



แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

The controllable Uninterruptible Power Supply by Microcontroller and computerize display



วัน เดือน ปี.....5.คค 2541
เลขทะเบียน.....038467
เลขเรียกหนังสือ.....T.40007/1674

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038467

ปีการศึกษา 2540

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์
The controllable Uninterruptible Power Supply by Microcontroller and computerize display



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ

1. นายกิตติพงษ์ จรรย์รัตน์ไพศาล รหัส 38013093
2. นายตฤณ เสาวรา รหัส 38013099
3. นายเมฆิน วงศ์สามารถ รหัส 38013157
4. นายวัฒน์ ชัยเดช รหัส 38013161



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

นายกิตติพงศ์ จริชรัตน์ไพศาล

นายตฤณ เสาวรา

นายเมฆิน วงศ์สามารถ

นายวัฒน์ ชัยเดช

รศ.ดร. วิริยะ พิเศษจุ่มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองหรือยูทีเอส (Uninterruptible Power Supply ; UPS) คืออุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อเตรียมจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองให้กับภาระได้อย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับหรือเกิดขัดข้องอันเนื่องมาจากสาเหตุใดก็ตาม จะเห็นได้ว่ายูทีเอสเป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบไฟฟ้า แต่ยูทีเอสก็มีขีดจำกัดในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ณ ระดับหนึ่งเท่านั้น โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในโครงงานนี้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ขนาดพิกัด 400 วัตต์ - แอมป์ และสามารถจ่ายไฟฟ้าสำรองได้นาน 10 นาทีที่พิกัดกำลังไฟฟ้า โดยการควบคุมระบบการทำงานทั้งหมดจะอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นตัวสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz เป็นสัญญาณสวิตซ์ซึ่งให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นชนิดพุช - พูล (Push Pull Inverter) ซึ่งทำงานในโหมดออฟไลน์ (Off - Line Mode) และมีการแสดงผล (Display) บนคอมพิวเตอร์ในรูปแบบกราฟฟิค สำหรับในส่วนท้ายของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นผลการทดลอง ที่ได้จากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The controllable Uninterruptible Power Supply by Microcontroller and computerize display

KITTIPONG JARIYARATPISAN
 TRIN SAOVARA
 MAKIN WONGSAMART
 WATTANA CHAIDAJ
 Asse. Prof VIRIYA PICHETJUMREAN
 ADVISOR 1997

ABSTRACT

Uninterruptible Power Supply or UPS is designed to supply reserved electrical energy for uninterruptable load. In spite of the failing of system or no power supply from source, load be able to work continuously. So UPS is a equipment which improve efficiency to load but it is limited to supply electrical energy which is appropriate with a lower power system. The UPS in this project is 1ϕ power supply, 400 VA rated. It can 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. Lastly this thesis has experiment of UPS processing is in at the finish.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์	3
2.1 พื้นฐานการทำงานของวงจรพุก - พูล	4
2.2 มอสเฟทกำลัง	7
2.3 คุณสมบัติของสวิตช์	14
2.4 การกำเนิดรูปคลื่นสวิตช์	17
บทที่ 3 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่	18
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่	18
3.2 พารามิเตอร์ในการอัดประจุ	19
3.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่	20
3.4 การอัดประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดโดยทั่วไป	21
3.5 การประยุกต์ใช้งาน	21
3.6 คุณสมบัติที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด	22
บทที่ 4 สวิตซ์สับเปลี่ยน	24
4.1 เส้นใยในการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน	25
4.2 ลำดับการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน	28
บทที่ 5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	33
5.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51	33
5.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51	34
5.3 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51	35
5.4 โครงสร้างของพอร์ต MCS- 51	38
5.5 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ	42
5.6 การใช้งานพอร์ตอนุกรม	48

5.7	พอร์ต 8255	56
บทที่ 6	ส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	61
6.1	การนำเข้าสู่วิชวลเบสิก	61
6.2	เริ่มต้นในการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิก	61
6.3	การติดตั้งโปรแกรมด้วย Setup Wizard	67
6.4	การออกแบบจอภาพและเขียนโปรแกรม	72
6.5	ข้อเปรียบเทียบภาษาวิชวลเบสิกกับภาษาอื่น	75
บทที่ 7	การคำนวณและการออกแบบ	78
7.1	การออกแบบวงจรพูน - พูล อินเวอร์เตอร์	78
7.2	การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า	80
7.3	การเลือกแบตเตอรี่ใช้ในโครงการงาน	83
7.4	การคำนวณเพื่อเลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่	83
7.5	การออกแบบการทำงานของวงจรอัปเดตประจุแบตเตอรี่	85
7.6	การออกแบบวงจรสวิตช์สับเปลี่ยน	88
7.7	การอธิบายการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยนในสภาวะต่างๆ	90
7.8	การทำงานของวงจรขับที่ออกแบบ	95
7.9	ADC 0809 CCN	97
7.10	การออกแบบรูปคลื่นสัญญาณขับ	100
7.11	การออกแบบจอภาพหรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)	102
บทที่ 8	ผลการทดลอง	107
8.1	ผลการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์	111
8.2	ผลการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	117
8.3	ผลการทดลองในส่วนของการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	121
บทที่ 9	บทวิจารณ์และสรุป	131
	ภาคผนวก	
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรพืซ - พูล อินเวอร์เตอร์	4
รูปที่ 2.2	แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเนื่องจากประจุสะสม	5
รูปที่ 2.3	แสดงการกำหนดค่าเพื่อ t_b ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	6
รูปที่ 2.4	แสดงมอสเฟตประเภทใช้แรงดันควบคุม	7
รูปที่ 2.5	แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ P ชนิดคิพลิชั้น	8
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ P ชนิดเออนฮานท์เมนต์	9
รูปที่ 2.7	แสดงคุณลักษณะในการถ่ายโอนของอิมอสเฟตแบบแซนแนล N และ P และคุณลักษณะเอาท์พุทของอิมอสเฟตแบบแซนแนล N	10
รูปที่ 2.8	แสดงรูปคลื่นแรงดันในการสวิตซ์ของแรงดันเกต	11
รูปที่ 2.9	แสดงพื้นที่หน้าตัดของมอสเฟตชนิด N โดยจะประมาณพื้นที่ที่เกิดคาปาซิเตอร์	12
รูปที่ 2.10	แสดงวงจรโมเดลของมอสเฟต โดยแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	12
รูปที่ 2.11	แสดงส่วนประกอบที่เป็นผลรวมค่าความต้าน R_{DS} ของมอสเฟตนำกระแส	13
รูปที่ 2.12	แสดงพื้นที่การใช้งานที่ปลอดภัย (Save Operation Area ; SOA) ของมอสเฟต	13
รูปที่ 2.13	แสดงรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ได้จากการรวมสัญญาณความถี่หลักและฮาร์โมนิกต่างๆ	14
รูปที่ 3.1	แสดงการคายประจุของแบตเตอรี่ที่ค่าความจุต่างๆ	23
รูปที่ 4.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง แสดงให้เห็นส่วนสวิตซ์สับเปลี่ยน	24
รูปที่ 4.2	แสดงกระแสทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนโหมคการสับเปลี่ยน	26
รูปที่ 4.3	แสดงแรงดันไฟฟ้าของระบบเกิดการขาดหายไปเนื่องจากความผิดพลาดของระบบ	27
รูปที่ 4.4	แสดงลำดับการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบดับ	29
รูปที่ 4.5	แสดงลำดับการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบต่ำหรือเกินกว่าปกติ	30
รูปที่ 4.6	แสดงลำดับการทำงานของสวิตซ์สับเปลี่ยน เมื่อกระแสไฟฟ้าของภาระเกินกว่าพิคค	31
รูปที่ 4.7	แสดงลำดับการทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ภาระ	32
รูปที่ 5.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 5.2	แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพ MCS - 51	35
รูปที่ 5.3	แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิพทั้ง 2 ส่วน	36

รูปที่ 5.4	แสดงการเลือกจีตเตอร์ใช้งานทั่วไป R0 – R7 แต่ละกลุ่ม	37
รูปที่ 5.5	แสดงโครงสร้างพอร์ต 0	39
รูปที่ 5.6	แสดงโครงสร้างพอร์ต 1	39
รูปที่ 5.7	แสดงโครงสร้างพอร์ต 2	40
รูปที่ 5.8	แสดงโครงสร้างพอร์ต 3	41
รูปที่ 5.9	แสดงรายละเอียดในจีตเตอร์ SCON	50
รูปที่ 5.10	แสดงข้อมูลที่รับและส่งในการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรมในโหมด 0	52
รูปที่ 5.11	ผังการทำงานในโหมด 1	53
รูปที่ 5.12	แสดงข้อมูลรับและส่งในการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรมโหมด 2 และ 3	55
รูปที่ 5.13	การจัดวางขาและโครงสร้างของพอร์ต 8255	56
รูปที่ 5.14	Control word ทั้ง 2 แบบของโหมดและ Bit Definition Format	59
รูปที่ 5.15	การโปรแกรมของพอร์ต C	60
รูปที่ 6.1	แสดงลำดับในการเขียนโปรแกรมวิซชวลเบสิกในโครงการนี้	63
รูปที่ 6.2	แสดงกระบวนการรับ – ส่งค่าอินพุท	64
รูปที่ 6.3	ตัวอย่างการเขียนภาษาเครื่องด้วยภาษาแอสแซมบลีและข้อมูลเป็นเลขฐาน 16	65
รูปที่ 6.4	ตัวอย่างรหัสแอสกี	65
รูปที่ 6.5	แสดงออปเจ็คต์ของพอร์ตสื่อสารบนวิซชวลเบสิก	66
รูปที่ 6.6	แสดงตัวอย่างโปรแกรมบนวิซชวลเบสิก	66
รูปที่ 6.7	แสดงตัวอย่างโปรแกรมสื่อสารกับพอร์ตอนุกรม	66
รูปที่ 6.8	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 1 ให้เลือกไฟล์โปรเจ็คต์	67
รูปที่ 6.9	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 2 ให้เลือกเซ็ทบ็อกซ์ที่ต้องการ	68
รูปที่ 6.10	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 3 แสดงการใช้งานข้อมูลอ่านเลือก Data Access	68
รูปที่ 6.11	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 4 ให้เลือกไครทีและความจุแผ่นดิสก์	69
รูปที่ 6.12	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 5 ให้เพิ่ม ไฟล์หรือลบ ไฟล์ที่ไม่ต้องการ	69
รูปที่ 6.13	แสดงการบอกข้อมูลสรุปการใช้ไฟล์และขนาด	70
รูปที่ 6.14	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 6	70
รูปที่ 6.15	แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 7 บอกว่าสิ้นสุดการใช้ตัววิเศษ	71
รูปที่ 6.16	แสดงทูลบ็อกซ์ของวิซชวลเบสิก	72
รูปที่ 6.17	แสดงหน้าต่างคุณสมบัติ แสดงค่าพรีอพเพอร์ตี้ต่าง ๆ	73

รูปที่ 7.1	แสดงวงจรพูน – พูลอินเวอร์เตอร์	79
รูปที่ 7.2	แสดงการแปลงแรงดันของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	80
รูปที่ 7.3	แสดงวงจรอัดประจุแบตเตอรี่	87
รูปที่ 7.4	แสดงวงจรสวิตช์สับเปลี่ยน	89
รูปที่ 7.5	แสดงการตรวจสอบแรงดันไฟตกและแรงดันไฟเกินของระบบ	92
รูปที่ 7.6	แสดงการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเกินพิกัด	94
รูปที่ 7.7	แสดงวงจรขับอินเวอร์เตอร์และสวิตช์สับเปลี่ยน	96
รูปที่ 7.8	แสดงจอภาพแสดงการต้อนรับการใช้โปรแกรมแสดงผล	102
รูปที่ 7.9	แสดงจอภาพแสดงเมนูที่ต้องการเลือกการแสดงผล	103
รูปที่ 7.10	แสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า	104
รูปที่ 7.11	แสดงจอภาพแสดงผลอยู่ในรูปกราฟฟิคของมาตรวัดแบบเข็ม	105
รูปที่ 7.12	แสดงจอภาพแสดงผลอยู่ในรูปกราฟฟิคของมาตรวัดแบบแถบ	106
รูปที่ 8.1 – 8.30	แสดงผลการทดลอง	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 การจัดวางตำแหน่งบิตของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ	42
ตารางที่ 5.2 ค่าที่ต้องโหลดเข้าไปในรีจิสเตอร์ TH1	54
ตารางที่ 5.3 สรุปลโหมคการทำงานต่างๆ ของ 8255	57
ตารางที่ 5.4 ตารางความจริงของ 8255	58



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองชนิดออฟไลน์ (Off - Line UPS)
2. เพื่อนำเทคโนโลยีด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองแทนแบบอนาล็อก
3. เพื่อเป็นการง่ายต่อการปรับปรุงคุณลักษณะพิเศษการทำงานของฮาร์ดแวร์โดยพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์
4. เพื่อเป็นการลดคุณลักษณะและขนาดวงจรอนาล็อก ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีบทบาทต่อการควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง
5. เพื่อสามารถจ่ายภาระได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่คำนึงถึงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ดังนั้นรูปคลื่นเอาต์พุตที่ได้จึงไม่เป็นรูปคลื่นไซน์อย่างแท้จริง
6. สืบเนื่องจากข้อ 5 เพื่อเป็นการสอดคล้องกับการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานให้ต่ำที่สุด จึงไม่มีส่วนฟิลเตอร์กรองแรงดันเอาต์พุตเพื่อเป็นรูปคลื่นไซน์
7. เพื่อแสดงถึงความแตกต่างทางด้านอนาล็อกกับดิจิทัล จึงมีการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ในรูปแบบกราฟฟิก

ขอบเขตในการดำเนินงาน

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2540

ทำในส่วนของฮาร์ดแวร์

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540

ทำในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

คุณลักษณะโดยทั่วไปของการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในโครงการนี้

1. เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองชนิดออฟไลน์โหมด (Off -Line Mode) กล่าวคือในสภาวะปกติภาระจะได้รับกำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์จะไม่ทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระ แต่จะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระในสภาวะผิดปกติเท่านั้น

2. ระบบป้องกันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง มีดังนี้

- 2.1 ไฟฟ้าของระบบการไฟฟ้าดับ (Brownout) จะให้อินเวอร์เตอร์ทำงานแทน
- 2.2 แรงดันต่ำกว่าปกติ (Under Voltage) ถ้าแรงดันระบบมีค่าต่ำกว่า 198 โวลท์ จะให้อินเวอร์เตอร์ทำงานแทน
- 2.3 แรงดันสูงกว่าปกติ (Over Voltage) ถ้าแรงดันระบบมีค่าสูงกว่า 240 โวลท์ จะทำการตัดภาระออกจากระบบ
- 2.4 แรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าแรงดันปกติ (Normal Battery Voltage) แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจะทำการ Shutdown ตัวของไม่ใหทำงานต่อไป
- 2.5 กระแสไฟฟ้าเกิน (Over Current) ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ภาระมีค่าเกินขีด จะทำการตัดภาระออกจากระบบ
- 2.6 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit) ถ้ามีการลัดวงจรที่ภาระ ฟิวส์จำกัด กระแสขนาด 3A จะทำการตัดภาระออกจากระบบ
- 2.7 กระแสอินรัช (Inrush Current) วาริสเตอร์จะทำการลัดวงจรตัวเองเพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวมันลงกราวด์

3. การแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

- 3.1 แสดงค่าแรงดันอินพุทของระบบไฟฟ้า (Input Voltage)
- 3.2 แสดงค่าแรงดันเอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (Output Voltage)
- 3.3 แสดงค่าความถี่อินพุทของระบบไฟฟ้า (Input Frequency)
- 3.4 แสดงค่าความถี่เอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (Output Frequency)
- 3.5 แสดงค่าแรงดันของแบตเตอรี่ (Battery Voltage)
- 3.6 แสดงค่ากระแสอัดประจุแบตเตอรี่ และกระแสคายประจุจากแบตเตอรี่ (Charging Current and Discharging Current)
- 3.7 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของอินพุท (Input Apparent Power)
- 3.8 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของเอาท์พุท (Output Apparent Power)
- 3.9 แสดงค่ากระแสอินพุทและเอาท์พุท (Input Current and Output Current)
- 3.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์โหลด (Load Percentage)

3.11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกูเรชัน (Voltage Regulation Percentage)

3.12 แสดงค่าเวลาสำรองของแบตเตอรี่ (Time Reserve of Battery)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้การแก้ไขปัญหาผิดปกติที่เกิดจากระบบจ่ายไฟฟ้า อันเนื่องจากไฟฟ้าดับ , ไฟตก , ไฟเกิน หรือการขัดข้องของระบบไฟฟ้า สามารถแก้ไขได้โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ซึ่งเป็นระบบที่ขอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาในกรณีไฟฟ้าที่จ่ายมาเกิดการผิดปกติ โดยที่โหลดไม่สามารถยอมรับได้ โดยเฉพาะโหลดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้ามาก และโหลดที่ต้องการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเช่น โหลดฉุกเฉิน เป็นต้น

ในการทำโครงการนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงหลักการทำงานในส่วนต่างๆของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ส่วนที่สำคัญ ซึ่งสามารถอธิบายโดยย่อได้ดังนี้

1) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นชนิดพุช - พูล (Push Pull Inverter) โดยใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตซ์ิ่ง โดยอาศัยหลักการสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีความถี่ 50 Hz จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเมื่อก้าวถึงวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ในทางปฏิบัติแล้วรูปคลื่นที่ได้จากวงจรไม่มีโอกาสเป็นรูปคลื่นชานนี้ได้เลย โดยรูปคลื่นที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วยคลื่นความถี่หลักมูลกับองค์ประกอบของส่วนฮาร์โมนิกส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล ดังนั้นเพื่อจำกัดฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำ และให้รูปคลื่นเอาต์พุตมีลักษณะเป็นชานน้มนามากที่สุด จะทำได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ขนาดเล็กในการกรองฮาร์โมนิกส์ออก ซึ่งการประยุกต์การใช้งานของวงจรอินเวอร์เตอร์ มีลักษณะการใช้งานหลายๆด้าน เช่น ใช้ในงานยานพาหนะต่างๆที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟสลับ ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์จากโซลาร์เซลล์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสสลับโดยใช่วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยสามารถควบคุมได้ทั้งแรงดันและความถี่ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อควบคุมความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ได้

2) เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger) โดยใช้หลักการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบตะกั่ว - กรด (Lead Acid) ลักษณะปิดผนึก แรงดันไฟตรงปกติ 12 โวลท์ ขนาด 7 แอมป์ - ชั่วโมง โดยที่เครื่องชาร์จประจุจะใช่วงจรบริดจ์เรกติไฟด์ แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และผ่านเข้าไอซีรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้ (Adjustable Regulator) โดยใช้ IC LM 317 N และใช้ทรานซิสเตอร์ควบคุมขาราวด์เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตเพื่อให้เป็นไปตามสภาวะปกติและผิดปกติ สำหรับส่วนเรกติไฟเออร์จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และรักษาระดับแรงดันให้คงที่ และจำกัดกระแสไม่ให้เกินค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโครงการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลนี้เพื่อการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ เพื่อถ่ายให้กับวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งในโครงการนี้ใช้วงจรบริดจ์เรกติไฟด์และใช้คาปาซิเตอร์กรองแรงดันรีปเปิลเพื่อให้แรงดันเอาท์พุทเรียบขึ้น

3) สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch) เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองนี้เป็นแบบ ออฟ - ไลน์ (OFF LINE UPS) โดยที่ในส่วนของอินเวอร์เตอร์จะทำงานก็ต่อเมื่อระบบไฟฟ้าปกติเกิดการผิดปกติ ดังนั้นสวิตช์สับเปลี่ยนจะทำงานใน 2 สถานะคือ สถานะปกติจะสวิตช์ไปที่ระบบไฟฟ้าและเมื่อสถานะผิดปกติจะสวิตช์ไปที่วงจรอินเวอร์เตอร์ ในส่วนของการที่จะสวิตช์ซึ่งจะได้รับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการทำงานได้ถูกต้องทั้ง 2 สถานะ โดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวทรานเฟอร์สวิตช์ในโครงการจะใช้รีเลย์ โดยทำการสับเปลี่ยนเมื่อได้รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์

4) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง โดยจะมีทั้งการรับอินพุท ประมวลผล และส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ และส่งสัญญาณเอาท์พุทออกพอร์ตเอาท์พุท RS 232 เพื่อที่เป็นสัญญาณอินพุทให้กับอุปกรณ์ MCommm ในโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) เพื่อแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 และมีไอซี ADC 0809 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งจะทำการรับสัญญาณอนาล็อกจากวงจรตรวจจับแล้วแปลงสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลแล้วทำการควบคุมระบบต่อไป

5) แสดงผลทางคอมพิวเตอร์ (Displaying On Computer) ในส่วนของโปรแกรมแสดงผลจะใช้ Visual Basic Program เวอร์ชัน 4.0 ซึ่งทำการเขียนคำสั่งบนวินโดวส์ โดยจะรับอินพุทมาจากพอร์ต RS 232 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำการแสดงข้อมูลต่างๆ เช่น แรงดัน กระแสทั้งด้านอินพุทและเอาท์พุท แรงดันแบตเตอรี่ รวมทั้งความถี่ของระบบ หรือสั่งการทำงานจากคีย์บอร์ดเพื่อสั่งให้ ยูพีเอส ไม่ทำงาน (Shutdown) จากคอมพิวเตอร์ได้

บทที่ 2

วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

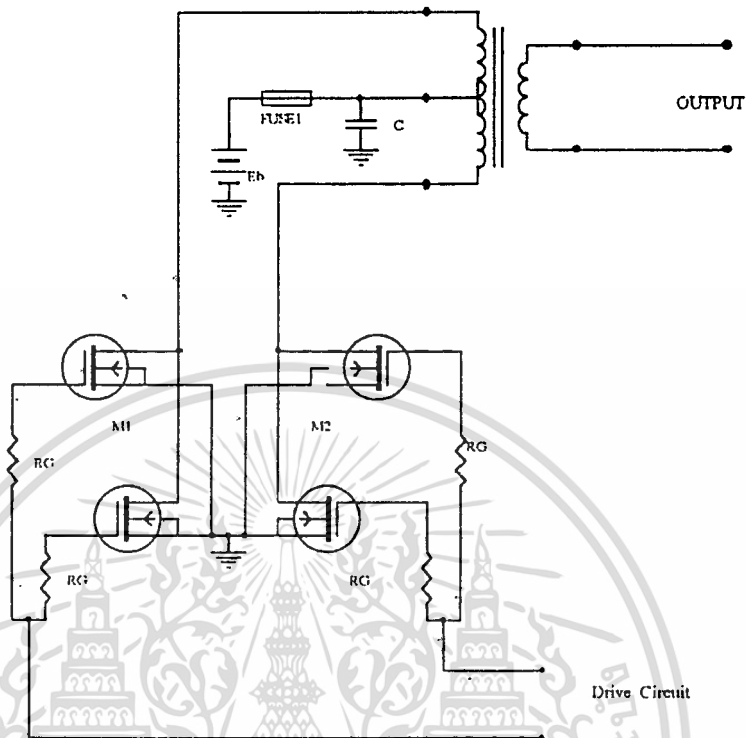
สำหรับในโครงการนี้วงจรอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้งานจะใช้แบบ พูช - พูล อินเวอร์เตอร์ (Push - Pull Inverter) ซึ่งคุณลักษณะที่เหมาะสมของการเลือกใช้แบบนี้ก็เพื่อ

1. สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง 500 วัตต์ขึ้นไป ดังนั้นค่าพิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในโครงการนี้จึงอยู่ในเกณฑ์ที่พิจารณา
 2. แรงดันที่ใช้ในการสวิตชิงของอุปกรณ์มีค่าต่ำ
 3. ราคาถูกที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอินเวอร์เตอร์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากว่าใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยในการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์
 4. ไม่คำนึงถึงผลของคุณสมบัติของรูปคลื่นเท่าไรนัก เนื่องจากว่าจุดประสงค์ของโครงการนี้ เพื่อสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองแทนระบบได้เท่านั้น เมื่อเกิดผิดปกติขึ้นกับระบบ แต่สิ่งที่พิเศษกว่าคือการควบคุมที่ง่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์
 5. เนื่องจากรูปคลื่นสัญญาณในการสวิตชิงวงจรอินเวอร์เตอร์ จะสวิตชิงที่ความถี่ 50 Hz ดังนั้นอุปกรณ์สวิตชิงจึงไม่จำเป็นต้องตอบสนองใช้เวลาที่รวดเร็ว (Slow dynamic Response)
 6. เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการขับเป็นรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม มีความถี่ 50 Hz ดังนั้นการสร้างสัญญาณขับนี้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำได้ง่าย
 7. การออกแบบวงจรได้ง่าย. เนื่องจากว่าใช้งานที่ความถี่ต่ำ จึงมักไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องของสไปท์ (Spike) การใช้หม้อแปลงความถี่สูง หรือผลจากเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าไม่เท่ากัน
 8. การออกแบบหม้อแปลงไม่ต้องใช้แกนเฟอร์ไรท์ ซึ่งจะช่วยประหยัดได้มาก
- ดังนั้นจากคุณลักษณะข้างต้นจึงได้ทำการการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้ให้มีเงื่อนไขเป็นไปตามคุณลักษณะดังกล่าว โดยแสดงเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. วงจรอินเวอร์เตอร์ใช้อุปกรณ์สวิตชิงคือ มอสเฟต จำนวน 4 ตัวแบ่งเป็นกิ่งละ 2 ตัว
 2. ใช้รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square wave signal) มีความถี่ที่ 50 Hz จำนวน 2 สัญญาณกลับเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า ขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์
 3. แรงดันไฟตรงที่ใช้ขับเกทมอสเฟตมีค่า 12 โวลต์
 4. หม้อแปลงถูกออกแบบใช้งานที่ความถี่ 50 Hz
- ดังนั้นในการออกแบบจะอาศัยคุณลักษณะและเงื่อนไขดังกล่าวนี้ในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีการใช้งานไปจนถึงการออกแบบวงจรที่ใช้ในโครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 พื้นฐานการทำงานของวงจร พูช - พูล อินเวอร์เตอร์ (Basic of Push - Pull operating Inverter)

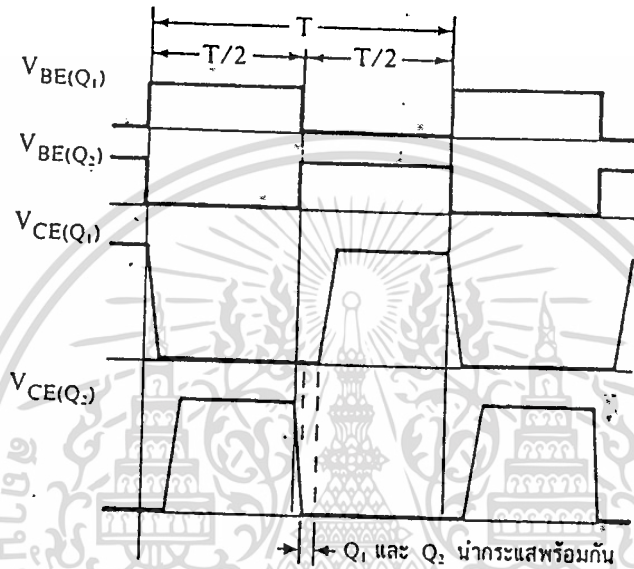


รูปที่ 2.1 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรพูช - พูล อินเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรพูช - พูล อินเวอร์เตอร์ โดยอธิบายได้คือเพาเวอร์มอสเฟต M_1 และ M_2 จะสลับการทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งของคาบเวลา T ขณะที่ M_1 นำกระแสจะมีกระแสไพรมารี (I_{p1}) ไหลผ่านขดไพรมารี (N_{p1}) เนื่องจากมีสัญญาณมาขับเกต และในจังหวะนี้จะไม่มีความดันขั้วที่เกตของ M_2 ดังนั้น M_2 จะไม่ทำงานแรงดันที่คร่อมแฉก - ชอร์ต (V_{DS}) จะมีค่าเป็น $2V_m$ ซึ่งเป็นผลรวมของแรงดันของขด NP_1 และ NP_2 รวมกัน เนื่องจากถูกเหนี่ยวนำเกิดขึ้นมีทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจากเหตุผลนี้ทั้ง M_1 และ M_2 จะต้องสามารถทนแรงดันอย่างต่ำได้เป็น 2 เท่าของแรงดันอินพุท โดยในสภาวะขณะนี้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในครึ่งคาบ เหนี่ยวนำแรงดันขึ้นสมมติมีทิศทางตามจุดดอท ในเวลาต่อมาสัญญาณขับเกตจะขับที่ M_2 แทนและ M_1 สัญญาณขับจะเป็นศูนย์ ซึ่งจะมีความถี่ของสัญญาณเท่ากันแต่มีความต่างเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า กระแสไพรมารี (I_{p2}) จะไหลผ่านขดไพรมารี (N_{p2}) ไหลครบวงจรโดยผ่าน M_2 ซึ่งหม้อแปลงก็จะเหนี่ยวนำแรงดันขึ้นโดยมีทิศทางดอทจะอยู่ด้านล่างซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้ว่าห้ามการนำงานเพื่อการศึกษายานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามที่ออกทั้งหมดนี้ให้คิดเปลี่ยนเมื่อหาหนังสืออ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
อุปกรณ์สวิตซ์นี้เอง สำหรับสัญญาณขับจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) กลับเฟสกัน

และทำการขับเพียงครึ่งคาบเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วหากสัญญาณขับพร้อมกันหรือมีการทำงานที่ต่างกันบางประการ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์มีการทำงานผิดพลาดขึ้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องมีเวลาเพื่อสำหรับการสวิทช์ของอุปกรณ์ด้วย ซึ่งจะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.2 แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิทช์ซึ่งเนื่องจากประจุสะสม

โดยจะขออธิบายโดยการพิจารณา ซึ่งจะเป็นเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แทน ซึ่งจะมีหลักการในการพิจารณาแบบเดียวกัน กล่าวคือการกำหนดค่าเวลาเมื่อ (t_D ; dead time) ไว้ เพื่อไม่ให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีช่วงการนำกระแสมากเกินไป เมื่อสัญญาณขับมีความกว้างพัลส์ใกล้ 180 องศาไฟฟ้า ซึ่งจะมีเหตุผลหลักสองประการคือ

1. ถ้าไม่มีการจำกัดช่วงเวลานำกระแสเอาไว้ เมื่อเกิดกรณีโหลดดึงกระแสมากขึ้น วงจรควบคุมจะสั่งงานให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าช่วงเวลานำกระแสเพิ่มขึ้น ทำให้ช่วงเวลาการนำกระแสของอีกตัวหนึ่งลดลง และเกิดการไม่สมดุลฟลักซ์ (Flux imbalance) ขึ้นในแกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้แกนอิ่มตัวอย่างรวดเร็วและอุปกรณ์สวิทช์เกิดพังเสียหายขึ้นได้ โดยสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดการไม่สมดุลฟลักซ์ของแกนเหล็กนั้น เนื่องมาจากการมีช่วงเวลาก่อนหยุดนำกระแส (turn off time) ไม่เท่ากันอย่างแท้จริงเนื่องจากข้อจำกัดในการผลิต ถ้าหากว่าอุปกรณ์ตัวใดใช้ในการหยุดนำกระแสมากกว่า จะทำให้ค่ากระแสสูงสุดของมันในช่วงที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้กดแป้นเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

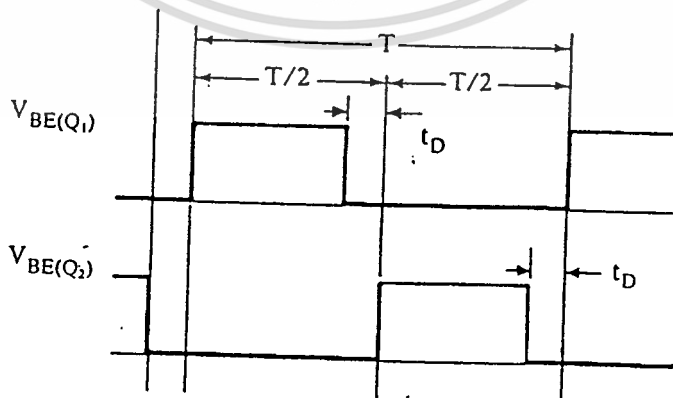
นำกระแสมีค่ามากกว่าของอีกตัวหนึ่ง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงมีลักษณะไม่สมมาตร และจะมีการเลื่อนของฟลักซ์ได้หรือที่เรียกว่า “Flux walking” เกิดขึ้น โดยค่าฟลักซ์สูงสุดจะวิ่งเข้าหาจุดอิมตัวอย่างรวดเร็ว ด้านแกนเกิดการอิมตัวของฟลักซ์แม่เหล็กก็จะเป็นอันตรายต่อตัวเพาเวอร์มอสเฟตได้

2. ถึงแม้จะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งงานในทำงานที่ครึ่งหนึ่งของคาบเท่ากันแล้วก็ตาม ก็ยังไม่มีการปลอดภัยเพียงพอเพราะการตอบสนองของอุปกรณ์อาจเป็นไปได้ช้า เนื่องจากเกิดประจุสะสมขึ้นในขณะที่นำกระแส เมื่อหยุดจ่ายสัญญาณขับให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เวลา $t - T/2$ ประจุสะสมจะให้นำกระแสต่อไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ในขณะที่อีกตัวหนึ่งเริ่มรับสัญญาณขับที่เวลา $t - T/2$ เช่นเดียวกัน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเกิดนำกระแสพร้อมกัน ในกรณีนี้แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะเท่ากับค่าแรงดันของอินพุท และทำให้เกิดการพังเสียหายอย่างรวดเร็ว

การกำหนดค่าเวลาเมื่อ t_0 สำหรับช่วงเวลานำกระแสให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ดังรูปที่ 2.3 จะช่วยป้องกันปัญหาที่กล่าวมาแล้วได้ ค่าเวลาเมื่อ t_0 โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ประมาณ 20% ของครึ่งคาบเวลา ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จึงไม่ควรมีค่าเกิน

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

โดยจะแสดงได้ดังรูป



2.2 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ประเภทใช้แรงดันในการควบคุม กล่าวคือ ต้องใช้แรงดัน V_{GS} ควบคุมในการไหลของกระแสเดรน (I_D)

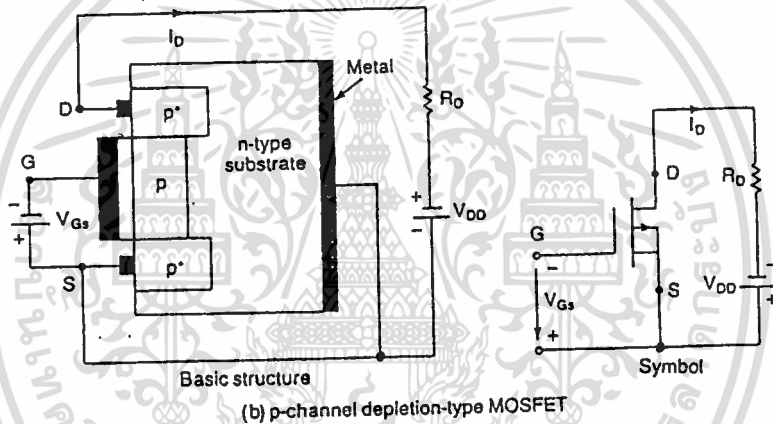
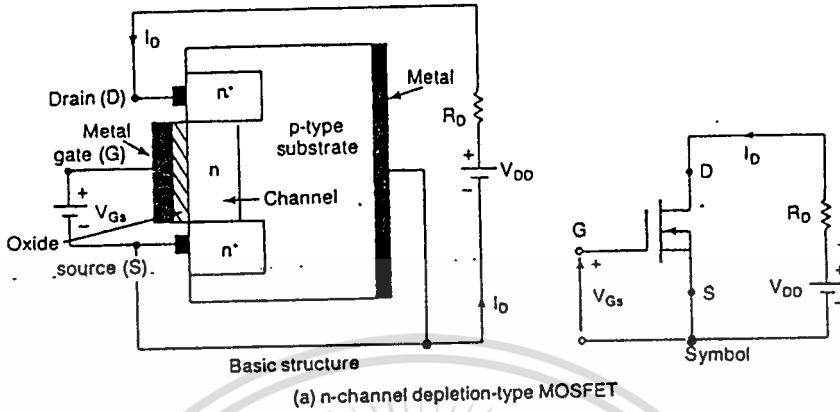


รูปที่ 2.4 แสดงมอสเฟตประเภทใช้แรงดันควบคุม

2.2.1 ประเภทของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่มี 3 ขั้ว คือ ขั้วซอร์ส (Source ; S) เดรน (Drain ; D) และเกต (Gate ; G) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) เรียกสั้นๆ ว่า ดีมอสเฟต และมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า อิมอสเฟต แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แชนแนล N (N - Channel) และแชนแนล P (P - Channel) ซึ่งแสดงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของมอสเฟทแบบ N และ P ชนิดคิพลิชั้น

โครงสร้างของคิมอสเฟทแบบแชนแนล N ในรูปที่ a ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งสร้างขึ้นจากซิลิคอน และเรียกว่าแผ่นพนักฐาน P (P-type Substrate) โดยขั้ว D และขั้ว S ต่อกับบริเวณที่มีการกระตุ้นหรือได้ไปให้เป็นบริเวณสารกึ่งตัวนำ N (N-Doped Region ; N) บริเวณสารกึ่งตัวนำ N ทั้งสองส่วนนี้ต่อกับวัสดุฉนวนที่เป็นโลหะ (Metal) โดยมีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) กั้นระหว่างแชนแนล N กับขั้ว G [ซิลิคอนไดออกไซด์เป็นฉนวนประเภทไดอิเล็กทริก (Dielectric)] ถ้าแรงดันเกต - ซอร์ส (V_{GS}) มีค่าเป็นลบ อิเล็กตรอนบางส่วนในแชนแนล N สร้างบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ภายในขั้วออกไซด์ ทำให้แชนแนล

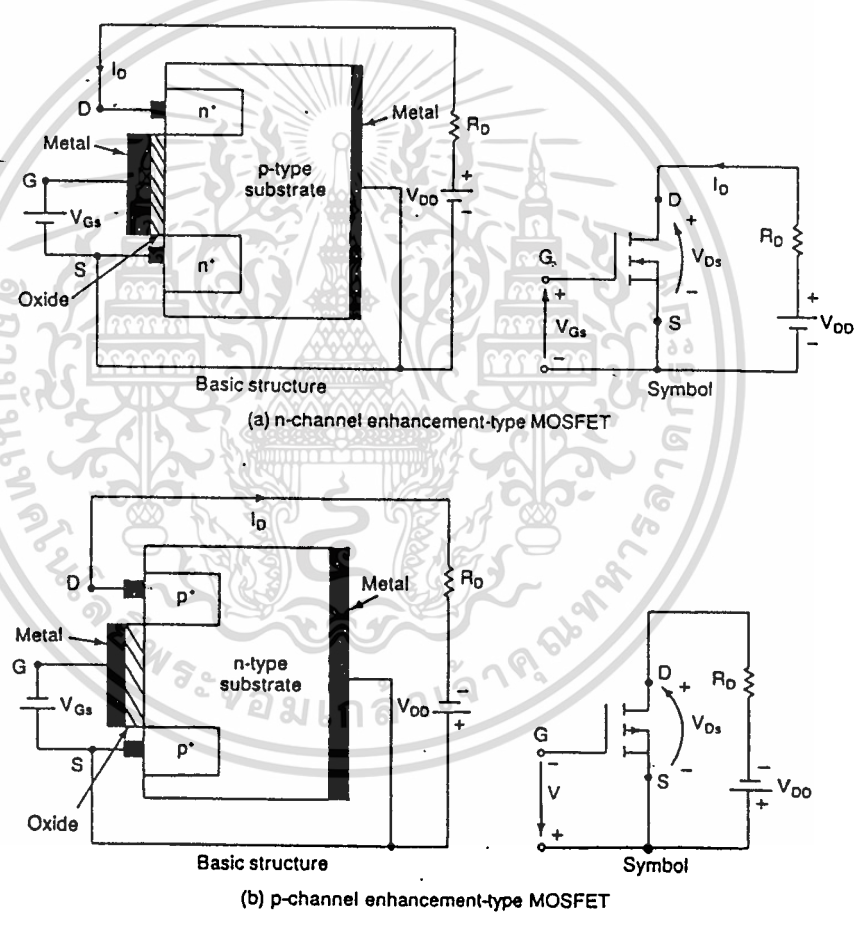
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนระเบียบข้อบังคับของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคบลง ความต้านทานจากขั้วเดรนไปซอร์ส (R_{DS}) เริ่มมีค่าสูง เมื่อ V_{GS} มีค่าเป็นลบเพียงพอ แชนแนลจะหายไป R_{DS} จึงมีค่าสูงมาก และไม่มีกระแสไหลจากขั้วเดรนไปซอร์สนั้นคือ $I_{DS} = 0$ ระดับ V_{GS} นี้เรียกว่า แรงดันพินช์ออฟ (Pinch-off Voltage ; V_p)

ในทางตรงข้าม ถ้า V_{GS} เป็นบวก แชนแนลจะกว้างขึ้นเป็นผลให้ I_{DS} มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นเนื่องจาก R_{DS} มีค่าลดลง

หลักการที่กล่าวมานี้ ใช้ได้กับคิมอสเฟตแบบแชนแนล P (ดังรูป B) โดยขั้วของ V_{DS} , I_{DS} และ V_{GS} เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณี คิมอสเฟตแบบแชนแนล N



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ P ชนิดเอนฮานซ์เมนต์

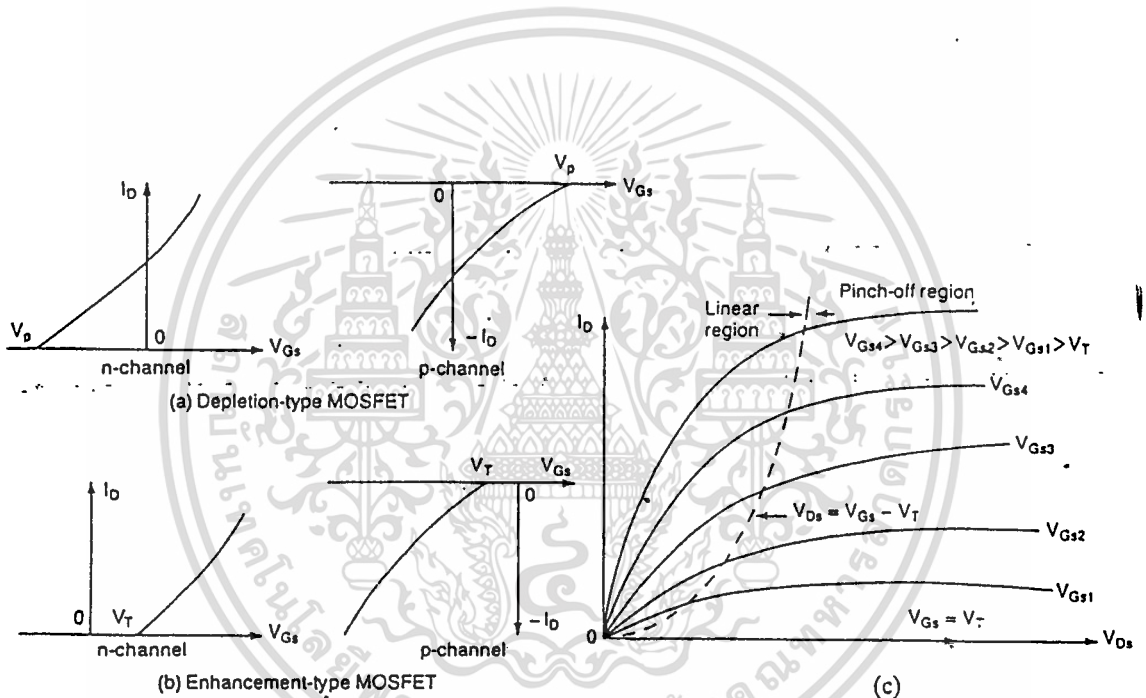
อิมอสเฟตแบบแชนแนล N นั้นไม่มีแชนแนลดังรูปที่ a ถ้า V_{GS} เป็นบวก แรงดันเหนี่ยวนำจะดึงดูดอิเล็กตรอนจากแผ่นพนักฐาน P และรวบรวมไว้ที่ผิวภายในชั้นออกไซด์ ถ้า V_{GS} มากกว่าหรือเท่ากับค่าแรงดันเรชโฮลด์ (Threshold Voltage ; V_T) จึงมีกระแสไหลจากเดรนไปซอร์ส (I_{DS})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หน่วยงานใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการที่กล่าวมานี้ ใช้ได้กับอิมอสเฟทแบบแชนแนล P โดยตัวของ V_{DS} , I_{DS} และ V_{GS} เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณี อิมอสเฟทแบบแชนแนล N

2.2.2 คุณลักษณะของมอสเฟท (MOSFET Characteristic)

ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่า มอสเฟทเป็นอุปกรณ์ประเภทใช้แรงดันในการควบคุมและมีอิมพีแดนซ์อินพุตสูงมาก โดยขั้วเกตจะดึงกระแสรั่วไหลต่ำมาก ซึ่งมีค่าโดยประมาณนาโนแอมป์ (nanoampere) และเราทราบว่า ทรานส์คอนดักแตนซ์ (Transconductance ; g_m) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ I_D ต่อแรงดันเกต (V_{GS}) เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะการถ่ายโอนของมอสเฟท



รูปที่ 2.7 แสดงคุณลักษณะในการถ่ายโอนของอิมอสเฟทแบบแชนแนล N และ P และคุณลักษณะเอาต์พุตของอิมอสเฟทแบบแชนแนล N

โดยที่คุณลักษณะเอาต์พุตของอิมอสเฟทแบบแชนแนล N จะมีพื้นที่บริเวณการทำงาน 3 บริเวณคือ

1. บริเวณคัตออฟ (Cutoff Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{GS} < V_T$
2. บริเวณพินช์ออฟหรือบริเวณอิ่มตัว (Pinch-off or Saturation Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} > V_{GS} - V_T$
3. บริเวณที่เป็นเชิงเส้น (Linear Region) เกิดขึ้นเมื่อ $V_{DS} < V_{GS} - V_T$

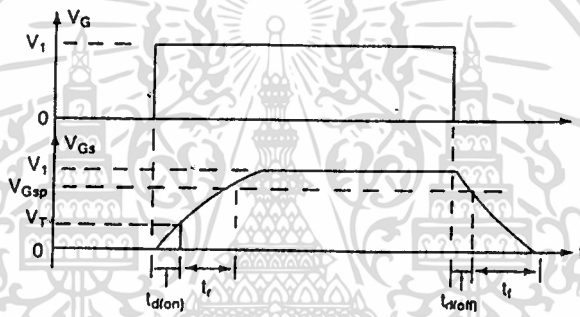
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันฯ ใจให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและเนื้อหาข้างต้นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบริเวณที่เป็นเชิงเส้น I_D จะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของ V_{DS} และเนื่องจาก I_D มีค่าสูง ขณะที่ V_{DS} มีค่าต่ำ อิมอสเฟตจึงใช้บริเวณที่เป็นเชิงเส้นนี้สำหรับพิจารณาการใช้งานสวิทช์ซึ่งสำหรับอิมอสเฟต แรงดันเกต (หรือแรงดันอินพุต) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ แต่อิมอสเฟตตอบสนองกับแรงดันบวกเพียงอย่างเดียว ตามปกติมอสเฟตกำลังมักเป็นประเภทอิมอสเฟต จึงขอกล่าวถึงเฉพาะคุณลักษณะของอิมอสเฟตเท่านั้น

2.2.3 คุณลักษณะในการสวิตช์ (Switching Characteristic)

ผลกระทบที่เกิดจากคาปาซิเตอร์บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำในอิมอสเฟต ทำให้เขียนรูปคลื่นในการสวิตช์เป็นดังรูป



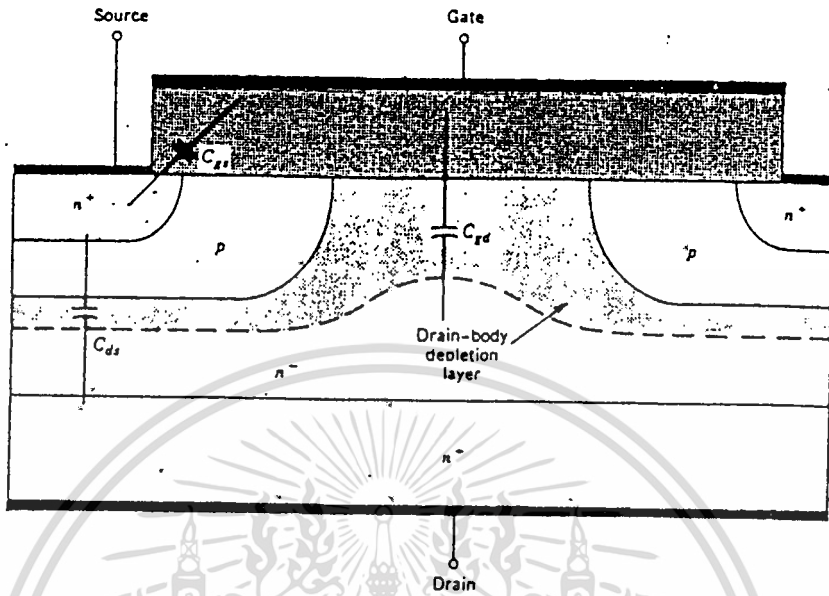
รูปที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นแรงดันในการสวิตช์ของแรงดันเกต

เมื่อป้อนแรงดันเกตเพิ่มจากศูนย์ถึง V_1 เวลาที่ใช้ในการอัดประจุคาปาซิเตอร์ (ภายในตัวของอิมอสเฟต) ให้มีค่าถึงระดับแรงดันธรตโฮลด์ (V_T) ซึ่งเรียกว่า ช่วงเวลาเฉื่อยในการเปิด (Turn-on Delay Time; $t_{d(ON)}$) และช่วงเวลาเวลาขาขึ้น (t_r) เป็นเวลาอัดประจุจากระดับ V_T จนกระทั่งมีค่าถึงระดับแรงดันเกตเต็มที่ (Full Gate Voltage; V_{GSP}) ซึ่งใช้ในการขับมอสเฟตไปสู่บริเวณเชิงเส้น โดยดูรูป C ประกอบ

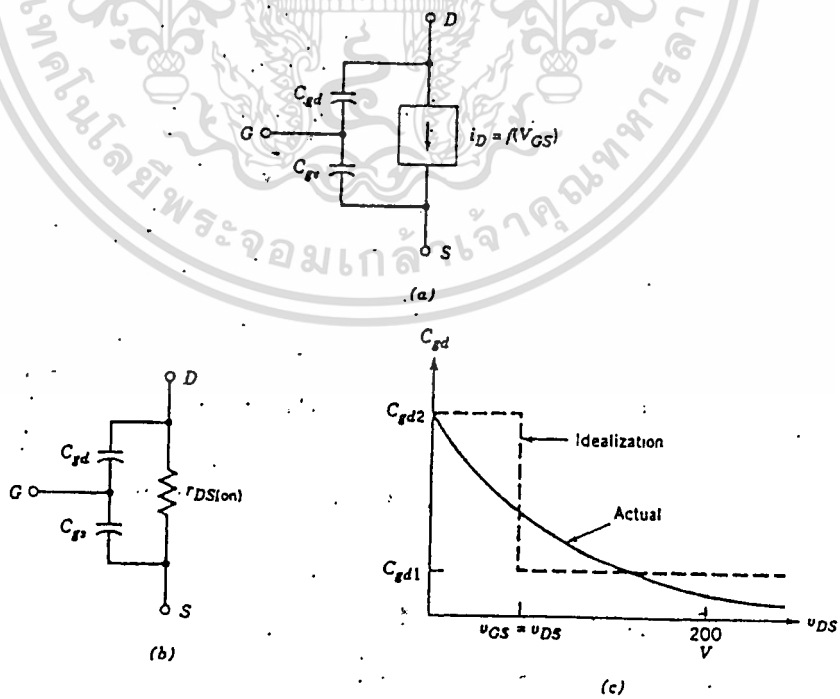
เวลาที่คาปาซิเตอร์ในการคายประจุจาก V_1 ไปจนถึงบริเวณพินซ์ออฟ เรียกว่าช่วงเวลาเฉื่อยในการปิด (Turn-off Delay Time; $t_{d(OFF)}$) และช่วงเวลาขาลง (t_f) เป็นเวลาที่คาปาซิเตอร์ใช้ในการคายประจุจากบริเวณพินซ์ออฟจนถึง V_T (ถ้า $V_{GS} < V_T$ มอสเฟตจะปิด)

โดยจะแสดงค่าคาปาซิเตอร์ ณ จุดต่างๆ และ วงจรโมเดลภายในตัวมอสเฟต ที่มีผลต่อการทำงานสวิทช์ ดังรูป

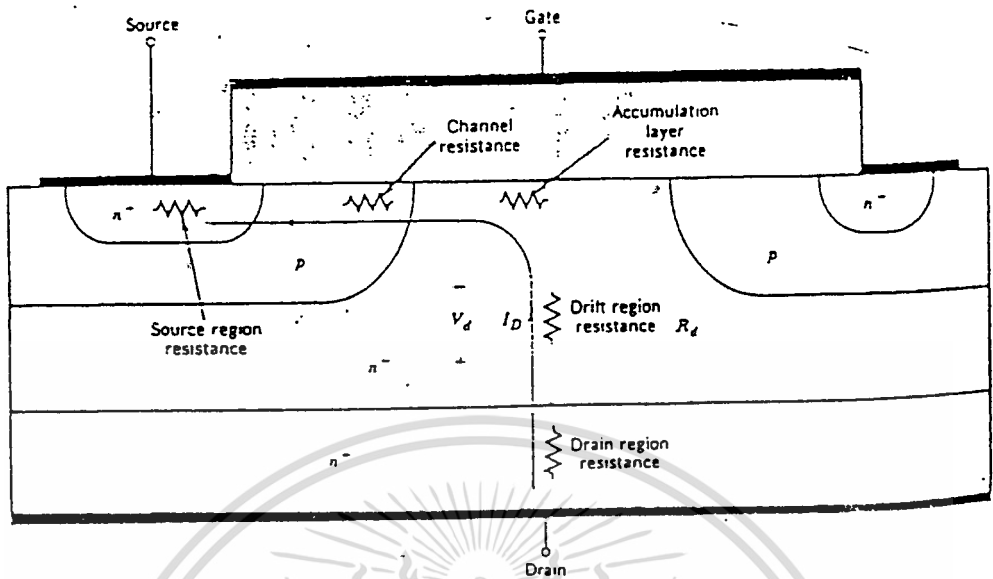
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



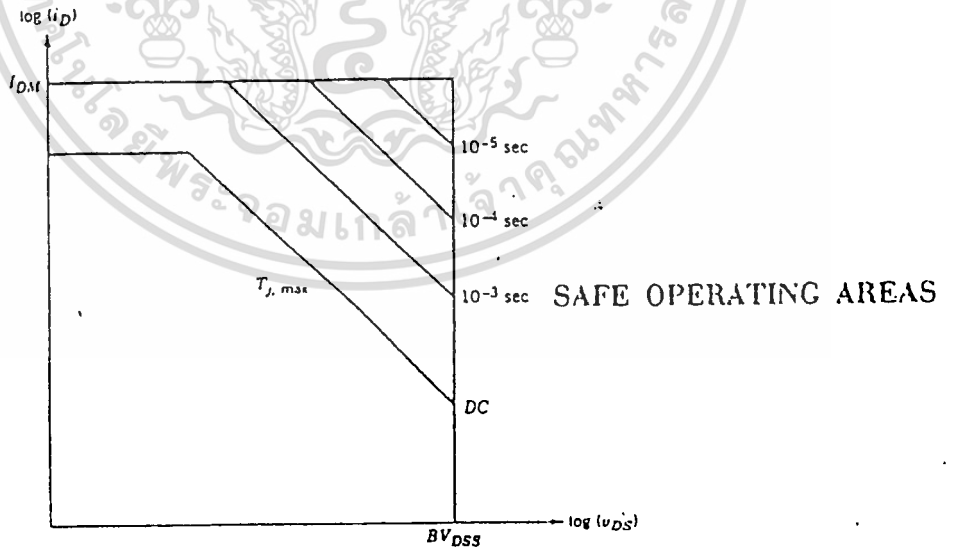
รูปที่ 2.9 แสดงพื้นที่หน้าตัดของมอสเฟตชนิด N โดยจะประมาณพื้นที่ที่เกิดคาปาซิเตอร์



รูปที่ 2.10 แสดงวงจร โมเดลของมอสเฟต โดยแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบที่เป็นผลรวมค่าความต้าน R_{DS} ของมอสเฟตนำกระแส

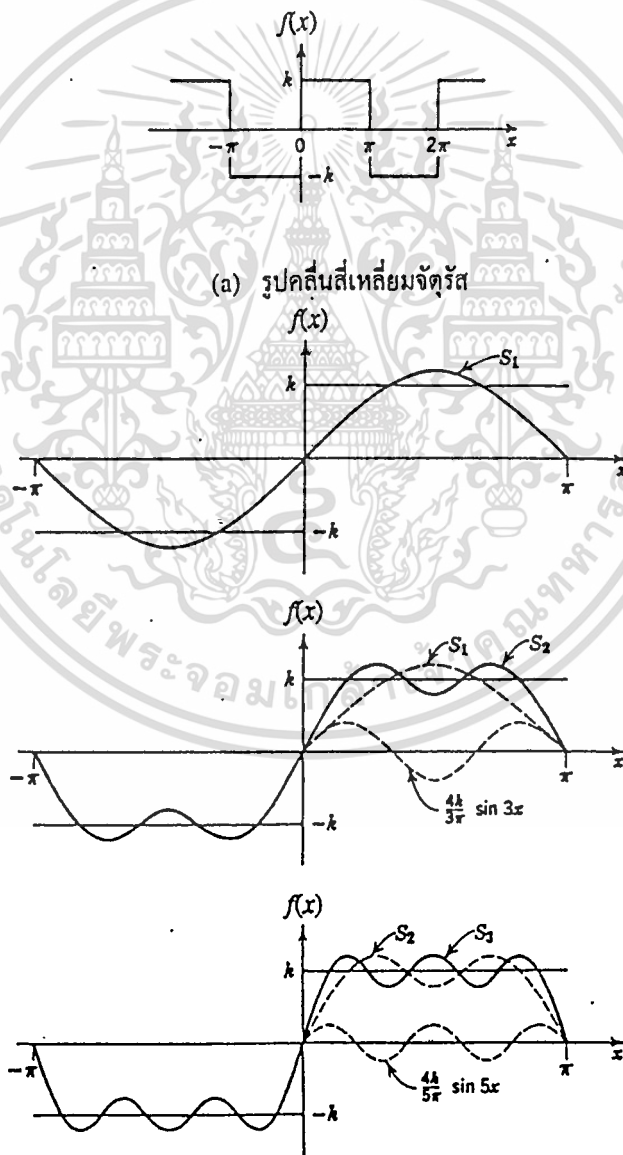


รูปที่ 2.12 แสดงพื้นที่การใช้งานที่ปลอดภัย (Safe Operation Area ; SOA) ของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณลักษณะของสัญญาณขับ (Drive Signal Characteristic)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าสัญญาณที่ใช้ขับมอเตอร์จะเป็นรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยมีค่าความถี่เชิงกล (k) เท่ากัน ดังนั้นค่าแรงดันที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ และเข้าสู่หม้อแปลงเพื่อทำการแปลงแรงดันให้สูงขึ้น ดังนั้นสัญญาณที่เอาท์พุทหรือภาระจะมีสัญญาณเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเหมือนสัญญาณขับ ซึ่งแรงดันที่ใช้งานสำหรับภาระนั้นจะมีค่าเป็นแรงดันส่วนหลัก (Fundamental Voltage) ของสัญญาณสี่เหลี่ยมนี้ โดยที่แรงดันแรงดันส่วนหลักเมื่อรวมกับแรงดันฮาร์โมนิกส์ต่างๆ ฮาร์โมนิกส์จะรวมกันมีค่าเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ ซึ่งแสดงดังรูป โดยจะต้องทำการฟูรีเยร์สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้เพื่อต้องการทราบค่าแรงดันส่วนหลัก โดยจะแสดงได้คือ



(b) ผลบวกของแต่ละเทอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ทั้งสิ้น ล้วนเป็นหน้าที่ของผู้ประกอบการและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.13 แสดงรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ได้จากการรวมสัญญาณความถี่หลักและฮาร์โมนิกต่างๆ

$$\text{จาก } f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาจากรูป พื้นที่ใต้กราฟในช่วง $-\pi$ ถึง π เป็นศูนย์ ดังนั้น $a_0 = 0$ จึงไม่จำเป็นต้องอินทิเกรต ดังนั้น

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx \, dx \quad (2.3)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 (-k) \cos nx \, dx + \int_0^{\pi} k \cos nx \, dx \right]$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[-\frac{k}{n} \sin(nx) \Big|_{-\pi}^0 + \frac{k}{n} \sin(nx) \Big|_0^{\pi} \right]$$

$$= 0$$

เพราะว่า $\sin nx = 0$ ที่ $x = 0, \pi, 2\pi$ สำหรับทุกๆ ค่าของ $n = 1, 2, \dots$ ดังนั้น

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx \, dx \quad (2.4)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 (-k) \sin nx \, dx + \int_0^{\pi} k \sin nx \, dx \right]$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[-\frac{k}{n} \cos nx \Big|_{-\pi}^0 - \frac{k}{n} \cos(nx) \Big|_0^{\pi} \right]$$

$$= \frac{k}{n\pi} [\cos 0 - \cos(-n\pi) - \cos n\pi + \cos 0]$$

เนื่องจาก $\cos(-A) = \cos A$ และ $\cos 0 = 1$ ดังนั้น

$$b_n = \frac{k}{n\pi} (1 - \cos n\pi - \cos n\pi + 1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{k}{n\pi} (2 - 2 \cos n\pi) = \frac{2k}{n\pi} (1 - \cos n\pi)$$

ซึ่ง $\cos \pi = -1$, $\cos 2\pi = 1$, $\cos 3\pi = -1$ ฯลฯ ดังนั้น

$$\cos nx = \begin{cases} -1, & n = 1, 3, 5, 7, \dots \\ 1, & n = 2, 4, 6, 8, \dots \end{cases}$$

และ

$$(1 - \cos nx) = \begin{cases} 2, & n = 1, 3, 5, 7, \dots \\ 0, & n = 2, 4, 6, 8, \dots \end{cases}$$

ดังนั้น

$$b_1 = \frac{4k}{\pi}, b_2 = 0, b_3 = \frac{4k}{3\pi}, b_4 = 0, b_5 = \frac{4k}{5\pi}, \dots,$$

เพราะฉะนั้น จาก (1) จะได้ว่า

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nx \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเฉพาะเลขคี่}$$

$$f(x) = \frac{4k}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right) \quad (2.5)$$

ผลบวกของเทอมดังแสดงในรูปที่ 2.13 (b) คือ

$$S_1 = \frac{4k}{\pi} \sin x, \quad S_2 = \frac{4k}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x \right), \quad \text{ ฯลฯ,}$$

ซึ่งจากการฟูรีเยร์สัญชาตญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแล้ว เมื่อคิดเฉพาะพจน์แรกที่เป็นค่าส่วนหลัก (Fundamental) โดยเทียบ $S_1 = V(t)$, $k = V_d$ และ $X = \omega t$ จะได้ดังสมการ

$$v(t) = \frac{4V_d}{\pi} \sin \omega t \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นดังนั้นจากสมการนี้ สำหรับ จะใช้ในการกำหนดค่าการคำนวณสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณขับ (Drive Signal)

เนื่องจากการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการขับ ให้กับมอเตอร์จะใช้วงจรหน่วงเวลา โดยที่วงจรหน่วงเวลาที่ใช้ในโครงการนี้สามารถที่จะเปลี่ยนเวลาในการหน่วงได้ตามสถานะของแรงดันเอาต์พุตของโหลด ซึ่งเราสามารถที่จะอธิบายทฤษฎีของวงจรหน่วงเวลาได้ดังนี้

- โปรแกรมหน่วงเวลาแบบ 2 LOOP ซึ่งในโครงการนี้จะใช้โปรแกรมแบบนี้เป็นพื้นฐานในการออกแบบซึ่งมีรูปแบบดังนี้

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

$$\text{จำนวน Machine Cycle} = 3 + R1 \{ 3 + R0(2) \} \text{ us} \quad (2.7)$$

สูตรนี้จะใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สัญญาณ Clock เท่ากับ 12 MHz

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

$$\text{จำนวน Machine Cycle} = [3 + R1 \{ 3 + R0(2) \}] \times 1.085 \text{ us} \quad (2.8)$$

ซึ่งในโครงการนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้สัญญาณ Clock ที่ 11.059 MHz ดังนั้นเราจึงใช้สมการที่ 2.8 เป็นสมการคำนวณในโปรแกรมหน่วงเวลา ที่จะใช้สร้างพัลส์ไปขับให้กับ มอเตอร์ ต่อไป

บทที่ 3

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charger)

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่อัดประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยอุปกรณ์นี้จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับยูนิตเอาระบบออฟ - ไลน์ (Off - Line Ups) ขณะระบบไฟฟ้าการไฟฟ้าฯ สภาพปกตินั้น เครื่องอัดประจุจะทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่เท่านั้น โดยไม่มีการจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ แต่เมื่อระบบไฟฟ้าผิดปกติขึ้น มันจะหยุดทำงานและแบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานให้กับอินเวอร์เตอร์แทน

3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้ เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด ซึ่งจะขอกว่าชนิดและคุณสมบัติกว้างๆ โดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. Non spill lead - acid Battery แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

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

2. Permanent Battery แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลานานหลายเดือน โดยไม่ต้องมีการดูแลรักษาและสามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือนและมี self - discharge ต่ำ เนื่องจากใช้ lead alloy ชนิดพิเศษ เหมาะสำหรับใช้ในงานพิเศษที่ต้องการ อายุการใช้งานสูงกว่าแบบ Standard Battery

2. Recombining sealed lead - acid Battery

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับ overcharge กรดซัลฟิวริกที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซ H_2 และ O_2 ทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้ต้องมีการเติมน้ำกลั่นมิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ การเติมน้ำกลั่นเป็นการจำกัดวงในการใช้งานแบตเตอรี่ ฉะนั้นจึงมีการพัฒนาแบตเตอรี่ใช้งานโดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

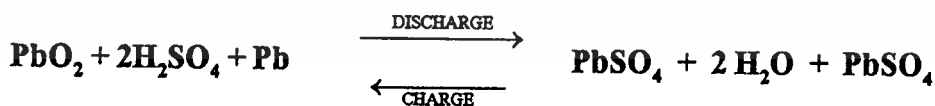
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. แบตเตอรี่แบบ Non - Recombining หรือ Partially Recombining แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆและไม่ต้องอัดประจุใหม่เกินระดับ overcharge เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันทีและวาล์วจะปิดอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อม แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดผนึกไว้ ซึ่งภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซอีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำและจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่ จะอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุสูงๆในตอนเริ่มต้น และในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นและต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่โดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆ เพื่อไม่ให้เกิด overvoltage และป้องกัน electrolyte loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีขนาดความจุเดียวกันสามารถต่อกันแบบอนุกรมหรือขนานก็ได้ ถ้าประจุแบตเตอรี่แบบอนุกรมจะใช้แรงดันสูงและกระแสน้อยๆ ส่วนถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบขนานใช้แรงดันต่ำและกระแสสูงๆ แบตเตอรี่แบบนี้สามารถอัดประจุและจ่ายประจุ ได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิเกิล - แคดเมียม (Nikel - Cadmium)

2. แบตเตอรี่แบบ Fully Recombining โครงสร้างคล้ายๆกับแบบ Standard Cylindrical Ni - cad เหมาะสำหรับใช้งาน standby มีการรวมตัวของก๊าซ O_2 ที่เกิด ก๊าซเกิดขึ้นคือ H_2 และ O_2 จะรวมตัวกันเป็นน้ำ ทำให้ปริมาตรของอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและสภาพแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการ discharge สูง การอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบ constant voltage , constant current , pulse charging และอื่นๆ

ขบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี



3.2 พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

1. การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ โดยการอัดประจุจะปรับค่าแรงดันที่อัดประจุ ซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิโดยการตรวจจับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม

2. เวลาที่อัดประจุเสร็จ ระยะเวลาที่แบตเตอรี่ถูกอัดประจุเต็มขึ้นอยู่กับสภาวะการคิซซาร์จและลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย

3. อุณหภูมิในขณะการอัดประจุ ควรทำการอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการอัดประจุมีประสิทธิภาพดีคือในช่วง 5 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้การอัดประจุได้ไม่มากหรือร้อนเกินไป

4. การชาร์จประจุเกิน การอัดประจุเพิ่มขึ้นอีกหลังจากแบตเตอรี่อัดประจุเต็มแล้ว เรียกว่า โอเวอร์ชาร์จ (Overcharge) ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

3.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ แบ่งได้ 4 ชนิดคือ

1. การอัดประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ว่าไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิเหมือนกับการชาร์จแบบแรงดันคงที่ แต่ก็มีข้อเสียคือต้องระวังเรื่องเวลาในการอัดประจุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ซึ่งแบตเตอรี่จะเต็มภายในเวลาอันสั้นๆเท่านั้น การอัดประจุด้วยอัตราสูงมีผลทำให้แรงดันที่แบตเตอรี่สูงเกินไป น่าจะเกิดการแตกตัวและมีความร้อนเกิดขึ้น การอัดประจุแบบนี้ อาจใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอรี่ที่เก็บไว้นานแล้ว ซึ่งสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้ที่เคียวหลายๆลูก

2. การอัดประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging)

โดยมีความต้องการให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะประจุเต็ม (Fully Charge) เสมอ โดยต้องระวังเรื่องอัตราการอัดประจุสูงเกินไป ซึ่งการอัดประจุแบบนี้ทำให้แรงดันเอาท์พุทมีเสถียรภาพ พร้อมทั้งมีความจุกระแสสูง ซึ่งในช่วงที่แรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่างๆความต้านทานของแบตเตอรี่มีค่าน้อยมาก ฉะนั้นกระแสที่อัดประจุจึงมีค่าสูงมาก เป็นผลให้เครื่องอัดประจุต้องมีขนาดใหญ่และราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ ซึ่งปกติเครื่องอัดประจุแบบนี้จะมีอุปกรณ์ช่วยในการจำกัดกระแสเริ่มต้น โดยใช้ constant current regulation ซึ่งในช่วงสุดท้ายของการอัดประจุกระแสจะถูกลดลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการสลายตัว

3. การอัดประจุแบบลดค่ากระแส (Tapered Current Charging)

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ง่ายไม่ซับซ้อน ราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง วงจรเรกติไฟต์ และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับในการอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด ปิคนิค เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุจะกระเพื่อมตามแรงดันไฟฟ้าของระบบ ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ก็สามารถลดผลอันนี้ได้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอรี่ และเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมในการจำกัดกระแส โดยที่การอัดประจุแบบนี้สามารถใช้แทนแบบการอัดแบบกระแสคงที่ได้ ไม่เพียงเฉพาะการอัดประจุแบตเตอรี่หลายๆลูกในครั้งเดียวเท่านั้น ยังสามารถใช้ในระบบ trickle charge ได้อีกด้วย

4. การอัดประจุแบบรวม (Combination Charging : two - step)

วิธีนี้บางทีเรียกว่า “two - rate “ หรือ “two - step “ โดยเกิดจากการรวมกัน 2 แบบ คือ การอัดประจุ แบบกระแสคงที่และแรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยในขั้นแรกจะวิธีการอัดประจุเร็ว และขั้นที่สองจะอัดประจุด้วยกระแสต่ำๆ การสวิตช์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่สองอาจทำได้หลายวิธีเช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุ หรือตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

3.4 การอัดประจุแบบเตอริชชนิด ตะกั่ว - กรด โดยทั่วไป

ในการอัดประจุแบบเตอริชชนิดนี้ จะมีการจำกัดกระแสที่ใช้อัดประจุและแรงดันต้องพยายามให้คงที่มากที่สุด ปริมาณกระแสที่ใช้อัดประจุโดยปกติจะจำกัดอยู่ที่ 0.2 C สำหรับ Lead - antimony Battery และ 0.5 C สำหรับ Lead - calcium Battery เมื่อ C คือความจุแบตเตอรี่ (หน่วย Ampere - hour (Ah)) ถ้าหากการอัดประจุโดยใช้กระแสมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่สูงและทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง และถ้าหากอัดประจุที่กระแสน้อยเกินไปจะทำให้มี Lead - sulfate เกาะหลงเหลืออยู่ในแผ่นเพลท (plate) ของแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้การจ่าย Ampere - hour ไม่ได้เท่ากับพิกัดของแบตเตอรี่ และถ้าต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนาน แรงดันพีกทูพีก (peak to peak ripple) ซึ่งเป็นแรงดันเอาท์พุทของอุปกรณ์อัดประจุแบตเตอรี่ ควรจะมีค่าไม่เกิน 0.5% ของแรงดันดีซี พึงระลึกเสมอว่าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ค่าพิกัดของแบตเตอรี่ จะสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ยาวนานขึ้น

3.5 การประยุกต์ใช้งาน

ในการประยุกต์ใช้งานของ Sealed lead - acid Battery แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. Cyclic Operation

การทำงานเป็นรอบๆต้องการเวลาในการอัดประจุสั้น และต้องป้องกันการอัดประจุและดิสชาร์จเกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิคการอัดประจุด้วยแรงดันคงที่คือ การรักษาแรงดันเอาท์พุทไว้ที่ระดับสุดท้ายของการอัดประจุและจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด ถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสถานะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุอาจสูงไปหรือต่ำไปในอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

2. Standby / Backup Charging

ใช้งานในประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามต้องการ ปกติจะเก็บในสถานะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจะจ่ายพลังงานไปให้ภาระเมื่อระบบผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ การใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แม้ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการทำงานแบบนี้แบ่งเป็น 2 โหมด คือ

2.1 Trickle Charge

โดยปกติระบบของการไฟฟ้าฯ ทำการจ่ายพลังงานให้ภาระหรืออุปกรณ์ในขณะที่แบตเตอรี่ไม่ได้ถูกต่อกับภาระ ถ้าหากเกิดความผิดปกติขึ้นที่ระบบนั้น วงจรแบตเตอรี่จะถูกเชื่อมเข้ากับภาระเพื่อจ่ายพลังงาน โดยจะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับ Self Discharge โดยการอัดประจุแบตเตอรี่ที่กระแสที่ต่ำๆ เพื่อให้แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะประจุเต็มตลอดเวลา ในกรณี Deep Discharge จะต้องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ฉะนั้นวิธีอัดประจุแบบ two - rate และแบบแรงดันคงที่ จะเหมาะสมมากในการอัดประจุ เนื่องจากมีโหมดการอัดประจุเริ่มต้นเร็ว แต่แบบ two - rate charger จะเหมาะสมกว่าเพราะไม่จำเป็นต้องชดเชยทางอุณหภูมิ

2.2 Float Charge

โดยในแบบนี้ ทั้งภาระและแบตเตอรี่ต่อกันแบบขนานกับวงจรรีคิฟไฟต์ ระบบนี้จะใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบแรงดันคงที่เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีเสถียรภาพ การกระเพื่อมอย่างมากของแรงดันที่อัดประจุ มีผลให้แบตเตอรี่คิซาร์จเพียงเล็กน้อย ซึ่งการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ จะต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่ภาระมีค่าสูงสุด มิฉะนั้นจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง โดยตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แบบ Float จะสั้นกว่าการอัดประจุแบบ Trickle

3.6 คุณลักษณะที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด

โดยปกติแบตเตอรี่ชนิด Lead-Acid ที่ออกแบบให้ใช้ได้กับ UPS ต้องมีความจุสูง อายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 80 % ของช่วงเปิดวงจร แรงดันที่อัดประจุแบตเตอรี่จะเท่ากับ 2.1 เซล และจะลดลงขณะแบตเตอรี่คายประจุ หรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันของแบตเตอรี่และแรงดันที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์ เทียบกับขบวนการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะแสดงไว้ดังในตารางที่ 3.1

ถ้าหากว่ากำลังเอาท์พุทเพิ่มขึ้น จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมกันจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันกระแสเกิน

สำหรับรูปกราฟแสดงการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด ซึ่งเป็นการคายประจุที่ค่าความจุต่างๆ ของแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.1

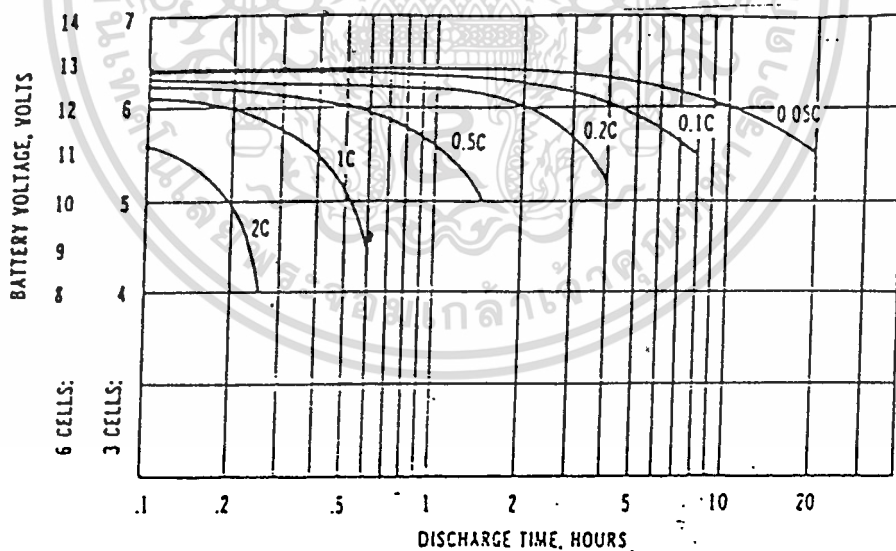
ตารางแสดงค่าต่างๆของแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว - กรด

	12 V	24 V	48 V	72 V ^a	125 V	250 V
Inverter input voltage range	11-15	22-30	42-56	63-85	105-140	210-280
Number of lead-acid cells	6	12	24	36	60	120
Typical float voltage/cell ^b	2.25-2.3	2.25-2.3	2.2-2.25	2.2-2.25	2.2-2.25	2.2-2.25
Typical equalize voltage/cell	2.4	2.4	2.33	2.33	2.33	2.33
Typical battery float voltage	14.4	28.8	53-54	79-81	132-135	264-270
End-of-discharge cell voltage	1.83	1.83	1.75	1.75	1.75	1.75
End-of-discharge battery voltage	11	22	42	63	105	210

^aApplies to direct off-line controlled rectification of 120 V ac (no isolation) where the battery charger can supply power to the inverter stage and maintain the charging voltage on the battery at prolonged low line ac input conditions.

^bValues shown are for lead-calcium. Float voltage for lead-antimony is typically 2.15 V/cell.

ส่วนกราฟการคายประจุแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงการคายประจุของแบตเตอรี่ที่ค่าความจุต่าง

จากกราฟอธิบายได้ว่า ในระดับแรงดันแบตเตอรี่ที่ค่าต่างๆ การคายประจุใช้เวลาไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความจุที่ใช้งานในขณะนั้น เช่น เมื่อพิจารณาที่ค่า 0.05C จะเห็นได้ว่าจะสามารถจ่ายกระแสดีชาร์จได้นานถึง 20 ชั่วโมง แต่ถ้าค่าความจุในขณะนั้นมีค่าสูงเวลาที่คายประจุจะต่ำคือมีค่าไม่เกิน 0.3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังผู้อื่นเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

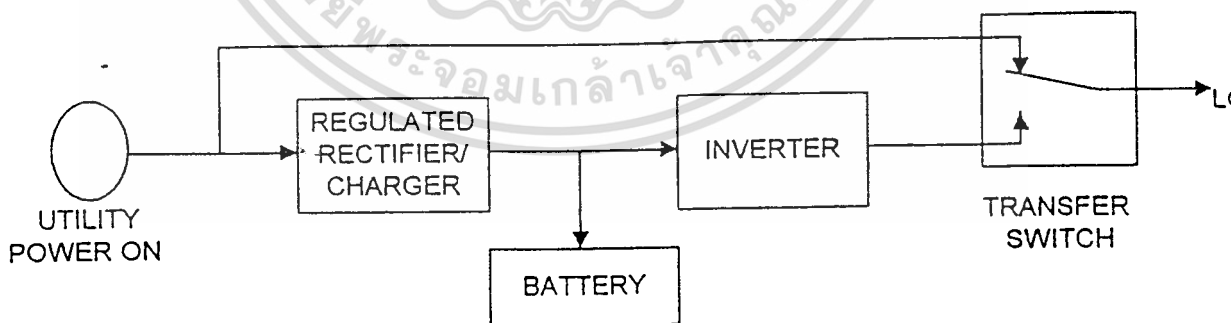
สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch)

สวิตช์สับเปลี่ยน (Transfer Switch) นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากที่เกี่ยว
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่อง โดยจะทำงานใน 2 สถานะคือ

1. ในสถานะปกติ สวิตช์สับเปลี่ยนจะสับไปที่ระบบ เพื่อรับกำลังไฟฟ้าจากระบบ โคลรี
เลย์จะถูกควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในสถานะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจ
สอบแล้วว่าระบบมีสถานะปกติ มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าพร้อมที่จะจ่ายให้กับภาระ ดังนั้นรีเลย์จึง
ถูกสับเข้ากับระบบเพื่อเป็นทางผ่านของพลังงานไฟฟ้าของระบบ ไปสู่ภาระ

2. ในสถานะผิดปกติ สวิตช์สับเปลี่ยนจะสับไปที่อินเวอร์เตอร์ เพื่อรับกำลังไฟฟ้าจากอิน
เวอร์เตอร์ ซึ่งในสถานะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบแล้วพบว่าระบบมีสถานะผิดปกติเนื่องมา
จากสาเหตุ ระบบไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า (Brownout) แรงดันระบบมีค่าต่ำเกินไป (Under Voltage))
ซึ่งในสถานะนี้จะไม่มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าพร้อมที่จะจ่ายให้กับภาระ ดังนั้นรีเลย์จึงถูกสับเข้ากับ
อินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่ภาระแทนระบบ

ซึ่งจะแสดงบล็อกไดอะแกรมโดยรวมดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนสวิตช์สับเปลี่ยน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 เงื่อนไขการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน

1. เมื่อมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ แต่แรงดันของระบบมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 198 - 242 โวลต์ ซึ่งหากไม่มีการสับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์แล้ว อาจทำให้อินเวอร์เตอร์ได้รับความเสียหายได้ กล่าวคือถ้าแรงดันของระบบมีค่าไม่เท่ากับแรงดันของอินเวอร์เตอร์ในช่วงที่มีการสับเปลี่ยน จะทำให้มีกระแสทรานเซียนส์เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อป้องกันในส่วนนี้จึงต้องมีการสับเปลี่ยนที่แรงดันศูนย์ ซึ่งจะดูได้ในรูปที่ 4. 2

2. แรงดันไฟฟ้าผิดปกติ เนื่องจากไฟฟ้าดับ (Brownout) เป็นลักษณะเมื่อในสภาวะปกติจะมีแรงดันไฟฟ้าจากระบบให้กับภาระ แต่ช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้น ได้มีการขาดหายไปของแรงดันระบบ ทำให้ภาระไม่ได้รับแรงดันไฟฟ้าจากระบบ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

3. แรงดันไฟตกและแรงดันไฟเกินของระบบ (UnderVoltage and OverValtage) คือสภาพที่แรงดันไฟฟ้าสลับมีค่าต่ำกว่าและสูงกว่า 10 % ของแรงดันไฟฟ้าปกติ หรือมีค่า 198 โวลต์ และ 242 โวลต์ ตามลำดับ จากค่าแรงดันปกติ 220 โวลต์ ซึ่งค่าแรงดันทั้งสองนี้ จะเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้นกับภาระได้

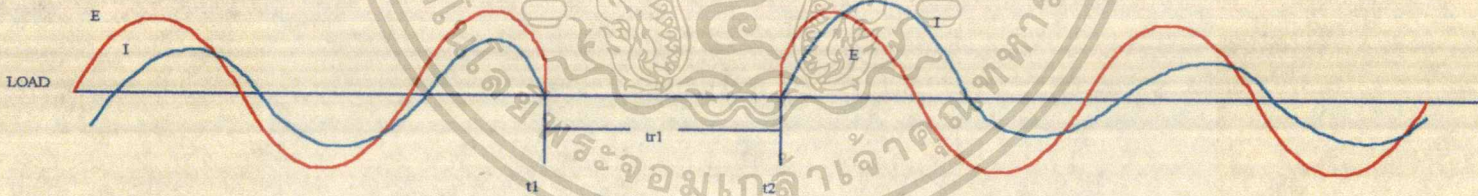
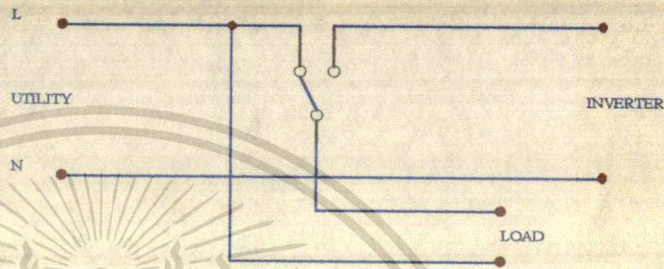
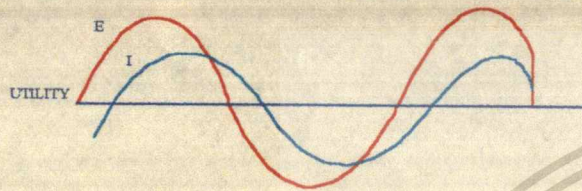
4. กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินพิกัด (OverCurrent) คือเมื่อขณะที่มีการเพิ่มภาระ ยูพีเอสจะทำการจ่ายกระแสให้กับภาระมากขึ้นจนอาจเกินพิกัดของยูพีเอส โดยแบ่งลักษณะของการเกิดกระแสไฟฟ้าเกินได้ 3 ประเภท คือ

4.1 กระแสลัดวงจร จะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรของเอาต์พุต ค่าของกระแสที่จัดเป็นกระแสลัดวงจรคือ มีค่ามากกว่า 200 % ของค่ากระแสที่พิกัด

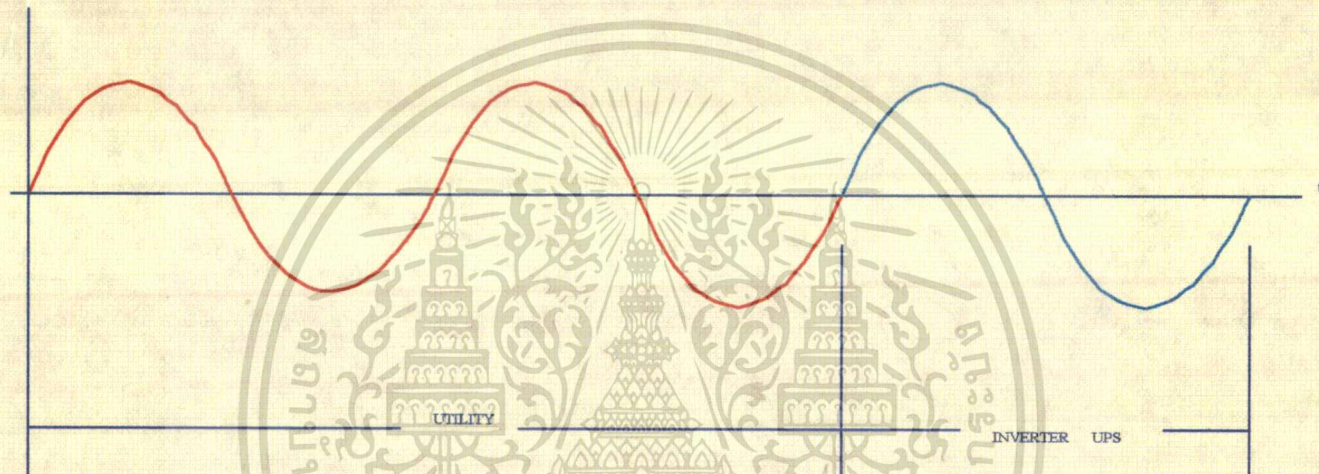
4.2 กระแสภาระเกิน เป็นค่าของกระแสที่มากกว่าพิกัดของยูพีเอส แต่อย่างน้อยกว่ากระแสลัดวงจร

ซึ่งกระแสทั้งสองตัวนี้ได้มีการป้องกันไว้อีกส่วนคือ ฟิวส์ ที่ต่ออนุกรมไว้ด้านเอาต์พุต

4.3 กระแสอินรัช (Inrush Current) เป็นลักษณะของกระแสที่มีค่าสูงในเวลาสั้นๆ และเกิดขึ้นไม่ถี่ถูกคลื่น มักจะเกิดขึ้นในขณะเปิด - ปิดภาระ ซึ่งจะมีค่าประมาณ 150 % ของกระแสพิกัด แม้จะเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ ก็อาจทำอันตรายให้กับยูพีเอสได้ แต่ได้มีการป้องกันไว้อีกลักษณะคือ ใช้วารริสเตอร์ต่อक्रमแหล่งจ่ายทางด้านอินพุต ซึ่งจะคอยจำกัดกระแสอินรัชนี้ อยู่แล้ว



Title		
Size A4	Number	Revision
Date: 24-Mar-1998	Sheet of	
File: C:\PFWSCHAP3.SCH	Drawn By:	



รูปที่ 4.3 แสดงแรงดันไฟฟ้าของระบบเกิดการขาดหายไปเนื่องจากความผิดพลาดของระบบ

Title		
Size A4	Number	Revision
Date: 26-Mar-1998	Sheet of	
File: A:\CUVE.SCH	Drawn By:	

4.2 ลำดับการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน

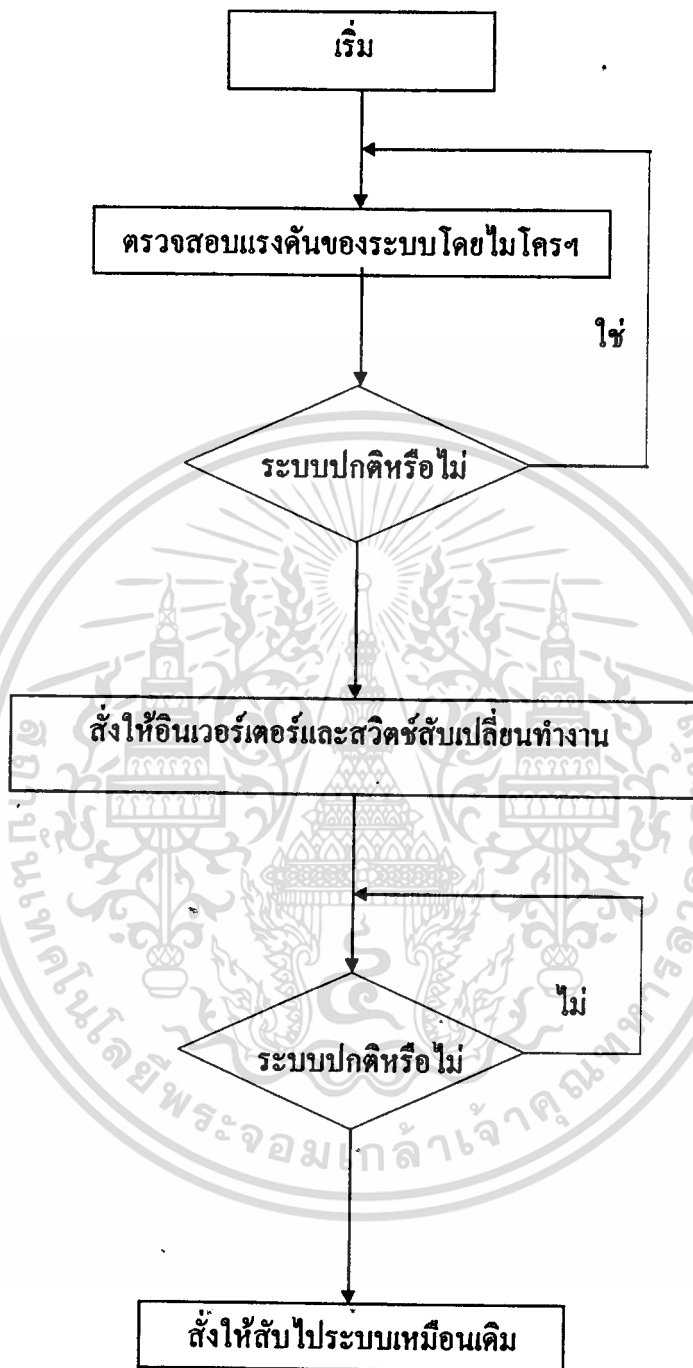
ที่กล่าวมาทั้งหมดอาจกล่าวได้ว่า สวิตช์สับเปลี่ยนมีหน้าที่หลักคือเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสสลับที่ดีที่สุดให้กับภาระ ทั้งนี้อาจจะเป็นจากระบบหรืออินเวอร์เตอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับภาระ ทั้งยังป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับอินเวอร์เตอร์ด้วย ซึ่งในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นนั้น ซึ่งในโครงการนี้จะมีการพิจารณาการออกแบบสวิตช์สับเปลี่ยน โดยจะแสดงให้เห็นเป็นลำดับในลักษณะโพลซาร์ท ดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าผิดปกติ เนื่องจากไฟฟ้าดับ (Brownout)
2. แรงดันไฟตกและแรงดันไฟเกินของระบบและภาระ (UnderVoltage and OverVoltage)
3. กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินพิกัด (OverCurrent)
4. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current)

จากทั้ง 4 กรณีจะขอกกล่าวขบวนการทำงาน ดังนี้

1. เมื่อแรงดันระบบเกิดผิดปกติขึ้น (Brownout)

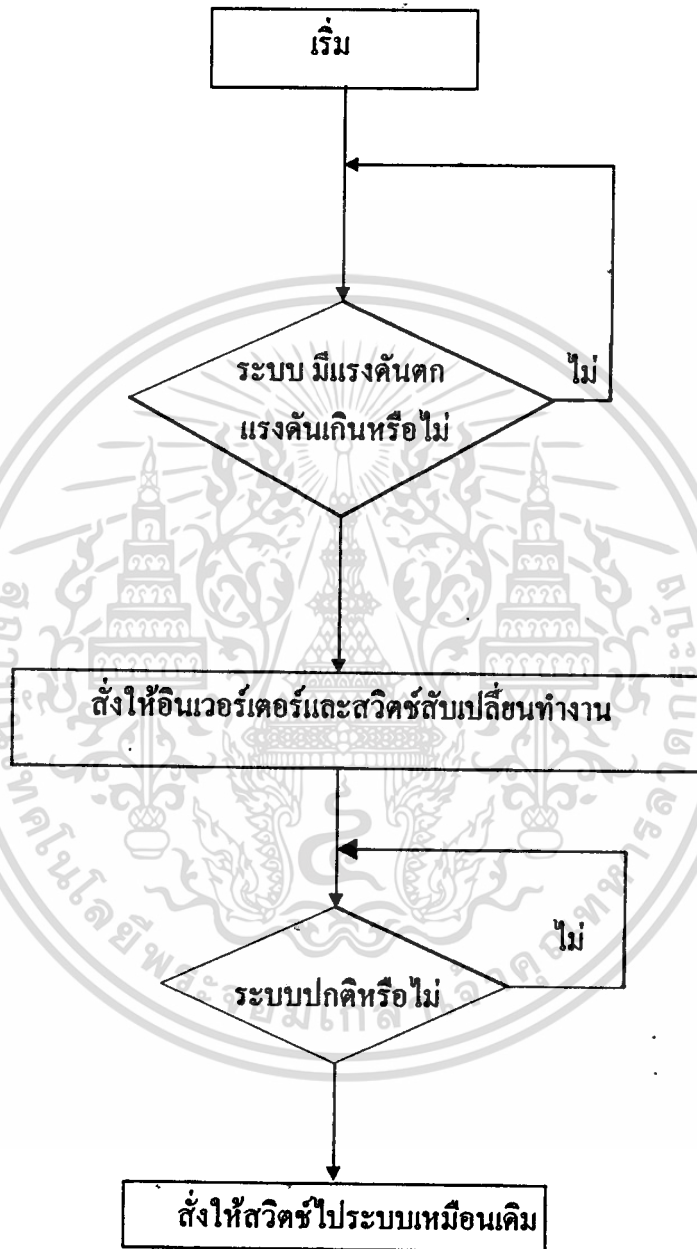
โดยแรงดันได้มีการขาดหายไปทันทีทันใด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบสถานะนี้ และเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าแรงดันอินพุทเป็นศูนย์ ไมโครฯจะเข้าสู่การทำงานในโหมดสถานะผิดปกติ โดยจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่มีความถี่ 50 Hz จำนวน 2 สัญญาณ ซึ่งมีความต่างเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า ไปขับให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่เดียวกันก็ส่งสัญญาณทริกไปที่สวิตช์สับเปลี่ยนเพื่อให้เปลี่ยนสถานะการทำงานมาทำในสถานะผิดปกติ ดังนั้นในขณะที่ภาระจะได้รับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์แทน ส่วนไมโครฯก็จะทำการวนรอบตรวจแรงดันของระบบตลอดเวลา ถ้าหากว่าระบบมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในสถานะปกติแล้ว ไมโครฯทำการตรวจสอบถ้าหากพบว่าอยู่ในสภาพปกติแล้ว ก็จะเข้าสู่การทำงานในโหมดสถานะปกติคือ ไม่ส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์และส่งสัญญาณอีกสถานะให้กับสวิตช์สับเปลี่ยนเพื่อให้ทำงานในโหมดสถานะปกติ แต่ถ้าหากว่าแรงดันของระบบยังผิดปกติอยู่ ไมโครฯก็จะยังทำงานในโหมดผิดปกติต่อไปจนกว่าถึงเวลาที่กำหนดไว้ไมโครฯ ก็จะหยุดทำงานโดยตัวมันเอง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงลำดับการทำงานของสวิตช์สับเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อระบบเกิดแรงดันไฟตก - เกิน (Over and Under Voltage)

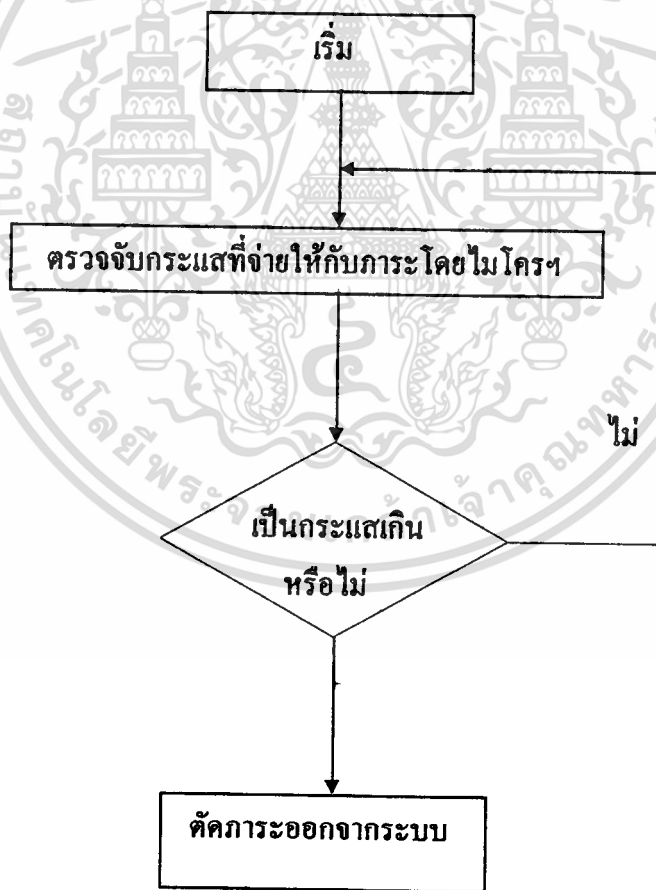


รูปที่ 4.5 แสดงลำดับการทำงานของสวิตช์ตัวเปลี่ยน เมื่อไฟฟ้าของระบบต่ำหรือเกินกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

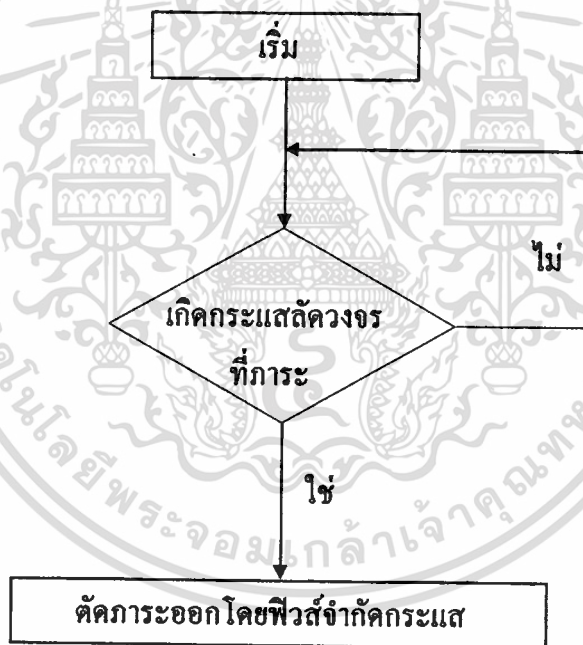
เมื่อระบบเกิดแรงดันไฟตก - เกิน ทางด้านภาระจะมีแรงดันต่ำหรือสูงกว่าปกติ ในวงจรตรวจสอบโดยใช้หม้อแปลงเป็นตัวตรวจสอบสถานะและนำสัญญาณเข้าสู่วงจรตรวจสอบ ดังนั้นเมื่อไม่ใคร่ตรวจสอบแล้วพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น แรงดันที่ภาระมีสภาพไม่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อภาระอย่างมากทั้งสองสภาวะ ดังนั้นไม่ใคร่จะเข้าสู่โหมดการทำงานในสภาวะผิดปกติเช่นเดียวกับในกรณีแรกทีกล่าวมาแล้ว และจะทำการตรวจสอบแรงดันเอาท์พุทตลอดเวลา ถ้าหากแรงดันของระบบเสถียรภาพ มีค่าอยู่ในระดับที่ไม่ใคร่ยอมรับได้ ก็จะกลับเข้าสู่โหมดการทำงานในสภาวะปกติเช่นเดิมต่อไป

3. กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินพิกัด (OverCurrent)



เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด แสดงว่าทางด้านภาระมีการใช้งานเกินพิกัด ซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างยิ่งหากให้เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นต่อเนื่องไป ดังนั้นจะมีการป้องกันโดยไมโครฯได้ รับสัญญาณตรวจสอบมาจากหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ที่ต่ออนุกรมอยู่กับภาระ ซึ่งหากเกิดกระแสภาระเกินพิกัดจริง ไมโครฯจะทำการตัดภาระออกจากระบบทันที โดยไม่มีการหน่วงเวลาเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นตามมา ซึ่งจะมีความไวในการตรวจสอบและตัดภาระที่เร็วมาก ดังนั้นภาระที่ใช้งานจึงต้องมั่นใจว่าไม่ควรมีค่าเกินพิกัด เมื่อภาระถูกตัดออกจากระบบแล้ว จำเป็นต้องตรวจสอบภาระให้มีค่าเหมาะสมก่อนที่จะทำการใช้งานครั้งใหม่ต่อไป

4. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current)



รูปที่ 4.7 แสดงลำดับการทำงานเมื่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ภาระ

4. เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร แสดงว่ามีการลัดวงจรทางด้านภาระ ซึ่งในสภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่ออยู่ที่แอมแปร์มากที่สุด ดังนั้นเพื่อความแน่นอนและปลอดภัยต่อระบบจึงใช้อุปกรณ์ป้องกันจากการลัดวงจรคือ ฟิวส์จำกัดกระแส โดยต่ออนุกรมกับภาระ ซึ่งถ้าหากมีการลัดวงจรด้านภาระ ฟิวส์ก็จะตัดภาระออกทันที เป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่ออยู่ที่แอมแปร์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล MCS-51 นี้มีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์แต่โครงสร้างพื้นฐานจะมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งในโครงการนี้จะใช้เบอร์ AT 89C51

5.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

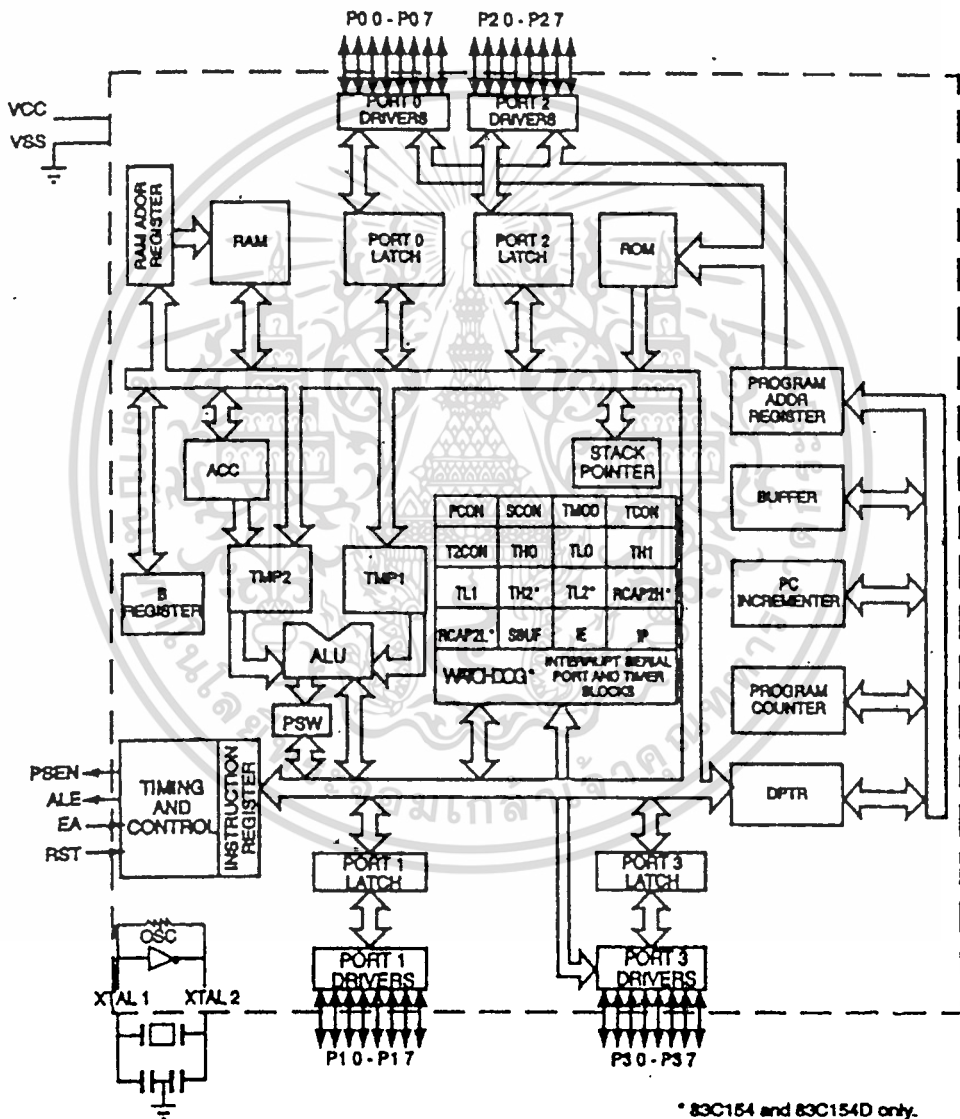
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟเพียง 5 VOLT เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ในชิพจำนวน 4 กิโลไบต์ สำหรับ เบอร์ 8051 และเบอร์ AT 89C51 โดยเฉพาะเบอร์ AT 89C51 นี้เป็นเบอร์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ของบริษัท INTEL ซึ่งมีข้อเด่นกว่าเบอร์อื่นๆ คือหน่วยความจำโปรแกรมสามารถที่จะลบหรือเขียนโปรแกรมลงไปใหม่ได้ถึง 1000 ครั้ง ข้อมูลหรือโปรแกรมสามารถที่อยู่ได้ ยาวนานถึง 10 ปี ส่วนเบอร์ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data memory) ขนาด 128 กิโลไบต์ สำหรับ 8031 , 8032 และ AT 89C51 ส่วนเบอร์ 8052 มีถึง 256 กิโลไบต์
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับ โปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิพได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 MHz และ 11.059 ไมโครวินาที สำหรับ 11.059 MHz
- มีพอร์ตสามารถรับและส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ตๆละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิตแยกจากกัน ทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต แยกจากกัน ทำให้เสมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิตไว้ใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์
- มีพอร์ตที่สามารถที่จะรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ต ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
- มี Timer/counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด สามารถทำงานได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับบิตและ

ระดับ ไบต์ เพื่อให้การออกแบบ โปรแกรมและควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS สำหรับ เบอร์ AT 89C51 ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบ CMOS ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวถึง 4 กิโลไบต์ โครงสร้างภายใน MCS-51 สามารถที่จะแสดงได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.1 แสดงบล็อกโคจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ

5.3.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิพ MCS-51 ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยจำส่วนนี้อยู่ เช่น AT 89C51 มีอยู่ถึง 4 กิโลไบต์ แต่บางเบอร์จะไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ เช่น 8031 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมยังสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิพ (Internal program memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิพ (External program memory) ซึ่งหน่วยความจำส่วนนี้ในบอร์ดที่ใช้ในโครงงานนี้มีถึง 8 กิโลไบต์

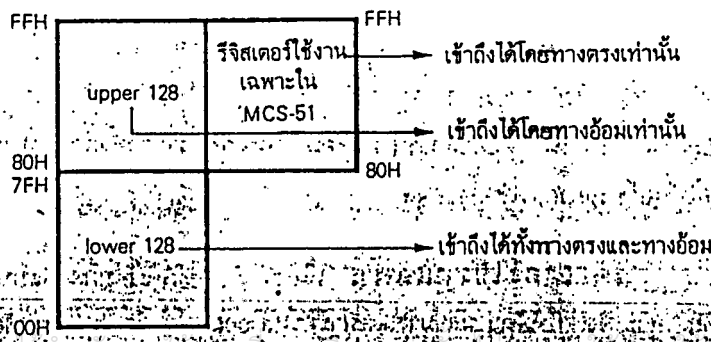
5.3.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data memory)

หน่วยความจำส่วนนี้ใช้สำหรับเก็บข้อมูล ในระหว่างการทำงานของ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิพนั้นๆ นอกจากนี้หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลยังสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพ ซึ่งในบอร์ดที่ใช้กับโครงงานนี้มีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ 128 ไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิพในโครงงานนี้มีถึง 8 กิโลไบต์เป็นหน่วยความจำ แบบ SDRAM มี Black up ภายในตัว สามารถเป็นได้ทั้ง Program memory และ Data memory นอกจากนี้หน่วยความจำภายในยังสามารถที่จะแบ่งย่อยเป็น 2 ส่วนได้อีก คือ

5.3.2.1 ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (Internal Ram)

5.3.2.2 ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (Special function register)

แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพทั้งสองบริเวณสามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูล ซึ่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 รูปที่ 5.2 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพ MCS-51

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิพอย่างน้อย 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิพ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิพ บริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า Lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า Upper 128 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3



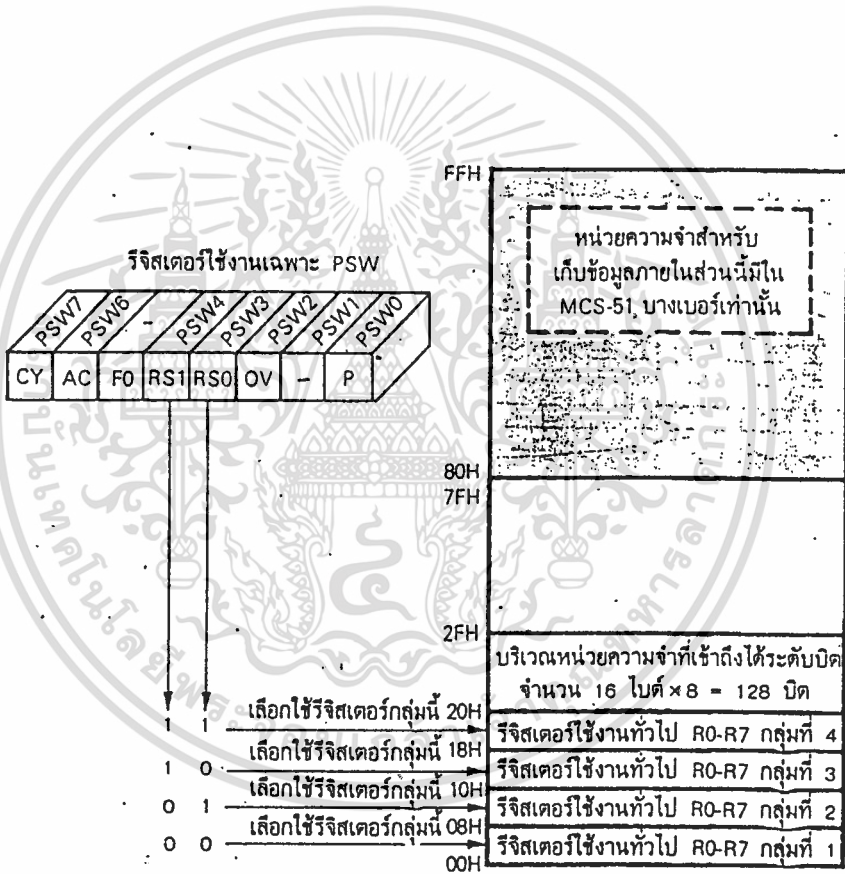
รูปที่ 5.3 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิพทั้งสองส่วน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในบริเวณชิพ 128 ไบต์หลัง (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไปเช่นกัน) โดยมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนนี้ไม่เหมือนกัน

5.3.3 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ไมโครคอนโทรลเลอร์ จำกัด ไม่ควรคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาต
 MCS-51 จะมีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำมาใช้งานได้คือ รีจิสเตอร์
 A,B (อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ แด่นับเป็น

รีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปเพราะ ไม่ถูกกำหนดหน้าที่ใช้งานโดยตรง) และรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลโดยทั่วไปภายในชิพบริเวณ 128 ไบต์แรก รีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 มีด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกันหมด ดังนั้นจำนวนรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปใน MCS-51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใด ๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม จะถูกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่ม ทำได้โดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0 - R7 แต่ละกลุ่ม

5.3.4 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต่อวงจรภายในชิพที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป

การควบคุมการทำงานของวงจรถ่ายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ได้กำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเป็นเฉพาะดังจะกล่าวรายละเอียดต่อไปในหัวข้อที่ 5.5

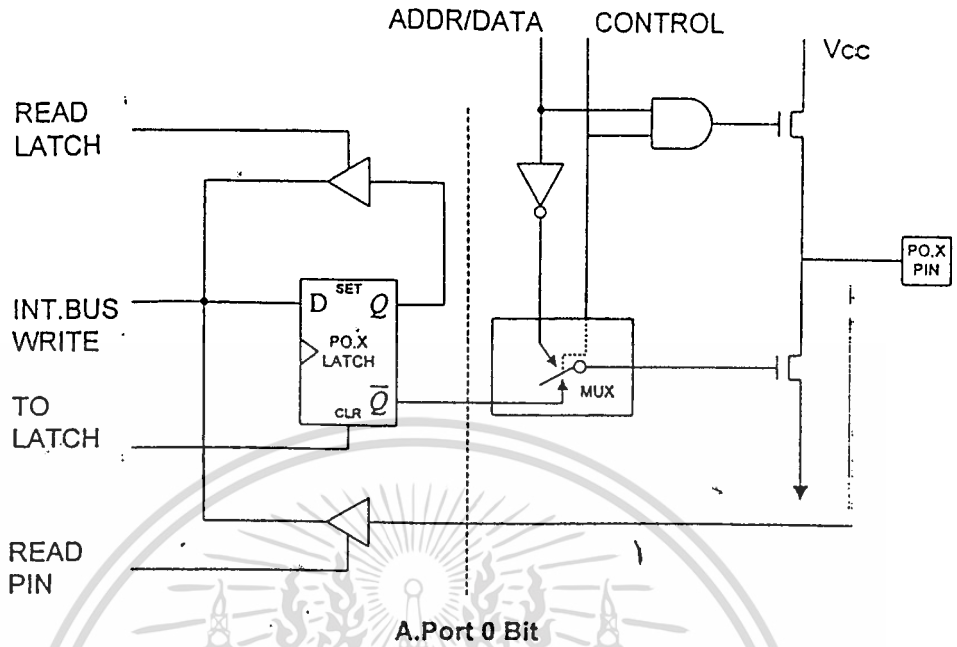
ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิพ จะเป็นหน่วยความจำส่วนที่อยู่ภายนอกชิพ MCS-51 ซึ่งผู้ใช้ต้องติดตั้งเพิ่มเอง ในโครงการนี้ใช้บอร์ดสำเร็จรูปของบริษัทคิตา ซึ่งมีหน่วยความจำที่สามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่ใช้ในการเก็บโปรแกรมและส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลคือ SDRAM มี Black up ภายในตัว

5.4 โครงสร้างของพอร์ต MCS-51

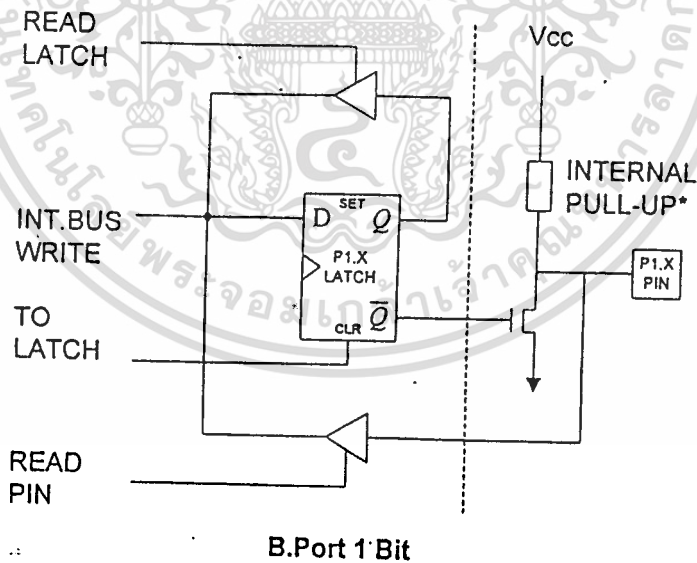
MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต (P0,P1,P2,P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตหรือเอาต์พุทพอร์ต (I/O) อย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ รายละเอียดของพอร์ตแต่ละพอร์ตมีดังนี้

- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0-P0.7) มีโครงสร้างเป็นแบบ Open Drain Bi-directional ใช้งานได้ 2 หน้าที่คือ ส่งแอดเดรส (Address) และค่า (Data) ออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกควบคุมด้วยขา Control รูปที่ 5.5 ประกอบและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือเป็นพอร์ตอินพุทพอร์ตหรือเอาต์พุทพอร์ต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก 1 ไปยังพอร์ตนี้ จะมีผลให้ Q ของ D-FF เป็น 0 ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ต PIN (พอร์ต P0.X PIN) จะใช้สัญญาณ READ LATCH เมื่อถูกกระตุ้นที่ Tri-state Buffer ตัวบน

- พอร์ต 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน (Internal pull up Register) มีโครงสร้างดังรูปที่ 5.6



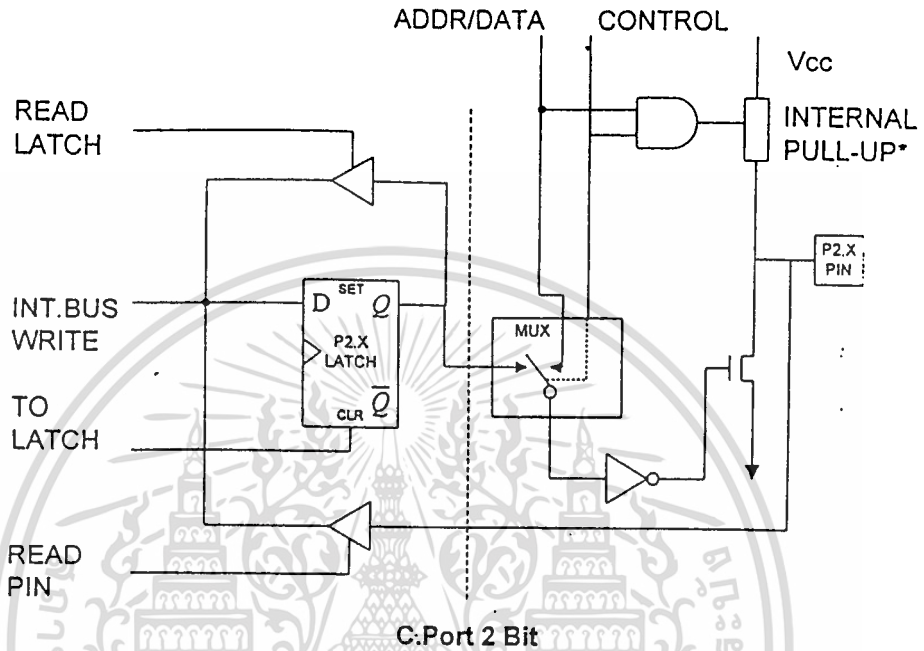
รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0



รูปที่ 5.6 โครงสร้างของพอร์ต 1

- พอร์ต 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (internal PullUP) พอร์ตนี้
 ไม่สามารถดึงเข้าทางอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปงเนื้อหาและต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ทำงาน 2 หน้าทีคือ สามารถเป็นพอร์ตสำหรับส่งแอดแครบ 8 บิตบน (A8-A15) และเป็นอินพุท

พอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ตใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสถานะ OFF ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 โครงสร้างของ พอร์ต 2

- พอร์ต 3 (ขา10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1 พอร์ตนี้ทำหน้าที่คือเป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ต ถ้าจะให้พอร์ตนี้เป็นอินพุตพอร์ตก็ให้ส่งลอจิกเป็น “1” มาที่พอร์ตนี้ก่อนและอีกหน้าที่หนึ่งก็คือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่างๆมีดังนี้ และสามารถแสดงโครงสร้างของพอร์ต 3 ได้ดังรูปที่ 5.8

P3.0/RXD (Serial input port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/RXD (Serial output port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.2/INT0 (External interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3/INT1 (External interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

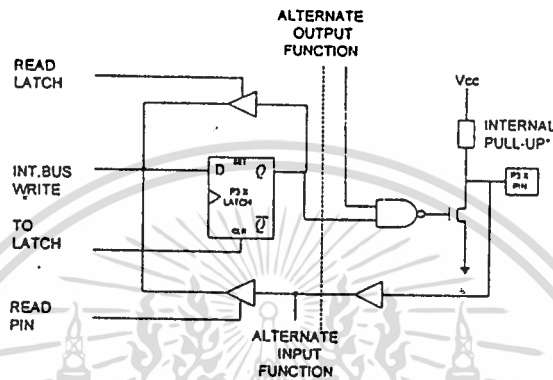
P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T0 หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้

P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External input) ขารับสัญญาณเข้าไปยัง Timer/Counter 1 ซึ่งมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการดำเนินงานเหมือนกันกับ T0

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.6/ $\overline{\text{WR}}$ (External Data Memory Write Strope) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก 8051

P3.7/ $\overline{\text{RD}}$ (External Data Memory Read Strope) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก



รูปที่ 5.8 โครงสร้างของพอร์ต 3

- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสไตรบสำหรับการแลคซ์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ต 0) สัญญาณนี้จะแอกคิฟทุกๆ 2 ครั้งใน 1 แมกซ์อินไซเคิล (1/16 ของสัญญาณนาฬิกา)
- $\overline{\text{PSEN}}$ (ขา 29) เป็นขาที่ใช้ส่งสไตรบสำหรับอ่านข้อมูลจาก Program memory ภายนอก (หน่วยความจำประเภท ROM EPROM) สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์อินไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้
- $\overline{\text{EA}}$ (ขา 30) ถ้าป้อนลอจิก “ 0 ” เข้าที่ขานี้ซีพียูจะอ่านค่าจาก Program Memory ภายนอกเท่านั้น แต่ถ้าป้อนด้วยลอจิก “ 1 ” ก็จะอ่านโปรแกรมภายในซีพียู
- RST (ขา 9) เป็นขารีเซ็ตที่ซีพียูจะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก “ 1 ” เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมกซ์อินไซเคิล
- XTALK1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าตู้วงจรรอสซิงเลเตอร์
- XTALK 2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาท์พุทของวงจรรอสซิงเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 รีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะ (Special Function Register)

Special Function Register (SFR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานในหน้าที่ต่างกัน ซึ่งบรรจุไว้ในหน่วยความจำภายใน (Internal Ram) ตำแหน่ง (80h-FFh) การติดต่อกับรีจิสเตอร์ใน (SFR) นี้ต้องใช้คำสั่งเข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงเท่านั้น (Direct Addressing Mode) ทั้งแบบบิตและ ไบต์ก็ได้ เช่นถ้าต้องการ โหลด ค่า 21 เข้ารีจิสเตอร์ A จะเขียนคำสั่งได้ดังนี้ MOV A,#21h แบบนี้เป็นการเขียนข้อมูลเข้ารีจิสเตอร์ทีละไบต์ ถ้าจะเขียนข้อมูลเข้าทีละบิต จะต้องใช้คำสั่งเกี่ยวกับการเซ็ทบิต เช่น

SETB 0E0h เซ็ทบิต D0 ของรีจิสเตอร์ A

CLR 0F0h เซ็ทบิต D1 ของรีจิสเตอร์ A

รายละเอียดเกี่ยวกับตำแหน่งบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ใดๆ ดังแสดงได้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การจัดวางตำแหน่งบิตของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

Direct Byte Address	Bit Address								Special Function Register Symbol
	(MSB)							(LSB)	
0F8H	WDT	T32	\$ERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF	IOCON
	FF	FE	FD	FC	FB	FA	F9	F8	
0F0H									B
	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	
0E0H									ACC
	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	
	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P	
0D0H									PSW
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0CDH	Not Bit Addressable								TH2
0CCH	Not Bit Addressable								TL2
0C8H	Not Bit Addressable								RCAP2H
0CAH	Not Bit Addressable								RCAP2L
	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	OP/RL2	
0C8H	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8	T2CON
	PCT		PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0	
0B8H	BF	-	BD	BC	B8	BA	B9	B8	IP

0B0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	P3
	EA		ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	
0A8H	AF	-	AD	AC	AB	AA	A9	A8	IE
0A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	P2
99H	Not Bit Addressable								SBUF
	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	T1	RI	
98H	9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98	SCON
90H	97	96	95	94	93	92	91	90	PI
8DH	Not Bit Addressable								TH1
8CH	Not Bit Addressable								TH0
8BH	Not Bit Addressable								TL1
8AH	Not Bit Addressable								TL0
89H	Not Bit Addressable								TMOD
	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	
88H	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88	TCON
87H	Not Bit Addressable								PCON
83H	Not Bit Addressable								DPH
82H	Not Bit Addressable								DPL
81H	Not Bit Addressable								SP
80H	87	86	85	84	83	82	81	80	PO

5.5.1 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

- Accumulator (ACC) อยู่ที่ตำแหน่ง 0E0h

เป็นรีจิสเตอร์ 8 บิตที่ใช้ประมวลผลทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร หรือเป็นแนว
ทางผ่านในการเคลื่อนย้ายข้อมูล

- B Register (B) อยู่ที่ตำแหน่ง 0F0h

เป็นรีจิสเตอร์ 8 บิตที่ใช้ในคำสั่งคูณและหารร่วมกับรีจิสเตอร์ A เช่น MUL AB, DIV AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Program Status Word อยู่ที่ตำแหน่ง 0D0h

เป็นรีจิสเตอร์ 8 บิตแต่ใช้งานเพียง 7 บิต โดยที่ 5 บิต เป็นแฟลกซ์และอีก 2 บิตเป็นบิตเลือก
รีจิสเตอร์แบ่งคเลือกได้ 4 แบบคคือ แบบค 0-3 นั้นเอง

- Stack Pointer (SP) อยู่ที่ตำแหน่ง 081h

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่ใช้คตำแหน่งของสแตกทุกคครั้งที่ถูกรีเซทก็จะมีคเท่ากับ 07h ทันท
และจะเพิ่มขึ้น 1 เสมอ เมื่อทำคคำสั่ง CALL , PUSH และจะลดลงเมื่อทำคคำสั่ง RET, RETI, POP ฯลฯ

- Data pointer Register อยู่ที่ตำแหน่ง 82h และ 83h

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตแบ่งเป็น 8 บิตล่างและ 8 บิตบน มีชื่อวว่า DPL และ DPH อยู่ที่
คตำแหน่ง 82h และ 83h ตามลาคับ มีประโยชน์ในการชี้แอดเดรสของหน่วยความจำเช่น MOVX
A, @DPTR , JMP @A+DPTR เป็นต้น

- Port (0-3) อยู่ที่คตำแหน่ง 80h, 90h, 0A0, 0B0h ตามลาคับ รายละเอียดคังได้อธิบายมาแล้ว ใน
หัวข้อที่ 5.4

- Serial Data Buffer (SBUF) อยู่ที่คตำแหน่ง 99h

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่ใช้เก็บข้อมูลไว้ก่อน แล้วทำการส่งข้อมูลอนุกรมออกไปหรือเป็น
บัฟเฟอร์เก็บข้อมูลในช่วงที่รับข้อมูลเข้ามา SBUF มีอยู่ 2 ตัวคือ ตัวรับและ ตัวส่งแยกจากกัน การรับ
ส่งข้อมูลอนุกรมมี 4 โหมดด้วยกัน แต่ที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้โหมด 1 คังจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อ
ที่ 5.6.4

- Interrupt Priority Register (IP) อยู่ที่คตำแหน่ง 0B8h

เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมลาคับความสำคัญของการอินเตอรรัพท์ ซึ่งมียาละเอียดคังนี้

PCT	X	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0
-----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

คำอธิบายความหมายในคแต่ละบิตใน IP

- PT2 : 0 Timer 2 มีลาคับความสำคัญต่ำสุด
1 Timer 2 มีลาคับความสำคัญสูงสุด
- PS : 0 พอร์คสื่อสารอนุกรมมีลาคับความสำคัญต่ำสุด
1 พอร์คสื่อสารอนุกรมมีลาคับความสำคัญสูงสุด
- PT1 : 0 Timer 1 มีลาคับความสำคัญต่ำสุด
1 Timer 1 มีลาคับความสำคัญสูงสุด
- PT0 : 0 Timer0 มีลาคับความสำคัญต่ำสุด

- 1 Timer 0 มีลำดับความสำคัญสูงสุด
 PX0 : 0 อินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 0 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด
 1 อินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 0 มีลำดับความสำคัญสูงสุด

- Interrupt Enable Register (IE) อยู่ที่ตำแหน่ง 0A8h

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดให้ทำหรือไม่ทำอินเทอร์รัพต์ (Enable หรือ Disable) โดยที่อินเทอร์รัพต์ จาก 6 แหล่ง 5 เวลเตอร์ เช่น ถ้าต้องการให้ พอร์ตอนุกรมทำอินเทอร์รัพต์ได้ก็ต้องเซ็ต บิต ES (บิต D4 ใน IE) ด้วยคำสั่งนี้ SETB ES หรือจะห้ามไม่ให้พอร์ตอนุกรมทำอินเทอร์รัพต์ ก็ต้องใช้คำสั่ง CLR ES รายละเอียดมีดังนี้

EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

ความหมายของสัญลักษณ์

E = Enable หรือ External

T = Timer

0,1,2 = Channel 0, Channel 1, Channel 2

คำอธิบายความหมายในแต่ละบิตใน IE

EA : 0 จะเป็นห้ามอินเทอร์รัพต์ จากแหล่งทุกแหล่ง

1 ขอมมิให้การอินเทอร์รัพต์ ทั้งหมดได้

ET2 : 0 ห้ามอินเทอร์รัพต์จาก Timer 2

1 ขอมมิให้อินเทอร์รัพต์จาก Timer 2

ES : 0 ห้ามอินเทอร์รัพต์จากพอร์ตอนุกรม

1 ขอมมิให้อินเทอร์รัพต์จากพอร์ตอนุกรม

ET1 : 0 ห้ามอินเทอร์รัพต์จาก Timer 1

1 ขอมมิให้ทำอินเทอร์รัพต์จาก Timer 1

EX1 : 0 ห้ามอินเทอร์รัพต์จาก สัญญาณภายนอกชนิดที่ 1

: 1 ขอมมิให้ทำอินเทอร์รัพต์จากสัญญาณภายนอกชนิดที่ 1

ET0 : 0 ห้ามอินเทอร์รัพต์จาก Timer 0

1 ขอมมิให้ทำอินเทอร์รัพต์จาก Timer 0

EX0 : 0 ห้ามอินเทอร์รัพต์จากสัญญาณภายนอกชนิด 0

1 ขอมมิให้ทำอินเทอร์รัพต์จากสัญญาณภายนอกชนิดที่ 0

- Timer/Counter Mode Control Register (TMOD) อยู่ที่ตำแหน่ง 89h

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เลือกโหมดการทำงานซึ่งเลือกได้ทั้งหมด 4 โหมด โดยเลือกที่บิต M0 และ M1 ส่วนบิต Gate เป็นบิตที่ใช้เลือกการสตาร์ท Timer/Counter โดยควบคุมร่วมกับ TRx ใน TCON ส่วนบิต C/T ใช้เลือก Timer หรือ Counter รายละเอียดมีดังนี้

GATE	C/T	M1	M2	GATE	C/T	M1	M2
------	-----	----	----	------	-----	----	----

M1 : เลือกโหมดในการทำงาน

M2 : เลือกโหมดในการทำงาน

GATE : เมื่อบิต TRx (ใน TCON) และ บิต GATE_x (ใน TMOD)

ถูกเซ็ท Timer 0 หรือ Counter จะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อ

1.) เมื่อขา INT0 หรือ INT1 (ขา 12 และ 13) ถูกป้อนด้วย High

2.) เมื่อใช้คำสั่งเซ็ทบิต GATE ใน TCON แล้ว

- ถ้าเซ็ท TR_x จะทำให้ Timer หรือ Counter เริ่มทำงาน

- ถ้ารีเซ็ท TR_x จะทำให้ Timer หรือ Counter ไม่ทำงาน

C/T : บิตเลือกการทำงานของ Timer หรือ Counter โดยเลือกได้ดังนี้

- ถ้า C/T = 0 เป็นการเลือกโหมด Timer

- ถ้า C/T = 1 เป็นการเลือกโหมด Counter

- หมายถึง : x = 0 หรือ 1

- Timer / Counter Control Register (TCON) อยู่ที่ตำแหน่ง 88h

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมให้ Timer / Counter เริ่มนับโดยเซ็ทที่บิต TR_x (TR0 หรือ TR1 นั่นเอง) อีกหน้าที่หนึ่งใช้แสดงผลการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของ Timer / Counter โดยจะแสดงที่บิต TF_x (TF0 หรือ TF1 นั่นเอง) อีกหน้าที่หนึ่งก็คือ แสดงสถานะเมื่อเกิดอินเตอร์รัพต์จากภายนอก โดยแสดงที่บิต IE0 หรือ IE1 หน้าที่สุดท้ายคือ บิตเลือกสัญญาณอินเตอร์รัพต์ว่าจะเอาแบบ Trig ที่ขอบขาสูง หรือ Trig ที่ระดับศูนย์รายละเอียดมีดังนี้

TF1	TR1	TF0	TR0	IE0	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TF1 : บิตแสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของ Timer1 จะเซ็ทเมื่อ Timer 1 เกิดโอเวอร์โฟลว์ และจะถูกเคลียร์เองเมื่อซีพียูย้ายการทำงานไปที่โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพต์

TR1 : บิตควบคุมการนับของ Timer1 ควบคุมจากโปรแกรม

- ถ้าเป็น 1 Timer1 เริ่มทำงานต่อ
- ถ้าเป็น 0 Timer1 หยุดการทำงาน

(ในกรณีนี้ ต้อง เซ็ทบิต GATE ใน TMOD ก่อน)

TFO : บิตแสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของ Timer0 จะถูกเซ็ทเมื่อ Timer0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ เช่นเดียวกับ TF1

TR0 : เช่นเดียวกับ TR1 แต่ใช้ควบคุม Timer0

IE1 : บิตแสดงสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกหมายเลข 1 เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัพต์เข้ามาที่ขา INT1 และจะถูกเคลียร์เองโดยคำสั่ง RETI ที่อยู่ในส่วนโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพต์นั้นๆ

IT1 : บิตเลือกประเภทการตรวจสอบสัญญาณอินเตอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นที่ขา INT1

- ถ้าเป็น 1 จะตรวจสอบการเปลี่ยนสัญญาณจาก 1 เป็น 0 ที่ขา INT1
- ถ้าเป็น 0 จะตรวจสอบระดับศูนย์ของสัญญาณ ที่ขา INT1

ข้อควรสังเกต :

T	หมายถึง	Timer / Counter หรือ Type
R	หมายถึง	RUN
F	หมายถึง	Flag
E	หมายถึง	External
1,0	หมายถึง	Channel 1 หรือ Channel 0 บางทีจะใช้คำว่า x เช่น TRx

- Power Control Register (PCON) อยู่ที่ตำแหน่ง 87h

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการประหยัดพลังงานมีการทำงาน 2 โหมด คือ Ideal mode และ Power down mode และยังใช้เพิ่ม Baud Rate เป็น 1 เท่า หรือ 2 เท่า โดยเซ็ทที่บิต SMOD

SMODE	HPD	RPD	-	GF1	GF0	PD	IDL
-------	-----	-----	---	-----	-----	----	-----

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMOD = 0 ความเร็ว Baud Rate เมื่อส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1,2,3 จะเป็น 1 เท่า

SMOD = 1 ความเร็ว Baud Rate เมื่อส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1,2,3 จะเป็น 2 เท่า (Double Baud Rate)

GF1 และ GF0 เป็นแฟล็กซ์ที่ใช้งานทั่วไป

PD (Power Down Mode) เมื่อถูกเจ็ทเป็น “ 1 ” จะเข้าสู่โหมดนี้ทันที

IDL (Idle Mode) เมื่อถูกเจ็ทเป็น “ 1 ” จะเข้าสู่โหมดนี้ทันที

- Serial Port Control Register (SCON) อยู่ที่ตำแหน่ง 98h

ใช้เลือกโหมดการทำงาน (เลือกได้ 4 โหมด) เลือกที่ SM1,SM0 ส่วน SM2 ใช้เลือกการทำงานแบบ Processor เดี่ยวหรือ หลาย Processor บิต REN ใช้ควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูลเข้ามา บิต TB8 คือข้อมูลบิตที่ 9 ที่ส่งออกไป และ RB8 ก็คือข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาได้ สุดท้ายคือ TI และ RI ก็คือ Transmit interrupt Flag และ Receive Interrupt Flag ตามลำดับ TI จะถูกเจ็ทเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลออกไป 1 ไบต์ และ RI จะเจ็ทเมื่อสิ้นสุดการรับข้อมูลเข้ามา 1 ไบต์

5.6 การใช้งานพอร์ตอนุกรม

5.6.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับหรือส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตคราวละหนึ่งบิตเรียงลำดับเรื่อยไปจนสิ้นสุด การสื่อสารแบบนี้จะมีข้อแตกต่างจากการสื่อสารแบบขนานเป็นอย่างมากเนื่องจากข้อมูลมีการโอนย้ายมาพร้อมกันจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้ จำนวนเส้นสัญญาณจะมากขึ้นตามจำนวนบิตของข้อมูลด้วย ในขณะที่การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นต้องการเส้นสัญญาณเพียงสองหรือสามเส้นเท่านั้น ดังนั้นการสื่อสารแบบขนานจึงไม่เหมาะสมในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นระยะทางไกลๆ เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

5.6.2 ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

เนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการรับและส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตข้อมูล (Bit Stream) ดังนั้นจึงต้องให้ความสนใจในการพิจารณาถึงเรื่องอัตราความเร็วในการรับและส่งบิตเหล่านี้ เป็นลำดับแรก โดยทั่วไปมักจะระบุกันในหน่วยของจำนวนบิตของข้อมูลภายในหนึ่งหน่วยวินาที เรียกว่า อัตราบอด ตามค่ามาตรฐานเหล่านี้ ได้แก่ 4800,9600,19200 บอด ข้อมูลทั้ง 8 บิตนี้ หากว่าถูกส่งออกมาด้วยอัตรา 9600 บอดจะใช้เวลาในการส่งข้อมูลหนึ่งบิตมีค่าเท่ากับ $1/9600$ หรือ 104 ไมโครวินาที (us) และเวลาในการส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตจะมีค่าเท่ากับ (8×104) หรือ 832 ไมโครวินาที

5.6.3 รูปแบบของการส่งข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารอนุกรมแบบ อะซิงโครนัส จะใช้การแปลงข้อมูลแบบ ขนานให้เป็นอนุกรมแล้วเพิ่มเติมบิตบางอย่างรวมไปกับการส่งข้อมูลจริงซึ่งได้แก่

1) บิตเริ่มต้น (Start Bit)

บิตเริ่มต้นมีหน้าที่สำหรับการบ่งบอกให้ทราบถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นก่อนบิตข้อมูล ตามปกติแล้วค่าของบิตเริ่มต้นจะเป็นระดับของลอจิกต่ำ

2) บิตแสดงภาวะความเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)

บิตนี้มีหน้าที่เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยทั่วไปมักเรียกว่า บิตพาริตี และจะนำไปต่อท้ายบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของบิตที่เป็น 1 ซึ่งจะเป็นได้สองลักษณะคือ พาริตีคู่ (Even Parity) หรือ พาริตีคี่ (Odd Parity) ตัวอย่างเช่นระบบที่ติดต่อกันโดยระบุว่าจะใช้พาริตีคี่ ทางด้านส่งจะนำข้อมูลที่ส่งมาพิจารณาหา จำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 เป็นเลขจำนวนคู่อยู่แล้ว ค่าของบิตพาริตีจะมีค่าเป็น 0 แต่หากว่าจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 เป็นเลขจำนวนคี่ ค่าของบิตพาริตีก็จะมีค่าเป็น 1 การพิจารณาทางด้านรับเป็นการตรวจสอบจำนวนบิตที่มีค่าเป็น 1 ของข้อมูลที่ได้รับมาทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี ถ้ามีค่าเป็นเลขจำนวนคู่แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้ามานี้ถูกต้อง แต่หากไม่เป็นเลขจำนวนคู่แสดงว่าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น เป็นต้น

3) บิตสุดท้าย (Stop Bit)

บิตสุดท้ายเป็นบิตที่เพิ่มขึ้นเพื่อระบุถึงขอบเขตการสิ้นสุดของกลุ่มบิตข้อมูลบิตสุดท้ายนี้สามารถโปรแกรมบิตได้คือ 1 บิต, 1 1/2 บิต หรือ 2 บิต ดังนั้นกรณีของการส่งข้อมูล 8 บิต หากข้อมูลถูกส่งออกไปด้วยอัตราเร็ว 2400 บอร์ด เวลาโดยรวมในการส่งข้อมูลหนึ่งไบต์จะมีค่าเวลาเป็น (12×10^4) us หรือ 1.248 ms

5.6.4 การส่งข้อมูลอนุกรมของ MCS-51

พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 มีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ (Full - Duplex) จะเป็นการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน โดยทางด้านวงจรของตัวส่ง (Transmitter) ประกอบด้วยข้อมูลออกไปยังพอร์ตอนุกรมทางขาสัญญาณ TXD (พอร์ต P3.1) ส่วนวงจรทางด้านตัวรับ (Receiver) ประกอบด้วย SBUF เช่นเดียวกัน สัญญาณข้อมูลอนุกรมที่รับเข้ามาทางขาสัญญาณ RXD (พอร์ต 3.0)

พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานโปรแกรมได้หลายโหมดด้วยกันโดยเลือกที่บิต SM0 และ SM1 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ควบคุม SCON การทำงาน ทั้ง 4 โหมดของพอร์ตอนุกรมมีดังนี้

โหมด 0 : ใช้รับส่งข้อมูล 8 บิต โดยการส่งจะเลื่อนออกทีละบิต โดยส่งบิต D0 ออกไปก่อนทางขา RXD และไม่มีการส่ง Start Bit แต่จะส่ง Shift clock ทางขา TXD ความเร็ว 1.5 เท่าของ CPU CLOCK

โหมด 1 : ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) โดยส่งแบบ 10 บิต ข้อมูล 8 บิต 1 Start Bit และ 1 Stop Bit และสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยขึ้นอยู่กับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โพล์ของ Timer1

โหมด 2 : ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และกำหนดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 1/32 และ 1/64 ของ CPU CLOCK โดยโปรแกรมที่บิต SMOD ใน PCON

โหมด 3 : ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยควบคุมที่บิต SMOD และอัตราโอเวอร์โพล์ของ Timer1 นอกจากนี้โหมด 2 และ 3 ยังมีการดำเนินการอีกแบบหนึ่ง โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารข้อมูล แบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัวทำงานร่วมกันได้ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Multi Processor Mode

Multiprocessor Mode : ในโหมดนี้เราจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 1 ตัว สำหรับเป็น Master และอีก 0 - 256 ตัวเป็น Slave รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม ดังรายละเอียดดังรูปที่ 5.9

SMO	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

รูปที่ 5.9 แสดงรายละเอียดใน SCON

SM0 , SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน

SM1	SM2	โหมด	การทำงาน
0	0	0	ทำงานเป็น Shift register อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลเท่ากับ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์
0	1	1	8 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดเองได้
1	0	2	9 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล = 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON ดู ตารางที่ 5.2
1	1	3	9 bit UART อัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล กำหนดเองได้

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM2 บิตเลือกการทำงานแบบ

1 : เลือก Multiprocessor Mode ใช้ได้กับโหมด 2,3

0 : เลือก Single Processors Mode ใช้ได้กับทุกโหมด

(เมื่อเลือกการทำงานรับข้อมูลแบบ Multi Processors Mode แล้วเมื่อข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 1 RI จะเซ็ททันที)

REN บิตที่ควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูลได้

0 : ห้ามรับข้อมูล

TB 8 (Transmit bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งออกไปในโหมด 2,3 ให้ใส่ในบิต TB8

RB 8 (Receive bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะมากับในบิตนี้ ข้อมูลบิตที่ 9 ก็คือค่าใน TB8 ทางด้านส่งนั่นเอง (ข้อมูลบิตที่ 9 คือค่าใน TB8 และ RB8 นั่นเอง)

TI บิต TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล 1 ไบต์

RI บิต RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูลเสร็จ 1 ไบต์ (บิต RI, TI ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเคลียร์เอง)

5.6.5 การอินเทอร์รัพต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

เนื่องจากการส่งหรือการรับข้อมูลแบบอนุกรมจะส่งทีละไบต์ MCS-51 จึงได้กำหนดให้บิตหรือแฟล็กสถานะที่จัดรวมอยู่ในรีจิสเตอร์ SCON เช่น แฟล็ก TI ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เมื่อข้อมูลได้ทำการส่งออกไปภายนอกเสร็จสิ้นแล้ว และแฟล็ก RI จะมีค่าเป็น 1 เพื่อให้รู้ว่าได้รับข้อมูลผ่านเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม เสร็จแล้วเมื่อแฟล็ก RI, TI นี้มีค่าเป็น 1 จะมีผลทำให้เกิดการอินเทอร์รัพต์ขึ้น ดังนั้นภายในโปรแกรมรับหรือส่งข้อมูลจะต้องทำการตรวจสอบจากสถานะของแฟล็กเหล่านี้เองว่าเป็นการรับข้อมูลหรือส่งข้อมูล

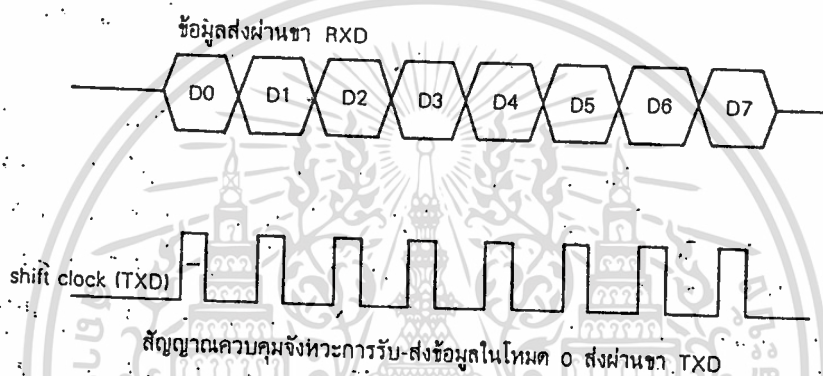
5.6.7 กระบวนการรับและส่งข้อมูลอนุกรมของ MCS-51

การส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมของ MCS-51 จะเริ่มต้นขึ้นภายหลังเมื่อมีการเขียนข้อมูลลงใน SBUF ข้อมูลนี้ จะถูกเลื่อนทีละบิต และส่งสัญญาณออกไปภายนอกโดยอัตโนมัติเมื่อ ข้อมูลเหล่านี้ได้ส่งออกไปครบถ้วนแล้วจะทำให้ค่าของแฟล็ก TI ให้เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะนี้ SBUF ว่าง และพร้อมที่จะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปแล้ว ในกรณีที่ผู้ใช้เขียนข้อมูลใหม่ลงในรีจิสเตอร์ SBUF โดยไม่รอให้แฟล็ก TI มีค่าเป็น 1 ก่อนจะมีผลทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปมีค่าผิดพลาดได้

สำหรับการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมจะต้องเริ่มต้นโดยกำหนดเซ็ทค่าดังนี้ REN (Receiver Enable) ให้มีค่าเป็น 1 ก่อน หลังจากนั้นเมื่อมีข้อมูลภายนอกถูกส่งเข้ามายัง MCS-51 ทีละบิตจนครบ และเมื่อบิตสุดท้ายถูกเลื่อนเข้ามาเรียบร้อยแล้วข้อมูลนั้นจะถูกย้ายมากับไวยังรีจิสเตอร์ SBUF และแฟล็ก RI ก็จะมีค่าเป็น 1 (ถูกเซ็ท) หลังจากนั้นก็จะเกิดการอินเทอร์รัพต์ขึ้น

5.6.8 พอร์ตสื่อสารอนุกรมโหมด 0

การทำงานของพอร์ตอนุกรม (โหมด 0) เป็นการรับและส่งข้อมูลอนุกรมจำนวน 8 บิตโดยใช้เพียงขาสัญญาณ RXD เท่านั้น (ขาที่ใช้งาน 2 หน้าที่ใช้ส่งและรับข้อมูล) ส่วนขาสัญญาณ TXD จะนำไปใช้เพื่อเป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการให้จังหวะการเลื่อนข้อมูลกับวงจรเลื่อนบิตภายนอก สำหรับอัตราเร็วจะถูกกำหนดคงที่ไว้ที่ค่า $1/12$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ การทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลในโหมด 0 จะไม่มีบิตเริ่มต้นของข้อมูล (Start bit) และบิตสิ้นสุดของข้อมูล (Stop bit) เพราะจังหวะการรับและส่งข้อมูลจะถูกกำหนดจากสัญญาณ Shift clock แล้ว



รูปที่ 5.10 แสดงข้อมูลที่รับและส่งในการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรมในโหมด 0

5.6.9 พอร์ตสื่อสารอนุกรม โหมด 1

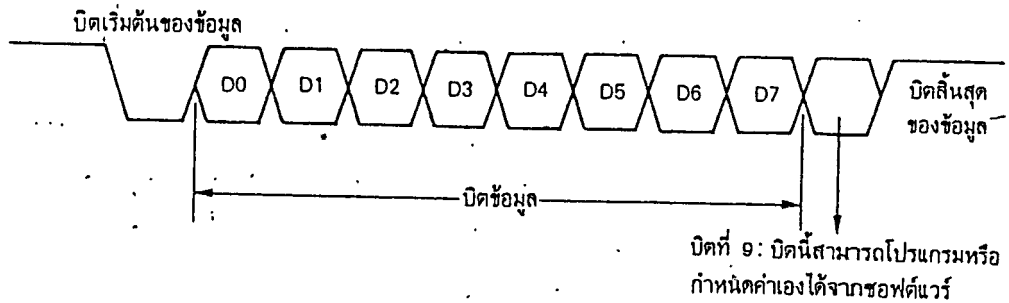
การทำงานในโหมด 1 เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมจำนวน 10 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 บิต บิตข้อมูลจำนวน 8 บิต และบิตสุดท้ายอีก 1 บิต ดังแสดงในรูปที่ 9.3 โดยข้อมูลจะถูกส่งออกทาง TXD และรับเข้ามาทางขาสัญญาณ RXD ในส่วนของข้อมูล 8 บิตที่ได้รับหรือทำการส่งออกจะเป็นบิตต่ำเป็นลำดับแรก ส่วนทางฝ่ายรับค่าของ Stop bit จะส่งเข้ามาจัดเก็บไว้ใน RB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลของโหมด 1 นั้นสามารถกำหนดเลือกได้จาก Timer 1 ซึ่งในโครงงานนี้จะเลือกใช้โหมดนี้ในการรับและส่งข้อมูลเพราะว่าในโหมดนี้สามารถที่จะปรับอัตราเร็วในการส่งได้ซึ่งในโครงงานนี้จะส่งที่ความเร็ว 9600 คิวเวลาและการทำงานดังแสดงในรูปที่ 5.11

ตารางที่ 5.2 ค่าที่ต้องโหลดเข้าไปใน TH1

BAUD RATE	Fosc	SMOD	TIMER1		
			C/T	MODE	Reload Value
(MODE 0) Max : 1MHz	12 MHz	X	X	X	X
(MODE 2) Max : 375 kHz	12 MHz	1	X	X	X
(MODE 2)Min :187.5 kHz	12 MHz	0	X	X	X
MODE 1, 3 : 62.5 kHz	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2 kHz	11.059 MHz	1	0	2	FDH
9.6 kHz	11.059 MHz	0	0	2	FDH
4.8 kHz	11.059 MHz	0	0	2	FAH
2.4 kHz	11.059 MHz	0	0	2	F4H
1.2 kHz	11.059 MHz	0	0	2	E8H
137.5 kHz	11.059 MHz	0	0	2	1DH
110 kHz	6 MHz	0	0	2	72H
110 kHz	12 MHz	0	0	1	FEEBH

5.6.10 พอร์ตสื่อสารอนุกรมโหมด 2

การทำงานแบบที่สาม หรือการทำงานโหมด 2 จะเป็นการรับและส่งข้อมูลครั้งละ 11 บิต ข้อมูลจะถูกส่งออกภายนอกผ่านทาง TXD และรับเข้ามาทาง RXD ข้อมูลที่รับและส่งทั้ง 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้นของข้อมูล 1 บิต (มีค่าเป็น 0 เสมอ) บิตข้อมูล 8 บิต (รับหรือส่งบิตต่ำสุดก่อน) ตามด้วยบิตที่ 9 (ต่อจากบิตข้อมูลบิตสุดท้าย) ซึ่งเป็นบิตที่สามารถกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งได้ (Programmable 9th data bit) และบิตสุดท้ายคือบิตสิ้นสุดของข้อมูล (มีค่าเป็นหนึ่งเสมอ) ดังนั้นจำนวนบิตที่รับส่งทั้งหมด 11 บิต จะประกอบด้วยบิตต่างๆดังนี้



รูปที่ 5.12 แสดงข้อมูลรับและส่งในการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม โหมด 2 และ 3

ในขณะที่ทำการส่งข้อมูล บิตที่ 9 จะได้จากค่าในบิต TB8 ของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON บิตนี้สามารถที่จะกำหนดให้มีค่าเป็น 0 หรือ 1 อย่งไรก็ได้ ส่วนใหญ่ในการใช้งานจริงมักจะใช้บิตนี้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รับหรือส่ง (parity bit) โดยจะนำบิต P (Parity) ในรีจิสเตอร์ PSW ไปไว้ในบิต TB8 ส่วนในขณะที่รับข้อมูลบิตที่ 9 จะไปปรากฏอยู่ในบิต RB8 ของรีจิสเตอร์ SCON โดยไม่สนใจบิตสิ้นสุดของข้อมูล ค่าอัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลนี้จะถูกกำหนดไว้ที่ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้

5.6.11 พอร์ตสื่อสารอนุกรมโหมด 3

การทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมแบบสุดท้าย คือการทำงานในโหมด 3 ในการทำงานโหมดนี้ข้อมูลจำนวน 11 บิตถูกส่งผ่านขา TXD และถูกรับเข้ามาทางขา RXD ข้อมูลทั้ง 11 บิตประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้นของข้อมูล 1 บิต (เป็น 0 เสมอ) บิตข้อมูล 8 บิต (รับและส่งบิตต่ำสุดก่อน) ตามด้วยบิตที่ 9 ซึ่งเป็นบิตที่สามารถกำหนดค่าได้เหมือนในโหมด 2 (Programmable 9th bit) และบิตสุดท้ายคือบิตสิ้นสุดของข้อมูล (เป็น 1 เสมอ) อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นจะเห็นว่ารูปแบบการรับส่งข้อมูลในโหมด 3 จะเหมือนกับโหมด 2 ทุกประการ แต่ในโหมดนี้สามารถกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลได้ตามความต้องการของผู้ใช้

การทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทั้ง 4 โหมดที่กล่าวมาแล้ว การส่งข้อมูลจะเริ่มทันทีเมื่อมีคำสั่งใดๆ ที่ใช้รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (SBUF) เป็นรีจิสเตอร์ปลายทาง (Destination - register) เช่น MOV SBUF, A

ส่วนในการรับข้อมูลจะเริ่มขึ้นโดยมีเงื่อนไขดังนี้

- ในโหมด 0 จะเริ่มเมื่อค่าในบิต RI=0 และบิต REN=1

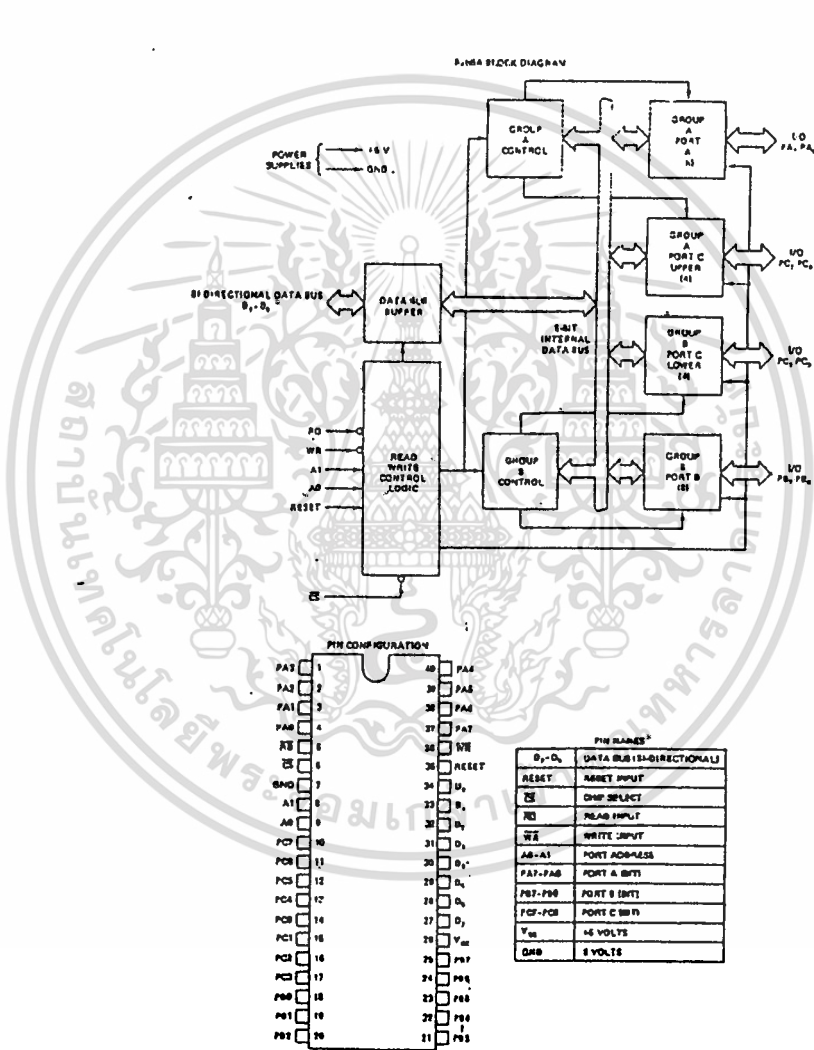
- ในโหมดอื่นๆ การรับข้อมูลเริ่มเมื่อ MCS-51 ได้รับบิตเริ่มต้นของข้อมูลเข้ามา โดยที่บิต REN

ในขณะนั้นต้องมีค่า 1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 พอร์ต 8255

เป็นชิพขนาด 40 ขา มีอยู่ 3 พอร์ต คือ พอร์ต A,B,C เป็นพอร์ต ขนาด 8 บิตที่สามารถโปรแกรมให้เป็นอินพุทหรือเอาต์พุตก็ได้โดยที่พอร์ต ยังแบ่งเป็น 4 บิตต่าง และ 4 บิตบน โดยมีโครงสร้างตามรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การจัดวางขาและโครงสร้างของ พอร์ต 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.1 โหมดการทำงาน ของพอร์ต 8255

การทำงานมีอยู่ด้วยกัน 3 โหมด ดังตารางที่ 5.3

โหมด 0 เป็นโหมด Input / Output แบบพื้นฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป โหมดนี้สามารถที่จะตั้งเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ได้ทั้ง 3 พอร์ต และในโหมดนี้ไม่มี Handshake ในโครงงานนี้ใช้ โหมดนี้ โดยใช้พอร์ต A เป็นพอร์ตอินพุต พอร์ต B เป็นพอร์ตเอาต์พุต และพอร์ต C เป็นพอร์ตเอาต์พุต รหัสเลขฐาน 16 ที่ป้อนเข้า Control Word คือ 90h

โหมด 1 โหมดนี้ใช้พอร์ต A,B ในการรับหรือส่งข้อมูล และใช้พอร์ต C ในการตรวจสอบสัญญาณ (Handshake)

โหมด 2 โหมดนี้ใช้พอร์ต A ในการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทางและพอร์ต B ในการรับและส่งข้อมูล และใช้พอร์ต C บิต 0, 1, 2 ในการรับส่งข้อมูลบิต และบิต 4, 5, 6 เป็นสัญญาณ handshake

ตารางที่ 5.3 สรุปโหมดการทำงานต่างๆของ 8255

	MODE 0		MODE 1		MODE 2
	IN	OUT	IN	OUT	GROUP A ONLY
PA ₀	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₁	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₂	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₃	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₄	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₅	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₆	IN	OUT	IN	OUT	←→
PA ₇	IN	OUT	IN	OUT	←→
PB ₀	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₁	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₂	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₃	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₄	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₅	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₆	IN	OUT	IN	OUT	_____
PB ₇	IN	OUT	IN	OUT	_____
PC ₀	IN	OUT	INTR _B	INTR _B	I/O
PC ₁	IN	OUT	IBF _B	OBF _B	I/O
PC ₂	IN	OUT	STB _B	ACK _B	I/O
PC ₃	IN	OUT	INTR _A	INTR _A	INTR _A
PC ₄	IN	OUT	STB _A	I/O	STB _A
PC ₅	IN	OUT	IBF _A	I/O	IBF _A
PC ₆	IN	OUT	I/O	ACK _A	ACK _A
PC ₇	IN	OUT	I/O	OBF _A	OBF _A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณต่างๆของพอร์ต 8255

- D0 - D7 บิตข้อมูลเชื่อมโยงกับ CPU
- A0 - A1 ใช้เลือกพอร์ต A,B,C และพอร์ตควบคุม
- RESET เมื่อกานี้ได้รับสัญญาณกระตุ้นด้วยลอจิก 1 จะทำให้ 8255 ถูกรีเซ็ตมีผลทำให้ทุกพอร์ตเป็นอินพุตพอร์ตทันที
- PA0 - PA7 เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต
- PB0 - PB7 เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต
- PC0 - PC7 เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต
- \overline{RD} ในการอ่านข้อมูลที่พอร์ตของ 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับ \overline{CS}
- \overline{WR} ในการเขียนข้อมูลหรือโปรแกรมลงบน 8255 ต้องทำให้ขานี้ เป็นลอจิก 0 พร้อมกับ \overline{CS}
- \overline{CS} เป็นขานเลือกกริพ 8255 ขานี้มักจะต่อกับ I/O DECODER
- เมื่อขา \overline{WR} , \overline{RD} , A0,A1, \overline{CS} ทำงานทั้ง 5 ขาจะมีฟังก์ชันการทำงานดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ตารางความจริงของ 8255

A ₁	A ₀	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{CS}	
					Input operation (READ)
0	0	0	1	0	Port A → data bus
0	1	0	1	0	Port B → data bus
1	0	0	1	0	Port C → data bus
					Output operation (WRITE)
0	0	1	0	0	Data bus → port A
0	1	1	0	0	Data bus → port B
1	0	1	0	0	Data bus → port C
1	1	1	0	0	Data bus → control
					Disable function
X	X	X	X	1	Data bus → 3-state
1	1	0	1	0	Illegal condition
X	X	1	1	0	Data bus → 3-state

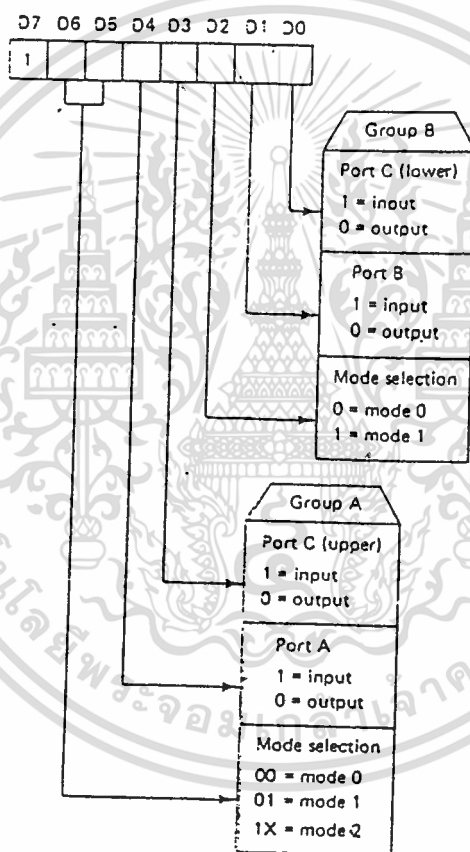
Source: Courtesy of Intel Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.2 การโปรแกรม 8255

การโปรแกรมจะต้องถูกกระทำก่อนการใช้งานอย่างน้อยที่สุด 1 ครั้ง โดยการเขียนรหัสควบคุม (Control word) ไปที่พอร์ตควบคุม (A0,A1 = 11)

รหัสควบคุม (Control Word) ในแต่ละบิตมีความหมายดังนี้



รูปที่ 5.14 Control word ทั้ง 2 แบบของ Mode และ Bit Definition Format

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.14

D7 แสดงถึงรหัสควบคุมให้เริ่มทำงาน (1 = ทำงาน) คือ จะมีผลทำให้ 8255 รับรู้
 สิ่งต่อไปในบิตต่างๆ ที่จะกำหนดให้ เพราะฉะนั้นเวลาจะสั่งงานหรือหน้าที่ให้กับ 8255 บิตนี้จะเป็น
 1 เสมอ

D6 และ D5 เป็นการเลือกโหมดในการทำงานของ พอร์ต A ซึ่งมี 3 โหมด ใน 8255
 ดังจะได้กล่าวต่อไป

D4 กำหนดให้ พอร์ต A เป็น อินพุต หรือ เอาท์พุต โดย

0 = เอาท์พุต พอร์ต

1 = อินพุต พอร์ต

D3 กำหนดให้ พอร์ต C บน (PC7-PC4) เป็น อินพุตหรือเอาท์พุต โดย

0 = เอาท์พุต พอร์ต

1 = อินพุต พอร์ต

D2 เป็นการเลือก โหมด ให้กับพอร์ต B

0 = เอาท์พุต

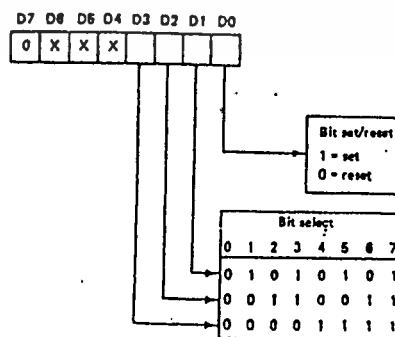
1 = อินพุต

D0 กำหนด พอร์ต C ล่าง (PC0-PC3) เป็นอินพุต หรือ เอาท์พุต โดย

0 = เอาท์พุต

1 = อินพุต

และใน Control word ยังมีโหมดพิเศษ อีกเมื่อให้บิตที่ 7 ของ Control word มีค่าเป็น 0
 ในโหมดนี้ผู้ใช้สามารถเซต หรือ รีเซต บิตใดบิตหนึ่งของ พอร์ต C ได้ โดยอิสระโดยดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 การโปรแกรมของพอร์ต C (ใช้เป็นเอาท์พุตพอร์ตเท่านั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คือบิต 7 จะต้องเป็น 0 ส่วน D6-D4 จะเป็นอะไรก็ได้ ในกรณีนี้เราจะใช้งาน พอร์ต C
 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ส่วนอีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 เป็น พอร์ตเอาท์พุต เพื่อใช้เป็นสัญญาณ STROBE ได้

บทที่ 6

แสดงผลทางคอมพิวเตอร์ (Displaying On Computer)

6.1 การนำเข้าสู่วิชวลเบสิก (Introduction to Visual Basic Program Version 4.0)

วิชวลเบสิก (Visual Basic) มีสภาพแวดล้อมสำหรับการพัฒนาโปรแกรมบนวินโดวส์ (Windows) ประกอบไปด้วยเครื่องมือต่างๆครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นส่วนของการออกแบบยูสเซอร์ อินเตอร์เฟซ (User Interface) ส่วนออกแบบเมนู (Menu Designer) ส่วนช่วยเหลือการเขียนโปรแกรม (Helping for program writing) และการดีบั๊ก (Debugger) เพื่อการตรวจหาข้อผิดพลาดในโปรแกรม องค์ประกอบเหล่านี้นับว่าเอื้ออำนวยต่อการเขียนโปรแกรมมาก

ในด้านตัวภาษาวิชวลเบสิก ได้นำไวยากรณ์ของเบสิก A และ GW - BASIC มาใช้ โดยสนับสนุนความสามารถเดิมทั้งหมด นอกจากนี้ยังได้เพิ่มโปรแกรมแบบมีโครงสร้างของ QuickBasic ซึ่งคล้ายกับในภาษาที่มีโครงสร้าง เช่นภาษาปาสคาล (Pascal Program) หรือภาษาซี (C Program) เข้าไปด้วย

ด้วยความสามารถของตัวภาษาวิชวลเบสิก สามารถนำไปสร้างแอปพลิเคชันได้หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมวาดภาพ การคำนวณทางการเงิน หรือแม้แต่โปรแกรมการรับค่าอินพุตเพื่อแสดงผลบนโปรแกรมวิชวลเบสิก

6.2 เริ่มต้นในการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิก (Beginning to Visual Basic Programming)

โปรแกรมวิชวลเบสิกจะใช้หลักของภาพและการมองเห็น โดยเริ่มจากการออกแบบ วินโดวส์ย่อยหรือที่เรียกว่าฟอร์ม (Form) ในฟอร์มจะประกอบด้วยสิ่งต่างๆที่จะใช้งานหรือที่เรียกว่าเป็นออปเจกต์ (Object) เช่น ข้อความ ช่องรับข้อความ สคอลลบาร์ (Scoll Bar) หรือ ปุ่ม (Button) เมื่อกำหนดสิ่งเหล่านี้ครบตามความต้องการ แล้วจึงระบุว่าจะประกอบแต่ละอย่างทำงานอย่างไร โดยการเขียนโปรแกรมย่อย (Private Sub) เข้าไปควบคุมออปเจกต์เหล่านี้ ซึ่งที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการทำงานในวินโดวส์จะเป็นแบบที่เรียกว่า อีเวนท์ - ไดรเวนท์ (Event - Driven) คือขึ้นกับเหตุการณ์ (Event) เนื่องจากวินโดวส์จะต้องจัดการกับทุกแอปพลิเคชันที่ทำงานในขณะนั้นทั้งหมดไปพร้อมๆ กัน เพราะการทำงานเป็นแบบระบบรันงานได้หลายๆ งานในเวลาเดียวกัน (Multitasking) จึงต้องใช้รูปแบบการโปรแกรมในลักษณะ Event - Driven ดังกล่าว ซึ่งออปเจกต์แต่ละตัวก็จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นได้หลายอย่าง ถ้าสนใจเฉพาะเหตุการณ์ใดก็เขียนโปรแกรมสั่งงานให้ทำงานตามเฉพาะเหตุการณ์นั้นๆ เช่น ปุ่มควบคุมถ้าต้องการให้ทำงาน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลิกหรือดับเบิลคลิกก็จะต้องระบุว่า หากมีการคลิกที่ปุ่มควบคุมนี้โปรแกรมจะต้องทำงานอย่างไร หรือถ้ามีการดับเบิลคลิกจะต้องทำอย่างไร ส่วนเหตุการณ์อื่นๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ก็จะไม่มีผลต่อออปเจ็กต์นั้น

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีลักษณะเป็นธรรมชาติมาก คือกำหนดรูปแบบของจอภาพหรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) และระบุว่าถ้าเกิดเหตุการณ์อย่างนี้กับสิ่งนี้จะต้องทำอย่างไร ซึ่งโปรแกรมที่เขียนก็คือส่วนที่จะบอกว่าเหตุการณ์จะเป็นอย่างไรต่อไป

นอกจากออปเจ็กต์จะมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ ที่กำหนดแล้ว ทุกออปเจ็กต์จะมีลักษณะหรือคุณสมบัติ (Property) ของตัวเอง เช่น ช่องรับข้อความ (Text Box) จะมีชื่อ ข้อความในนั้น ความกว้าง ความสูง สี โดยสามารถอ้างถึงหรือเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านี้ได้ขณะที่โปรแกรมทำงานอยู่ หรือขณะที่เขียนโปรแกรมก็ได้ โดยคุณสมบัติของทุกหน้าจอภาพดูได้ที่ภาคผนวก

ในการที่จะกระทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งกับออปเจ็กต์นั้น จะมีสิ่งที่เรียกว่าเมทอด (Method) ซึ่งเปรียบเหมือนเป็นกระบวนการทำงานของออปเจ็กต์ ซึ่งออปเจ็กต์แต่ละแบบก็มี Method ที่แตกต่างกันออกไป เช่นถ้าต้องการจะแสดงข้อความหรือเลเบล (Label) ก็จะมีขบวนการหรือ Method ชื่อ Caption ของเลเบล เพื่อทำงานนี้โดยตั้งว่า *Label.Caption* - ข้อความที่จะแสดง ซึ่งสรุปแล้ว Method ก็คล้ายคำสั่งที่ใช้ได้กับออปเจ็กต์แต่ละชนิดนั่นเอง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ในโครงการนี้ โดยจะขอสรุปหลักการและลำดับในการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิกในโครงการนี้ คือ

1. ออกแบบจอภาพหรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)
2. เขียนโปรแกรมควบคุมแต่ละออปเจ็กต์ให้ทำงานสอดคล้องกัน โปรแกรมควบคุมการติดต่อรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์
3. การติดตั้งโปรแกรมด้วย Setup Wizard (Program Installation by Setup Wizard)

โดยจะแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



รูปที่ 6.1 แสดงลำดับในการเขียนโปรแกรมวิซวลเบสิกในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการออกแบบควบคุมการติดต่อรับค่าอินพุทจากไมโครคอนโทรลเลอร์

(Input from Microcontroller received by Programming)

สำหรับโปรแกรมควบคุมการติดต่อรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผล พร้อมโปรแกรมทั้งหมดได้แสดงไว้ในบทที่ 7 แล้ว ส่วนในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงโปรแกรมสำคัญที่ใช้ในการเขียนรับค่านี้ และลำดับขั้นตอนการส่งและรับค่า

โดยขั้นตอนในการเขียนทั้งหมดจะเริ่มตั้งแต่กระบวนการรับ - ส่งค่าอินพุท จากไมโครคอนโทรลเลอร์ สุดท้ายเป็นการรับค่าเพื่อมาแสดงผล ซึ่งจะแสดงได้บล็อกลำโพงแตรมดังนี้



รูปที่ 6.2 แสดงกระบวนการรับ - ส่งค่าอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 ในขั้นตอนนี้ สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ บนคอมพิวเตอร์ จะเขียนเป็นภาษาแอสเซมบลี แล้วทำการโหลดลงอีพริ้อมเพื่อเก็บโปรแกรม และกระทำตามกระบวนการการเขียนโปรแกรม ส่วนข้อมูลที่จะส่งจะเป็นเลขฐาน 16 ดังรูป

```

เช่น   MOV A,#07FH
       MOV DTPR,# 8800 H
       MOVX @DTPR, A
  
```

และ

```

07FH = 127
0FFH = 225
031H = 49
  
```

รูปที่ 6.3 การเขียนภาษาเครื่องด้วยภาษาแอสเซมบลี และข้อมูลเป็นเลขฐาน 16

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมส่งข้อมูลทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว การส่งข้อมูลถ้าเป็นแบบขนานจะส่งออกทางพอร์ตขนาน ส่วนถ้าส่งออกทางพอร์ตอนุกรมจะส่งผ่านทาง RS 232 ซึ่งอยู่บนบอร์ดไมโครคอมพิวเตอร์ ดังนั้นข้อมูลจะถูกทยอยส่งอย่างเป็นระเบียบทีละบิต ซึ่งในการส่งข้อมูลหลังจากนี้จะเป็นรหัสแอสกี (ASCII Code) โดยที่จะถูกปรับเปลี่ยนอัตโนมัติจากเลขฐาน 16 กลายเป็นรหัสแอสกี ซึ่งจะแสดงได้ดังรูป

“ @#\$%&^&&* &ERS*() (_ + 9 ^ & ^ \$\$\$ ^ & *** ”

รูปที่ 6.4 รหัสแอสกี

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อข้อมูลทั้งหมดที่ส่งมาจากพอร์ต RS - 232 คอมพิวเตอร์ทางฝ่ายผู้ใช้ จะทำการรับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งอาจจะเป็นพอร์ตคอม 1 หรือ 2 ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยในโครงงานนี้จะใช้พอร์ตคอม 2 ในการรับข้อมูล

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดเก็บเข้าไปในบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งจะเร็วหรือช้าจะขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วในการส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Board Rate) โดยคอมพิวเตอร์จะจัดการให้อย่างอัตโนมัติ เช่นความเร็วที่ 1200 , 2400 , 4800 , 9600 , 19200

ขั้นตอนที่ 5 ในขั้นตอนนี้ ผู้ใช้จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมไปรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ นั่นคือโปรแกรมวิซวลเบสิก คำสั่งสื่อสาร และออปเจกต์เพื่อการสื่อสาร ในการที่จะนำข้อมูลที่ส่งมานั้นมาทำการแสดงผล ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

1. ออปเจกต์ MSComm ซึ่งจะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 6.5 แสดงออปเจกต์ของพอร์ตสื่อสารบนวิซวลเบสิก

ซึ่งจะต้องศึกษาในส่วนออปเจกต์ ในส่วนของการขอความช่วยเหลือ (Help)

2. โปรแกรมวิซวลเบสิก โดยยกตัวอย่างโปรแกรมดังรูป

```
EE2.Label45.Caption = " OK "
EE3.Gauge2.Value = A
EE3.Label22.Caption = A
EE3.Label25.Caption = " Input Normal. : "
```

รูปที่ 6.6 แสดงตัวอย่าง โปรแกรมบนวิซวลเบสิก

3. โปรแกรมติดต่อสื่อสาร ซึ่งก็คือโปรแกรมวิซวลนั่นเองแต่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูล ดังรูป

```
Gonst port = 2
MSComm1.CommPort = port
'Open Port
MSComm1.PortOpen = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
รูปที่ 6.7 แสดงตัวอย่างของโปรแกรมสื่อสารกับพอร์ตอนุกรม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การติดตั้งโปรแกรมด้วย Setup Wizard

(Program Installation by Setup Wizard)

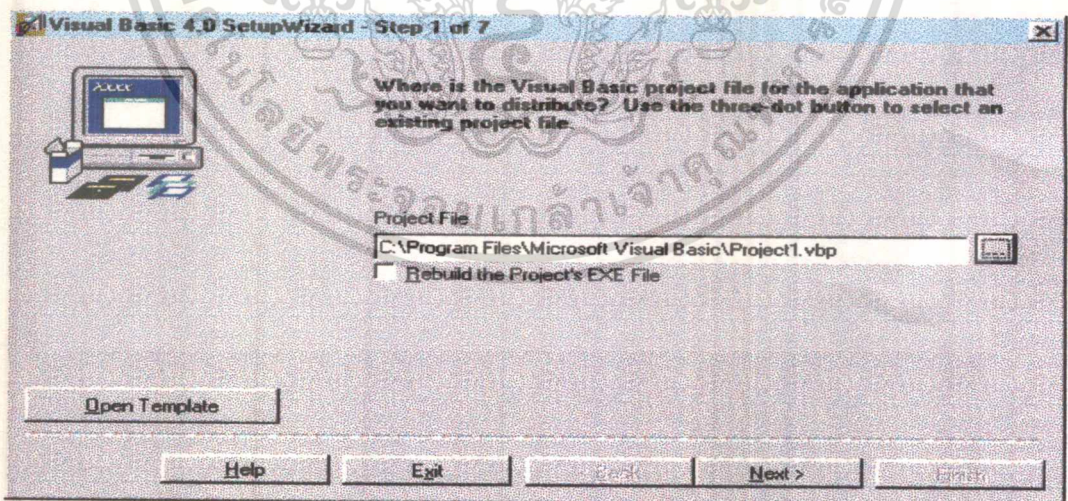
ในการสร้างโปรแกรมติดตั้งวิชวลเบสิก (Visual Basic) รุ่นมืออาชีพ ได้ใช้วิธีการเทคโนโลยีตัวพิเศษ (Wizard) ช่วยในการติดตั้งโปรแกรม โดยมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

1. ควรจะปิด Visual Basic ก่อนเพราะ Setup Wizard จะควบคุมการทำงานของ Visual Basic ซึ่งถึงแม้จะไม่ปิด Visual Basic ก็จะมีปรากฏไอคอนบ็อกซ์เตือนให้เลิกใช้งาน Visual Basic ก่อน

2. จะต้องทำการจัดเก็บฟอร์มและโมดูลเป็น ASCII ก่อน โดยการดับเบิลคลิกที่ฟอร์มหรือโมดูลในวินโดวส์โปรเจกต์ แล้วเลือก Save File As จนปรากฏไอคอนบ็อกซ์ ให้เลือกบ็อกซ์ Save As Text แล้วตอบ Yes เพื่อยืนยันการจัดเก็บทับไฟล์เดิม

3. ดับเบิลคลิกที่ไอคอน Application Setup Wizard ในกลุ่ม Visual Basic

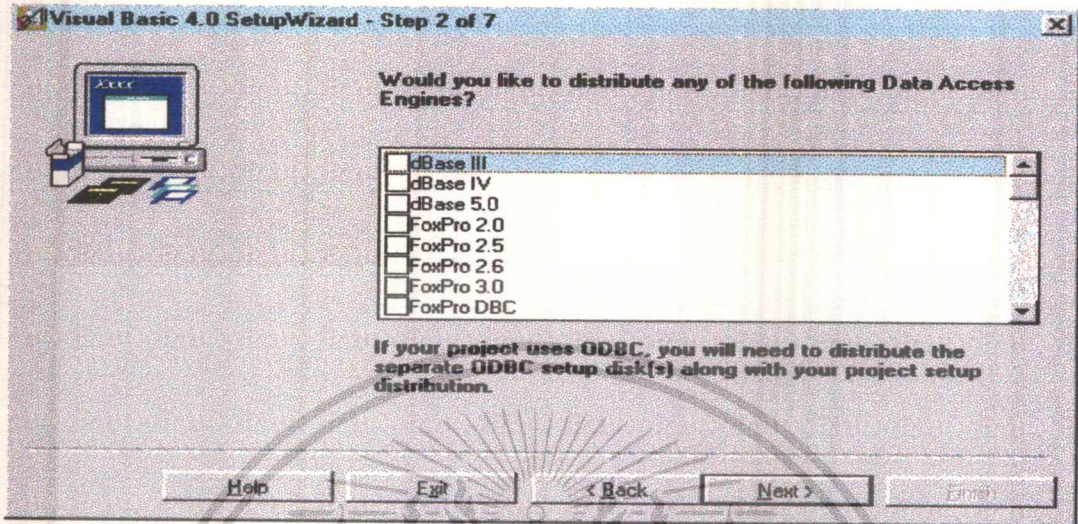
4. จะปรากฏตัวพิเศษในการสร้างโปรแกรมสำหรับติดตั้ง 7 ขั้นตอน โดยเริ่มขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 6.8 ให้ใส่ชื่อไฟล์โปรเจกต์ในบ็อกซ์ Project File (โดยอาจจะเลือกไฟล์โดยการคลิกที่ปุ่ม Select Make File แล้วเลือกไฟล์จากไดเรกทอรี) หลังจากนั้นคลิกที่ Next เพื่อที่จะทำในกระบวนการต่อไป



รูปที่ 6.8 แสดงตัวพิเศษขั้นตอนที่ 1 ให้เลือกไฟล์โปรเจกต์

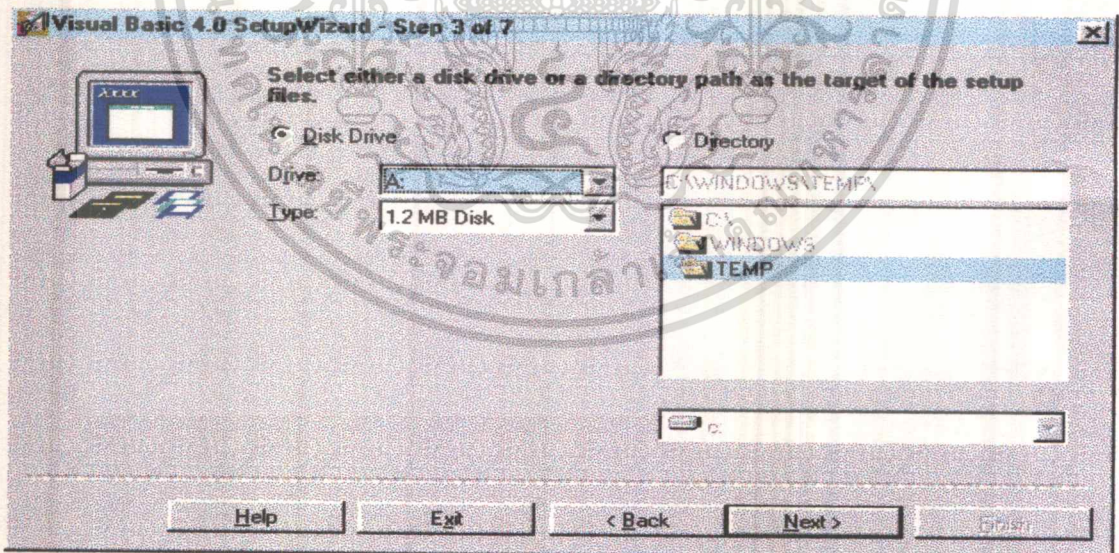
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จะปรากฏตัววิเศษขั้นที่ 2 ดังรูปที่ 6.9 ให้เลือกเช็กรadioButton ที่ต้องการแล้วคลิก Next



รูปที่ 6.9 แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 2 ให้เลือกเช็กรadioButton ที่ต้องการ

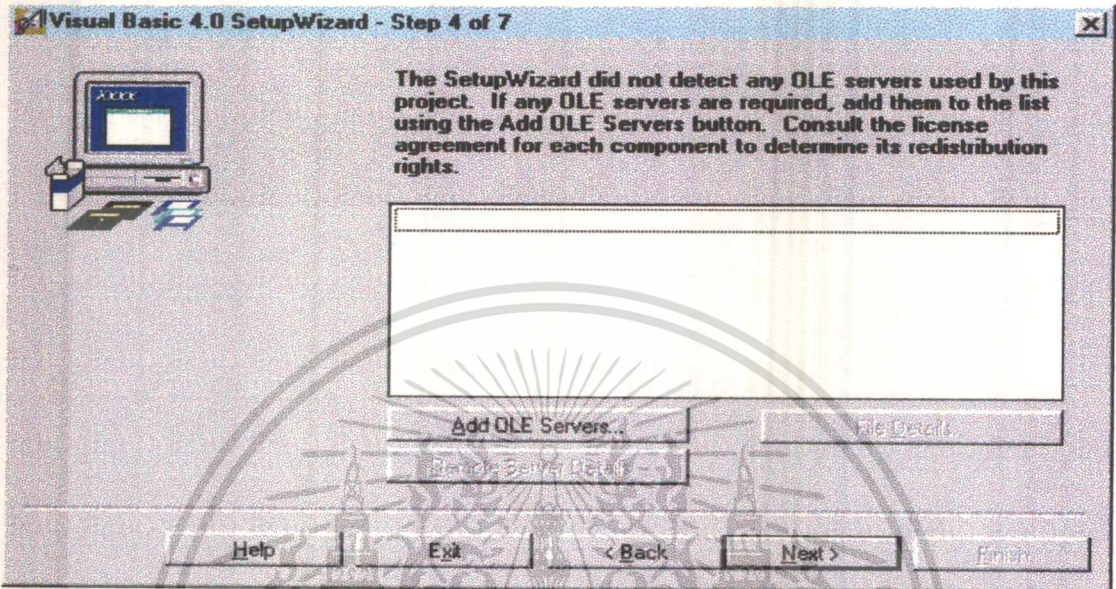
6. จะปรากฏตัววิเศษขั้นที่ 3 ดังรูปที่ 6.10 ถ้าเลือกฐานข้อมูล Data Access ให้คลิกที่ Next



รูปที่ 6.10 แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 3 แสดงการใช้ฐานข้อมูลถ้าเลือก Data Access

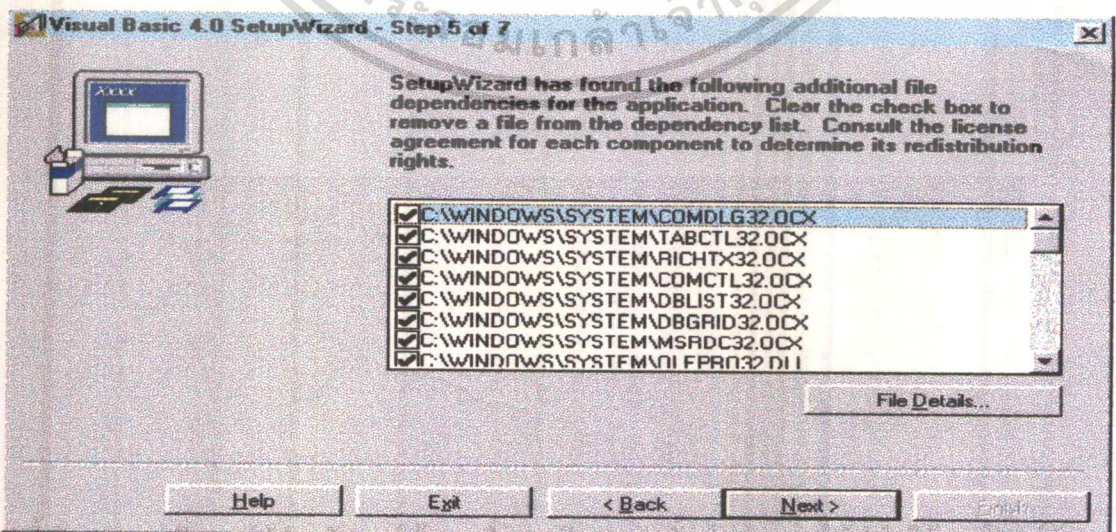
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จะปรากฏตัวพิเศษขั้นที่ 4 ดังรูปที่ 6.11 ให้เลือกใครที่และความจุแผ่นดิสก์หลังจากนั้นคลิกที่ Next



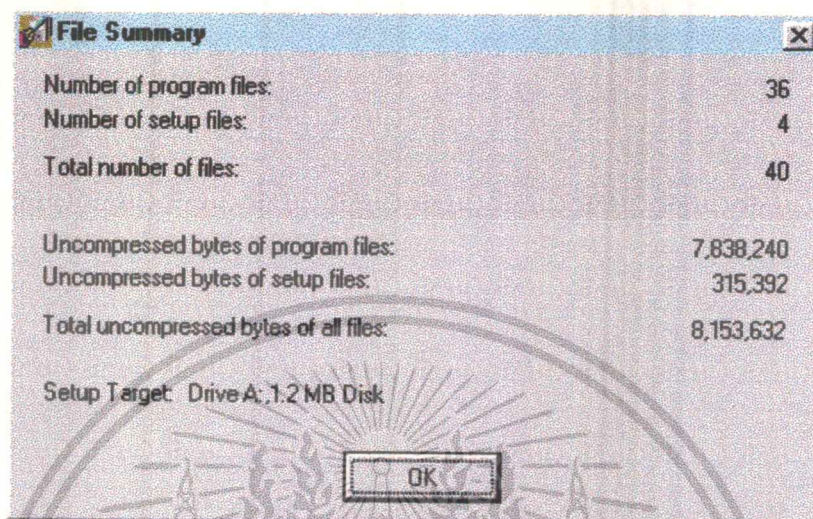
รูปที่ 6.11 แสดงตัวพิเศษขั้นตอนที่ 4 ให้เลือกใครที่และความจุแผ่นดิสก์

8. จะปรากฏตัวพิเศษขั้นที่ 5 ดังรูปที่ 6.12 ซึ่งจะบอกไฟล์ที่ใช้ในการสร้างโปรแกรมติดตั้งถ้าต้องการเพิ่มไฟล์ ให้คลิกที่ปุ่ม Add Files หรือถ้าไม่ต้องการไฟล์ใดให้คลิกที่ปุ่ม Remove Files



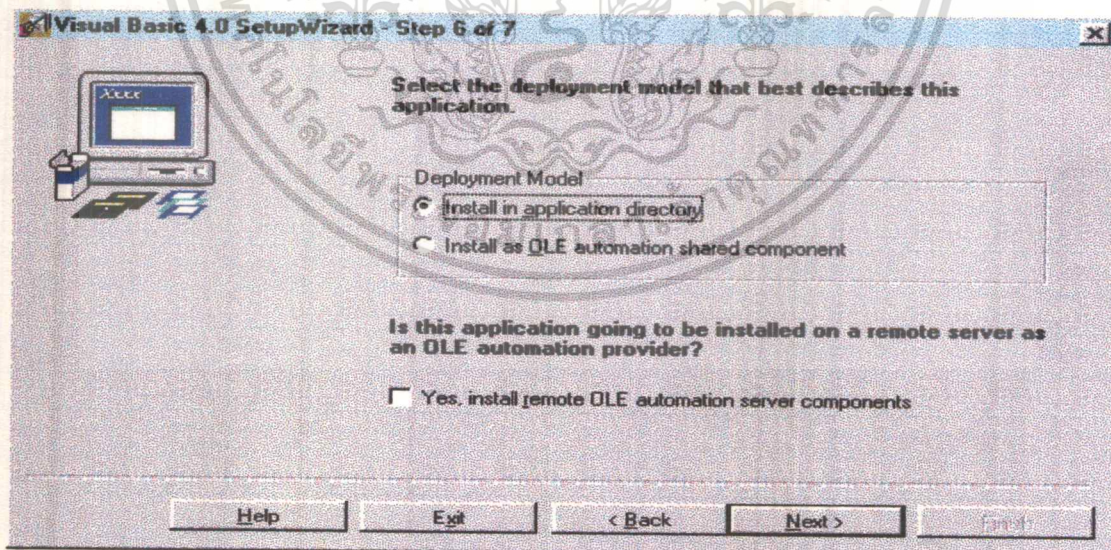
รูปที่ 6.12 แสดงตัวพิเศษขั้นตอนที่ 5 ให้เพิ่มไฟล์หรือลบไฟล์ที่ไม่ต้องการ

9. ถ้าเลือก Summary Info จะปรากฏไดอะล็อกซ์ File Summary ดังรูปที่ 6.13 เพื่อบอกข้อมูลสรุปให้คลิกที่ OK



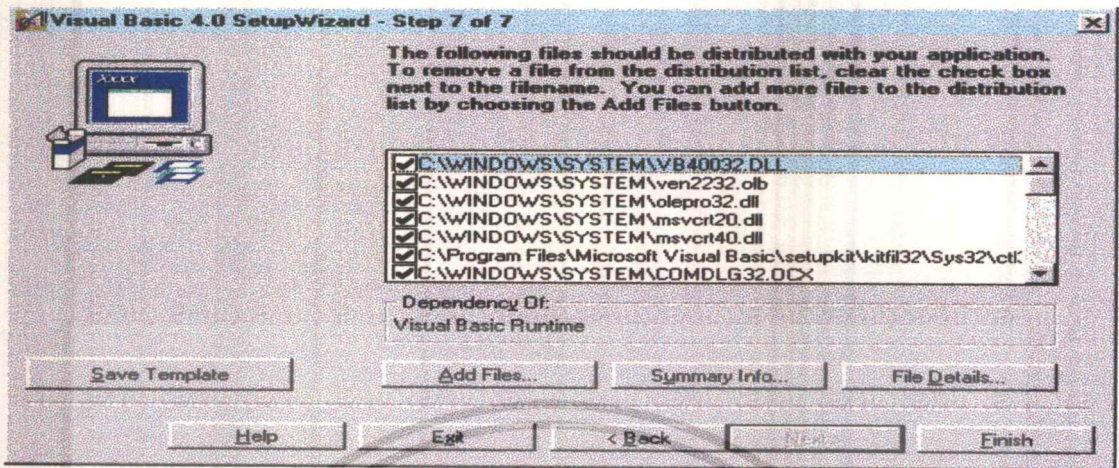
รูปที่ 6.13 แสดงการบอกข้อมูลสรุปการใช้ไฟล์และขนาด

10. ในขั้นตอนสุดท้ายของตัววิเศษ ดังรูปที่ 6.14 และ 6.15 ให้คลิกที่ Finish



รูปที่ 6.14 แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 แสดงตัววิเศษขั้นตอนที่ 7 บอกว่าสิ้นสุดการใช้ตัววิเศษ

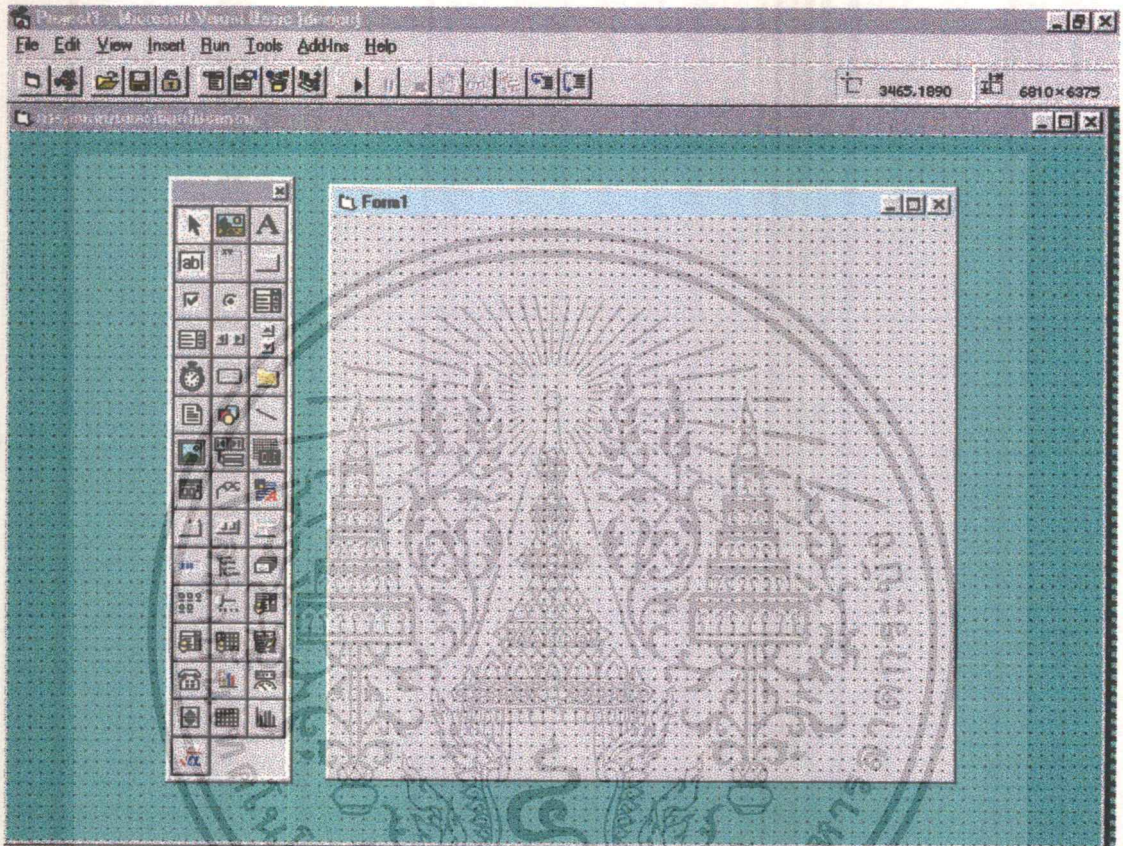
หลังจากนั้น Setup Wizard จะตรวจสอบการใช้เนื้อที่ว่างเพื่อทำงาน หลังจากนั้นจะเรียกโปรแกรมเพื่อบีบไฟล์ แล้วเรียกโปรแกรมวิซหวลเบสิก เพื่อสร้างไฟล์ที่กำหนดที่ติดตั้งหลังจากการสร้างจะก๊อปปี้ไฟล์ที่จำเป็นทั้งหมดลงแผ่นดิสก์ ที่เรียกว่า Master Disk หลังจากนั้นจะให้ทำการตรวจสอบไวรัสในแผ่น ก็จะสิ้นสุดการสร้างแผ่นติดตั้ง ซึ่งอาจทำแบ็คอัพ (Backup) แผ่นมาสเตอร์นี้ไว้ใช้ต่อไป เมื่อต้องการที่จะติดตั้งแอปพลิเคชันก็รันเพียงแค่ไฟล์ Setup.exe เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การออกแบบจอภาพและเขียนโปรแกรม

6.4.1 การวาดจอภาพด้วยออปเจ็กต์ต่างๆ

เมื่อทำการเรียกวิชวลเบสิกขึ้นมา ทูลบ็อกซ์ (Tool box) ปรากฏบนจอภาพด้านซ้ายมือ ทูลบ็อกซ์นี้จะบรรจุรูปภาพซึ่งเป็นตัวแทนออปเจ็กต์ต่างๆ ที่จะวาดลงบนฟอร์มได้ดังรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.16 แสดงทูลบ็อกซ์ของวิชวลเบสิก

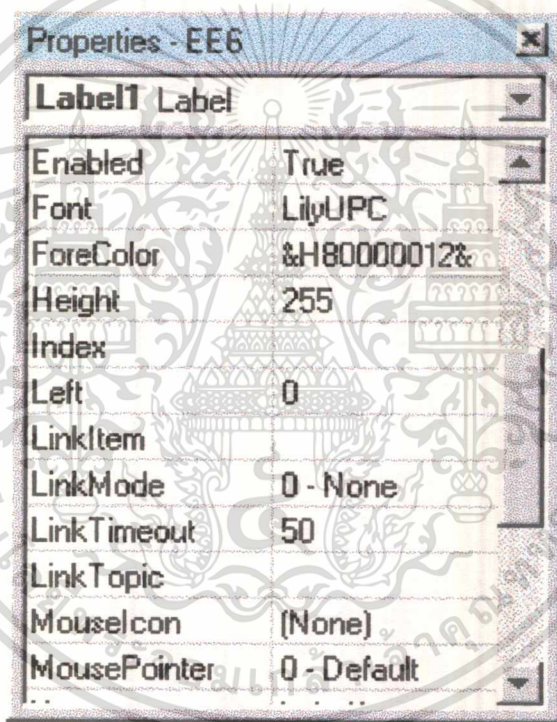
การวาดออปเจ็กต์ลงบนฟอร์มมีขั้นตอนดังต่อไปนี้เสมอ คือ

1. ต้องคลิกออปเจ็กต์ที่ต้องการวาดจากทูลบ็อกซ์
2. เติมนเมาส์บนฟอร์ม ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะวาดออปเจ็กต์
3. กดปุ่มซ้ายค้างไว้แล้วลาก จะปรากฏออปเจ็กต์ที่ต้องการบนฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2 การกำหนดคุณสมบัติ (Property) ให้กับยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ

การวาดยูสเซอร์อินเตอร์เฟซเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการเขียนโปรแกรมด้วยวิชวลเบสิก ส่วนขั้นตอนที่สองก็คือ การกำหนดคุณลักษณะต่างๆ ให้กับแต่ละออปเจกต์บนยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ วิชวลเบสิกจะตั้งค่าคุณสมบัติโดยปริยายให้กับออปเจกต์ทุกตัว อย่างอัตโนมัติ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าไม่ต้องการใช้ค่าโดยปริยายเหล่านี้ ก็สามารถปรับปรุงยูสเซอร์อินเตอร์เฟซได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของออปเจกต์ใหม่ ซึ่งจะแสดงหน้าต่างคุณสมบัติค่าพรีอเพอร์ตีต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 6.17 แสดงหน้าต่างคุณสมบัติแสดงค่าพรีอเพอร์ตีต่างๆ

สำหรับการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิกนั้น เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำงานต้องใช้คำสั่งที่มันสามารถเข้าใจได้ ซึ่งถ้ามีหลายๆ โปรแกรมวิชวลเบสิกจะเรียกว่าโพรซีเจอร์ (procedure) ซึ่งจะ

ได้กล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.3 การเขียนโปรแกรมย่อย (procedure) ในวิชวลเบสิก

สิ่งแรกที่ต้องทำก่อนคือ วาดออปเจ็กต์ลงมาบนฟอร์ม ต่อจากนั้นอาจจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแต่ละออปเจ็กต์ เพื่อให้มีชื่อแตกต่างกันและจำได้ง่าย ถ้าไม่ทำการตั้งชื่อใหม่ออปเจ็กต์เหล่านั้นก็จะใช้ชื่อโดยปริยายที่วิชวลเบสิกตั้งให้ เช่น ออปชัน1 (Option 1) หรือเท็กซ์ 3 (Text3) เป็นต้น จากนั้นก็เริ่มเปิดหน้าต่างที่ใช้เขียนโปรแกรมย่อยขึ้นมาดังรูปที่ (โดยคลิกบนออปเจ็กต์ที่ต้องการ แล้วกด F7 หรือดับเบิลคลิกบนออปเจ็กต์) ก็เริ่มเขียนโปรแกรมได้แล้ว



รูปที่ 6.18 แสดงโค้ดหน้าต่างที่จะเขียนโปรแกรม

ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ในบรรทัดแรกของโปรแกรมย่อย (Procedure) เริ่มด้วย Private Sub ซึ่งแสดงว่าโปรแกรมย่อยนี้ เป็นของออปเจ็กต์ที่ระบุเท่านั้นคือ Form ต่อจากนั้นในระหว่างสองบรรทัดนี้จะต้องทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์รับรู้ บรรทัดสุดท้ายของโปรซีเยอร์ทุกๆ ตัว จะต้องปิดด้วย End Sub เสมอ โดยจะแสดงว่าสิ้นสุดการทำทั้งหมดของโปรแกรมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกสิ่งหนึ่งให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ย่อยนี้แล้ว ซึ่งในหนึ่งหน้าต่างจอภาพใดๆที่ทำการสร้างนั้นจะมีหลายออปเจ็กต์ ดังนั้นจะมีหลาย

โพธิ์เซอร์ โดยจะต้องเขียนประกอบกันรวมกันเป็นหนึ่งโปรแกรม ซึ่งหลังจากเขียนโพธิ์เซอร์เสร็จคอมพิวเตอร์จะทำงานตามคำสั่งที่ละบรรทัดจากบนลงล่าง และจะจบการทำงานเมื่อสิ้นสุดบรรทัดสุดท้าย คือเมื่อพบคำสั่ง End Sub นั่นเอง

ในวิชวลเบสิก คำสั่งจะทำงานเมื่อมีเหตุการณ์จำเพาะเกิดขึ้นเท่านั้นอย่างเช่น ทุกๆ ครั้งที่คลิกเมาส์บนออปเจกต์ ชุดคำสั่งชุดเดียวกันของเหตุการณ์นี้จะถูกดำเนินการ และโปรแกรมจะสิ้นสุดเมื่อออกเจกต์จะจงว่าต้องจบการทำงาน โดยในโครงงานนี้จะแสดงโปรแกรมวิชวลเบสิกทั้งหมดในบทที่ 7

6.5 ข้อเปรียบเทียบภาษาวิชวลเบสิกกับภาษาอื่น

1. การสร้างยูสเซอร์อินเตอร์เฟซโดยการวาด

ในภาษาทั่วๆ ไปเช่นภาษาซีพลัสพลัสแต่ละจะเรียกข่งๆ ว่า ภาษาซี (C ++ Langauge) และ ปาสคาล (Pascal Language) จะต้องทำการเขียนโปรแกรม (Program) เพื่อผล 3 สิ่ง คือ

1.1 โปรแกรมจะต้องให้คอมพิวเตอร์รู้ว่ามันจะต้องทำอะไร ซึ่งอาจเป็นงานง่าย ๆ อย่าง การบวกเลข 2 จำนวน หรืองานที่ซับซ้อนอย่างงานทางด้านการเงิน

1.2 ต้องทำการสร้างยูสเซอร์อินเตอร์เฟซที่แสดง เมนู หน้าต่าง และปุ่มต่าง ๆ บนจอภาพ ถ้าหากไม่มียูสเซอร์อินเตอร์เฟซแล้วจะไม่สามารถแสดงโปรแกรมได้

1.3 โปรแกรมจะต้องบอกให้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซแต่ละส่วนรู้วิธีการทำงาน

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาทั่ว ๆ ไปเช่น ภาษาซีหรือปาสคาล จะต้องใช้เวลามากกว่าการเขียนโปรแกรมด้วยวิชวลเบสิกถึง 3 เท่า

เหตุที่ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาทั่ว ๆ ไปเป็นเรื่องยาก ก็เนื่องมาจากเต็มไปด้วย บัก (Bug : ความผิดพลาด) ซึ่งจะต้องกำจัดบักทั้งในส่วนที่แสดงยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ ส่วนที่บอกการทำงานของคอมพิวเตอร์และส่วนที่บอกวิธีการทำงานของยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ

ด้วยวิชวลเบสิกจึงสามารถวาดยูสเซอร์อินเตอร์เฟซบนจอภาพได้ตามต้องการ และด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์แบบโดยปราศจากบัก

การสร้างยูสเซอร์อินเตอร์เฟซด้วยภาษาซีและปาสคาล จะเป็นเรื่องที่ยากพอสมควรเพราะว่าเต็มไปด้วยบัก

2. การสั่งให้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษานาน ๆ ไม่เอาภาคไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หลังจากที่ทำกรเขียนโปรแกรมสำหรับยูสเซอร์อินเตอร์เฟซด้วยภาษาซีหรือภาษาปาสคาล ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(และแก้ไขจนทำงานถูกต้องแล้ว) ต่อไปจะต้องทำการเขียนโปรแกรมเพิ่ม เพื่อให้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซทำงานอย่างไร นี่คือสาเหตุที่ทำให้โปรแกรมเมอร์ภาษาซีและปาสคาลต้องใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการเขียนโปรแกรมสำหรับยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ แทนที่จะต้องใช้เวลาส่วนนี้ในการเขียนส่วนที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานจริง ๆ

ในวิชวลเบสิกเป็นเรื่องง่ายในการทำให้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซทำงาน เพราะหลังจากวาดยูสเซอร์อินเตอร์เฟซเสร็จ แต่ละชิ้นส่วนจะรู้ได้เองว่ามันทำงานอะไรได้บ้าง เมื่อทำการวาดเมนูเมนูก็จะรู้ว่าถ้ามันถูกเมาส์คลิกแล้ว มันจะต้องทำคำสั่งนั้นในเมนูออกมาโดยอัตโนมัติ ถ้าสร้างหน้าต่างบนจอ หน้าต่างก็จะรู้เองว่า มันจะเคลื่อนย้าย ปิด มินิไมซ์ ตัวมันเองได้อย่างไรเมื่อถูกเมาส์คลิก

ด้วยภาษาซีและปาสคาล จะต้องบอกยูสเซอร์อินเตอร์เฟซอย่างเฉพาะเจาะจง เพื่อให้มันทำงานตามการกระทำที่เกิดขึ้น แต่กับวิชวลเบสิกทุก ๆ ออปเจ็กต์ของยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ รู้งานทำงานทุกอย่างอยู่แล้ว ไม่ว่าจะพิมพ์ คลิก หรือกด ด้วยการทำงานโดยอัตโนมัติอย่างนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้วิชวลเบสิก ใช้งานได้อย่างดีเยี่ยม

3. การแสดงผลบนยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ

ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซสื่อสารกับผู้ใช้งานสองทิศทาง โดยที่มันทำให้ผู้ใช้ตั้งงานคอมพิวเตอร์ให้ทำงานต่อไปได้ง่ายขึ้น และจะทำให้คอมพิวเตอร์แสดงผลตอบกลับออกมาหน้าจอได้

ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซทำหน้าที่คล้ายกับล่ามระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์ ถ้าทำการบอกกับยูสเซอร์อินเตอร์เฟซให้ทำงาน มันก็จะรับคำสั่งและรับตั้งงานคอมพิวเตอร์ และหลังจากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะทำงานทันทีตามคำสั่ง ในภาษาซีและปาสคาล การที่จะแสดงอะไรก็ตามบนยูสเซอร์อินเตอร์เฟซจะต้องเขียน โปรแกรมเพิ่มมากขึ้น ไม่เพียงใช้เวลาในการเขียนมากขึ้นจะต้องทำการเขียนโปรแกรมมากขึ้น

การแสดงข้อความให้กับยูสเซอร์อินเตอร์เฟซสำหรับวิชวลเบสิก ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ (Property) ของออปเจ็กต์ที่อยู่บนยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ หลังจากที่คุณได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของออปเจ็กต์แล้ว ออปเจ็กต์ก็จะดูแลการแสดงผลข้อมูลบนจอภาพเอง

4. การเขียนโปรแกรมย่อย (Subprogram)

ถ้าใช้ภาษาซีหรือปาสคาล จะต้องเขียนโปรแกรมในไฟล์แอสกี (ASCII) ที่เรียกกันว่าซอร์สโค้ด (Source Code : โค้ดต้นแบบที่ยังไม่ผ่านการแปล) ถ้าโปรแกรมมีขนาดใหญ่ก็อาจเก็บมันเป็นส่วน ๆ ในไฟล์ที่แยกกันก็ได้ ถึงแม้ว่าทั้งภาษาซีและปาสคาลจะไม่บังคับให้ทำก็ตาม แต่การเก็บโปรแกรมให้เป็นไฟล์เล็ก ๆ เป็นหลักที่ดีสำหรับการเขียนโปรแกรม

5. ข้อเสียเปรียบของวิชวลเบสิก

สำหรับข้อดีของภาษาซีและภาษาปาสคาล คือ

1. ภาษาซีและปาสคาล ควบคุมการทำงานได้มากกว่า โดยทั่วไปการเขียนระบบปฏิบัติการ (Operating System) ทั้งหมด จะเขียนด้วยภาษาซีและปาสคาล
2. ภาษาซีและปาสคาล สร้างโปรแกรมที่รันได้เร็วกว่าโปรแกรมที่รันเหมือนๆ กันแต่เขียนด้วยวิชวลเบสิก
3. ภาษาซีและปาสคาล สามารถโยกย้ายไปใช้บนเครื่องที่สถาปัตยกรรมแตกต่างกันได้ในเครื่องจาก IBM, Macintosh และ Amiga ส่วนวิชวลเบสิกรันได้แค่บน Ms-Dos และบนวินโดวส์ (Window) เท่านั้น

ในปัจจุบันนี้ จะมีโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาปาสคาลและมีลักษณะคล้ายกับวิชวลเบสิกที่ถูกขนานนามว่าเดลไฟล์ (Delphi) โดยที่จะทำงานคล้ายกับวิชวลเบสิกมากคือ จะต้องเริ่มสร้างยูสเซอร์อินเตอร์เฟซบนจอภาพก่อน แล้วจึงเขียนโปรแกรมให้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซทำงานได้ตามต้องการ ต่างกันที่วิชวลเบสิกใช้คำสั่งภาษาเบสิก ส่วนเดลไฟล์ใช้คำสั่งปาสคาล ถ้าต้องการข้อดีของการสร้างยูสเซอร์อินเตอร์เฟซอย่างรวดเร็วและง่ายด้วยการเขียนภาษาปาสคาล จะต้องเขียนด้วยเดลไฟล์เท่านั้น

บทที่ 7

การคำนวณและการออกแบบ

การออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์7.1 การออกแบบวงจรพืช - พูล อินเวอร์เตอร์

- การเลือกพิกัดแรงดัน V_{ds} ของ มอสเฟต

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร Push - pull Inverter} &= 2 \times (V_{\text{nominal Battery}} \times 1.5) \\ &= 2 \times (12 \times 1.5) \\ &= 36 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะเลือกใช้แรงดันพิกัดของมอสเฟต (V_{DS}) = 60 V

- การเลือกค่ากระแสพิกัดของมอสเฟต

จากพิกัดกระแสทางด้านไพรมารีของหม้อแปลงเท่ากับ 35 A ดังนั้นเลือกใช้พิกัดกระแสของมอสเฟต (I_{DS}) เท่ากับ 2 เท่าของกระแสพิกัดทางด้านไพรมารีของหม้อแปลง

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

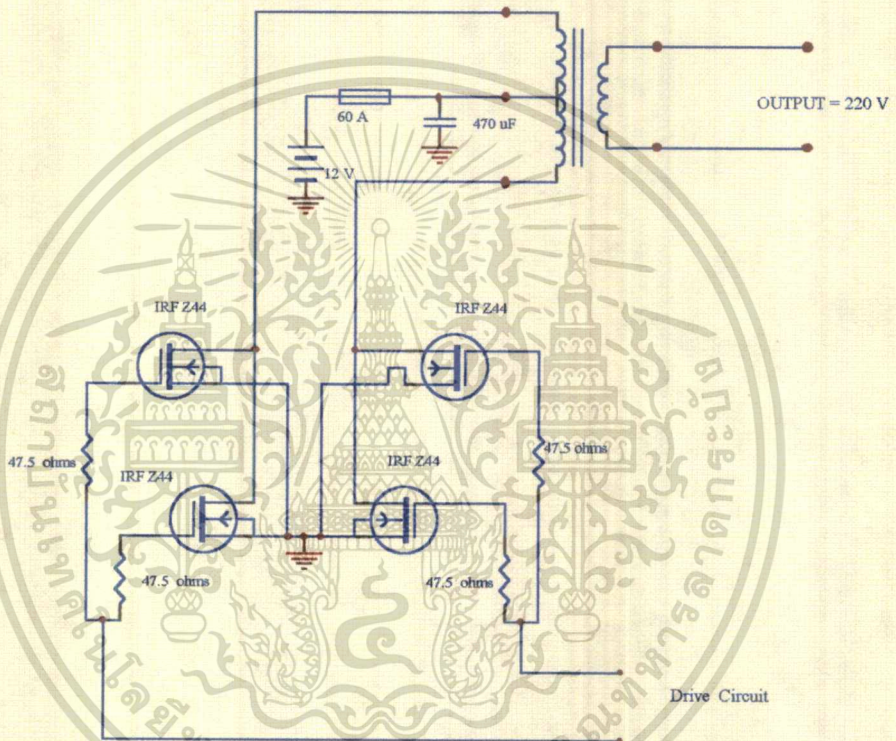
- การเลือกค่าแรงดันเกต-ซอร์ส (V_{GS})

$$\begin{aligned} \text{เลือกค่าพิกัดแรงดัน } V_{GS} &= 2 \times V_{\text{Battery}} \\ &= 2 \times 12 \\ &= 24 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นเลือกใช้ค่าแรงดันพิกัด V_{GS} ของมอสเฟตเท่ากับ 30 V

จากตารางภาคผนวกที่ 4 เลือก ECG 2395 ซึ่งตรงกับเบอร์ IRF Z44 ต่อขนานกันเพื่อช่วยกันจ่ายกระแสครน ซึ่งมีพิกัดค่าต่างๆ ดังอุปกรณ์ ECG 2395 ; IRF Z44 ในภาคผนวกที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

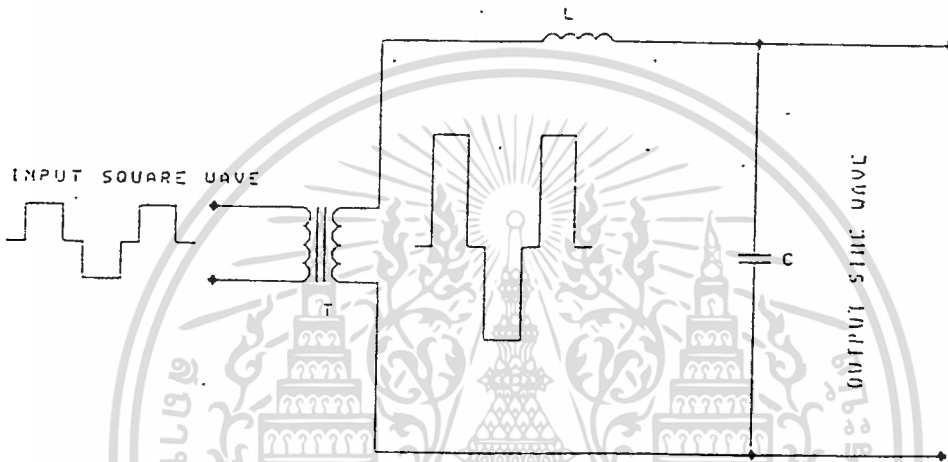


รูปที่ 7.1 แสดงวงจรพวย - พูลอินเวอร์เตอร์

Title		Revision	
Size	Number		
A4			
Date:	26-Mar-1998	Sheet of	
File:	A\MAY2.SCH	Drawn By:	

7.2 การออกแบบหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

สำหรับหม้อแปลงที่ใช้ในโรงงานนี้ เพื่อแปลงสัญญาณสี่เหลี่ยมด้านเอทซ์ของอินเวอร์เตอร์ให้มีแรงดันสูงขึ้น จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมทางด้านภาระเช่นกัน และนำสัญญาณนี้ไปใช้งาน โดยแรงดันที่โหลดใช้จะเป็นค่าส่วนหลัก (Fundamental) แกนเหล็กที่ใช้จะเป็นแกน EI ทดสอบโดยป้อนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ปรากฏว่าสัญญาณที่ได้ออกมาเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมเช่นเดียวกัน แต่มีขนาดแรงดันที่สูงขึ้น สัญญาณที่ออกมาก็ไม่ได้ผิดเพี้ยนไปมาก จึงใช้หม้อแปลงแกนเหล็กเพื่อเพิ่มแรงดันสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากการขับโดยเพาเวอร์มอสเฟต



รูปที่ 7.2 แสดงการแปลงแรงดันของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

พิกัดต่างๆ ของหม้อแปลงที่ใช้ในโรงงาน

1. ค่าโวลท์แอมป์ (VA) ของหม้อแปลง
แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองในโรงงานนี้มีขนาด 400 VA

2. พิกัดทางด้านแรงดันและกระแส

ด้านปฐมภูมิ

ทางด้านปฐมภูมิรับแรงดันรูปสี่เหลี่ยมมาจากการขับโดยมอสเฟต ซึ่งมีขนาดแรงดัน 12 โวลท์ ดังนั้นกระแสทางด้านปฐมภูมิจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$VA = V_p \times I_p$$

$$I_p = \frac{VA}{V_p}$$

$$I = \frac{400}{12} = 33.33 \text{ A}$$

เมื่อกำหนดให้ $VA =$ โวลท์-แอมป์ (VA)

$V_p =$ แรงดันด้านปฐมภูมิ (V)

$I_p =$ กระแสด้านปฐมภูมิ (V)

ด้านทุติยภูมิ

ทางด้านทุติยภูมิเป็นแรงดันเอาต์พุต ซึ่งมีขนาดแรงดัน 220 โวลท์ ดังนั้นกระแสทางด้านทุติยภูมิจะมีค่า

$$I_s = \frac{VA}{V_s}$$

$$I_s = \frac{400}{220}$$

$$= 1.81 \text{ A}$$

3. ขนาดแรงดันปฐมภูมิและทุติยภูมิ

แรงดันปฐมภูมิจะใช้ค่า 12 V และแรงดันด้านทุติยภูมิใช้ค่า 220 V ดังนั้น

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

เมื่อ $E_1 = 12 \text{ V}$, $E_2 = 220 \text{ V}$ เมื่อ $N_1 = 25$ รอบ
ดังนั้น

$$N_2 = \frac{E_2 \times N_1}{E_1}$$

$$= \frac{220 \times 25}{12}$$

$$= 450 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเลือกเบอร์ของขดลวด

ด้านปฐมภูมิ

ขนาดกระแสเบตเตอร์มีค่าประมาณ 35 A ดังนั้นจะใช้ลวดเบอร์ AWG# 15
ทำการพันครั้งละ 25 รอบทางด้านปฐมภูมิ

ด้านทุติยภูมิ

ขนาดกระแสเบตเตอร์มีค่าประมาณ 2 A ดังนั้นจะใช้ลวดเบอร์ AWG# 23
ทำการพัน 450 รอบทางด้านทุติยภูมิ

5. ขนาดของแกนเหล็ก

$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58} \quad (\text{inch}^2)$$

$$= \frac{\sqrt{400}}{5.58}$$

$$= 3.58 \text{ inch}^2$$

ดังนั้นใช้แกนเหล็กขนาด $1.5'' \times 1.5'' \text{ inch}^2$

7.3 การเลือกแบตเตอรี่ใช้ในโครงการ

ในโครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองนี้ แบตเตอรี่ที่เลือกใช้นั้นจะเป็นชนิดตะกั่ว - กรด ปิดผนึก แบบ Free Maintenance ขนาด 7 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยที่แบตเตอรี่นี้ไม่ต้องมีการเติมน้ำกลั่นหรือบำรุงรักษาแบตเตอรี่ใดๆ อีกทั้งแบตเตอรี่นี้ไม่มีก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลดีในการช่วยแก้ปัญหาอายุการใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองสั้น เนื่องจากการเกิดก๊าซในการอัดประจุมากเกินไป ส่วนการอัดประจุแบตเตอรี่จะเป็นแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging) เนื่องจากแบตเตอรี่ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองจะทำงานแบบแบ็คอัพ (Backup) หรือ Standby ซึ่งแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานสำรองที่ต้องนำมาใช้ในสภาวะเกิดความผิดปกติของระบบการไฟฟ้า ฉะนั้นแบตเตอรี่จะต้องถูกอัดประจุตลอดเวลา โดยในช่วงที่แบตเตอรี่เต็มแล้วจะต้องอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ด้วยอัตราการอัดประจุต่างๆเพื่อชดเชยค่าแรงดันเนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่ โดยแรงดันที่จ่ายให้แบตเตอรี่เพื่ออัดประจุ จะเป็นแบบ Float Charge ที่ 12.6 โวลท์

สรุปแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการ

1. ชนิด Sealed Lead - Acid Battery ขนาด 7 Ah
2. การใช้งานแบบ Standby สํารองเวลาได้ 10 นาทีที่พิกัด 400 VA
3. การทำงานเป็นแบบ Float Charge
4. เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่เป็นแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging)
5. การอัดประจุจะใช้กระแสเท่ากับ $0.13 \times 7 \text{ Ah} = 900 \text{ mA}$

7.4 การคำนวณเพื่อเลือกขนาดแบตเตอรี่

ก่อนอื่นต้องทราบพารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่องในโครงการนี้ก่อน เพื่อที่จะนำค่าต่างๆมาคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ ซึ่งกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญได้ดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าพิกัดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง 400 VA ที่ภาระมีค่า PF - 1
2. เวลาสำรองจ่ายภาระได้ระยะเวลา 10 นาทีที่กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่พิกัด
3. ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 0.9
4. แรงดันปกติของแบตเตอรี่ 12 โวลท์

ในการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ จะกำหนดให้

V_A = โวลต์แอมป์แปรพิคคของภาระ

PF = ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของภาระ

η = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (Efficiency of Inverter)

V_B = แรงดันปกติของแบตเตอรี่

ดังนั้นคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ส่งจากแบตเตอรี่ คือ

กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ = $V_A \times PF \times \text{Efficiency of Inverter}$

$$= 400 \times 1 \times \frac{1}{0.9}$$

$$= 444.44 \text{ W}$$

กระแสจากแบตเตอรี่

$$= \frac{W}{V_{\text{Battery}}}$$

$$= \frac{444.44}{12} = 37.07 \text{ A}$$

ค่าแอมป์ - ชั่วโมง (Ah) = $W \times \left(\frac{t}{60}\right) \times \left(\frac{1}{V_{\text{Battery}}}\right)$

$$= \frac{444.44 \times 10 \times 1}{60 \times 12}$$

$$= 6.17 \text{ Ah}$$

ดังนั้นขนาดของแอมป์ - ชั่วโมง จะใช้ขนาด 7 Ah ที่พิคคของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองนี้

7.5 การทำงานของวงจรอัตรประจุแบตเตอรี่

ในส่วนการทำงานของวงจรอัตรประจุแบตเตอรี่ จะใช้ LM317T เป็นตัวรักษาระดับแรงดัน ในการอัตรประจุแบบแรงดันคงที่ที่ 12.6 โวลต์ กระแสอัตรประจุให้กับแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับแรงดันของแบตเตอรี่ และค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ความต้านทานค่า 0.1 โอห์มทำการจำกัดกระแส ดังนั้นกระแสที่ใช้อัตรประจุจะมีค่า

$$I_{\text{Charge}} = \frac{V_{\text{Reg}} - E_b}{R_{0.1} + R_B} \dots\dots\dots(7.1)$$

$$= \frac{12.6 - 12}{0.1 + 0.6} = 857 \text{mA}$$

ดังนั้น LM317T จะสามารถทนได้ เนื่องจากมีพิสัยการทนกระแสได้ 1.5 แอมป์ ซึ่งค่ากระแสพิสัยนี้ จะเพียงพอใช้ในการอัตรประจุแบตเตอรี่ใช้ในการอัตรประจุเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ต่ำๆ โดยไม่ได้รับความเสียหาย จะทฤษฎีการอัตรประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรด จะใช้กระแสที่ค่า 15 - 20% ของค่าแอมป์ - ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อเทียบกันแล้วกระแสอัตรประจุตามทฤษฎีจะมีค่า

$$I_{\text{Charge}} = 0.15 \times 7Ah = 1.05A \dots\dots\dots(7.2)$$

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว การอัตรประจุแบตเตอรี่ในโครงการนี้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับเวลาที่ใช้ในการอัตรประจุจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้อัตรประจุ เช่นแบตเตอรี่มีพิสัยที่ 7 แอมป์ - ชั่วโมง จะต้องใช้เวลาอัตรประจุเท่ากับ

$$t = \frac{7}{0.857} = 8.16 \text{ ชั่วโมง}$$

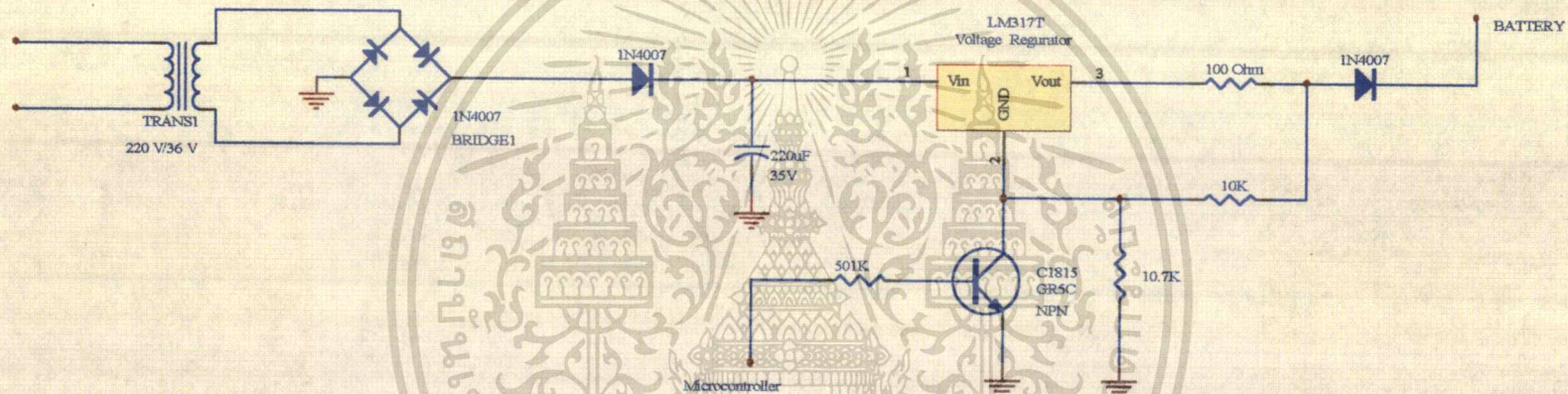
ส่วนในการคิสรชาร์จประจุ เวลาจะคิดในทางกลับกัน ซึ่งอาศัยในหลักการเดียวกันนี้ สำหรับในส่วนของแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับ LM317T จะรับมาจากวงจรเรียงกระแสที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงเอาต์พุตซึ่งจะมีค่าคงที่ที่ 12 โวลต์อาร์เอ็มเอส เมื่อผ่านวงจรเรกติไฟด์และฟิลเตอร์จะมีค่าเท่ากับ 18 โวลต์ดีซี ซึ่งจะมีผลต่อแรงดันเอาต์พุตตามสมการ

$$V_{Out} = 1.25V(1 + \frac{R_2}{R_1})I_{ADJ}R_2 \quad (7.3)$$

เมื่อ R_1 = ความต้านทานที่ขากราวด์กับขาเอาต์พุต
 R_2 = ความต้านทานที่ต่อที่ขากราวด์
 I_{ADJ} = กระแสปรับค่าได้ที่ขากราวด์

ดังนั้นที่ขากราวด์จะมีทรานซิสเตอร์ทำการควบคุมความต้านทาน R_{GS} นี้เพื่อให้มีค่าที่แรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ ดังนั้นใช้หลักการควบคุมแรงดันนี้ทำการออกแบบค่าแรงดันให้มีค่าใน 2 สถานะคือ ปกติและผิดปกติ กล่าวคือในสถานะปกติจะมีสัญญาณเป็นศูนย์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ขา P3.4 จะทำให้ TR C1815 ไม่ทำงาน ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าที่ 12.6 โวลต์คงที่ในสถานะที่ปกติตามสมการ แต่สำหรับในสถานะผิดปกติจะมีสัญญาณจากขา P 3.4 เดียวกันนี้จะมีค่าเป็นหนึ่ง ทำให้ TR 1815 นี้ทำงานและจะลัดตัวต้านทาน 10.7 K ลงกราวด์ ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์

ดังนั้นได้กล่าวถึงหลักการในการอัดประจุทั้งปกติและผิดปกติทั้งหมดแล้ว ซึ่งสามารถดูได้จากรูปวงจรที่ 7.3



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	24-Mar-1998	Sheet of
File:	C:\PFWSCHP2.SCH	Drawn By:

7.6 การออกแบบสวิตช์สับเปลี่ยน

ในการออกแบบสวิตช์สับเปลี่ยนนั้น ในโครงการนี้ใช้รีเลย์จำนวน 4 ตัวโดยจะทำงานร่วมกัน ซึ่งการทำงานที่ง่ายและรวดเร็ว และง่ายต่อการออกแบบจึงเลือกใช้รีเลย์เป็นสวิตช์สับเปลี่ยน (Mechanical Transfer Switch) แทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Solid Stage) ซึ่งค่อนข้างที่จะแพงและในบางครั้งจะยากต่อการออกแบบ ซึ่งนี่เป็นเหตุผลหนึ่งในการเลือกใช้รีเลย์ ซึ่งในการออกแบบรีเลย์ จะมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

1. พิจารณากระแสที่ใช้งานจะใช้งานกระแสสลับหรือกระแสตรง
2. พิจารณาค่ากระแสเอาต์พุตของภาระว่ามีพิกัดเท่าไร ซึ่งอาจจะเผื่อไว้ประมาณ 25 % ของกระแสพิกัดในการออกแบบ
3. พิจารณาแรงดันที่ใช้งานที่แรงดันเท่าไร ซึ่งโดยปกติแล้วอุปกรณ์จะเผื่อไว้อยู่แล้วสำหรับการทนได้ของหน้าสัมผัส
4. พิจารณาขดลวดรีเลย์ว่าต้องการกระแสเท่าไร ซึ่งต้องจ่ายกระแสไบอัสที่เหมาะสม

ซึ่งรายละเอียดการคำนวณสวิตช์สับเปลี่ยนมีดังนี้

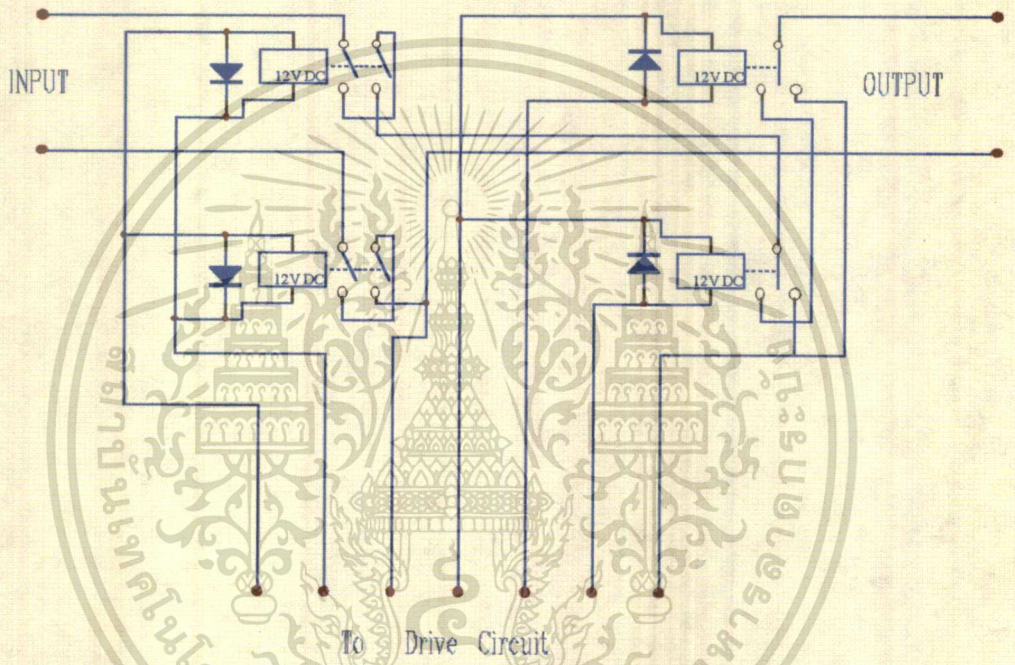
1. กระแสขั้วรีเลย์มีค่า

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R_{\text{Relay}}} \\ &= \frac{12}{450} \\ &= 25 \text{ mA} \end{aligned}$$

2. ภาระ มีพิกัดที่ 400 VA ดังนั้นกระแสเอาต์พุตเป็น

$$\begin{aligned} I_{\text{Load}} &= \frac{400}{220} \\ &= 1.81 \text{ A} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะมีพิกัดออกแบบคือ ทนกระแสได้ $1.81 \times 1.25 = 2.5 \text{ A}$ ที่ 250 Vac



รูปที่ 7.4 แสดงวงจรสวิตซ์สี่ขั้วเปลี่ยน

Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	26-Mar-1998	Sheet of
File:	A\MAY1.SCH	Drawn By:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาสาระต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 การอธิบายการทำงานของสวิทช์สับเปลี่ยนในสถานะต่างๆ

7.7.1 การตรวจสอบสถานะแรงดันไฟฟ้าปกติ

ในการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าปกติหรือผิดปกตินั้น เราจะใช้หม้อแปลงอินพุทเป็นตัวแทนตรวจสอบ ซึ่งทำการแปลงแรงดันจาก 220 โวลต์เป็น 36 โวลต์ ผ่านวงจรเรกติไฟ์และใช้ความต้านทานเป็นโวลต์เตจดิไวเดอร์ (Voltage Divider) แล้วใช้ LM 324 N แรงดันเอาต์พุทของบัฟเฟอร์จะผ่านวงจรฟิลเตอร์ ซึ่งจะเป็นแรงดันไฟตรงมีค่า 3 โวลต์ ซึ่งแรงดันนี้จะไปเปรียบเทียบกับไอซี LM 339 N ที่ขา 5 ถ้ามีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 5 จะทำให้ขาเอาต์พุทขาที่ 2 มีค่าเป็นศูนย์ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ C 1815 ไม่ทำงาน ทำให้ขา P.3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าเป็น 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำโปรแกรมในส่วนของสถานะปกติ ซึ่งจะทำการตรวจสอบโดยการวนรอบการทำงานอยู่โดยตลอด ในทางตรงข้ามถ้าไฟฟ้าผิดปกติ จะทำให้แรงดันอ้างอิงที่ขา 5 มีค่ามากกว่าขา 4 ทำให้เอาต์พุทที่ขา 2 มีค่าเป็นหนึ่ง ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน และจะดึงขา P.3 ลงกราวด์ ซึ่งเป็นผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำโปรแกรมในส่วนของไฟฟ้าผิดปกติ

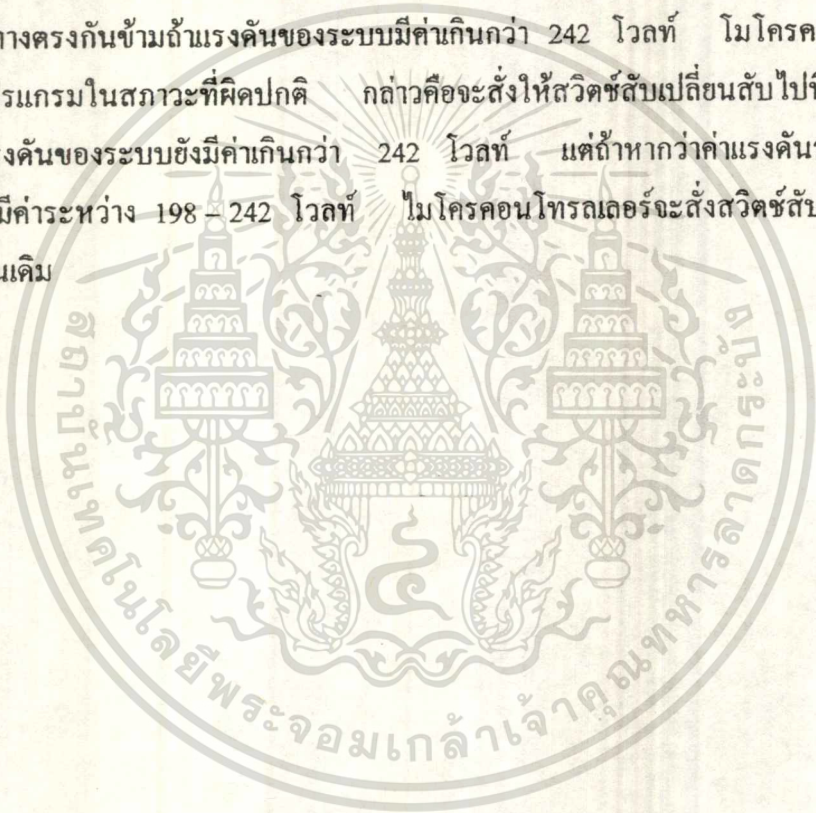
และในส่วนของแรงดันปกติได้เป็นอินพุทให้กับ ADC 0809 CCN ที่ขา iNT 0 เพื่อที่จะทำการแปลงค่าจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล และจะค่าที่แปลงเป็นดิจิตอลนี้ส่งไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก ซึ่งจะดูได้จากบทที่ 6 และรายละเอียดของไอซีเบอร์ LM 339 N

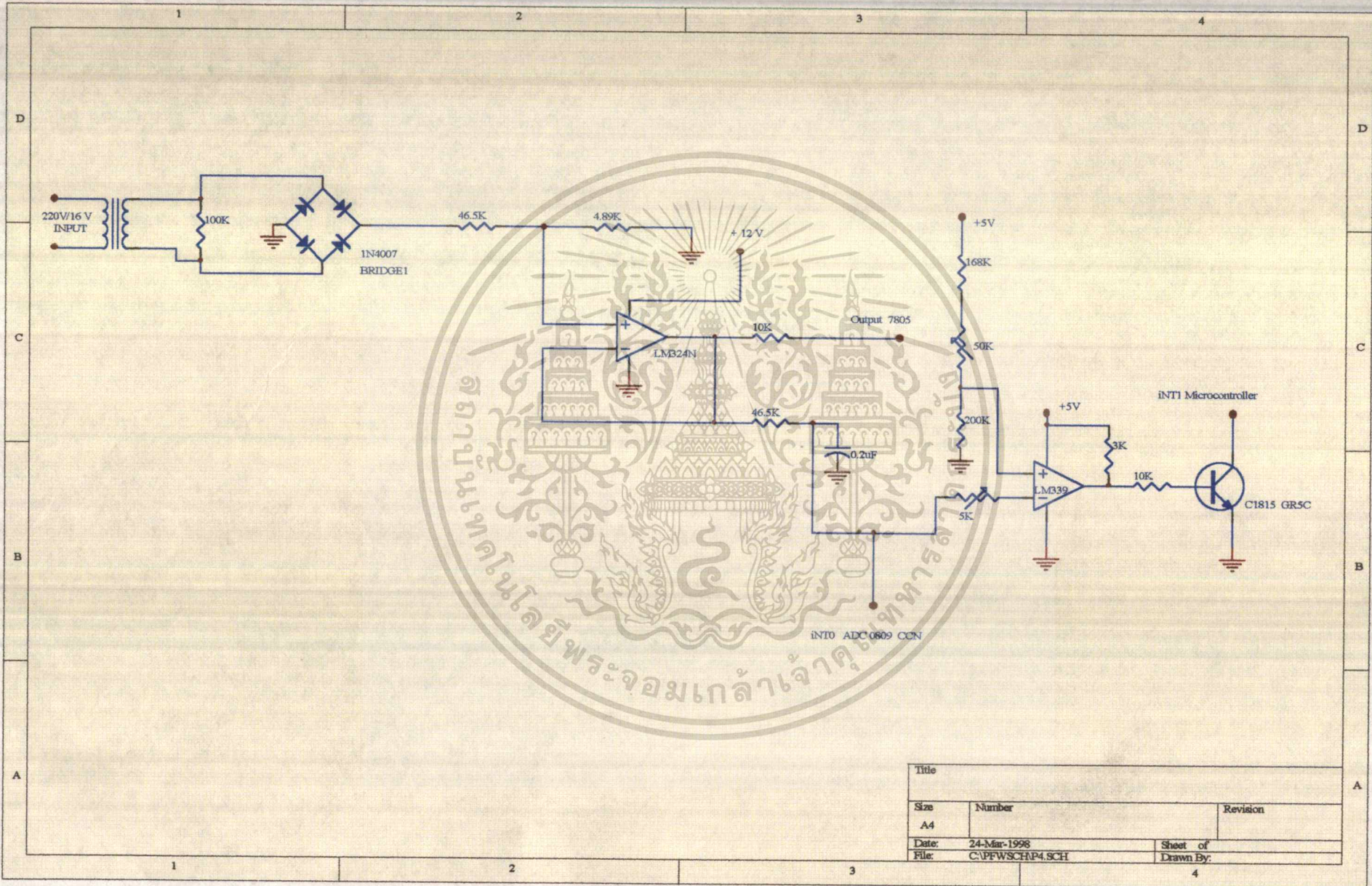
สำหรับในทั้งสองสถานะนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณไปควบคุมสวิทช์สับเปลี่ยนเพื่อทำงานได้ตรงตามสถานะที่ถูกต้องกับภาระ

7.7.2 การตรวจสอบแรงดันไฟตกและแรงดันไฟเกินของระบบ

สำหรับในการตรวจสอบของแรงดันไฟตกและไฟเกินของระบบนั้น คูได้จากรูปที่ 7.5 ซึ่งจะใช้หม้อแปลงเอาต์พุตมีแรงดันพิคค 220 / 12 โวลท์ ซึ่งเป็นตัวเดียวกันกับที่ใช้ในการอัดประจุ โดยเมื่อแรงดันเอาต์พุตผ่านวงจรเรกติไฟด์และวงจรฟิลเตอร์ ค่าของแรงดันไฟต่ำนี้จะถูกป้อนเข้าที่ขา IN1 (มีค่าต่ำกว่า 198 โวลท์) และ ADC 0809 CCN จะทำการเปลี่ยนข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล ซึ่งถ้าค่าดิจิตอลที่แปลงมาได้นี้มีค่าต่ำกว่าค่าดิจิตอลที่กำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำตามโปรแกรมในสภาวะผิดปกติ โดยสั่งให้สวิทช์สับเปลี่ยนทรานเฟอร์ไปที่อินเวอร์เตอร์ ถ้าแรงดันการไฟฟ้ามีค่าเป็นปกติที่แรงดัน 220 โวลท์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้สวิทช์สับเปลี่ยนสลับมาที่ระบบแทน เพื่อทำการจ่ายโหลด

ในทางตรงกันข้ามถ้าแรงดันของระบบมีค่าเกินกว่า 242 โวลท์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำตามโปรแกรมในสภาวะที่ผิดปกติ กล่าวคือจะสั่งให้สวิทช์สับเปลี่ยนสลับไปที่อินเวอร์เตอร์ ตรวจจับที่แรงดันของระบบยังมีค่าเกินกว่า 242 โวลท์ แต่ถ้าหากว่าค่าแรงดันระบบมีค่าเป็นปกติแล้วคือมีค่าระหว่าง 198 - 242 โวลท์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งสวิทช์สับเปลี่ยนสลับเข้าระบบเหมือนเดิม





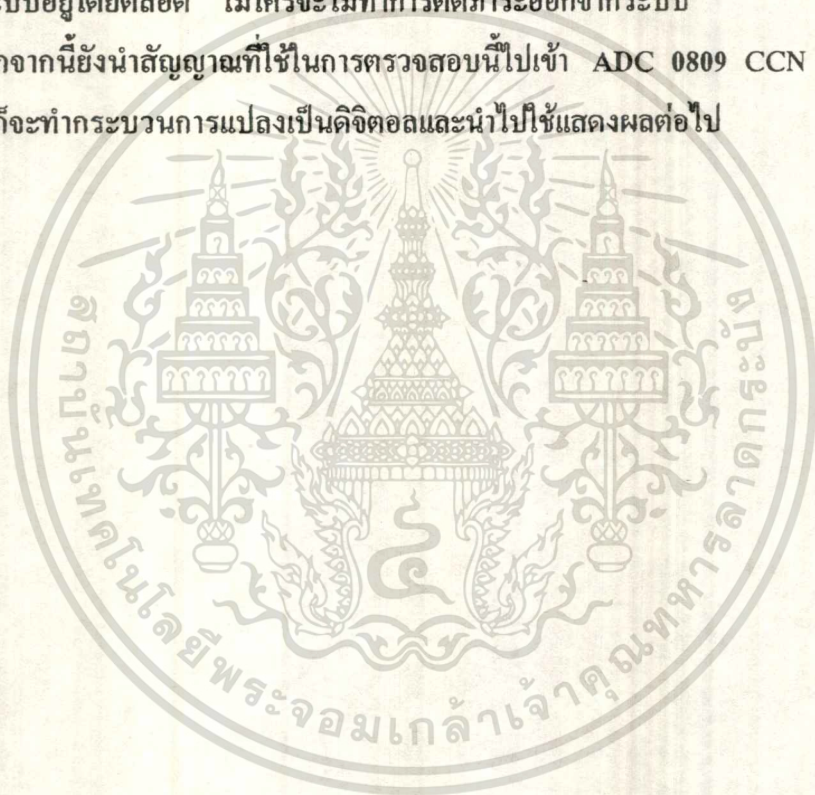
รูปที่ 7.5 แสดงการตรวจสอบแรงดันไฟตกและแรงดันไฟเกินของระบบ

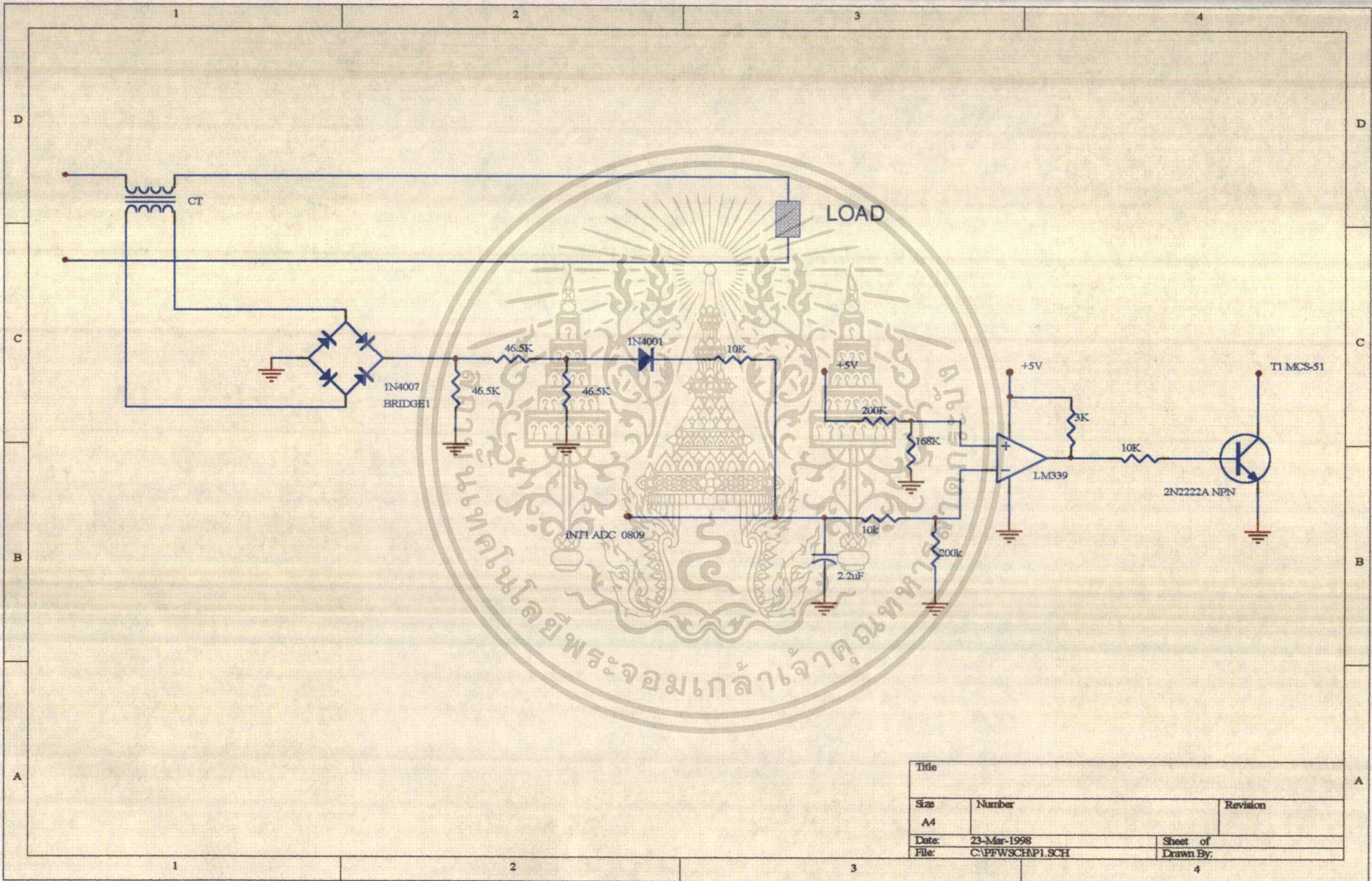
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	24-Mar-1998	Sheet of
File:	C:\PFWSCH\P4.SCH	Drawn By:

7.7.3 การตรวจจับกระแสไฟฟ้ามีค่าเกินปกติ

ในส่วนของการตรวจสอบสถานะของกระแสจะใช้หม้อแปลงกระแส (C.T.) จะผ่านวงจรเรกติไฟเออร์และฟิลเตอร์ แรงดันไฟตรงที่ได้จะไปเข้าขา 4 ของ LM 339 ตัวที่ 2 โดยถ้าค่าสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ 2N2222A ไม่ทำงาน ทำให้ขา P 3.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าเป็น 1 โปรแกรมจะตัดภาระออกจากระบบทันที จะไม่ทำการหน่วงเวลาไว้ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยกลับกันถ้าค่าสัญญาณมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันอ้างอิง จะทำให้ทรานซิสเตอร์ 2N2222A ทำงาน ทำให้ขา P 3.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าเป็น 0 เพราะถูกดึงลงกราวด์ตลอดซึ่งหมายความว่า ภาระจะยังรับกำลังไฟฟ้าจากระบบอยู่โดยตลอด ไมโครจะไม่ทำการตัดภาระออกจากระบบ

นอกจากนี้ยังนำสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบนี้ไปเข้า ADC 0809 CCN ที่ขา INT 4 และจากนั้นก็ทำการบวกรวมการแปลงเป็นดิจิตอลและนำไปใช้แสดงผลต่อไป





Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	23-Mar-1998	Sheet of
File:	C:\PFWSCHAP1.SCH	Drawn By:

รูปที่ 7.6 แสดงการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเกินพิกัด

7.8 การทำงานของวงจรขับที่ออกแบบ

ในการควบคุมการทำงานโดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในวงจรที่ต้องการกระแสสูงจะเป็นอันตรายอย่างยิ่ง หากไม่มีการป้องกันหรือเป็นกันชน (Buffer) ซึ่งในโครงการนี้จำเป็นจะต้องใช้ NOT GATE เพื่อเป็นตัวขับวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะปลอดภัยยิ่งขึ้น

สำหรับการทำงานจะอธิบายได้ว่า เมื่อสภาวะปกติที่ขา 9 และขา 11 จะมีค่าเป็น 1 โดยรับมาจากขา P15 และ P14 จากไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลำดับ ส่วนขา 8 กับขา 10 ของ NOT GATE จะมีค่าเป็น 0 เมื่อขา 8 และ 10 เป็น 0 จะทำให้สัญญาณขับเป็นศูนย์ทันทีเท่ากับว่าเป็นการคั่งขงทลงกราวด์ ซึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์ไม่มีทางทำงานได้เลย ซึ่งจะป้องกันการลัดวงจรของอินเวอร์เตอร์ได้

ส่วนสวิทช์สับเปลี่ยนในสภาวะปกติ นั้น รีเลย์ทุกตัวจะทำงานโดยทรานซิสเตอร์ C 1815 ทั้ง 3 ตัว ซึ่งเป็นตัวขับสวิทช์สับเปลี่ยนนั่นเอง

เมื่อไฟฟ้าของระบบเกิดการดับ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสร้างพัลส์เป็นรูป square wave ส่งไปยังวงจรขับ โดยใช้ NOT GATE เบอร์ HD 7406 เป็นตัวขับ โดยในช่วงที่ พัลส์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็น LOW เอาท์พุทของ NOT GATE จะเป็น High ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์ทำงาน โดยจะทำการจ่ายภาระแทนระบบ ซึ่งขา 8 และ 10 จะสลับกันทำงานครั้งคาบ ส่วนรีเลย์จะทำงานเพียง 2 ตัวเท่านั้น ซึ่งจะตัดระบบออก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานสอดคล้องกันทุกกระบวนการ ซึ่งหากว่ามีส่วนใดผิดพลาดระบบจะเสียหายได้

โดยในสภาวะผิดปกติออกจะดังสลับกันเป็นเวลา 1 วินาที เพื่อเตือนให้ผู้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้น

โดยรูปวงจรถับ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.7

7.9 ADC 0809 CCN

ADC เป็นไอซีสำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะมีช่องสัญญาณอินพุตจำนวน 8 ช่องที่เป็นอนาล็อก ส่วนเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณดิจิทัลมีจำนวนช่องสัญญาณ 8 ช่องเช่นกัน หรือจะเรียกว่า 8 บิตก็ได้

จากรูปวงจร ADC 0809 CCN จะเห็นได้ว่าต้องมีสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) เป็นอินพุตให้กับ ADC เนื่องจาก ADC จะทำงานโดยอาศัยช่วงเวลาในการปฏิบัติการ ซึ่งก็มีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ต่างๆ โดยอุปกรณ์ที่ง่ายที่สุดในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ก็คือ 555 ซึ่งจะมีสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 เข้าที่ขา 10 ของ ADC โดยความถี่ที่กำเนิดนั้นจะมีค่าดังสมการ

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (5.)$$

ซึ่งในการออกแบบค่าความถี่ใช้งานนั้น ยังใช้ค่าความถี่มากเท่าไร เวลาในการทำงานของอุปกรณ์ ADC ก็จะมีน้อยลงเท่านั้น แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือมีการผิดพลาด (error) เกิดขึ้น คือค่าสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้า ADC นั้นจะมีค่าแตกต่างเมื่อเทียบกับอินพุตที่คำนวณได้ ซึ่งจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การผิดพลาด (Percent Error) โดยจะสามารถคิดได้จาก

$$V_{in}(\text{Calculate}) = V_{cc} \left(\frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right) \quad (5.)$$

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

ซึ่งในโครงการนี้จะใช้สัญญาณอินพุตอนาล็อก (V_{in}) ทั้งหมด 5 สัญญาณ คือ

1. สัญญาณแรงดันอินพุต
2. สัญญาณแรงดันเอาต์พุต
3. สัญญาณความถี่อินพุต
4. สัญญาณแรงดันแบตเตอรี่
5. สัญญาณกระแสแบตเตอรี่

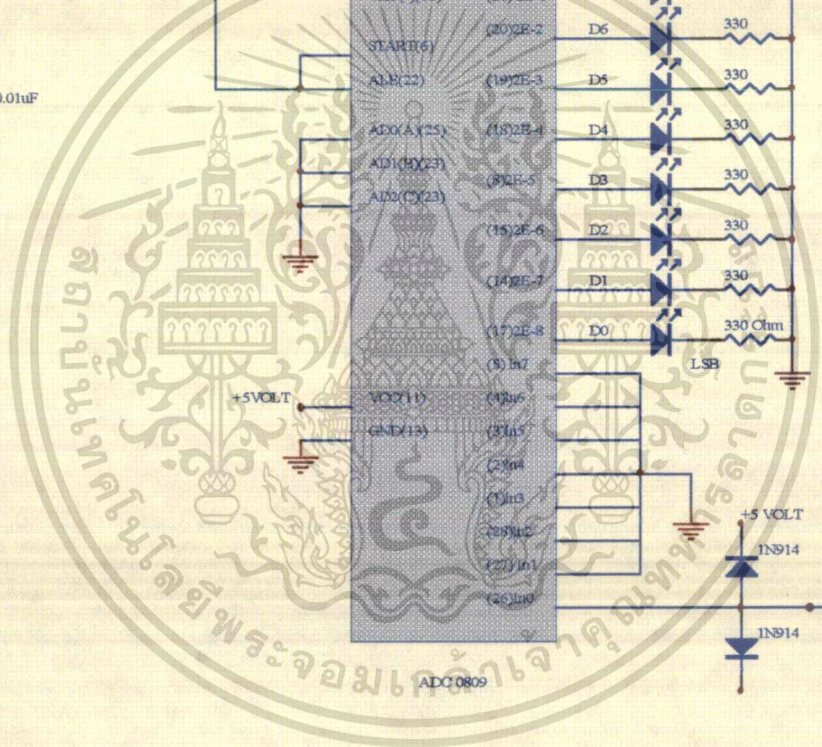
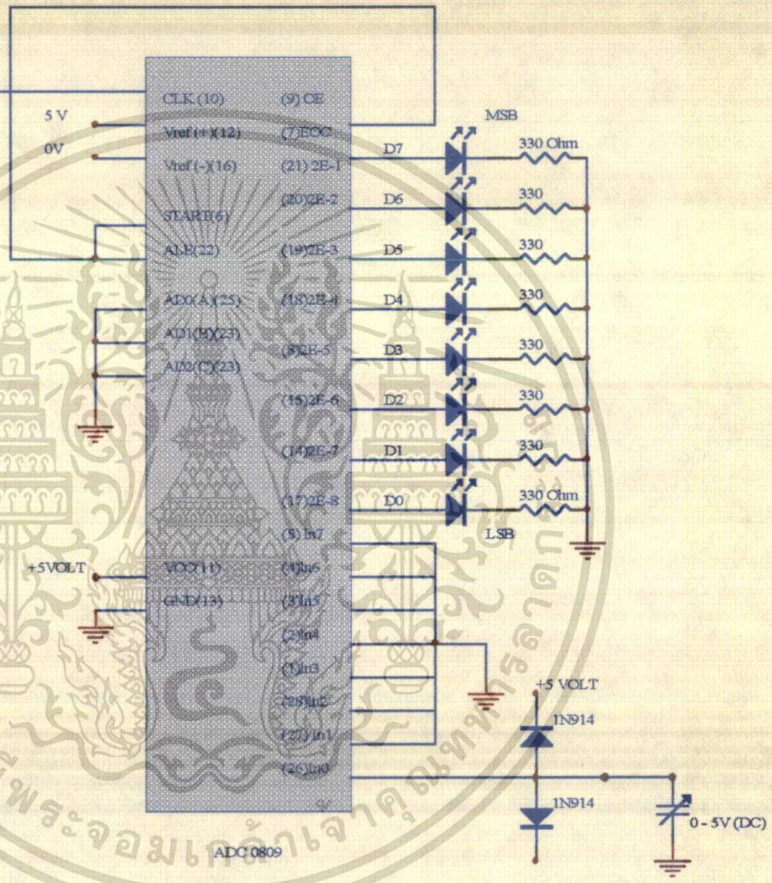
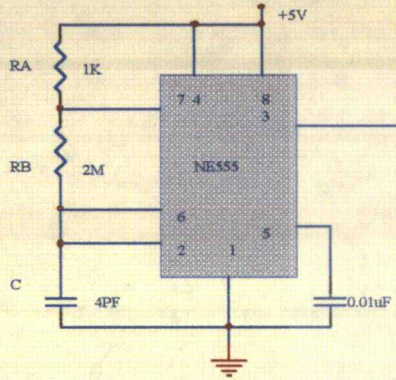
สำหรับ % Error จะพิจารณาได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

Vin (Volt)	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Vin calculate	% Error
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	0	0	1	1	1	1	1	1	1.230	1.6
1.5	0	1	0	0	1	1	0	0	1.480	1.33
2.0	0	1	1	0	0	1	1	0	1.953	2.35
2.5	0	1	1	1	1	1	1	1	2.480	0.8
3.0	1	0	0	1	1	0	0	1	2.988	0.67
3.5	1	0	1	1	0	0	1	0	3.476	0.685
4.0	1	1	0	0	1	1	0	0	3.984	0.4
4.5	1	1	1	0	0	1	1	0	4.492	0.17
5.0	1	1	1	1	1	1	1	1	4.980	0.4

จกตารางจะเห็นได้ว่า % Error จะเกิดขึ้นเสมอ แม้กระทั่งที่แรงดันอินพุตเท่ากับแรงดันที่ป้อนที่ 5 โวลต์ ก็ตาม จึงสามารถที่จะสรุปได้ว่าอุปกรณ์ ADC ยังมีความผิดพลาดในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 2 3 4



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	10-Apr-1998	Sheet of
File:	A:\PJ3.SCH	Drawn By:

1 2 3 4

การออกแบบในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

7.10 การออกแบบรูปคลื่นสัญญาณขับ

ในการกำหนดสัญญาณรูปคลื่นที่จะนำไปใช้ขับให้กับ มอเตอร์นั้น เราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น ตัว สร้างพัลส์ ไปขับให้ NOT GATE และ จากเอาต์พุตของ NOT GATE จะไปขับให้กับ มอเตอร์ ขาของ NOT GATE ที่ใช้ในการนำไปขับให้กับ มอเตอร์ คือ ขา 8, 10 และขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการสร้างพัลส์คือ ขา P1.4 และ ขา P1.5 โดยหลักในการสร้างพัลส์ให้กับวงจร พุช-พูล นั้น มอเตอร์ทั้งสองตัวจะไม่ทำงานพร้อมกัน แต่จะสลับกันในการทำงาน ดังนั้น ถ้า ขา P1.4 เป็น HIGH ขา P1.5 ก็จะต้องเป็น LOW ในทางตรงกันข้ามถ้า ขา P1.4 เป็น LOW ขา P1.5 ก็จะต้องเป็น HIGH ในการทำให้ ขา P1.4 และ ขา P1.5 เป็น HIGH หรือ LOW นั้น เราสามารถที่จะทำได้โดยใช้คำสั่ง SETB หรือ CLR และใช้ประกอบกับ วงจรหน่วงเวลา พัลส์ที่ใช้ขับนี้สามารถที่จะหัดเข้า หรือ ขยายออกได้ตาม แรงดันเอาต์พุตของ โหลด กล่าวคือ ถ้าในช่วงสภาวะสถิตปกติ ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำกว่า 220 v พัลส์ที่ถูกสร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขยาย ออกเพื่อที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตของโหลดมีค่าคงที่ ในทางตรงกันข้ามถ้า แรงดันเอาต์พุตของโหลดมีค่ามากกว่า 220 v พัลส์ก็จะทำการหัดเข้า เพื่อที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตของ โหลดมีค่าคงที่

สำหรับพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นมานี้จะอาศัยหลักการหน่วงเวลาแบบ 2 LOOP โดยที่พัลส์สามารถที่จะหัดเข้าหรือขยายออกได้ตามแรงดันของเอาต์พุตของโหลด สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณในการหน่วงเวลาดัง ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4 ซึ่งสามารถที่จะแสดงได้ดังนี้

$$\text{จำนวน Machine cycle} = 3 + R1 \{ 3 + R0(2) \} \times 1.085 \quad \mu\text{S}$$

ค่า R1 และ ค่า R0 คือค่าเวลาที่ต้องการหน่วงเวลา ซึ่งในโครงการนี้ ค่า R1 เราจะใส่ไว้เป็นค่าคงที่ สำหรับค่า R0 จะกำหนดไว้เป็นตัวแปร PULSE_ON ซึ่งค่าในตัวแปร PULSE_ON สามารถที่จะแปรค่าได้ ตามค่าแรงดันของเอาต์พุตเพื่อที่จะให้แรงดันเอาต์พุตของโหลดมีค่าคงที่

$$\text{เช่น ที่ } 100 \text{ w} \quad \text{ค่า R1 มีค่า} = 230$$

$$\text{ค่า R0} = \text{PULSE_ON} = 6$$

เราสามารถคำนวณค่าเวลาที่หน่วงได้ดังนี้

$$\text{ค่าเวลาที่หน่วง} = \text{จำนวน Machine Cycle} = 3 + 230 \{ 3 + 5(2) \} \times 1.085 \quad \mu\text{S}$$

$$\text{ค่าเวลาที่หน่วง} = 4 \text{ mS}$$

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเวลาที่ OFF จะมีค่า = 4 ms

ดังนั้น พัลส์ที่ถูกสร้างโดย บิท P1.4 จะมีช่วงในการ Turn-On = 6 ms

จะมีช่วงในการ Turn-off = 4 ms

สำหรับพัลส์ที่ บิท P1.5 จะเกิดขึ้นตามหลังของ บิท P1.4 เป็นเวลา 10 Ms คือ จะมีระยะห่างระหว่างพัลส์ HIGH = 4 ms สำหรับโหนดค่าอื่นๆ ก็จะมีการทำงานที่เหมือนกันเพียงแต่จะต่างกันตรงที่ในช่วงเวลา Turn-on และ Turn-off โดยถ้าโหนดมีค่ามากขึ้นช่วงเวลาในการ Turn-on จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และช่วงเวลาในการ Turn-off จะมีค่าน้อยลง เพื่อที่จะรักษาคาบเวลาให้มีค่าคงที่ที่ 20 ms คือความถี่เท่ากับ 50 Hz ตลอดไปไม่ว่าโหนดจะมีค่ามากหรือน้อยเท่าไรก็ตาม



การออกแบบในส่วนของส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์

7.11 การออกแบบจอภาพหรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ในการออกแบบจอภาพหรือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในโครงการนี้จะมีอยู่ 5 จอภาพด้วยกันคือ

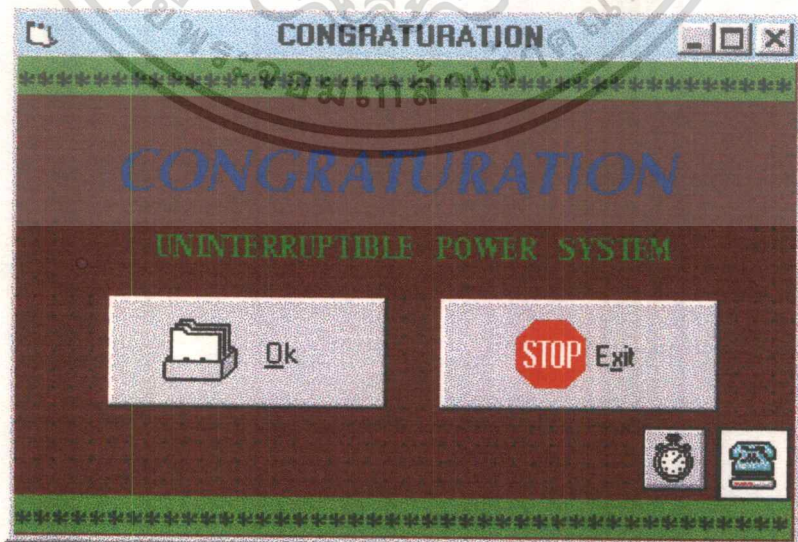
1. จอภาพแสดงการต้อนรับการใช้โปรแกรมแสดงผล (EE6. FRM)
2. จอภาพแสดงเมนูที่ต้องการเลือกการแสดงผล (EE1. FRM)
3. จอภาพแสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (EE2. FRM)
4. จอภาพแสดงผล ซึ่งจะแสดงผลอยู่ในรูปกราฟฟิกของมาตรวัดแบบเข็ม (EE3. FRM)
5. จอภาพแสดงผล ซึ่งจะแสดงผลอยู่ในรูปกราฟฟิกของมาตรวัดแบบแถบ (EE5. FRM)

1. จอภาพแสดงการต้อนรับการใช้โปรแกรมแสดงผล

เป็นรูปแบบจอภาพเริ่มแรกสุดที่จะแสดงให้ผู้ใช้งาน ได้เริ่มต้นเข้าสู่ผลงานทางกราฟฟิก โดยเป็นแอปพลิเคชันของวิชวลเบสิก โดยแนวทางเริ่มต้นในการออกแบบจะต้องเป็นจุดที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เพราะเป็นจุดแรกๆ ที่ผู้ใช้งานจะได้สัมผัส โดยจะแสดงเป็นอันดับแรกเสมอเมื่อผู้ใช้ทำการเรียกใช้งาน โดยมีปุ่มควบคุม 2 ปุ่มคือ

1. ปุ่ม OK เพื่อเข้าสู่หน้าจอเมนู
2. ปุ่ม Exit เพื่อออกจากโปรแกรม

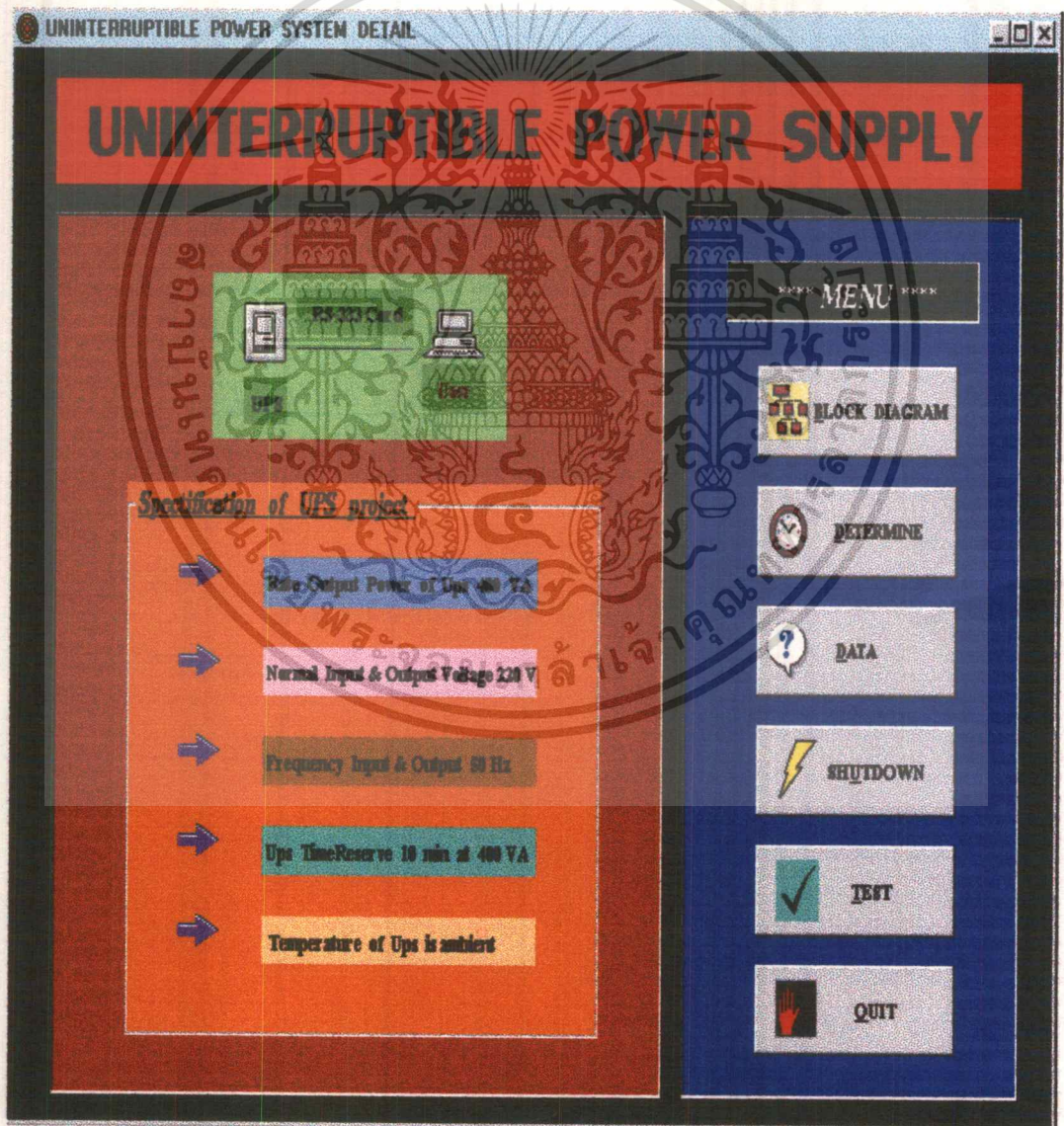
ซึ่งจะแสดงได้ดังรูป



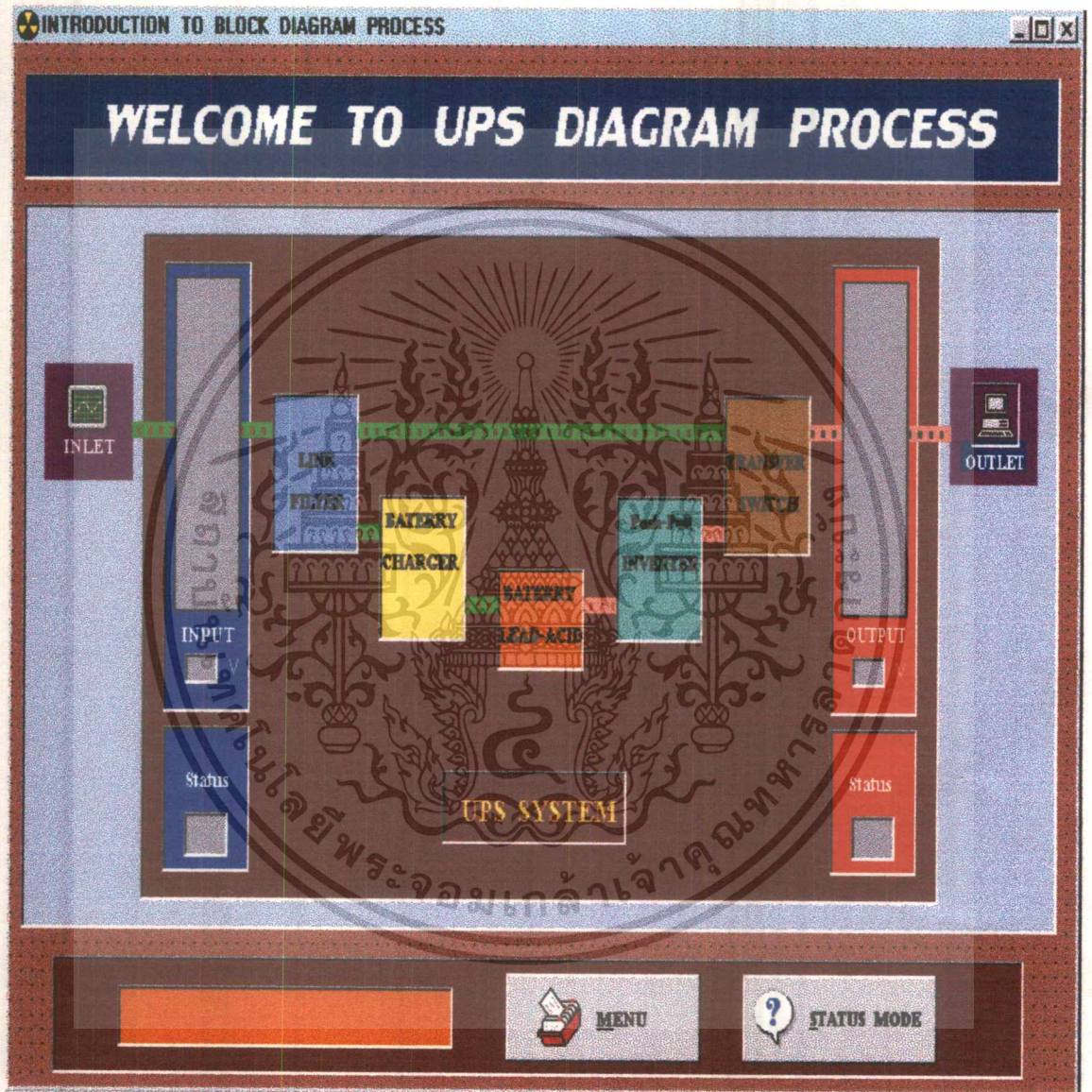
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 7.8 แสดงจอภาพแสดงการต้อนรับการใช้โปรแกรมแสดงผล
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จอภาพแสดงเมนูที่ต้องการเลือกการแสดงผล

เป็นจอภาพที่ 2 หลังจากที่ผู้ใช้ทำการคลิกตกลงแล้ว โดยจะเป็นการให้ผู้ใช้งานเลือกที่จะดูการประมวลผล ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 6 ปุ่มทำงาน สามารถเลือกดูการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการ และปุ่มควบคุมการสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (Ups) ทำการปิดตัวเองได้ (Shutdown) ซึ่งจะอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยในปุ่มทดสอบ (Test) จะเป็นการทดสอบยูทิลิตี้ว่าใช้งานได้ตามปกติหรือไม่ ส่วนปุ่ม Shutdown จะเป็นการตั้งเวลาให้กับยูทิลิตี้ในการที่จะปิดการทำงานของตัวเอง สำหรับปุ่มยกเลิกใช้งานจะเป็นการให้ผู้ใช้งานออกจากจอภาพเมนูนี้ เพื่อต้องการที่จะเลิกใช้งาน โดยรูปแบบจอภาพเป็นดังรูป

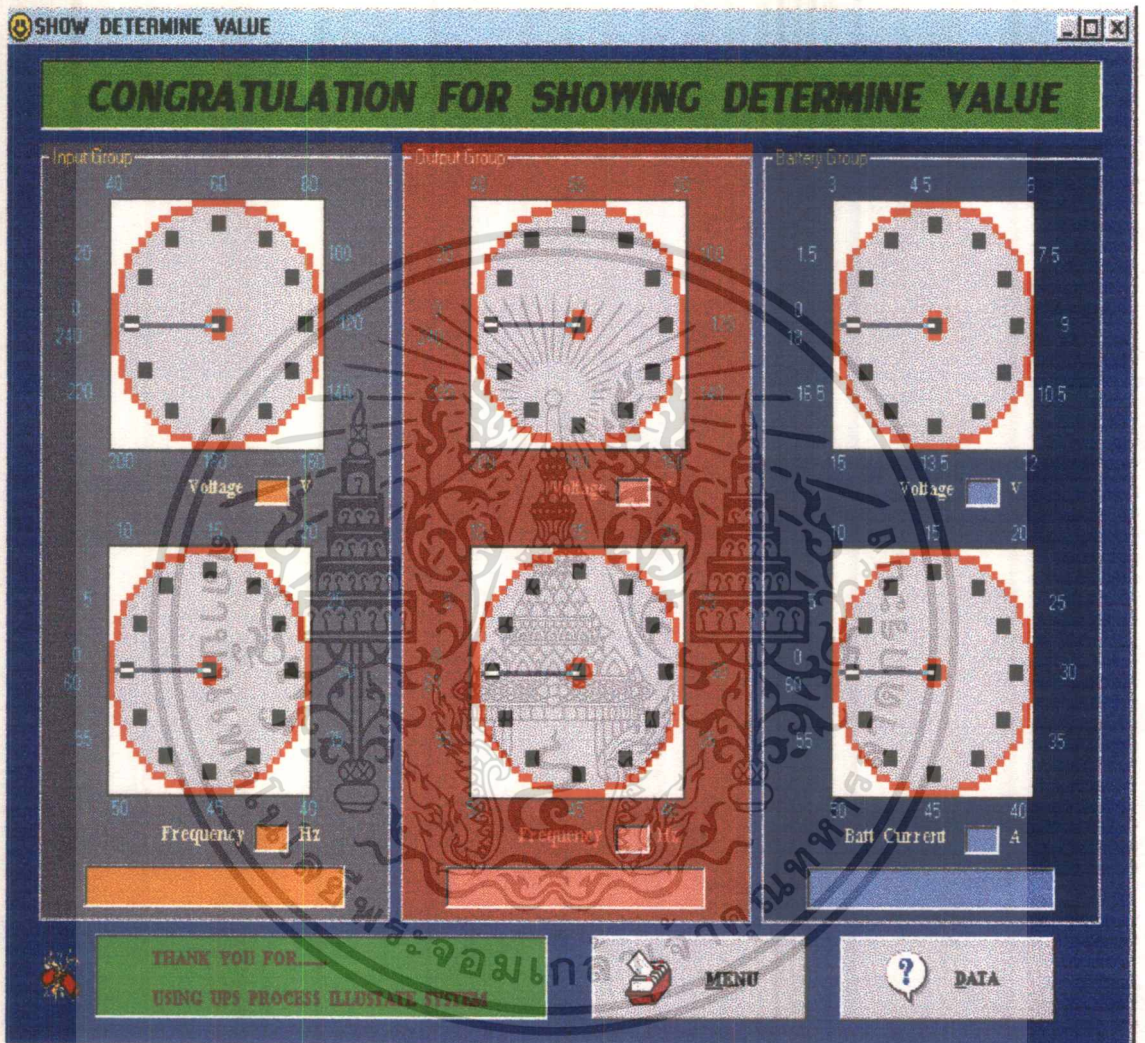


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานที่มอบหมายให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



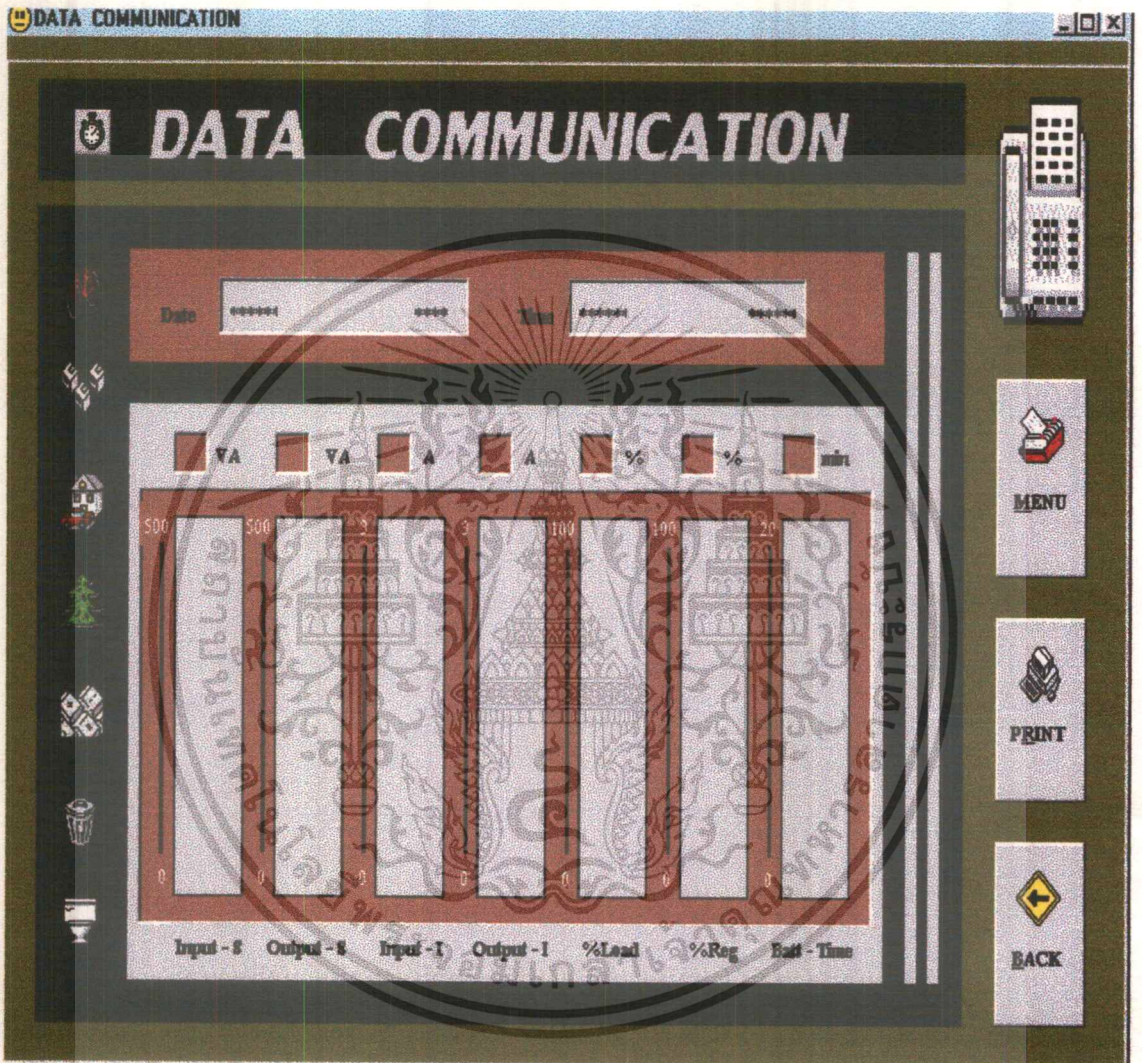
รูปที่ 7.10 แสดงสถานะการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.11 แสดงจอภาพแสดงผลที่ประมวลได้ โดยแสดงผลอยู่ในรูปกราฟฟิกของมาตรวัดแบบเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.12 แสดงจอภาพแสดงผล ซึ่งจะแสดงผลอยู่ในรูปกราฟฟิคของมาตรวัดแบบแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองในโครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (UPS) นี้ จะแบ่งผลออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ผลการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยจะแสดงผลการทดลองและรูปคลื่นสัญญาณในส่วนทั่ว ๆ ไปทั้งในสภาวะปกติและผิดปกติ เช่น

- รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเปรียบเทียบกัน ขณะไม่มีภาระ
- รูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเปรียบเทียบกัน ขณะมีภาระ
- ฯลฯ

2. ผลการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะแสดงรูปคลื่นสัญญาณการขับเคลื่อนอินเวอร์เตอร์ทั้งในสภาวะปกติและผิดปกติ เช่น

- รูปคลื่นสัญญาณอินพุตของระบบการไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์
- รูปคลื่นสัญญาณขับเคลื่อนอินเวอร์เตอร์ สัญญาณมีค่าเป็นศูนย์
- รูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขับเคลื่อนอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระค่าต่างๆ
- ฯลฯ

3. ผลการทดลองในส่วนของโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic Program) ซึ่งจะแสดงผลการทดลองการรับค่าอินพุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงภาพหน้าจอในขณะทำงานทั้งหมดทั้งในสภาวะที่ปกติและผิดปกติ เช่น

- รูปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ โดยแสดงการต้อนรับผู้ใช้งาน
- รูปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ โดยแสดงเมนูการเลือกใช้งาน
- รูปแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าจากระบบ โดยยกตัวอย่างที่ภาระ 100 VA PF 1.0
- ฯลฯ

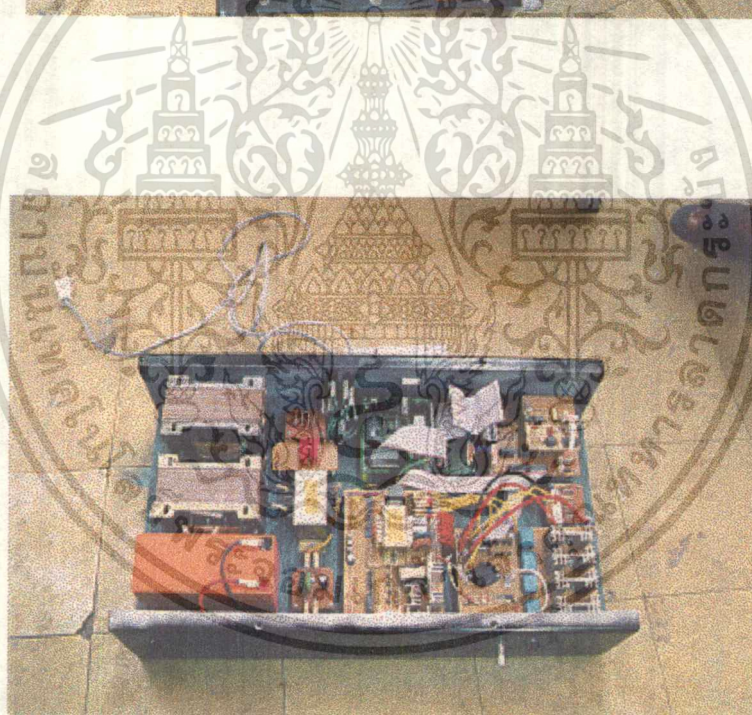
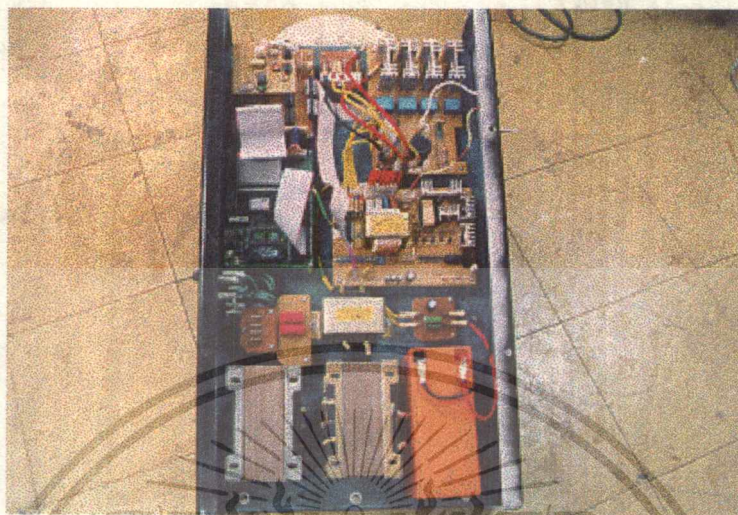
การทดลองโปรเจกต์แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง

จุดประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อทดลองเครื่องต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้นมา
2. เพื่อทำการจ่ายภาระได้ในสภาวะปกติและผิดปกติ
3. เปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นกับความเป็นจริง
4. เพื่อรวบรวมผลการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

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



รูปที่ 8.1 แสดงรูปแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวงจรการทดลองโครงการแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง



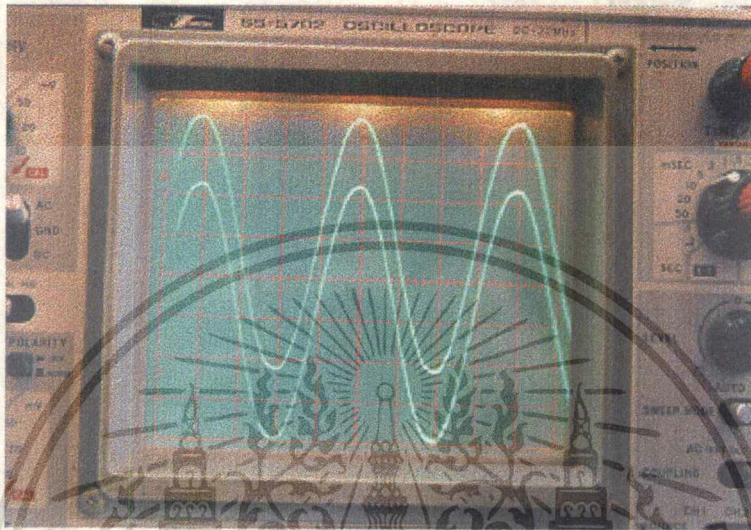
รูปที่ 8.2 แสดงรูปแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

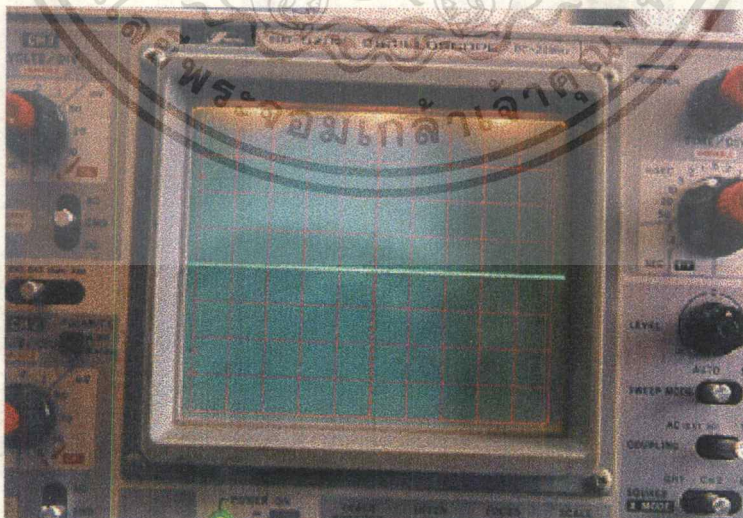
8.1 ผลการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์

(Experiment of hardware)

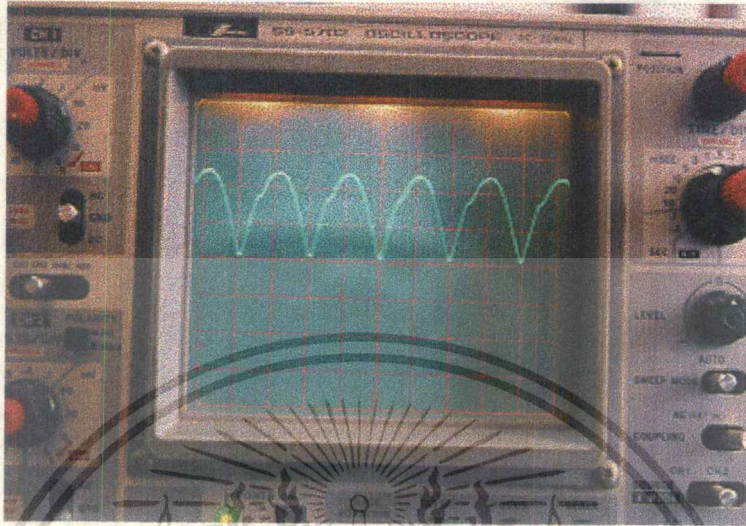
1.1 ในสภาวะปกติภาระได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า



รูปที่ 8.3 แสดงรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุตเปรียบเทียบกันในสภาวะปกติ ขณะมีและไม่มีภาระ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 8.4 แสดงรูปสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบแรงดันปกติให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่บนสื่อออนไลน์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

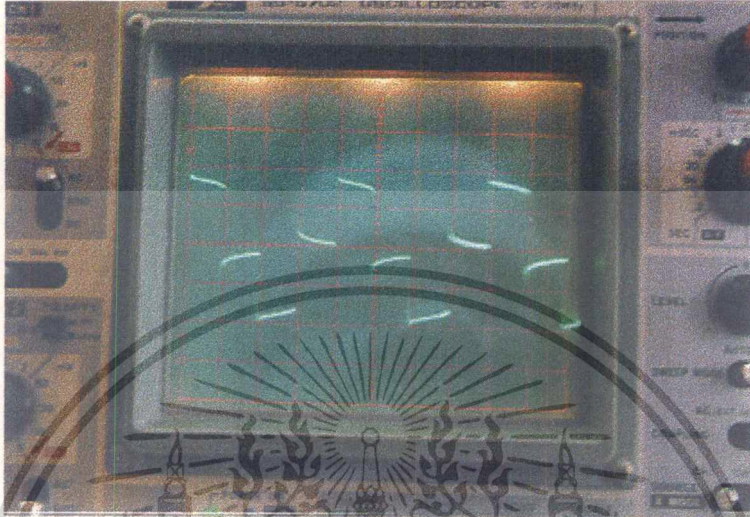


รูปที่ 8.5 แสดงรูปสัญญาณที่ป้อนให้กับอินพุทของ LM 317T โดยยังไม่ผ่านฟิลเตอร์

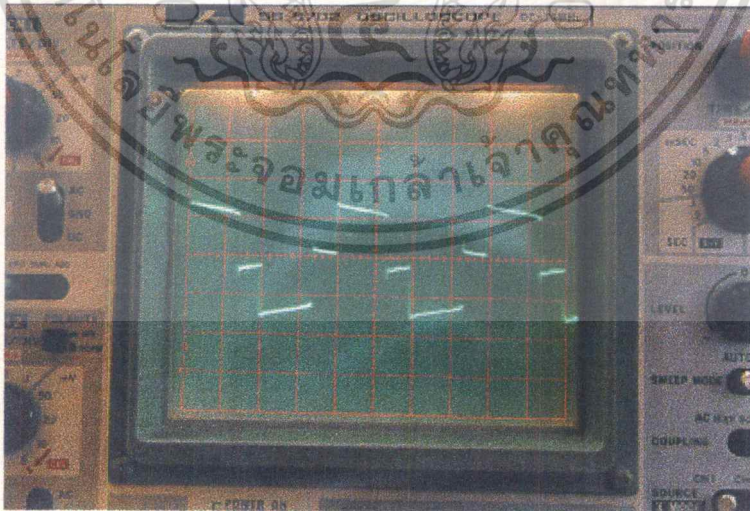


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 8.6 แสดงรูปสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะปกติให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปใช้

1.2 ในสถานะผิดปกติภาระได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์

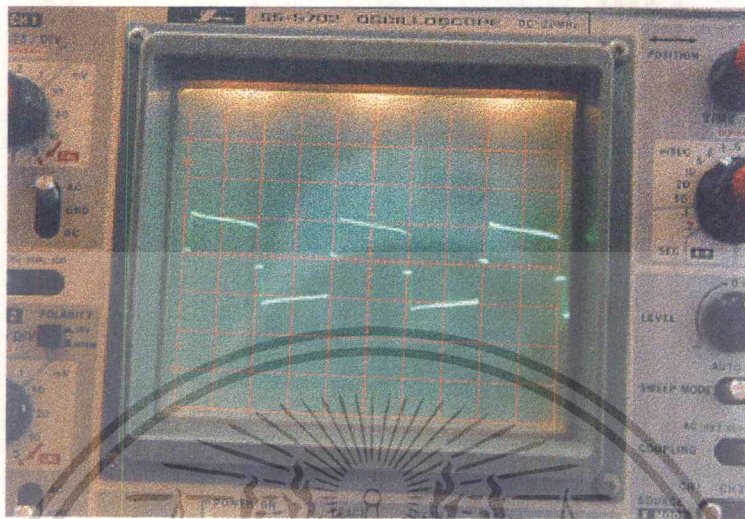


รูปที่ 8.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 100 VA PF 1.0

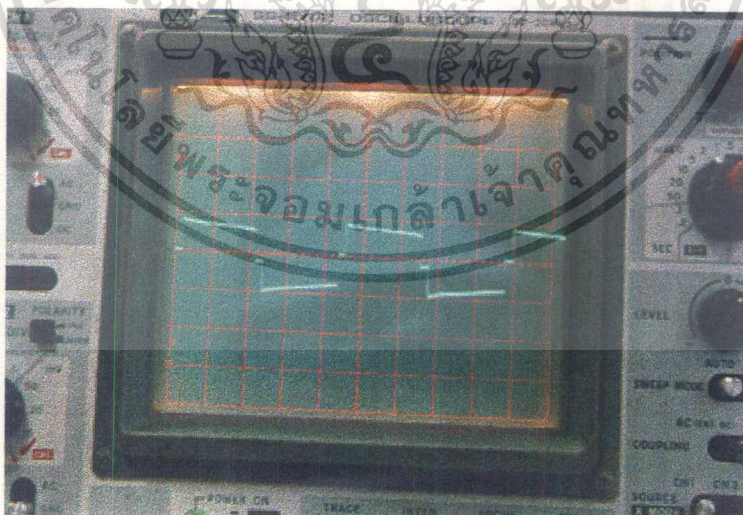


รูปที่ 8.8 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 200 VA PF 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

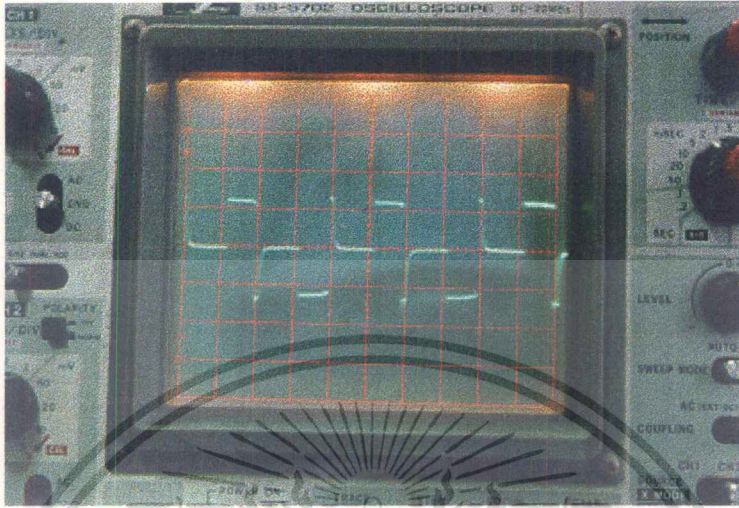


รูปที่ 8.9 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 300 VA PF 1.0

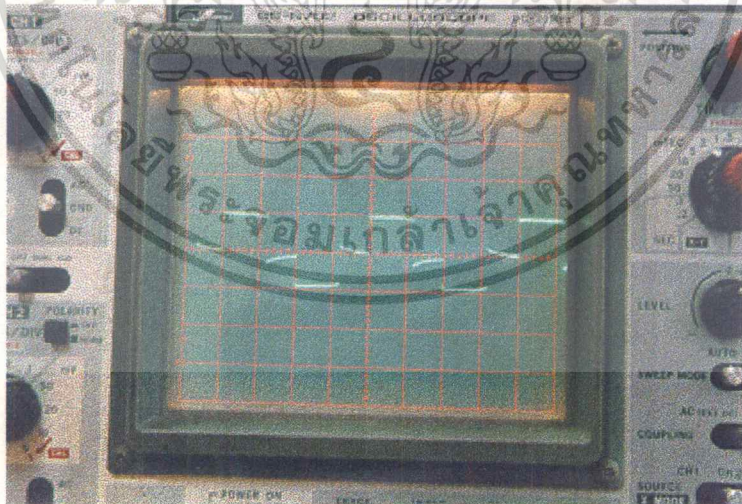


รูปที่ 8.10 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 400 VA PF 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

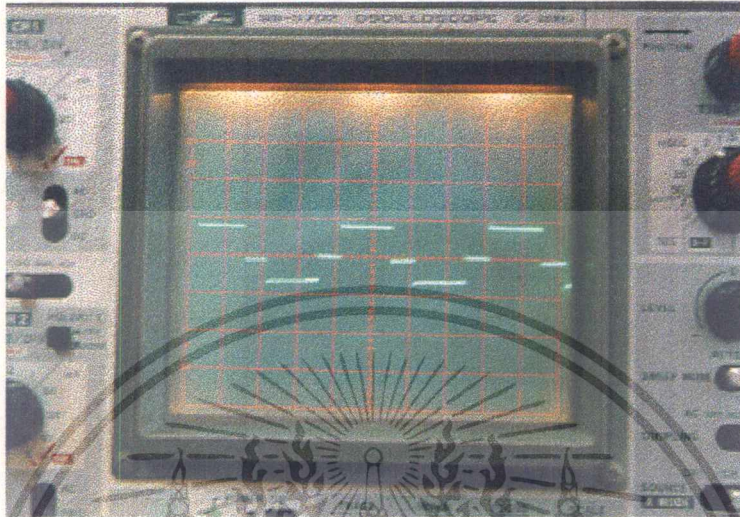


รูปที่ 8.11 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากอินเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีภาระ



รูปที่ 8.12 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุตของอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 100 VA PF 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.13 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุทของอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 200 VA PF 1.0

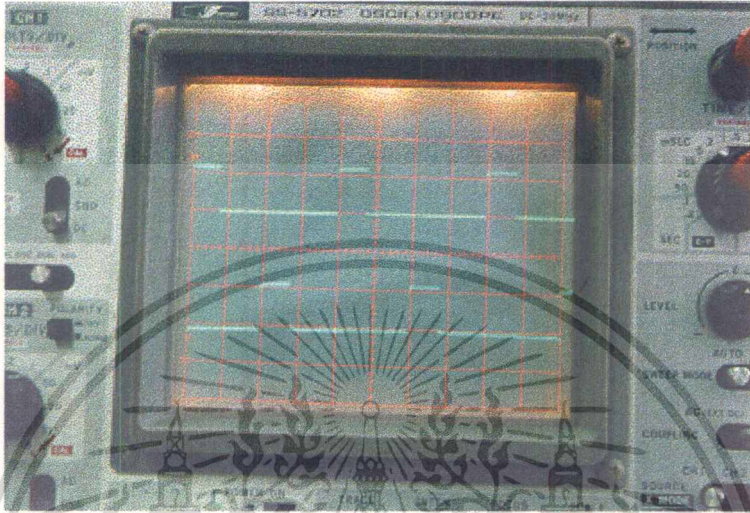


รูปที่ 8.14 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุทของอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 300 VA PF 1.0

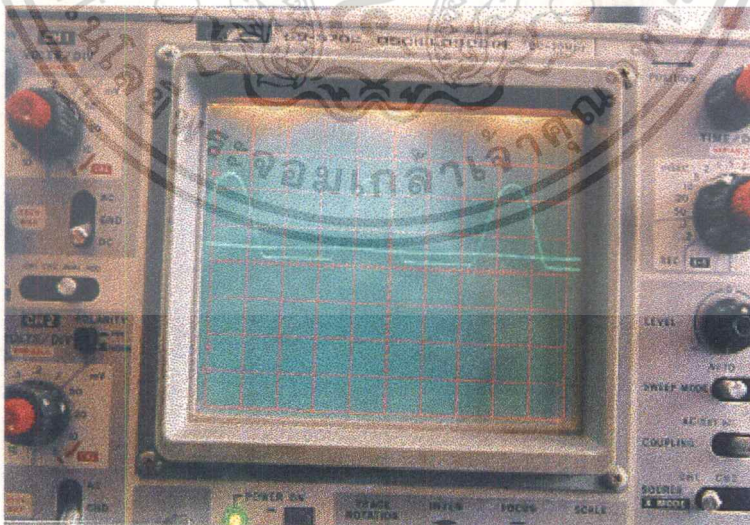
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

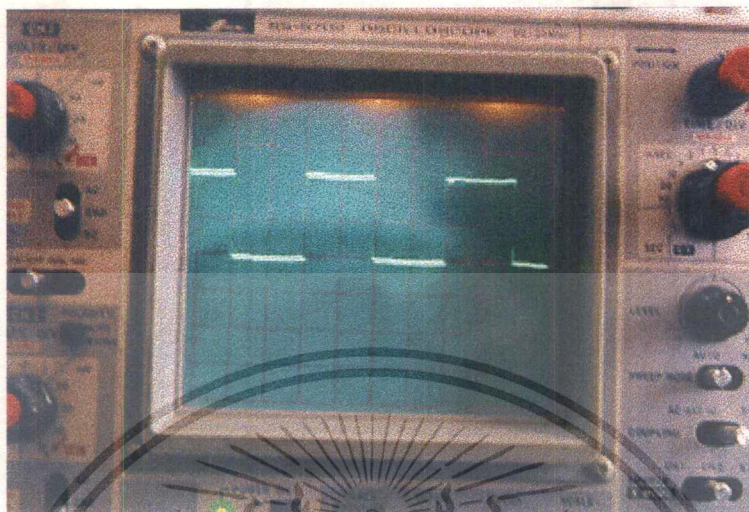
2.1 ในสภาวะปกติการะได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากระบบกรไฟฟ้า



รูปที่ 8.15 แสดงรูปคลื่นสัญญาณขั้ววงจรอินเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีภาระ

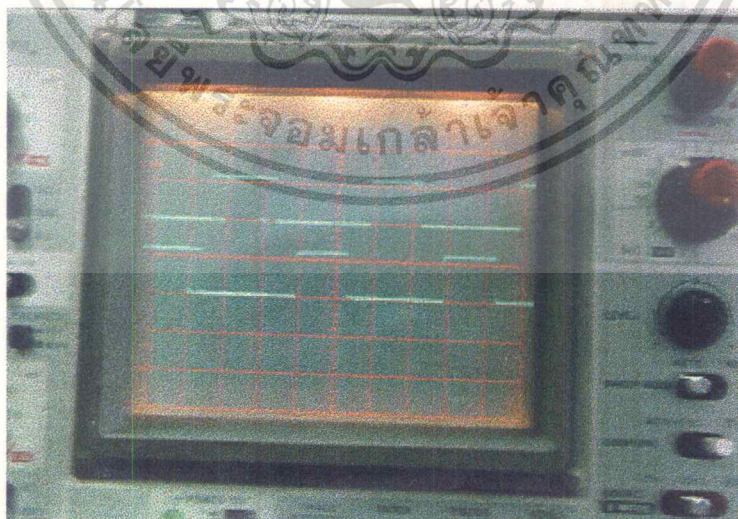


รูปที่ 8.16 แสดงรูปคลื่นสัญญาณ 2 อินพุตที่นำมาเปรียบเทียบกันของ LM324 N ด้านการค้ำ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีเงื่อนไขการใช้งานอื่น ๆ ไม่สามารถนำเอกสารไปเผยแพร่หรือใช้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.17 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของ LM 324 N

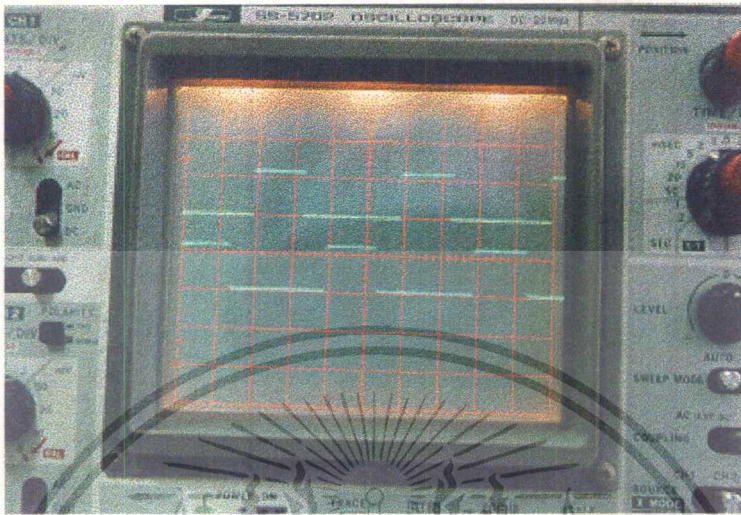
2.2 ในสภาวะผิดปกติ ภาระได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 8.18 แสดงสัญญาณผิดปกติที่เกิดขึ้นที่ขาอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 100 VA PF 1.0

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

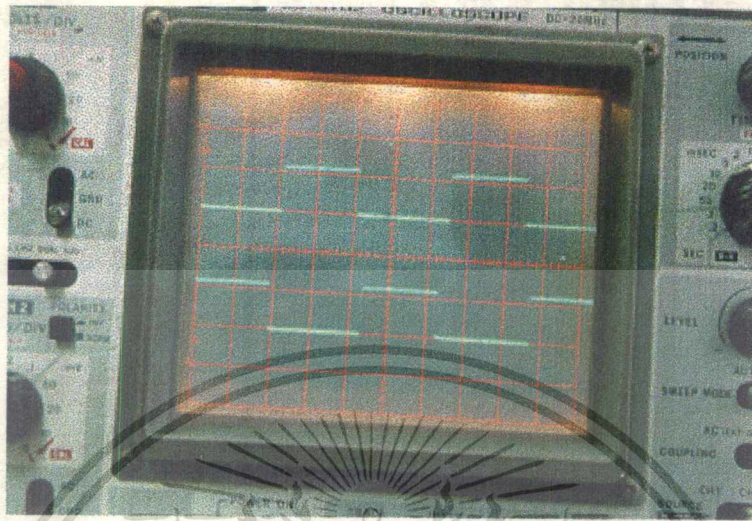


รูปที่ 8.19 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขั้ววงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 200 VA PF 1.0

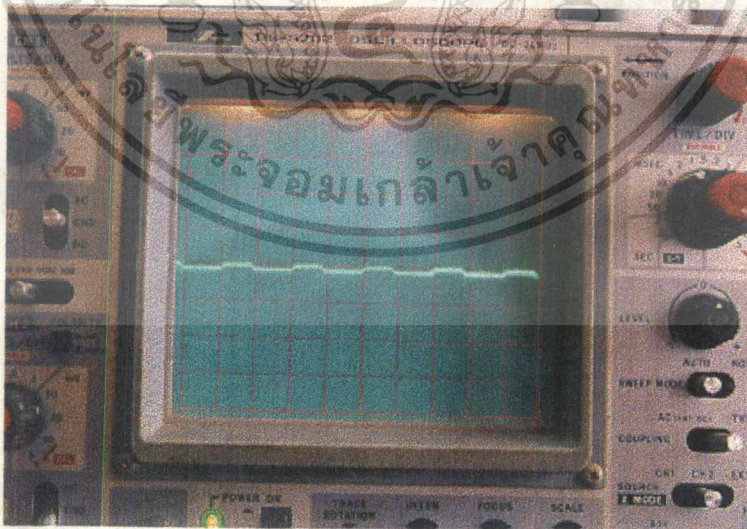


รูปที่ 8.20 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขั้ววงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 300 VA PF 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.21 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ขั้ววงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 400 VA PF 1.0

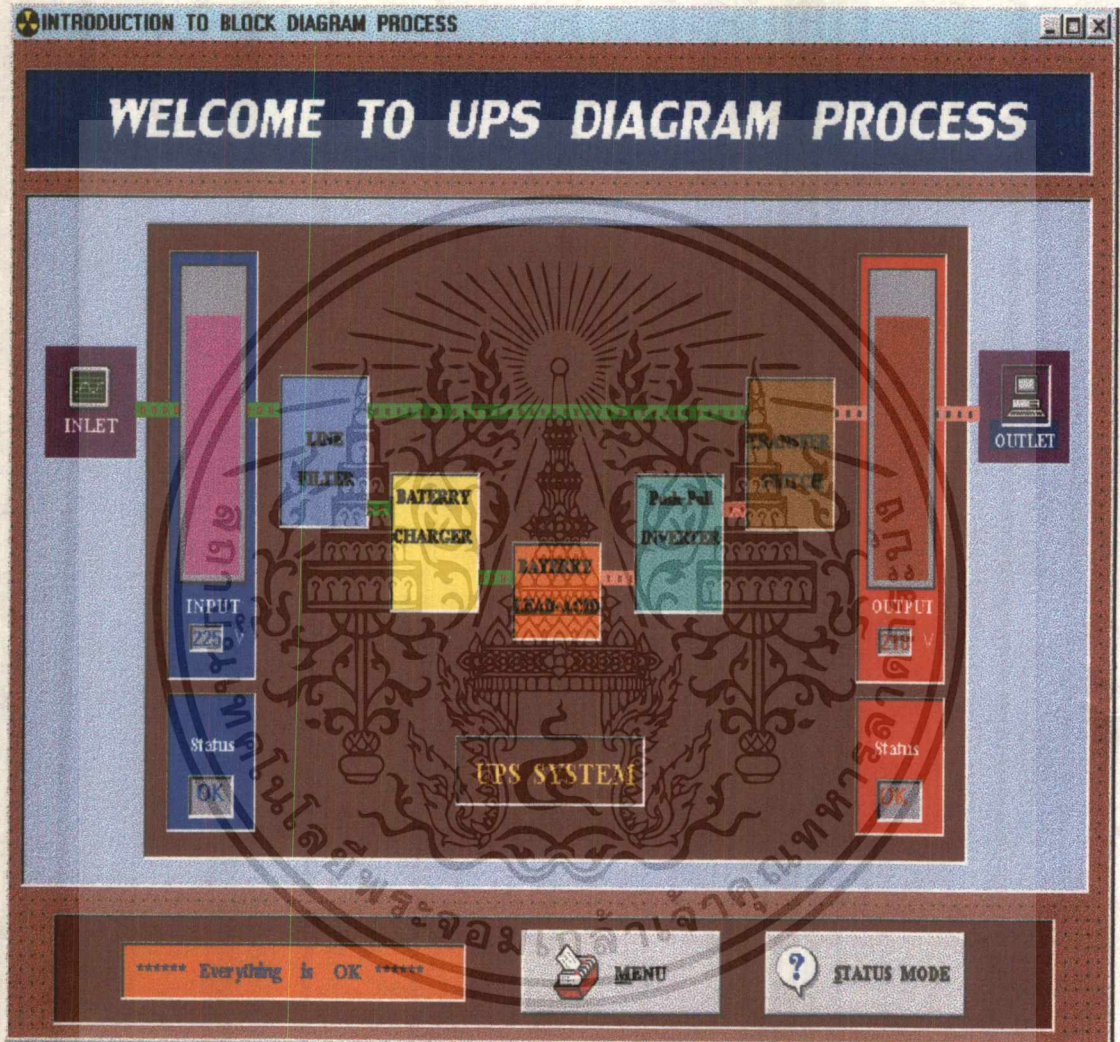


รูปที่ 8.22 แสดงสัญญาณกระแสอัดประจุที่แรงดันแบตเตอรี่ 12.6 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

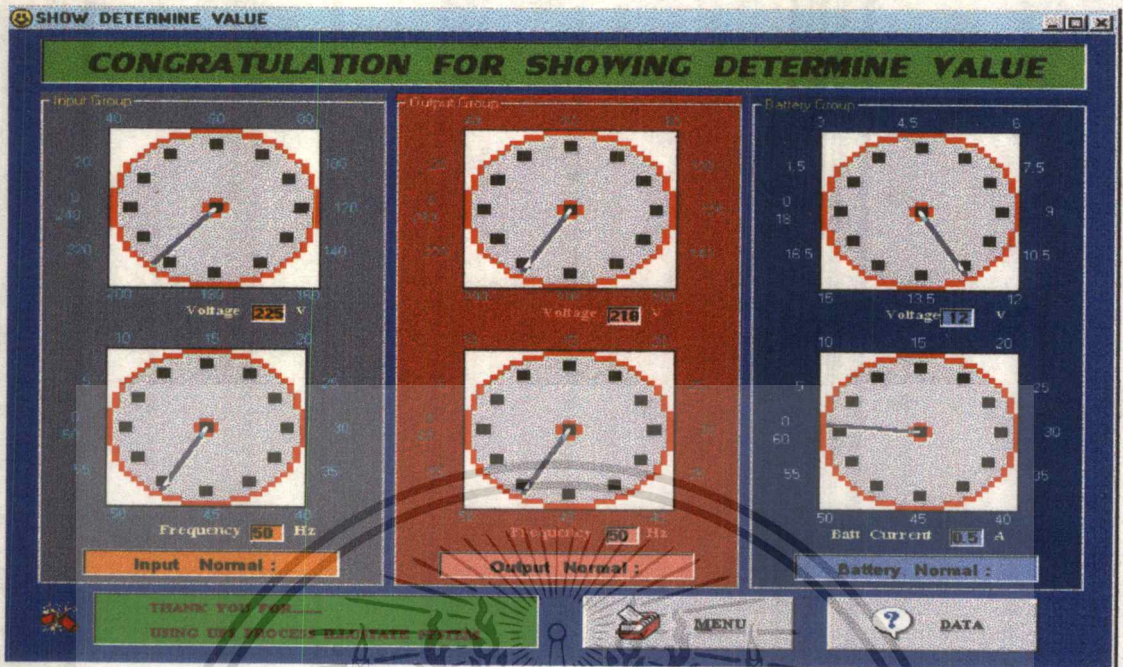
3. ผลการทดลองในส่วนของการแสดงผล

3.1 ในสภาวะปกติ ภาระได้รับกำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า

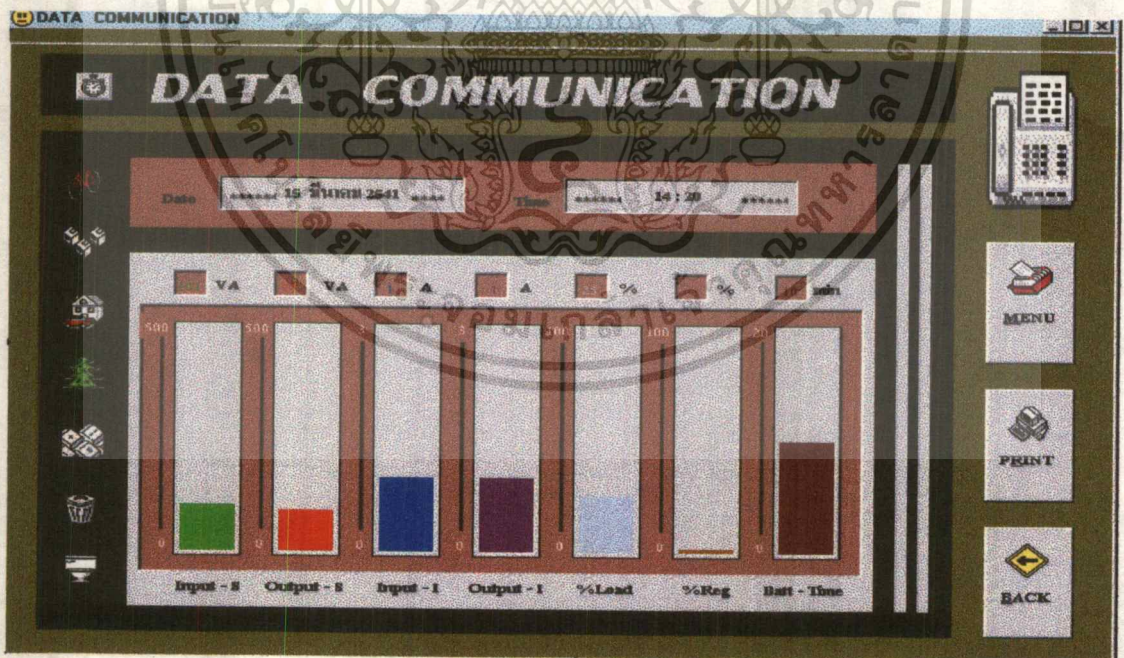


รูปที่ 8.23 แสดงผลในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



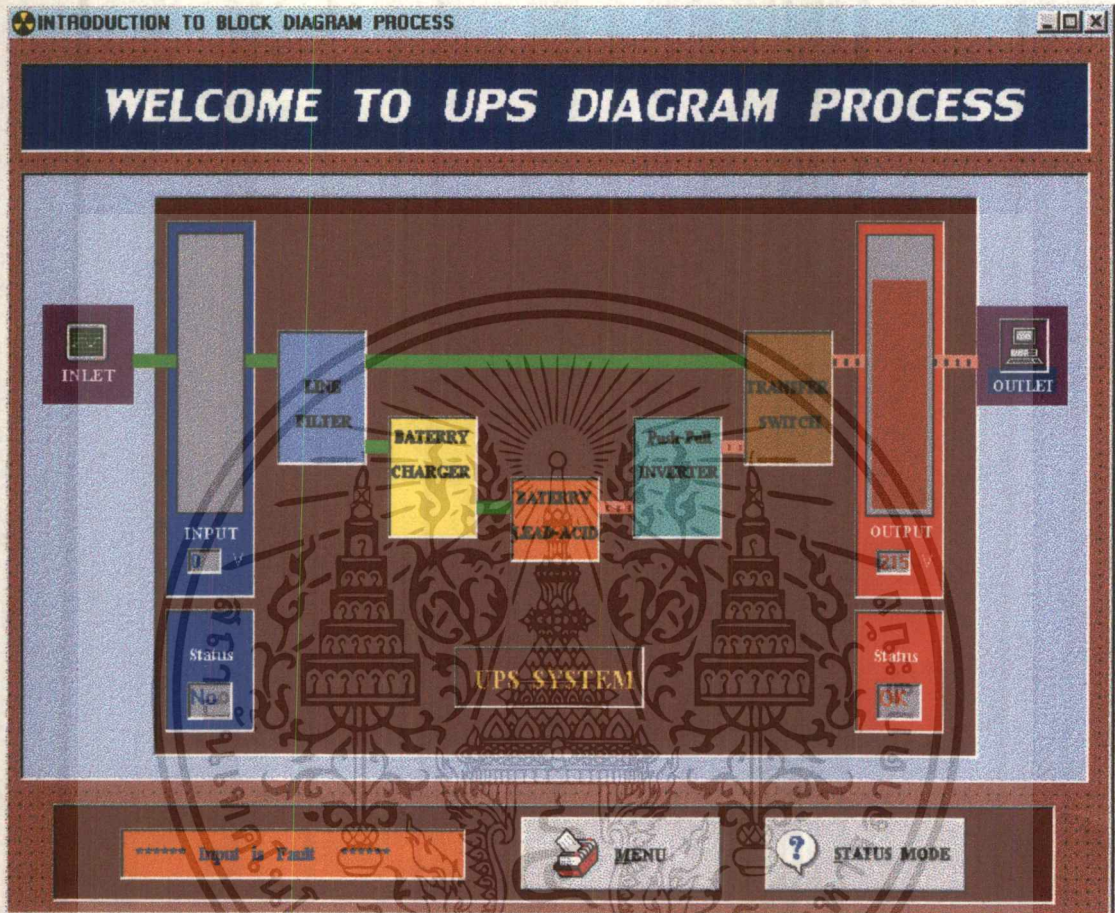
รูปที่ 2.24 แสดงผลในสภาวะปกติที่ภาระ 100 VA PF 1.0



รูปที่ 2.25 แสดงผลในสภาวะปกติที่ภาระ 100 VA PF 1.0

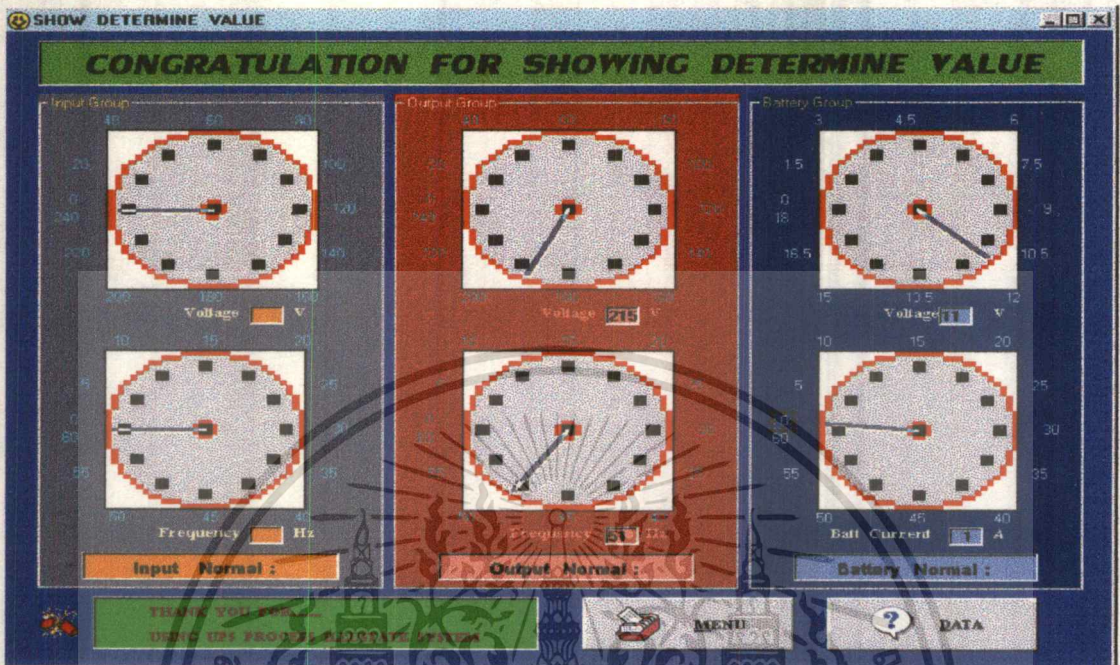
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ในสภาวะผิดปกติ ภาระได้รับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์

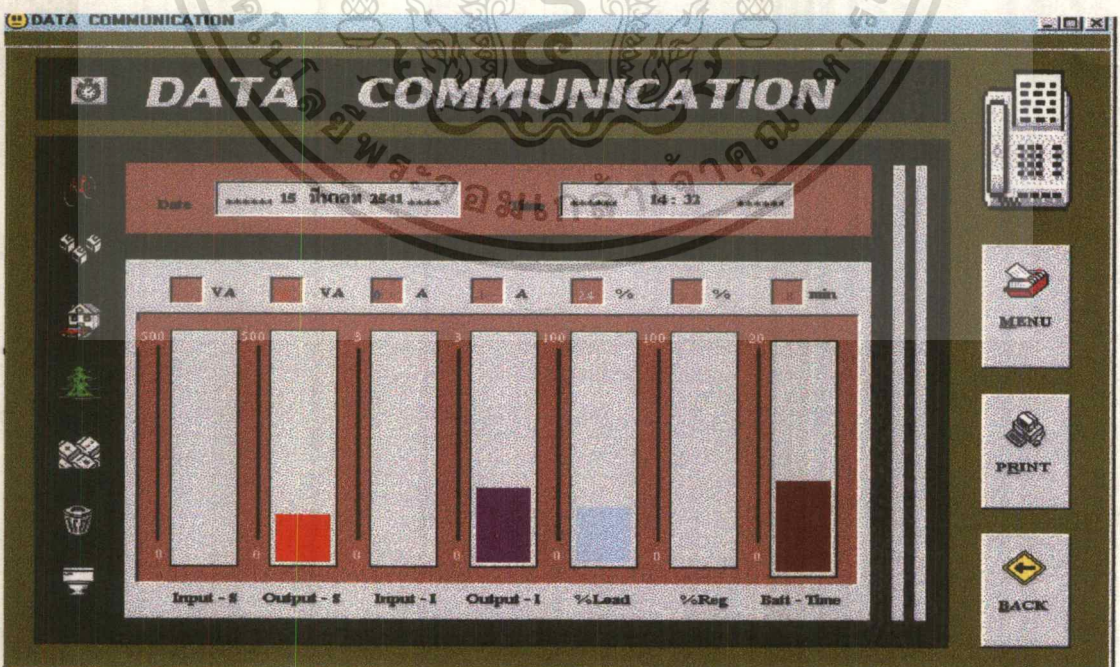


รูปที่ 8.26 แสดงผลในสภาวะผิดปกติ ที่ภาระ 100 VA PF 1.0

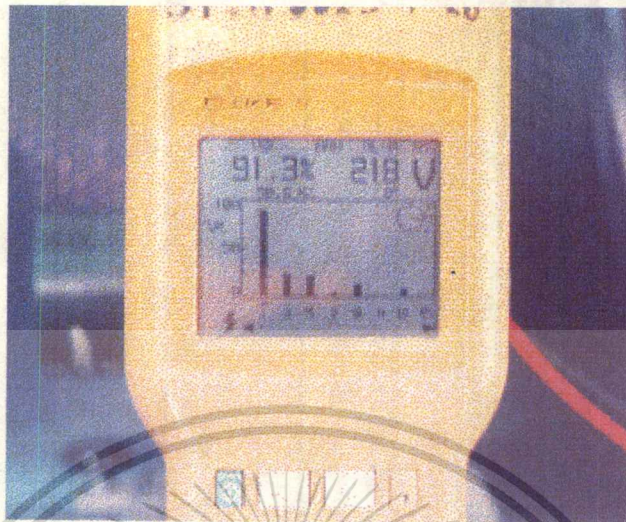
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.27 แสดงผลในสภาวะผิดปกติ ที่ภาระ 100 VA PF 1.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 8.28 แสดงผลในสภาวะผิดปกติ ที่ภาระ 100 VA PF 1.0 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

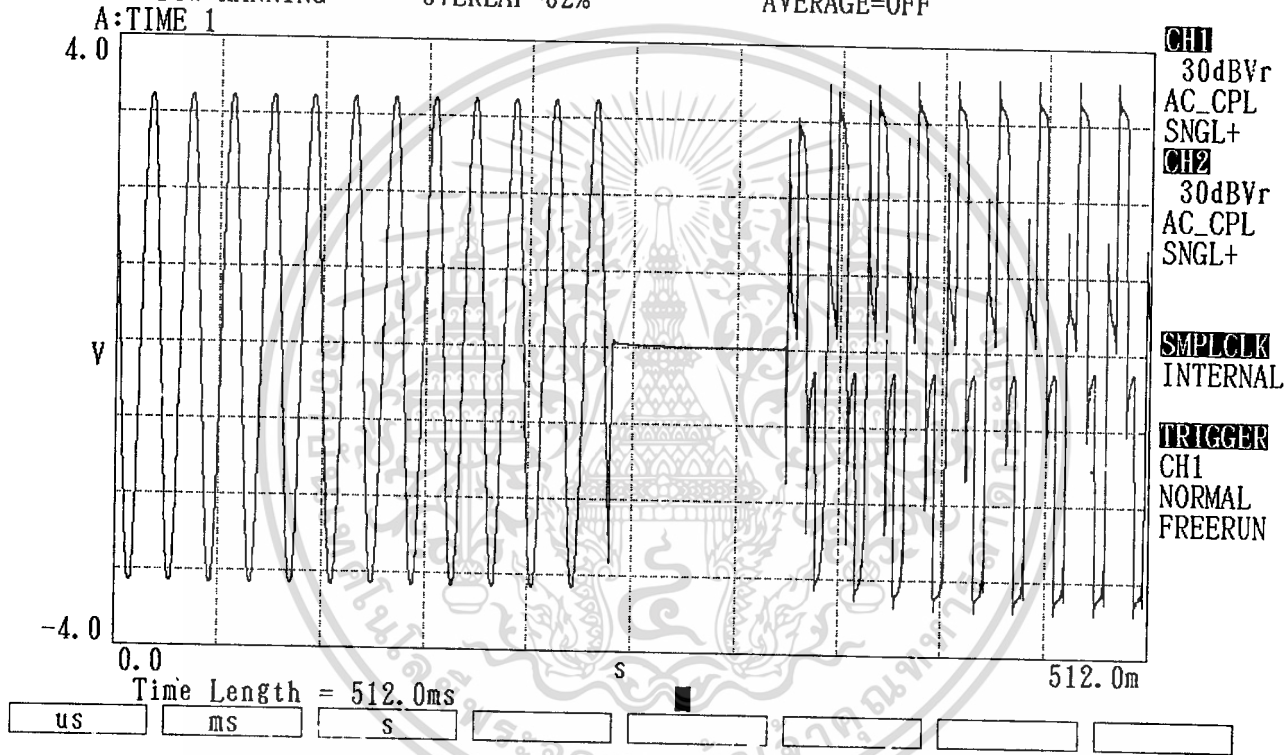


(ข)

รูปที่ 8.29 (ก) แสดงแถบความถี่สเปกตรัมที่ภาระ 100 VA PF 1.0 โดยมีค่าความถี่หลัก 50 Hz มีค่า 91.3 % และจะมีเฉพาะฮาร์โมนิกส์ที่เท่านั้น

(ข) แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตที่ภาระ 100 VA PF 1.0 ขณะรับแรงดันจากอินพุตจากการคำนวณการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เวิร์เตอร์ มีโดยมีค่า $238 V_{rms}$, $350 V_p$, $VDC=0$ และ %THD-R ที่ 40.7 ไปใช้

YOKOGAWA SA2400 98/04/08 16:56
 WINDOW=HANNING OVERLAP=82% AVERAGE=OFF



รูปที่ 8.30 แสดง Storage time ช่วงเวลาการสับเปลี่ยนจากสภาวะปกติเป็นผิดปกติ
 ที่ภาระ 100 VA PF 1.0 เวลาที่ขาดหายไป 80 msec

ตารางแสดงรายละเอียดของรูปที่ 8.3 - 8.28

รูปที่	แรงดัน (Volts/Div)	คาบเวลา (Times/Div)	การตั้งค่า Probe
8.3	10	5 msec	× 10
8.4	5	5 msec	× 1
8.5	10	5 msec	× 1
8.6	5	5 msec	× 1
8.7	2	5 msec	× 100
8.8	2	5 msec	× 100
8.9	2	5 msec	× 100
8.10	2	5 msec	× 100
8.11	2	5 msec	× 100
8.12	1	5 msec	× 10
8.13	1	5 msec	× 10
8.14	1	5 msec	× 10
8.15	1	5 msec	× 10
8.16			
DC	5	5 msec	× 1
Half wave	2	5 msec	× 10
8.17	5	5 msec	× 1
8.18	10	5 msec	× 1
8.19	10	5 msec	× 1
8.20	10	5 msec	× 1
8.21	10	5 msec	× 1
8.22	1	5 msec	× 1
8.23 - 8.28 แสดงค่าที่ภาระ 100 VA PF 1.0 อ้างอิงจากตารางผลการทดลองหน้า 128			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการทดลองที่ภาระที่ค่าต่างๆ

ตารางแสดงผลการทดลองที่ภาระที่ค่าต่างๆ			
ภาระ (VA)	แรงดันอินพุต (V_{rms})	แรงดันเอาต์พุต (V)	กระแสภาระ (A)
สภาวะปกติรับกำลังไฟฟ้าจากระบบกรไฟฟ้า			
ไม่มีภาระ	230	225	0
100	230	223	0.45
200	225	220	0.95
300	225	220	1.40
400	225	220	1.90
ภาระคอมพิวเตอรื	225	220	0.50
สภาวะผิดปกติรับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์			
ไม่มีภาระ	0	230	0
100	0	215	0.45
200	0	215	0.98
300	0	210	1.40
400	0	155	1.60
ภาระคอมพิวเตอรื	0	228	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการทดลองที่ภาระที่ค่าต่างๆ (ต่อ)

ตารางแสดงผลการทดลองที่ภาระค่าต่างๆ			
ภาระ (VA)	กำลังอินพุต (VA)	กำลังเอาต์พุต (VA)	เปอร์เซ็นต์โหลด (%)
สภาวะปกติรับกำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า			
ไม่มีภาระ	0	0	0
100	103.50	96.75	24.18
200	213.75	209.00	52.30
300	315.00	308.00	77.00
400	427.50	418.00	104.5
ภาระคอมพิวเตอรื	112.50	110.00	27.50
สภาวะผิดปกติรับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์			
ไม่มีภาระ	0	0	0
100	0	103.50	25.90
200	0	210.70	52.70
300	0	294.00	73.50
400	0	248.00	62.00
ภาระคอมพิวเตอรื	0	109.44	27.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการทดลองที่ภาระที่ค่าต่างๆ (ต่อ)

ตารางแสดงผลการทดลองที่ภาระที่ค่าต่างๆ			
ภาระ (VA)	ความถี่อินพุต (Hz)	ความถี่เอาต์พุต (Hz)	โวลเตจเร็กกูเรชัน(%)
สภาวะปกติรับกำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า			
ไม่มีภาระ	50	50	2.2
100	50	50	3.0
200	50	50	2.2
300	50	50	2.2
400	50	50	2.2
ภาระคอมพิวเตอรื์	50	50	2.2
สภาวะผิดปกติรับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์			
ไม่มีภาระ	0	50.3	0
100	0	50.1	0
200	0	49.8	0
300	0	50.2	0
400	0	46.1	0
ภาระคอมพิวเตอรื์	0	50.1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์และสรุปผล

หลังจากที่ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบและทดลองต่อกับภาระค่าต่างๆ พบว่าการรักษา ระดับแรงดันเอาท์พุทยังมีปัญหา โดยระดับแรงดันจะไม่คงที่เท่าที่ควรเหมือนเช่นในคอนโร้ภาระ เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมมากเกินไป เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการปรับแรงดันขึ้นอัตโนมัติ โดยการขยายพัลส์ ค่าแรงดันที่ได้จะไม่เท่ากับแรงดันในคอนแรกดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็นเหตุ ให้กำลังเอาท์พุทไม่สามารถจ่ายได้ที่ก่าตั้งพิกัด

ในส่วนของวงจรถับอินเวอร์เตอร์สามารถทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแส สลับได้ดี ซึ่งจะมีการผิดพลาดของรูปคลื่นเล็กน้อยโดยจะไม่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมสัทที่เคียวนัก สำหรับช่วงเวลาการเปิด (t_{on}) และเวลาปิด (t_{off}) ของรูปคลื่นที่ได้ นั้น มีค่าน้อยมากประมาณ microsecond (usec) สำหรับรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทจะมีค่าเป็น ideal ก็ในสภาวะที่มีภาระเพิ่ม ขึ้น เป็นเพราะว่าในคอนแรก อิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่จะเป็นอินดักตีฟ รีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance) และมีค่าความต้านทานภาระเล็กน้อย ดังนั้นค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ รูปคลื่นจะมี กระแสในส่วนหลักน้อยกว่ากระแสทั้งหมด ทำให้รูปคลื่นไม่เป็นสี่เหลี่ยมเท่าที่ควร แต่เมื่อทำ การเพิ่มภาระเข้าไป จะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานในวงจรมากขึ้น ภาระจะดึงกระแสจากอิน เวอร์เตอร์มากขึ้น เพาเวอร์แฟคเตอร์ก็จะสูงขึ้น รูปคลื่นก็จะเป็นสี่เหลี่ยมมากขึ้น แต่ผลก็ไม่ได้ แตกต่างกันมากนัก สำหรับการออกแบบเป็นวงจรพุช - พูล ซึ่งจะมีข้อเสียในเรื่องแรงดันตก คร่อมตัวมอสเฟทจะสูงหากเปรียบเทียบกับวงจรสวิทชิงแบบอื่น เช่น ฮาล์ฟ - บริดจ์ หรือ พูล - บริดจ์ ทำให้อุปกรณ์ทนแรงดันกระชากได้ต่ำในการต่อกับภาระที่มีความเหนียวนาสูง และมี การเปลี่ยนแปลงของกระแสปริมาณกระแสมากเกิดขึ้นในช่วงเวลาทันทีทันใด จะทำให้ตัวเหนียว นำสร้างแรงดันสูงออกมาเพื่อคายพลังงานที่สะสมอยู่อาจมีผลทำให้มอสเฟทเสียหายได้ อย่างไรก็ตาม วงจรสวิทชิงแบบ พุช - พูล ยังมีข้อดีในเรื่องการออกแบบที่ง่าย และวงจรจับมอสเฟทใช้อุปกรณ์ ที่น้อยกว่าชนิดอื่นๆ ในการพัฒนาต่อไปเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากแรงดันสูงที่ตัว เหนียวนาสร้างขึ้นควรจะเลือกใช่วงจรสวิทชิงแบบอื่น ซึ่งจะช่วยให้พิคครวมทั้งความทนทานต่อ สภาวะผิดปกติของวงจรเพิ่มขึ้น

ในวงจรอัดประจุแบบเคอโรรี สามารถใช้งานได้ดีในสภาวะที่แรงดันของแบคเคอโรรีไม่ต่ำจน เกินไปนัก ทั้งนี้เนื่องจากวงจรถูกออกแบบให้ประจุแบคเคอโรรีด้วยแรงดันคงที่เท่านั้น ในภาวะที่ แรงดันของแบคเคอโรรีต่ำมากๆ จะทำให้วงจรจ่ายกระแสสูงโดยไม่สามารถจำกัดกระแสอัดประจุได้ ซึ่งจะเป็อันตรายเป็นอันตรายต่อวงจรอัดประจุได้ โดยในโครงการนี้จะใช้ไอซี LM 317T เป็นตัวรักษา ระดับแรงดัน มีอัตราทนกระแสได้ 1A ซึ่งเพียงพอต่อการจ่ายกระแสอัดประจุได้โดยใช้เพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

850 mA เท่านั้น แต่ถ้าหากเกิดเหตุการณ์ดังที่กล่าวมา การออกแบบวงจรอัปเดตประจุควรถูกคำนึงถึงการจำกัดกระแส หรือให้เครื่องมีการอัปเดตด้วยกระแสคงที่เพื่อชดเชยการใช้งานของแบตเตอรี่

ในส่วนของวงจรสวิตช์สับเปลี่ยน เมื่อทำการทดสอบในสภาวะปกติและผิดปกติที่ภาระค่าต่างๆ ผลปรากฏว่าการทำตามเงื่อนไขต่างๆ ทำได้ค่อนข้างแม่นยำ เนื่องจากใช้รีเลย์เป็นตัวสับเปลี่ยน (Mechanical Switching) จึงไม่ค่อยมีปัญหาเหมือนเช่นกับการการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Solid state Switching) ซึ่งจากการทำงานที่ถูกต้องเป็นผลมาจากการควบคุมที่แม่นยำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งรวดเร็ว เวลาในการสั่งการควบคุมใช้น้อยมาก ดังนั้นเป็นผลให้สวิตช์สับเปลี่ยนทำงานถูกต้อง

ในด้านของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานได้สมบูรณ์ในทุกด้านทั้งเป็นการ กำหนดรูปคลื่นสัญญาณที่เสถียรเพื่อขับมอเตอร์ การรับสัญญาณตรวจสอบจากอุปกรณ์ตรวจสอบต่างๆ รวมทั้งการสร้างสัญญาณควบคุมในส่วนต่างๆ ของฮาร์ดแวร์เช่น ควบคุมการสับเปลี่ยนของสวิตช์สับเปลี่ยนในการทำงานที่สภาวะต่างๆ และที่สำคัญการทำงานที่รวดเร็วของตัวมันเอง เป็นผลให้การทำงานในด้านฮาร์ดแวร์และส่วนติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลก็ไม่มีปัญหา ซึ่งหากเปรียบเทียบกับ การควบคุมโดยใช้วงจรรอนาล็อก ก็อาจจะพบปัญหามากกว่านี้แน่นอน นี่เป็นข้อได้เปรียบอย่างมากเมื่อเทียบกับการใช้วงจรรอนาล็อก

แต่กว่าจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ก็สูญเสียตัวชิพไมโครฯเบอร์ ATC 89C51 ไป 2 ตัว เนื่องจากกระแสที่พอร์ตมีค่ามากเกินไป ตัวชิพไมโครฯทำการจ่ายกระแสมากเกินไปตัวมันจึงร้อน จึงไม่สามารถทำการโหลดโปรแกรมเก็บลงไว้ที่อีพรอมได้ โดยที่ตัวชิพไมโครฯจะมีโปรแกรมการโหลดด้วย หากตัวชิพทำงานผิดพลาด ทุกอย่างก็ไม่สามารถทำงานได้ นั่นคือการออกแบบต้องระวังกระแสไม่ให้มีค่าเกินพิกัดที่ชิพไมโครฯจะจ่ายได้ โดยพิกัดพอร์ตของชิพสามารถทนกระแสได้เพียง 80 mA เท่านั้น ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย

สำหรับการส่งข้อมูลเป็นแบบอนุกรมให้กับคอมพิวเตอร์ ค่าที่ส่งนั้นผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งไม่มีปัญหาในส่วนนี้

ในส่วนสุดท้ายที่จะได้กล่าวคือ การแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนนี้ทางกลุ่มผู้จัดทำได้ร่วมกัน คิด ออกแบบ ในส่วนต่างๆเช่น ส่วนหน้าจอแสดงผล (User Interface) การแสดงค่าพารามิเตอร์ให้มีการแสดงหลายๆ ค่าให้มากที่สุด เพื่อที่จะให้ผู้ใช้ได้ทราบสภาวะนั้นโดยพิจารณาจากค่าที่แสดงขึ้น เพื่อจะได้ทำการป้องกันไว้ก่อนหากเกิดผิดปกติขึ้น ดังนั้นค่าต่างๆที่ทำการส่งมาจากไมโครฯ จะทำการเข้าสู่ตรรกะที่เป็นไปได้มากที่สุด สอดคล้องกับการออกแบบที่ดึงดูดผู้ใช้ งาน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าในส่วนนี้เป็นการพัฒนาจากระบบแบบเดิมมาก ซึ่งการแสดงผลจะเป็นแบบกราฟฟิก ซึ่งโดยทั่วไปยังเป็นแบบมาตรฐานวัดธรรมดาอยู่หรืออนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงในอนาคตนั้นก็ควรจะมีการพัฒนารูปแบบแสดงผลให้หลากหลายมากขึ้น เช่น แสดงแบบกราฟ หรือเก็บเป็นข้อมูลเข้าหน่วยความจำ เพื่อต้องการที่จะดูผลเมื่อต้องการที่จะทราบสถิติที่เกิดขึ้น นี่คือแนวทางที่จะพัฒนาต่อไป

อาจกล่าวได้ว่าจุดเด่นของโครงการนี้คือการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีการแสดงผลเป็นกราฟฟิคบนคอมพิวเตอร์ ส่วนในด้านฮาร์ดแวร์จะไม่ค่อยมีอะไรเป็นจุดเด่นนัก แต่ทุกอย่างเมื่อผสมผสานเข้าด้วยกันแล้ว ผลที่ออกมาเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง

ดังนั้นสุดท้ายนี้ ข้อเสนอแนะจะเป็นเรื่องการทำงานที่มีแบบแผน มีจุดประสงค์ โดยการทำงานจะต้องแบ่งส่วนการทำงานออกให้ชัดเจน ยกตัวอย่างในโครงการนี้จะแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ฮาร์ดแวร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องแบ่งงานกันเพื่อศึกษาในแต่ละส่วน แล้วรวมความคิด เพื่อพิจารณาว่าแนวทางใดเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดแล้วจึงออกแบบ โดยมอบความรับผิดชอบสูงสุดให้กับบุคคลนั้น ในการทำงานชิ้นนั้น ให้สำเร็จโดยบุคคลที่เหลือคอยช่วยเหลือ ช่วยทำ เพื่อความสำเร็จของงาน

ผลงานที่ออกมาบวกกับความมุ่งมั่น ความตั้งใจ จึงมีผลงานชิ้นนี้ในการนำเสนอในครั้งนี้



กิตติกรรมประกาศ

ปริยญาพันธบัตรฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆ ท่าน โดยเฉพาะท่าน รศ.ดร. วิริยะ พิเศษฐจำเริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา เป็นผู้ให้คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินงาน แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงาน รวมทั้งข้อมูลต่างๆ พร้อมทั้งขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.วิระเชษฐ ชันเงิน ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมไปถึง อาจารย์ ผศ.ดร.วันชัย วิวุฑรา ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับด้านการรับส่งข้อมูล รุ่นที่ปริญญาโทที่ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจ รวมทั้งขอขอบคุณอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ พี่และน้องทุกๆ คน ที่ให้กำลังใจ และเพื่อนที่ได้ทำงานร่วมกันอย่างเต็มที่ เพื่อให้งานสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่วางเอาไว้

สุดท้ายนี้หวังว่าปริยญาพันธบัตรฉบับนี้ คงเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และเป็นแนวทางในการดำเนินงานสำหรับรุ่นน้องและผู้ที่ต้องการจะศึกษาต่อไป

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ในส่วนของฮาร์ดแวร์

- แสดงรูปวงจรกำลัง ซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลง แบบเตอร์ และฟิวเตอร์
- แสดงรูปวงจรตรวจสอบ เปรียบเทียบ และรักษาระดับแรงดัน
- แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์ รีเลย์ และวงจรถับ
- แสดงรูปวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

2. ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

- แสดงโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

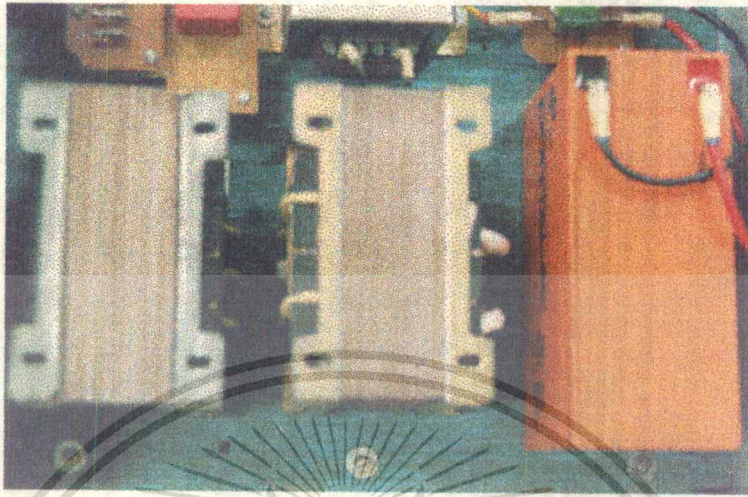
3. ในส่วนของส่วนแสดงผลโดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก

- แสดงโปรแกรมวิชวลเบสิก

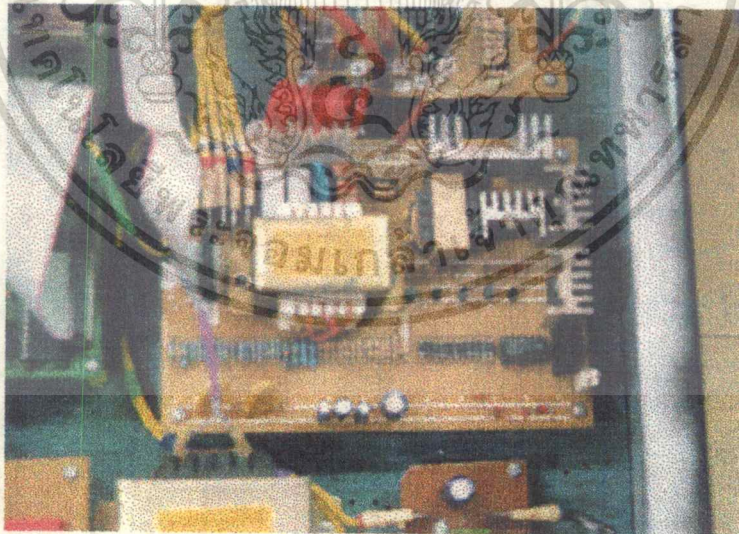
4. ในส่วนของรายละเอียดของอุปกรณ์ (Detail)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนต่างๆ ของฮาร์ดแวร์

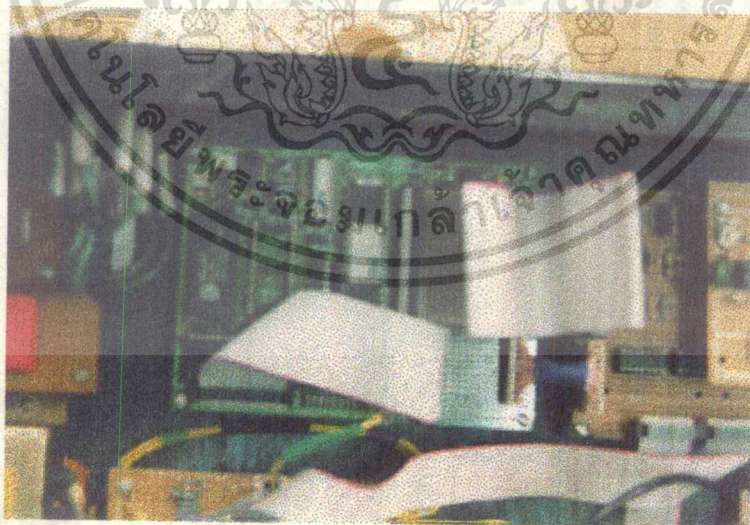
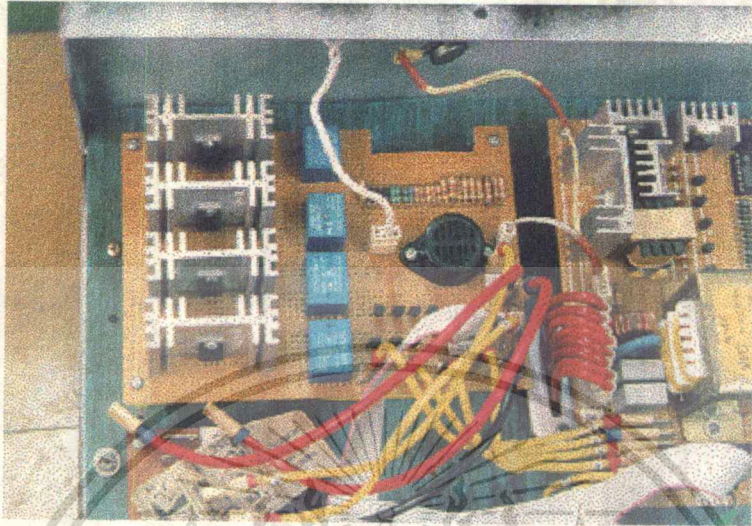


รูปวงจรกำลัง ซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลง แบตเตอรี่ และฟิวเตอร์



รูปวงจรตรวจสอบ เปรียบเทียบ และรักษาระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปวงจรมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง

```
; #####  
; FILENAME   UPS15.ASM  
; DESCRIPTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY  
; ASSEMBLER  SXA51  
; BORD       SILA RESEARCH CO.LTD  
; GROUP      3/1W, 2W  
; #####
```

```
ORG 8100H  
  
PORTA EQU 0F800H  
PORTB EQU 0F801H  
PORTC EQU 0F803H  
DSEC  EQU 0049H  
DMSEC EQU 0043H  
INT    EQU P3.3  
TIME  EQU P3.5  
STORE_IN EQU 8800H  
STORE_OUT EQU 8801H  
STORE_FRE EQU 8802H  
STORE_CRR EQU 8803H  
STORE_BAT EQU 8804H  
KEEP_IN  EQU 8806H  
KEEP_OUT EQU 8807H  
KEEP_CRR EQU 8808H  
KEEP_VBAT EQU 8809H  
PULSE_ON EQU 880BH  
PULSE_OFF EQU 880CH  
COUNT EQU 880DH  
SETB    P1.0  
CLR     P1.2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR          P1.3
MOV          A,#90H
MOV          DPTR,#PORTC
MOVX        @DPTR,A
MOV          DPTR,#PORTB
MOV          R7,#5
LOOP1:      MOV          R1,#1
MOV          A,#00000000B
MOVX        @DPTR,A
CLR          P1.0
LCALL       DSEC
MOV          A,#00000001B
MOVX        @DPTR,A
SETB        P1.0
MOV          R1,#1
LCALL       DSEC
DJNZ        R7,LOOP1
SETB        P1.0
MOV          A,#00000011B
MOVX        @DPTR,A
MOV P1      CON,#00H
MOV          SCON,#50H
MOV          TMOD,#20H
MOV          TH1,#0FDH
JB          INT,BEGIN
LJMP        START

```

RECEIVE INPUT VOLTAGE FROM INTO

```

BEGIN:      MOV          R7,#0A0H
BEGIN1:     MOV          DPTR,#PORTB

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รวมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,#0000011B
MOVX    @DPTR,A
MOV     R3,#0FFH
SETB   P1.0
SETB   P1.2
SETB   P1.3
CLR    P1.1
CLR    P1.7
CLR    P3.4
SETB   P1.6
VOLT_INT : LCALL  RECEIVE
MOV     DPTR,#STORE_IN
MOVX   @DPTR,A
DJNZ   R3,VOLT_INT
JB     INT,OUT
AJMP   START

;##### RECEIVE OUTPUT VOLTAGE FROM INT1 #####

OUT:    MOV     DPTR,#PORTB
MOV     A,#0000011B
MOVX   @DPTR,A
MOV     R3,#0FFH
VOLT_OUT: LCALL  RECEIVE
MOV     DPTR,#STORE_OUT
MOVX   @DPTR,A
DJNZ   R3,VOLT_OUT
JB     INT,FREN
AJMP   START

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECEIVE INPUT FREQUENCY FROM INT3

```
FREN:          MOV          DPTR,#PORTB
               MOV          A,#00001111B
               MOVX         @DPTR,A
               MOV          R3,#0FFH
FREN1:         LCALL         RECEIVE
               MOV          DPTR,#STORE_FRE
               MOVX         @DPTR,A
               DJNZ         R3,FREN1
               JB           INT,CURT
               AJMP        START
```

RECEIVE OUTPUT CURRENT FROM INT4

```
CURT:          MOV          DPTR,#PORTB
               MOV          A,#00010011B
               MOVX         @DPTR,A
               MOV          R3,#0FFH
CURT1:         LCALL         RECEIVE
               MOV          DPTR,#STORE_CRR
               MOVX         @DPTR,A
               DJNZ         R3,CURT1
               JB           INT,BAT
               AJMP        START
```

RECEIVE BATTERY VOLTAGE FROM INT5

```
BAT:           MOV          DPTR,#PORTB
               MOV          A,#00010111B
               MOVX         @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

MOVX    A,@DPTR
CJNE    A,#85H,CHECK1
JMP     NON_CURR
CHECK1: JC     NON_OVER
        SJMP    OVER
NON_OVER: CLR    C
        MOV    DPTR,#STORE_CRR
        MOVX   A,@DPTR
        CJNE  A,#40H,CHECK_CURR
        JMP   NON_CURR
CHECK_CURR: JC    NON_CURR
           SJMP  OVER
NON_CURR:  CLR    C
           JNB   INT,START
           AJMP  BEGIN
SHUT_TEST: MOV    A,SBUF
           CLR   RI
           CJNE  A,#53H,TEST
           MOV   RI,#5
           LCALL DSEC
           JMP   OVER
TEST:     CLR    C
           CJNE  A,#54H,GO_BACK
           JMP   START
GO_BACK:  CLR    C
           AJMP  BEGIN

```

```

;##### RECEIVE EVERYTHINK_VALUE #####

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
RECEIVE: **MOV** **DPTR,#PORTA**
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
MOVX **A,@DPTR**

```

SEND:      RET
           CLR          TI
           MOV          SBUF,A
           JNB         TI,$
           CLR          TI
           RET

```

OVER_CURRENT OR OVER_VOLTAGE

```

OVER:      MOV          DPTR,#PORTB
           MOV          A,#00000001B
           MOVX         @DPTR,A
           CLR          C
           SETB         P1.1
           CLR          P1.2
           CLR          P1.3
           SETB         P1.4
           SETB         P1.5
           SETB         P1.6
           CLR          P1.7
           SETB         P3.4
           JMP          OVER

```

INVERTER_TURN_ON FOR UNITY_OFF

```

START:    MOV          DPTR,#PULSE_ON
           MOV          A,#8
           MOVX         @DPTR,A
           MOV          DPTR,#PULSE_OFF
           MOV          A,#9
           MOVX         @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

CLR

P1.5

LCALL

DELAY1

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

SETB

P1.5

LCALL

DELAY2

DJNZ

R5,START2

NOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOP

```

NOP
NOP
MOV     DPTR,#PORTB
MOV     A,#00000011B
MOVX    @DPTR,A
CLR     P1.4
LCALL   DELAY1
MOV     DPTR,#KEEP_IN
MOVX    @DPTR,A
MOV     DPTR,#PORTB
MOV     A,#00000111B
MOVX    @DPTR,A
SETB    P1.4
LCALL   DELAY2
LCALL   RECEIVE1
MOV     DPTR,#KEEP_OUT
MOVX    @DPTR,A
MOV     DPTR,#PORTB
MOV     A,#00010011B
MOVX    @DPTR,A
CLR     P1.5
LCALL   DELAY1
LCALL   RECEIVE1
MOV     DPTR,#KEEP_CRR
MOVX    @DPTR,A
MOV     DPTR,#PORTB
MOV     A,#00010111B
MOVX    @DPTR,A
SETB    P1.5
LCALL   DELAY2
LCALL   RECEIVE1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      DPTR,#KEEP_VBAT
MOVX     @DPTR,A
SETB     TR1
MOV      A,#42H
LCALL    SEND
NOP
CLR      P1.4
LCALL    DELAY1
MOV      A,#30H
LCALL    SEND
MOV      DPTR,#KEEP_OUT
MOVX     A,@DPTR
LCALL    SEND
SETB     P1.4
LCALL    DELAY2
MOV      A,#30H
LCALL    SEND
MOV      DPTR,#KEEP_CRR
MOVX     A,@DPTR
LCALL    SEND
CLR      P1.5
LCALL    DELAY1
MOV      DPTR,#KEEP_VBAT
MOVX     A,@DPTR
LCALL    SEND
SETB     P1.5
LCALL    DELAY2
LCALL    COMPARE
MOV      A,R7
JNZ      UNDER
JNB      INT,HELP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                DJNZ     R6,HELP1
                LJMP     BEGIN
HELP:           AJMP     START1
HELP1:         AJMP     START1
UNDER:         AJMP     OVER
RECEIVE1:     MOV      DPTR,#PORTA
                MOVX    A,@DPTR
                RET

```

DELAY FOR INVERTER

```

DELAY1:        MOV      R2,#215
DELAY3:        MOV      DPTR,#PULSE_ON
                MOVX    A,@DPTR
                MOV      R0,A
                DJNZ    R0,$
                DJNZ    R2,DELAY3
                RET
DELAY2:        MOV      R2,#165
DELAY4:        MOV      DPTR,#PULSE_OFF
                MOVX    A,@DPTR
                MOV      R0,A
                DJNZ    R0,$
                DJNZ    R2,DELAY4
                RET

```

COMPARE OUTPUT_VOLTAGE

```

COMPARE:      MOV      DPTR,#KEEP_OUT
                MOVX    A,@DPTR
                CJNE   A,#68H,COMPARE1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SJMP LOOP6

IF UNDER_VOLT SO INCREASE WIDTH_PULSE

```
COMPARE1:      JNC      COMPARE2
                CLR      C
                MOV      DPTR,#PULSE_ON
                MOVX     A,@DPTR
                ADD      A,#2
                MOVX     @DPTR,A
                MOV      DPTR,#PULSE_OFF
                MOVX     A,@DPTR
                SUBB     A,#2
                MOVX     @DPTR,A
                MOV      DPTR,#PULSE_ON
                MOVX     A,@DPTR
                CJNE     A,#16,COMPARE3
                SJMP     LOOP6
COMPARE3:      JC      LOOP6
                MOV      DPTR,#PULSE_ON
                MOVX     A,@DPTR
                SUBB     A,#2
                MOVX     @DPTR,A
                MOV      DPTR,#PULSE_OFF
                MOVX     A,@DPTR
                ADD      A,#2
                MOVX     @DPTR,A
                DEC      R7.
                SJMP     LOOP6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARE OUTPUT_VOLT

```
COMPARE2:      MOV      DPTR,#KEEP_OUT
               MOVX     A,@DPTR
               CJNE    A,#75H,COMPARE4
               SJMP    LOOP6
```

IF OVER_VOLT DECREASE WIDTH PULSE

```
COMPARE4:      JC      LOOP6
               MOV      DPTR,#PULSE_ON
               MOVX     A,@DPTR
               SUBB    A,#2
               MOVX     @DPTR,A
               MOV      DPTR,#PULSE_OFF
               MOVX     A,@DPTR
               ADD     A,#2
               MOVX     @DPTR,A
               MOV      DPTR,#PULSE_ON
               MOVX     A,@DPTR
               MOV      R7,#10
               CJNE    A,#8,COMPARE5
               SJMP    LOOP6
```

```
COMPARE5:      JNC     LOOP6
               CLR      C
               MOV      DPTR,#PULSE_ON
               MOVX     A,@DPTR
               ADD     A,#2
               MOVX     @DPTR,A
               MOV      DPTR,#PULSE_OFF
               MOVX     A,@DPTR
```

```

SUBB      A,#2
MOVX     @DPTR,A
SJMP     LOOP6
LOOP6:   CLR      C
          RET
          END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนแสดงผลบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก

การเขียนโปรแกรมควบคุมแต่ละออปเจกต์ให้ทำงานสอดคล้องกัน

(Object Correspond Controlled by Programming)

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว เรื่องการเริ่มต้นในการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิกเวอร์ชัน 4.0 นั้น ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานแต่ละโปรแกรมนั้น ไม่เพียงแต่จะต้องออกแบบส่วนติดต่อใช้งานกับผู้ใช้เท่านั้น จะต้องทำการเขียนโปรแกรมย่อยเพื่อควบคุมแต่ละออปเจกต์ (อุปกรณ์ใช้งานที่ใช้ร่วมกันในฟอร์มหนึ่งๆ เช่น เลเบล ปุ่มควบคุม ฯลฯ) ด้วยเพื่อให้ออปเจกต์ในฟอร์มต่างๆ ฟอร์มทำงานสอดคล้องกันในหนึ่งโปรแกรมนั้น ดังนั้นส่วนที่จะสำคัญที่สุดในส่วนแสดงผลในโครงการนี้ก็เป็นการเขียนโปรแกรมการทำงานนี้เอง โดยเมื่อทำการออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้เสร็จแล้ว ลำดับขั้นต่อไปจะเป็นการ

1. เขียนโปรแกรมย่อยเชื่อม (Link) ระหว่างออปเจกต์ภายในฟอร์มหนึ่งๆ
2. เขียนโปรแกรมย่อยเชื่อม (Link) ระหว่างฟอร์ม

สำหรับการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิกทั้งหมดในโครงการนี้ เพื่อควบคุมออปเจกต์ในฟอร์ม ระหว่างฟอร์ม รวมไปถึงโปรแกรมควบคุมการติดต่อรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผล จะแสดงได้ดังนี้

```
Private Sub Form_Resize()
```

```
'Declare Variables
```

```
Dim A, B, C, D, E, F, G, H, I, J As Integer
```

```
Dim status As Integer
```

```
Dim t&
```

```
'USE COM2
```

```
Const port = 2
```

```
'USE COM2
```

```
MSComm1.CommPort = port
```

```
'Open Port
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'9600 baud , no parity , 8 data and 1 stop bit

MSComm1.Settings = " 9600,N,8,1"

t& = Timer + 36000

Do

'Tell the control to read entire buffer when Input is used

Do

dummy% = DoEvents()

Loop Until MSComm1.InBufferCount = 6

'Get Input

statement = MSComm1.Input

status = Asc(Mid(statement, 1, 1))

Select Case status

'If System is complete

Case Is = 65

'Input Voltage

A = Asc(Mid(statement, 2, 1))

EE2.Gauge1.Value = A

EE2.Label46.Caption = A

EE2.Label45.Caption = " OK "

EE2.Label47.Caption = " OK "

EE3.Gauge2.Value = A

EE3.Label22.Caption = A

EE3.Label25.Caption = " Input Normal. : "

'Output Voltage

B = Asc(Mid(statement, 3, 1))

EE2.Gauge2.Value = B

EE2.Label44.Caption = B

EE3.Gauge1.Value = B

EE3.Label20.Caption = B

EE3.Label24.Caption = " Output Normal. : "

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุพิเศษเฉพาะหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
EE3.Gauge3.Value = C
EE3.Label23.Caption = C
EE3.Gauge4.Value = C
EE3.Label21.Caption = C
```

'Input And Output Current

```
D = Asc(Mid(statement, 5, 1))
EE5.Gauge3.Value = D
EE5.Gauge4.Value = D
EE5.Label13.Caption = D
EE5.Label14.Caption = D
```

'Battery Voltage

```
E = Asc(Mid(statement, 6, 1))
EE3.Gauge5.Value = E
EE3.Label18.Caption = E
EE3.Label26.Caption = " Battery Normal. : "
```

'Battery Current

```
K = B * D / E
EE3.Gauge6.Value = K
EE3.Label19.Caption = K
```

%Load

```
Lo = D * 100 / 2.27
EE5.Gauge5.Value = Lo
EE5.Label15.Caption = Lo
```

%Regulation of Voltage

```
Req = (A - B) * 100 / B
EE5.Gauge6.Value = Req
EE5.Label16.Caption = Req
```

'Batt-Time

```
Time = 60 * 7 * E / (B * D * 0.8 * 0.95)
EE5.Gauge7.Value = Time
EE5.Label24.Caption = Time
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE5.Label13.Caption = I

EE5.Label14.Caption = I

'Battery Voltage

J = Asc(Mid(statement, 6, 1))

EE3.Gauge5.Value = J

EE3.Label18.Caption = J

EE3.Label26.Caption = " Battery Normal. : "

'Battery Current

K = G * I / J

EE3.Gauge6.Value = M

EE3.Label19.Caption = M

%Load

Lo = I * 100 / 2.27

EE5.Gauge5.Value = Lo

EE5.Label15.Caption = Lo

%Regulation of Voltage

EE5.Gauge6.Value = 0

EE5.Label16.Caption = 0

'Batt-Time

Time = 60 * 7 * J / (G * I * 0.8 * 0.95)

EE5.Gauge7.Value = Time

EE5.Label24.Caption = Time

'Apparant Power Input

Si = F * I

EE5.Gauge1.Value = Si

EE5.Label11.Caption = Si

'Apparant Power Output

So = G * I

EE5.Gauge2.Value = So

EE5.Label12.Caption = So

End Select

Loop Until Timer > t&

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'Apparant Power Input

$$S_i = A * D$$

EE5.Gauge1.Value = Si

EE5.Label11.Caption = Si

'Apparant Power Output

$$S_o = B * D$$

EE5.Gauge2.Value = So

EE5.Label12.Caption = So

'If System is False

Case Is = 66

'Input Voltage

F = Asc(Mid(statement, 2, 1))

EE2.Gauge1.Value = 0

EE2.Label46.Caption = 0

EE2.Label47.Caption = " NO "

EE3.Gauge2.Value = 0

EE3.Label22.Caption = 0

EE3.Label25.Caption = " Input Normal. : "

'Output Voltage from Inverter

G = Asc(Mid(statement, 3, 1))

EE2.Gauge2.Value = G

EE2.Label44.Caption = G

EE2.Label45.Caption = " OK "

EE3.Gauge1.Value = G

EE3.Label20.Caption = G

EE3.Label24.Caption = " Output Normal. : "

'Output Frequency

H = Asc(Mid(statement, 4, 1))

EE3.Gauge3.Value = H

EE3.Label23.Caption = H

EE3.Gauge4.Value = H

EE3.Label21.Caption = H

'Current Input and Output

I = Asc(Mid(statement, 5, 1))

EE5.Gauge3.Value = I

EE5.Gauge4.Value = I

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
    If Timer1.Interval <> 1000 Then
```

```
        Timer1.Interval = 1000
```

```
        EE2.Label20.ZOrder
```

```
        EE2.Label22.ZOrder
```

```
        EE2.Label23.ZOrder
```

```
        EE2.Label28.ZOrder
```

```
        EE2.Label30.ZOrder
```

```
        EE2.Label31.ZOrder
```

```
        EE2.Label32.ZOrder
```

```
        EE2.Label35.ZOrder
```

```
        EE2.Label37.ZOrder
```

```
        EE2.Label39.ZOrder
```

```
        EE2.Label41.ZOrder
```

```
        EE2.Label43.ZOrder
```

```
    Else
```

```
        Timer1.Interval = 100
```

```
        EE2.Label21.ZOrder
```

```
        EE2.Label24.ZOrder
```

```
        EE2.Label25.ZOrder
```

```
        EE2.Label26.ZOrder
```

```
        EE2.Label29.ZOrder
```

```
        EE2.Label33.ZOrder
```

```
        EE2.Label34.ZOrder
```

```
        EE2.Label36.ZOrder
```

```
        EE2.Label40.ZOrder
```

```
        EE2.Label42.ZOrder
```

```
        EE2.Label58.ZOrder
```

```
    End If
```

```
        EE2.Text4.Text = " **** Utility of System is OK **** "
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    MSComm1.PortOpen = False
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE1.Show

End Sub

คุณสมบัติ (Property) ของจอภาพจะประกอบด้วยขอบเขตร่วมกันเป็นจอภาพขึ้นมา ดังนั้นขอ
ยกเพียงแต่หน้าจอด้อนรับหน้าจอเดียว ซึ่งแสดงได้ดังนี้

VERSION 4.00

Begin VB.Form EE6

BackColor = &H00000040&

Caption = " CONGRATURATION"

ClientHeight = 3150

ClientLeft = 3495

ClientTop = 3015

ClientWidth = 5070

Height = 3555

Left = 3435

LinkTopic = "Form1"

ScaleHeight = 3150

ScaleWidth = 5070

Top = 2670

Width = 5190

Begin VB.Timer Timer1

Interval = 3000

Left = 4080

Top = 2400

End

Begin VB.PictureBox Picture2

BorderStyle = 0 'None

Left = 3240

Picture = "EE6.frx":0000

ScaleHeight = 495

ScaleWidth = 495

TabIndex = 7

End

End

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบคำตั้งเบื้องต้นในการติดต่อสื่อสาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Settings Property, Communications Control

Example

Sets and returns the baud rate, parity, data bit, and stop bit parameters.

Syntax

```
[form.]MSComm.Settings( = paramStrings)
```

Remarks

If *paramStrings* is not valid when the port is opened, the communications control generates error 380 (Invalid property value).

ParamStrings is composed of four settings and has the following format:

"BBBB, P, D, S"

Where BBBB is the baud rate, P is the parity, D is the number of data bits, and S is the number of stop bits. The default value of *paramStrings* is:

"9600, N, 8, 1"

The following table lists the valid baud rates.

Setting

110
300
600
1200
2400
9600 (Default)
14400
19200
38400 (reserved)
56000 (reserved)
128000 (reserved)
256000 (reserved)

The following table describes the valid parity values.

Setting	Description
E	Even
M	Mark
N	(Default) None
O	Odd
S	Space

The following table lists the valid data bit values.

Setting

4
5
6
7
8 (Default)

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 (Default)

1.5

2

Data Type

String



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Handshaking Property, Communications Control

Sets and returns the hardware handshaking protocol.

Syntax

```
[form.]MSCComm.Handshaking[ = protocol%]
```

Remarks

Handshaking refers to the internal communications protocol by which data is transferred from the hardware port to the receive buffer. When a character of data arrives at the serial port, the communications device has to move it into the receive buffer so that your program can read it. If there is no receive buffer and your program is expected to read every character directly from the hardware, you will probably lose data because the characters can arrive very quickly.

A handshaking protocol insures that data is not lost due to a buffer overrun, in which case data arrives at the port too quickly for the communications device to move the data into the receive buffer.

Valid protocols are listed in the following table.

Setting	Value	Description
comNone	0	(Default) No handshaking.
comXOnXOff	1	XON/XOFF handshaking.
comRTS	2	RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send) handshaking.
comRTSXOnXOff	3	Both Request To Send and XON/XOFF handshaking.

Data Type

Integer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

InBufferSize Property, Communications Control

Sets and returns the size of the receive buffer in bytes.

Syntax

```
[form].MSComm.InBufferSize[ = numBytes%]
```

Remarks

InBufferSize refers to the total size of the receive buffer. The default size is 1024 bytes. Do not confuse this property with the InBufferCount property — InBufferCount reflects the number of characters currently waiting in the receive buffer.

Note Note that the larger you make the receive buffer, the less memory you have available to your application. However, if your buffer is too small, it runs the risk of overflowing unless handshaking is used. As a general rule, start with a buffer size of 1024 bytes. If an overflow error occurs, increase the buffer size to handle your application's transmission rate.

Data Type

Integer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

InBufferCount Property, Communications Control

Returns the number of characters waiting in the receive buffer. This property is not available at design time.

Syntax

```
[form.]MSComm.InBufferCount[ = count%]
```

Remarks

InBufferCount refers to the number of characters that have been received by the modem and are waiting in the receive buffer for you to take them out. You can clear the receive buffer by setting the InBufferCount property to 0.

Note Do not confuse this property with the InBufferSize property — InBufferSize reflects the total size of the receive buffer.

Data Type

Integer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CommPort Property, Communications Control

Sets and returns the communications port number.

Syntax

```
[form.]MSComm.CommPort[ = portNumber%]
```

Remarks

You can set *portNumber* to any number between 1 and 99 at design time (the default is 1). However, the communications control generates error 68 (Device unavailable) if the port does not exist when you attempt to open it with the PortOpen property.

Warning You must set the CommPort property before opening the port.

Data Type

Integer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interval Property, Communications Control

Sets the interval, in milliseconds, for polling the hardware port for data under Windows version 3.0.

Syntax

[form.]MComm.Interval[= milliseconds&]

Remarks

The default value for the Interval property is 1000 (1 second).

You only need this property for applications that run under Windows graphical environment version 3.0, because the communications control has to manually poll the hardware port for data at a given interval. However, under Windows operating system version 3.1 this is not necessary, and you don't need to use the Interval property.

Data Type

Long



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PortOpen Property, Communications Control

Example

Sets and returns the state of the communications port (open or closed). This property is not available at design time.

Syntax

```
[form.]MSComm.PortOpen[ = {True | False}]
```

Remarks

The following table lists the PortOpen property settings for the communications control.

Setting	Description
True	Port is opened.
False	Port is closed.

Setting the PortOpen property to True opens the port. Setting it to False closes the port and clears the receive and transmit buffers. The communications control automatically closes the serial port when your application is terminated.

Make sure that the CommPort property is set to a valid port number before opening the port. If the CommPort property is set to an invalid port number when you try to open the port, the communications control generates error 68 (Device unavailable).

In addition, your serial port device must support the Settings property. If the Settings property contains communications settings that your hardware does not support, your hardware may not work correctly.

If either the DTREnable or the RTSEnable properties is set to True before the port is opened, the properties are set to False when the port is closed. Otherwise, the DTR and RTS lines remain in their previous state.

Data Type

Integer (Boolean)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ส่วนรายละเอียดของอุปกรณ์

- ADC 0809 CCN
- IRF Z 44 N
- LM 324 N
- LM 339
- LM 317T
- LM 331



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808/ADC0809 8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

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

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

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

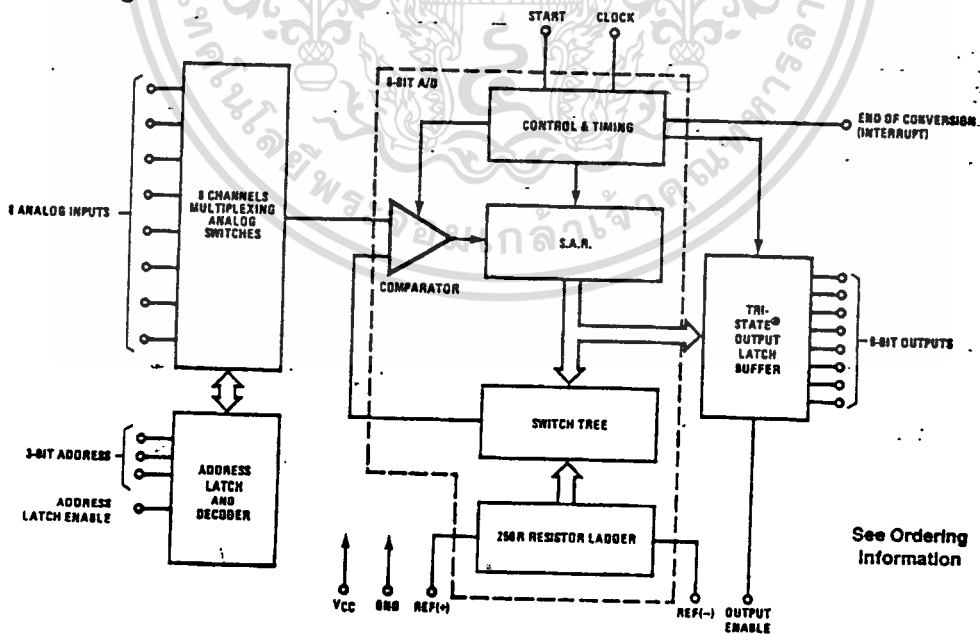
Features

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

Key Specifications

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

Block Diagram



See Ordering Information

TL/H/5672-1

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)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to (V _{CC} +0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	-0.3V to +15V
(START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A = 25°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} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0808CJ	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C
ADC0808CCJ, ADC0808CCN,	
ADC0809CCN	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
Range of V _{CC} (Note 1)	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0808	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T _{MIN} to T _{MAX}			±½ ±¾	LSB LSB
ADC0809	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1 ±1¼	LSB LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		V _{CC} +0.10	V _{DC}
V _{REF(+)}	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC} /2	V _{CC} /2+0.1	V
V _{REF(-)}	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I _{IN}	Comparator Input Current	f _c = 640 kHz, (Note 6)	-2	±0.5	2	µA

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
I _{OFF(+)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} = 5V, V _{IN} = 5V, T _A = 25°C T _{MIN} to T _{MAX}		10	200 1.0	nA µA
I _{OFF(-)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} = 5V, V _{IN} = 0, T _A = 25°C T _{MIN} to T _{MAX}	-200 -1.0	-10		nA µA

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ, 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 $ADC0809CCV$, $4.75V \leq V_{CC} \leq 5.25V$; $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC} - 1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 15V$			1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 0$	-1.0			μA
I_{CC}	Supply Current	$f_{CLK} = 640$ kHz		0.3	3.0	mA

DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC} - 0.4$			V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6$ mA			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2$ mA			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μS
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50$ pF, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640$ kHz, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μS
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		$8 + 2 \mu S$	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 spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V_{DC} to 5V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{CC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

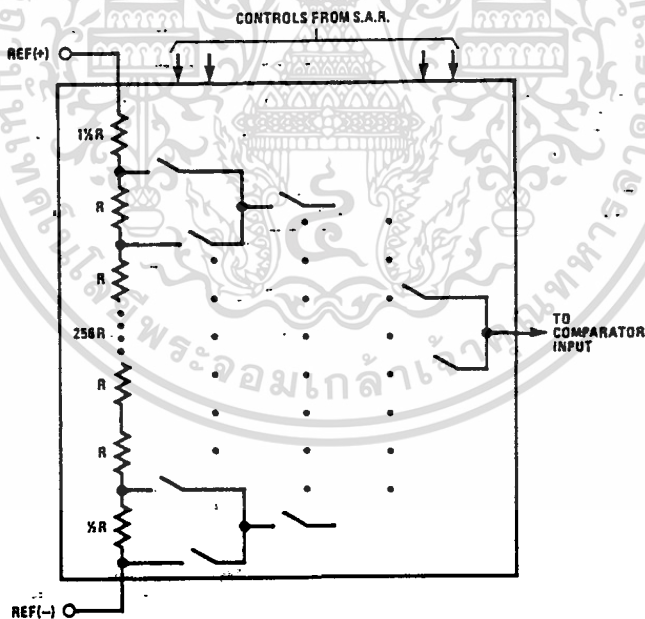
The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed

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 (*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 $+\frac{1}{2}$ 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.



TL/H/5672-2

FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

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.

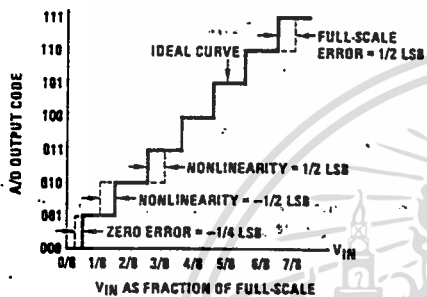


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

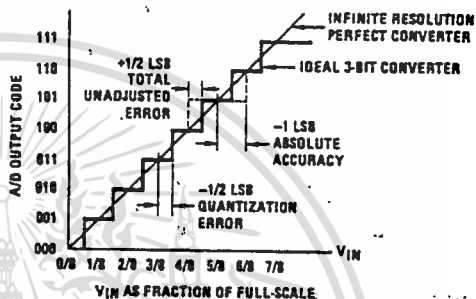


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

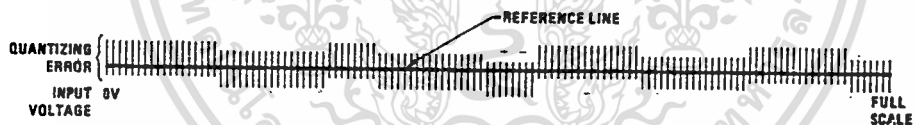


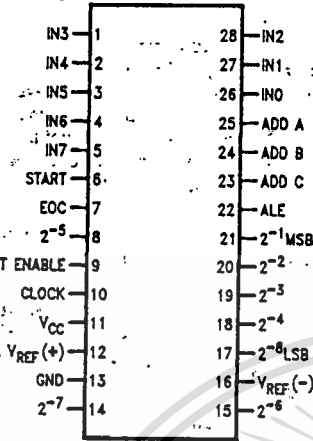
FIGURE 4. Typical Error Curve

TL/H/5672-3

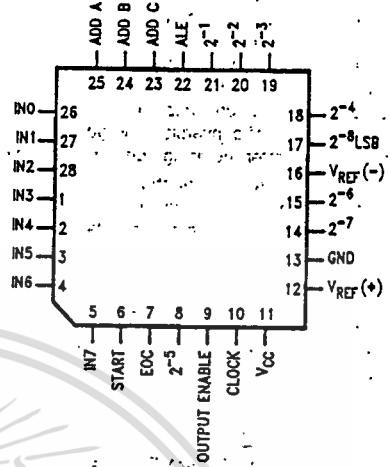
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



Molded Chip Carrier Package



TL/H/5672-11

Order Number ADC0808CCN, ADC0809CCN,
ADC0808CCJ or ADC0808CJ
See NS Package J28A or N28A

TL/H/5672-12

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Timing Diagram

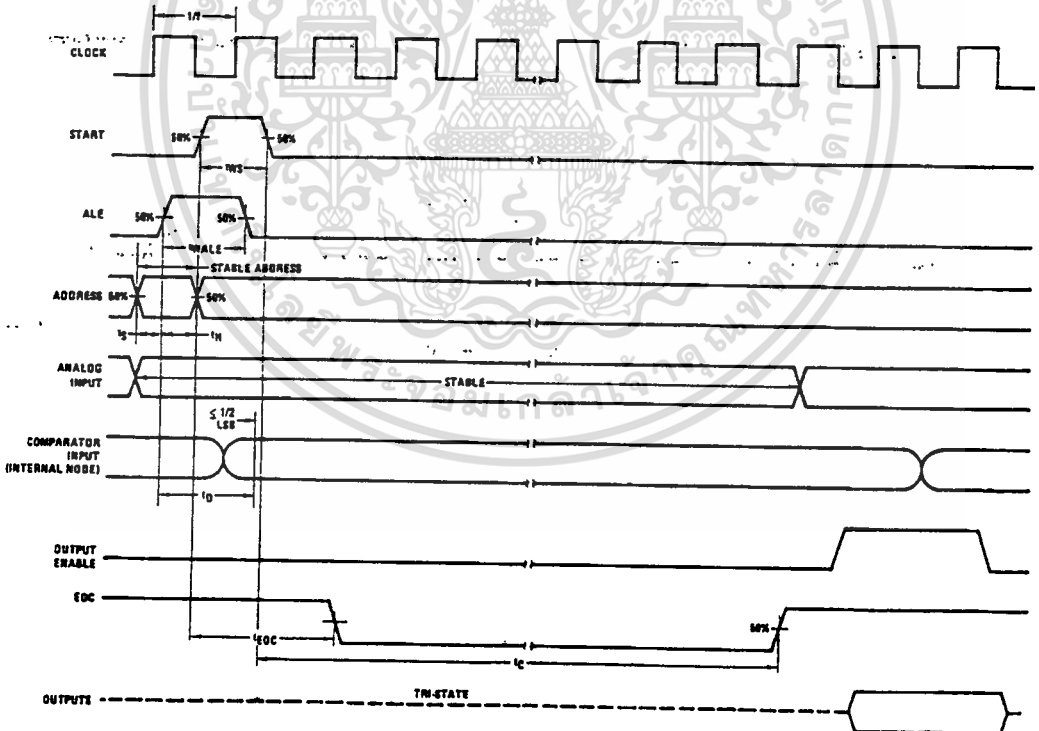


FIGURE 5

TL/H/5672-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

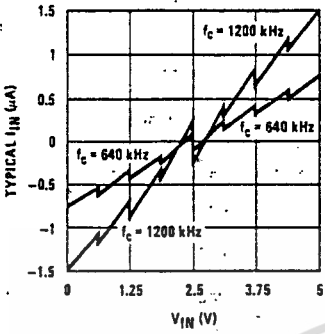


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN} ($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

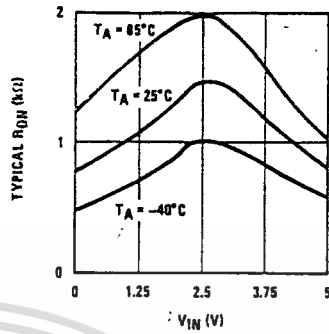
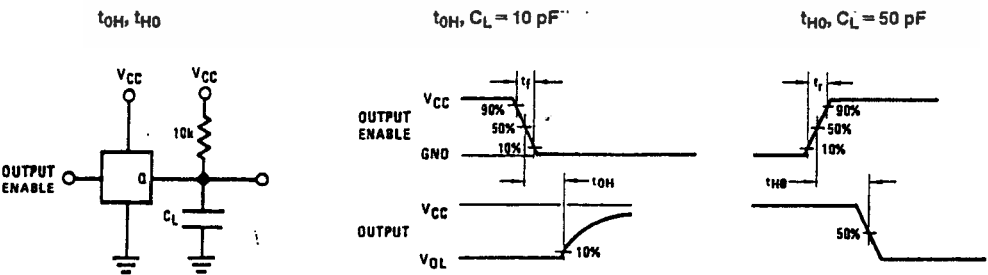
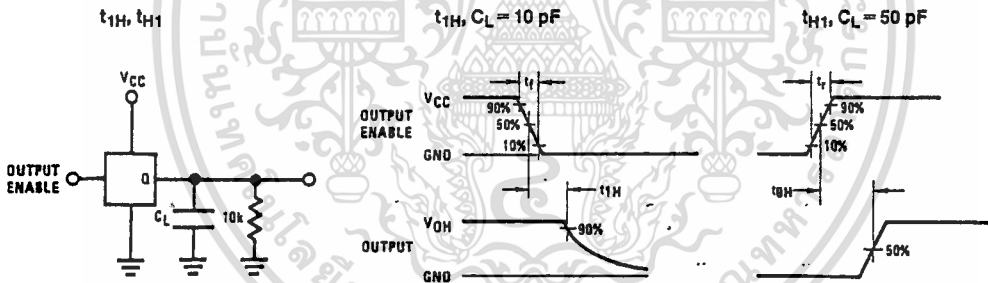


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN} ($V_{CC} = V_{REF} = 5V$)

TL/H/5672-5

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams



TL/H/5672-6

FIGURE 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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:

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

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).

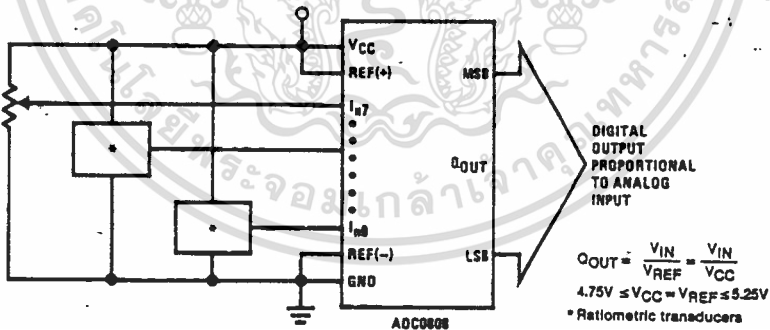


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

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.

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 μ 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.

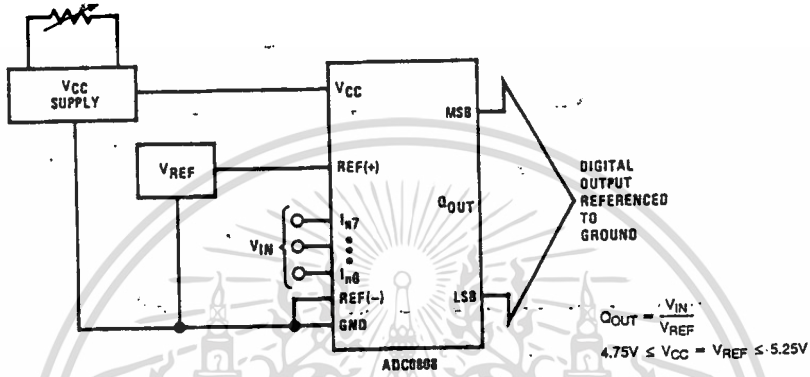


FIGURE 10: Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply

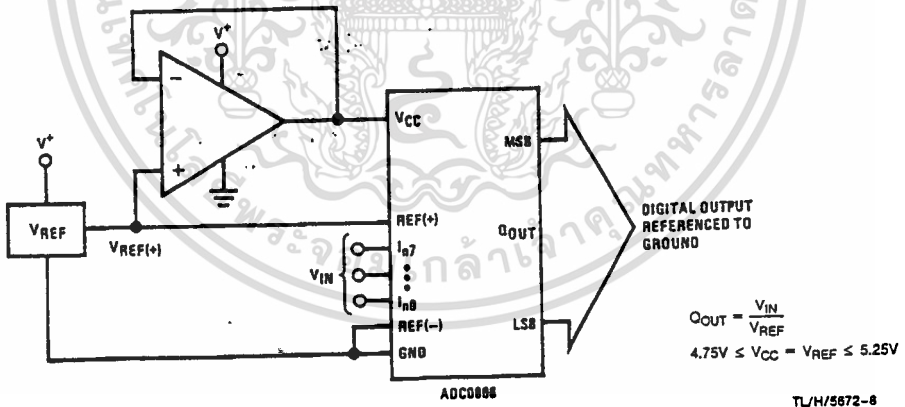
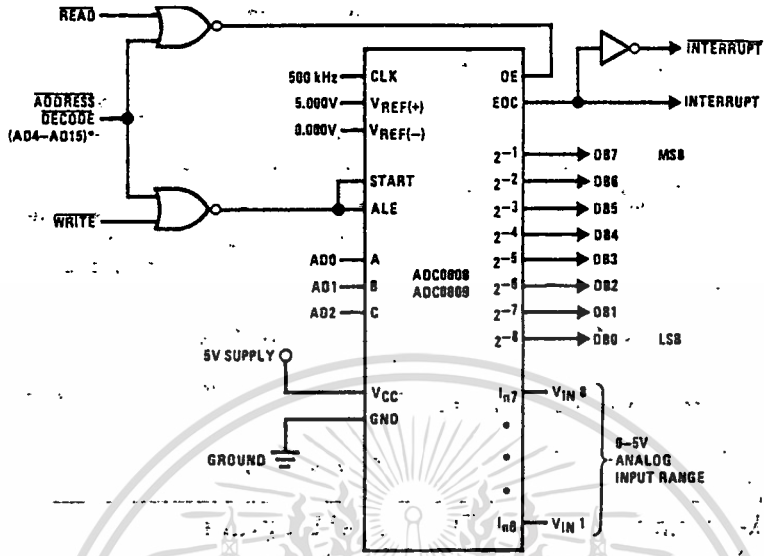


FIGURE 11: Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Application



TL/H/5672-10

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

MICROPROCESSOR INTERFACE TABLE

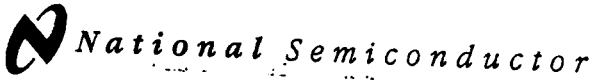
PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	RD	WR	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	RD	WR	INT (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	VMA ϕ 2 ϕ R/W	VMA ϕ ϕ R/W	TRQA or TRQB (Thru PIA)

2

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

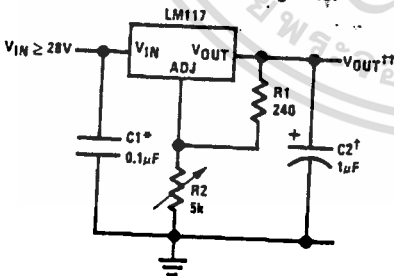
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
E	LCC	2W	0.5A
S	TO-263	4W	1.5A

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

1.2V-25V Adjustable Regulator



TL/H/9063-1

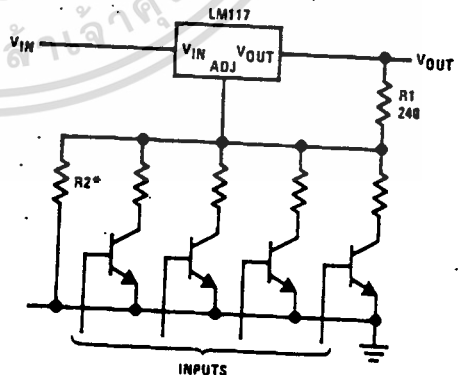
Full output current not available at high input-output voltages

*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.

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

Digitally Selected Outputs



*Sets maximum V_{OUT}

TL/H/9063-2

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 _J ≤ +150°C
LM317A	-40°C ≤ T _J ≤ +125°C
LM317	0°C ≤ T _J ≤ +125°C

Preconditioning

Thermal Limit Burn-In	All Devices 100%
-----------------------	------------------

Electrical Characteristics

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

Parameter	Conditions	LM117 (Note 2)			Units	
		Min	Typ	Max		
Reference Voltage					V	
	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V, 10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} , P ≤ P _{MAX}	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V (Note 4)		0.01	0.02	%/V	
			0.02	0.05	%/V	
Load Regulation	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} (Note 4)		0.1	0.3	%	
			0.3	1	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.03	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	10 mA ≤ I _{OUT} ≤ I _{MAX} 3V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 40V		0.2	5	μA	
Temperature Stability	T _{MIN} ≤ T _J ≤ T _{MAX}		1		%	
Minimum Load Current	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V		3.5	5	mA	
Current Limit	(V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 15V	K Package	1.5	2.2	3.4	A
		H, K Packages	0.5	0.8	1.8	A
	(V _{IN} - V _{OUT}) = 40V	K Package	0.3	0.4		A
		H, K Packages	0.15	0.2		A
RMS Output Noise, % of V _{OUT}	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 0 μF		65		dB	
	V _{OUT} = 10V, f = 120 Hz, C _{ADJ} = 10 μF	66	80		dB	
Long-Term Stability	T _J = 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 อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	μA	
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	μA	
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		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
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T Packages		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $C_{ADJ} = 0\ \mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $C_{ADJ} = 10\ \mu\text{F}$		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		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package							$^\circ\text{C/W}$	
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		$^\circ\text{C/W}$	

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 limits. 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 AOQL (Average Outgoing Quality Level).

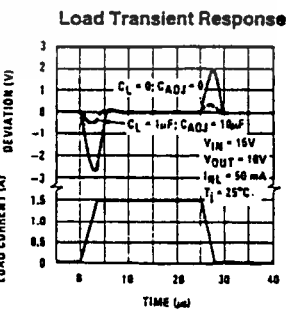
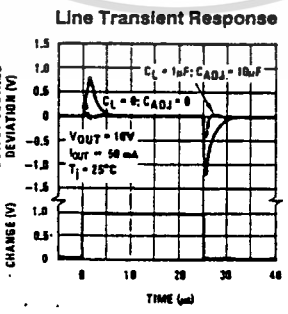
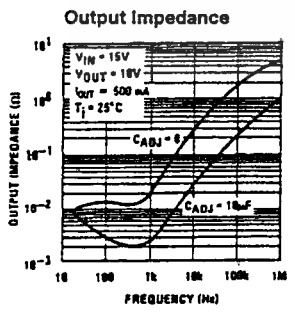
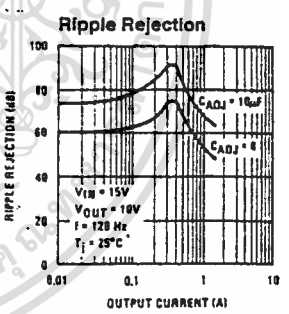
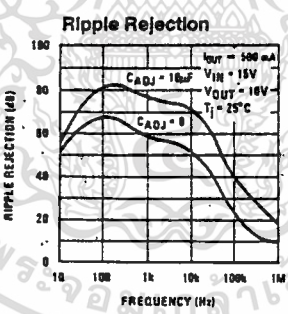
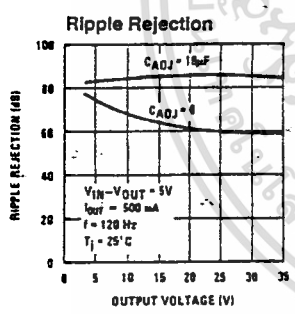
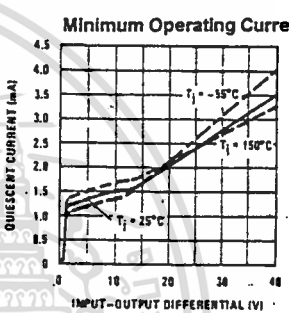
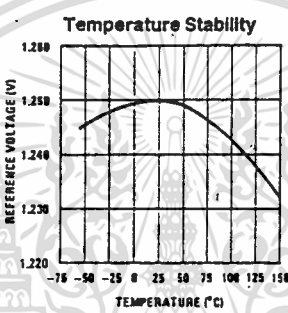
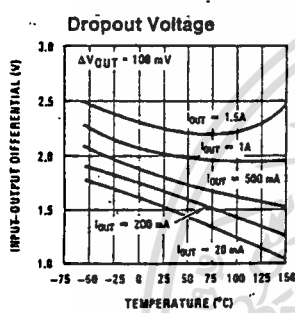
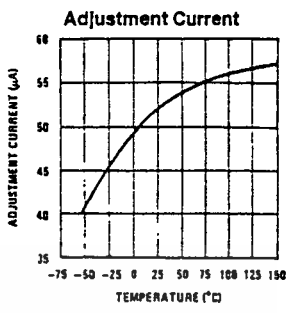
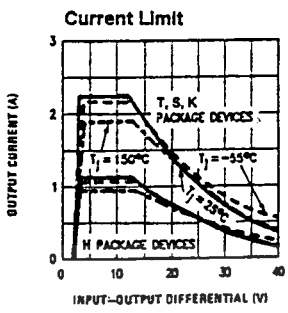
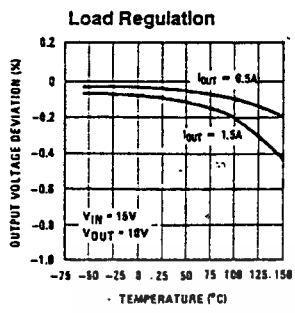
Note 4: Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω 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, θ_{JA} is 50°C/W ; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W ; and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W .

Typical Performance Characteristics

Output Capacitor = 0 μ F unless otherwise noted



TL/H/9083-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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

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

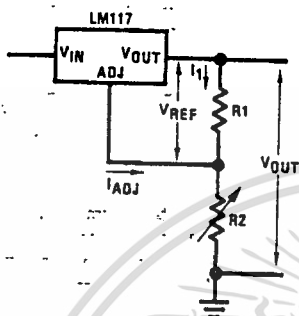


FIGURE 1

TL/H/9063-5

Since the 100 μ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize I_{ADJ} 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 μ F disc or 1 μ 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 μ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10 μ 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 μ F in aluminum electrolytic to equal 1 μ 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 μ F disc may seem to work better than a 0.1 μ 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 μ F solid tantalum (or 25 μ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10 μ 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 Ω) 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 Ω 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 Ω set resistor.

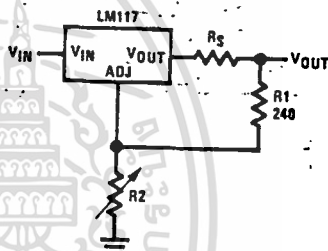


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

TL/H/9063-6

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

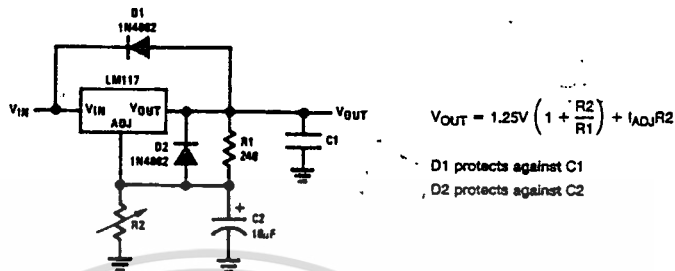
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10 μ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although 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 25 μ 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.



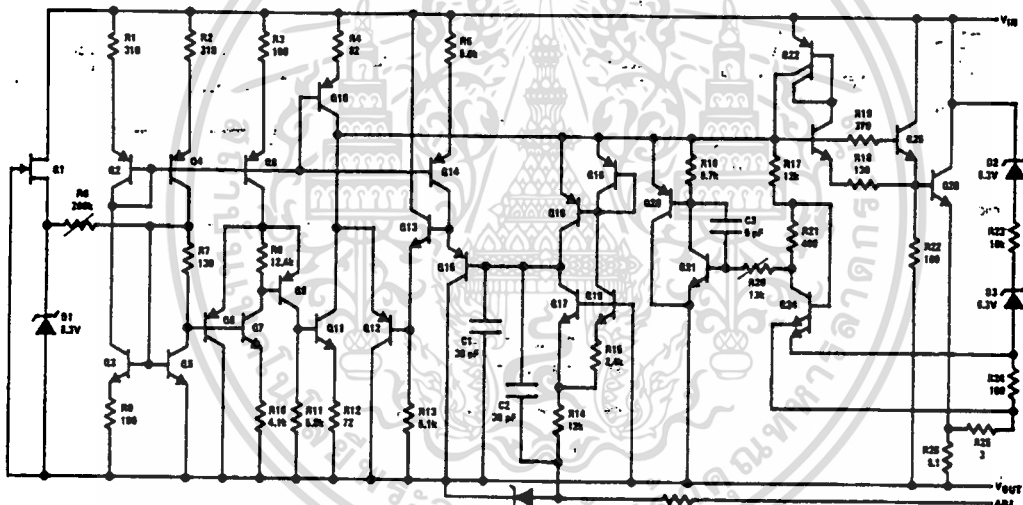
$$V_{out} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{AD}R_2$$

D1 protects against C1
D2 protects against C2

TL/H/9083-7

FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

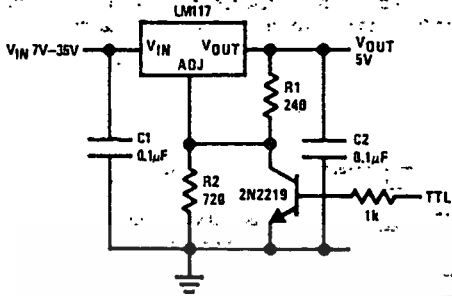
Schematic Diagram



TL/H/9083-8

Typical Applications (Continued)

5V Logic Regulator with Electronic Shutdown*

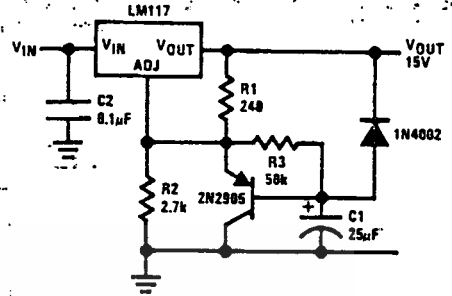


*Min. output = 1.2V

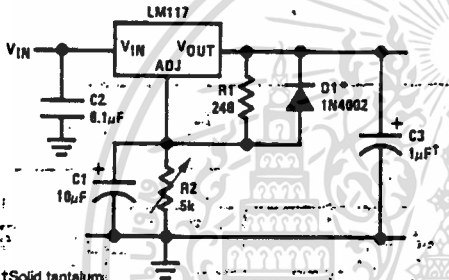
TL/H/9063-3

TL/H/9063-9

Slow Turn-On 15V Regulator



Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection



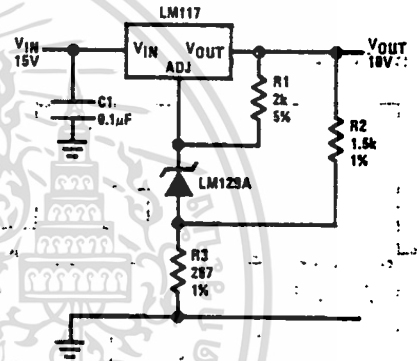
†Solid tantalum

‡Discharges C1 if output is shorted to ground

TL/H/9063-10

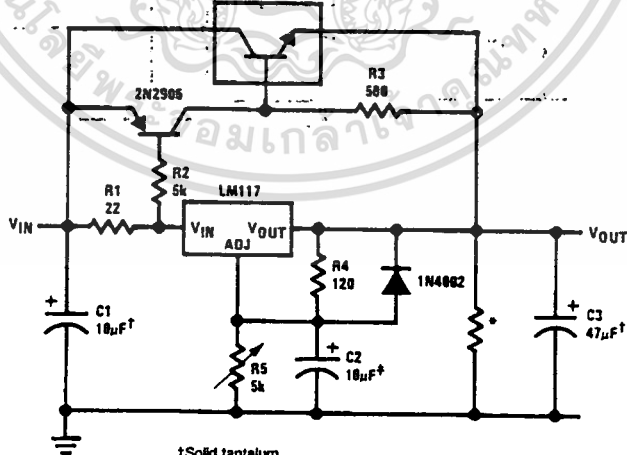
TL/H/9063-11

High Stability 10V Regulator



High Current Adjustable Regulator

3-LM195'S IN PARALLEL



†Solid tantalum

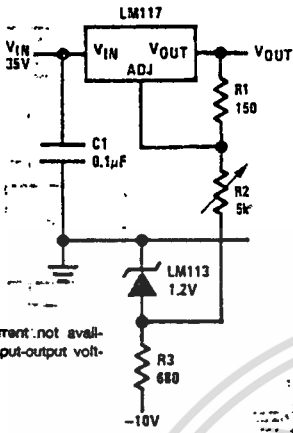
*Minimum load current = 30 mA

‡Optional—improves ripple rejection

TL/H/9063-12

Typical Applications (Continued)

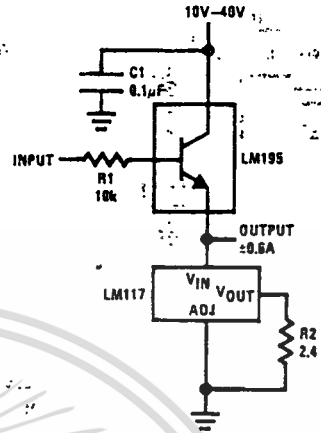
0 to 30V Regulator



Full output current not available at high input-output voltages

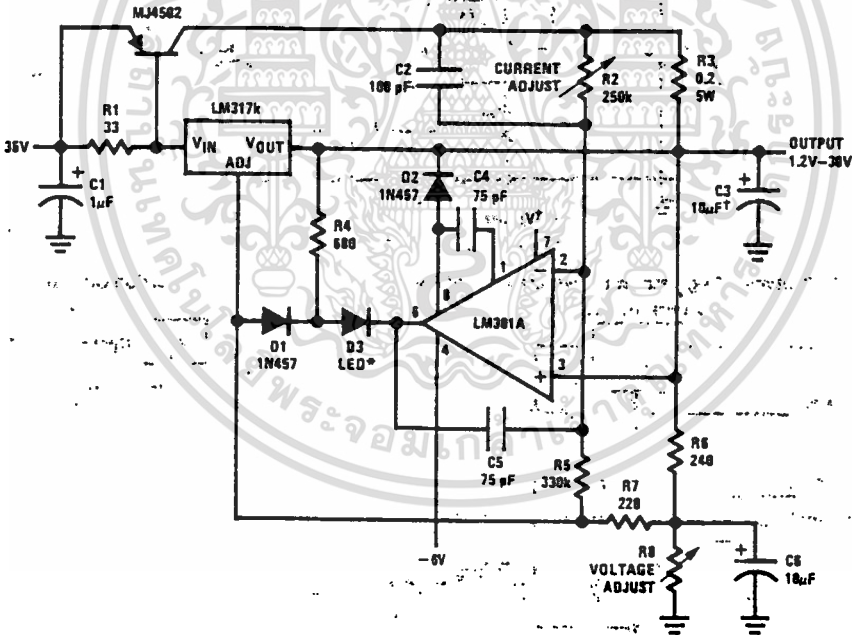
TL/H/9063-13

Power Follower



TL/H/9063-14

5A Constant Voltage/Constant Current Regulator



†Solid tantalum

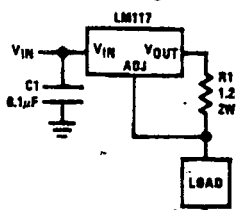
*Lights in constant current mode

TL/H/9063-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

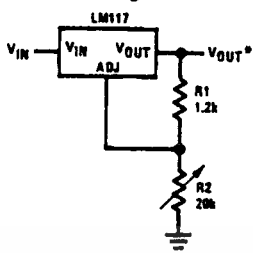
Typical Applications (Continued)

1A Current Regulator



TL/H/9063-16

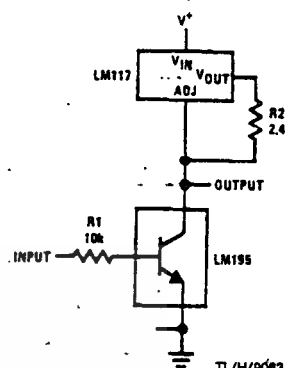
1.2V-20V Regulator with Minimum Program Current



TL/H/9063-17

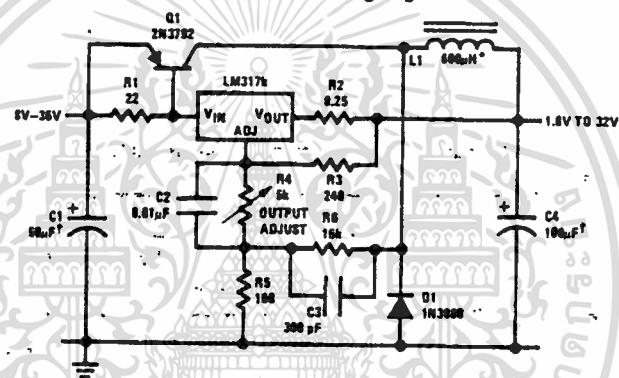
*Minimum load current ≈ 4 mA

High Gain Amplifier



TL/H/9063-18

Low Cost 3A Switching Regulator

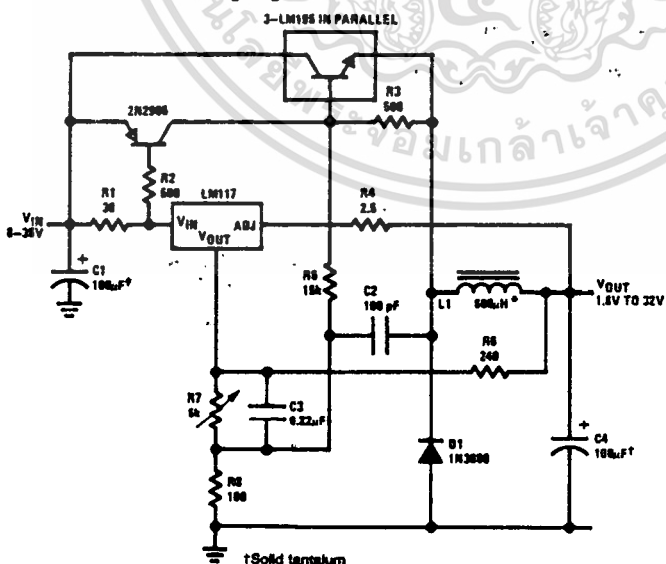


†Solid tantalum

*Core—Amold A-254166-2 60 turns

TL/H/9063-19

4A Switching Regulator with Overload Protection

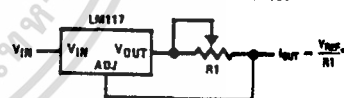


†Solid tantalum

*Core—Amold A-254166-2 60 turns

TL/H/9063-20

Precision Current Limiter

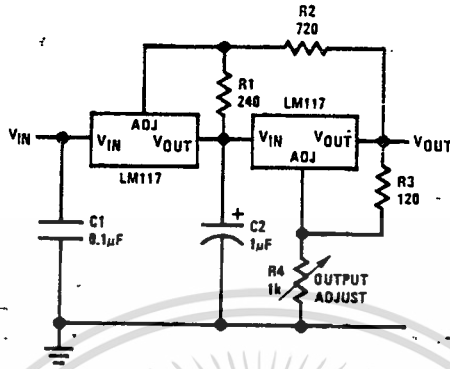


* $0.8\Omega \leq R1 \leq 120\Omega$

TL/H/9063-21

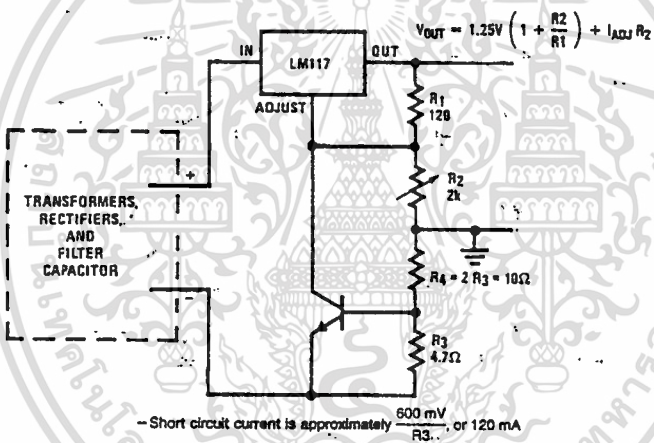
Typical Applications (Continued)

Tracking Preregulator



TL/H/9063-22

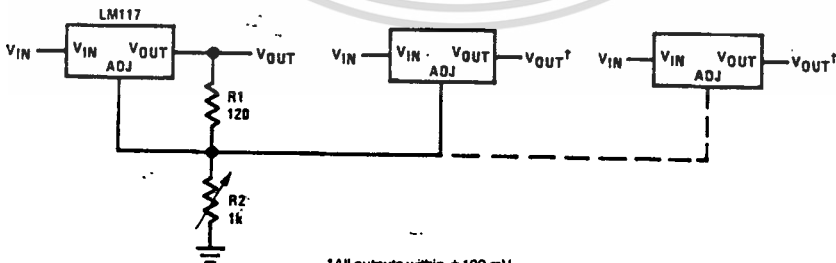
Current Limited Voltage Regulator



- Short circuit current is approximately $\frac{500 \text{ mV}}{R_3}$, 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

TL/H/9063-23

Adjusting Multiple On-Card Regulators with Single Control*



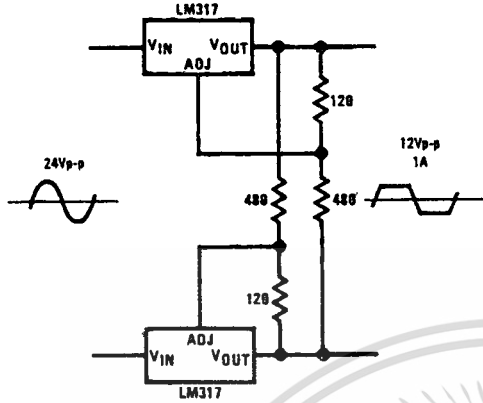
*All outputs within $\pm 100 \text{ mV}$
 †Minimum load—10 mA

TL/H/9063-24

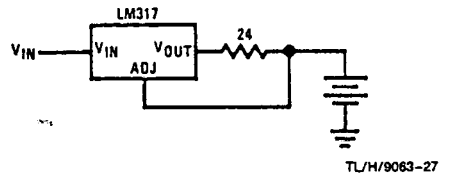
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

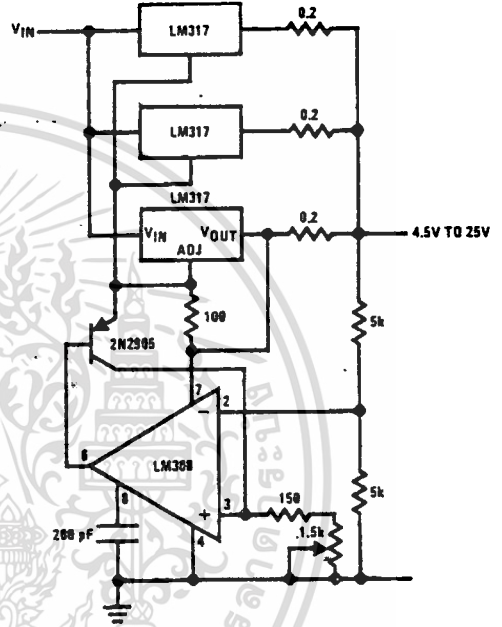
AC Voltage Regulator



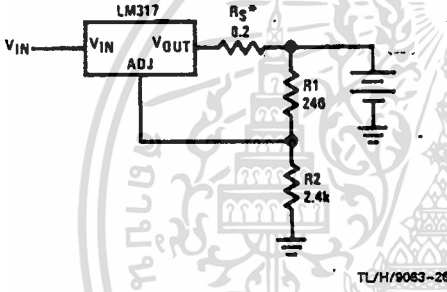
50 mA Constant Current Battery Charger



Adjustable 4A Regulator

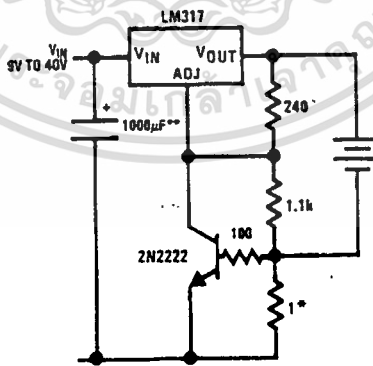


12V Battery Charger



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

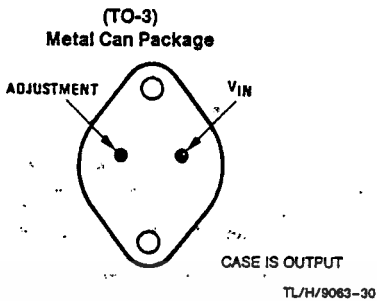
Current Limited 6V Charger



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

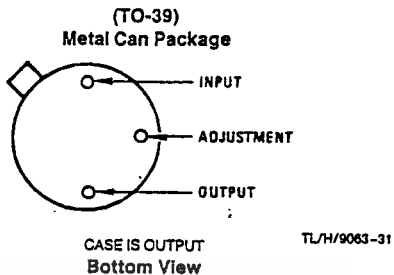
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams



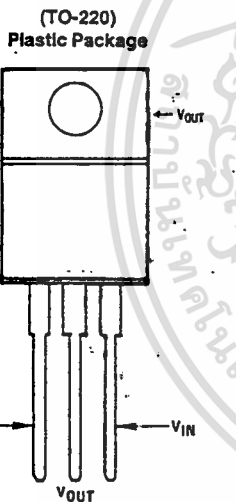
Bottom View

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



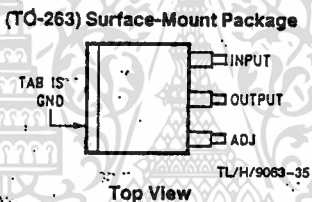
Bottom View

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

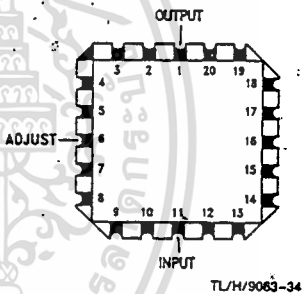


Top View



Side View

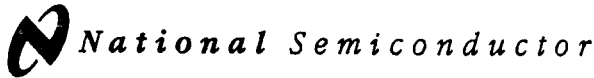
Order Number LM317S
See NS Package Number TS3B



Top View

Order Number LM117E/883
See NS Package Number E20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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.

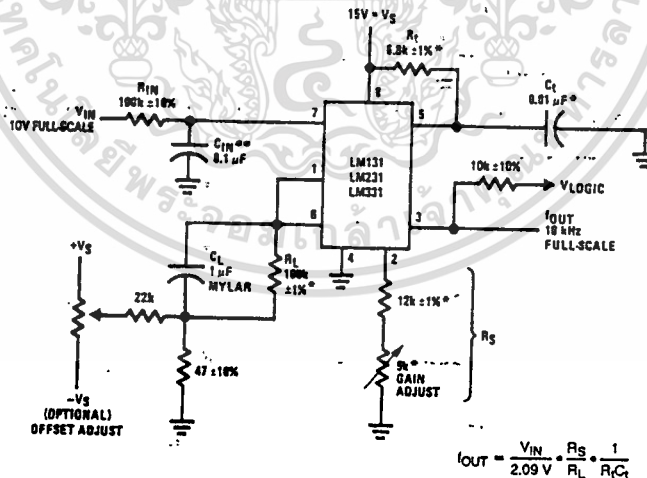
The LM131/LM231/LM331 utilizes a new temperature-compensated band-gap reference circuit, to provide excellent accuracy over the full operating temperature range, at power supplies as low as 4.0V. The precision timer circuit

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 VCC.

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, ± 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



TL/H/5680-1

*Use stable components with low temperature coefficients. See Typical Applications section.

**0.1 μF or 1 μF . 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)**

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 (θ _{JA})			
(H Package) P _D	670 mW		
θ _{JA}	150°C/W		
(N Package) P _D		1.25W	1.25W
θ _{JA}		100°C/W	100°C/W
(M Package) P _D		1.25W	
θ _{JA}		85°C/W	
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)			
Dual-in-Line Package (Plastic)	260°C	260°C	260°C
Metal Can Package (TO-5)	260°C		
ESD Susceptibility (Note 4)			
Metal Can Package (TO-5)	2000V		
Other Packages		500V	500V

Electrical Characteristics T_A = 25°C unless otherwise specified (Note 2)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
VFC Non-Linearity (Note 3)	4.5V ≤ V _S ≤ 20V		±0.003	±0.01	% Full-Scale
	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}		±0.006	±0.02	% Full-Scale
VFC Non-Linearity In Circuit of Figure 1	V _S = 15V, f = 10 Hz to 11 kHz		±0.024	±0.14	% Full-Scale
Conversion Accuracy Scale Factor (Gain) LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	V _{IN} = -10V, R _S = 14 kΩ	0.95	1.00	1.05	kHz/V
		0.90	1.00	1.10	
Temperature Stability of Gain LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX} , 4.5V ≤ V _S ≤ 20V		±30	±150	ppm/°C
			±20	±50	
Change of Gain with V _S	4.5V ≤ V _S ≤ 10V 10V ≤ V _S ≤ 40V		0.01	0.1	% / V
			0.006	0.06	
Rated Full-Scale Frequency	V _{IN} = -10V	10.0			kHz
Gain Stability vs Time (1000 Hrs)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}		±0.02		% Full-Scale
Overrange (Beyond Full-Scale) Frequency	V _{IN} = -11V	10			%
INPUT COMPARATOR					
Offset Voltage LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX} T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}		±3	±10	mV
			±4	±14	mV
			±3	±10	mV
Bias Current			-80	-300	nA
Offset Current			±8	±100	nA
Common-Mode Range	T _{MIN} ≤ T _A ≤ 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
TIMER					
Timer Threshold Voltage, Pin 5		0.63	0.667	0.70	$\times V_S$
Input Bias Current, Pin 5 All Devices LM131/LM231/LM331 LM131A/LM231A/LM331A	$V_S = 15\text{V}$ $0\text{V} \leq V_{\text{PIN } 5} \leq 9.9\text{V}$ $V_{\text{PIN } 5} = 10\text{V}$ $V_{\text{PIN } 5} = 10\text{V}$		± 10 200 200	± 100 1000 500	nA nA nA
$V_{\text{SAT PIN } 5}$ (Reset)	$I = 5\text{ mA}$		0.22	0.5	V
CURRENT SOURCE (Pin 1)					
Output Current LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	$R_S = 14\text{ k}\Omega$, $V_{\text{PIN } 1} = 0$	128 116	135 136	144 156	μA μA
Change with Voltage	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN } 1} \leq 10\text{V}$		0.2	1.0	μA
Current Source OFF Leakage LM131, LM131A LM231, LM231A, LM331, LM331A All Devices	$T_A = T_{\text{MAX}}$		0.01 0.02 2.0	1.0 10.0 50.0	nA nA nA
Operating Range of Current (Typical)			(10 to 500)		μA
REFERENCE VOLTAGE (Pin 2)					
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A		1.76 1.70	1.89 1.89	2.02 2.08	V_{DC} V_{DC}
Stability vs Temperature			± 60		ppm/ $^\circ\text{C}$
Stability vs Time, 1000 Hours...			± 0.1		%
LOGIC OUTPUT (Pin 3)					
V_{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 ± 0.05	0.40 1.0	V μA
SUPPLY CURRENT					
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	$V_S = 5\text{V}$ $V_S = 40\text{V}$ $V_S = 5\text{V}$ $V_S = 40\text{V}$	2.0 2.5 1.5 2.0	3.0 4.0 3.0 4.0	4.0 6.0 6.0 8.0	mA mA mA 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.

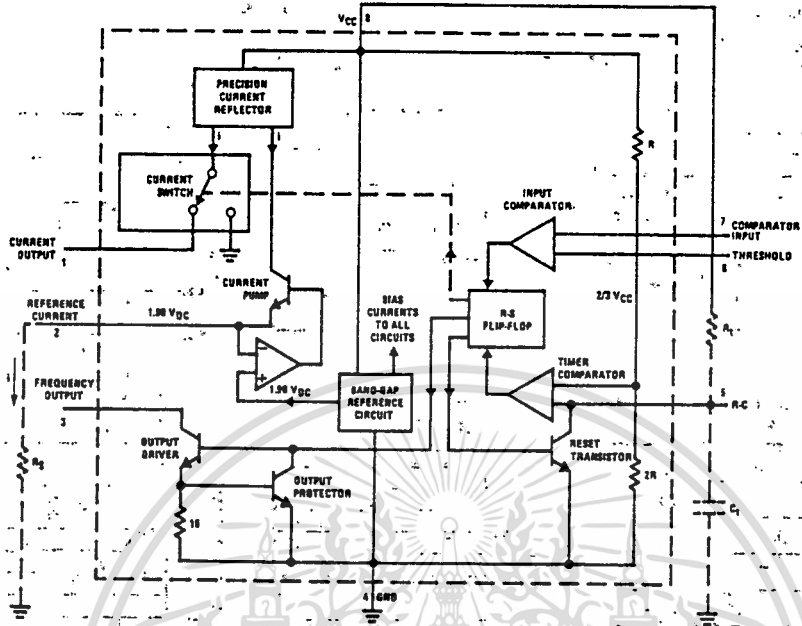
Note 2: All specifications apply in the circuit of Figure 3, with $4.0\text{V} \leq V_S \leq 40\text{V}$, unless otherwise noted.

Note 3: Nonlinearity is defined as the deviation of f_{OUT} from $V_{\text{IN}} \times (10\text{ kHz} / \sim 10\text{ V}_{\text{DC}})$ 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®, or polystyrene.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Block Diagram



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

FIGURE 1a

TU/H/5680-2

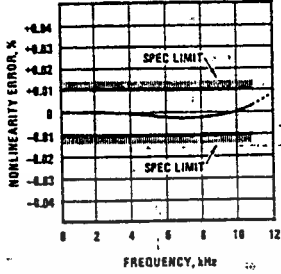
LM131A/LM131/LM231A/LM231/LM331A/LM331

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

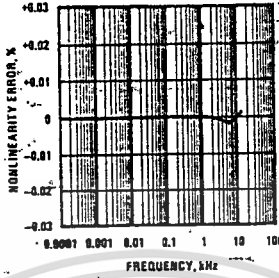
Typical Performance Characteristics

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

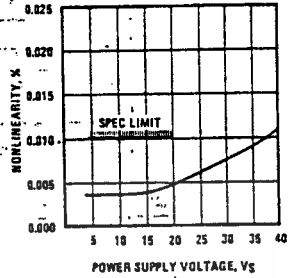
Nonlinearity Error, LM131 Family, as Precision V-to-F Converter (Figure 3)



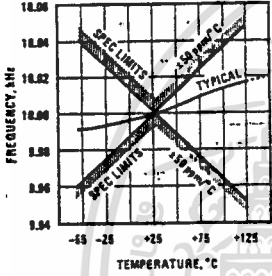
Nonlinearity Error, LM131 Family



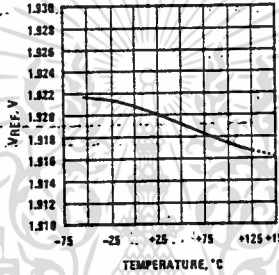
Nonlinearity vs Power Supply Voltage



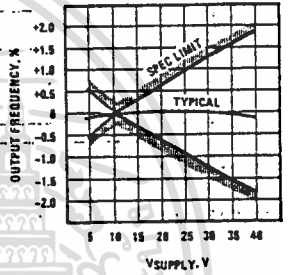
Frequency vs Temperature, LM131A



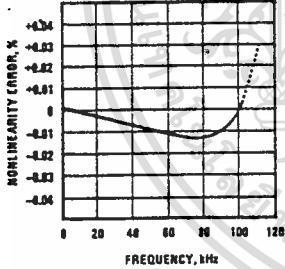
VREF vs Temperature, LM131A



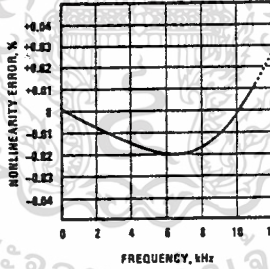
Output Frequency vs VSUPPLY



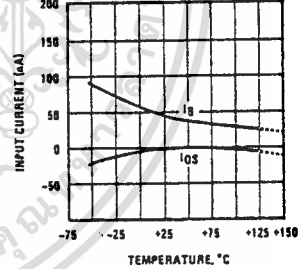
100 kHz Nonlinearity Error, LM131 Family (Figure 4)



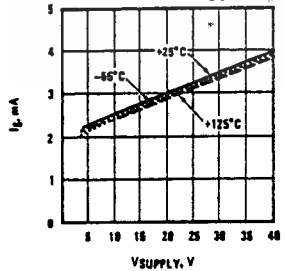
Nonlinearity Error, LM131 (Figure 7)



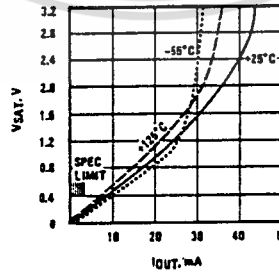
Input Current (Pins 6, 7) vs Temperature



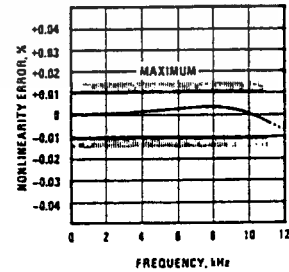
Power Drain vs VSUPPLY



Output Saturation Voltage vs IOUT (Pin 3)



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



TL/H/5680-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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 $t = 1.1 R_T C_T$. 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_L . 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_L will be gradually discharged by R_L 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_L is exactly $I_{AVE} = i \times (1.1 \times R_T C_T) \times f$, and the current flowing out of C_L is exactly $V_x / R_L = V_{IN} / R_L$. If V_{IN} 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.

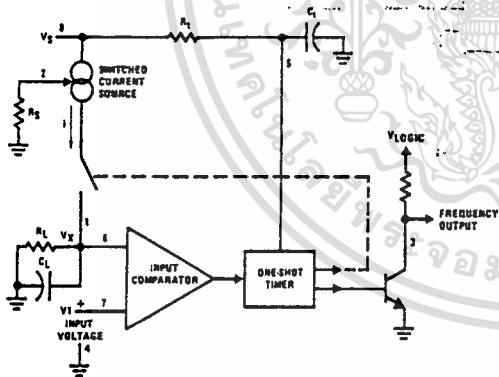


FIGURE 2. Simplified Block Diagram of Stand-Alone Voltage-to-Frequency Converter Showing LM131 and External Components

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

The block diagram shows a band gap reference which provides a stable $1.9 V_{DC}$ output. This $1.9 V_{DC}$ 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 $1/2\%$ over a 100°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 $R_S = 14k$, $i = 135 \mu\text{A}$. 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 $R_T C_T$ 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 50Ω . In case of overload, the output current is actively limited to less than 50 mA.

The voltage at pin 2 is regulated at $1.90 V_{DC}$ for all values of i between $10 \mu\text{A}$ to $500 \mu\text{A}$. 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)

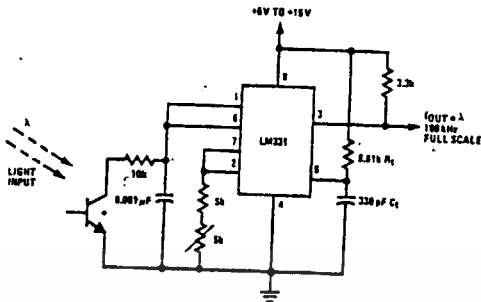
The simple stand-alone V-to-F converter shown in Figure 1 includes all the basic circuitry of Figure 2 plus a few components for improved performance.

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 ($\sim 80 \text{ nA}$ 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_T , R_L and C_T .

Typical Applications (Continued)

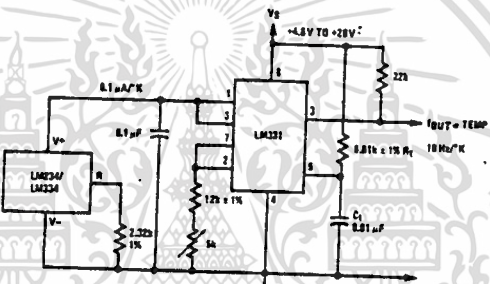
Light Intensity to Frequency Converter



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

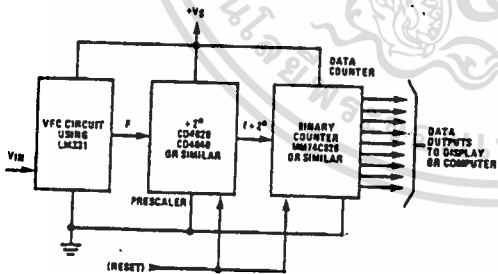
TL/H/5680-9

Temperature to Frequency Converter



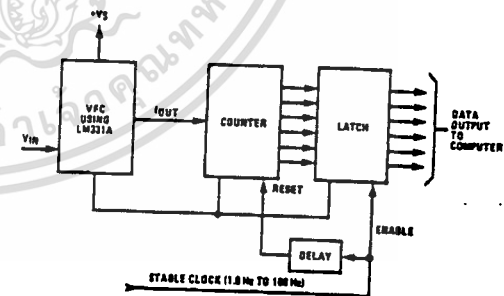
TL/H/5680-10

Long-Term Digital Integrator Using VFC



TL/H/5680-11

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

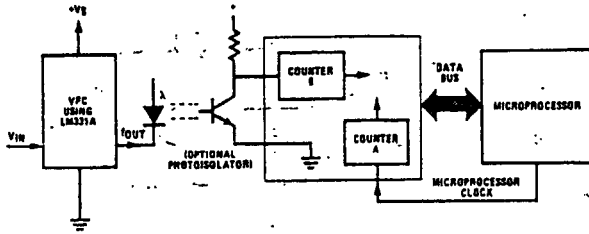


TL/H/5680-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

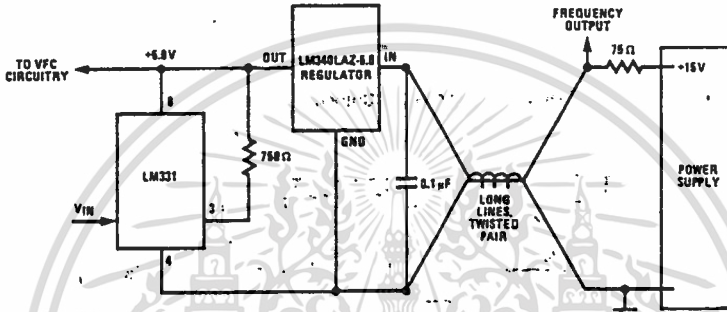
Typical Applications (Continued)

Analog-to-Digital Converter with Microprocessor



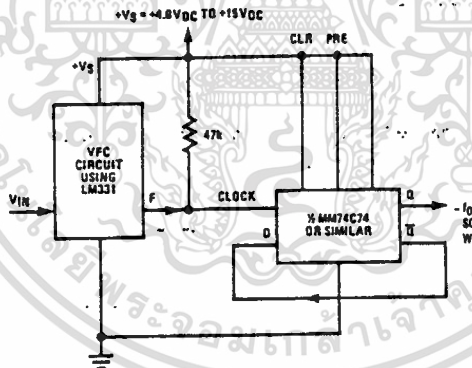
TL/H/5680-13

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



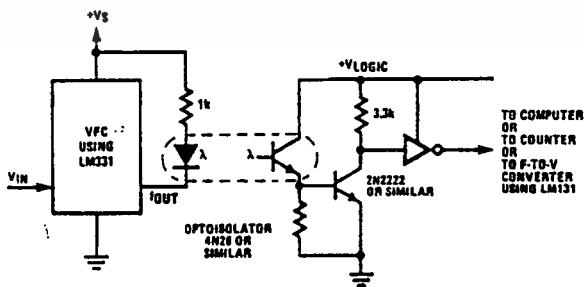
TL/H/5680-14

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



TL/H/5680-15

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators

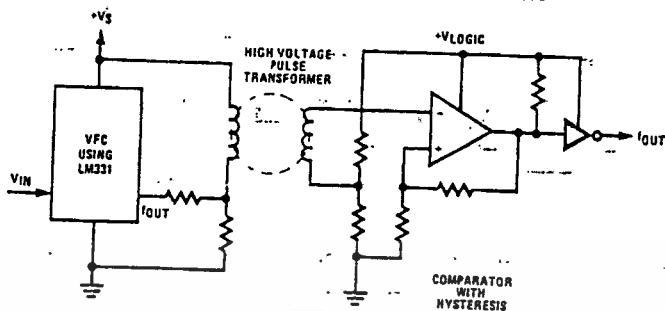


TL/H/5680-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

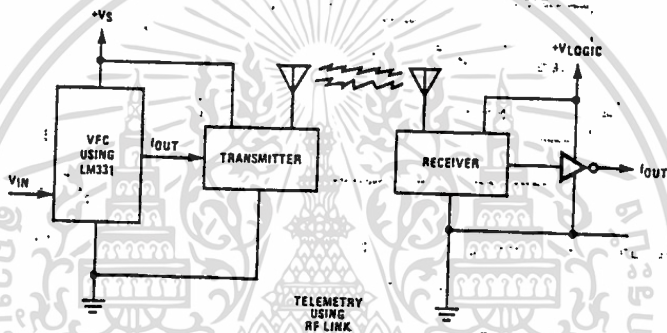
Typical Applications (Continued)

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



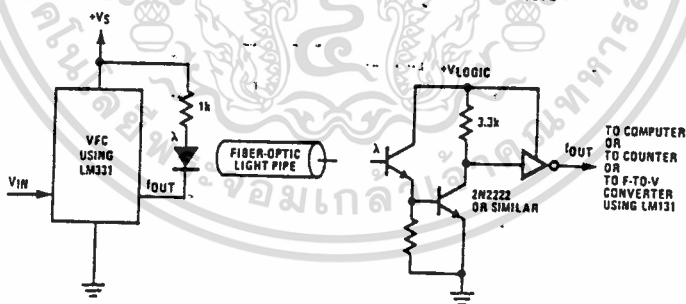
TL/H/5680-17

Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



TL/H/5680-18

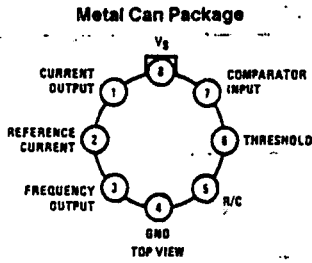
Voltage-to-Frequency Converter with Isolators



TL/H/5680-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

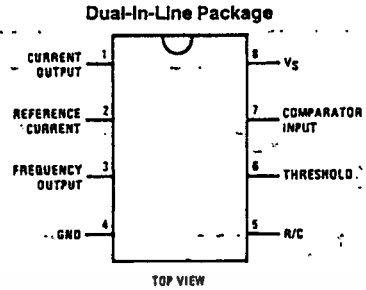
Connection Diagrams



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

TL/H/5680-20

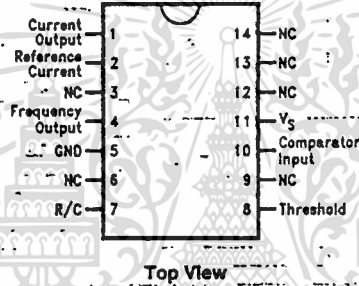
Order Number LM131H/883 or LM131AH/883
See NS Package Number H08C



TL/H/5680-21

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

Small-Outline Package

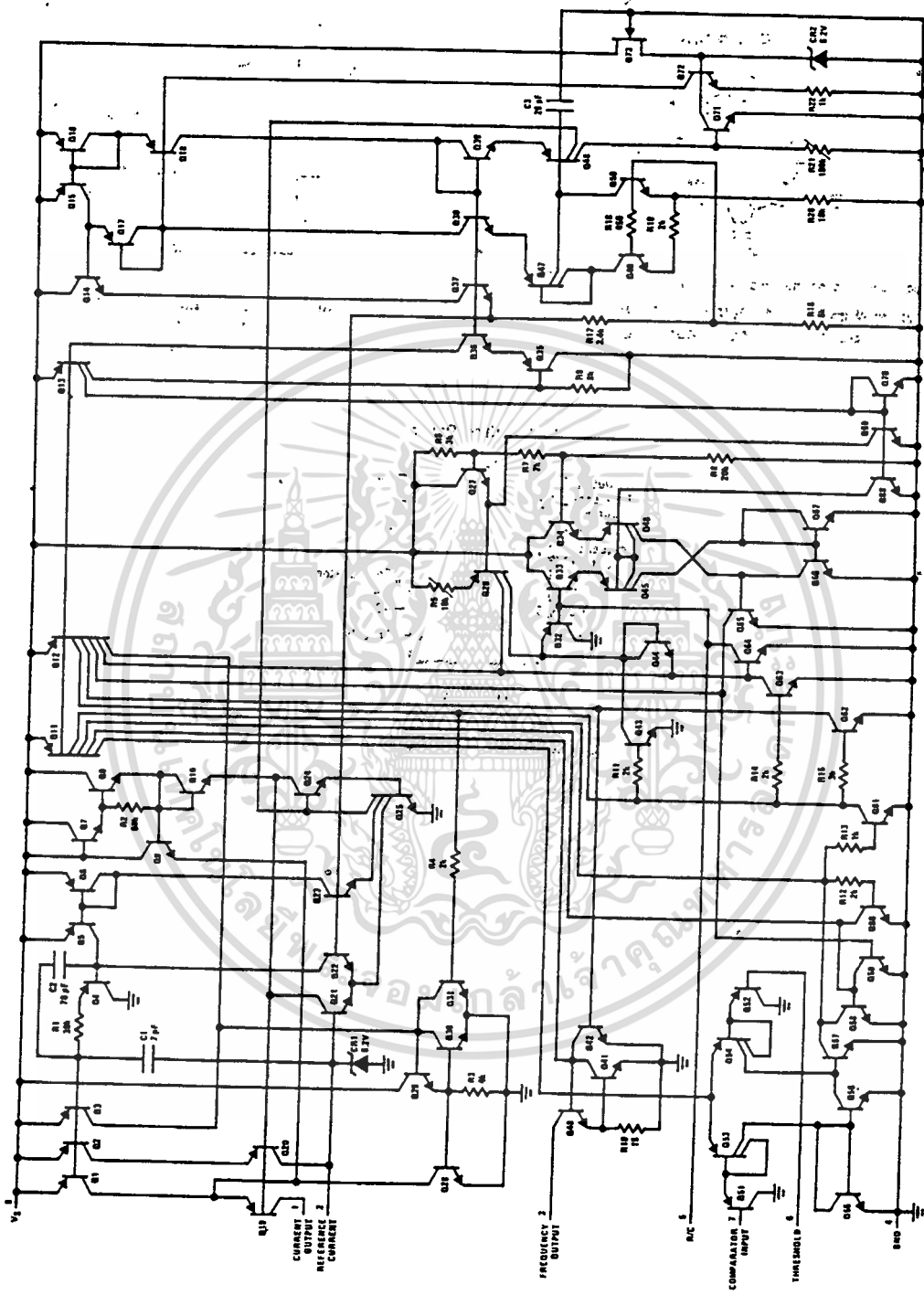


TL/H/5680-24

Order Number LM231WM
See NS Package Number M14B

LM131A/LM131/LM231A/LM231/LM331A/LM331

Schematic Diagram



TL/H/5880-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

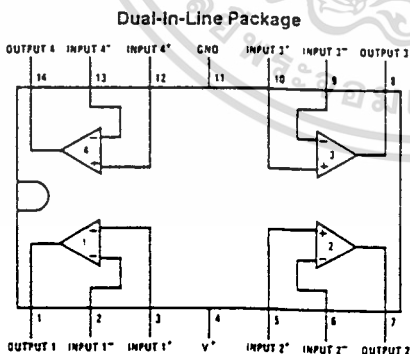
Advantages

- 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 (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3V to 32V
 - or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current (temperature compensated) 45 nA
- Low input offset voltage and offset current 2 mV 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 $V^+ - 1.5V$

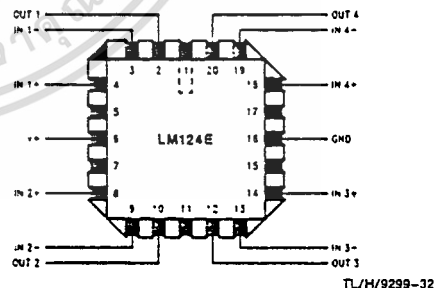
Connection Diagram



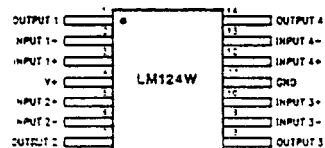
Top View

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 cer JM38510/11C05
**LM124 available cer JM38510/11C05



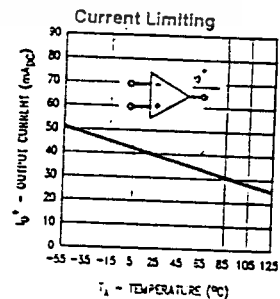
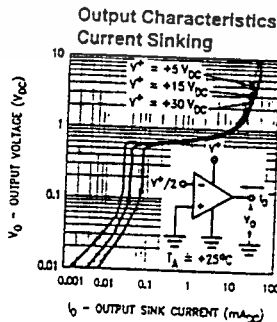
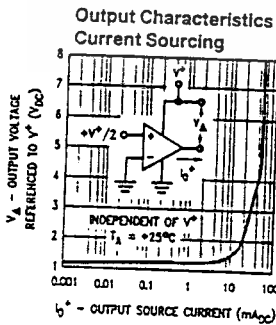
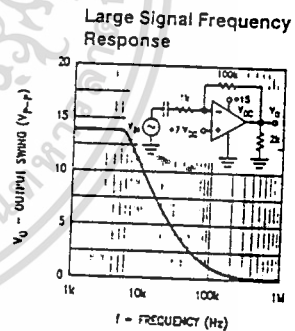
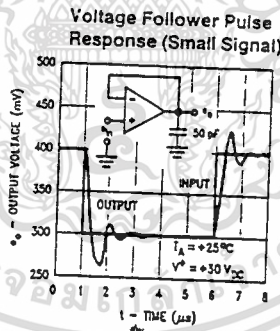
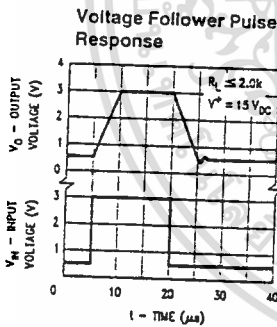
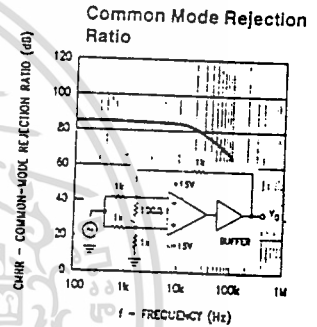
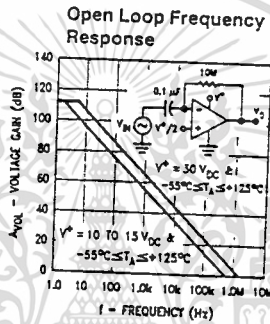
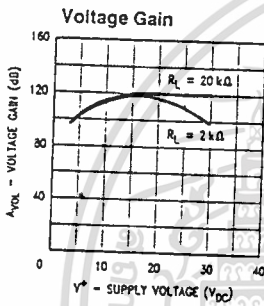
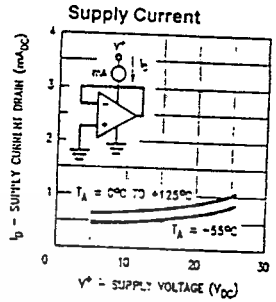
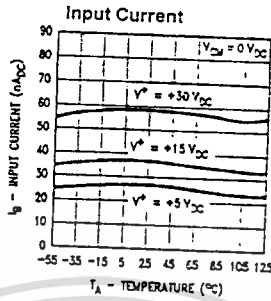
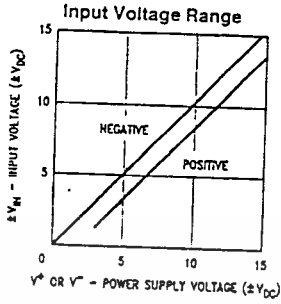
Order Number LM124AE/883 or LM124E/883
See NS Package Number E20A



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

typical Performance Characteristics

LM124/LM224/LM324/LM2902



Electrical Characteristics $V^+ = +5.0V$ (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		10	20		mA	
	Sink		$V_{IN}^- = +1V,$ $V_{IN}^+ = 0V, V^+ = 15V$	10	15		5	8		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 $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $83^\circ C/W$ 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 $+150^\circ C$ 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 $25^\circ C$).

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

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.

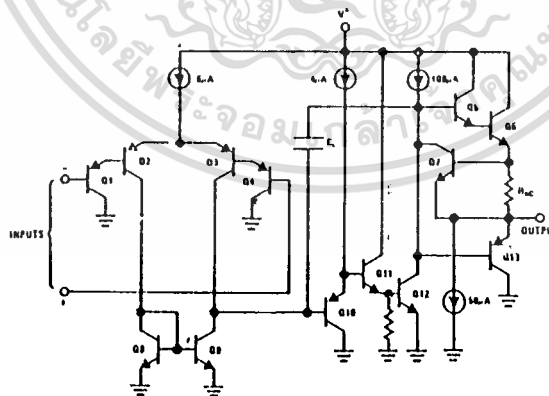
Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at $25^\circ C$). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to $+32V$ without damage ($+26V$ for LM2902), 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 body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Schematic Diagram (Each Amplifier)



Parameter	Conditions		LM124A			LM224A			LMJ24A			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 Rotorrod)		-120			-120			-120			-120			-120			-120			dB		
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1\text{V}, V_{IN}^- = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}, V_O = 2\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		mA		
		Sink	$V_{IN}^- = 1\text{V}, V_{IN}^+ = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}, V_O = 2\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		mA	
		$V_{IN}^- = 1\text{V}, V_{IN}^+ = 0\text{V},$ $V^+ = 15\text{V}, V_O = 200 \text{ mV}, T_A = 25^\circ\text{C}$	12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		μA		
Short Circuit to Ground	(Note 2) $V^+ = 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		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			7			7			7			7			7			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0\text{V}$		30			30			75			100			150			45			200	nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10			10			10			10			10			10			$\text{pA}/^\circ\text{C}$		
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		40			40			40			40			40			40			500	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = +30\text{V}$ (LM2902, $V^+ = 26\text{V}$)		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$		0	$V^+ - 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15\text{V}$ (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}	$V^+ = 30\text{V}$ (LM2902, $V^+ = 26\text{V}$)	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		26	26		26		26		26		26		22		22		22		V	
			$R_L = 10 \text{ k}\Omega$		27	20	27	20	27	20	27	20	27	20	27	20	23	24	23	24	23	24	
	V_{OL}	$V^+ = 5\text{V}, R_L = 10 \text{ k}\Omega$			5	20		5		20		5		20		5		20		5		100	mV

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^1	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	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	
Power Dissipation (Note 1)	1130 mW	1130 mW	Soldering Information	
Molded DIP	1260 mW	1260 mW	Dual-In-Line Package	
Cavity DIP	800 mW	800 mW	Soldering (10 seconds)	
Small Outline Package			260°C	
Output Short Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous	Small Outline Package	
$V^1 \sim 15V$ and $T_A = 25^\circ C$			Soldering (10 seconds)	
Operating Temperature Range	0°C to +70°C	-40°C to +85°C	Vapor Phase (60 seconds)	
LM324/LM324A	-25°C to +85°C		215°C	
LM224/LM224A	-55°C to +125°C		220°C	
LM124/LM124A			Infrared (15 seconds)	
			215°C	
			220°C	
			See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
			FSD Tolerance (Note 10)	
			250V	
			250V	

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) $T_A = 25^\circ C$	1		2	1		3	2		3	2		5	2		7	mV
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(1)}$ or $I_{IN(2)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	20		50	40		80	45		100	45		150	45		250	nA
Input Offset Current	$I_{IN(1)} - I_{IN(2)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	2		10	2		15	5		30	3		30	5		50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^1 = 30V$, (LM2902, $V^1 = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^1 - 1.5$	0		$V^1 - 1.5$	0		$V^1 - 1.5$	0		$V^1 - 1.5$	0		$V^1 - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^1 = 30V$ (LM2902 $V^1 = 26V$) $V^1 = 5V$	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	
Large Signal Voltage Gain	$V^1 = 15V$, $R_L = 2 k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50		100	50		100	25		100	50		100	25		100	V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^1 - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70		85	70		85	65		85	70		85	65		85	dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^1 = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^1 = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65		100	65		100	65		100	65		100	65		100	dB

Power MOSFETS

ECG Type	Description and Application	Transconductance g_{fs} mhos	Drain to Source Breakdown Voltage V_{DSS}	Gate to Source Breakdown Voltage V_{GS}	Continuous Drain Current I_D Amps	Gate to Source Threshold Voltage $V_{GS(th)}$	Drain to Source Resistance $r_{DS(on)}$ Ohms	Input Cap Ciss pf	Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ P_D Watts
ECG2392 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	6 Min	100 Min	± 20 Max*	32	4 Max	.06 Max	1500 Typ.	125 Max
ECG2396 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2 Min	600 Min	± 20 Max*	6	4.5 Max	1.2 Max	1800 Max	150 Max
ECG2384 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	1.8 Min	800 Min	± 20 Max*	6	4 Max	1.5 Max	3500 Max	125 Max
ECG2390 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	3 Min	60 Min	± 20 Max*	12	4.5 Max	.2 Max	800 Max	75 Max
ECG2389 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	8 Min	60 Min	± 30 Max*	35	4 Max	.045 Max	2000 Max	125 Max
ECG2395 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	17 Min	60 Min	± 30 Max*	50	4 Max	.028 Max	2000 Max	150 Max
ECG2382 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	1.5 Min	100 Min	± 20 Max*	8	4 Max	.5 Max	750 Max	75 Max
ECG2383 ▲	MOSFET, P-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2 Min	100 Min	± 20 Max*	8	4.5 Max	.4 Max	1200 Max	75 Max
ECG665 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	3 Min	100 Min	± 20 Max*	12	4.5 Max	.18 Max	1200 Max	75 Max
ECG2399 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	12 Min	100 Min	± 30 Max*	30	4 Max	.057 Max	2000 Max	150 Max
ECG2388 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	5 Min	200 Min	± 20 Max*	12.5	4 Max	.2 Max	1000 Typ	75 Max
ECG67 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2 Min	400 Min	± 20 Max*	5	4.5 Max	1.5 Max	1200 Max	75 Max
ECG2391 ▲	MOSFET, N-Ch, Enhancement Hi Speed Switch	2.1 Min	400 Min	± 30 Max*	4	4 Max	1.8 Max	500 Max	75 Max

Package Case/ Fig./ Basing

TO-3 Fig. T23



TO-220 Fig. T41

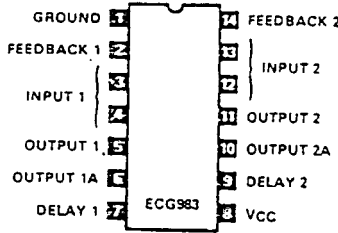


6-15

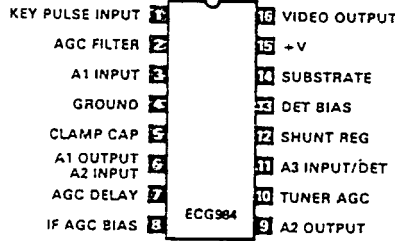
* Warning: Exceeding V_{GS} maximum will result in permanent damage to the gate region oxide layer.
 ▲ Refer to MOSFET Handling Precautions - Page 1-31

Linear IC and Module Circuits (cont'd)

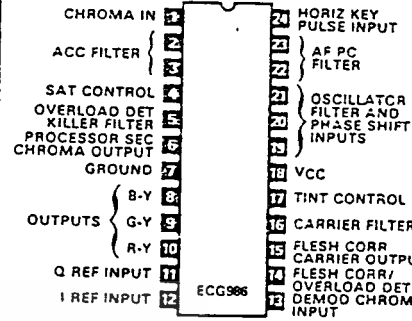
ECG983 14-Pin DIP See Fig. L104
Dual Audio Preamp



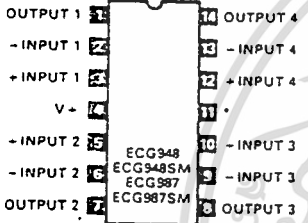
ECG984 16-Pin DIP See Fig. L111, (16-Pin DIP-Q See Alternate Fig. L113)
TV Video IF, AFT



ECG986 24-Pin DIP See Fig. L112
Chroma Processor and Demod

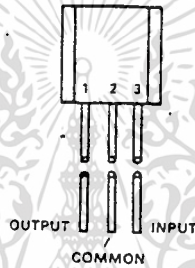


ECG987 14-Pin DIP See Fig. L104
ECG987SM 14-Pin SOIC See Fig. L160
Quad Op Amp



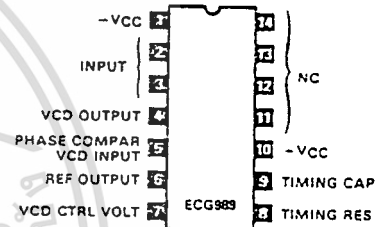
* ECG987, 987SM - Single Supply, Pin 11 = GND

ECG988 TO-92 See Fig. L16
Pos VR, 6.2 V, 100 mA

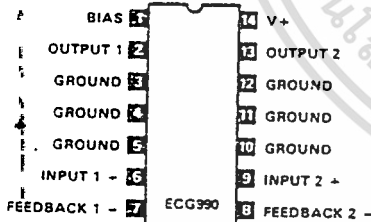


See Voltage Regulator Selector Guide Page 1-157

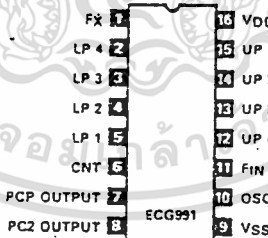
ECG989 14-Pin DIP See Fig. L113
PLL, Gen Purpose



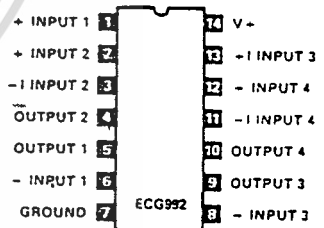
ECG990 14-Pin DIP-W See Fig. L106
Dual AF PO, 2 W



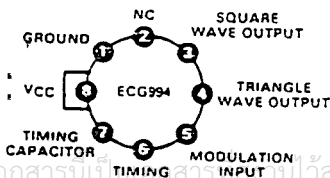
ECG991 16-Pin DIP See Fig. L112
CB PLL, Freq Synthesizer



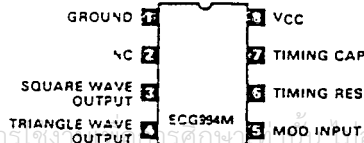
ECG992 14-Pin DIP See Fig. L114
4 Independent Amps, V+ = +32 V Max



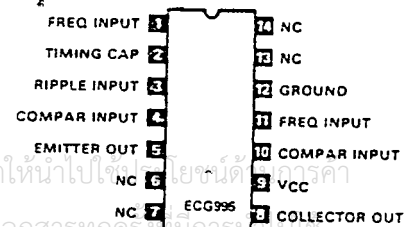
ECG994 8-Pin Can See Fig. L3
General Purpose Voltage Controlled
Oscillator, Function Generator



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

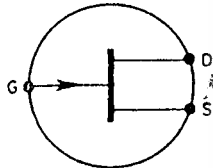
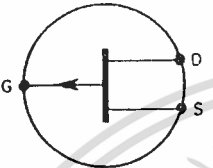
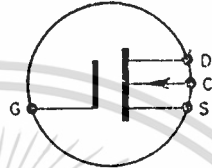
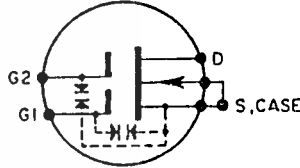
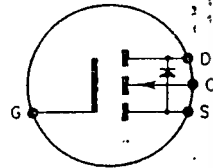


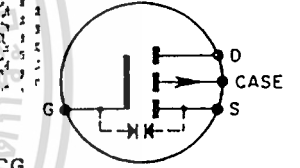
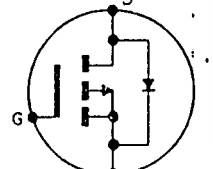


ECG995 14-Pin DIP See Fig. L105
Frequency to Voltage Converter



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายสินค้าอิเล็กทรอนิกส์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและขอโทษเป็นอย่างสูง

FET and MOSFET Diagrams (Observe MOS Handling) ▲

<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 2384 2386 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 2387 2394 2376 2388 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>			

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

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV _{CB0}	Collector To Emitter Volts BV _{CEO}	Base to Emitter Volts BV _{EB0}	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.
ECG107	NPN-Si, UHF/VHF Amp, Osc, Mix, IF Amp	35	35	5	50 mA	.250 (T _A = 25°C)	800 min	70 typ	TO-92	T16
ECG108	NPN-Si, RF/IF/Video Amp, Osc, Mix, VHF/UHF	30	15	2	50 mA	.600 (T _A = 25°C)	800 min	20 min	TO-92	T16
ECG121 ECG121MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output	65	45 (CES)	15	7.0	30	22 KHz #	80 typ	TO-3	T28
ECG123	NPN-Si, AF Preamp, Driver Video Amp, Sync Sep.	60	30	5	.8	.800 (T _A = 25°C)	250	150 typ	TO-39	T6
ECG123A	NPN-Si, AF/RF Amp, Sw	75	40	6	.8	.500 (T _A = 25°C)	300	200 typ	TO-18	T2
ECG123AP	NPN-Si, AF/RF Amp, Driver (Compl to ECG123)	75	40	6	.6	.500 (T _A = 25°C)	300	200 typ	TO-92	T16
ECG124	NPN-Si, HV Audio Pwr Output	300	300	15	150	20	360 mW	100 typ	TO-66	T25
ECG126A	PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	15	15	3	3	.300 (T _A = 25°C)	250	40 typ	TO-18	T2
ECG127	PNP-Ge, Horiz & Vert Defl. Pwr Output	320	320 (CES)	2	150	40	1	15 min	TO-3	T28
ECG128	NPN-Si, AF Preamp, Driver, Output, Video Amp (Compl to ECG129)	120	80	7	1	1 (T _A = 25°C)	150	90 min	TO-39	T6
ECG128P	NPN-Si, Gen Purp Amp, Sw (Compl to ECG128)	100	80	7	1	1 (T _A = 25°C)	150	100 min	TO-237	T17
ECG129	PNP-Si, AF Preamp, Driver, Output, Video Amp (Compl to ECG128)	90	80	7	1	1 (T _A = 25°C)	150	90 min	TO-39	T6
ECG129MCP	Matched Compl Pair-Contains one each ECG128 (NPN) and ECG129 (PNP)	90	80	7	1	1 (T _A = 25°C)	150	90 min	TO-39	T6
ECG129P	PNP-Si, Gen Purp Amp, Sw (Compl to ECG128)	80	80	7	1	1 (T _A = 25°C)	150	100 min	TO-237	T17
ECG130 ECG130MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG129)	100	60	7	1	1.5 (T _A = 25°C)	800	40 typ	TO-3	T28
ECG131 ECG131MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output (Compl to ECG129)	32	20	10	3 peak	6 (T _A = 25°C)	1	110 typ	TC-9	T27
ECG152 ECG152MP*	NPN-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG153)	60	60	5	7	50 (T _A = 25°C)	10	60 typ	TO-220	T41
ECG153 ECG153MCP	PNP-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG152) Matched Compl Pair-Contains one each ECG152 (NPN) and ECG153 (PNP)	60	60	5	7	50 (T _A = 25°C)	10	60 typ	TO-220	T41
ECG154	NPN-Si, Video Output Amp	300	300	7	25	10 (T _A = 25°C) 7.0 (T _C = 25°C)	30	60 typ	TO-39	T6
ECG155	NPN-Ge, AF Pwr Amp (Compl to ECG131)	32	20	10	3 peak	7.5	1	110 typ	TC-9	T27
ECG157	NPN-Si, HV AF Pwr Amp (Compl to ECG39)	300	300	3	.5	20.8	10	30 min	TO-126	T45
ECG158	PNP-Ge, AF Pwr Amp	32	32	10	1	1.6	1.5	90 typ	TO-1	T1
ECG159 ECG159MCP	PNP-Si, AF Preamp, Driver, Sw (Compl to ECG123AP) Matched Compl Pair-Contains one each ECG123AP (NPN) and ECG159 (PNP)	80	80	5	1	.600 (T _A = 25°C)	200	180 typ	TO-92	T16
ECG160	PNP-Ge, RF/IF Amp; Osc, Mix	30	20 (CES)	.5	10 mA	.200 (T _A = 25°C)	400	20 typ	TO-72	T4
ECG161	NPN-Si, Video IF Amp	45	45 (CES)	4.5	50 mA	.180 (T _A = 25°C)	800	60 typ	TO-72	T4

Notes: * MP: Matched pair. Package Outlines: See Page 1-78.
 # Frequency at which common emitter current gain is 70.0% of low frequency gain.
 When alternate packages are shown it indicates a change is in progress. Although only one package is available both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

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

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV _{CB0}	Collector To Emitter Volts BV _{CEO}	Base to Emitter Volts BV _{EB0}	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.
ECG85	NPN-Si, Sw, Gen Purp Amp	70	70 (CES)	4	.4	.6 (T _A = 25°C)	200 min	120 min	TO-92	T16
ECG86	NPN-Si, Hi Gain DC Regulator, Amp	200	150	6	5	50	15	400 min	TO-3	T28
ECG87 ECG87MP*	NPN-Si, Hi Pwr Linear Amp (Compl to ECG88)	250	250 (CEX)	5	10	200	3	20 min	TO-3	T28
ECG88 ECG88MP* ECG88MCP	PNP-Si, Hi Pwr Linear Amp (Compl to ECG87) Matched Compl Pair: Contains one each ECG87 (NPN) and ECG88 (PNP)	250	250 (CEX)	5	10	200	3	20 min	TO-3	T28
ECG89	NPN-Si, Horiz Output with Damper Diode Page 1-78	1500	600	6	7	50		5 min	TO-3	T28
ECG90	NPN-Si, Hi Gain, Gen Purp Amp (Compl to ECG91)	120	120	5	50 mA	.75 (T _A = 25°C)	350	400 min	TO-92M	T18
ECG91	PNP-Si, Hi Gain, Gen Purp Amp (Compl to ECG90)	120	120	5	50 mA	.75 (T _A = 25°C)	150	400 min	TO-92M	T18
ECG92	NPN-Si, Audio Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG93)	200	200	6	15	150	20	120 typ	TB-35	T44-1
ECG93 ECG93MCP	PNP-Si, Audio Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG92) Matched Compl Pair: Contains one each ECG92 (NPN) and ECG93 (PNP)	200	200	6	15	150	20	120 typ	TB-35	T44-1
ECG94	NPN-Si, Gen Purp Pwr DC Regulator	300	300	5	5	100	2.5 min	30 min	TO-3	T28
ECG95	NPN-Si, HV Amp, Sw Isolated Stud	250	250	6	3	70	40	90 min	TO-59 (Isolated)	T31
ECG96	NPN-Si, Medium Pwr Amp, Sw, Isolated Stud	100	100	6	7	60	30 min	60 min	TO-59 (Isolated)	T31
ECG97	NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t _f = .5 μsec	500	400	8	10	150		40 min	TO-3	T28
ECG98	NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t _f = .6 μsec	700	500	8	20	175		40 min	TO-3	T28
ECG99	NPN-Si, HV Darlington Pwr Amp, Fast Sw, t _f = 1 μsec	600	400	8	50	250		25 min	TO-3	T28
ECG100	PNP-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	25	20 (CER)	20	.3	.150 (T _A = 25°C)	5 #	40 typ at 455 KHz	TO-5	T5
ECG101	NPN-Ge, RF/IF Amp, Osc, Mix	25	20 (CER)	20	.3	.150 (T _A = 25°C)	5 #	40 typ at 455 KHz	TO-5	T5
ECG102	PNP-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG103)	30	16 (CER)	20	.3	.150 T _A = 25°C	2	90 typ	TO-5	T5
ECG102A	PNP-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG103A)	32	32 (CES)	12	.5	.900 (T _A = 25°C)	2.3	120 typ	TO-1	T1
ECG103	NPN-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG102)	30	16 (CER)	20	.250	.150 (T _A = 25°C)	2 #	90 typ at 1 KHz	TO-5	T5
ECG103A	NPN-Ge, AF Driver, Preamp, Pwr Output (Compl to ECG102A)	32	32 (CES)	10	.5	.340 (T _A = 25°C)	2.5	105 typ	TO-1	T1
ECG104 ECG104MP*	PNP-Ge, AF Pwr Output	50	35 (CER)	20	7	90	10 KHz #	90 typ	TO-3	T28
ECG105	PNP-Ge, AF Pwr Output	50	35 (CER)	20	15	100	10 KHz #	90 typ	TO-36	T29
ECG106	PNP-Si, RF/IF Amp, Osc, Mix	35	15	1	75 mA	.250 (T _A = 25°C)	500	20 min	TO-18	T2

Notes: * MP - Matched pair

Frequency at which common emitter current is 70.0% of low frequency gain

• When alternate packages are shown it indicates a change is in progress. Although only one package is available both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page 1-78

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

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV _{CB0}	Collector To Emitter Volts BV _{CE0}	Base to Emitter Volts BV _{EB0}	Max. Collector Current I _C Amps	Max. Device Diss. PD Watts	Freq. in MHz f _t	Current Gain h _{FE}	Package	
									Case	Fig No.
ECG162	NPN-Si, Vert Defl	500	300	5	3 cont. .10 peak	100		20 min	TO-3	T28
ECG163A	NPN-Si, Horiz Defl	700	700 (CEV)	5	10 peak	100		10	TO-3	T28
ECG164	NPN-Si, Vert Defl	1500	700 (CER)	5	1	50	.5 min	20	TO-3	T28
ECG165	NPN-Si, Horiz Defl	1500	1400 (CES)	5	5	50		5	TO-3	T28
ECG171	NPN-Si, AF/Video Amp (Compl to ECG296)	300	300	5	.5	10	75	40 min	TO-202	T38*
ECG172A	NPN-Si, Darlington AF Preamp, Medium Speed Sw	40	40	12	.3	.400	60	7000 min	TO-92	T16*
ECG175	NPN-Si, AF Pwr Amp	500	300	6	3	40	70	50 typ	TO-66	T25
ECG176	PNP-Ge, AF Pwr Amp	25	25	2	2	6	700	110 typ	TO-39	T6
ECG179 ECG179MP*	PNP-Ge, AF Pwr Amp	90	90	2	25	106	.35 min	55 typ	TO-3	T28
ECG180 ECG180MCP	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
ECG181 ECG181MP*	NPN-Si, AF Amp (Compl to ECG180)	100	100 (CER)	4	30	200	2 min	25 min	TO-3	T28
ECG182	NPN-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG183)	100	80	14	10	90	2	30 min	TO-127	T46
ECG183	PNP-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG182)	100	80	4	10	90	2	30 min	TO-127	T46
ECG184 ECG184MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG185)	80	80	5	4	40	2	30 min	TO-126	T45
ECG185 ECG185MCP	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
ECG186	NPN-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG187)	70	60	5	6	12.5	50	80 typ	TO-202	T38*
ECG186A	NPN-Si, AF Pwr Amp, Driver (Compl to ECG187A)	50	50	5	3	10	150	80 min	TO-202M	T39
ECG187	PNP-Si, AF Pwr Amp, Hi Speed Sw (Compl to ECG186)	70	60	5	3	12.5	50	80 typ	TO-202	T38
ECG187A	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG186A)	50	50	5	3	10	150	80 min	TO-202M	T39
ECG188	NPN-Si, AF Driver, Pwr Amp (Compl to ECG189)	80	80	4	2	10	50	80 typ	TO-202N	T36
ECG189	PNP-Si, AF Driver, Pwr Amp (Compl to ECG188)	80	80	4	2	10	50	80 typ	TO-202N	T36
ECG190	NPN-Si, AF Pwr Amp, Horiz Driver	180	180	5	1	10	100	40 min	TO-202N	T36
ECG191	NPN-Si, HV AF Amp, HV Video Amp (Compl to ECG240)	300	300	6	.5	10	60	40 min	TO-202N	T36
ECG192	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	T21
ECG192A	NPN-Si, AF PO (Compl to ECG193A)	70	70 (CES)	5	.5	.6 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	120	120 min	T-16HS	T22*
ECG193	PNP-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG192)	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	T21

Notes: * MP - Matched pair

Frequency at which common emitter current gain is 70.0% of low frequency gain

• When alternate packages are shown it indicates a change is in progress. Although only one package is available both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page 1-78

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

ECG Type	Description and Application	Collector To Base Volts BV _{CB0}	Collector To Emitter Volts BV _{CEO}	Base to Emitter Volts BV _{EB0}	Max. Collector Current I _c Amps	Max. Device Diss. PD Watts	Freq. In. MHz	Current Gain h _{FE}	Package	
									Case	Fig. No.
ECG290A ECG290AMP	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 _A = 25°C)	120	100 min	TO-92	T16
ECG291	NPN-Si, Pwr Amp, Sw (Compl to ECG292)	130	120	5	4	40	4 min	75 typ	TO-220	T41
ECG292 ECG292MCP	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
ECG293 ECG293MP*	NPN-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG294)	60	50	5	1	1 (Heat Sink) .75 (T _A = 25°C)	200	120 min	T-16	T20
ECG294	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG293)	60	50	5	1	1 (Heat Sink) .75 (T _A = 25°C)	200	120 min	T-16	T20
ECG295	NPN-Si, RF Output/Driver	75	40	5	1	5	150 min	20 min	TO-126	T45
ECG297 ECG297MP*	NPN-Si, AF Driver/Pwr Amp (Compl to ECG298)	80	80	5	1 peak	.75 (T _A = 25°C)	120	130 min	T-16	T20
ECG298	PNP-Si, AF Driver/Pwr Amp (Compl to ECG297)	80	80	5	1 peak	.75 (T _A = 25°C)	120	130 min	T-16	T20
ECG300 ECG300MP*	NPN-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG307)	50	40	5	1.5	7	70	90 min	TO-202	T38
ECG302	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37
ECG304A	Transistor Kit See Page 1-54	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ECG306	NPN-Si, RF Driver/Pwr Amp	100	50	6	1.5 peak	8	80	200 min	TO-202J	T37
ECG307	PNP-Si, AF Pwr Output (Compl to ECG300)	50	40	5	1.5	7	70	90 min	TO-202	T38
ECG311	NPN-Si, VHF/UHF Osc/Amp Driver	55	30	3.5	4	5	800 min	25 min	TO-39	T6
ECG312	See FET Selector Guide Page 1-57	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ECG313	NPN-Si, VHF Tuner/RF Amp	30	30	4	20 mA	.15 (T _A = 25°C)	400 min	25 min	RF-15	T49
ECG315	NPN-Si, RF Driver	100	50	6	1.5	.75 (T _A = 25°C)	80	200 typ	SC-51	T19
ECG316	NPN-Si, Lo Noise UHF Amp (NF 4.5 dB max, 450 MHz)	30	15	3.5	50 mA	.200 (T _A = 25°C)	1400	25 min	TO-72	T4
ECG317	NPN-Si, RF Pwr Output (P _O 70 W, 30 MHz)	36	36 (CES)	4	15	220	---	10 min	RF-50F	T58
ECG318	NPN-Si, RF Pwr Output (P _O 50 W, 30 MHz)	36	36 (CES)	4	6	80	---	5 min	RF-50F	T58
ECG319P	NPN-Si, AGC Controlled IF Amp (Includes Metal Shield)	40	30	4	50 mA	.5 (T _A = 25°C)	300 min	35 typ	TO-92	T16
ECG320	NPN-Si, RF Pwr Output (P _O 40 W, 175 MHz)	36	36 (CES)	4	6	80	200 min	5 min	RF-50SS	T55
ECG320F	NPN-Si, RF Pwr Out (P _O 40 W, 175 MHz)	36	18	4	6	80	200 min	5 min	RF-38F	T57
ECG321	NPN-Si, Horiz Def	1600	700	5	1.5	15 (T _C = 25°C)	---	1.5 min	TO-66	T25
ECG323	PNP-Si, AF Pwr Amp (Compl to ECG324)	120	100	5	2	1 (T _A = 25°C)	30	50 min	TO-39	T6

Notes: * MP - Matched pair

Frequency at which common emitter current gain is 70.0% of low frequency gain

• When alternate packages are shown it indicates a change is in progress. Although only one package is available both packages will be shown as long as the obsolete package may be encountered in the field.

Package Outlines - See Page 1-78

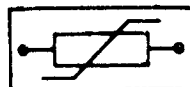
Diodes and Rectifiers (General Purpose)



ECG Type	Description	Material	Peak Reverse Voltage PRV Max V	Average Rectified Forward Current IO Max	Forward Current Repetitive Peak IFRM Max	Reverse Recovery Time trr	Forward Voltage Drop Max Vf	AFC	Fast Sw	Gen Purp	Fast Recovery	Fig. No.
ECG109	Gen Purp	Ge	100	200 mA	---	---	---			•		Z2
ECG110A	Gen Purp	Ge	40	50 mA	150 mA	---	---			•		Z2
ECG110MP	Matched Diode Pair	Ge	30	15 mA at 60°C	---	---	---	•		•		Z2
ECG112	UHF Mixer (Schottky)	Si	5	25 mA	---	---	.5 V at 60 mA					Z4
ECG113A	Common Cathode Dual Diode, Center Tap, TV Horiz	Si	100	1.5 A	---	---	0.95 V at 1 A	•		•		Z15
ECG114	Series Dual Diodes, TV Horiz	Se	20	min 1.1 mA	---	---	---	•		•		Z12
ECG115	Common Anode Dual Diode, TV Horiz, AFC	Se	20	min 1.1 mA	---	---	---			•		Z12
ECG116	Gen Purp Rect	Si	600	1 A	---	---	0.8 V at 1 A			•		Z3
ECG117A	Gen Purp Rect, Metal Case	Si	1000	1.5 A	---	---	0.9 V			•		Z10
ECG120	Color TV Cor'vg Rects	Se	18	65 mA	---	---	---			•		Z17
ECG125	Gen Purp Rect	Si	1000	2.5 A at 25°C Lead Temp	---	---	0.8 V at 1 A			•		Z3
ECG156	Gen Purp Rect	Si	1000	3 A	---	---	1.1 V at 1.5 A			•		Z6
ECG177	Fast Sw, Det, etc.	Si	200	160 mA	250 mA	50 ns	1.0 V at 100 mA		•			Z4
ECG178MP	Matched Diode Pair, AFC, AFT, etc.	Si	50	75 mA	100 mA	---	1.0 V at 5 mA	•				Z5
ECG506	Sw, Fast Recovery, Bst Damper, Blanking	Si	1400	2 A	3.5 A	500 ns	1.0 V at 1 A	•		•		Z6
ECG507	Gen Purp Rect, Gating, Centering	Si	50	250 mA	---	3 ns	1.0 V at 1 A			•		Z6
ECG515	Sw, Fast Recovery, SCR Defl Clamp	Si	800	3 A	9 A	1.3 ns	1.3 V at 4 A	•				Z8
ECG519	Fast Sw Diode	Si	100 (BBV)	200 mA	450 mA	4 ns	1.0 V at 10 mA	•				Z4
ECG525	Sw, Fast Recovery Damper	Si	2000	1 A	---	500 ns (Fwd Rec)	2 V at 2 A	•		•		Z6A
ECG551	Sw, Fast Recovery Damper, Metal Case	Si	1500	1 A	---	1 ns	1.5 V at 2 A	•		•		Z9
ECG552	Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si	600	1 A	---	200 ns	1.5 V at 250 mA	•		•		Z3
ECG558	Gen Purp Rect, Fast Recovery, HV	Si	1500	1 A	---	250 ns	1.2 V at 100 mA	•		•		Z3
ECG569	Fast Sw, Soft Recovery	Si	600	3 A	100 A	200 ns	1.1 V	•		•		Z6A
ECG576	Sw, Ultra Fast Recovery	Si	400	5 A	150 A	35 ns	1.25 V at 5 A	•		•		Z6A
ECG577	Sw, Fast Recovery, HV	Si	1000	5 A	200 A	70 ns	1.7 V at 5 A	•		•		Z6A
ECG578	Schottky Barrier Rect	Si	90	1 A	50 A	---	.8 V at 1 A	•		•		Z3
ECG579	Schottky Barrier Rect	Si	90	3 A	150 A	---	.8 V at 3 A	•		•		Z6A
ECG580	Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si	600	3 A	Single Surge 100 A	250 ns	1.3 V at 3 A	•		•		Z1A
ECG581	Gen Purp Rect, Fast Recovery	Si	400	8 A	Single Surge 150 A	200 ns	1.2 V at 3 A	•		•		Z41A
ECG582	TV Damper	Si	6000	300 mA	Single Surge 100 A	300 ns	8.0 V at 100 mA				•	Z17A

Overvoltage Transient Suppressors

Metal Oxide Varistors (MOV)



ECG Type	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)					
ECG1V010	10	14	42	18	.8	250	.25	S11-1
ECG2V010	10	14	39	18	3.5	1000	.6	S11-2
ECG1V014	14	18	47	22	.9	250	.25	S11-1
ECG2V014	14	18	43	22	4.0	1000	.6	S11-2
ECG1V015	15	20	52	24	1.0	250	.25	S11-1
ECG2V015	15	20	48	24	4.5	1000	.6	S11-2
ECG1V017	17	22	57	27	1.0	250	.25	S11-1
ECG2V017	17	22	53	27	5.0	1000	.6	S11-2
ECG1V020	20	26	68	33	1.2	250	.25	S11-1
ECG2V020	20	26	64	33	5.0	1000	.6	S11-2
ECG1V025	25	30	77	39	1.5	250	.25	S11-1
ECG2V025	25	30	73	39	10.0	1000	.6	S11-2
ECG1V030	30	37	85	47	1.8	250	.25	S11-1
ECG2V030	30	37	83	47	10.0	1000	.6	S11-2
ECG1V035	35	45	107	56	2.2	250	.25	S11-1
ECG2V035	35	45	103	56	10.0	1000	.6	S11-2
ECG1V040	40	50	128	68	2.5	250	.25	S11-1
ECG2V040	40	50	125	68	10.0	4000	.6	S11-2
ECG1V050	50	60	152	82	3.0	250	.25	S11-1
ECG2V050	50	60	148	82	10.0	1000	.6	S11-2
ECG1V060	60	75	165	100	4.0	1200	.25	S11-1
ECG2V060	60	85	165	100	20.0	4500	.6	S11-2
ECG1V075	75	100	195	120	5.0	1200	.25	S11-1
ECG2V075	75	100	195	120	20.0	4500	.6	S11-2
ECG1V095	95	125	245	150	6.0	1200	.25	S11-1
ECG2V095	95	125	245	150	25.0	4500	.6	S11-2
ECG1V115	115	150	295	171	9.0	1200	.25	S11-1
ECG2V115	115	150	300	171	30.0	4500	.6	S11-2
ECG1V130	130	175	340	208	10.0	1200	.25	S11-1
ECG2V130	130	175	340	208	35	4500	.6	S11-2
ECG524V13	130	175	340	208	70	6500	1.0	S11
ECG1V150	150	200	395	240	10.0	1200	.25	S11-1
ECG2V150	150	200	395	240	40.0	4500	.6	S11-2
ECG524V15	150	200	395	240	80	6500	1.0	S11
ECG1V175	175	225	440	270	12.0	1200	.25	S11-1
ECG524V17	175	225	440	270	90	6500	1.0	S11
ECG1V250	250	330	650	390	17	1200	.25	S11-1
ECG2V250	250	330	650	390	70	4500	.6	S11-2
ECG524V25	250	330	650	390	130	6500	1.0	S11
ECG1V275	275	350	700	430	20.0	1200	.25	S11-1
ECG2V275	275	350	700	430	75.0	4500	.6	S11-2
ECG524V27	275	350	700	430	140	6500	1.0	S11
ECG1V300	300	385	765	470	20.0	1200	.25	S11-1
ECG2V300	300	385	765	470	80.0	4500	.6	S11-2
ECG524V30	300	385	765	470	150	6500	1.0	S11
ECG2V420	420	560	1110	680	90.0	4500	.6	S11-2
ECG524V42	420	560	1110	680	160	6500	1.0	S11
ECG2V480	480	640	1240	750	105	4500	.6	S11-2
ECG524V48	480	640	1240	750	180	6500	1.0	S11

เอกสารอ้างอิง

1. มงคล ทองสงคราม, “มอสเฟทกำลัง,” *อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2540*, พิมพ์ครั้งที่ 3 ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรินติ้ง, พฤศจิกายน 2540, หน้า 17 - 21.
2. ดร.วิริยะ พิเศษฐจำเริญ, “Uninterruptible Power System,” *Thyristor Application*, หน้า.
3. ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน, “Semiconductor Material,” *Electrical Engineering Material*, หน้า 12-17.
4. สุวัฒน์ คั่น, “ฟุซ – พูล คอนเวอร์เตอร์,” *เทคนิคและการออกแบบสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 2538*, พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัทเอนเทลไทย จำกัด, มิถุนายน 2538, หน้า 41 - 45 .
5. Asia communication, “LM317L 3-Terminal Adjustable Regulator,” *POWER IC's Databook 1995*, Asia communications National Semiconductor HK Ltd., 5th Edition 1995, pp.1-126 up 134 .
6. รศ.สุที บรรจงจิตร, “ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน / สำรอง,” *อุปกรณ์และการติดตั้งในงานระบบไฟฟ้า 2537*, พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538, หน้า 394 – 395 .
7. จิระ จริงจิตร, “หลักการและสภาพแวดล้อมของ Visual Basic,” *เรียนลัด VISUAL BASIC 2539*, พิมพ์ครั้งที่ 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), สิงหาคม 2539, หน้า 17-19 .
8. ชัยรัตน์ เกษมบุญศิริ และคณะ, “*แรกเริ่มการเรียนรู้เรื่อง VISUAL BASIC สำหรับ WINDOWS 95 2539*”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2539, 600 หน้า .
9. โชคชัย เตพรุ่ง, *Visual Basic 4 สำหรับ Windows 95 Step by Step*, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2539, 484 หน้า .
10. ศศ.นิรันดร์ คำประเสริฐ, “อนุกรมฟูเรียร์,” *คณิตศาสตร์วิศวกรรมไฟฟ้า 2538*, พิมพ์ครั้งที่ 3 ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพฯ, เมษายน 2538, หน้า 1 – 11 .
11. วรวิทย์ ดันดีโกกิน และเพื่อน, “*การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย Visual Basic ภาคปฏิบัติ*,” บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2537, 566 หน้า .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ฝ่ายวิชาการคอมพิวเตอร์, “ การติดตั้งโปรแกรมโดยการใช้ Setup wizard ,” พัฒนาโปรแกรมด้วย Visual Basic 2538 , สยามคอมพิวเตอร์ , 2539 , หน้า 304 – 307 .
13. ประเมษฐ์ ประณยานันท์ และเพื่อน , “คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์,” บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2536 , 380 หน้า .
13. ศศ.สมยศ จุณณะปิยะ , “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ,” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้