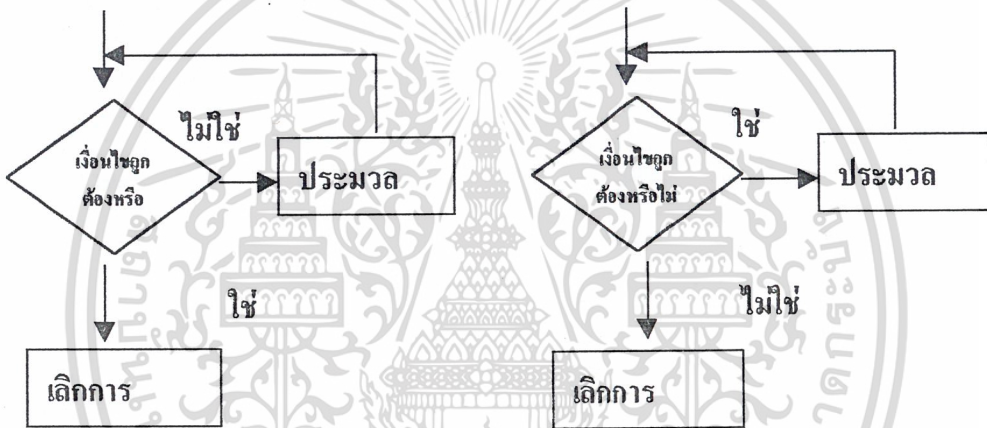
For counter = Startvalue To endvalue [Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ อย่างฉับพลัน โปรดตรวจสอบทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



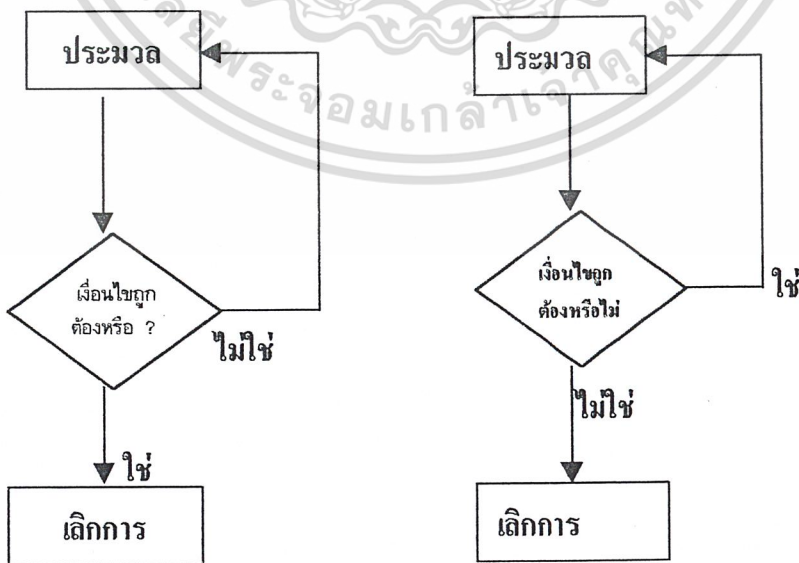
**คำสั่ง Do ... Loop**

จะมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบคือ Do While, Do until, Loop While และ Loop Until ทั้ง 4 แบบนี้จะทำซ้ำเรื่อยๆ จนกว่าเงื่อนไขที่ใช้ควบคุมมีค่าเป็น False ขั้นตอนการทำงานของทั้ง 4 แบบแสดงด้วย Flow Chart ได้ดังรูป



a) Do Until ... Loop

b) Do While ... Loop



c) Do ... Loop Until

d) Do ... Loop While

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงถึงเจ้าของเอกสารทุกประการ

### คำสั่งที่ใช้ในการออกจาก Loop การทำซ้ำ

คำสั่งดังกล่าวก็คือ Exit For และ Exit Do คำสั่ง Exit For จะใช้เลิกงานจากคำสั่ง For ... Next ส่วนคำสั่ง Exit Do จะใช้เลิกงานจากคำสั่งทำซ้ำที่เริ่มต้นด้วย Do

### กลุ่มคำสั่ง Conditional

ใช้กำหนดให้กลุ่มคำสั่งภายใต้เงื่อนไขทำงาน เมื่อเงื่อนไขที่ใช้ควบคุมเป็นจริง คำสั่งเหล่านี้ได้แก่ คำสั่ง

IF ... Then ... Else และ Select Case ... End Select

### รูปแบบโดยทั่วไปของประโยคเงื่อนไข

แบบที่ 1

If < เงื่อนไข > Then actin

เช่น If A = B Then C = True

แบบที่ 2

If < เงื่อนไข > Then

action

[Else]

[else-action]

End if

เช่น	If A = B Then C = C + 1 D = D + 1 End If	หรือ	If A = B Then C = True Else C = False End If
------	---	------	--

แบบที่ 3

If < เงื่อนไข > Then

[actions-1]

[Else If < เงื่อนไขที่ 2 > Then]

[actions-2]

[Else If < เงื่อนไขที่ n > Then]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น [Else] ถ้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[else-actions]

End If

และในกรณีที่มีหลายเงื่อนไขแต่ใช้ตัวแปรตัวเดียวกันในการเปรียบเทียบ สามารถใช้คำสั่ง Select Case แทนการใช้ If ... Then ... Else ในแบบที่ 3 ได้ดังตัวอย่าง

```

Select Case ThisColor
    Case Blue
        CtrBlue = CtrBlue + 1
    Case Red, Green
        CtrNetBlue = CtrNetBlue + 1
    Case Else
        CtrOther = CtrOther + 1
End Select
  
```

### ขอบเขตการใช้งานของตัวแปร

ตัวแปรที่ถูกกำหนดขึ้นด้วยคำสั่ง Declare จะมีขอบเขตในการใช้งานภายใต้ Procedure หรือ Function ต่างๆขึ้นอยู่กับว่าการ Declare ตัวแปรนั้นกระทำ ณ ที่ใดของโปรแกรม ดังนั้นจึงสามารถแบ่งประเภทของตัวแปรได้ตามขอบเขตการใช้งานออกเป็น 2 แบบคือ

1. ตัวแปรแบบ Private ตัวแปรชนิดนี้จะมีขอบเขตการใช้งานอยู่ในเฉพาะ Procedure หรือ Function ที่ทำการ Declare ดังนั้นตัวแปรชื่อเดียวกันจึงสามารถ Declare ในต่าง Procedure หรือ Function กันได้ โดยที่ Visual Basic จะมองตัวแปรเหล่านั้นเป็นตัวแปรคนละตัวกัน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรประเภทนี้ใน Procedure หรือ Function หนึ่ง จะไม่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรประเภทนี้ ทำได้ทั้งแบบ Implicit และแบบ Explicit แต่ต้องกำหนดใน Procedure หรือ Function ที่ต้องการใช้งาน

2. ตัวแปรแบบ Public ตัวแปรประเภทนี้จะต่างจากแบบแรก กล่าวคือ จะมีขอบเขตการใช้งานอยู่ในทุก ๆ Procedure หรือ Function ภายใต้ Form เดียวกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรประเภทนี้ไม่ว่าที่ Procedure หรือ Function อื่นด้วยในการ Declare จึงกระทำในส่วนของ General

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Array

Array คือชุดของตัวแปรที่แสดงอยู่ในรูปของลำดับที่เพื่อใช้สำหรับเก็บค่าของข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน Array จะแตกต่างจากตัวแปรโดยทั่วไป กล่าวคือ ตัวแปรทั่วไปจะถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำแต่ละตำแหน่งที่ไม่ต่อเนื่องกัน ส่วนตัวแปรประเภท Array จะถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำในตำแหน่งที่ต่อเนื่องกันเป็นผืน ซึ่งจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กตามจำนวน มิติ (Dimension) ที่กำหนด Array แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. **Static Array** เป็น Array ที่มีขนาดของมิติตายตัว เปลี่ยนแปลงไม่ได้

2. **Dynamic Array** เป็น Array ที่เปลี่ยนแปลงขนาดของมิติได้

ในการสร้าง Array จะใช้การ Declare เช่นเดียวกับตัวแปรทั่วไป แต่จะมีส่วนของวงเล็บที่ใช้บอกขนาดของมิติของ Array นั้นต่อท้ายด้วย ตัวอย่างเช่น

```
Dim A(10) As
String
```

ขนาดมิติของ Array ใน Visual Basic สามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 1 มิติจนกระทั่งถึง 60 มิติ

### Static Array

การสร้างตัวแปร Array ประเภทนี้ ต้องระบุขนาดของ Array ซึ่งเป็นตัวเลขในวงเล็บหลังตัวแปรที่เป็น Array เช่น

```
Dim A(100) As Integer
Dim B(1 To 5, 1 To 5) As
Integer
```

จากตัวอย่าง ตัวแปร A จะเป็น Array ขนาดมิติเดียวจำนวน 100 ชุด เริ่มจาก A(1), A(2), A(3), ..., A(100) ส่วนตัวแปร B เป็น Array ขนาด 2 มิติ (5 X 5) จำนวน 25 ชุด ซึ่งประกอบด้วย

B(1, 1)	B(1, 2)	B(1, 3)	B(1, 4)	B(1, 5)
B(2, 1)	B(2, 2)	B(2, 3)	B(2, 4)	B(2, 5)
B(3, 1)	B(3, 2)	B(3, 3)	B(3, 4)	B(3, 5)
B(4, 1)	B(4, 2)	B(4, 3)	B(4, 4)	B(4, 5)
B(5, 1)	B(5, 2)	B(5, 3)	B(5, 4)	B(5, 5)

## Dynamic Array

Array ประเภทนี้สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้ ดังนั้นในการ Declare จึงไม่ต้องระบุขนาดในวงเล็บ ตัวอย่างเช่น

```
Dim A() As Integer
```

Array ลักษณะนี้จะมีประโยชน์ในกรณีที่เราไม่ทราบถึงขนาดของข้อมูลที่จะเก็บลงใน Array ต่อเมื่อต้องการระบุถึงขนาด ก็สามารถกระทำได้ในภายหลังด้วยคำสั่ง ReDim เช่น

```
Dim A(100) Integer
```

โปรแกรมนี้จะแสดงผลออกมาเป็นเลข 1 ถึง 5 ตามค่าของ Array A ตัวที่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ ซึ่งรับค่ามาจากตัวนับ 1 ใน Loop For ... Next และแสดงผลออกมาเป็นตัวอักษร A ถึง E ตามค่าของ Array B ตัวที่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ ซึ่งรับค่ามาจากรหัส ASCII ของตัวแปร X ที่ค่อยๆ เพิ่มค่าทีละ 1

## Control Arrays

นอกเหนือจากตัวแปรที่สามารถกำหนดให้อยู่ในรูปของ Array แล้ว Object ก็สามารทำให้อยู่ในรูปของ Array ได้เช่นเดียวกัน ซึ่ง Object ในลักษณะนี้จะเรียกว่า Control Arrays

Control Arrays ก็คือกลุ่มของ Object ประเภทเดียวกันที่ปรากฏอยู่บน Form โดยมีลำดับที่กำกับอยู่ในวงเล็บต่อท้าย Object นั้น Object ประเภทนี้เกิดขึ้นจากการ Copy Object ที่วาดไว้บน Form โดยที่ Object แรกที่วาดลงบน Form จะมีลำดับที่เป็น 0 และ Object อันถัดไปที่เกิดจากการ Copy Object เดิมจะมีลำดับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งเสมอ กล่าวคือ ลำดับที่จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 จนกระทั่ง 32,767 การทำ Control Array ตัวอื่น ๆ ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกรณี Object นั้นมีคุณสมบัติที่ต้องกำหนดหลายๆ คุณสมบัติ ทำให้ประหยัดเวลาในการสร้าง

## คำสั่ง With ... End With

คำสั่งใช้ในกรณีที่ต้องการใช้คำสั่งหลายๆ คำสั่งกับ Object เดียว ซึ่งมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้

```
With <object>
```

```
<ประโยคคำสั่ง>
```

```
End With
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดทอนหรือแก้ไขเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเขียนประโยคคำสั่งเหล่านี้ใหม่ด้วยคำสั่ง With ดังนี้

```
With Text1
Left = 0
Top = 0
Width = 200
Height = 200
End With
```

### 6.3 ฟังก์ชันสำหรับเขียนโปรแกรม

#### ฟังก์ชัน และ คำสั่ง

ทั้ง 2 คำนี้ล้วนแต่เป็นคำเฉพาะ (Reserved Word) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม แต่จะมีความหมายที่ต่างกัน ดังนี้

- ฟังก์ชัน หมายถึง ชุดคำสั่ง (Routine) ที่ใช้ในการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยคำสั่งที่ ฟังก์ชันต้องการไปให้ เพื่อให้ฟังก์ชันคืนค่ากลับมา เช่น ฟังก์ชัน Mid\$, Len, Format, เป็นต้น บางฟังก์ชันสามารถเป็นคำสั่งได้ด้วย โดยเมื่อทำหน้าที่เป็นคำสั่งจะใช้ในการกำหนดค่าแทน เช่น ฟังก์ชัน "Date" เมื่อใช้เป็น ฟังก์ชัน จะคืนค่ากลับมาเป็นวันที่ปัจจุบัน แต่ถ้าทำหน้าที่เป็นคำสั่ง จะให้กำหนดค่าของวันที่ปัจจุบันแทน เป็นต้น

- คำสั่ง หมายถึง คำสั่งโดยทั่วไปที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเช่น กลุ่มคำสั่ง Branching กลุ่มคำสั่ง Interaction กลุ่มคำสั่ง Conditional เป็นต้น

#### ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับ String

ฟังก์ชันที่ใช้กับ String จะปรากฏอยู่ในตาราง ดังนี้

ชื่อ	ประเภท	ใช้สำหรับ
Asc	ฟังก์ชัน	แสดงค่ารหัส ASCII ของตัวอักษร
Chr\$	ฟังก์ชัน	แปลงค่ารหัส ASCII ไปเป็นตัวอักษร
Format\$	ฟังก์ชัน	กำหนดรูปแบบของ String
InStr	ฟังก์ชัน	หาตำแหน่งของตัวอักษรในคำ

Lcase\$	ฟังก์ชัน	แปลงตัวอักษรใน String ให้อยู่ในรูปตัวอักษรตัวเล็ก
Left\$	ฟังก์ชัน	ตัดค่าของ String จากซ้ายไปขวา
Len	ฟังก์ชัน	แสดงค่าความยาวของ String
Lset	ฟังก์ชัน	จัดตัวอักษรให้ชิดซ้าย
Ltrim\$	ฟังก์ชัน	ตัดช่องว่างของค่าจากทางซ้ายไปขวา
Mid\$	ฟังก์ชัน	ตัดค่าจากตำแหน่งเริ่มต้นและความยาวตามที่กำหนด
Mid\$	คำสั่ง	กำหนดค่าให้กับ String ในตำแหน่งที่กำหนด
Right\$	ฟังก์ชัน	ตัดค่าของ String จากขวาไปซ้าย
Rset	ฟังก์ชัน	จัดตัวอักษรให้ชิดขวา
Rtrim\$	ฟังก์ชัน	ตัดช่องว่างของค่าจากทางขวาไปซ้าย
Space\$	ฟังก์ชัน	แสดงช่องว่างตามจำนวนที่กำหนด
Str\$	ฟังก์ชัน	แปลงค่าของตัวเลขให้เป็น String
String\$	ฟังก์ชัน	แสดงตัวอักษรซ้ำตามจำนวนที่กำหนด
Trim\$	ฟังก์ชัน	ตัดช่องว่างออกจากค่า
Ucase\$	ฟังก์ชัน	แปลงตัวอักษรใน String ให้อยู่ในรูปตัวอักษรตัวใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทำงานกับรหัส ASCII ของ String

ในบางครั้งเราอาจต้องการดูค่ารหัส ASCII ของ String ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ฟังก์ชัน

Asc เช่น

```
A% = Asc("H")
```

A% จะมีค่าเป็น 72 ซึ่งเป็นรหัส ASCII ของ "H"

และในขณะเดียวกัน เราก็สามารถแปลงค่าของรหัส ASCII ให้อยู่ในรูปตัวอักษรได้เช่นกัน โดยใช้ฟังก์ชัน Chr\$

```
B$ = Chr$(72)
```

B\$ จะมีค่าเป็น "H" เพราะค่า 72 ในรหัส ASCII จะหมายถึงตัวอักษร "H"

ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับตัวเลข

ฟังก์ชันใช้กับตัวเลขจะปรากฏในตาราง ดังนี้

ชื่อ	ประเภท	ใช้สำหรับ
Abs	ฟังก์ชัน	แสดงค่า Absolute ของตัวเลข
Atn	ฟังก์ชัน	แสดงค่ามุมของตัวเลขที่กำหนด (ค่า Arctangent)
Clnt	ฟังก์ชัน	แปลงค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปตัวเลขแบบ Integer
CLng	ฟังก์ชัน	แปลงค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปตัวเลขแบบ Long
CSng	ฟังก์ชัน	แปลงค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปตัวเลขแบบ Single
CDbl	ฟังก์ชัน	แปลงค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปตัวเลขแบบ Double
Ccur	ฟังก์ชัน	แปลงค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปตัวเลขแบบ Currency
Cos	ฟังก์ชัน	แสดงค่า Cosine ของมุมที่กำหนด
Exp	ฟังก์ชัน	แสดงค่าของตัวเลขในฐาน e
Fix	ฟังก์ชัน	ตัดเศษและแปลงให้อยู่ในรูปตัวเลขแบบ Integer
Hex\$	ฟังก์ชัน	แปลงค่าของตัวเลขให้อยู่ในรูปเลขฐานสิบหก (รูปของ String)
Int	ฟังก์ชัน	ปัดเศษลงเพื่อให้ตัวเลขอยู่ในรูป Integer
Log	ฟังก์ชัน	แสดงค่า Logarithm ของตัวเลขในฐาน e ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ
Oct\$	ฟังก์ชัน	แปลงค่าของตัวเลขให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด (รูปของ String) ให้นำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับแจกจ่ายให้บุคลากรในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

Randomize	คำสั่ง	หา Randow Number จากการสุ่ม
Rnd	ฟังก์ชัน	หา Randow Number ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 และ 1
Sgn	ฟังก์ชัน	แสดงเครื่องหมายของตัวเลข
Sin	ฟังก์ชัน	แสดงค่า Sine ของมุมที่กำหนด
Sqr	ฟังก์ชัน	แสดงค่ารากของตัวเลขที่กำหนด
Tan	ฟังก์ชัน	แสดงค่า Tangent ของมุมที่กำหนด
Val	ฟังก์ชัน	แปลงค่าของ String ให้อยู่ในรูปของตัวเลข

### ฟังก์ชันในการปิดเศษ

มีอยู่ด้วยกัน 3 ฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชัน Int, Fix และ CInt ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในการปิดเศษ ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ทั้ง 3 ฟังก์ชันนี้อย่างเหมาะสม เช่น

Value	Int(Value)	Fix(Value)	C Int (Value)
2.7	2	2	3
2.2	2	2	2

### ฟังก์ชันที่ใช้แปลง String ไปเป็นตัวเลข

ได้แก่ ฟังก์ชัน Val ในการแสดงจะเริ่มทำการแปลงจาก String ตัวซ้ายสุดไปทางขวา และจะหยุดการแปลงเมื่อพบกับตัวอักษรตัวแรกที่ไม่ใช่ตัวเลข หรือจนกระทั่งตัวอักษรตัวสุดท้ายของ String จุดที่พบใน String ตัวแรกจะถูกแปลงให้เป็นจุดทศนิยม แต่จุดต่อไปจะถือว่าเป็นการหยุดการแปลง แต่เครื่องหมาย Dollar Sign และจุดจุลภาค จะไม่ถูกแปลงให้ ตัวอย่าง เช่น

A! = Val("123")  
 B! = Val("1 2 3")  
 C! = Val("123doggn")  
 D! = Val("G")

ค่าของ A จะมีค่าเป็น 123 ค่าของ B จะมีค่าเป็น 123 ค่าของ C จะมีค่าเป็น 123 และค่าของ

D จะมีค่าเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำสั่งและฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับ Date และ Time

วันที่ที่ใช้อยู่ใน Visual Basic จะเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน ปี ค.ศ. 100 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม ปี ค.ศ. 9999 ซึ่งรูปแบบของวันที่ที่ Visual Basic จัดเก็บ จะอยู่ในรูปของ Serial Number ซึ่งจะใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ 8 Bytes ในหน่วยความจำ Serial Number นี้จะเป็นตัวเลขในลักษณะ Double-Precision Floating Point ที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนก่อนจุดทศนิยมที่ใช้สำหรับเก็บตัวเลขที่แทนวันที่ และส่วนที่อยู่หลังจุดทศนิยมที่ใช้เก็บตัวเลขที่แทนเวลา เช่น 34931.064583333 จะหมายถึงวันที่ 30 ธันวาคม ปี ค.ศ. 1899 (ตัวเลข 34391) เวลา 1.33 AM. (ตัวเลข 064583333)

ในการนำเอาวันที่และเวลามาใช้กับตัวแปรใน Visual Basic ควรที่จะใช้กับตัวแปรประเภท Variant เนื่องจากในการใช้ฟังก์ชันต่างๆ กระทบกับตัวแปรที่ใช้เก็บวันที่หรือเวลา อาจจะใช้ประเภทตัวแปรที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึง ควรที่จะกำหนดให้ตัวแปรเป็นประเภท Variant เพื่อที่ Visual Basic จะได้แปลงวันที่และเวลาให้อยู่ในรูปที่ถูกต้อง สำหรับคำสั่ง และฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวันที่และเวลาแสดงได้ดังตาราง

ชื่อ	ประเภท	ใช้สำหรับ
CVDate	ฟังก์ชัน	เปลี่ยนวันที่จาก String หรือตัวเลขให้เป็น Date
Date, Date\$	ฟังก์ชัน	คืนค่าของวันที่ปัจจุบัน
Date, Date\$	คำสั่ง	กำหนดค่าของวันที่ปัจจุบัน
DateSerial	ฟังก์ชัน	แสดงวันที่ในรูปแบบของ Integer
DateValue	ฟังก์ชัน	แสดงวันที่ในรูปแบบของ String
Day	ฟังก์ชัน	แสดงวันที่ (1-31)
Hour	ฟังก์ชัน	แสดงชั่วโมง (0-23)
Minute	ฟังก์ชัน	แสดงนาที (0-59)
Month	ฟังก์ชัน	แสดงเดือน (1-12)
Now	ฟังก์ชัน	แสดงวันที่ปัจจุบัน
Second	ฟังก์ชัน	แสดงวินาที (0-59)

Time, TimeS	ฟังก์ชัน	แสดงเวลาปัจจุบัน
Time, TimeS	คำสั่ง	กำหนดเวลาปัจจุบัน
TimeSerial	ฟังก์ชัน	แสดงวันที่ในรูปแบบของตัวเลข
TimeValue	ฟังก์ชัน	แปลงเวลาจาก String ไปเป็น Date
WeekDay	ฟังก์ชัน	แสดงวันในสัปดาห์ (1-7)
Year	ฟังก์ชัน	แสดงปี (100-9999)

### ฟังก์ชัน DateSerial

ใช้สำหรับแปลงค่าที่เป็นตัวเลขให้อยู่ในรูปของ Date โดยมีรูปแบบดังนี้

DateSerial(year, month, day)

โดยที่ Year หมายถึง ตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 10-9999  
 month หมายถึง ตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 1-12  
 day หมายถึง ตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 1-31

### ฟังก์ชัน DateValue

ใช้แปลงค่าที่เป็น String ให้อยู่ในรูปของ Date โดยมีรูปแบบดังนี้

DateValue(date-string)

โดยที่ date-string จะหมายถึงวันที่ในรูปแบบของ String เช่น "01/01/97" , "01-01-97"  
 เป็นต้น

### ฟังก์ชัน WeekDay, Day, Month และ Year

ใช้แสดงค่าของ Date ในรูปของเดือน ด้วยฟังก์ชัน Month

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใด ใช้แสดงค่าของ Date ในรูปของปี ในการศึกษาเท่านั้น ด้วยฟังก์ชัน Year ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใด ใช้แสดงค่าของ Date ในรูปของวันที่ ต้องอ้างอิงด้วยฟังก์ชัน Day ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แสดงค่าของ Date ในรูปของวันของสัปดาห์ ด้วยฟังก์ชัน WeekDay เช่น

A = Year(Date)	'A จะมีค่าเป็น 1997 (วันที่ปัจจุบันเป็น 2/12/1997)
B = Month(Date)	'B จะมีค่าเป็น 12
C = Day(Date)	'C จะมีค่าเป็น 2
D = WeekDay(Date)	'D จะมีค่าเป็น 2 (วันอังคาร)

หมายเหตุ	ค่าที่ปรากฏในวงเล็บของทั้ง 4 ฟังก์ชันนี้ คือ วันที่ซึ่งในที่นี้ใช้ฟังก์ชัน Date เพื่อบอกวันที่ปัจจุบัน
----------	--

### คำสั่งและฟังก์ชัน Time, Time\$

Time และ Time\$ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชัน Date และ Date\$ แต่จะใช้กับเวลา โดยที่ฟังก์ชัน Time\$ จะคืนค่ากลับมาเป็นเวลาในรูปของ String ขนาด 8 ตัวอักษรในรูปแบบ hh:mm:ss ในขณะที่ฟังก์ชัน Time จะให้ค่าเดียวกันแต่ในรูปของ Date สำหรับคำสั่ง Time\$ และ Time ใช้สำหรับกำหนดค่าของเวลาปัจจุบัน โดยจะใช้รับข้อมูลในรูปของ String แต่คำสั่ง Time จะใช้รับข้อมูลได้หลายรูปแบบมากกว่า ซึ่งมักจะใช้ร่วมกับฟังก์ชัน TimeSerial

### ฟังก์ชัน TimeSerial

ฟังก์ชันนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชัน DateSerial แต่ฟังก์ชันนี้จะใช้กับเวลาแทน กล่าวคือ ใช้สำหรับแปลงค่าที่เป็นตัวเลขให้อยู่ในรูปของเวลา โดยมีรูปแบบดังนี้

TimeSerial(hour, minute, second)
----------------------------------

โดยที่	Hour หมายถึง	ตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0-23
	Minute หมายถึง	ตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0-59
	Second หมายถึง	ตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0-59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### การคำนวณและออกแบบ

#### 7.1 การออกแบบหม้อแปลง

การออกแบบหม้อแปลงสำหรับโครงการนี้ต้องการหม้อแปลงที่ทำการเพิ่มแรงดันขึ้น โดยสัญญาณที่ทำการป้อนให้เป็นสัญญาณในลักษณะ สี่เหลี่ยม

พิกัดต่างๆ ของหม้อแปลง

1. มีขนาด 400 VA
2. พิกัดแรงดันด้านปฐมภูมิ 12-0-12 โวลต์
3. พิกัดแรงดันด้านทุติยภูมิ 220 โวลต์
4. ลักษณะของสัญญาณเป็น สี่เหลี่ยม

ขนาดพิกัด ที่ 400 VA 12-0-12 / 220 เป็นสัญญาณ Square Wave

จาก

$$\frac{V(T/2)}{N} = n \cdot B_{max} \cdot S \cdot F_s \quad (7.1)$$

$n = 2$  ไม่มี dc magnetizing current

เลือก  $B_{max} = 1.2 \text{ T}$

5. ขนาดแกนเหล็กที่ใช้งาน

$$S = 37 \text{ mm} \times 38 \text{ mm} = 1406 \text{ mm}^2 = 0.0014060 \text{ m}^2$$

6. หาจำนวนรอบของขดลวดของทั้งสองฝั่ง

หา แรงดันต่อรอบ  $(V/N) = 2n \cdot f \cdot B_{max} \cdot S \cdot F_s \quad (7.2)$

$$= 2 \times 2 \times 1.2 \times 0.001406 \times 0.95 \times 50 = 0.32056V$$

ที่แรงดัน 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 12V เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $N_1 = \frac{12V}{0.32056} = 37.43 \text{ Turn}$   
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก  $N_1=38$  รอบ  
ที่แรงดัน 220 V

$$N_2 = \frac{220V}{0.32056} = 686.2989 \text{ Turn}$$

เลือก  $N_2=686$  รอบ

### 7. หาขนาดของเบอร์ดวด

กำหนด  $J=3 \text{ A/mm}^2$

$$I_1 = \frac{400 \text{ VA}}{12 \text{ V}} = 33.33 \text{ A}$$

$$\text{กระแสที่ไหลในแต่ละฟ้ง} = \frac{I_1}{2} = 16.665 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{400 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 1.818 \text{ A}$$

$$A_w 1 = \frac{16.665}{3} = 5.55 \text{ mm}^2$$

$$A_w 2 = \frac{1.818}{3} = 0.606 \text{ mm}^2$$

ดังนั้นจึงทำการเลือกขนาดของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ เบอร์ AWG# 14 พันแทปละ 38 รอบ จำนวน 2 แทปและทางด้านทุติยภูมิ เลือกขนาดขดลวดเบอร์ AWG# 24 จำนวนรอบ 686 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 การออกแบบวงจรพวง-พูล อินเวอร์เตอร์

วงจร อินเวอร์เตอร์ที่ทำการพิจารณานี้เป็นวงจรที่ง่ายต่อการบำรุงรักษาและมีราคาถูก และโหลดที่ใช้งานนี้เป็นโหลดไม่ต้องการแรงดันในลักษณะเป็น Sine Wave ที่ 100 % และมีเพาเวอร์แฟกเตอร์ ใกล้เคียง “1”

- ทำการเลือกพิกัดแรงดันของ มอสเฟต ( $V_{ds}$ )

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_{ds} &= 2 \times (V_{\text{nominal Battery}} \times 1.5) & (7.3) \\ &= 2 \times (12 \times 1.5) \\ &= 36 \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ระดับแรงดันที่พิกัด ( $V_{ds}$ ) = 50 V

- ทำการเลือกค่ากระแสพิกัดของมอสเฟต

จากพิกัดกระแสทางด้าน ไพรมารี่ของหม้อแปลงเท่ากับ 35 A ดังนั้นเลือกใช้พิกัดกระแสของมอสเฟต ( $I_{ds}$ )เท่ากับ 2 เท่า ของกระแสพิกัดด้านไพรมารี่ของหม้อแปลง

$$\begin{aligned} I_{ds} &= 2 \times 35 \\ &= 70 \text{ A} \end{aligned}$$

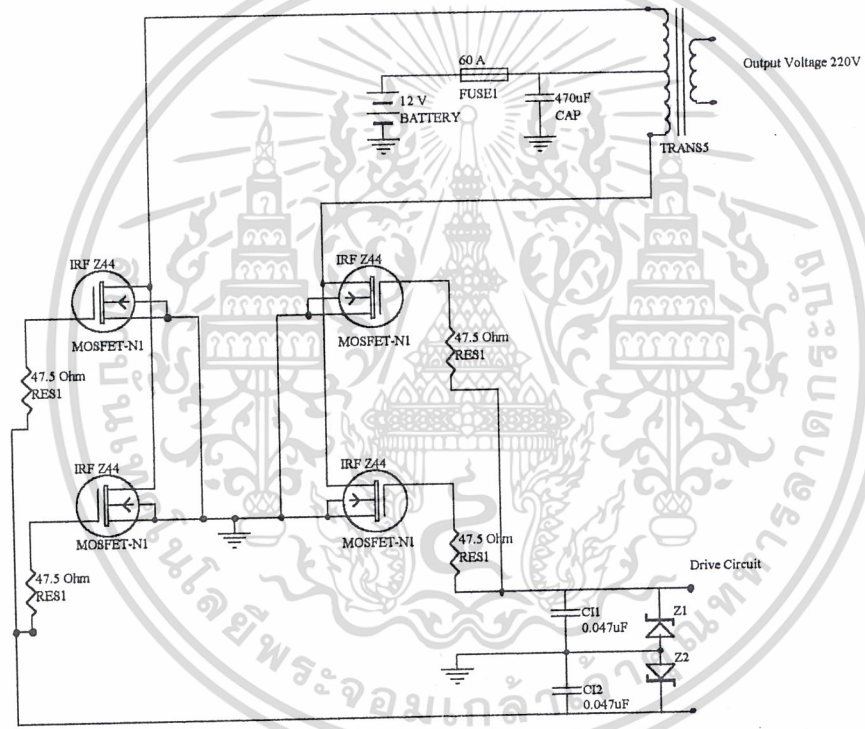
- เลือกค่าแรงดันเกต-ซอร์ส ( $V_{GS}$ )

$$\begin{aligned} \text{เลือกค่าพิกัดแรงดัน } V_{GS} &= 2 \times V_{\text{BATTERY}} & (7.4) \\ &= 2 \times 12 \\ &= 24 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นเลือกใช้ค่าพิกัดแรงดันที่ 30 V

จาก ECG 2395 ได้ตรงกับเบอร์ IRF Z44 ต่อขนานกันเพื่อช่วยในการจ่ายกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INVERTER

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	16-Mar-1999	Sheet of
File:	D:\PPWSCHUN.SCH	Drawn By:

### 7.3 การเลือกขนาดแบตเตอรี่

ในโครงการแหล่งจ่ายไฟสำรองนี้ แบตเตอรี่ที่ทำการเลือกใช้นั้นจะเป็นชนิดตะกั่ว-กรด ปิดผนึก แบบ Free Maintenance ขนาด 7 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยที่แบตเตอรี่นี้ไม่ต้องมีการเติมน้ำ กลั่นหรือบำรุงรักษาแบตเตอรี่ใดๆ อีกทั้งยังไม่มีก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลดีในการช่วยแก้ปัญหาอายุการใช้งานของแหล่งจ่ายไฟสำรองสั้น เนื่องจากการเกิดก๊าซในการอัดประจุมากเกินไปส่วนการอัดประจุ แบตเตอรี่จะเป็นแบบแรงดันคงที่ เนื่องจากแบตเตอรี่ในแหล่งจ่ายไฟสำรองที่ต้องนำมาใช้ในภาวะ เกิดผิดปกติของการไฟฟ้าฯ ฉะนั้นแบตเตอรี่ต้องทำการอัดประจุตลอดเวลา โดยในช่วงที่แบตเตอรี่ เต็มแล้วจะต้องอัดประจุให้แบตเตอรี่ต่ำๆ เพื่อชดเชยค่าแรงดันเนื่องจากความต้านทานภายใน แบตเตอรี่ โดยแรงดันที่จ่ายให้แบตเตอรี่เพื่ออัดประจุ จะเป็นแบบ Float Charge ที่ 12.6 โวลท์

#### สรุปแบตเตอรี่ที่ใช้งาน

1. ชนิด Sealed Lead – Acid Battery ขนาด 7 A-H
2. การใช้งานแบบ Standby สำรองเวลาได้ 10 นาที
3. การอัดประจุเป็นแบบ Float Charge ที่แรงดันคงที่ 12.6 โวลท์
4. การอัดประจุจะใช้กระแสเท่ากับ  $0.13 \times 7 \text{ A-h}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 7.4 การออกแบบ สวิตช์สับเปลี่ยน

สวิตช์สับเปลี่ยนจะทำหน้าที่ในการสับเปลี่ยนการรับไฟจากการไฟฟ้าหรือจากแบตเตอรี่ในโครงการนี้เราใช้รีเลย์จำนวน 3 ตัวเป็น สวิตช์สับเปลี่ยน ซึ่งจะมีราคาถูกและมีวงจรขับที่ง่าย

ขั้นตอนการพิจารณาเลือกรีเลย์มาใช้งาน

1. พิจารณาการใช้งานว่าใช้กับกระแสไฟตรงหรือไฟสลับ
2. ทำการเพื่อพิชิตกระแสโหลด ออกไปอีก 25 % จากพิชิตที่ออกแบบไว้
3. พิจารณาแรงดันที่ใช้งานว่าที่ขนาดเท่าใด
4. พิจารณาขดลวดรีเลย์ต้องการกระแสเท่าใด เพื่อให้เหมาะกับวงจรขับ

รายละเอียดการคำนวณสวิตช์สับเปลี่ยนมีดังนี้

1. กระแสขั้วรีเลย์มีค่า

$$I = \frac{V}{R_{\text{Relay}}}$$

$$I = \frac{12}{450} = 25\text{mA}$$

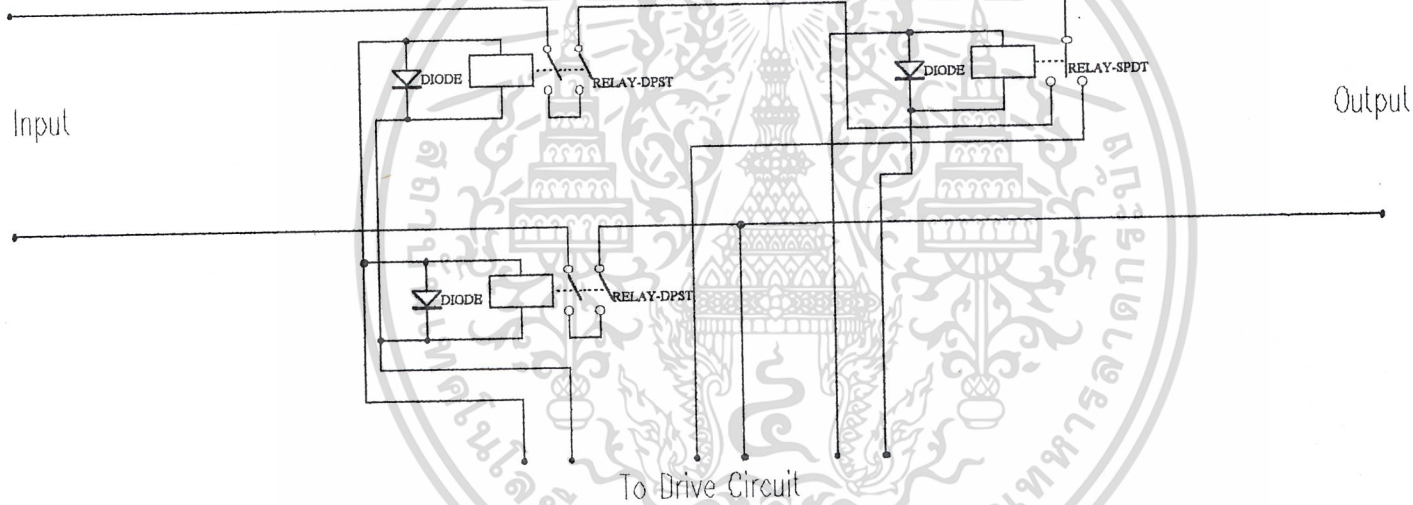
2. ภาระมีพิชิตที่ 400 VA ดังนั้นกระแส

$$I_{\text{Load}} = \frac{400}{220}$$

$$= 1.81\text{A}$$

ดังนั้นจะมีพิชิตออกแบบคือ ทนกระแสได้  $1.81 \times 1.25 = 2.5 \text{ A}$  ที่ 250 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



๓๙๙๓ ATS

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	16-Mar-1999	Sheet of
File:	C:\PFWSCHCKKATS.SCH	Drawn By:

### การอธิบายการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยนในสถานะต่างๆ

#### - การตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติ

ในการตรวจสอบสถานะการทำงานในภาคปกตินั้นเราจะใช้หม้อแปลงเป็นตัวรับแรงดันทางด้านอินพุท ซึ่งจะทำการแปลงแรงดันให้ลดลงจาก 220 โวลต์ มาเป็น 18 โวลต์ และจะมาทำการผ่านวงจรเรกติไฟล์และใช้ความต้านทานเป็นโวลต์เตจดีไวเดอร์ (Voltage Divider) แล้วใช้ LM 324 N มาทำเป็นบัฟเฟอร์ แรงดันเอาต์พุทของบัฟเฟอร์ จะผ่านวงจรฟิลเตอร์ ซึ่งจะเป็นแรงดันไฟตรงมีค่าประมาณ 4.5 โวลต์ ซึ่งแรงดันนี้จะไปเปรียบเทียบกับไอซี LM 339 N ที่ขา 5 ถ้ามีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 5 จะทำให้เอาต์พุทขาที่ 2 มีค่าเป็นศูนย์ ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ C 1815 ไม่ทำงาน ทำให้ขา P.3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าเป็น 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำโปรแกรมในส่วนของสถานะปกติ ซึ่งจะทำการตรวจสอบโดยการวนรอบการทำงานอยู่โดยตลอด

#### - การตรวจสอบไฟฟ้าผิดปกติ

ในทางตรงกันข้ามกับข้างต้น ถ้าไฟฟ้าผิดปกติ จะทำให้แรงดันอ้างอิงที่ขา 5 มีค่ามากกว่าขา 4 ทำให้เอาต์พุท ที่ขา 2 มีค่าเป็นหนึ่ง ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน และจะดึงขา P 3 ลงกราวด์ ซึ่งเป็นผลทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำโปรแกรมในส่วนของไฟฟ้าผิดปกติ หรือมีการตรวจสอบพบว่ามีแรงดันสูงเกิน 245 โวลต์ แรงดันต่ำเกิน 195 โวลต์ ซึ่งจะทำการต่อสวิตช์สับเปลี่ยนมาให้ อินเวอร์เตอร์ทำงาน แรงดันปกติจะป้อนอินพุทให้กับ ADC 0809 CCN ที่ขา INT 0 เพื่อที่จะทำการแปรค่าจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล และทำการวนรับค่าจากแรงดันด้านอินพุท และจะทำการตรวจเช็คว่ามีแรงดันปกติ(ในช่วง 198-240 หรือยัง) จึงจะสับต่อให้การไฟฟ้างเดิม และจากค่าที่รับเป็นดิจิตอล นี้ส่งไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก

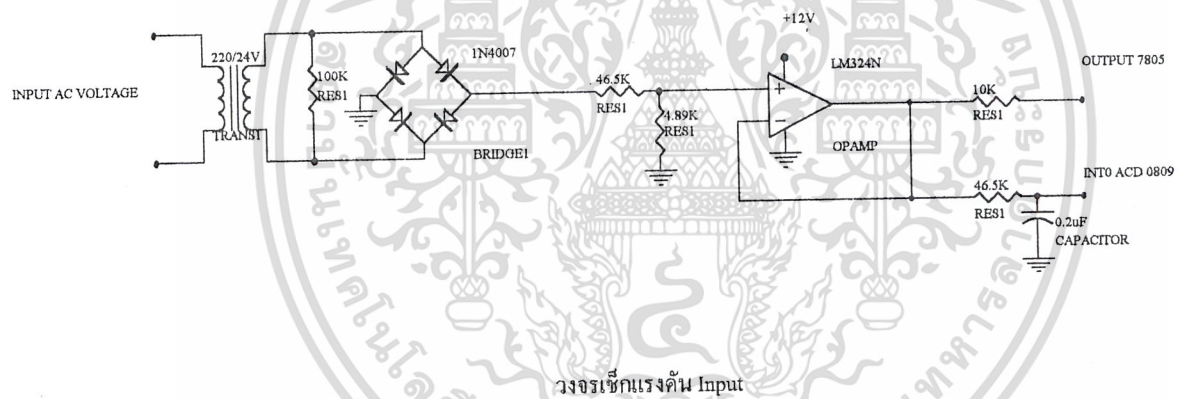
#### - ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งทำการ Shut Down

กระแสของโหลดเกินค่าพิกัดซึ่งจะทำการตั้งเอาไว้ที่ 2 A ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งทำการ Shut Down อินเวอร์เตอร์จะไม่ทำงาน เหตุผิดปกติอีกอย่างหนึ่งคือ แรงดันที่แบตเตอรี่ ตกเกินที่จะยอมรับได้ โดยตั้งเอาไว้ที่ 9 โวลต์

### 7.5 การตรวจสอบแรงดันไฟตกและแรงดันไฟเกินของระบบ

สำหรับการตรวจสอบของแรงดันไฟตกและไฟเกินของระบบนั้น ดูได้จากรูปที่ 7.3 ซึ่งจะใช้หม้อแปลงเอาต์พุตมีแรงดันที่พิกัด 220/36 โวลต์ ซึ่งเป็นตัวเดียวกับที่ใช้ในการอัดประจุ โดยเมื่อแรงดันเอาต์พุตผ่านวงจรเรกติไฟล์และฟิลเตอร์ ค่าของแรงดันไฟค่านี้อาจถูกป้อนเข้าที่ขา INT 1 (มีค่าต่ำกว่า 198 โวลต์) และ ADC 0809 CCN จะมีการเปลี่ยนข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ซึ่งค่าดิจิตอลที่แปลงมาได้นี้มีค่าต่ำกว่าค่าดิจิตอลที่กำหนดไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสั่งให้สวิทช์สับเปลี่ยนสับมาที่ระบบแทน เพื่อทำการจ่ายโหลด

ในทางตรงกันข้ามถ้าแรงดันของระบบมีค่าเกินกว่า 242 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำตามโปรแกรมในสถานะที่ผิดปกติ กล่าวคือจะสั่งให้สวิทช์สับเปลี่ยนไปที่อินเวอร์เตอร์ทราบได้ ที่แรงดันของระบบมีค่าเกินกว่า 242 โวลต์ แต่ถ้าหากค่าแรงดันของระบบมีค่าเป็นปกติแล้วคือมีค่าระหว่าง 198-242 โวลต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งสวิทช์สับเปลี่ยนสับเข้าระบบเหมือนเดิม



วงจรเซ็กแรงดัน Input

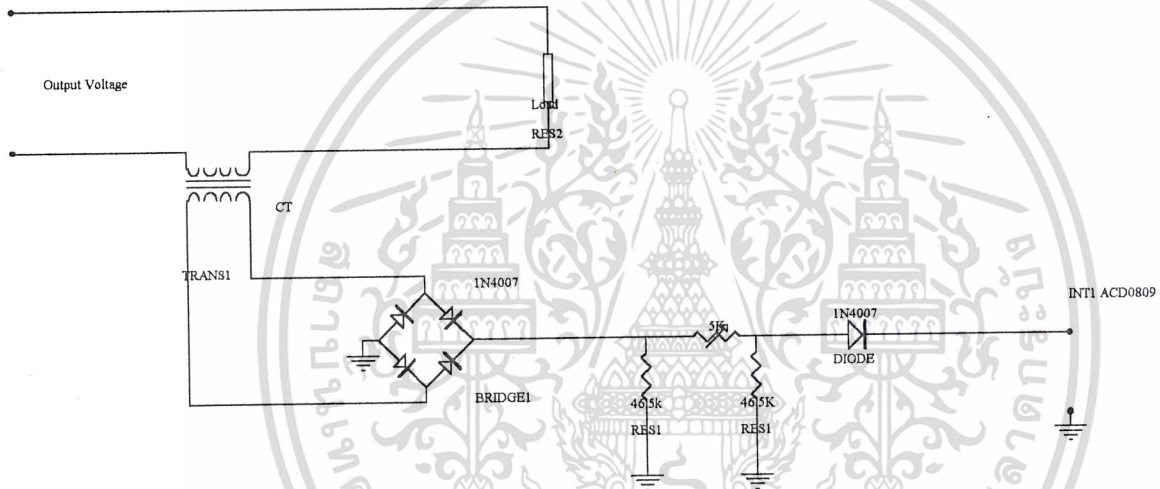
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	16-Mar-1999	Sheet of
File:	D:\PFWSCHVIN.SCH	Drawn By:

## 7.6 การตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าที่มีค่าเกินปกติ

ในส่วนของวงจรตรวจสอบสถานะของกระแสจะใช้หม้อแปลงกระแส (CT) มาผ่านวงจรรีกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ แรงดันไฟตรงที่ได้จะไปเข้าเข้าของ LM 339 N ตัวที่ 2 โดยถ้าค่าของสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ 2N2222A ไม่ทำงาน ทำให้ขา P3.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าเป็น 1 โปรแกรมจะตัดภาระโหลดออกทันที จะไม่ทำการหน่วงเวลาไว้ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยกลับกันถ้าค่าสัญญาณมีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง จะทำให้ทรานซิสเตอร์ 2N2222A ทำงาน ทำให้ขา P3.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าเป็น 0 เพราะถูกดึงลงกราวด์ตลอดซึ่งหมายความว่า ภาระจะยังรับกำลังไฟฟ้าจากระบบอยู่โดยตลอด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่ทำการตัดภาระออกจากระบบ นอกจากนี้ยังนำสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบนี้ในการตรวจสอบนี้ไปหา ADC 0809 CCN ที่ขา INT 4 และจากนั้นก็ทำการวนการแปลงเป็นดิจิตอลและนำไปใช้แสดงผลต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรตรวจเช็คกระแส

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	16-Mar-1999	Sheet of
File:	D:\PFWSCH\CURRENT.SCH	Drawn By:

### 7.7 การทำงานของวงจรรีบที่ออกแบบ

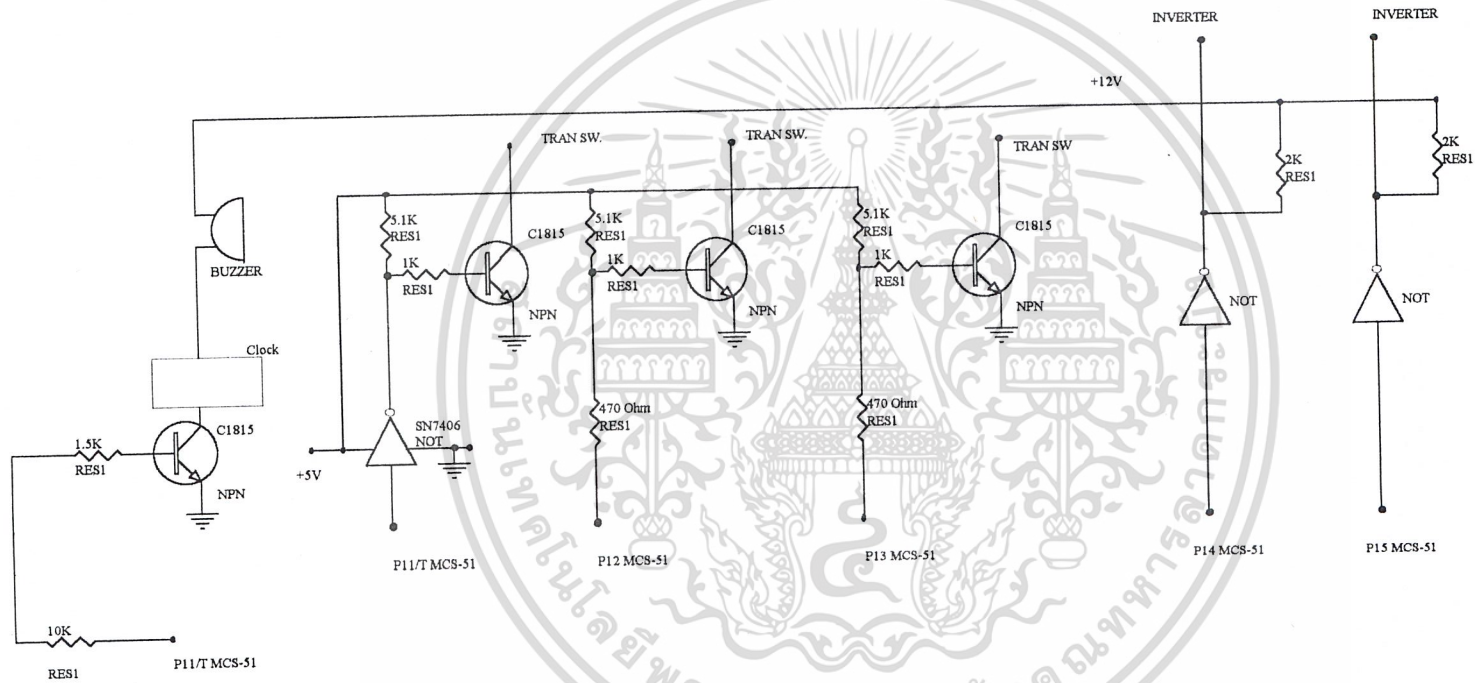
ในการควบคุมการทำงานโดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในวงจรถือต้องการกระแสสูงจะเป็นอันตรายอย่างยิ่ง หากไม่มีการป้องกันหรือเป็นกันชน(Buffer) ซึ่งในโครงการนี้จำเป็นจะต้องใช้ NOT GATE เพื่อเป็นตัวขับวงจรรีบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะปลอดภัยยิ่งขึ้น

สำหรับการทำงานจะอธิบายได้ว่า เมื่อสถานะปกติที่ขา 9 และขา 11 จะมีค่าเป็น “1” โดยรับมาจากขา P15 และ P14 จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามลำดับ ส่วนขา 8 กับขา 10 ของ NOT GATE จะมีค่าเป็น “0” เมื่อขา 8 และ 10 เป็น “0” จะทำให้สัญญาณขับเป็น “0” ทันที เท่ากับว่าเป็นการดึงขาเกจลงกราวด์ ซึ่งวงจรรีบอินเวอร์เตอร์ไม่มีทางทำงานได้เลย ซึ่งจะป้องกันการลัดวงจรของอินเวอร์เตอร์ได้

ส่วนสวิตช์สับเปลี่ยนในสถานะปกติ นั้น รีเลย์ทุกตัวจะทำงานโดยทรานซิสเตอร์ C1815 ทั้ง 3 ตัว ซึ่งเป็นตัวขับสวิตช์สับเปลี่ยนนั่นเอง

เมื่อไฟฟ้าของระบบเกิดการดับ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสร้างพัลส์ เป็นรูป Square wave ส่งไปยังวงจรรีบโดยใช้ NOT GATE เบอร์ HD 7406 เป็นตัวขับ โดยในช่วงที่พัลส์ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น Low เอาท์พุทของ NOT GATE จะเป็น HIGH ให้กับวงจรรีบอินเวอร์เตอร์ โดยจะทำการจ่ายภาระแทนระบบ ซึ่งขา P1.4 และ ขา P1.5 จะสับกันทำงานครึ่งคาบ ส่วนรีเลย์จะทำงานเพียงสองตัวเท่านั้น ซึ่งจะตัดระบบออกโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำงานสอดคล้องกันทุกกระบวนการ ซึ่ง หากว่ามีส่วนใดผิดพลาดระบบจะเสียหายได้

โดยในสถานะผิดปกติออกจะดังสลับกันเป็นเวลา 1 วินาที เพื่อเตือนให้ผู้ใช้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้น  
รูปวงจรรีบดังรูปที่...



วงจรรีบ

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	16-Mar-1999	Sheet of
File:	C:\PFWSCH\CK\TH.SCH	Drawn By:

### 7.8 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

IC เบอร์ ADC 0809 CCN เป็น IC ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถรับสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณอินพุตได้ 8 อินพุต และสัญญาณเอาต์พุตมีขนาด 8 ช่องสัญญาณหรือขนาด 8 บิต

ADC 0809 จะต้องรับสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) มาร่วมในการประมวลผลโดยอุปกรณ์ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ก็คือ IC 555 ซึ่งมีสัญญาณ Output ที่ขา 3 ซึ่งจะให้สัญญาณอินพุตเข้าที่ขา 10 ของ ADC โดยความถี่ที่กำเนิดนั้นจะมีค่าดังสมการ

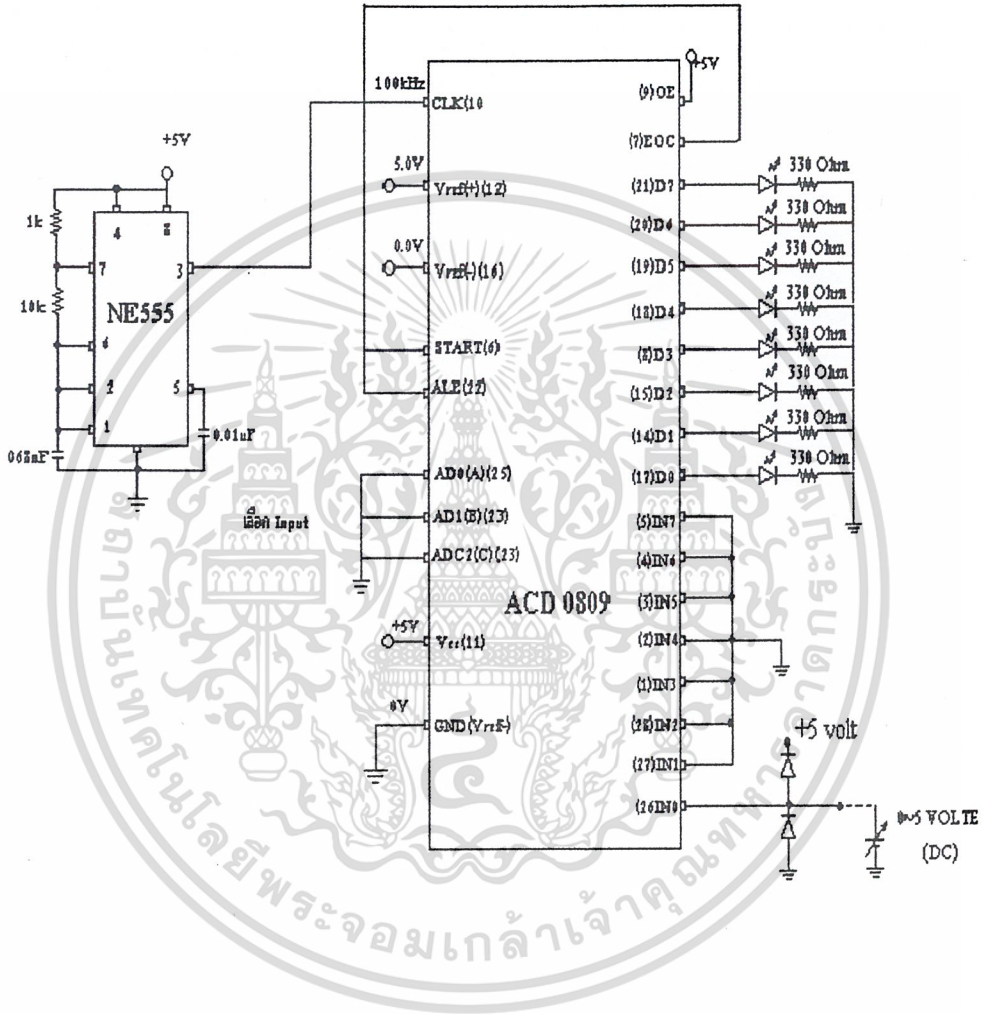
$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (7.5)$$

ซึ่งในการออกแบบค่าความถี่ใช้งานนั้น ยิ่งใช้ค่าความถี่มากเท่าใด เวลาในการทำงานของอุปกรณ์ ADC ก็จะน้อยลงเท่านั้น ในทางปฏิบัติ เราจะใช้งานที่ความถี่ 100 Hz และปัญหาที่เกิดขึ้นพบจากการทดลองคือมีการผิดพลาด (ERROR) เกิดขึ้น คือค่าสัญญาณ Input ที่ป้อนเข้า ADC นั้นจะมีค่าแตกต่างเมื่อเทียบกับ Input ที่คำนวณได้ซึ่งจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(% ERROR) โดยจะสามารถคิดได้จาก

$$V_{in} (\text{Calculate}) = V_{CC} \left( \frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right) \quad (7.6)$$

% Error หมายถึง  $V_{in}$  ที่ป้อนเทียบกับ  $V_{in} (\text{Calculate})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 วงจรการทดสอบหาค่าผิดพลาด (%Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วงจรถอดลอกหาค่า ERROR

ตารางที่ 7.1 การทดสอบหาค่า ERROR ของ วงจรแปลสัญญาณ A/D

VIN	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Vin(Calculate)	%Error
0.2	0	0	0	0	1	0	1	0	0.195	2.35
0.5	0	0	0	1	1	0	1	0	0.507	-1.40
1.0	0	0	1	1	1	0	0	0	1.093	-9.30
1.5	0	1	0	1	0	0	0	1	1.582	-5.46
2.0	0	1	1	0	1	0	0	1	2.050	-2.53
2.5	0	1	1	1	1	1	1	1	2.480	0.78
3.0	1	0	0	1	1	1	0	1	3.066	-2.21
3.5	1	0	1	1	1	0	0	0	3.593	-2.67
4.0	1	1	0	0	1	1	1	1	4.042	-1.07
4.5	1	1	1	0	0	1	1	1	4.511	-0.26
5.0	1	1	1	1	1	1	1	1	4.98	0.40

จากตารางการทดลองพบว่า มีค่าของ % ERROR นั้นเกิดขึ้น ดังนั้นจะพบว่าเกิดค่าผิดพลาดขึ้นเสมอเมื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.9 การออกแบบในส่วนของการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ในโครงการนี้ส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน

1. จอแสดงสถานะและเลือกเมนู
2. จอแสดงสถานะแรงดัน-ความถี่-กระแสแบตเตอรี่
3. จอแสดงพิกัดของระบบ
4. จอแสดงการสั่ง การทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์
5. จอแสดงการสั่งการ Shut Down ระบบ
6. จอสั่งการ Set ค่า พอร์ต การใช้งาน

### 1. จอแสดงสถานะและเลือกเมนู

เป็นรูปแบบจอภาพเริ่มแรกสุดที่จะแสดงให้ผู้ใช้งาน โดยแนวทางการเริ่มต้นจะต้องเป็นจุดที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เพราะเป็นจุดแรกที่ใช้ได้สัมผัสโดยจะแบ่งเป็นส่วนๆด้วยกัน บนหน้าจอจะบอกถึงอัตราการชาร์จแบตเตอรี่โดยบอกเป็นเปอร์เซ็นต์และเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ (SEC), เวลาการ SHUT DOWN, วันที่, เวลา, สถานะ และพิกัดของ UPS ในส่วนของการดูการประมวลผลจะแบ่งด้วยกัน 8 ปุ่ม สามารถเลือกดูการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการโดยมีดังนี้

- 1.1 ปุ่มเลือกจอภาพแสดงสถานะแรงดัน-ความถี่-กระแสแบตเตอรี่ (SYSTEM)
- 1.2 ปุ่มเลือกจอภาพแสดงพิกัดของระบบ (LOAD)
- 1.3 ปุ่มเลือกจอภาพแสดงการสั่งการทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (TEST)
- 1.4 ปุ่มเลือกจอภาพแสดงการสั่งการ SHUT DOWN ของระบบ (SHUT DOWN)
- 1.5 ปุ่มเลือกจอภาพสั่งการ SETTING ค่าพอร์ต (port) การใช้งาน (SETTING)
- 1.6 ปุ่มเลือกดูตารางการทำงานในแต่ละครั้ง (HISTORY)
- 1.7 ปุ่มเลือกจอภาพแสดงสภาวะการทำงานของระบบ (BLOCK DIAGRAM)
- 1.8 ปุ่มจบการทำงานของโปรแกรม (EXIT)

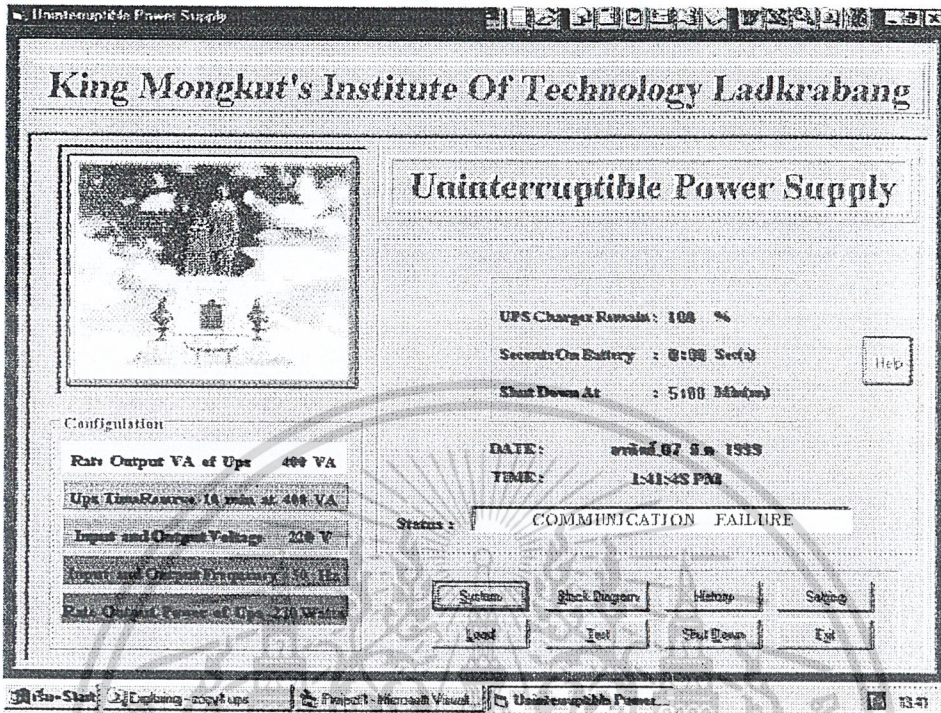
โดยรายละเอียดของแต่ละปุ่มการใช้งานจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

หมายเหตุ หากมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการใช้งานสามารถที่จะเข้าไปดูที่ปุ่ม HELP ที่อยู่บนจอแสดง

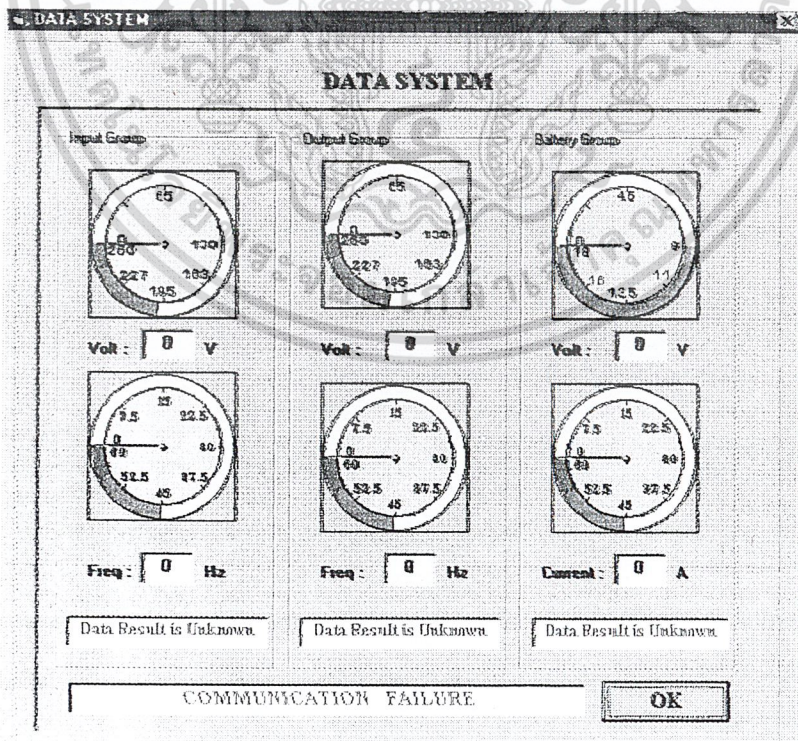
สถานะได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **จอแสดงสถานะแรงดัน – ความถี่ – กระแสแบตเตอรี่**  
จะมีลักษณะเป็นหน้าปัดนาฬิกาบอกระดับของแรงดัน , กระแสและความถี่โดยแบ่งเป็น แรงดันอินพุต , แรงดันเอาต์พุต , แรงดันแบตเตอรี่ , ความถี่ทางอินพุต , ความถี่ทางเอาต์พุต , กระแส
3. **จอแสดงพิกัดของระบบ**  
จะมีลักษณะเป็น SCALE บอกระดับพิกัดทางอินพุต , พิกัดทางเอาต์พุต , กระแสอินพุต , กระแสเอาต์พุต , เปอร์เซนต์ของโหลด , เปอร์เซนต์เร็กกูเรชัน และเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่
4. **จอแสดงการสั่งการทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์**  
โดยจอแสดงการสั่งการทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้จะทำหน้าที่สั่งงานทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงานแทนการรับไฟจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า
5. **จอแสดงการสั่งการ SHUT DOWN ของระบบ**
6. **จอสั่งการเซตค่าพอร์ทัลการใช้งาน**  
จะเป็นการเลือกเวลาในการ SHUT DOWN ว่าต้องการกี่วินาที และเลือกใช้พอร์ทัลในการส่งข้อมูล
7. **จอเลือกดูการทำงานในแต่ละครั้ง**  
โดยจะบอกถึงช่วงเวลาการทำงานของ UPS ในอดีต
8. **จอภาพแสดงการทำงานของระบบ**  
จะแสดงถึงการไหลของกระแสในแต่ละสถานะการทำงาน

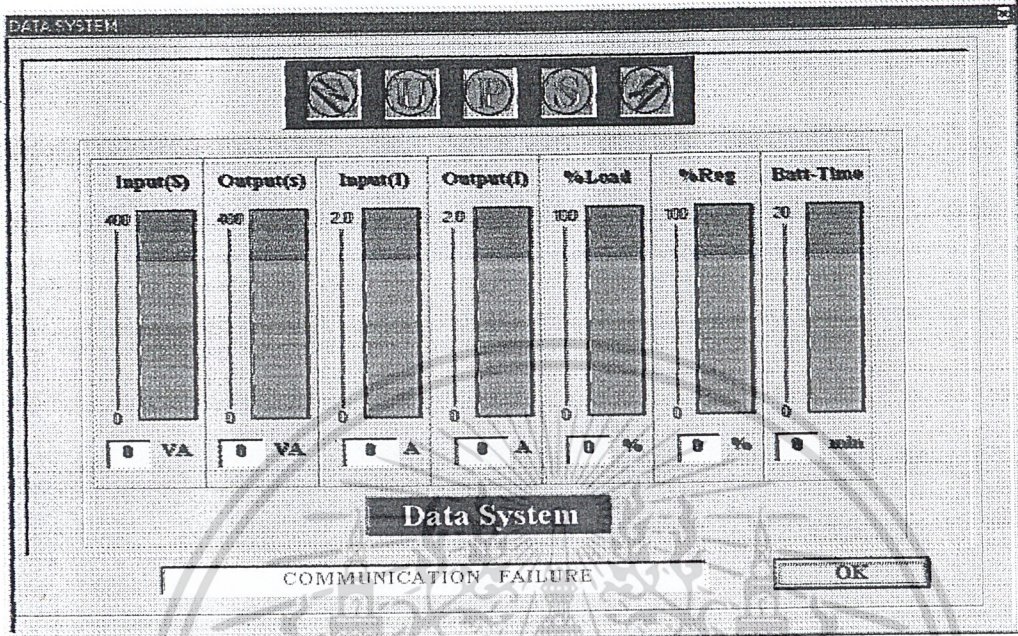
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



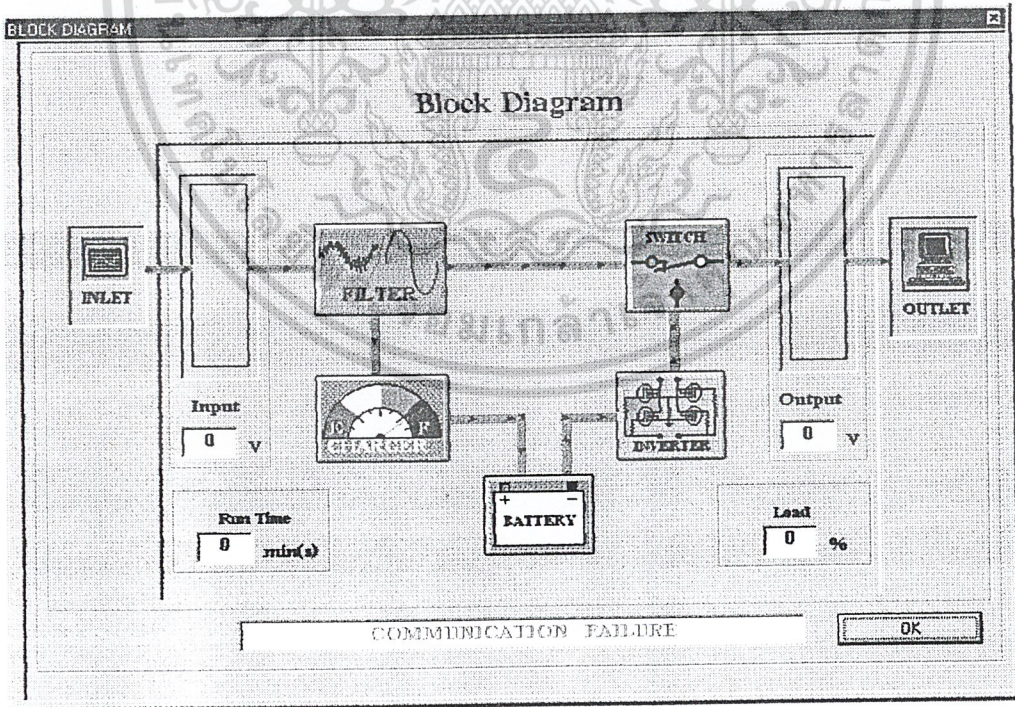
รูปที่ 7.7 แสดงสถานะและเลือกเมนู



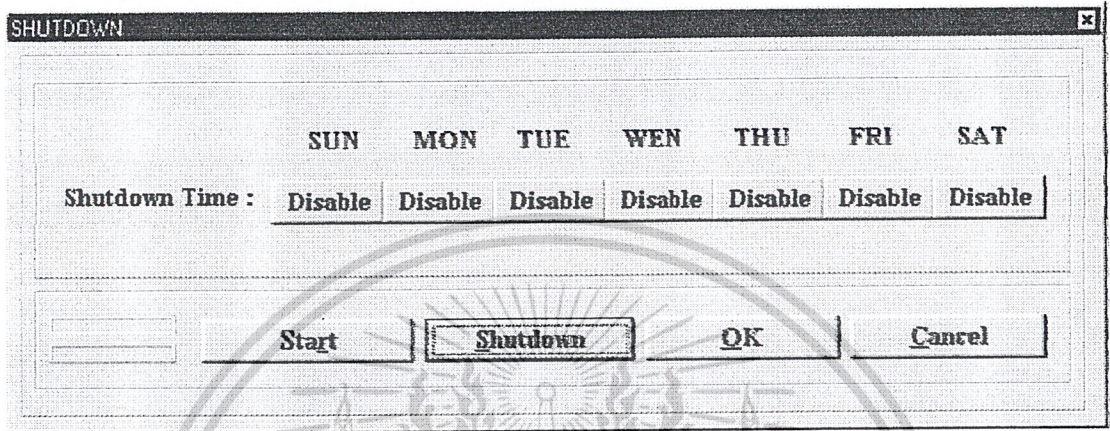
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 7.8 แสดงสถานะแรงดัน-ความถี่-กระแสแบตเตอรี่ ซึ่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 แสดงพิกัดของระบบ

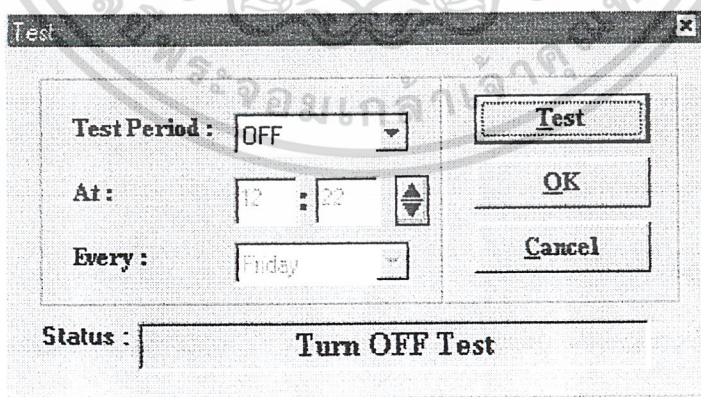


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.11

แสดงหน้าจอการสั่ง Shut Down



รูปที่ 7.12

แสดงหน้าจอการสั่งงานทดสอบอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA						
Data						
DATE	TIME	STATUS	Vin(Vac)	Vout(Vac) / Freq(Hz)	I (A)	VBat(Volt)
14 มิ.ค. 99	2:53:57	On Line System	236	236	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:00	On Line System	239	236	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:04	On Line System	240	226	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:07	On Line System	240	225	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:10	On Line System	240	225	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:14	On Line System	239	228	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:17	On Line System	236	228	53	0
14 มิ.ค. 99	2:54:20	On Line System	235	225	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:23	On Line System	240	228	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:27	On Line System	241	228	53	0
14 มิ.ค. 99	2:54:30	On Line System	241	225	53	0
14 มิ.ค. 99	2:54:33	On Line System	239	225	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:37	On Line System	240	228	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:40	On Line System	240	228	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:43	On Line System	240	227	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:47	On Line System	240	228	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:50	On Line System	240	227	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:53	On Line System	238	238	54	0
14 มิ.ค. 99	2:54:56	On Line System	240	240	54	0
14 มิ.ค. 99	2:55:00	On Line System	240	226	54	0
14 มิ.ค. 99	2:55:08	System Load Proved	0			

รูปที่ 7.13 แสดงหน้าจอกำหนดข้อมูลของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.10 การออกแบบในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบรูปคลื่นสัญญาณจับ

ในการกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นที่จะนำไปใช้จับให้กับ มอสเฟตนั้นเราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างพัลส์ไปจับให้ NOT GATE และจากเอาต์พุตของ NOT GATE ไปจับให้กับมอสเฟตขาของ NOT GATE ที่ใช้ในการนำไปจับให้กับมอสเฟตคือ ขา 8, 10 และบิตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการสร้างพัลส์คือ บิต P1.4 และบิต P1.5 โดยหลักในการสร้างพัลส์ให้กับวงจร พูช – พูล นั้นมอสเฟตทั้งสองตัวจะไม่ทำงานพร้อมกันแต่จะสลับกันในการทำงาน ดังนั้นถ้า บิต P1.4 เป็น HIGH บิต P1.5 ก็จะต้องเป็น LOW ในทางตรงกันข้ามถ้าบิต P1.4 เป็น LOW บิต P1.5 ก็จะต้องเป็น HIGH ในการทำให้ บิต P1.4 และ บิต P1.5 เป็น HIGH หรือ LOW นั้นเราสามารถที่จะทำได้โดยใช้คำสั่ง SETB หรือ CLR และใช้ประกอบกับวงจรหน่วงเวลา โดยพัลส์ที่ใช้จับนี้สามารถที่จะทำให้หดเข้า หรือ ขยายออกได้ตาม แรงดันเอาต์พุตของโหนด กล่าวคือ ถ้าในช่วงสภาวะคิปปกติ ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่า 220 โวลต์ พัลส์ที่ถูกสร้างโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์จะขยายออกเพื่อที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตของโหนดมีค่าคงที่ ในทางตรงกันข้ามถ้าแรงดันเอาต์พุตของโหนดมีค่ามากกว่า 220 โวลต์ พัลส์ก็จะทำการหดเข้าเพื่อที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตของโหนดมีค่าคงที่

ถ้าหรับพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นมานี้จะอาศัยหลักการหน่วงเวลาแบบ 2 LOOP โดยที่พัลส์สามารถที่จะหดเข้าหรือขยายออกได้ตามแรงดันของเอาต์พุตของโหนด สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณในการหน่วงเวลาดังได้กล่าวมาแล้วซึ่งสามารถที่จะแสดงได้ดังนี้

$$\text{จำนวน Machine Cycle} = 3 + R_1 \{3 + R_0(2)\} * 1.085 \mu\text{S}$$

ค่า  $R_1$  และค่า  $R_0$  คือค่าเวลาที่ต้องการหน่วงเวลาซึ่งในโครงการนี้ ค่า  $R_1$  เราจะใส่ไว้เป็นค่าคงที่ สำหรับค่า  $R_0$  จะกำหนดไว้เป็นตัวแปร PULSE\_ON ซึ่งค่าในตัวแปร PULSE\_ON สามารถที่จะแปรค่าได้ตามค่าแรงดันของเอาต์พุตเพื่อที่จะให้แรงดันเอาต์พุตของโหนดมีค่าคงที่

$$\text{เช่น ที่ } 100 \text{ W ค่า } R_1 \text{ มีค่า} = 230$$

$$\text{ค่า } R_0 \text{ มีค่า} = \text{PULSE\_ON} = 6$$

เราสามารถคำนวณค่าเวลาที่หน่วงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเวลาที่หน่วง = จำนวน Machine Cycle =  $3 + 230 \{ 3 + 5 (2) \} * 1.085$   
 $\mu s$

ค่าเวลาที่หน่วง = 4 mS

เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ PULSE ON จะมีค่า = 6 mS

ในช่วงเวลาที่ OFF จะมีค่า = 4 mS

ดังนั้นพัลส์ที่ถูกสร้างโดยบิต P1.4 จะมีช่วงในการ Turn-On = 6 mS

จะมีช่วงในการ Turn-Off = 4 mS

สำหรับการพัลส์ที่ บิต P1.5 จะเกิดขึ้นตามหลังของ บิต P1.4 เป็นเวลา 10 mS คือ จะมีระยะห่างระหว่างพัลส์ HIGH = 4 mS สำหรับโหลดค่าอื่นๆก็จะมีการทำงานที่เหมือนกันเพียงแต่จะต่างกันตรงที่ในช่วงเวลา Turn-on และ Turn-off โดยถ้าโหลดมีค่ามากขึ้นช่วงเวลาในการ Turn-on จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และช่วงเวลาในการ Turn-on จะมีค่าน้อยลง เพื่อที่จะรักษาคาบเวลาให้มีค่าคงที่ ที่ 20 mS คือความถี่เท่ากับ 50 Hz ตลอดไปไม่ว่าโหลดจะมีค่ามากหรือน้อยเท่าไรก็ตาม

## บทที่ 8

### ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองในโครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองหรือ UPS นี้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ผลการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยจะแสดงผลการทดลองและรูปคลื่นสัญญาณในส่วนต่างๆไปทั้งในสถานะปกติและผิดปกติ
2. ผลการทดลองในส่วนของโปรแกรมวิชวลเบสิก ( Visual Basic Program ) ซึ่ง จะทำการแสดงผลการทดลองการรับค่าอินพุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการแสดงผลทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ในขณะที่ทำงานทั้งหมดทั้งในสถานะที่ปกติและผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองโปรเจกต์แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง

### จุดประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อทดลองเครื่องต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น
2. เพื่อทำการจ่ายภาระได้ในสภาวะปกติและผิดปกติ
3. เปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นกับความเป็นจริง
4. เพื่อรวบรวมผลการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงต่อไป
5. ทำการเพิ่มประสิทธิภาพจากเครื่องต้นแบบให้ดีขึ้น
6. พัฒนาอัตราการทรานเฟอร์สวิตซ์ให้ดีขึ้น

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

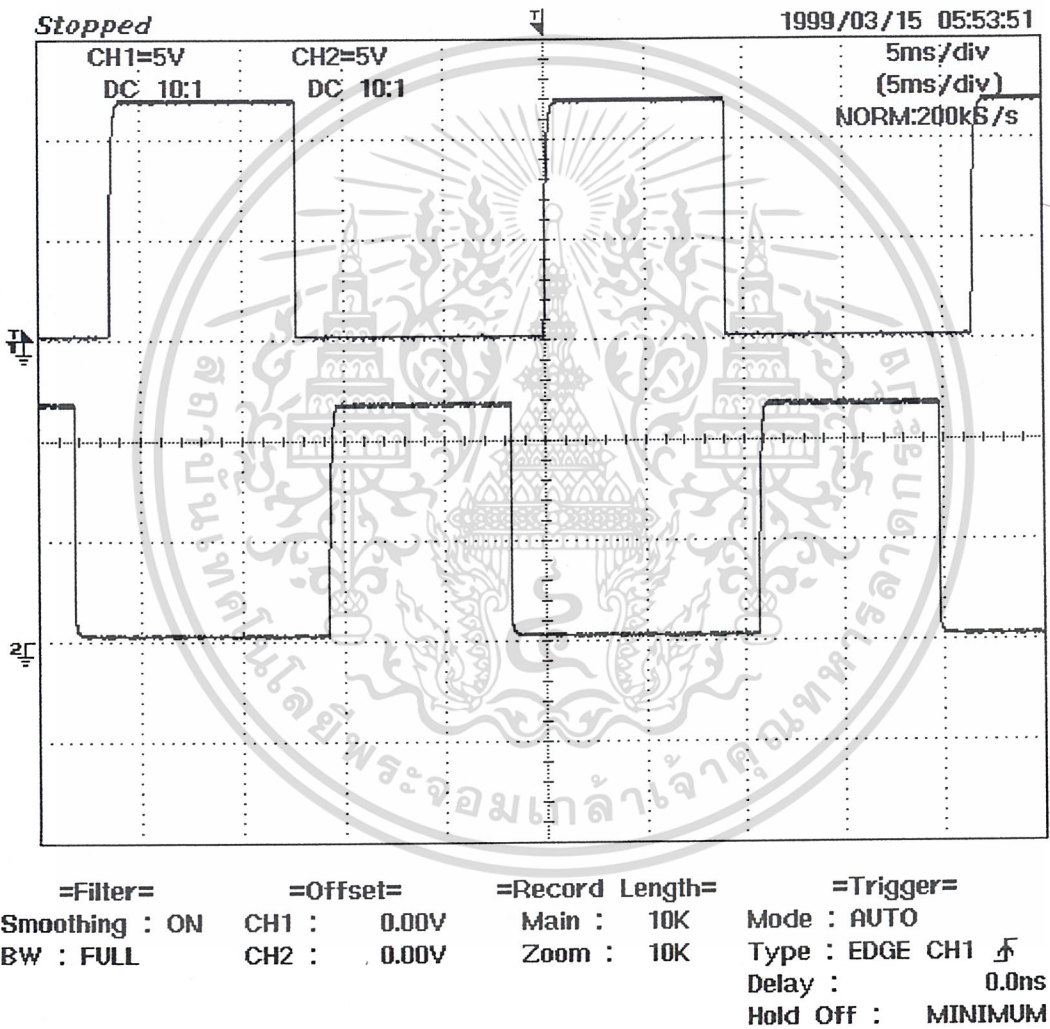
1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ (Variac) ขนาด 5 A , 0 - 260 V
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ( UPS )
3. ภาระเป็นหลอดไฟแบบหลอดไส้ขนาด 100 W จำนวน 4 หลอด
4. แอมป์มิเตอร์ ขนาด 3 Aac
5. โวลท์มิเตอร์ ขนาด 0 - 250 Vac
6. ออสซิลโลสโคป
7. คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการแสดงผล
8. Software UPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แสดงการทดลองโครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง

### 8.1 ผลการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์

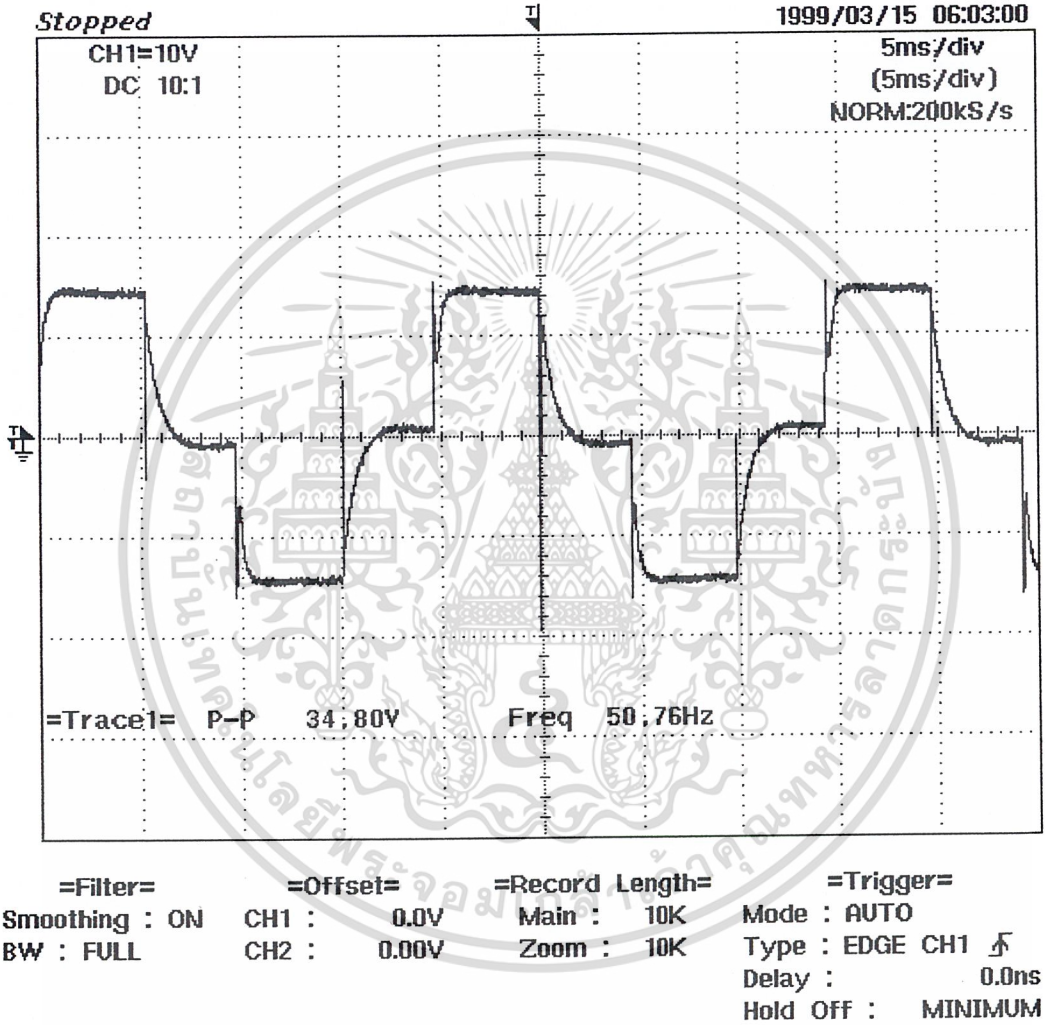
(Experiment of hardware)



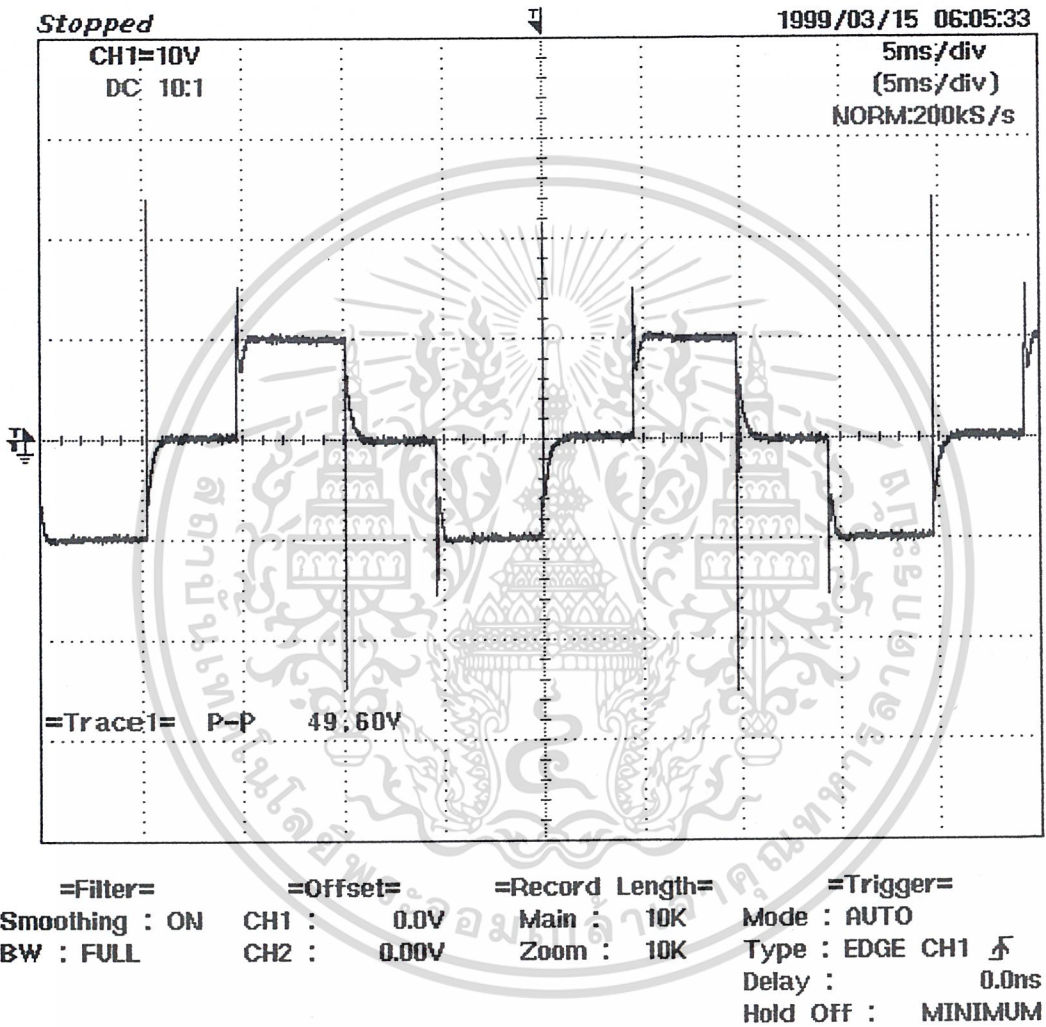
รูปที่ 8.1 แสดงรูปคลื่นอินพุตให้กับอินเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสถานะผิดปกติการะได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์

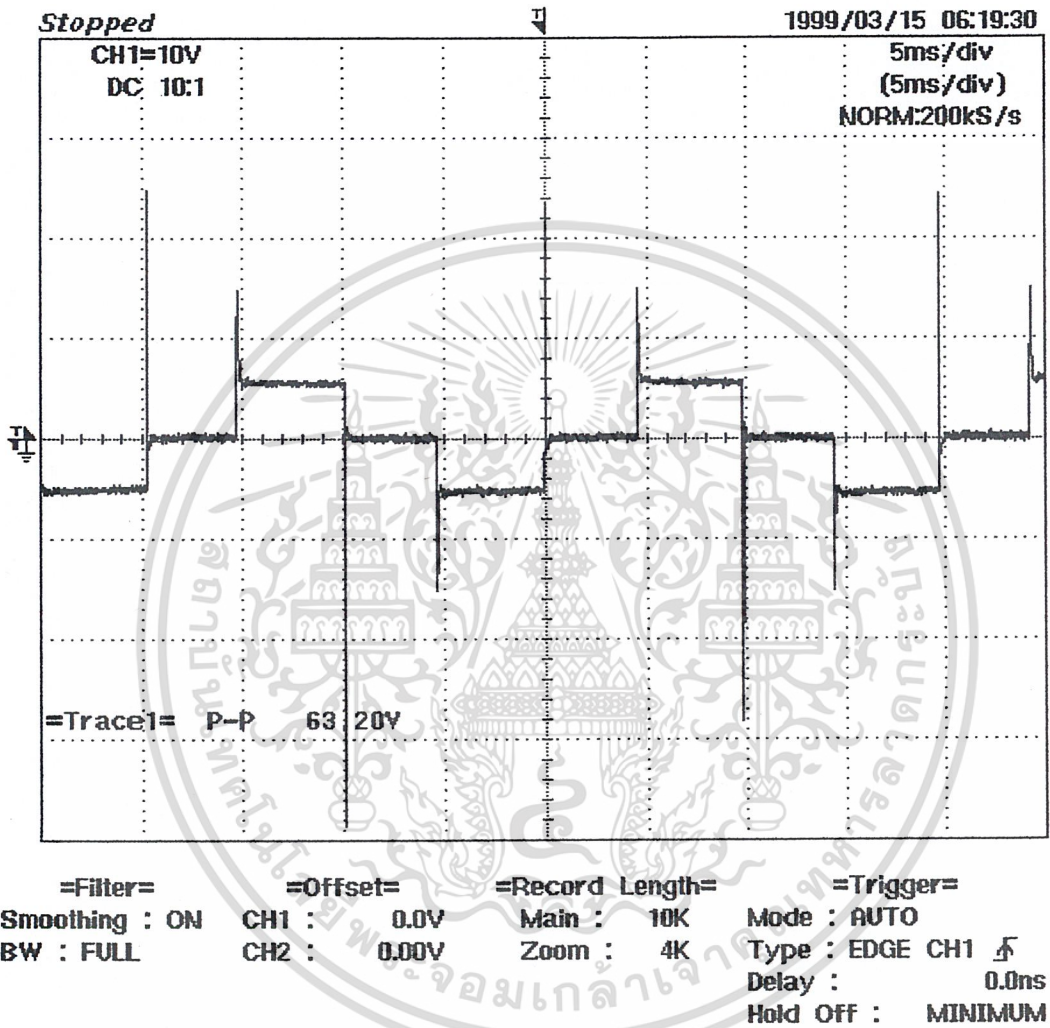


รูปที่ 8.2 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



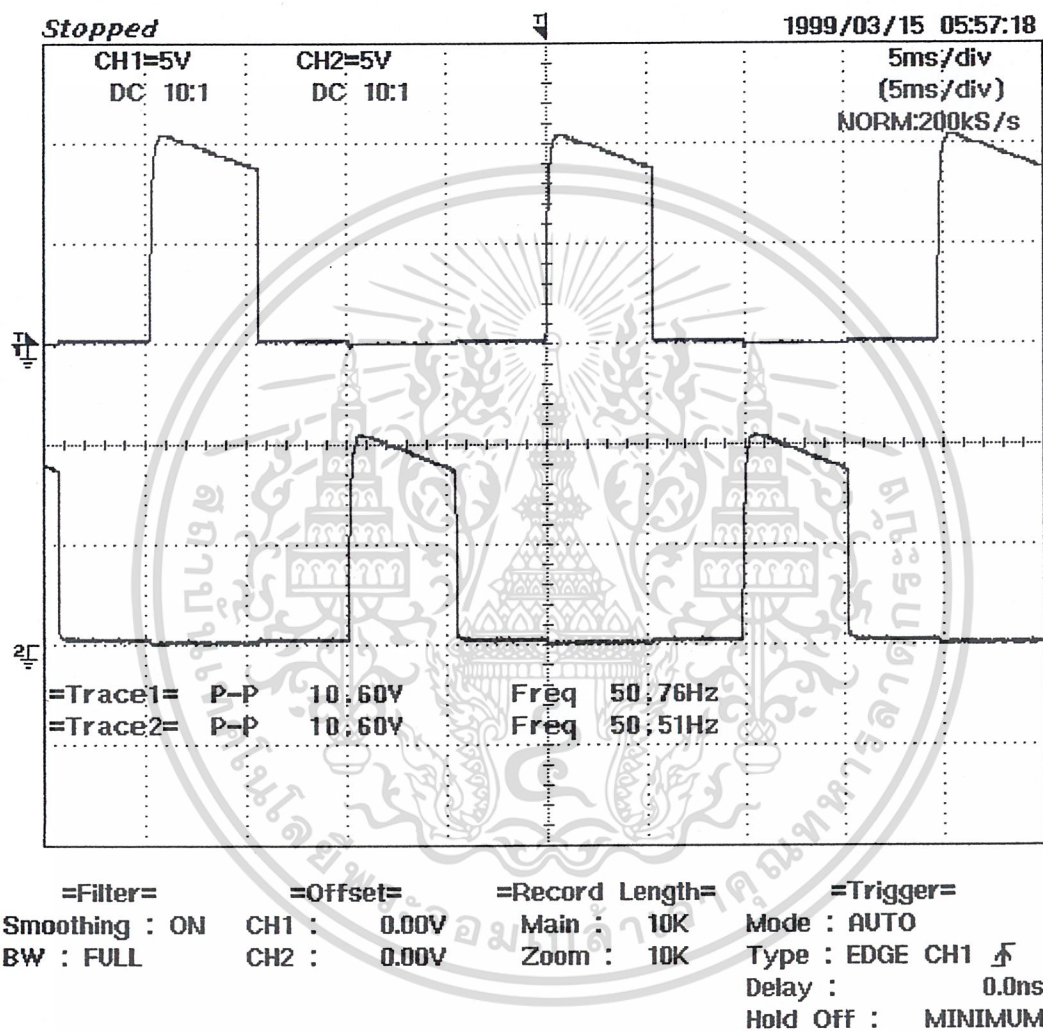
รูปที่ 8.3 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



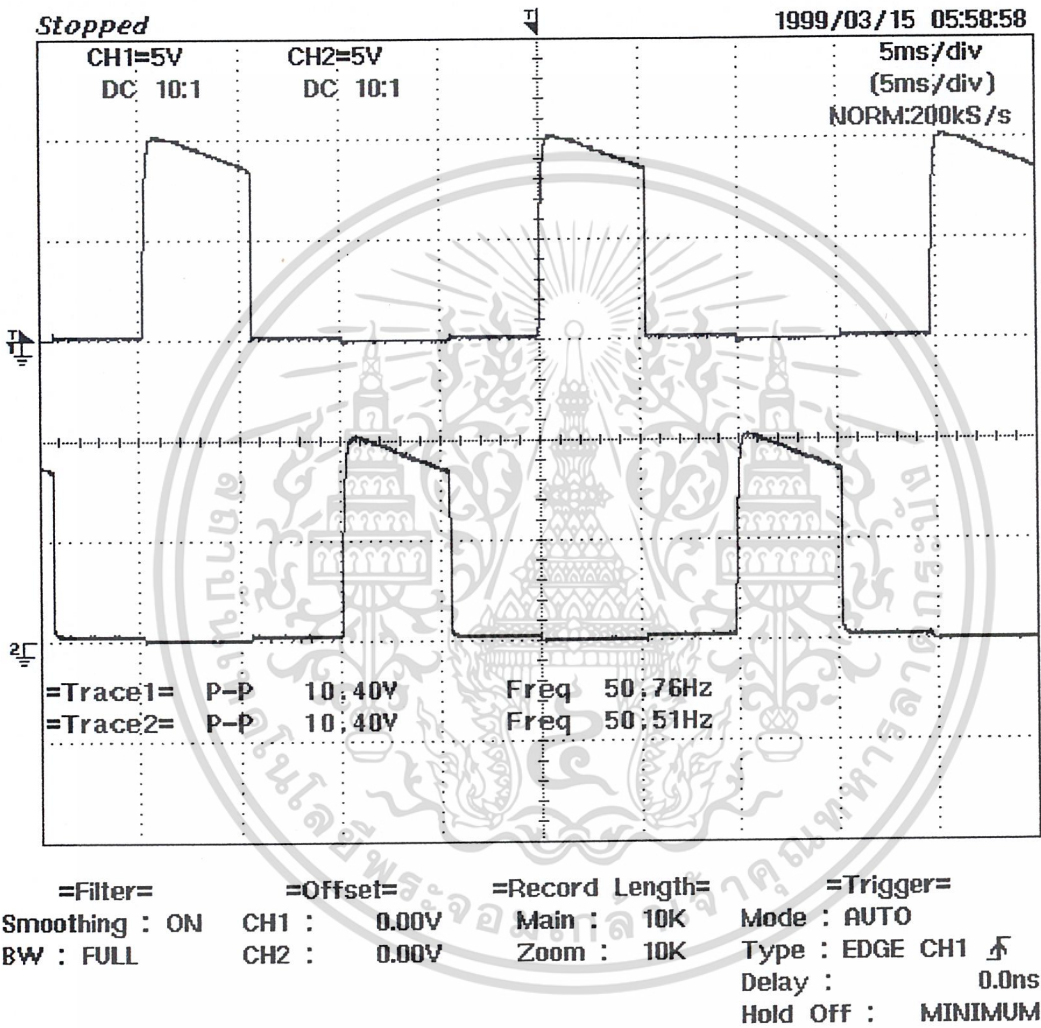
รูปที่ 8.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



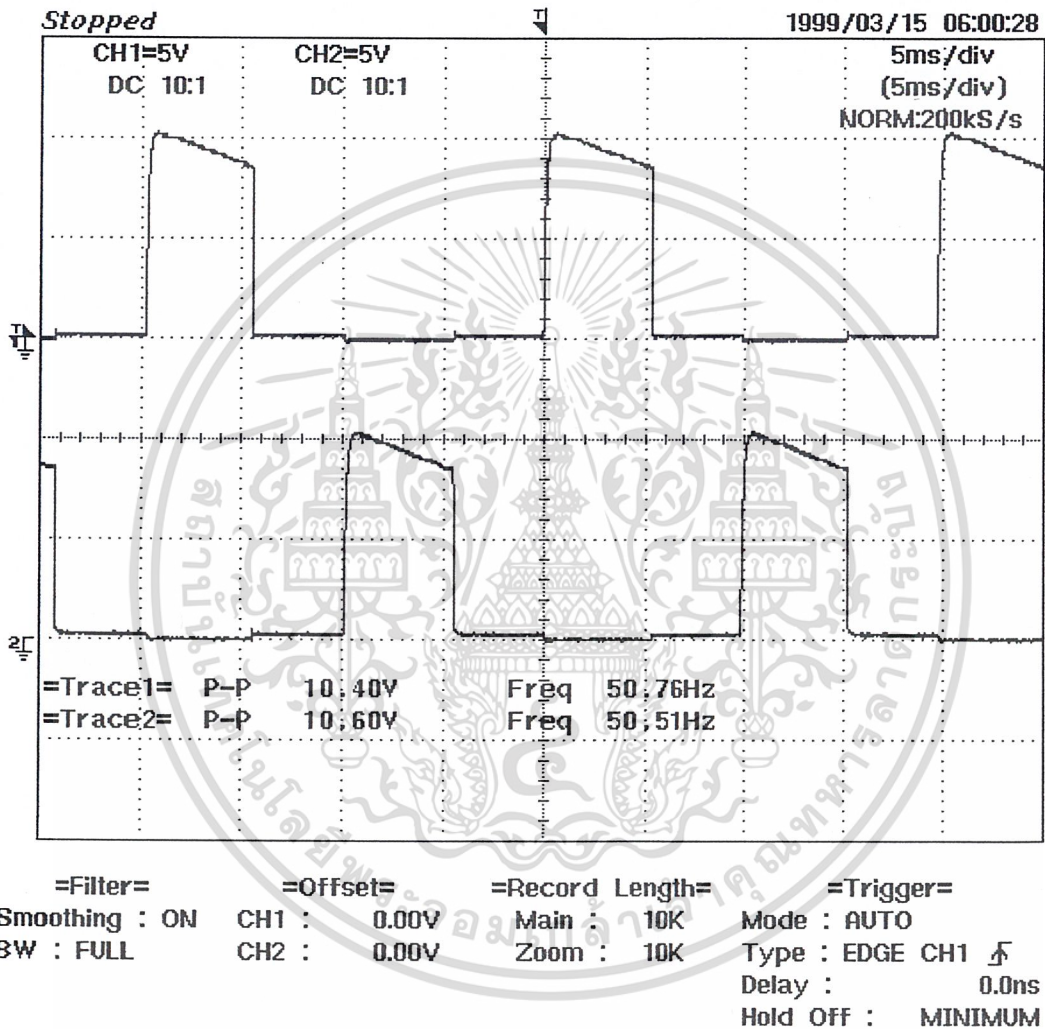
รูปที่ 8.5 แสดงรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขั้ววงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ หลอดไฟ 200 W

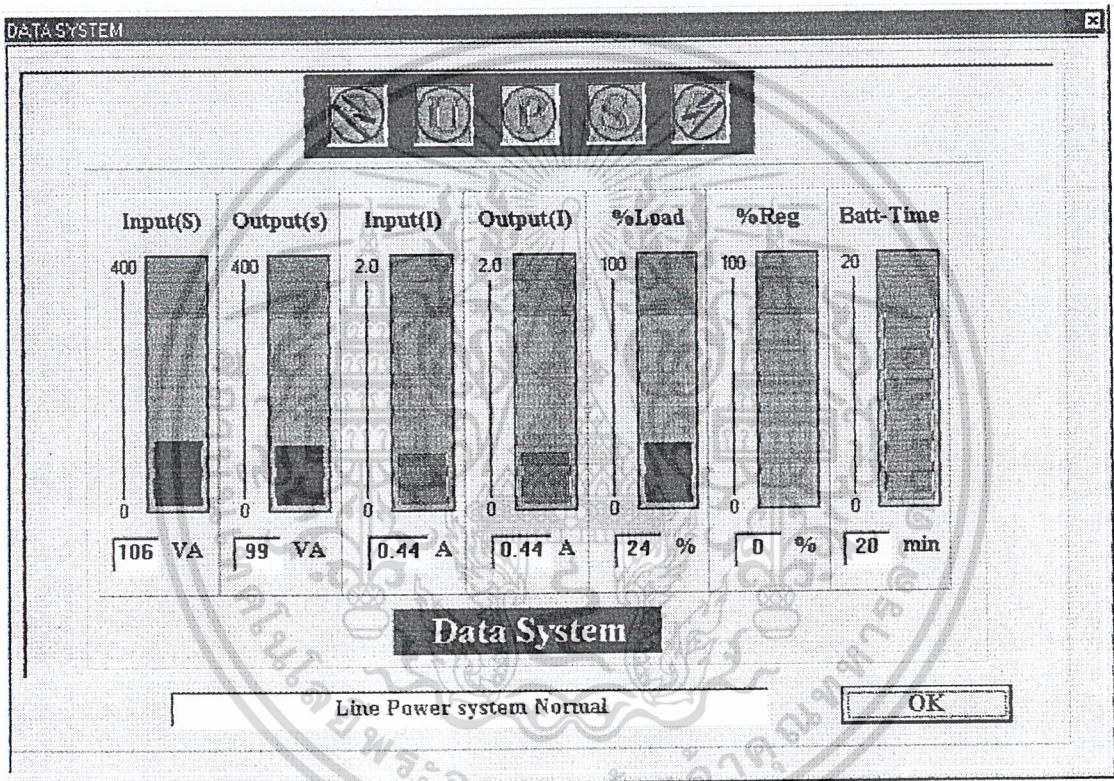
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระโหลดไฟ 300 W

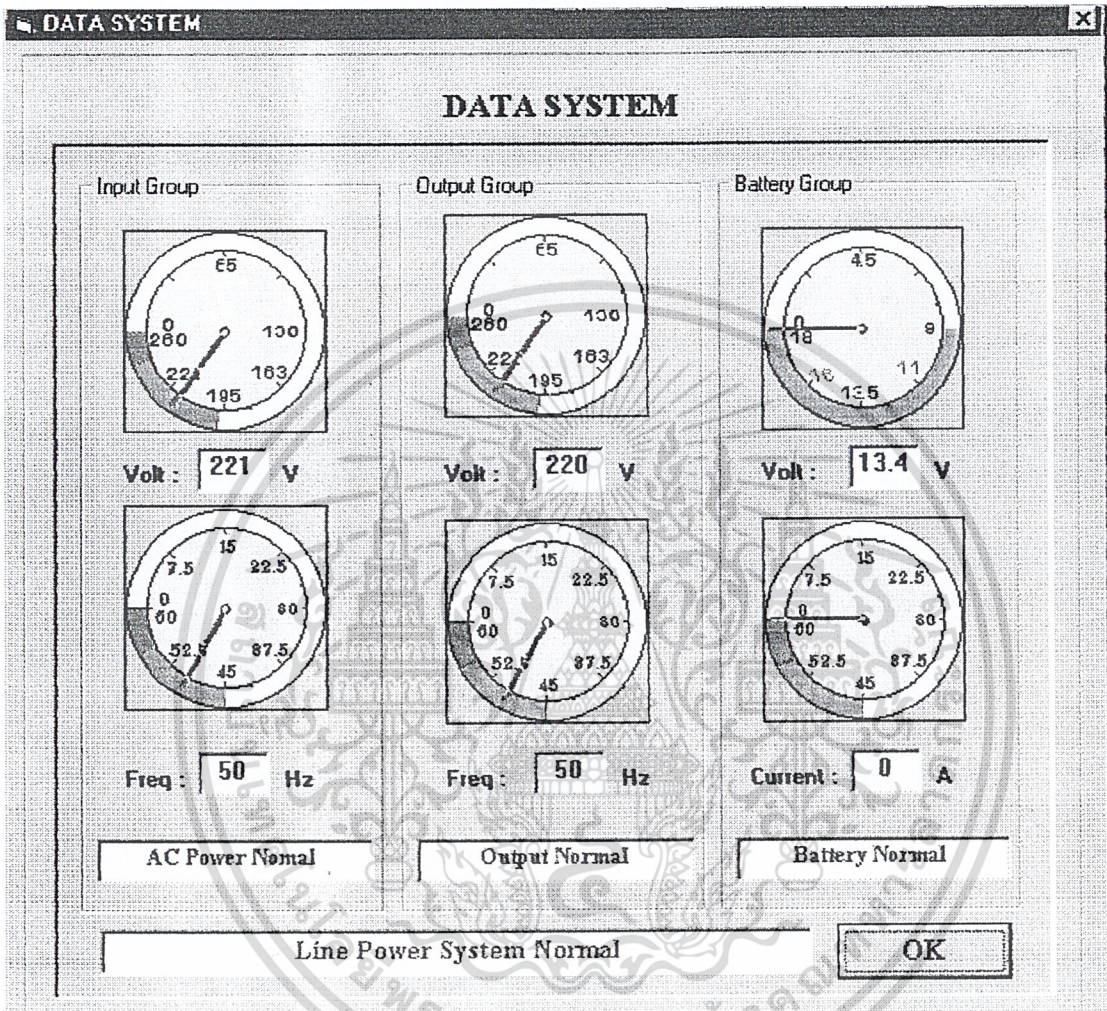
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดลองในส่วนของการแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์  
 2.1 ในสถานะปกติ ภาระได้รับกำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า



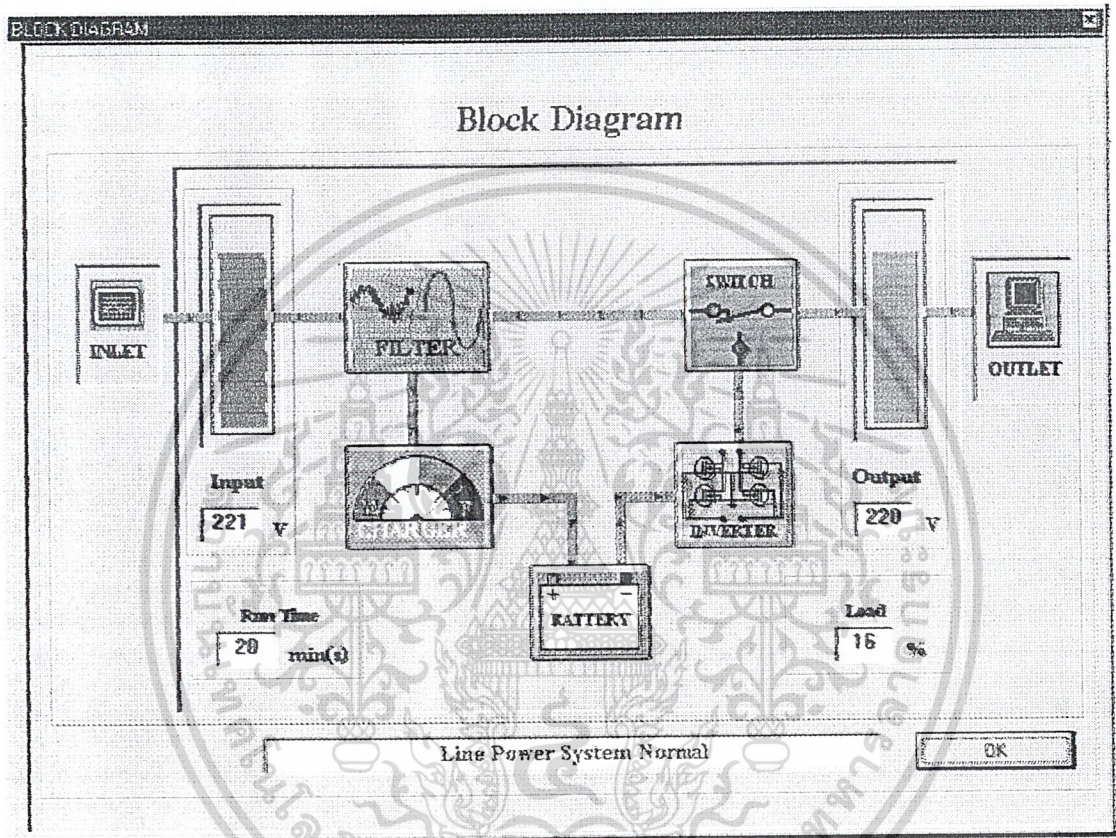
รูปที่ 8.8 แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



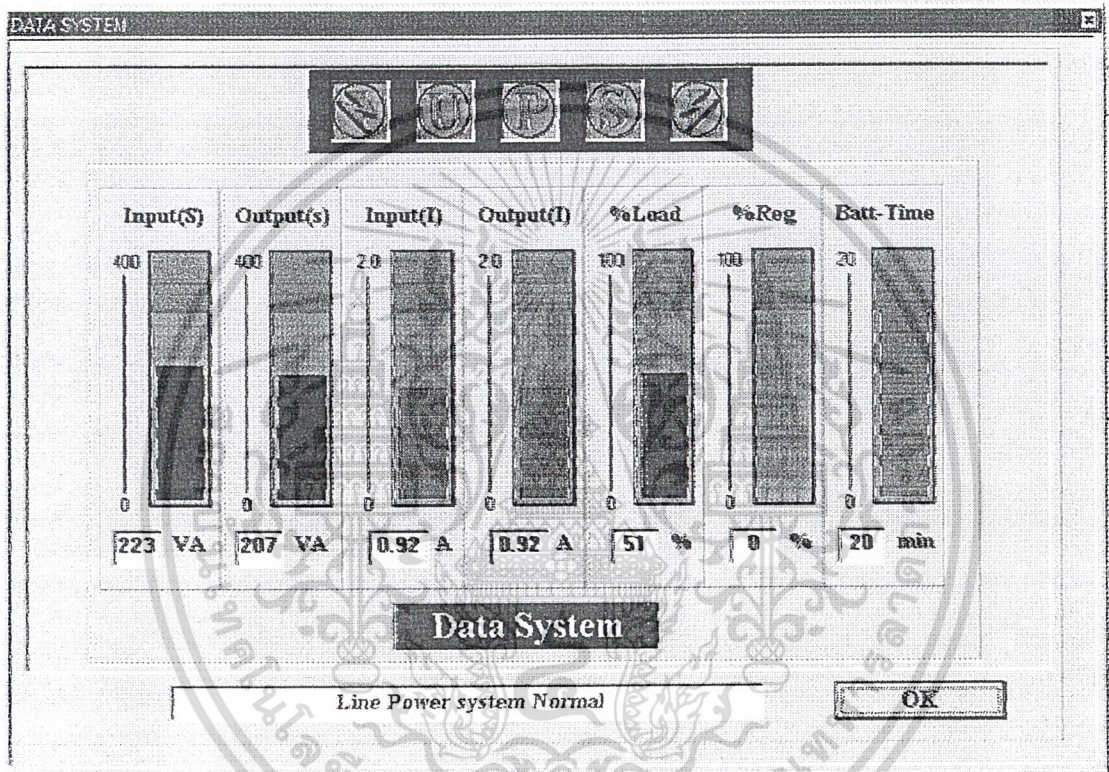
รูปที่ 8.9 แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



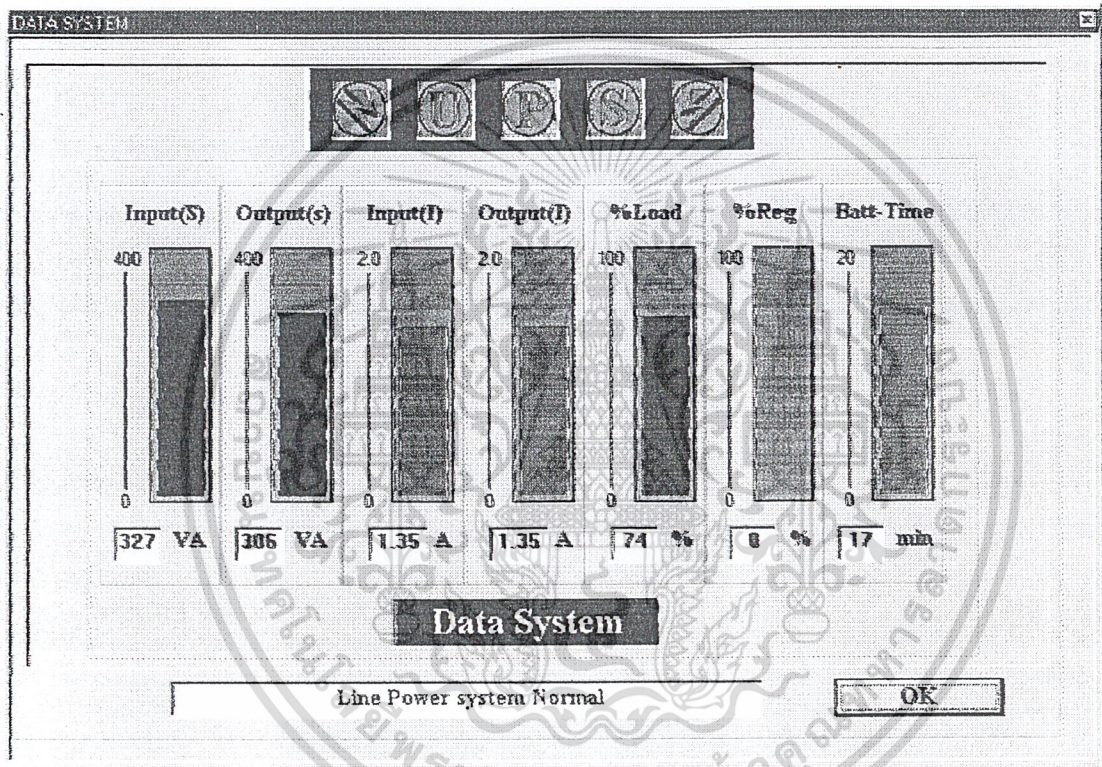
รูปที่ 8.10 แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.11 แสดงผลในสภาวะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 200 W

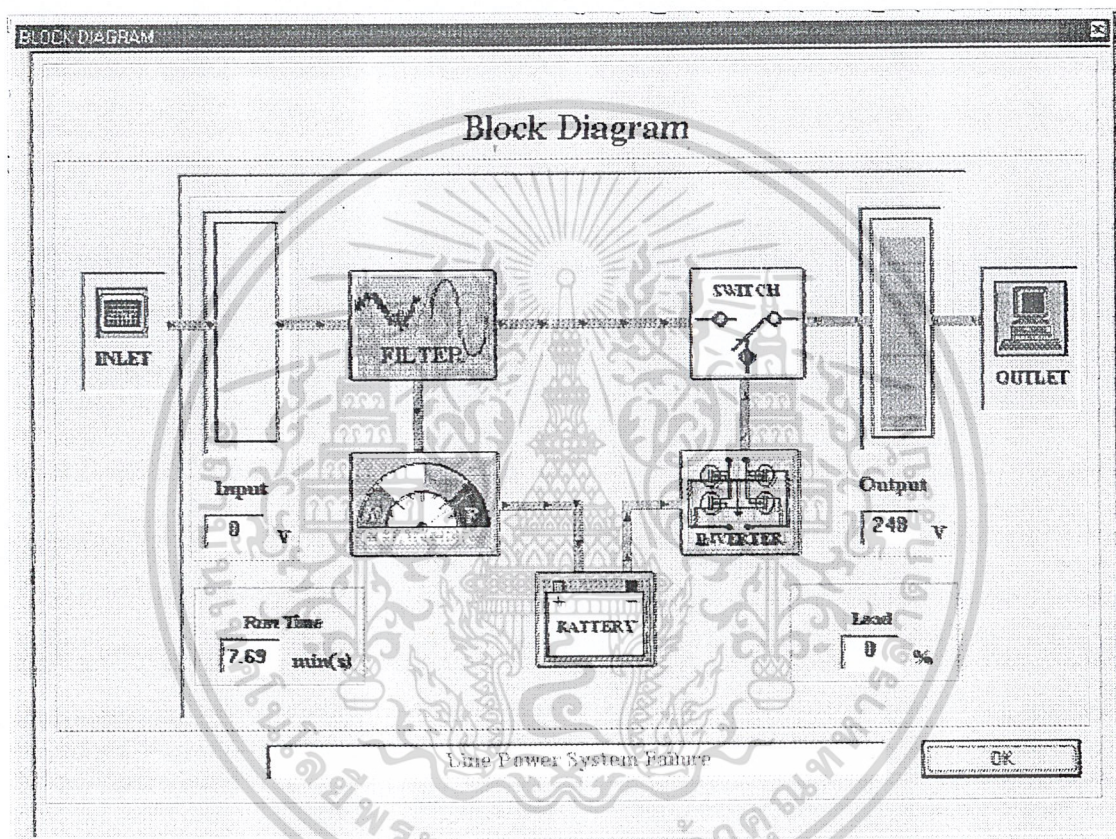
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.12 แสดงผลในสถานะปกติ ที่ภาระโหลดไฟ 300 W

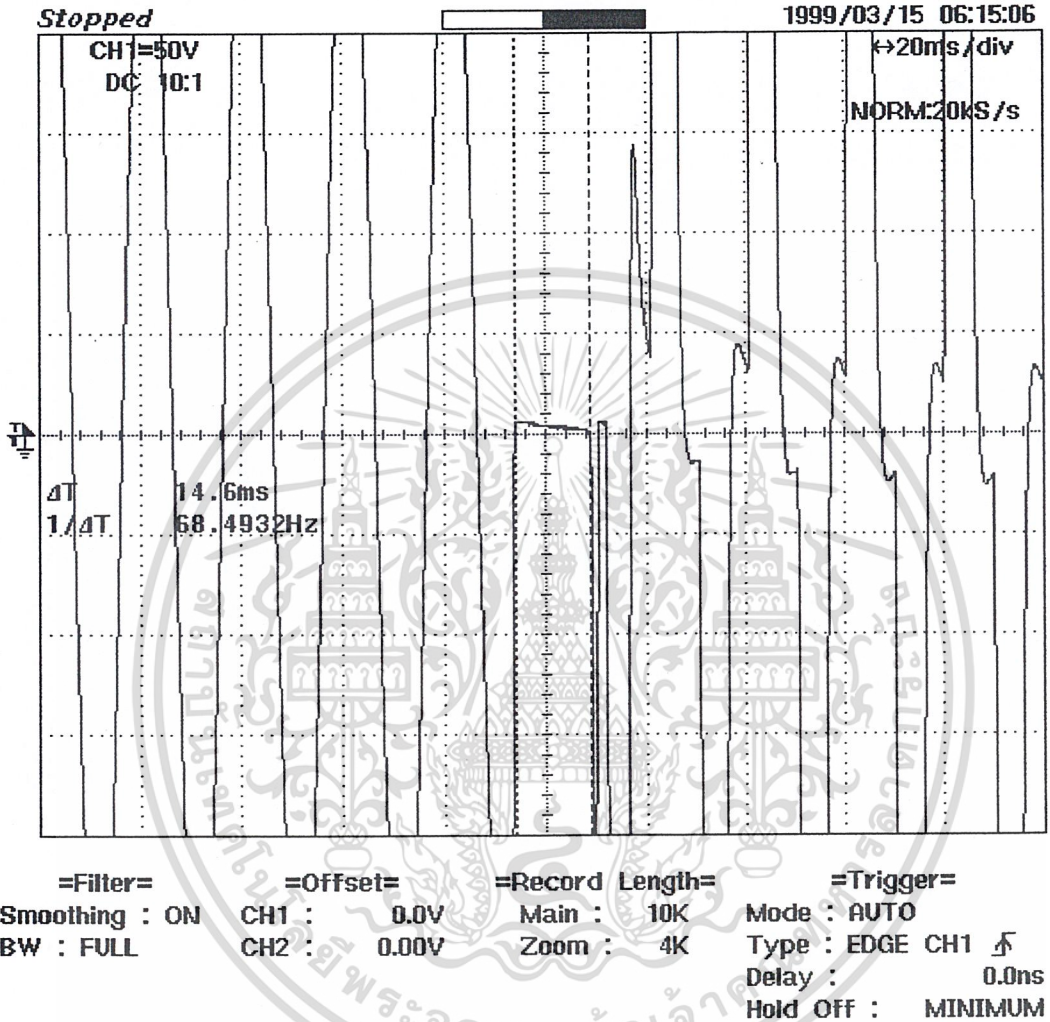
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ในสถานะผิดปกติ ภาระได้รับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 8.13 แสดงผลในสถานะผิดปกติ ที่ภาระหลอดไฟ 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.14 แสดงอัตราเวลาการ Transfer ของ UPS เมื่อเกิดเหตุผิดปกติที่การไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 9

### วิจารณ์และสรุปผล

หลังจากที่ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบและทดลองต่อกับภาระค่าต่างๆ พบว่าการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตยังมีปัญหา โดยระดับแรงดันจะไม่คงที่เท่าที่ควรเหมือนเช่นในตอนไว้ภาระเนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมมากเกินไปเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการปรับแรงดันขึ้นอัตโนมัติโดยการขยายพัลส์ ค่าแรงดันที่ได้จะไม่เท่ากับแรงดันในตอนแรกดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็นเหตุใ้กำลังเอาต์พุตไม่สามารถจ่ายได้ที่กำลังพิกัด

ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์สามารถทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้ดี ซึ่งจะมีการผิดพลาดของรูปคลื่นเล็กน้อยโดยจะไม่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมหลักที่เดียวนัก สำหรับช่วงเวลาการเปิด ( $t_{on}$ ) และเวลาปิด ( $t_{off}$ ) ของรูปคลื่นที่ได้นั้นมีค่าน้อยมากประมาณ microsecond ( $\mu sec$ ) สำหรับรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น ideal ก็ในสภาวะที่มีภาระเพิ่มขึ้น เป็นเพราะว่าในตอนแรก อิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่จะเป็น Inductive Reactance และมีค่าความต้านทานภาระเล็กน้อยดังนั้นค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ รูปคลื่นจะมีกระแสในส่วนหลักน้อยกว่ากระแสทั้งหมด ทำให้รูปคลื่นไม่เป็นสี่เหลี่ยมเท่าที่ควร แต่เมื่อทำการเพิ่มภาระเข้าไปจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานในวงจรขึ้นภาระจะดึงกระแสจากอินเวอร์เตอร์มากขึ้น เพาเวอร์แฟคเตอร์ก็จะสูงขึ้น รูปคลื่นก็จะเป็นสี่เหลี่ยมมากขึ้น แต่ผลก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก สำหรับการออกแบบเป็นวงจรพุช - พูล ซึ่งจะมีข้อเสียในเรื่องแรงดันตกคร่อมตัวมอสเฟตจะสูงหากเปรียบเทียบกับวงจรสวิตชิงแบบอื่น ๆ ทำให้อุปกรณ์ทนแรงดันกระแสขาได้ต่ำในการต่อกับภาระที่มีความเหนียวนำสูงและมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสปริมาณกระแสมากเกิดขึ้นในช่วงเวลาทันทีทันใดจะทำให้ตัวเหนียวนำสร้างแรงดันสูงออกมาเป็นการคายพลังงานที่สะสมอยู่อาจมีผลทำให้มอสเฟตเสียหายได้ แต่อย่างไรก็ดี วงจรลิตชิงแบบ พูช - พูล ยังมีข้อดีในเรื่องการออกแบบที่ง่ายและวงจรขับมอสเฟตใช้อุปกรณ์ที่น้อยกว่าชนิดอื่นๆ ในการพัฒนาต่อไปเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากแรงดันสูงที่ตัวเหนียวนำสร้างขึ้นควรจะต้องเลือกใช้วงจรสวิตชิงแบบอื่น ซึ่งอาจจะทำให้พิกัดรวมทั้งความทนทานต่อสภาวะผิดปกติของวงจรเพิ่มขึ้น

ในวงจรอิดประจุแบตเตอรี่ สามารถใช้งานได้ดีในสภาวะที่แรงดันของแบตเตอรี่ไม่ต่ำจนเกินไปนัก ทั้งนี้เนื่องจากวงจรถูกออกแบบให้ประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันคงที่เท่านั้น ในสภาวะที่แรงดันของแบตเตอรี่ต่ำมากๆ จะทำให้วงจรถูกจ่ายกระแสสูงโดยไม่สามารถจำกัดกระแสอิดประจุได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อวงจรอิดประจุได้ โดยในโครงการนี้จะใช้ไอซี LM 317T เป็นตัวรักษาระดับแรงดัน มีอัตราการทนกระแสได้ 1 A ซึ่งเพียงพอต่อการจ่ายกระแสอิดประจุได้โดยใช้เพียง 850 mA

เท่านั้น แต่ถ้าหากเกิดเหตุการณ์ดังที่กล่าวมา การออกแบบวงจรอัตโนมัติจะคำนึงถึงการจำกัดกระแสหรือให้เครื่องมีการตัดประจุด้วยกระแสคงที่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ในส่วนของวงจรสวิตช์สลับเปลี่ยน เมื่อทำการทดสอบในสภาวะปกติและผิดปกติที่ภาระค่าต่างๆ ผลปรากฏว่าทำตามเงื่อนไขต่างๆที่ได้ค่อนข้างแม่นยำ เนื่องจากใช้รีเลย์เป็นตัวสลับเปลี่ยน ( Mechanical Switching ) จึงไม่ค่อยมีปัญหาเหมือนเช่นกับการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ( Solid state Switching ) ซึ่งจากการทำงานที่ถูกต้องเป็นผลมาจากการควบคุมที่แม่นยำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งรวดเร็ว เวลาในการสั่งการควบคุมใช้น้อยมาก ดังนั้นเป็นผลให้สวิตช์สลับเปลี่ยนทำงานถูกต้อง

ในด้านของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานได้สมบูรณ์ในทุกด้านทั้งเป็นการกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อขับมอเตอร์ การรับสัญญาณตรวจสอบจากอุปกรณ์ตรวจสอบต่างๆรวมทั้งการสร้างสัญญาณควบคุมในส่วนต่างๆ และที่สำคัญการทำงานที่รวดเร็วของตัวเอง เป็นผลให้การทำงานในด้านฮาร์ดแวร์และส่วนติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลที่ไม่มีปัญหา ซึ่งหากเปรียบเทียบกับ การควบคุมโดยใช้วงจรอนาล็อก ก็อาจจะพบปัญหามากกว่านี้แน่นอน นี่เป็นข้อได้เปรียบอย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้วงจรอนาล็อก

แต่กว่าจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ก็สูญเสียตัวชิพไมโครฯเบอร์ ATC 89C51 ไป 2 ตัวเนื่องจากกระแสที่พอร์ตมีค่ามากเกินไป ตัวชิพไมโครฯทำการจ่ายกระแสมากเกินไปตัวมันจึงร้อน จึงไม่สามารถทำการโหลดโปรแกรมเก็บไว้ที่อีพรอมได้ โดยที่ตัวชิพไมโครฯจะมีโปรแกรมการโหลดด้วย หากตัวชิพทำงานผิดพลาด ทุกอย่างก็ไม่สามารถทำงานได้ โดยที่กั๊ดพอร์ตของชิพสามารถทนกระแสได้เพียง 80 mA เท่านั้น ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย

สำหรับการส่งข้อมูลเป็นแบบอนุกรมให้กับคอมพิวเตอร์ ค่าที่ส่งนั้นผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งไม่มีปัญหาในส่วนนี้

ในส่วนสุดท้ายที่ได้กล่าวคือการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนนี้ทางกลุ่มผู้จัดทำได้ร่วมกันคิดออกแบบในส่วนต่างๆ เช่น ส่วนหน้าจอแสดงผล ( User Interface ) การแสดงค่าพารามิเตอร์ให้มีการแสดงหลายๆค่าให้มากที่สุด เพื่อที่จะให้ผู้ใช้ได้ทราบสภาวะนั้นโดยพิจารณาจากค่าที่แสดงขึ้นเพื่อจะได้ทำการป้องกันไว้ก่อนหากเกิดผิดปกติขึ้น ดังนั้นค่าต่างๆที่ทำการส่งมาจากไมโครฯ จะทำการเข้ารหัสที่เป็นไปได้มากที่สุด สอดคล้องกับการออกแบบที่ดึงดูดผู้ใช้งาน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า

ในส่วนนี้เป็นการพัฒนาจากระบบแบบเดิมมาก ซึ่งการแสดงผลจะเป็นแบบกราฟฟิก ซึ่งโดยทั่วไปไปยังเป็นแบบมาตรวัดธรรมดาอยู่หรืออนาล็อก

การปรับปรุงในอนาคตนั้นก็ควรจะมีการพัฒนารูปแบบแสดงผลให้หลากหลายมากขึ้น เช่น แสดงแบบกราฟ หรือเก็บเป็นข้อมูลเข้าหน่วยความจำ เพื่อต้องการที่จะดูผลเมื่อต้องการที่จะทราบ สถิติที่เกิดขึ้นนี้คือแนวทางที่จะพัฒนาต่อไป

อาจกล่าวได้ว่าจุดเด่นของโครงการนี้คือการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการแสดงผลเป็นกราฟฟิกบนคอมพิวเตอร์ ส่วนในด้านฮาร์ดแวร์จะไม่ค่อยมีอะไรเป็นจุดเด่นแต่ทุกอย่างเมื่อผสมผสานเข้าด้วยกันแล้ว ผลที่ออกมาเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง

ดังนั้นสุดท้ายนี้ ข้อเสนอแนะจะเป็นเรื่องราวการทำงานที่มีแบบแผน มีจุดประสงค์ โดยการทำงานจะต้องแบ่งส่วนการทำงานออกให้ชัดเจนยกตัวอย่างในโครงการนี้จะแบ่งงานกันเพื่อ ศึกษาในแต่ละส่วนแล้วรวมความคิดเพื่อพิจารณาว่าแนวทางใดเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดแล้วจึง ออกแบบ โดยมอบความรับผิดชอบสูงสุดให้กับบุคคลนั้นในการที่จะทำงานชิ้นนั้นให้สำเร็จโดย บุคคลที่ช่วยเหลือคอยช่วยเหลือช่วยทำ เพื่อความสำเร็จของงาน

ผลงานที่ออกมาบวกกับความมุ่งมั่น ความตั้งใจ จึงมีผลงานชิ้นนี้ในการนำเสนอในครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆ ท่าน โดยเฉพาะท่าน รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา เป็นผู้ให้คำแนะนำแนวทางในการดำเนินงาน แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานรวมทั้งข้อมูลต่างๆ พร้อมทั้งขอบคุณ ที่ค้ำมื้ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับด้านการรับส่งข้อมูล พี่เมฆินและพี่โทมัสที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับทางด้านฮาร์ดแวร์เป็นอย่างดีและเพื่อนที่ได้ทำงานร่วมกันอย่างเต็มที่ รวมทั้งขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ เพื่อให้งานสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่วางเอาไว้

สุดท้ายนี้หวังว่า ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งและเป็นแนวทางในการดำเนินงาน และทำการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอีกสำหรับรุ่นน้องและผู้ที่ต้องการจะศึกษาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. มงคล ทองสงคราม , “มอสเฟตกำลัง”,อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2540 ,พิมพ์ครั้งที่ 3 ห้างหุ้นส่วน จำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง,พฤศจิกายน 2540 ,หน้า 17-21
2. ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ , “ Uninterruptible Power System” , Thyristor Application
3. สุวัฒน์ ดัน , “พวซ-พวด คอนเวอร์เตอร์” , เทคนิคการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย 2538, พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัทเอนเทคไทย จำกัด, มิถุนายน 2538, หน้า 41-45
4. รศ.ศุภี บรรจงจิตร , “ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน/สำรอง”, อุปกรณ์และการติดตั้งในงานระบบไฟฟ้า 2537 ,พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัทซีเอด ยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),2538,หน้า 394-395
5. กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล , “ การออกแบบ Visual Basic”, Visual Basic 5 2541, พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด, กรกฎาคม 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ADC0808/ADC0809 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

### General Description

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

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

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

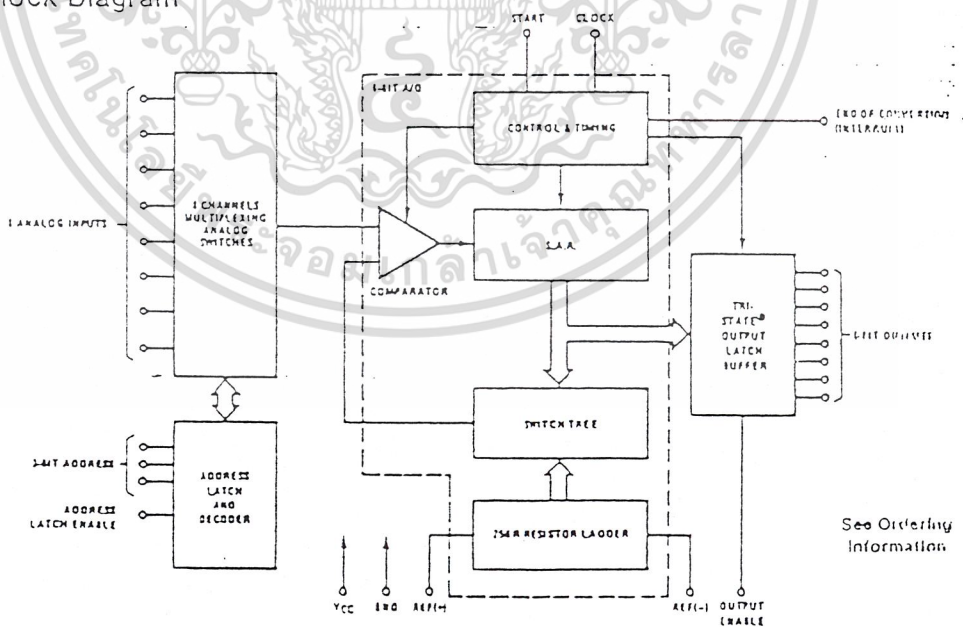
### Features

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

### Key Specifications

- Resolution 8 Bits
- Total Unadjusted Error  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- Single Supply 5 V<sub>CC</sub>
- Low Power 15 mW
- Conversion Time 100  $\mu$ s

### Block Diagram



See Ordering Information

11/80 713

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3) 5.5V  
Voltage at Any Pin -0.3V to ( $V_{CC} + 0.3V$ )

Except Control Inputs  
Voltage at Control Inputs -0.3V to +15V  
(START, CE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)

Storage Temperature Range -65°C to +150°C

Package Dissipation at  $T_A = 25^\circ\text{C}$  875 mW

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)

Dual-In-Line Package (plastic) 260°C

Dual-In-Line Package (ceramic) 300°C

Molded Chip Carrier Package

Vapor Phase (60 seconds) 215°C

Infrared (15 seconds) 220°C

ESD Susceptibility (Note 11) 400V

**Operating Conditions** (Notes 1 & 2)

Temperature Range (Note 1)  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$

ADC0808CJ -55°C  $\leq T_A \leq$  +125°C

ADC0808CCJ, ADC0808CCN, -40°C  $\leq T_A \leq$  +85°C

ADC0809CCN -40°C  $\leq T_A \leq$  +85°C

ADC0808CCV, ADC0809CCV -40°C  $\leq T_A \leq$  +85°C

Range of  $V_{CC}$  (Note 1) 4.5  $V_{CC}$  to 6.0  $V_{CC}$

**Electrical Characteristics**

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

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

**Electrical Characteristics**

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ 4.5V  $\leq V_{CC} \leq$  5.5V, -55°C  $\leq T_A \leq$  +125°C unless otherwise noted  
ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75V  $\leq V_{CC} \leq$  5.25V, -40°C  $\leq T_A \leq$  +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>ANALOG MULTIPLEXER</b>						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 5V$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$		10	200 1.0	nA $\mu\text{A}$
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC} = 5V$ , $V_{IN} = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$	-200 -1.0	-10		nA $\mu\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics (Continued)**

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ, ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV,  $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$ ,  $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$  unless otherwise noted  
 ADC0808CJ, ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV,  $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$ ;  $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CONTROL INPUTS</b>						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC} - 1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 15V$			1.0	$\mu A$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 0$	-1.0			$\mu A$
$I_{CC}$	Supply Current	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$		0.3	3.0	mA
<b>DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)</b>						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -380 \mu A$	$V_{CC} - 0.4$			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
$I_{OUT}$	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$			3	$\mu A$ $\mu A$

**Electrical Characteristics**

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{WS}$	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_{WALE}$	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_s$	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_H$	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_D$	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)			2.5	$\mu S$
$t_{H1}, t_{H0}$	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_{H1}, t_{H0}$	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
$t_c$	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$ , (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	$\mu S$
$f_c$	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
$t_{EOC}$	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		$8 + 2 \mu S$	Clock Periods
$C_{IN}$	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs, (Note 12)		10	15	pF

- Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.
- Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.
- Note 3: A zener diode exists internally, from  $V_{CC}$  to GND and has a typical breakdown voltage of 7  $V_{CC}$ .
- Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. The slope allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V<sub>CC</sub> to 5V<sub>CC</sub> input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V<sub>CC</sub> over temperature variations, initial tolerance and loading.
- Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 1. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.
- Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.
- Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.
- Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Functional Description

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

TABLE I

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

### CONVERTER CHARACTERISTICS

#### The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed

to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

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

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

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

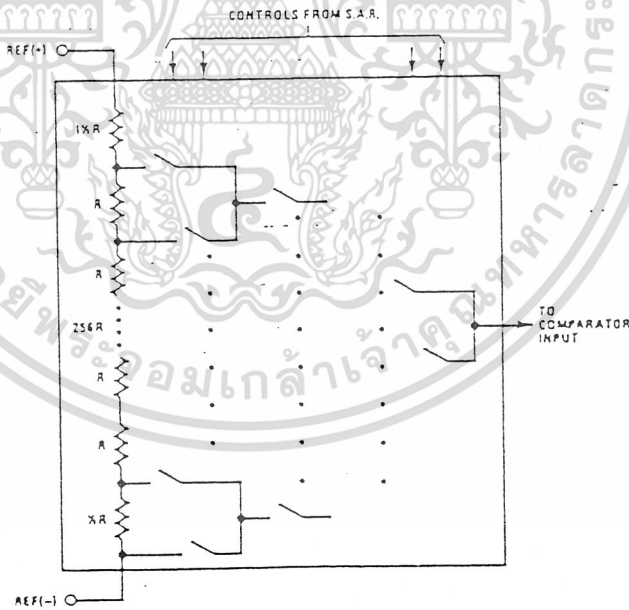


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Functional Description (Continued)

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

comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

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

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

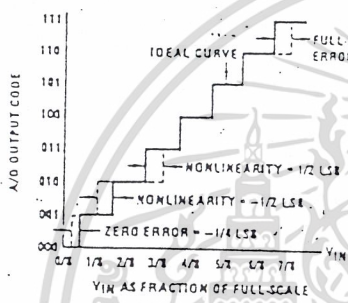


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

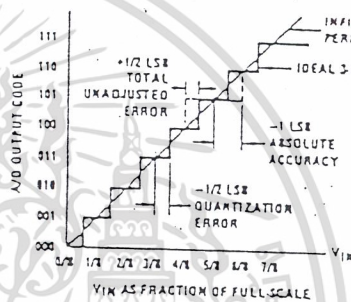


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

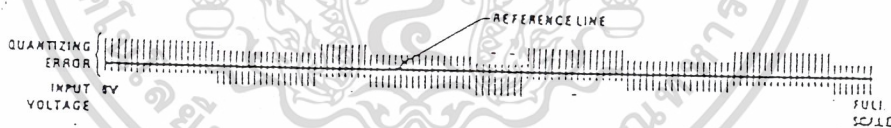


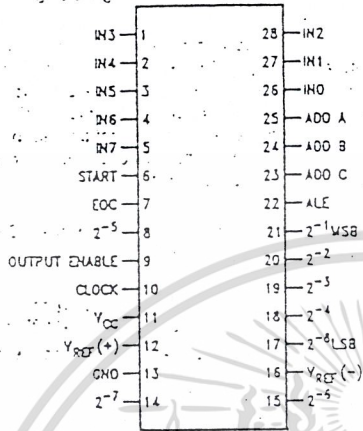
FIGURE 4. Typical Error Curve

11/4/67-1

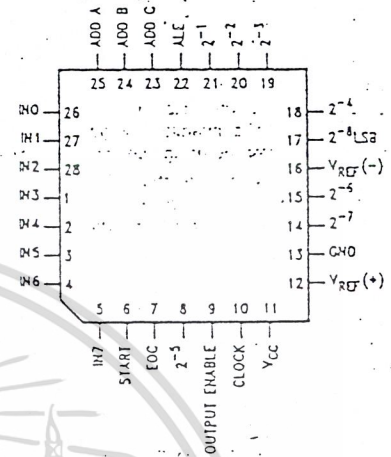
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



Molded Chip Carrier Package



Order Number ADC0808CCN, ADC0809CCN,  
ADC0808CCJ or ADC0809CCJ  
See NS Package J28A or N28A

Order Number ADC0808CCY or ADC0809CCY  
See NS Package V28A

Timing Diagram

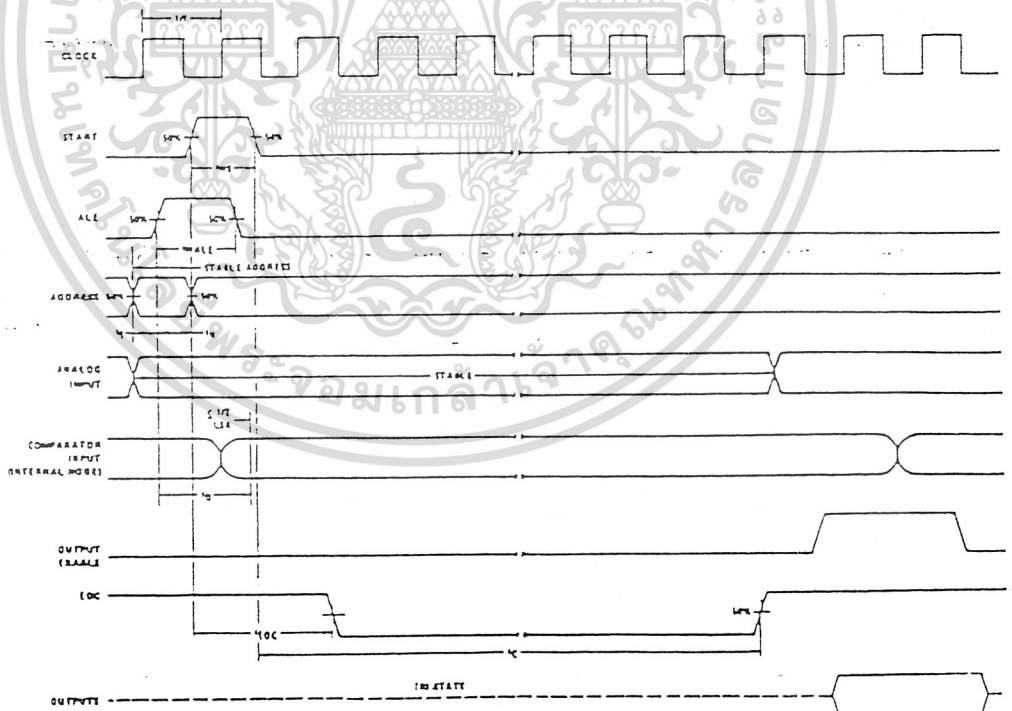


FIGURE 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Typical Performance Characteristics

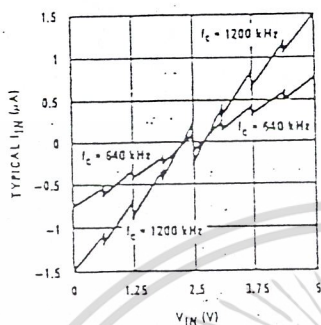


FIGURE 6. Comparator  $I_{IN}$  vs  $V_{IN}$   
( $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ )

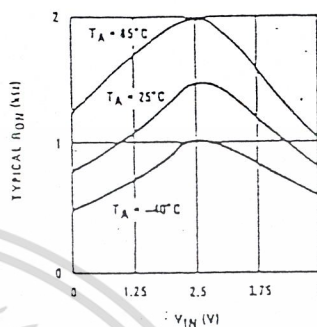


FIGURE 7. Multiplexer  $R_{ON}$  vs  $V_{IN}$   
( $V_{CC} = V_{REF} = 5V$ )

11/14/77-5

### TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

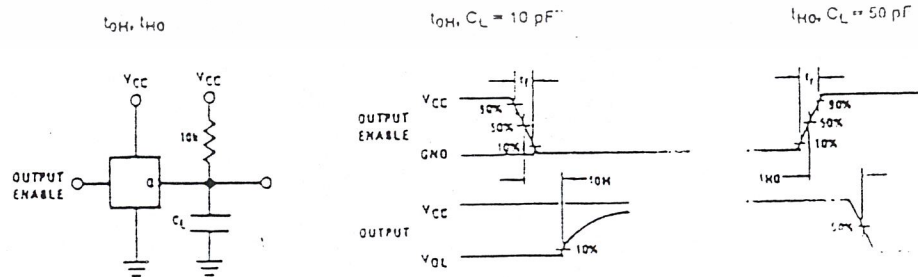
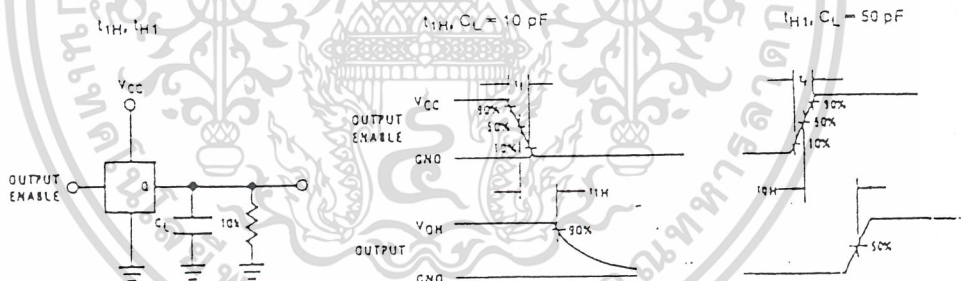


FIGURE 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Applications Information

### OPERATION

#### 1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation:

$$\frac{V_{IN}}{V_{FS} - V_Z} = \frac{D_x}{D_{MAX} - D_{MIN}} \quad (1)$$

$V_{IN}$  = Input voltage into the ADC0808

$V_{FS}$  = Full-scale voltage

$V_Z$  = Zero voltage

$D_x$  = Data point being measured

$D_{MAX}$  = Maximum data limit

$D_{MIN}$  = Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs. (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if  $V_{CC} = V_{REF} = 5.12V$ , then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

#### 2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

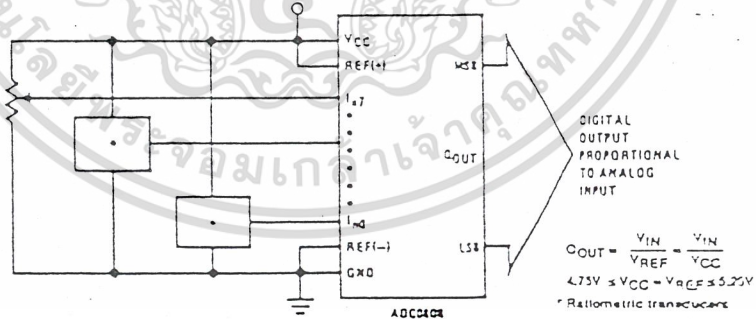


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

Applications Information (Continued)

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10  $\mu$ F output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed  $V_{CC}$  and ground, respectively, but they can be symmetrically less than  $V_{CC}$  and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about  $V_{CC}/2$  since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

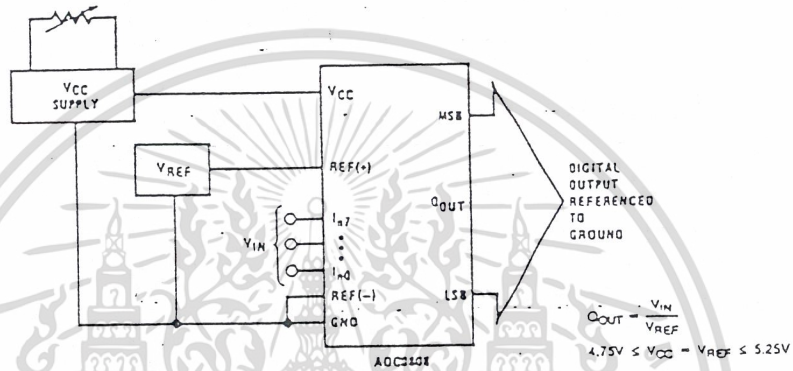


FIGURE 10: Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply

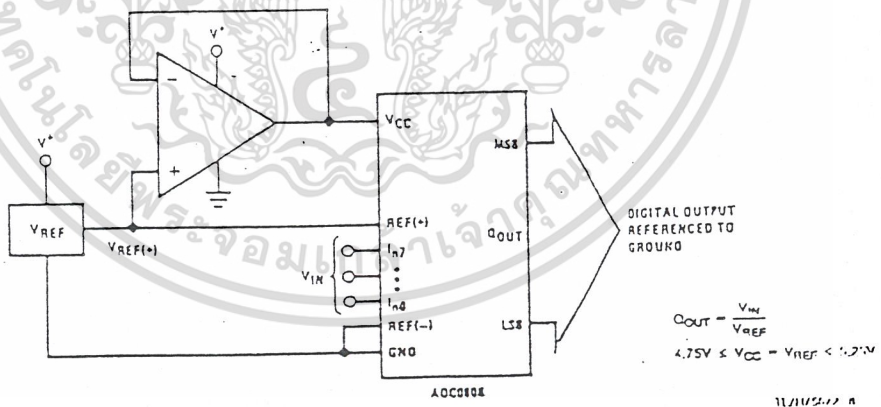


FIGURE 11: Ground Referenced Conversion System with Reference Generating  $V_{CC}$  Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

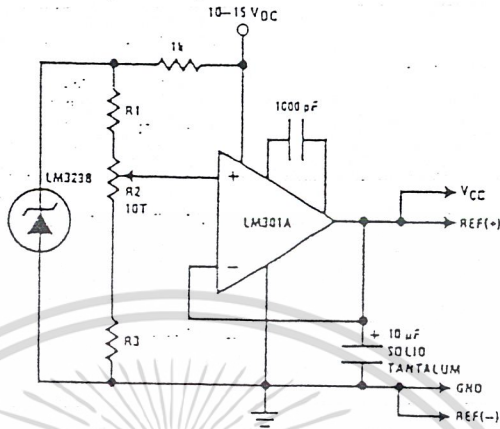


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

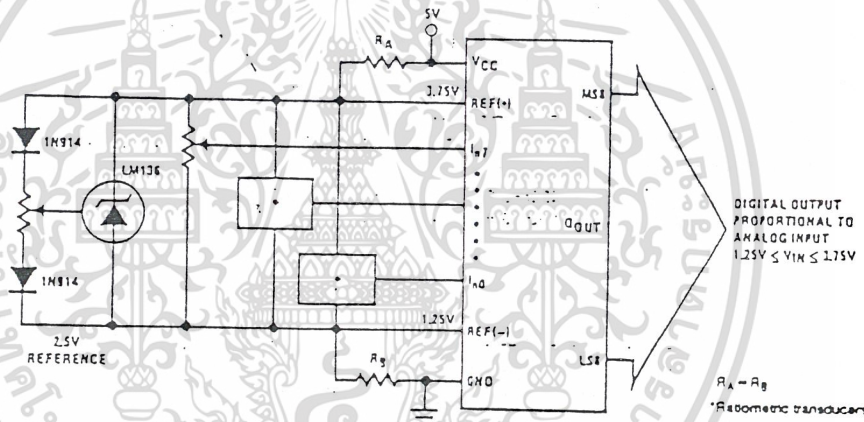


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

TU/H/5672-9

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N + 1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[ \frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[ \frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

where:  $V_{IN}$  = Voltage at comparator input

$V_{REF(+)}$  = Voltage at Ref(+)

$V_{REF(-)}$  = Voltage at Ref(-)

$V_{TUE}$  = Total unadjusted error voltage (typically

$V_{REF(+)} \div 512$ )

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

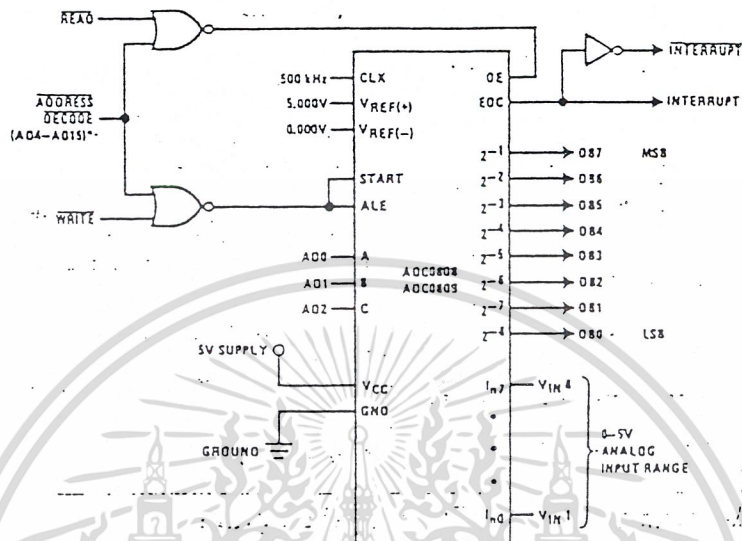
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with  $V_{IN}$  as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application



TL11/5672-10

\*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

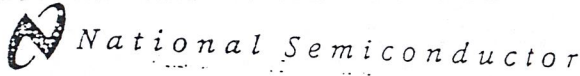
MICROPROCESSOR INTERFACE TABLE

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTA (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTA (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA • φ2 • R/W	VMA • φ • R/W	IOA or IOCB (Thru PIA)

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	± 1/2 LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	± 1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LM117/LM317A/LM317

## 3-Terminal Adjustable Regulator

### General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping

the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

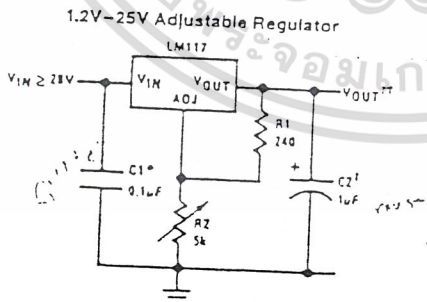
LM117 Series Packages and Power Capability

Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
E	LCC	2W	0.5A
S	TO-263	4W	1.5A

### Features

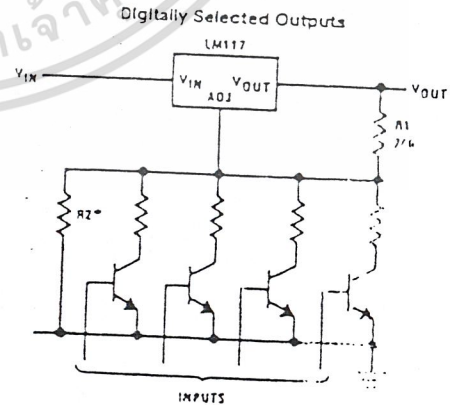
- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

### Typical Applications.



Full output current not available at high input-output voltages.  
 \*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.  
 †Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$



\*Sets maximum V<sub>OUT</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 2)

Power Dissipation	Internally Limited
Input-Output Voltage Differential	+40V, -0.3V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature	
Metal Package (Soldering, 10 seconds)	300°C
Plastic Package (Soldering, 4 seconds)	260°C
ESD Tolerance (Note 5)	3 kV

**Operating Temperature Range**

LM117	-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C

**Preconditioning**

Thermal Limit Sum-In All Devices 100%

**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for T<sub>J</sub> = 25°C, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, V<sub>IN</sub> - V<sub>OUT</sub> = 5V, and I<sub>OUT</sub> = 10 mA. (Note 3)

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units
		Min	Typ	Max	
Reference Voltage					V
	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V, 10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> , P ≤ P <sub>MAX</sub>	1.20	1.25	1.30	V
Line Regulation	3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V
			<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	%/V
Load Regulation	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> (Note 4)		0.1	0.3	%
			<b>0.3</b>	<b>1</b>	%
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W
Adjustment Pin Current			50	100	μA
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I <sub>OUT</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> 3V ≤ (V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 40V		0.2	5	μA
Temperature Stability	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>J</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>		1		%
Minimum Load Current	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V		3.5	5	mA
Current Limit	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) ≤ 15V K Package H, K Packages		1.5	2.2	A
			<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.8</b>
	(V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> ) = 40V K Package H, K Packages		0.3	0.4	A
			<b>0.15</b>	<b>0.2</b>	<b>A</b>
RMS Output Noise, % of V <sub>OUT</sub>	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%
Ripple Rejection Ratio	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 0 μF		<b>65</b>		dB
	V <sub>OUT</sub> = 10V, f = 120 Hz, C <sub>ADJ</sub> = 10 μF		<b>66</b>	80	dB
Long-Term Stability	T <sub>J</sub> = 125°C, 1000 hrs		0.3	1	%
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package		2.3	3	°C/W
	H Package		12	15	°C/W
	E Package				°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35		°C/W
	H Package		140		°C/W
	E Package				°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM117/LM317A/LM317

### Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified,  $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$ , and  $I_{OUT} = 10\text{ mA}$ . (Note 3)

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ , $10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	$\mu\text{A}$	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}$ , $3\text{V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	$\mu\text{A}$	
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_J \leq T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15\text{V}$ K, T Packages H, P Packages		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
RMS Output Noise, % of $V_{OUT}$	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.15	0.4		0.15	0.4	A	
			0.075	0.2		0.075	0.2	A	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 0\text{ }\mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$ , $f = 120\text{ Hz}$ , $C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$		66	80		66	80	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$ , 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	H Package					12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		12	15		4		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package (Note 6)		50			50		$^\circ\text{C/W}$	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance levels. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K for the LM117K military specifications.

Note 3: Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipations of 2W for the TO-39 and 20W for the TO-3 and TO-220.  $I_{MAX}$  is 1.5A for the TO-3 and TO-220 packages and 0.5A for the TO-39 package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's AQL (Average Outgoing Quality Level).

Note 4: Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

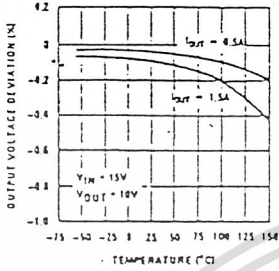
Note 6: If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 50 $^\circ\text{C/W}$ ; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is 37 $^\circ\text{C/W}$ ; and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 32 $^\circ\text{C/W}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

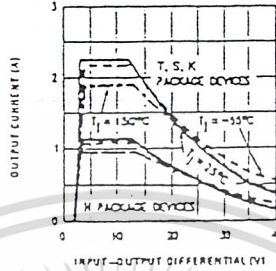
### Typical Performance Characteristics

Output Capacitor = 0  $\mu$ F unless otherwise noted

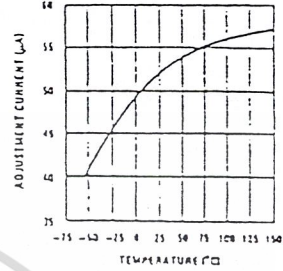
Load Regulation



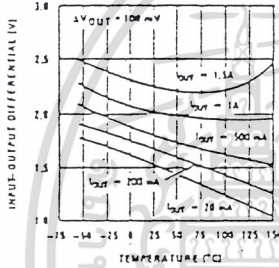
Current Limit



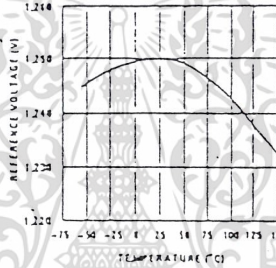
Adjustment Current



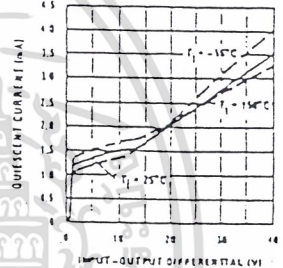
Dropout Voltage



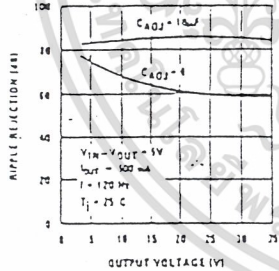
Temperature Stability



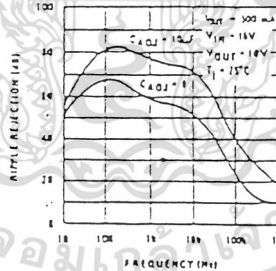
Minimum Operating Current



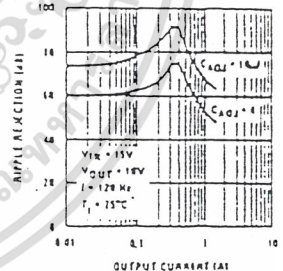
Ripple Rejection



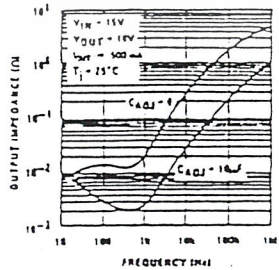
Ripple Rejection



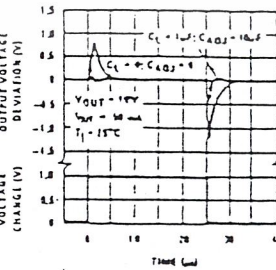
Ripple Rejection



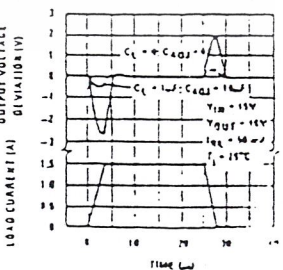
Output Impedance



Line Transient Response



Load Transient Response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage,  $V_{REF}$ , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor  $R_1$  and, since the voltage is constant, a constant current  $I_1$  then flows through the output set resistor  $R_2$ , giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \div I_{A0J} R_2$$

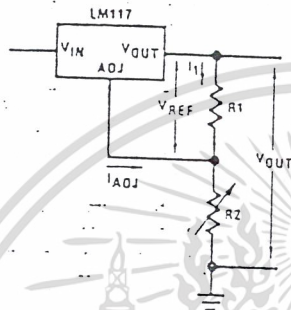


FIGURE 1

Since the 100  $\mu$ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize  $I_{A0J}$  and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

### External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1  $\mu$ F disc or 1  $\mu$ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10  $\mu$ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10  $\mu$ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25  $\mu$ F in aluminum electrolytic to equal 1  $\mu$ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01  $\mu$ F disc may seem to work better than a 0.1  $\mu$ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values be-

tween 500 pF and 5000 pF. A 1  $\mu$ F solid tantalum (or 25  $\mu$ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10  $\mu$ F will merely improve the loop stability and output impedance.

### Load Regulation

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 $\Omega$ ) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 $\Omega$  resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of 0.05 $\Omega$   $\times$   $I_L$ . If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be 0.05 $\Omega$  (1 +  $R_2/R_1$ ) or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 $\Omega$  set resistor.

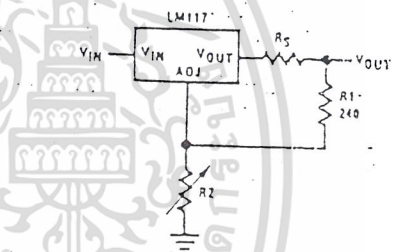


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance In Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-5 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of  $R_2$  can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

### Protection Diodes

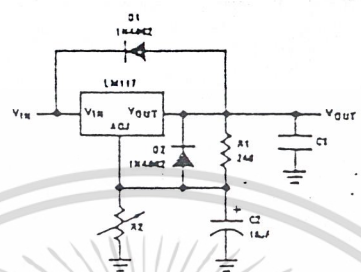
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10  $\mu$ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of  $V_{IN}$ . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 2 $\mu$ F or less, there is no need to use diodes.

**Application Hints (Continued)**

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when either the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50Ω resistor which limits the peak discharge

current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10 μF capacitance. *Figure 3* shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.



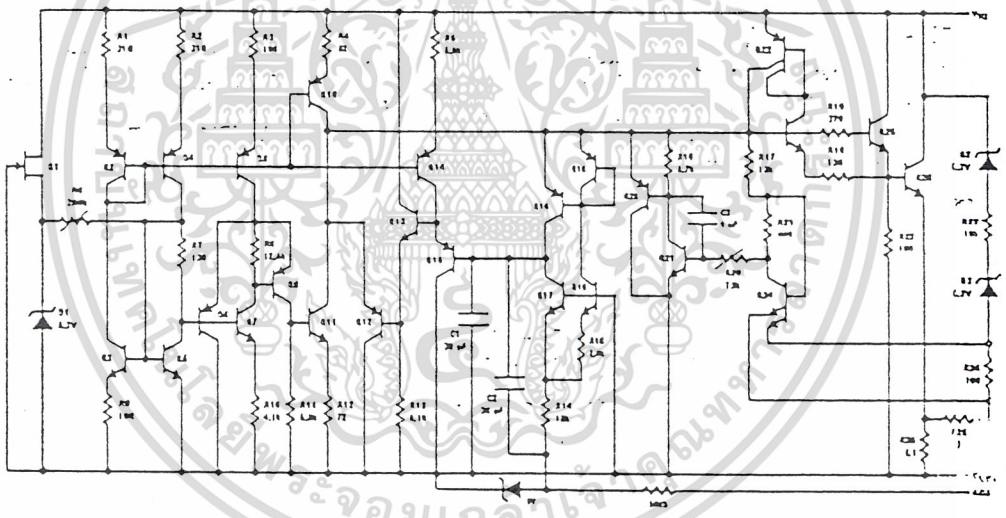
$$V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{AD} R_2$$

- D1 protects against C1
- D2 protects against C2

FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

TLV9003-7

**Schematic Diagram**

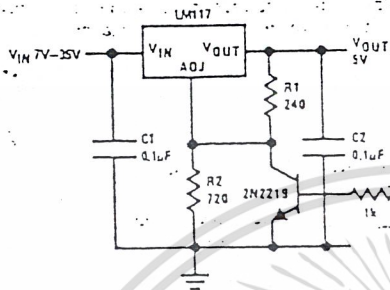


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Typical Applications (Continued)

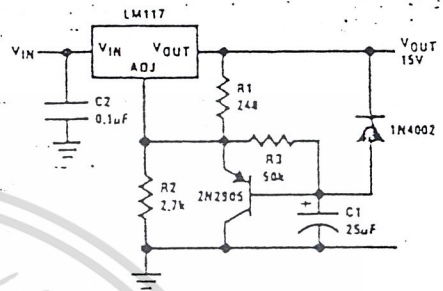
5V Logic Regulator with Electronic Shutdown\*



\*Min. output = 1.2V

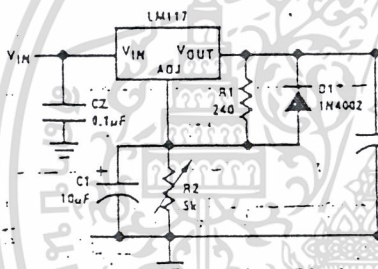
TU/H/9063-3

Slow Turn-On 15V Regulator



TU/H/9063-9

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

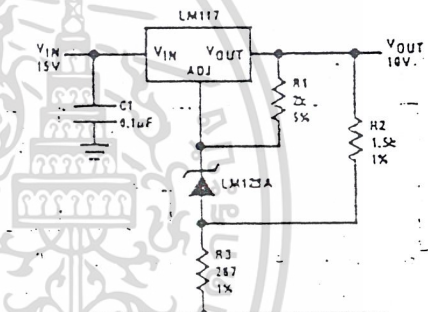


†Solid tantalum

\*Discharges C1 if output is shorted to ground

TU/H/9063-10

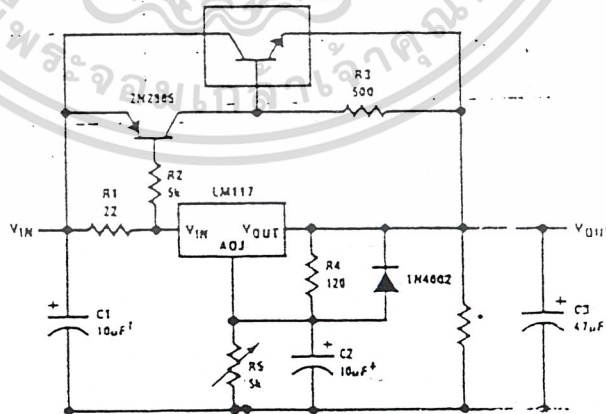
High Stability 10V Regulator



TU/H/9063-11

High Current Adjustable Regulator

3-LM117S IN PARALLEL



†Solid tantalum

\*Minimum load current = 30 mA

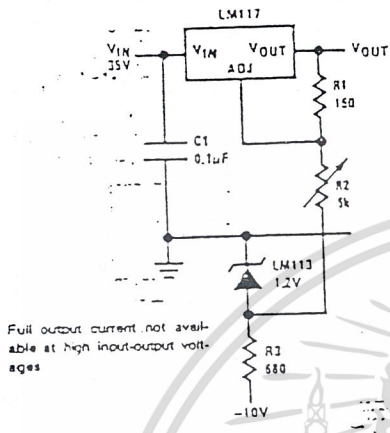
†Optional—improves ripple rejection

TU/H/9063-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

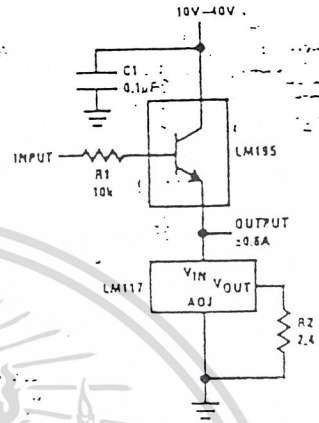
Typical Applications (Continued)

0 to 30V Regulator

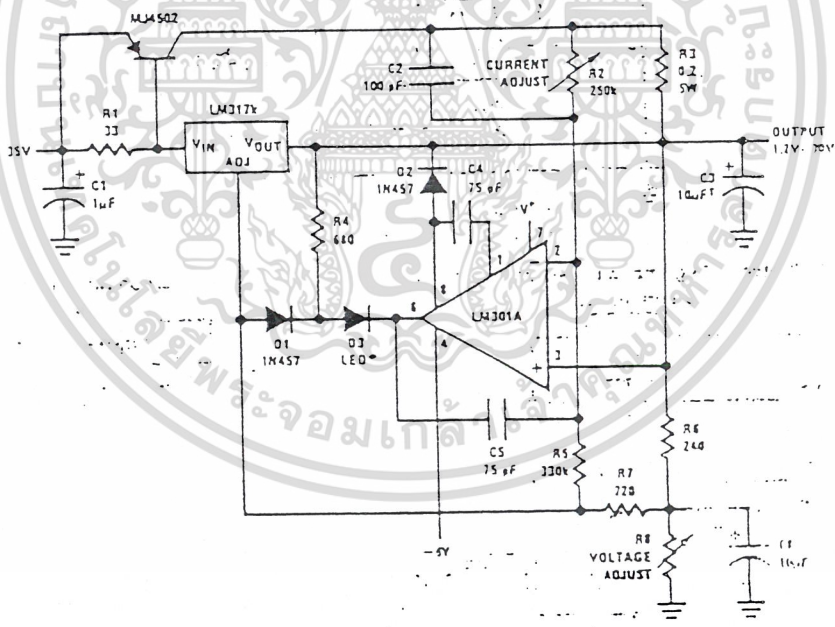


Full output current not available at high in/out voltages

Power Follower



5A Constant Voltage/Constant Current Regulator

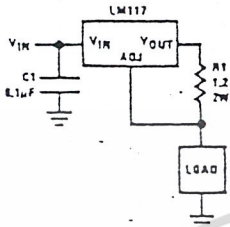


†Solid tantalum  
\*Lights in constant current mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

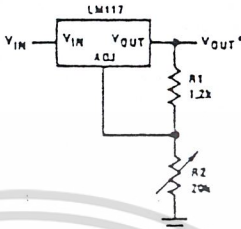
Typical Applications (Continued)

1A Current Regulator



TL/H/9063-16

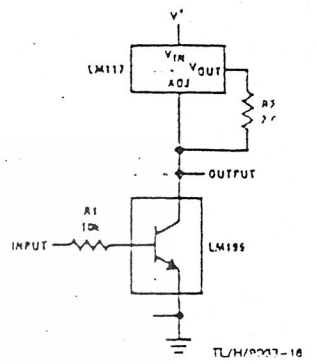
1.2V-20V Regulator with Minimum Program Current



TL/H/9063-17

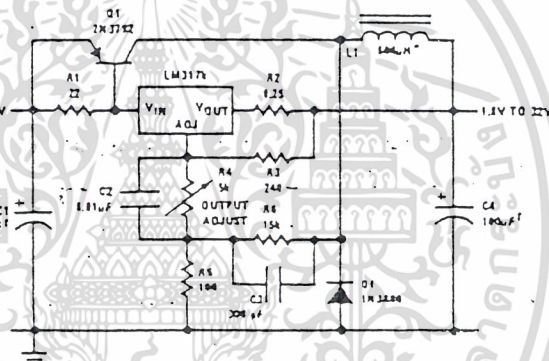
\*Minimum load current = 4 mA

High Gain Amplifier



TL/H/9067-16

Low Cost 3A Switching Regulator

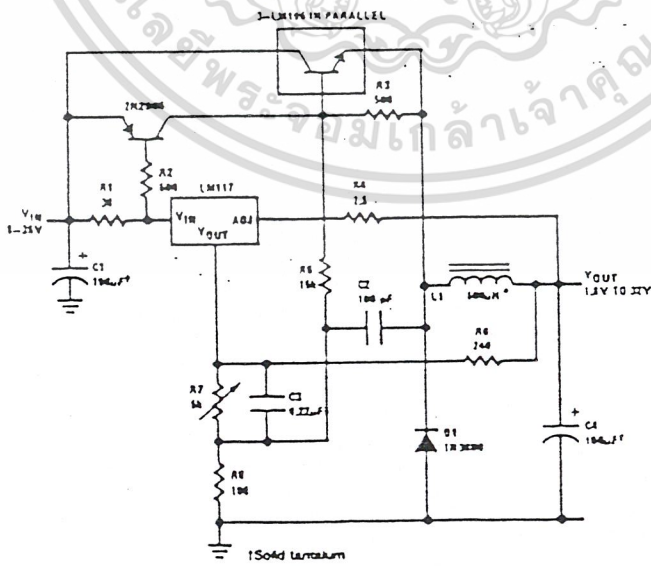


†Solid tantalum

\*Core—Arnold A-254166-2 60 turns

TL/H/9067-18

4A Switching Regulator with Overload Protection

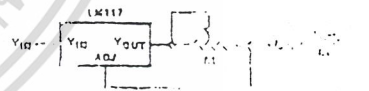


†Solid tantalum

\*Core—Arnold A-254166-2 60 turns

TL/H/9063-20

Precision Current Limiter



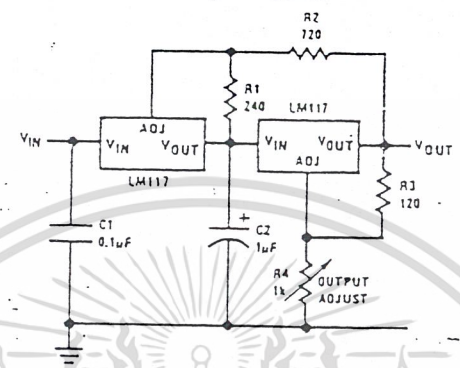
TL/H/9063-19

TL/H/9063-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

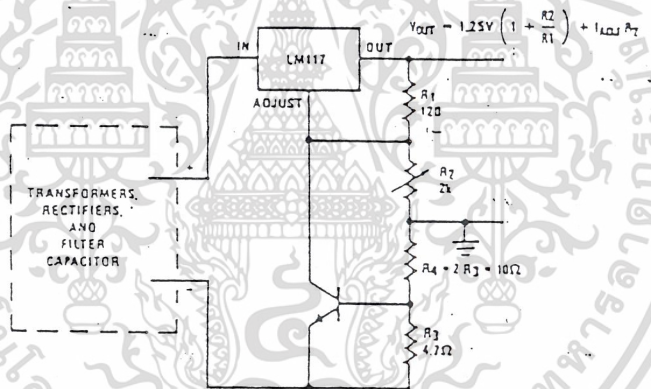
Typical Applications (Continued)

Tracking Preregulator



TU/H/9063-22

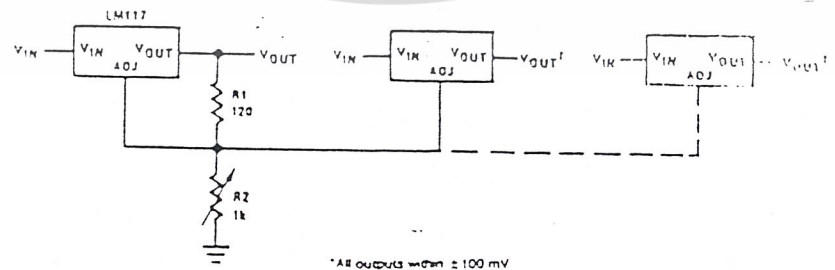
Current Limited Voltage Regulator



- Short circuit current is approximately  $\frac{600 \text{ mV}}{R_3}$ , or 120 mA
- (Compared to LM117's higher current limit)
- At 50 mA output only 1/4 volt of drop occurs in  $R_3$  and  $R_4$

TI/H/9063-23

Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control\*



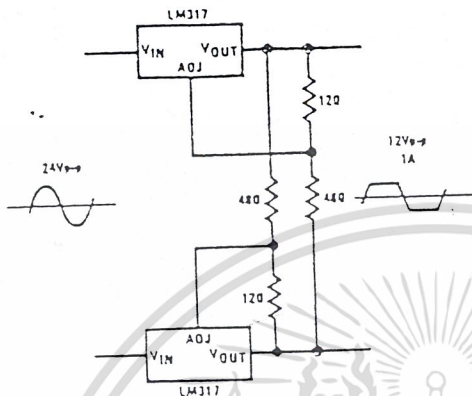
\*All outputs within ±100 mV  
 †Minimum load—10 mA

TI/H/9063-24

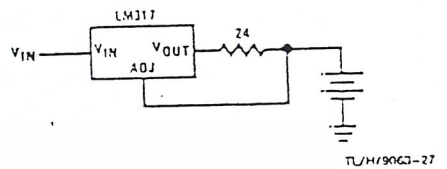
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

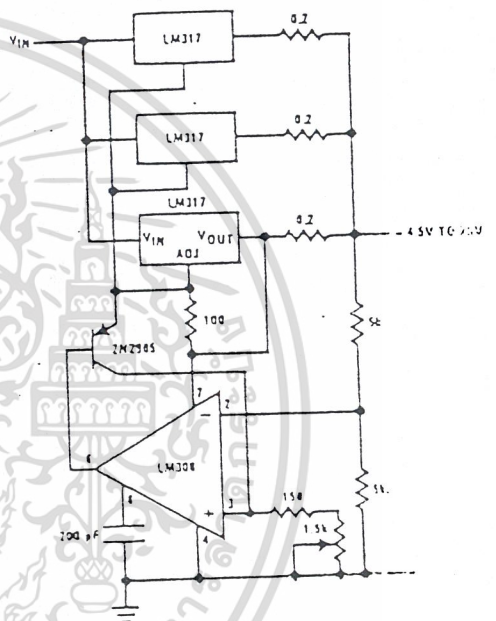
AC Voltage Regulator



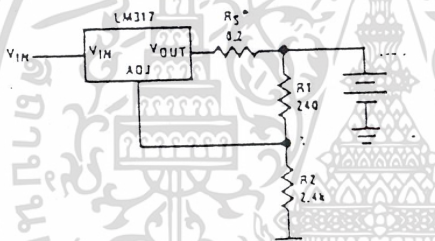
50 mA Constant Current Battery Charger



Adjustable 4A Regulator

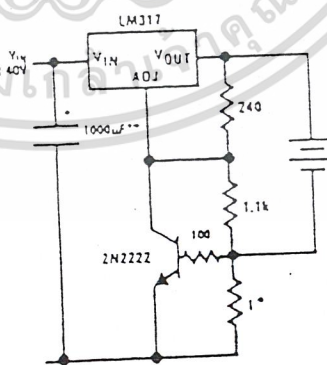


12V Battery Charger



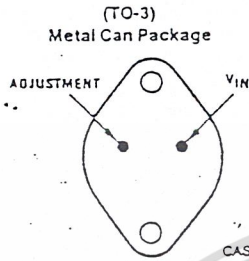
\*R<sub>S</sub> sets output impedance of charger.  $Z_{OUT} = R_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$   
 Use of R<sub>S</sub> allows low charging rates with fully charged battery.

Current Limited 6V Charger



\* Sets peak current (0.6A for 1N)  
 \*\* The 1000 μF is recommended to filter out input transients

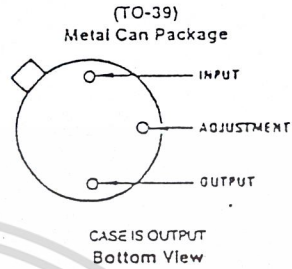
Connection Diagrams



Bottom View

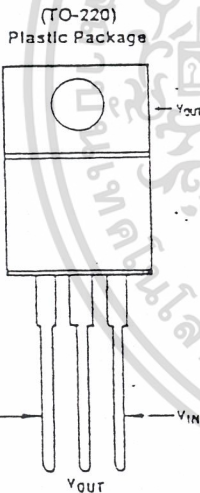
Steel Package  
Order Number LM117K STEEL  
or LM317K STEEL  
See NS Package Number K02A  
Order Number LM117K/883  
See NS Package Number K02C

TU/H/9063-30



TU/H/9063-31

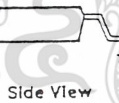
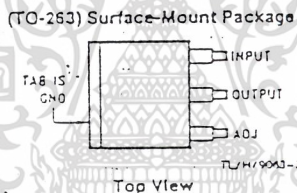
Order Number LM117H, LM117H/883,  
LM317AH or LM317H  
See NS Package Number H03A



Front View

Order Number LM317AT or LM317T  
See NS Package Number T03B

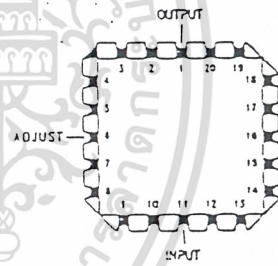
TU/H/9063-32



Order Number LM317S  
See NS Package Number TS3B

TU/H/9063-35

TU/H/9063-36



TU/H/9063-34

Order Number LM117E/883  
See NS Package Number E20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM131A/LM131/LM231A/LM231/LM331A/LM331



National Semiconductor

## LM131A/LM131, LM231A/LM231, LM331A/LM331 Precision Voltage-to-Frequency Converters

### General Description

The LM131/LM231/LM331 family of voltage-to-frequency converters are ideally suited for use in simple low-cost circuits for analog-to-digital conversion, precision frequency-to-voltage conversion, long-term integration, linear frequency modulation or demodulation, and many other functions. The output when used as a voltage-to-frequency converter is a pulse train at a frequency precisely proportional to the applied input voltage. Thus, it provides all the inherent advantages of the voltage-to-frequency conversion techniques, and is easy to apply in all standard voltage-to-frequency converter applications. Further, the LM131A/LM231A/LM331A attains a new high level of accuracy versus temperature which could only be attained with expensive voltage-to-frequency modules. Additionally the LM131 is ideally suited for use in digital systems at low power supply voltages and can provide low-cost analog-to-digital conversion in microprocessor-controlled systems. And, the frequency from a battery powered voltage-to-frequency converter can be easily channeled through a simple photoisolator to provide isolation against high common mode levels.

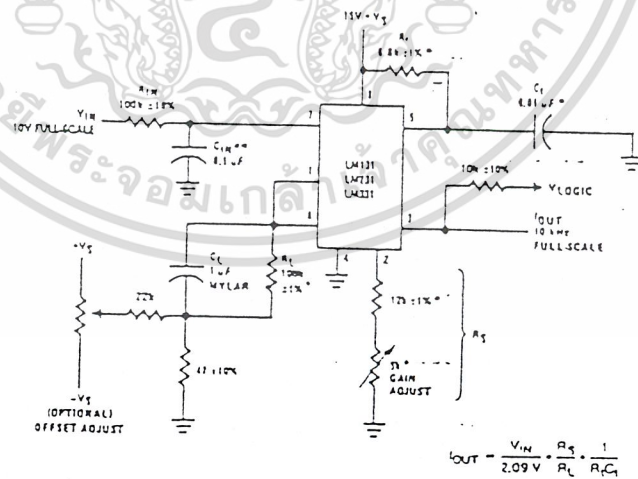
The LM131/LM231/LM331 utilizes a new temperature-compensated band-gap reference circuit, to provide excellent accuracy over the full operating temperature range, at power supplies as low as 4.0V. The precision timer circuit

has low bias currents without degrading the quick response necessary for 100 kHz voltage-to-frequency conversion. And the output is capable of driving 3 TTL loads, or a high voltage output up to 40V, yet is short-circuit-proof against  $V_{CC}$ .

### Features

- Guaranteed linearity 0.01% max
- Improved performance in existing voltage-to-frequency conversion applications
- Split or single supply operation
- Operates on single 5V supply
- Pulse output compatible with all logic forms
- Excellent temperature stability,  $\pm 50$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  max
- Low power dissipation, 15 mW typical at 5V
- Wide dynamic range, 100 dB min at 10 kHz full scale frequency
- Wide range of full scale frequency, 1 Hz to 100 kHz
- Low cost

### Typical Applications



$$f_{OUT} = \frac{V_{IN}}{2.09V} \cdot \frac{R_5}{R_L} \cdot \frac{1}{R_1 C_1}$$

\*Use stable components with low temperature coefficients. See Typical Applications section.  
\*\*0.1μF or 1μF. See "Principles of Operation."

FIGURE 1. Simple Stand-Alone Voltage-to-Frequency Converter with  $\pm 0.03\%$  Typical Linearity ( $f = 10$  Hz to 11 kHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM131A/LM131/LM231A/LM231/LM331A/LM331

**Absolute Maximum Ratings (Note 1)**

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

	LM131A/LM131	LM231A/LM231	LM331A/LM331
Supply Voltage	40V	40V	40V
Output Short Circuit to Ground	Continuous	Continuous	Continuous
Output Short Circuit to $V_{CC}$	Continuous	Continuous	Continuous
Input Voltage	-0.2V to $+V_S$	-0.2V to $+V_S$	-0.2V to $+V_S$
Operating Ambient Temperature Range	$T_{MIN}$ - $T_{MAX}$ -55°C to +125°C	$T_{MIN}$ - $T_{MAX}$ -25°C to +85°C	$T_{MIN}$ - $T_{MAX}$ 0°C to +70°C
Power Dissipation ( $P_D$ at 25°C) and Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ )	(H Package) $P_D$ $\theta_{JA}$ 670 mW 150°C/W	(N Package) $P_D$ $\theta_{JA}$ 1.25W 100°C/W	(M Package) $P_D$ $\theta_{JA}$ 1.25W 85°C/W
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°C	260°C	260°C
Dual-In-Line Package (Plastic)	260°C		
Metal Can Package (TO-5)	260°C		
ESD Susceptibility (Note 4)	2000V	500V	500V
Metal Can Package (TO-5)			
Other Packages			

**Electrical Characteristics  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified (Note 2)**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
VFC Non-Linearity (Note 3)	$4.5V \leq V_S \leq 20V$		$\pm 0.003$	$\pm 0.01$	% Full-Scale
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		$\pm 0.006$	$\pm 0.02$	% Full-Scale
VFC Non-Linearity In Circuit of Figure 1	$V_S = 15V$ , $f = 10\text{ Hz to }11\text{ kHz}$		$\pm 0.024$	$\pm 0.14$	% Full-Scale
Conversion Accuracy Scale Factor (Gain) LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	$V_{IN} = -10V$ , $R_S = 14\text{ k}\Omega$	0.95	1.00	1.05	kHz/V
		0.90	1.00	1.10	kHz/V
Temperature Stability of Gain LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ , $4.5V \leq V_S \leq 20V$		$\pm 30$	$\pm 150$	ppm/°C
			$\pm 20$	$\pm 50$	ppm/°C
Change of Gain with $V_S$	$4.5V \leq V_S \leq 10V$ $10V \leq V_S \leq 40V$		0.01	0.1	%/V
			0.006	0.06	%/V
Rated Full-Scale Frequency	$V_{IN} = -10V$	10.0			kHz
Gain Stability vs Time (1000 Hrs)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		$\pm 0.02$		% Full-Scale
Overrange (Beyond Full-Scale) Frequency	$V_{IN} = -11V$	10			%
<b>INPUT COMPARATOR</b>					
Offset Voltage LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		$\pm 3$	$\pm 10$	mV
			$\pm 4$	$\pm 14$	mV
			$\pm 3$	$\pm 10$	mV
Bias Current			-80	-300	nA
Offset Current			$\pm 8$	$\pm 100$	nA
Common-Mode Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	-0.2		$V_{CC} - 2.0$	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM131A/LM131/LM231A/LM231/LM331A/LM331

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified (Note 2) (Continued)					
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>TIMER</b>					
Timer Threshold Voltage, Pin 5		0.63	0.667	0.70	$\times V_S$
Input Bias Current, Pin 5	$V_S = 15\text{V}$ $0\text{V} \leq V_{\text{PIN } 5} \leq 9.9\text{V}$		$\approx 10$	$\pm 100$	nA
All Devices			200	1000	nA
LM131/LM231/LM331	$V_{\text{PIN } 5} = 10\text{V}$		200	500	nA
LM131A/LM231A/LM331A	$V_{\text{PIN } 5} = 10\text{V}$				nA
$V_{\text{SAT, PIN } 5}$ (Reset)	$I = 5\text{ mA}$		0.22	0.5	V
<b>CURRENT SOURCE (Pin 1)</b>					
Output Current	$R_S = 14\text{ k}\Omega$ , $V_{\text{PIN } 1} = 0$				$\mu\text{A}$
LM131, LM131A, LM231, LM231A		126	135	144	$\mu\text{A}$
LM331, LM331A		116	136	156	$\mu\text{A}$
Change with Voltage	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN } 1} \leq 10\text{V}$		0.2	1.0	$\mu\text{A}$
Current Source OFF Leakage					nA
LM131, LM131A			0.01	1.0	nA
LM231, LM231A, LM331, LM331A			0.02	10.0	nA
All Devices	$T_A = T_{\text{MAX}}$		2.0	50.0	nA
Operating Range of Current (Typical)			(10 to 500)		$\mu\text{A}$
<b>REFERENCE VOLTAGE (Pin 2)</b>					
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A		1.76 1.70	1.89 1.89	2.02 2.08	$V_{\text{OC}}$ $V_{\text{OC}}$
Stability vs Temperature			$\pm 60$		ppm/ $^\circ\text{C}$
Stability vs Time, 1000 Hours			$\pm 0.1$		%
<b>LOGIC OUTPUT (Pin 3)</b>					
$V_{\text{SAT}}$	$I = 5\text{ mA}$		0.15	0.50	V
OFF Leakage	$I = 3.2\text{ mA}$ (2 TTL Loads), $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		0.10	0.40	V
			$\approx 0.05$	1.0	$\mu\text{A}$
<b>SUPPLY CURRENT</b>					
LM131, LM131A, LM231, LM231A	$V_S = 5\text{V}$	2.0	3.0	4.0	nA
	$V_S = 40\text{V}$	2.5	4.0	6.0	mA
LM331, LM331A	$V_S = 5\text{V}$	1.5	3.0	6.0	mA
	$V_S = 40\text{V}$	2.0	4.0	6.0	mA

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

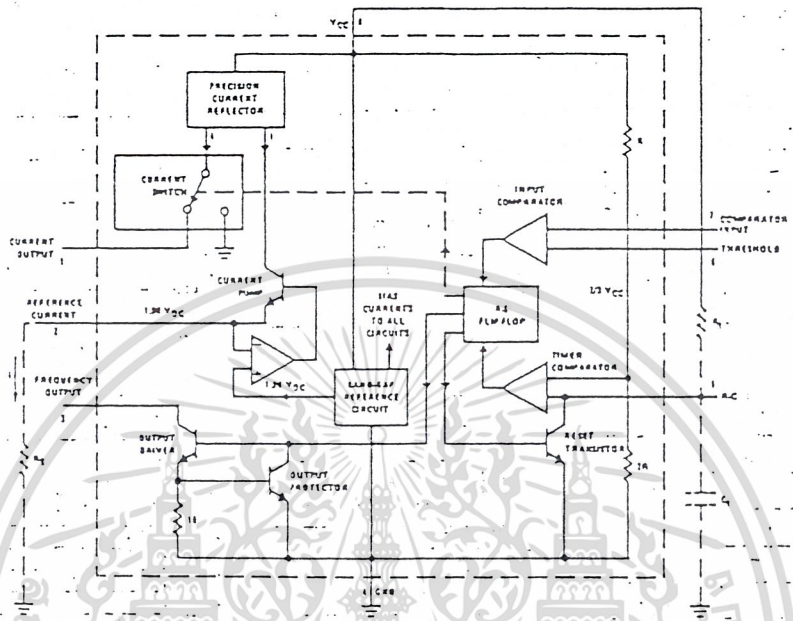
Note 2: All specifications apply in the circuit of Figure 3, with  $4.0\text{V} \leq V_S \leq 40\text{V}$ , unless otherwise noted.

Note 3: Nonlinearity is defined as the deviation of  $I_{\text{OUT}}$  from  $V_{\text{IN}} \times (10\text{ kHz} / 10\text{ V}_{\text{OC}})$  when the circuit has been trimmed for zero error at 10 Hz and at 10 kHz, over the frequency range 1 Hz to 11 kHz. For the timing capacitor,  $C_T$ , use NPO ceramic, Teflon<sup>®</sup>, or polystyrene.

Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Functional Block Diagram



Pin numbers apply to 8-pin packages only. See connection diagram for LM231WM pin numbers.

FIGURE 1a

TL11559D-2

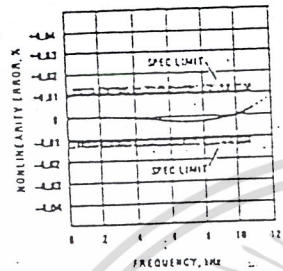
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM131A/LM131/LM231A/LM231/LM331A/LM331

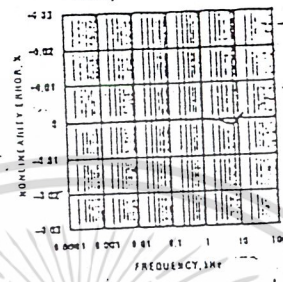
## Typical Performance Characteristics

(All electrical characteristics apply for the circuit of Figure 3, unless otherwise noted.)

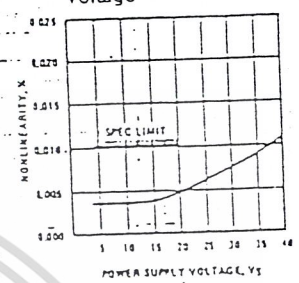
Nonlinearity Error, LM131 Family, as Precision V-to-F Converter (Figure 5)



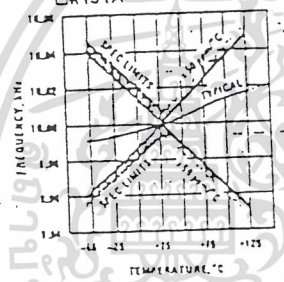
Nonlinearity Error, LM131 Family



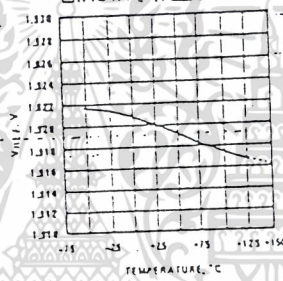
Nonlinearity vs Power Supply Voltage



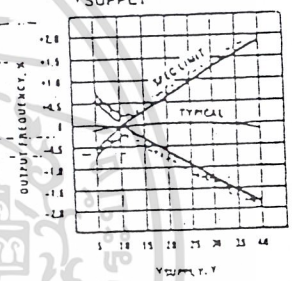
Frequency vs. Temperature, LM131A



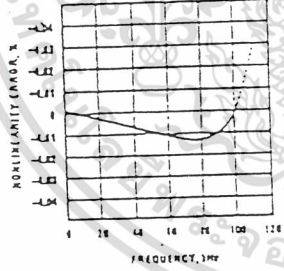
V<sub>REF</sub> vs. Temperature, LM131A



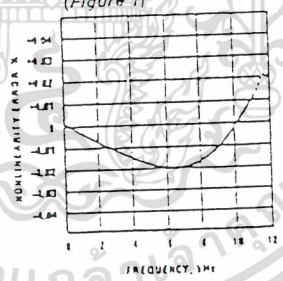
Output Frequency vs V<sub>SUPPLY</sub>



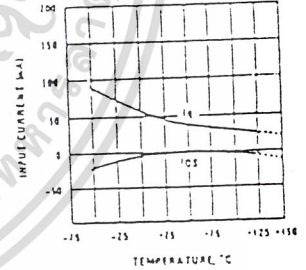
100 kHz Nonlinearity Error, LM131 Family (Figure 4)



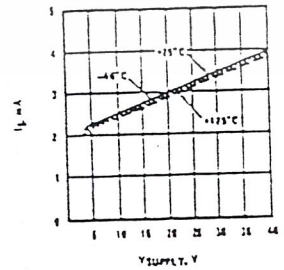
Nonlinearity Error, LM131 (Figure 7)



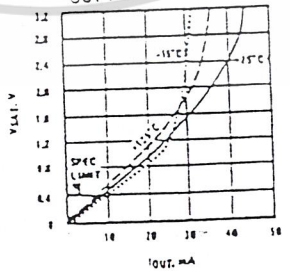
Input Current (Pins 6, 7) vs Temperature



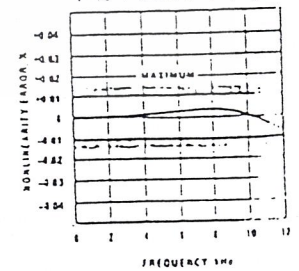
Power Drain vs V<sub>SUPPLY</sub>



Output Saturation Voltage vs I<sub>OUT</sub> (Pin 3)



Nonlinearity Error, Precision F-to-V Converter (Figure 6)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Typical Applications (Continued)

#### PRINCIPLES OF OPERATION OF A SIMPLIFIED VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTER

The LM131 is a monolithic circuit designed for accuracy and versatile operation when applied as a voltage-to-frequency (V-to-F) converter or as a frequency-to-voltage (F-to-V) converter. A simplified block diagram of the LM131 is shown in Figure 2 and consists of a switched current source, input comparator, and 1-shot timer.

The operation of these blocks is best understood by going through the operating cycle of the basic V-to-F converter, Figure 2, which consists of the simplified block diagram of the LM131 and the various resistors and capacitors connected to it.

The voltage comparator compares a positive input voltage,  $V_1$ , at pin 7 to the voltage,  $V_x$ , at pin 6. If  $V_1$  is greater, the comparator will trigger the 1-shot timer. The output of the timer will turn ON both the frequency output transistor and the switched current source for a period  $t = 1.1 R_1 C_1$ . During this period, the current  $i$  will flow out of the switched current source and provide a fixed amount of charge,  $Q = i \times t$ , into the capacitor,  $C_1$ . This will normally charge  $V_x$  up to a higher level than  $V_1$ . At the end of the timing period, the current  $i$  will turn OFF, and the timer will reset itself.

Now there is no current flowing from pin 1, and the capacitor  $C_1$  will be gradually discharged by  $R_1$  until  $V_x$  falls to the level of  $V_1$ . Then the comparator will trigger the timer and start another cycle.

The current flowing into  $C_1$  is exactly  $i_{AVE} = i \times (1.1 \times R_1 C_1) \times f$ , and the current flowing out of  $C_1$  is exactly  $V_x / R_1 = V_1 / R_1$ . If  $V_1$  is doubled, the frequency will double to maintain this balance. Even a simple V-to-F converter can provide a frequency precisely proportional to its input voltage over a wide range of frequencies.

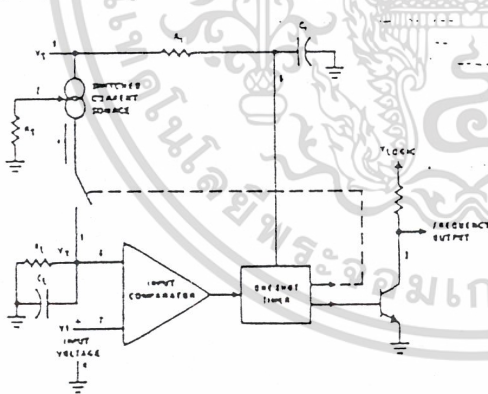


FIGURE 2. Simplified Block Diagram of Stand-Alone Voltage-to-Frequency Converter Showing LM131 and External Components

#### DETAIL OF OPERATION, FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM (FIGURE 1a)

The block diagram shows a band gap reference which provides a stable  $1.9 V_{CC}$  output. This  $1.9 V_{CC}$  is well regulated over a  $V_S$  range of 3.9V to 40V. It also has a flat, low temperature coefficient, and typically changes less than  $1/4\%$  over a  $100^\circ C$  temperature change.

The current pump circuit forces the voltage at pin 2 to be at 1.9V, and causes a current  $i = 1.90V/R_S$  to flow. For  $R_S = 14k$ ,  $i = 135 \mu A$ . The precision current reflector provides a current equal to  $i$  to the current switch. The current switch switches the current to pin 1 or to ground depending on the state of the  $R_S$  flip-flop.

The timing function consists of an  $R_S$  flip-flop, and a timer comparator connected to the external  $R_1 C_1$  network. When the input comparator detects a voltage at pin 7 higher than pin 6, it sets the  $R_S$  flip-flop which turns ON the current switch and the output driver transistor. When the voltage at pin 5 rises to  $2/3 V_{CC}$ , the timer comparator causes the  $R_S$  flip-flop to reset. The reset transistor is then turned ON and the current switch is turned OFF.

However, if the input comparator still detects pin 7 higher than pin 6 when pin 5 crosses  $2/3 V_{CC}$ , the flip-flop will not be reset, and the current at pin 1 will continue to flow, in its attempt to make the voltage at pin 6 higher than pin 7. This condition will usually apply under start-up conditions or in the case of an overload voltage at signal input. It should be noted that during this sort of overload, the output frequency will be 0; as soon as the signal is restored to the working range, the output frequency will be resumed.

The output driver transistor acts to saturate pin 3 with an ON resistance of about  $50 \Omega$ . In case of overvoltage, the output current is actively limited to less than 50 mA.

The voltage at pin 2 is regulated at  $1.90 V_{CC}$  for all values of  $i$  between  $10 \mu A$  to  $500 \mu A$ . It can be used as a voltage reference for other components, but care must be taken to ensure that current is not taken from it which could reduce the accuracy of the converter.

#### PRINCIPLES OF OPERATION OF BASIC VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTER (FIGURE 1)

The simple stand-alone V-to-F converter shown in Figure 1 includes all the basic circuitry of Figure 2 plus a few components for improved performance.

A resistor,  $R_{IN} = 100 k\Omega \pm 10\%$ , has been added in the path to pin 7, so that the bias current at pin 7 ( $-80 nA$  typical) will cancel the effect of the bias current at pin 6 and help provide minimum frequency offset.

The resistance  $R_S$  at pin 2 is made up of a 12 k $\Omega$  fixed resistor plus a 5 k $\Omega$  (cermet, preferably) gain adjust rheostat. The function of this adjustment is to trim out the gain tolerance of the LM131, and the tolerance of  $R_1$ ,  $R_2$  and  $C_1$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Typical Applications (Continued)

For best results, all the components should be stable low-temperature-coefficient components, such as metal-film resistors. The capacitor should have low dielectric absorption; depending on the temperature characteristics desired, NPO ceramic, polystyrene, Teflon or polypropylene are best suited.

A capacitor  $C_{IN}$  is added from pin 7 to ground to act as a filter for  $V_{IN}$ . A value of  $0.01 \mu F$  to  $0.1 \mu F$  will be adequate in most cases; however, in cases where better filtering is required, a  $1 \mu F$  capacitor can be used. When the RC time constants are matched at pin 6 and pin 7, a voltage step at  $V_{IN}$  will cause a step change in  $I_{OUT}$ . If  $C_{IN}$  is much less than  $C_U$ , a step at  $V_{IN}$  may cause  $I_{OUT}$  to stop momentarily. A  $47 \Omega$  resistor, in series with the  $1 \mu F$   $C_U$ , is added to give hysteresis effect which helps the input comparator provide the excellent linearity (0.03% typical).

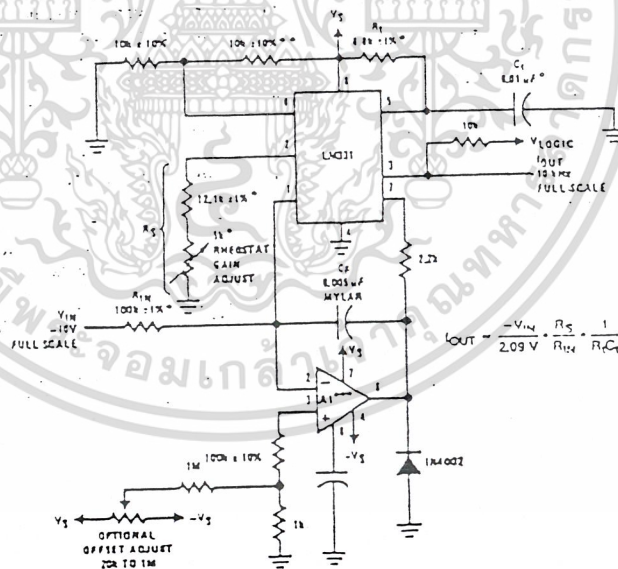
#### DETAIL OF OPERATION OF PRECISION V-TO-F CONVERTER (FIGURE 3)

In this circuit, integration is performed by using a conventional operational amplifier and feedback capacitor,  $C_F$ . When the integrator's output crosses the nominal threshold level at pin 6 of the LM131, the timing cycle is initiated.

The average current fed into the op amp's summing point (pin 2) is  $i \times (1.1 R_1 C_U) \times I$  which is perfectly balanced with  $-V_{IN}/R_{IN}$ . In this circuit, the voltage offset of the LM131 input comparator does not affect the offset or accuracy of the V-to-F converter as it does in the stand-alone V-to-F converter; nor does the LM131 bias current or offset current. Instead, the offset voltage and offset current of the operational amplifier are the only limits on how small the signal can be accurately converted. Since op amps with voltage offset well below 1 mV and offset currents well below 2 nA are available at low cost, this circuit is recommended for best accuracy for small signals. This circuit also responds immediately to any change of input signal (which a stand-alone circuit does not) so that the output frequency will be an accurate representation of  $V_{IN}$ , as quickly as 2 output pulses' spacing can be measured.

In the precision mode, excellent linearity is obtained because the current source (pin 1) is always at ground potential and that voltage does not vary with  $V_{IN}$  or  $I_{OUT}$ . (In the stand-alone V-to-F converter, a major cause of non-linearity is the output impedance at pin 1 which causes  $i$  to change as a function of  $V_{IN}$ .)

The circuit of Figure 4 operates in the same way as Figure 3, but with the necessary changes for high speed operation.



\*Use stable components with low temperature coefficients. See Typical Applications section.  
 \*\*This resistor can be 5 kΩ or 10 kΩ for  $V_S = 6V$  to  $22V$ , but must be 10 kΩ for  $V_S = 4.5V$  to  $6V$ .  
 \*\*\*Use low offset voltage and low offset current op amp for A1; recommended types LM108, LM208A, LF411A

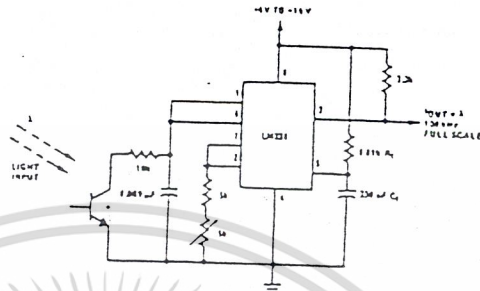
FIGURE 3. Standard Test Circuit and Applications Circuit, Precision Voltage-to-Frequency Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Typical Applications (Continued)

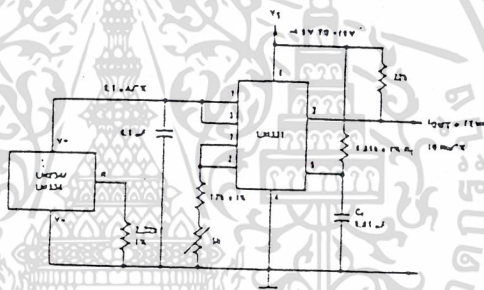
Light Intensity to Frequency Converter



\*L14F-1, L14G-1 or L14H-1, photo transistor (General Electric Co.) or similar

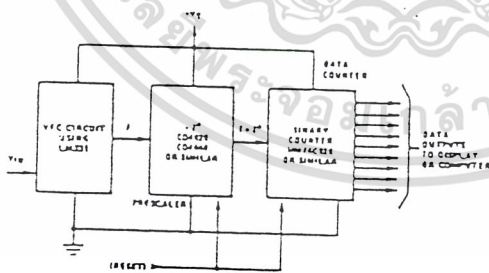
TU/H/5680-9

Temperature to Frequency Converter



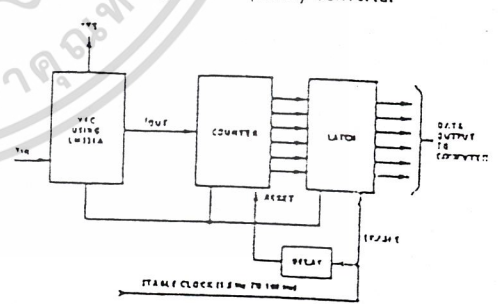
TU/H/5680-10

Long-Term Digital Integrator Using VFC



TU/H/5680-11

Basic Analog-to-Digital Converter Using Voltage-to-Frequency Converter

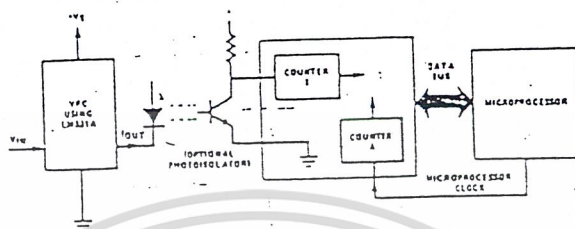


TU/H/5680-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

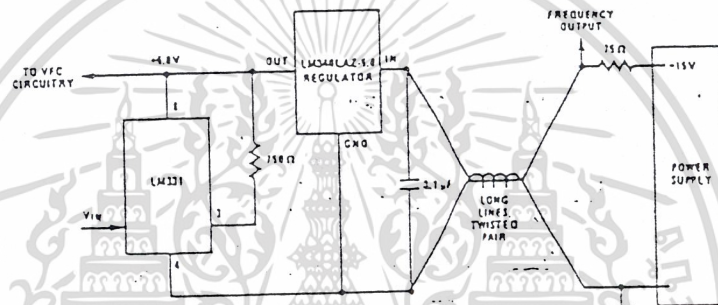
Typical Applications (Continued)

Analog-to-Digital Converter with Microprocessor



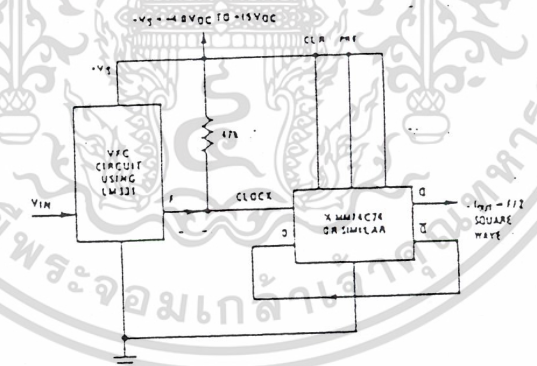
TL/H/5660-13

Remote Voltage-to-Frequency Converter with 2-Wire Transmitter and Receiver



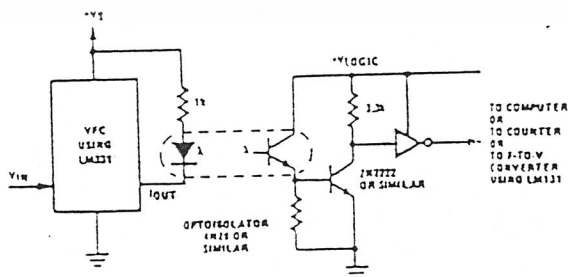
TL/H/5660-14

Voltage-to-Frequency Converter with Square-Wave Output Using 2 Flip-Flop



TL/H/5660-15

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators

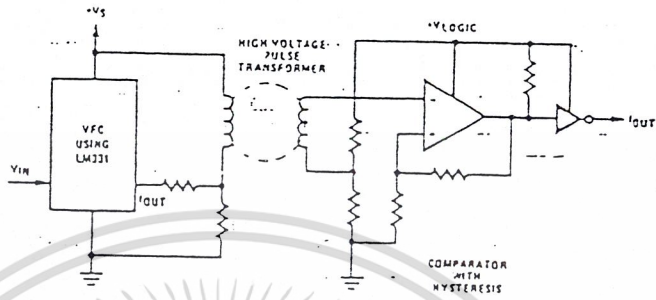


TL/H/5660-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

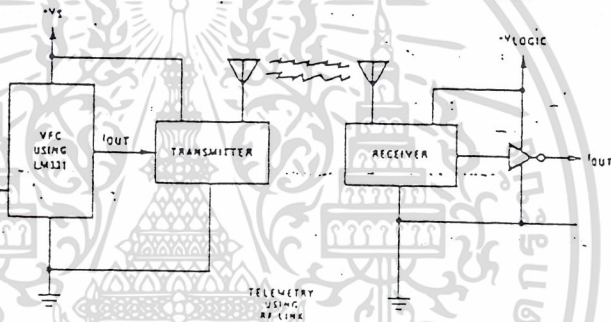
Typical Applications (Continued)

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



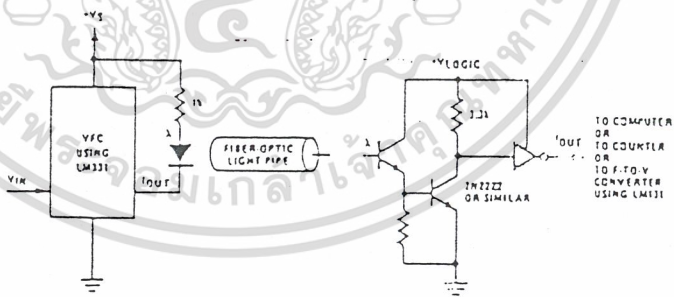
TL/115600-17

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



TL/115600-18

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators

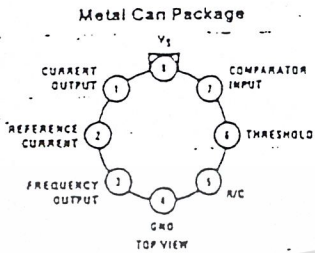


TO COMPUTER OR TO COUNTER OR TO F.T.O.V. CONVERTER USING LM331

TL/115600-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

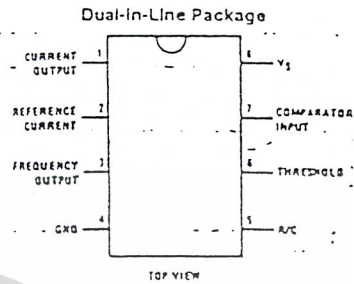
### Connection Diagrams



Note: Metal case is connected to pin 4 (GND.)

TLH/5690-20

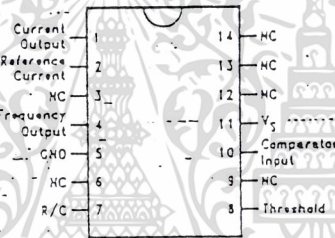
Order Number LM131H/883 or LM131AH/883  
See NS Package Number H08C



TLH/5690-21

Order Number LM231AN, LM231N, LM331AN,  
or LM331N  
See NS Package Number N08E

### Small-Outline Package

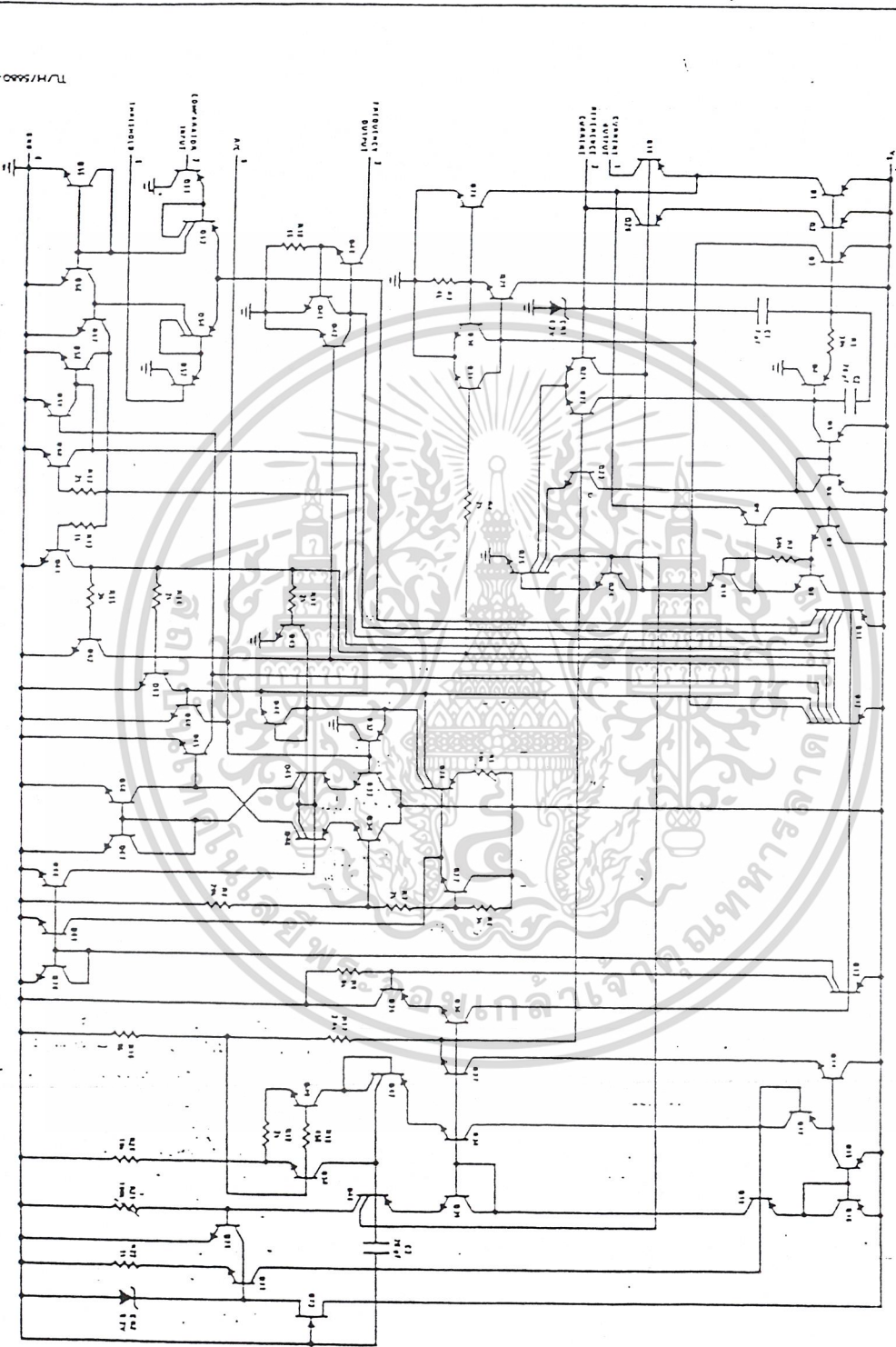


TLH/5690-24

Order Number LM231WM  
See NS Package Number M14B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagram



TU/H/5660-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



National Semiconductor

# LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

## General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

## Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

## Advantages

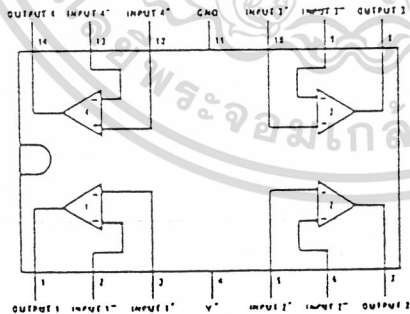
- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

## Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz
- Wide power supply range:
  - Single supply 3V to 32V
  - or dual supplies  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA
- Low input offset voltage 2 mV and offset current 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to  $V^+ - 1.5V$

## Connection Diagram

Dual-In-Line Package

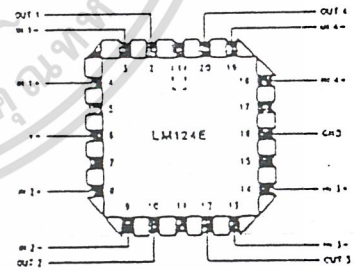


TL149299-1

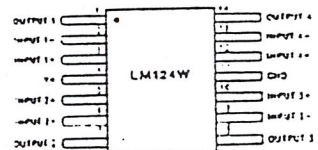
Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883\*\*,  
LM124AJ/883\*, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M,  
LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N  
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

\*LM124A available per JM38510/11005  
\*\*LM124C available per JM38510/11005



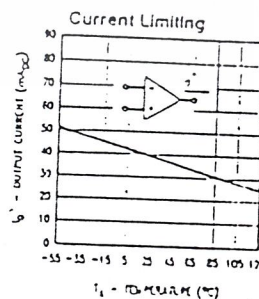
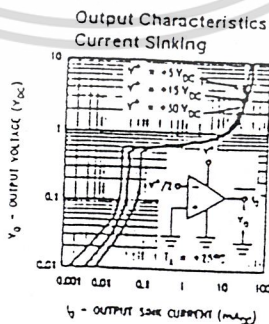
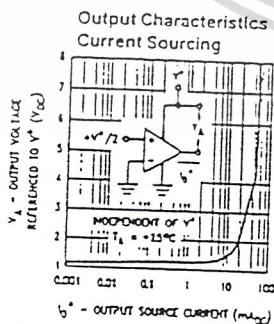
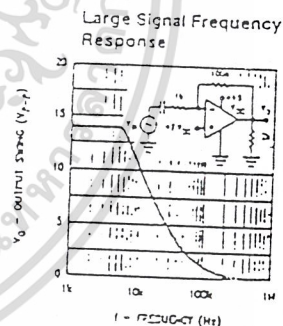
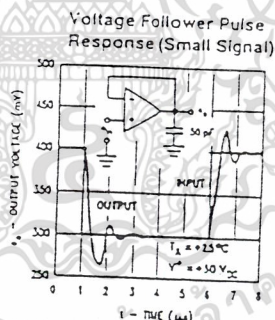
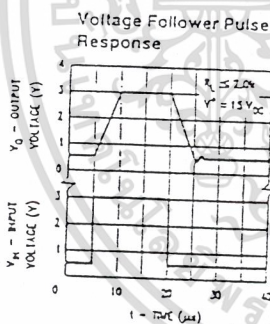
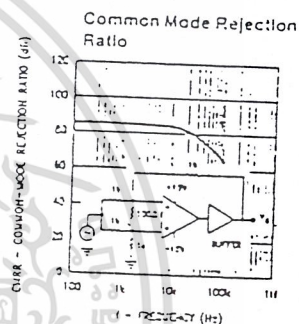
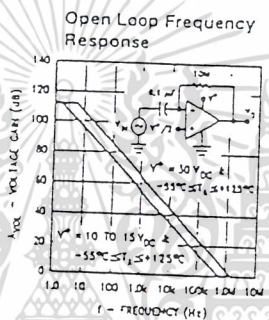
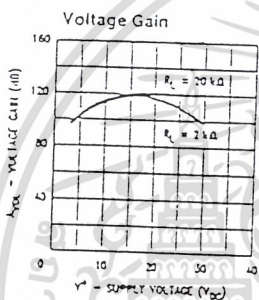
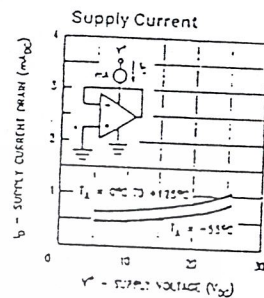
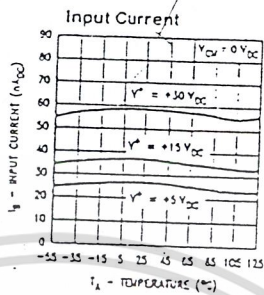
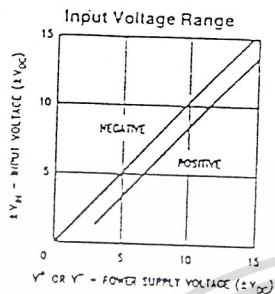
Order Number LM124AE/883 or LM124E/003  
See NS Package Number E20A



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883  
See NS Package Number W14B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics



ILM1027-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics  $V^+ = 15.0V$  (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source	$V_O = 2V$ $V_{IN}^+ = +1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$			10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		mA
	Sink	$V_{IN}^- = +1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V$			10	15		5	8		5	8		5	8		5	8		

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a  $+125^\circ\text{C}$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $89^\circ\text{C/W}$  which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a  $+150^\circ\text{C}$  maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of  $+15V$ , continuous short circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the  $V^+$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ\text{C}$ ).

Note 4: These specifications are limited to  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ , the LM324/LM324A temperature specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ , and the LM2902 specifications are limited to  $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ .

Note 5:  $V_O = 1.4V$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V, and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) for LM2902,  $V^+$  from 5V to 26V.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

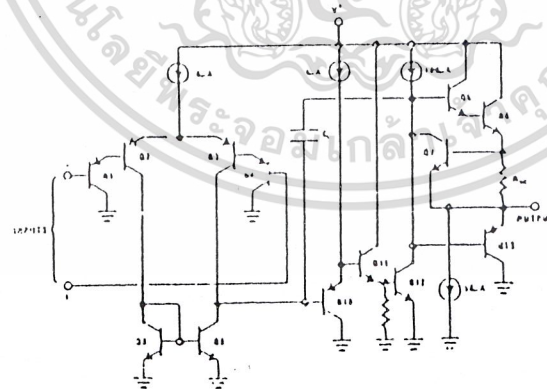
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at  $25^\circ\text{C}$ ). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at  $25^\circ\text{C}$ ), but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage ( $+26V$  for LM2902), independent of the magnitude of  $V^+$ .

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 9: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

Note 10: Minimum load load, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

## Schematic Diagram (Each Amplifier)



Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	$f = 1 \text{ kHz to } 20 \text{ kHz}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referenced)	-120			-120			-120			-120			-120			-120			dB
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1V, V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$			20 40			20 40			20 40			20 40			20 40			mA
	Sink	$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V, T_A = 25^\circ\text{C}$			10 20			10 20			10 20			10 20			10 20			
		$V_{IN}^- = 1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 200 \text{ mV}, T_A = 25^\circ\text{C}$			12 50			12 50			12 50			12 50			12 50			$\mu\text{A}$
Short Circuit to Ground	(Note 2) $V^+ = 15V, T_A = 25^\circ\text{C}$	40 60			40 60			40 60			40 60			40 60			40 60			mA
Input Offset Voltage	(Note 5)	4			4			5			7			9			10			mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	7 20			7 20			7 30			7			7			7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	30			30			75			100			150			45 200			nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$	10 200			10 200			10 300			10			10			10			$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$	40 100			40 100			40 200			40 300			40 500			40 500			nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			0 $V^+ - 2$			V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ( $V_O$ Swing = 1V to 11V) $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	25			25			15			25			15			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_{OH}$	$V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$ )	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		26		26		26		26		26		22				V	
	$V_{OL}$	$V^+ = 5V, R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5 20		5 20		5 20		5 20		5 20		5 20		5 100				mV	

LM124/LM224/LM324/LM2902

## Absolute Maximum Ratings

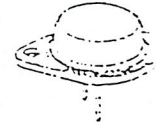










If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.  
(Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, $V^+$	32V	26V	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Differential Input Voltage	32V	26V	260°C	260°C
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V	Storage Temperature Range	
Input Current ( $V_{in} = 0.3V$ ) (Note 3)	50 mA	50 mA	Load Temperature (Soldering, 10 seconds)	
Power Dissipation (Note 4)			Soldering Information	
Molded DIP	1130 mW	1130 mW	Dual-In-Line Package	260°C
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW	Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	800 mW	800 mW	Small Outline Package	215°C
Output Short Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous	Vapor Phase (60 seconds)	220°C
$V^+ = 15V$ and $T_A = 25°C$		40°C to +85°C	Infrared (15 seconds)	220°C
Operating Temperature Range			See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
LM324/LM324A	0°C to +70°C		ESD Tolerance (Note 10)	250V
LM224/LM224A	-25°C to +85°C			
LM124/LM124A	-55°C to +125°C			

## Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$ , (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25°C$	1	2	1	3	2	3	2	5	2	7	2	7	mV
Input Bias Current (Note 6)	$I_{in(+)} \text{ or } I_{in(-)}, V_{CM} = 0V, T_A = 25°C$	20	50	40	100	45	100	45	150	45	250	45	250	nA
Input Offset Current	$I_{in(+)} - I_{in(-)}, V_{CM} = 0V, T_A = 25°C$	2	10	2	15	5	30	5	30	5	50	5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30V$ , (LM2902, $V^+ = 26V$ ) $T_A = 25°C$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	mA
		0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V, R_L = 2k\Omega, (V_O = 1V \text{ to } 11V), T_A = 25°C$	50	100	50	100	25	100	50	100	25	100	25	100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V \text{ to } V^+ - 1.5V, T_A = 25°C$	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	50	70	dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V \text{ to } 30V$ (LM2902, $V^+ = 5V \text{ to } 26V$ )	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	50	100	dB

# var MOSFETS

Description and Application	Transconductance gfs mhos	Drain to Source Breakdown Voltage $\delta V_{DSS}$	Gate to Source Breakdown Voltage $\delta V_{GS}$	Continuous Drain Current $I_D$ Amps	Gate to Source Threshold Voltage $V_{GS(th)}$	Drain to Source Resistance (QS Ion) Ohms	Input Cap Ciss pf	Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ P <sub>D</sub> Watts	Package
									Case/Fig. Basing
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	6 Min	100 Min	$\pm 20$ Max*	32	4 Max	.05 Max	1500 Typ	125 Max	TO-3 Fig. T23
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2 Min	600 Min	$\pm 20$ Max*	6	4.5 Max	1.2 Max	1800 Max	150 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	1.8 Min	800 Min	$\pm 20$ Max*	6	4 Max	1.5 Max	1500 Max	125 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	3 Min	60 Min	$\pm 20$ Max*	12	4.5 Max	.2 Max	250 Max	75 Max	TO-220 Fig. T41
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	8 Min	50 Min	$\pm 20$ Max*	35	4 Max	.045 Max	2000 Max	125 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	17 Min	60 Min	$\pm 20$ Max*	50	4 Max	.022 Max	2000 Max	150 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	1.5 Min	100 Min	$\pm 20$ Max*	8	4 Max	.5 Max	750 Max	75 Max	
MOSFET, P-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2 Min	100 Min	$\pm 20$ Max*	8	4.5 Max	.4 Max	1200 Max	75 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	3 Min	100 Min	$\pm 20$ Max*	12	4.5 Max	.18 Max	1200 Max	75 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	12 Min	100 Min	$\pm 20$ Max*	30	4 Max	.057 Max	2000 Max	150 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	5 Min	200 Min	$\pm 20$ Max*	12.5	4 Max	.2 Max	1000 Typ	75 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2 Min	400 Min	$\pm 20$ Max*	5	4.5 Max	1.5 Max	1000 Max	75 Max	
MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2.1 Min	400 Min	$\pm 20$ Max*	4	4 Max	1.0 Max	500 Max	75 Max	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ear IC and Module Circuits (cont'd)

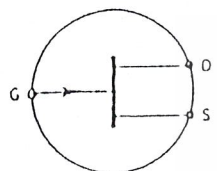
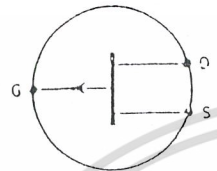
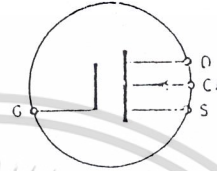
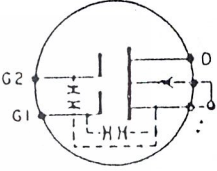
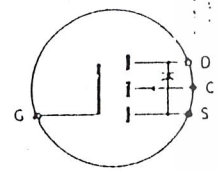
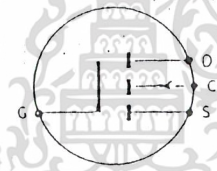

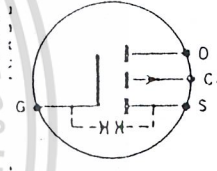
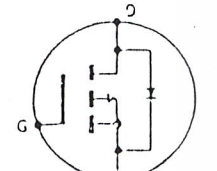
<p>3 Audio Preamp 14-Pin DIP See Fig. L104</p>	<p>ECG984 TV Video IF, AFT 16-Pin DIP See Fig. L111. (16-Pin DIP-Q See Alternate Fig. L113)</p>	<p>ECG986 Chroma Processor and Demod 24-Pin DIP See Fig. L112</p>
<p>7 75M p Amp 14-Pin DIP See Fig. L104 14-Pin SOIC See Fig. L160</p>	<p>ECG985 Pos VR, 6.2 V, 100 mA TO-92 See Fig. L15</p>	<p>ECG989 PLL, Gen Purpose 14-Pin DIP See Fig. L103</p>
<p>14-Pin DIP-W See Fig. L105 PO, 2 W</p>	<p>ECG991 CB PLL, Freq Synthesizer 16-Pin DIP See Fig. L112</p>	<p>ECG992 4 Independent Amps, V+ = +32 V Max 14-Pin DIP See Fig. L104</p>

8-Pin Can See Fig. L3  
Purpose Voltage Controlled  
Oscillator, Function Generator

ECG994M  
General Purpose Voltage Controlled  
Oscillator, Function Generator  
8-Pin DIP See Fig. L97

ECG995  
Frequency to Voltage Converter  
14-Pin DIP See Fig. L113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>Depletion N-Ch JFET</p>  <p>ECG 312 456 451 457 461 (Dual) 468 452 458 466 469 453 459 467</p>	<p>Depletion P-Ch JFET</p>  <p>ECG 326 460 489</p>	<p>Depletion N-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 220 462</p>	<p>Dual Gate Depletion N-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 221 222 (Gate Protected) 454 (Gate Protected) 455 (Gate Protected)</p>
<p>Enhancement N-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 2304 2396 2392</p>	<p>Enhancement N-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 465</p>	<p>Enhancement N-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 66 2330 2390 2397 67 2382 2391 2398 490 2385 2393 2399 2375 2397 2394 2376 2398 2395 2377 2389 2396</p>	<p>Enhancement P-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 463 (Dual) (Gate Protected) 464</p>
<p>Enhancement P-Ch MOSFET</p>  <p>ECG 2381 2382</p>			

tors (cont'd) (Maximum Ratings at  $T_c = 25^\circ\text{C}$  Unless Otherwise Noted)

Description and Application	Collector To Base Volts BV <sub>CB0</sub>	Collector To Emitter Volts BV <sub>CEO</sub>	Base to Emitter Volts BV <sub>EB0</sub>	Max. Collector Current I <sub>C</sub> Amps	Max. Device Diss. P <sub>D</sub> Watts	Freq. in MHz f <sub>t</sub>	Current Gain h <sub>FE</sub>	Package	
								Case	Fig. No.
-Si, UHF/VHF Amp, Osc, IF Amp	35	35	5	50 mA	.250 (T <sub>A</sub> = 25°C)	800 min	70 typ	TO-92	T16
-Si, RF/IF/Video Amp, Mix, VHF/UHF	30	15	2	50 mA	.600 (T <sub>A</sub> = 25°C)	300 min	20 min	TO-92	T16
-Ge, AF Pwr Output	65	45 (CER)	15	7.0	30	22 KHz ±	80 typ	TO-3	T28
-Si, AF Preamp, Driver to Amp, Sync Sep.	60	30	5	.8	.800 (T <sub>A</sub> = 25°C)	250	150 typ	TO-39	T6
-Si, AF/RF Amp, Sw	75	40	6	.8	.500 (T <sub>A</sub> = 25°C)	300	200 typ	TC-19	T2
-Si, AF/RF Amp, Driver repl to ECG159)	75	40	6	.6	.500 (T <sub>A</sub> = 25°C)		200 typ	TO-92	T16
-Si, HV Audio Pwr Output	300	300	5	150	20	100	100 typ	TO-66	T25
-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	15	15	3	50 mA	300 mW (T <sub>A</sub> = 25°C)	250	40 typ	TO-18	T2
-Ge, Horiz & Vert Defl Output	320	320 (CES)	2	10	400		15 min	TO-3	T28
-Si, AF Preamp, Driver, out, Video Amp repl to ECG129)	120	80	7	1	1.20 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	90 min	TO-39	T6
-Si, Gen Purp Amp, Sw repl to ECG129P)	100	80	7	1	1.00	100	100 min	TO-237	T17
-Si, AF Preamp Driver, out, Video Amp (Compl to 128) Matched Compl Pair-Contains each ECG128 (NPN) ECG129 (PNP)	90	80	7	1	1.20	120	90 min	TO-39	T6
-Si, Gen Purp Amp, Sw repl to ECG129P)	80	80	7	1	1.50	150	100 min	TO-237	T17
-Si, AF Pwr Amp repl to ECG219)	100	60	7	15	115	800	40 typ	TO-3	T28
-Ge, AF Pwr Output repl to ECG155)	32	20	10	3 peak	6		110 typ	TC-9	T27
-Si, AF Pwr Output repl to ECG153)	60	60	5	7	50	10	60 typ	TO-220	T41
-Si, AF Pwr Output repl to ECG152) Matched Compl Pair-Contains each ECG152 (NPN) ECG153 (PNP)	60	60	5	7	50	10	60 typ	TO-220	T41
-Si, Video Output Amp	300	300	7	.5	110 (T <sub>A</sub> = 25°C) 7.0 (T <sub>C</sub> = 25°C)	40	60 typ	TO-39	T6
-Ge, AF Pwr Amp repl to ECG131)	32	20	10	3 peak	7.5	1	110 typ	TC-9	T27
-Si, HV AF Pwr Amp repl to ECG39)	300	300	3	.5	20.8	10	30 min	TO-126	T45
-Ge, AF Pwr Amp	32	32	10	1	1.6	1.5	90 typ	TO-1	T1
-Si, AF Preamp, Driver, Compl to ECG123AP) Matched Compl Pair-Contains each ECG123AP (NPN) ECG159 (PNP)	80	80	5	1	.600 (T <sub>A</sub> = 25°C)	200	180 typ	TO-92	T16
-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	30	20 (CES)	5	10 mA	.200 (T <sub>A</sub> = 25°C)	400	20 typ	TO-72	T4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## sistors (cont'd) (Maximum Ratings at $T_c = 25^\circ\text{C}$ Unless Otherwise Noted)

Description and Application	Collector To Base Volts BV <sub>CB0</sub>	Collector To Emitter Volts BV <sub>CE0</sub>	Base to Emitter Volts BV <sub>EB0</sub>	Max. Collector Current I <sub>C</sub> Amps	Max. Device Diss. P <sub>D</sub> Watts	Freq. in MHz f <sub>t</sub>	Current Gain h <sub>FE</sub>	Package	
								Case	Fig. No.
NPN-Si, Sw, Gen Purp Amp	70	70 (CES)	4 ✓	.4	.6 (T <sub>A</sub> = 25°C)	200 min	120 min	TO-92	T16
NPN-Si, Hi Gain DC Regulator, Amp	200	150	6	5	50	15	400 min	TO-3	T28
NPN-Si, Hi Pwr Linear Amp (Compl to ECG88)	250	250 (CEX)	5	10	200	3	20 min	TO-3	T28
PNP-Si, Hi Pwr Linear Amp (Compl to ECG87) P Matched Compl Pair-Contains one each ECG87 (NPN) and ECG88 (PNP)	250	250 (CEX)	5	10	200	3	20 min	TO-3	T28
NPN-Si, Horiz Output with Damper Diode Page 1-78	1500	600	6	7	50		5 min	TO-3	T28
NPN-Si, Hi Gain, Gen Purp Amp (Compl to ECG91)	120	120	5	50 mA	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	350	400 min	TO-92M	T18
PNP-Si, Hi Gain, Gen Purp Amp (Compl to ECG90)	120	120	5	50 mA	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	150	400 min	TO-92M	T18
NPN-Si, Audio Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG93)	200	200	6	15	150	20	120 typ	TB-35	T44-1
PNP-Si, Audio Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG92) P Matched Compl Pair-Contains one each ECG92 (NPN) and ECG93 (PNP)	200	200	6	15	150	20	120 typ	TB-35	T44-1
NPN-Si, Gen Purp Pwr DC Regulator	300	300	5	5	100	2.5 min	30 min	TO-3	T28
NPN-Si, HV Amp, Sw, Isolated Stud	250	250	6	3	70	40	90 min	TO-59 (Isolated)	T31
NPN-Si, Medium Pwr Amp, Sw, Isolated Stud	100	100	6	7	60	30 min	60 min	TO-59 (Isolated)	T31
NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t <sub>f</sub> = .5 μsec	500	400	8	10	150		40 min	TO-3	T28
NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t <sub>f</sub> = .6 μsec	700	500	8	20	175		40 min	TO-3	T28
NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t <sub>f</sub> = 1 μsec	600	400	8	50	250		25 min	TO-3	T28
PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	25	20 (CER)	20	.3	.150 (T <sub>A</sub> = 25°C)	5 #	40 typ at 455 KHz	TO-5	T5
NPN-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	25	20 (CER)	20	.3	.150 (T <sub>A</sub> = 25°C)	5 #	40 typ at 455 KHz	TO-5	T5
PNP-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG103)	30	16 (CER)	20	.3	.150 (T <sub>A</sub> = 25°C)	2	90 typ	TO-5	T5
PNP-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG103A)	32	32 (CES)	12	.5	.900 (T <sub>A</sub> = 25°C)	2.3	120 typ	TO-1	T1
NPN-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG102)	30	16 (CER)	20	.250	.150 (T <sub>A</sub> = 25°C)	2 #	90 typ at 1 KHz	TO-5	T5
NPN-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG102A)	32	32 (CES)	10	.5	.340 (T <sub>A</sub> = 25°C)	2.5	105 typ	TO-1	T1
PNP-Ge, AF Pwr Output	50	35 (CER)	20	7	90	10 KHz #	90 typ	TO-3	T28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at $T_C = 25^\circ\text{C}$ Unless Otherwise Noted)

No.	Description and Application	Collector To Base Volts $BV_{CBO}$	Collector To Emitter Volts $BV_{CEO}$	Base to Emitter Volts $BV_{EBO}$	Max. Collector Current $I_C$ Amps	Max. Device Diss. $P_D$ Watts	Freq. in MHz $f_t$	Current Gain $h_{FE}$	Package	
									Case	Fig. No.
	NPN-Si, Vert Defl	500	300	5	3 cont. 10 peak	100	---	20 min	TO-3	T28
	NPN-Si, Horiz Defl	700	700 (CEV)	5	10 peak	100	---	10	TO-3	T28
	NPN-Si, Vert Defl	1500	700 (CER)	5	1	50	.5 min	20	TO-3	T28
	NPN-Si, Horiz Defl	1500	1400 (CES)	5	5	50	---	5	TO-3	T28
	NPN-Si, AF/Video Amp (Compl to ECG296)	300	300	5	.5	10	75	40 min	TO-202	T38
	NPN-Si, Darlington AF Preamp, Medium-Speed Sw.	40	40	12	.3	.400 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	60	7000 min	TO-92	T16*
	NPN-Si, AF Pwr Amp	500	300	6	3	40	10	50 typ	TO-66	T25
	PNP-Ge, AF Pwr Amp	25	25	6	2	6	700	110 typ	TO-39	T6
	PNP-Ge, AF Pwr Amp	90	90	2	25	106	.35 min	55 typ	TO-3	T28
	PNP-Si, AF Amp (Compl to ECG181) Matched Compl Pair-Contains one each ECG181 (NPN) and ECG180 (PNP)	100	100 (CER)	4	30	200	2 min	25 min	TO-3	T28
	NPN-Si, AF Amp (Compl to ECG180)	100	100 (CER)	4	30	200	2 min	25 min	TO-3	T28
	NPN-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG183)	100	80	4	10	90	2	30 min	TO-127	T46
	PNP-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG182)	100	80	4	10	90	2	30 min	TO-127	T46
	NPN-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG185)	80	80	5	4	40	2	30 min	TO-126	T45
	PNP-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG184) Matched Compl Pair-Contains one each ECG184 (NPN) and ECG185 (PNP)	80	80	5	4	40	2	30 min	TO-126	T45
	NPN-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG187)	70	60	5	3	12.5	50	80 typ	TO-202	T44
	NPN-Si, AF Pwr Amp, Driver (Compl to ECG187A)	50	50	5	3	10	150	80 min	TO-202M	T44
	PNP-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG186)	70	60	5	3	12.5	50	80 typ	TO-202	T44
	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG186A)	50	50	5	3	10	150	80 min	TO-202M	T44
	NPN-Si, AF Driver, Pwr Amp (Compl to ECG189)	80	80	4	2	10	50	80 typ	TO-202N	T44
	PNP-Si, AF Driver, Pwr Amp (Compl to ECG189)	80	80	4	2	10	50	80 typ	TO-202N	T44
	NPN-Si, AF Pwr Amp, Horiz Driver	180	180	5	1	10	100	40 min	TO-202N	T44
	NPN-Si, HV AF Amp, HV Video Amp (Compl to ECG240)	300	300	6	.5	10	60	40 min	TO-202N	T44
	NPN-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG193)	70	70 (CES)	5	1	.700 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) 1 ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ )	120 min	150 typ	TO-92HS	T44
	NPN-Si, AF PO (Compl to ECG193A)	70	70 (CES)	5	.5	.6	120	120 min	T-16HS	T22*

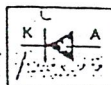
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Transistors (cont'd) (Maximum Ratings at $T_c = 25^\circ\text{C}$ Unless Otherwise Noted)

3 Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV <sub>CB0</sub>	Collector To Emitter Volts BV <sub>CE0</sub>	Base to Emitter Volts BV <sub>EB0</sub>	Max. Collector Current I <sub>C</sub> Amps	Max. Device Diss. P <sub>D</sub> Watts	Freq. In. MHz f <sub>t</sub>	Current Gain h <sub>FE</sub>	Package	
									Case	Fig. No.
290A 2AMCP	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG289A) Matched Compl Pair-Contains one each ECG289A (NPN) and ECG290A (PNP)	100	80	5	.5	.500 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	100 min	TO-92	T16
291	NPN-Si, Pwr Amp; Sw (Compl to ECG292)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T41
292 2MCP	PNP-Si, Pwr Amp; Sw (Compl to ECG291) Matched Compl Pair-Contains one each ECG291 (NPN) and ECG292 (PNP)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T41
33 3MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG294)	60	50	5	1	1 (Heat Sink) .75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	200	120 min	T-16	T20
34	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG293)	60	50	5	1	1 (Heat Sink) .75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	200	120 min	T-16	T20
35	NPN-Si, RF Output/Driver	75	40	5	1	5	150 min	20 min	TO-126	T45
37 3MP*	NPN-Si, AF Driver/Pwr Amp (Compl to ECG298)	80	80	5	1 peak	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	130 min	T-16	T20
38	PNP-Si, AF Driver/Pwr Amp (Compl to ECG297)	80	80	5	1 peak	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	120	130 min	T-16	T20
40 4MP*	NPN-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG307)	50	40	5	1.5	7	70	90 min	TO-202	T38
42	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37
44A	Transistor Kit See Page 1-54	---	---	---	---	---	---	---	---	---
46	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37
47	PNP-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG300)	50	40	5	1.5	7	70	90 min	TO-202	T38
51	NPN-Si, VHF/UHF Osc. Amp, Driver	55	30	3.5	4	5	800 min	25 min	TO-39	T6
52	See FET Selector Guide Page 1-57	---	---	---	---	---	---	---	---	---
54	NPN-Si, VHF Tuner, RF Amp	30	30	4	20 mA	.15 (T <sub>A</sub> = 25°C)	400 min	25 min	RF-15	T49
55	NPN-Si, RF Driver	100	50	6	1	.75 (T <sub>A</sub> = 25°C)	80	200 typ	SC-51	T19
56	NPN-Si, Lo Noise UHF Amp (NF 4.5 dB max, 450 MHz)	20	15	3.5	50 mA	.200 (T <sub>A</sub> = 25°C)	1400	25 min	TO-72	T4
57	NPN-Si, RF Pwr Output (P <sub>O</sub> 70 W, 30 MHz)	36	36 (CES)	4	15	220	---	10 min	RF-50F	T58
58	NPN-Si, RF Pwr Output (P <sub>O</sub> 50 W, 30 MHz)	36	36 (CES)	4	6	80	---	5 min	RF-50F	T58
59	NPN-Si, AGC Controlled IF Amp (Includes Metal Shield)	40	30	4	50 mA	.5 (T <sub>A</sub> = 25°C)	300 min	35 typ	TO-92	T16
60	NPN-Si, RF Pwr Output (P <sub>O</sub> 40 W, 175 MHz)	36	36 (CES)	4	6	80	200 min	5 min	RF-50SS	T55
61	NPN-Si, RF Pwr Out (P <sub>O</sub> 40 W, 175 MHz)	36	18	4	6	80	200 min	5 min	RF-38F	T57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

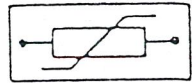
# Diodes and Rectifiers (General Purpose)



Description	Peak Reverse Voltage PRV Max V	Average Rectified Forward Current I <sub>O</sub> Max	Forward Current Repetitive Peak I <sub>FRM</sub> Max	Reverse Recovery Time t <sub>rr</sub>	Forward Voltage Drop Max V <sub>F</sub>	AFC	Fast Sw	Gen Purp	Fast Recovery	Fig. No.
Gen Purp	Ge 100	200 mA	---	---	---			•		Z2
Gen Purp	Ge 40	50 mA	150 mA	---	---			•		Z2
Matched Diode Pair	Ge 30	15 mA at 60°C	---	---	---	•		•		Z2
UHF Mixer (Schottky)	Si 5	25 mA	---	---	.5 at 60 mA					Z4
Common Cathode Dual Diode, Center-Tap, TV Horiz	Si 100	1.5 A	---	---	0.95 V at 1 A	•		•		Z15
Series Dual Diodes, TV Horiz	Se 20	min 1 mA	---	---	---	•		•		Z12
Common Anode Dual Diode, TV Horiz AFC	Se 20	min 1 mA	---	---	---	•		•		Z12
Gen Purp Rect	Si 600	1 A	---	---	0.8 V at 1 A			•		Z3
Gen Purp Rect, Metal Case	Si 1000	1.5 A	---	---	0.9 V			•		Z10
Color TV Convg Rect	Se 18	65 mA	---	---	---			•		Z17
Gen Purp Rect	Si 1000	2.5 A at 25°C Load Temp	---	---	0.8 V at 1 A			•		Z3
Gen Purp Rect	Si 1000	3 A	---	---	1.1 V at 1.5 A			•		Z6
Fast Sw, Det, etc.	Si 200	160 mA	250 mA	50 ns	1.0 V at 100 mA		•			Z4
Matched Diode Pair, AFC, AFT, etc.	Si 50	75 mA	100 mA	---	1.0 V at 5 mA	•				Z5
Sw, Fast Recovery, Bst Damper, Blanking	Si 1400	2 A	3.5 A	500 ns	1.0 V at 1 A		•		•	Z6
Gen Purp Rect, Gating, Centering	Si 50	250 mA	---	3 μs	1.0 V at 1 A			•		Z6
Sw, Fast Recovery, SCR Defl Clamp	Si 800	3 A	9 A	1.3 μs	1.3 V at 4 A		•		•	Z8
Fast Sw Diode	Si 100 (BFV)	200 mA	450 mA	4 ns	1.0 V at 10 mA		•			Z4
Sw, Fast Recovery, Damper	Si 2000	1 A	---	500 ns (Fwd Rec)	2 V at 2 A		•		•	Z6A
Sw, Fast Recovery, Damper, Metal Case	Si 1500	1 A	---	1 μs	1.5 V at 2 A		•		•	Z9
Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si 600	1 A	---	200 ns	1.5 V at 250 mA		•	•	•	Z3
Gen Purp Rect, Fast Recovery, HV	Si 1500	1 A	---	250 ns	1.2 V		•	•	•	Z3
Fast Sw, Soft Recovery	Si 600	3 A	100 A	200 ns	1.1 V		•	•	•	Z6A
Sw, Ultra Fast Recovery	Si 400	5 A	150 A	35 ns	1.25 V at 5 A		•	•	•	Z6A
Sw, Fast Recovery, HV	Si 1000	5 A	200 A	70 ns	1.7 V at 5 A		•	•	•	Z6A
Schottky Barrier Rect	Si 90	1 A	50 A	---	.8 V at 1 A		•		•	Z3
Schottky Barrier Rect	Si 90	3 A	150 A	---	.8 V at 3 A		•		•	Z6A
Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si 600	3 A	Single Surge 100 A	250 ns	1.3 V at 3 A		•	•	•	Z1A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# voltage Transient Suppressors Oxide Varistors (MOV)



	Maximum Voltage			Nominal Varistor Voltage VNOM (Volts)	Energy WTM (Joules)	Peak Current ITM (Amps)	Transient Power Dissipation PD (Watts)	Figure No.
	RMS VACM (Volts)	DC VDCM (Volts)	Clamping VCL (Volts)					
	10	14	42	18	.8	250	.25	S11-1
	10	14	39	18	3.5	1000	.6	S11-2
	14	18	47	22	.9	250	.25	S11-1
	14	18	43	22	4.0	1000	.6	S11-2
	15	20	52	24	1.0	250	.25	S11-1
	15	20	48	24	4.5	1000	.6	S11-2
	17	22	57	27	3.0	750	.25	S11-1
	17	22	53	27	5.0	1000	.6	S11-2
	20	26	68	33	1.2	250	.25	S11-1
	20	25	64	33	6.0	1000	.6	S11-2
	25	30	77	39	1.5	250	.25	S11-1
	25	30	73	39	10.0	1000	.6	S11-2
	30	37	93	47	1.8	250	.25	S11-1
	30	37	93	47	10.0	1000	.6	S11-2
	35	45	107	56	2.2	250	.25	S11-1
	35	45	103	56	10.0	1000	.6	S11-2
	40	55	135	68	2.5	250	.25	S11-1
	40	53	135	68	10.0	1000	.6	S11-2
	50	65	152	82	3.0	250	.25	S11-1
	50	66	147	82	10.0	1000	.6	S11-2
	60	85	165	100	4.0	200	.25	S11-1
	60	85	165	100	20.0	4500	.6	S11-2
	75	100	195	120	5.0	1200	.25	S11-1
	75	100	195	120	20.0	4500	.6	S11-2
	95	125	245	150	6.0	1200	.25	S11-1
	95	125	245	150	25.0	4500	.6	S11-2
	115	150	295	171	9.0	1200	.25	S11-1
	115	153	300	171	30.0	4500	.6	S11-2
	130	175	340	208	10.0	1200	.25	S11-1
	130	175	340	208	35	4500	.6	S11-2
	130	175	340	208	70	6500	1.0	S11
	150	200	395	240	11	1200	.25	S11-1
	150	200	395	240	40	4500	.6	S11-2
	150	200	395	240	80	6500	1.0	S11
	175	225	440	270	12	1200	.25	S11-1
	175	225	440	270	90	6500	1.0	S11
	250	330	650	390	17	1200	.25	S11-1
	250	330	650	390	70	4500	.6	S11-2
	250	330	650	390	130	6500	1.0	S11
	275	350	700	430	20.0	1200	.25	S11-1
	275	350	700	430	75.0	4500	.6	S11-2
	275	350	700	430	140	6500	1.0	S11
	300	385	765	470	20.0	1200	.25	S11-1
	300	385	765	470	80.0	4500	.6	S11-2
	300	385	765	470	150	6500	1.0	S11
	420	560	1110	680	90.0	4500	.6	S11-2
	420	560	1110	680	160	6500	1.0	S11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Controlled Rectifiers (SCR)

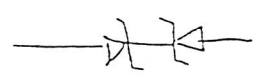
## Phase Control - SCR



	IT RMS - All Conduction Angles				IT Max Forward Current (Amps)				IT Avg - Conduction Angle = 180°			
RMS	.8 A	3 A	4 A	5 A	*7 A	8 A	10 A					
Av.	.5 A	1.9 A	2.5 A	3.2 A	4.3 A	5.1 A	6.2 A					
	ECG5400		ECG5411	ECG5452								
			ECG5453	ECG5470				ECG5442	ECG5481			
	ECG5401		ECG5412									
	ECG5402		ECG5413	ECG5454	ECG5471				ECG5482			
	ECG5404	ECG5408	ECG5414	ECG5455	ECG5472	ECG5511	ECG5427	ECG5444	ECG5483	ECG5417		
	ECG5405	ECG5409	ECG5415	ECG5457	ECG5474	ECG5512	ECG5428	ECG5437	ECG5446	ECG5485	ECG5418	ECG5426
	ECG5406	ECG5410	ECG5416	ECG5458	ECG5476	ECG5513	ECG5429	ECG5438	ECG5448	ECG5487	ECG5419	
	200 $\mu$ A #	10 mA #	200 $\mu$ A #	200 $\mu$ A #	10 mA #	15 mA #	15 mA #	200 $\mu$ A #	30 mA #	20 mA	15 mA	200 $\mu$ A #
(V)	0.8	1.5	1.0	0.8	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.8
	6.0	30	25	20	100	60	100	100	80	100	100	100
(mA)	5.0	20	5.0	3.0	25	20	20	5.0	40	25	30	3.0
	8.0	10	6.0	6.0	6.0	10	6.0	5.0	6.0	10	5.0	5.0
	8.0	10	6.0	6.0	6.0	5.0	6.0	5.0	6.0	10	5.0	5.0
Max	1.7	1.6	2.0	2.2	2.0	2.8	2.6	2.0	1.5	1.3	1.6	1.6
	.01	0.3	0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
C	-65 to +125	-40 to +125	-40 to +110	-40 to +110	-40 to +110	-65 to +100	-40 to +110	-40 to +100	-40 to +100	-40 to +110		
	30	30	10	50	200	100	10	50	50		20	
	Z36	Z35	Z38	Z40	Z48	Z42	Z35	Z41	Z39	Z48		Z41
	TO-92	TO-5M	TO-126	TO-202	TO-64	TO-66	TO-5M	TO-220	TO-127	TO-64		Isolated Tab TO-220

to Cathode through 1000 ohms minimum. Exceeds 4 A, anode connection must be made to case. Package Outlines - See Page 1 112

โดยคุณสิริดา, ฟิลิป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้