



เครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอระบบสัมผัส
ELECTROCARDIOGRAM ON TOUCH SCREEN

โดย

นาย สิงห์ ตั้งเศรษฐนากร

นางสาว จารุวรรณ จันทร์คามคำ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

วัน เดือน ปี	1 ก.ค. 2560
เลขทะเบียน	037127
เลขเรียกหนังสือ	T 98220 ศ.๒๕๖๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร 037127

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอร์บบสัมผัส

ELECTROCARDIOGRAM ON TOUCH SCREEN

ผู้จัดทำ

1. นาย สิงห์ ตั้งเศรษฐนากร
2. นางสาว จารุวรรณ จันทร์คามคำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


เรื่อง เครื่องแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอระบบสัมผัส

ELECTROCARDIOGRAM ON TOUCH SCREEN

ผู้จัดทำ ตั้งเศรษฐนากร เลขประจำตัว 35104467

อาจารย์รณ จันทร์คามคำ เลขประจำตัว 35104065

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้


.....
(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

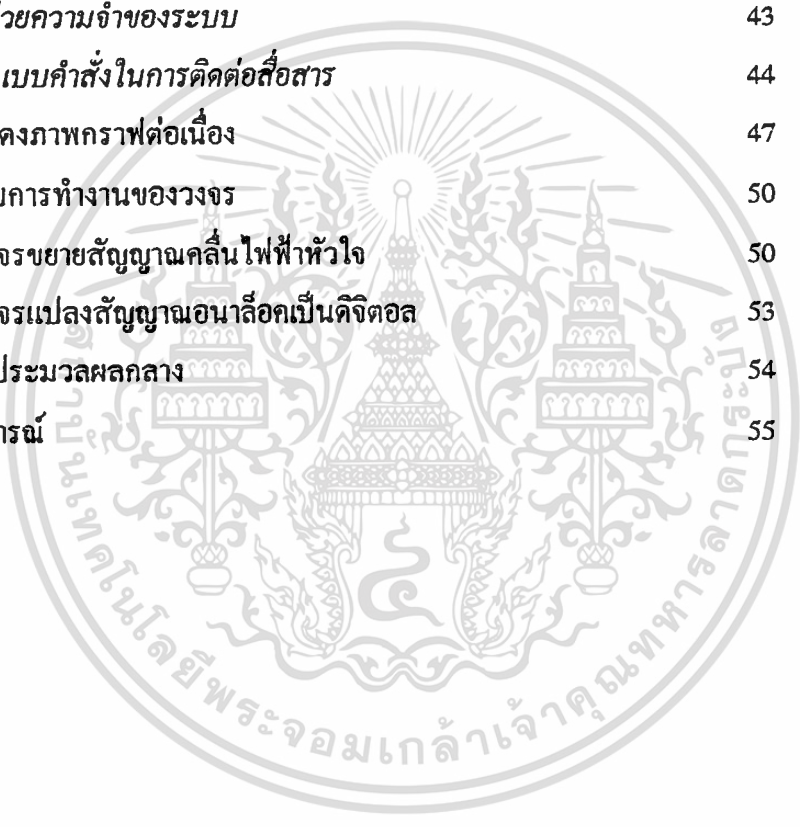


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
ABSTRACT	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 คลื่นไฟฟ้าหัวใจและความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ	2
2.1 ปรัชญาการณไฟฟ้าของเซล	2
2.2 การทำงานของหัวใจ	6
2.3 ระบบนำไฟฟ้าของหัวใจ	7
2.4 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	9
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	13
3.1 บล็อกโคอะแกรม	13
3.2 วงจรในภาควงจรลอย	14
3.2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	14
3.2.2 วงจรปรับศูนย์	16
3.2.3 วงจรองความถี่ต่ำ	17
3.2.4 วงจรผ่านสัญญาณด้วยแสง	18
3.2.5 วงจรพัลส์-วิคท์ มอดคูลเลเตอร์	20
3.3 วงจรดีมอดคูลเลท	21
3.4 วงจรขยายและปรับระดับสัญญาณ	22
3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	22
3.6 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงส่วนต่างๆ	25
บทที่ 4 การควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	27
4.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	27
4.2 โครงสร้างภายในของ MCS-51	29
4.2.1 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของ MCS-51	29
4.2.2 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ	32
4.2.3 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป	33
4.2.4 โครงสร้างพอร์ต MCS-51	33
4.2.5 ไทมเมอร์/คาน์เตอร์	34

	หน้า
4.2.6 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	34
4.2.7 โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์	34
4.3 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS-232	35
4.4 โฟล์วชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	36
บทที่ 5 จอแสดงผลระบบสัมผัส	41
5.1 การใช้งานเบื้องต้น	41
5.2 การสื่อสารของจอระบบสัมผัส	42
5.2.1 วิธีการติดต่อสื่อสาร	42
5.2.2 หน่วยความจำของระบบ	43
5.2.3 รูปแบบคำสั่งในการติดต่อสื่อสาร	44
5.3 การแสดงภาพกราฟต่อเนื่อง	47
บทที่ 6 การทดสอบการทำงานของวงจร	50
6.1 ภาควงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	50
6.2 ภาควงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	53
6.3 หน่วยประมวลผลกลาง	54
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	55
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ศักดาไฟฟ้าทำงาน	4
รูปที่ 2.2	ช่วงเวลาต่างๆของการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหัวใจเมื่อถูกกระตุ้น	5
รูปที่ 2.3	การนำไฟฟ้าของศักดาไฟฟ้าทำงานภายในเซลล์	5
รูปที่ 2.4	แผนผังของหัวใจและระบบการสูบน้ำเลือดของหัวใจ	7
รูปที่ 2.5	การนำไฟฟ้าภายในหัวใจ	8
รูปที่ 2.6	ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งพัลส์ไฟฟ้าจากเอสเอโหนด ไปยังส่วนต่างๆของหัวใจ	9
รูปที่ 2.7	การกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนังมีลักษณะเหมือนเป็นอิเล็กทริกไดโพล	9
รูปที่ 2.8	แสดงตำแหน่งการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 12 ลีดมาตรฐาน	10
รูปที่ 2.9	องค์ประกอบต่างๆของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ลีด1)	11
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	13
รูปที่ 3.2	บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของวงจรในภาควงจรลอย	13
รูปที่ 3.3	วงจรขยายความแตกต่างประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัวและป้อนกลับแบบลบ	14
รูปที่ 3.4	วงจรขยายความแตกต่าง	15
รูปที่ 3.5	แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ส่งผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่ามากเมื่ออิเล็กโตรดถูกรบกวน	16
รูปที่ 3.6	วงจรปรับศูนย์ทำหน้าที่ลดค่าเวลาคงที่ เมื่อศักดาไฟฟ้าออฟเซตเข้ามา	17
รูปที่ 3.7	คุณสมบัติของวงจรรองความถี่แบบนอร์ฟิลเตอร์	17
รูปที่ 3.8	วงจรรองความถี่ต่ำแบบนอร์ฟิลเตอร์	18
รูปที่ 3.9	ตัวเชื่อมโยงทางแสงแบบทั่วๆไป	19
รูปที่ 3.10	วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง	19
รูปที่ 3.11	แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณเมื่อใช้พัลส์-วิตช์มอดดูเลเตอร์	20
รูปที่ 3.12	แสดงวงจรพัลส์-วิตช์มอดดูเลเตอร์	21
รูปที่ 3.13	วงจรรองความถี่ต่ำแบบแอกทิฟฟิลเตอร์	21
รูปที่ 3.14	วงจรขยายและปรับระดับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	22
รูปที่ 3.15	บล็อกไดอะแกรมของ A/D Converter	23
รูปที่ 3.16	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	24
รูปที่ 3.17	วงจรสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1	แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	28
รูปที่ 4.2	แสดงโครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	30
รูปที่ 4.3	แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51	30
รูปที่ 4.4	แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป	31
รูปที่ 4.5	แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน	32
รูปที่ 4.6	แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51	32
รูปที่ 4.7	แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 แต่ละกลุ่ม	33
รูปที่ 4.8	แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51	35
รูปที่ 4.9	แสดงลักษณะข้อมูลในการส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1	35
รูปที่ 5.1	จอแสดงผลเมนูหลัก	41
รูปที่ 5.2	การติดต่อสื่อสารของจอรระบบสัมผัส	43
รูปที่ 5.3	ขนาดและตำแหน่งต่างๆของหน่วยความจำของระบบ	43
รูปที่ 5.4	แสดงหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลรีเลย์พิเศษ	44
รูปที่ 5.5	แสดงการเขียนเส้นกราฟแบบปกติโดยมีทิศไปทางขวา	48
รูปที่ 5.6	แสดงตัวอย่างภาพกราฟต่อเนื่องโดยมีทิศไปทางขวา	48
รูปที่ 5.7	แสดงการทำงานของจอแบบแสดงเป็นชุด	48
รูปที่ 6.1	กราฟแสดงผลตอบสนองความถี่	51
รูปที่ 6.2	รูปแสดงสัญญาณคลื่น ไฟฟ้าหัวใจ	52
รูปที่ 6.3	แสดงค่าเวลาการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในช่วงเวลาสั้นๆ	52
รูปที่ 6.4	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	53
รูปที่ 6.5	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อกเทียบกับสัญญาณคลื่น ไฟฟ้าหัวใจ	53
รูปที่ 6.6	สัญญาณอินเตอร์รัปต์และสัญญาณข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม	54

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ช่วงเวลาต่างๆของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	12
ตารางที่ 4.1	แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	27
ตารางที่ 6.1	ตารางแสดงผลการตอบสนองความถี่	54



เครื่องแสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจบนจอร์บบสัผัส

สิงห์ ตั้งเศรษฐนากร

จากรรณ จันท์คามคำ

อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปี การศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ในปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอร์บบสัผัส โดยพิจารณาให้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านวงจรขยายและยกระดับสัญญาณเพื่อแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณดิจิทัล 8 บิต ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ควบคุมการทำงาน ให้แสดงผลกราฟต่อเนื่องและค่าอัตราการเต้นของหัวใจ บนจอร์บบสัผัส โดยโครงการดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์การแพทย์ให้เหมาะสมต่อไป

ELECTROCARDIOGRAM ON TOUCH SCREEN

Singha Tngsedthanakorn

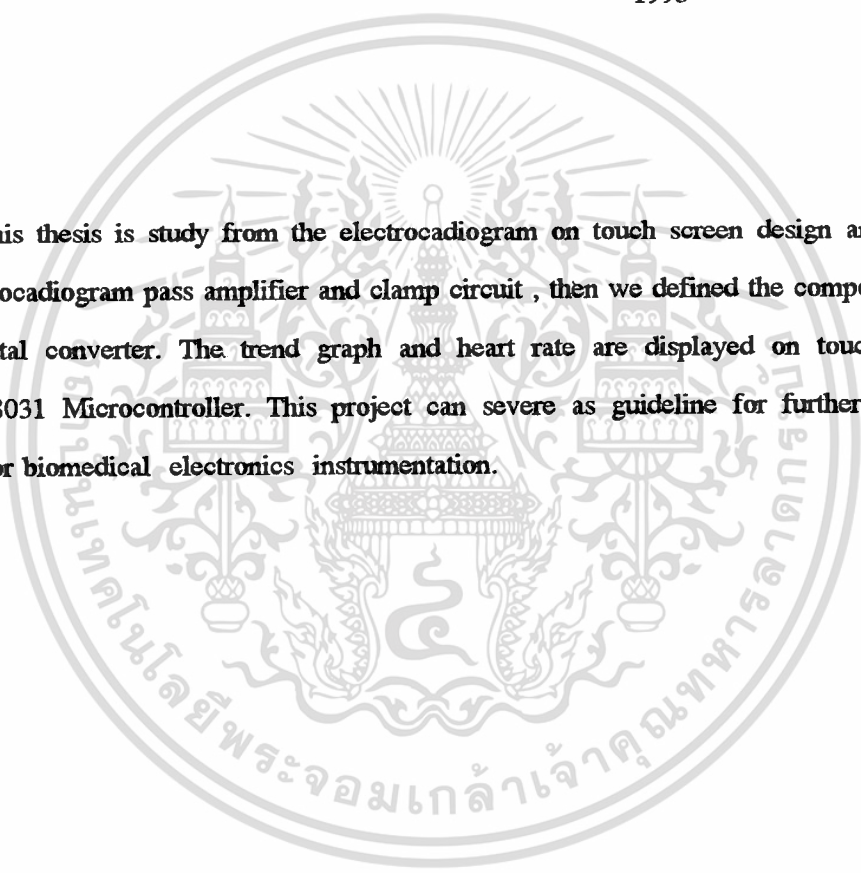
Jaruwan Junkharmkhom

Polsart Lertprasert Advisor

1995

ABSTRACT

This thesis is study from the electrocardiogram on touch screen design and implement. Describe electrocardiogram pass amplifier and clamp circuit , then we defined the components of 8 bit analog to digital converter. The trend graph and heart rate are displayed on touch screen and controled by 8031 Microcontroller. This project can severe as guideline for further research and development for biomedical electronics instrumentation.



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันในทางการแพทย์จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดต่างๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุของโรคหรืออาการผิดปกติของร่างกายของมนุษย์ หนึ่งในจำนวนนั้นคือเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจซึ่งสามารถแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) ของคนไข้บนจอระบบสัมผัส (Touch Screen) ดังนั้นโครงการนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อพัฒนาเครื่องมือแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้ใช้งานจริงได้ และมีความทันสมัย อันเป็นการพัฒนาและปรับปรุงให้มีลักษณะการใช้งานที่มีความแตกต่างออกไปจากเดิมด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการออกแบบและสร้าง วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
2. นำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อนำมาประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031
3. ศึกษาและทำการ เชื่อมต่อกับจอแสดงผล ระบบสัมผัส ให้สามารถแสดงผลได้ ตามแนวทางที่กำหนดไว้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการเพิ่มศักยภาพของระบบเครื่องมือแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อที่จะนำไปใช้ได้จริงในสถานที่ต่างๆ ได้สะดวก
2. เป็นการพัฒนาปรับปรุงเครื่องมือแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ให้มีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างออกไปจากเดิมด้วยการแสดงผลทางจอระบบสัมผัส
3. เป็นการเสริมสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องมือแพทย์ให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

คลื่นไฟฟ้าหัวใจและความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการศึกษาความเป็นมาของคลื่นไฟฟ้าหัวใจและ ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ โดยในส่วนของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะกล่าวถึงการเกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าภายในเซลล์ การทำงานของหัวใจ การนำไฟฟ้าภายในหัวใจและลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ ตลอดจนแนวทางในการพิจารณาและวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

2.1 ปรากฏการณ์ไฟฟ้าของเซลล์

การทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกายของมนุษย์อยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาท โดยคำสั่งจากระบบประสาทจะถูกส่งไปตามเส้นประสาทต่างๆ เข้าสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อหรือจากอวัยวะรับความรู้สึก ซึ่งถูกกระตุ้นจากภายนอกผ่านเส้นประสาทกลับเข้าสู่ระบบประสาท การส่งข้อมูลของคำสั่งจากระบบประสาทไปยังกล้ามเนื้อ หรือจากอวัยวะรับความรู้สึกกลับเข้าสู่ระบบประสาทนี้ ขึ้นการส่งในรูปของสัญญาณไฟฟ้าและเคมี โดยข้อมูลที่ส่งผ่านเซลล์จะเป็นการส่งผ่านด้วยไฟฟ้าและจุดต่อระหว่างเซลล์จะเป็นการส่งผ่านแบบเคมี สัญญาณไฟฟ้าในการส่งผ่านข้อมูลนี้ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ ดังนั้นศักดาไฟฟ้าของสิ่งมีชีวิต (Bioelectric Potentials) จึงถือกำเนิดมาจากเซลล์หรืออาจกล่าวได้ว่า เซลล์เป็นเสมือนจุดกำเนิดของศักดาไฟฟ้าทั้งหมดภายในร่างกาย ไอออนจะไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ได้

การเกิดศักดาไฟฟ้าขึ้นภายในเซลล์เนื่องจากบริเวณรอบๆ เซลล์ประกอบด้วยของเหลวซึ่งมีไอออนต่างๆปะปนอยู่ ไอออนที่มีบทบาทสำคัญต่อกลไกการเกิดศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ก็คือ โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) โดยแต่ละเซลล์จะมีผนังเซลล์หรือเซลล์เมมเบรน (Cell Membrane) ซึ่งมีคุณสมบัติไอออนเป็นแบบเซมิเพอร์มิเอเบิล (Semipermeable) คือ จะยอมให้ออกซิเจนหรือไอออนบางชนิดผ่านผนังเซลล์ได้ ในขณะที่ไอออนอีกส่วนหนึ่งไม่สามารถผ่านไปได้ โดยปกติแล้วผนังเซลล์จะยอมให้เฉพาะโพแทสเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออนผ่านไป ส่วนโซเดียมจะไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ได้

เมื่อความเข้มข้นของไอออนที่รอยต่อของผนังเซลล์เกิดความลาดเอียงของความเข้มข้น (Concentration gradient) คือ ไอออนบริเวณด้านใดด้านหนึ่งของผนังเซลล์มีความเข้มข้นมากกว่าอีกด้านหนึ่ง ก็จะมีการแพร่ของไอออนจากด้านที่มีความเข้มข้นมากกว่า ไปยังด้านที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า เมื่อไอออนผ่านผนังเซลล์ไปแล้ว ก็จะทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของประจุไฟฟ้า เป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าด้านการแพร่ของไอออน ทำให้ไอออนเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ลดลงจนกระทั่งถึงภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) เมื่อแรงด้านการเคลื่อนที่ของไอออน เนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงที่เกิดจากความแตกต่างของปริมาตรความเข้มข้นของไอออนมีค่าเท่ากัน จะทำให้ไอออนหยุดการแพร่ผ่านผนังเซลล์

ในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมนี้ ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนเซียมไอออนภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของไอออนภายนอกเซลล์อยู่ประมาณ 30 เท่า ไอออนและความเข้มข้นของโซเดียมไอออนภายนอกเซลล์ จะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นภายในเซลล์อยู่ประมาณ 10 เท่า เนื่องจากคุณสมบัติของผนังเซลล์ที่ยอมให้โปรตีนเซียมไอออนผ่านไปได้จึงทำให้เกิดการแพร่ของโปรตีนเซียมไอออนจากภายในออกสู่ภายนอกเซลล์ ส่วนคลอไรด์ไอออนจะมีอัตราการแพร่น้อยกว่าโปรตีนเซียมไอออน เนื่องจากแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้าภายในเซลล์ทำให้เกิดการสูญเสียประจุไฟฟ้าบวกขึ้นภายในเซลล์ เป็นผลให้ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์มีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์ เมื่อสภาวะสมดุลมาถึงความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์มีค่าระหว่าง -50 มิลลิโวลต์ ถึง -100 มิลลิโวลต์ โดยขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ค่าของความต่างศักย์นี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง (Resting Potential) ซึ่งศักย์ไฟฟ้านี้จะมีค่าคงที่อยู่เสมอที่เซลล์นั้นยังไม่ถูกกระตุ้น เซลล์ที่อยู่ในสภาวะนี้ เรียกว่า เซลล์อยู่ในสภาวะโพลาไรซ์ (Polarized) และการสูญเสียสภาวะของศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ดีโพลาไรซ์ (Depolarized) ที่สภาวะสมดุลนี้ค่าของศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งนั้นสามารถประมาณค่าได้ตามสมการของเนมสต์ (Nernst Equation) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นของไอออน ในแต่ละด้านของเซลล์ได้ดังนี้

$$E = (RT/ZF) \ln (C_2/C_1)$$

โดยที่ E คือค่าความต่างศักย์ของเซลล์ (โวลต์)

R คือค่าคงที่ของกาซ (เท่ากับ 8.314 จูล/โมล-เคลวิน)

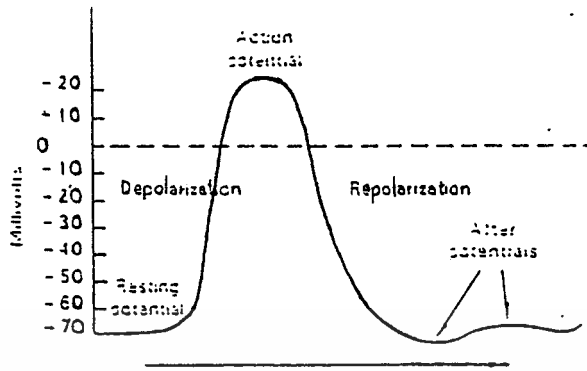
T คือค่าของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (หน่วยเป็นองศาเคลวิน)

Z คือค่าวาเลนซ์ของไอออน

F คือค่าคงที่ของฟาราเดย์ (เท่ากับ 1 ฟาราเดย์หรือ 96500 คูลอมล์/โมล)

C_2/C_1 คือค่าความเข้มข้นของไอออนภายนอกและภายในเซลล์ตามลำดับ (โมล)

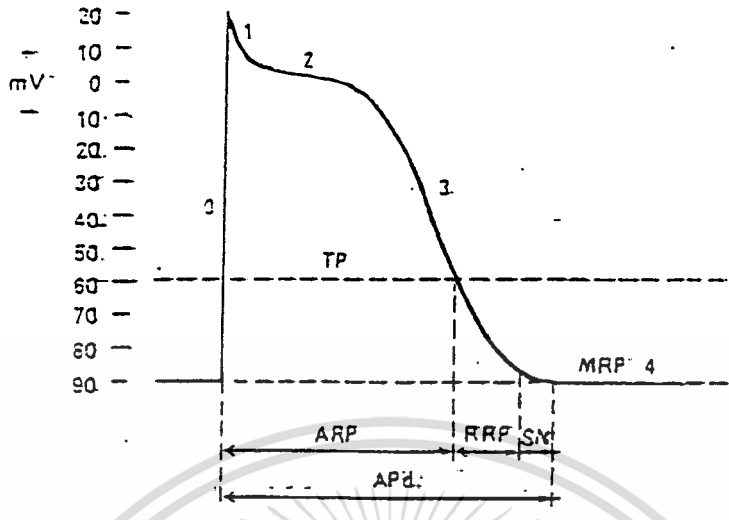
เซลล์ที่อยู่ในสภาวะโพลาไรซ์สามารถถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าหลายประเภทขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์นั้น เช่น ความร้อน แสง และรูปแบบอื่นๆ ซึ่งการกระตุ้นของสิ่งเร้าอย่างน้อยต้องมีแรงกระตุ้นเพียงพอ ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าภายในของเซลล์ โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการกระตุ้นว่านานเพียงใด คุณสมบัติของเซลล์ในลักษณะนี้ เป็นไปตามกฎการเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้น (All-or-Nothing-Law) ค่าของแรงกระตุ้นน้อยที่สุด ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ เรียกว่า ค่าวิกฤตของการกระตุ้น (Threshold Value)



รูปที่ 2.1 ศักดาไฟฟ้าทำงาน

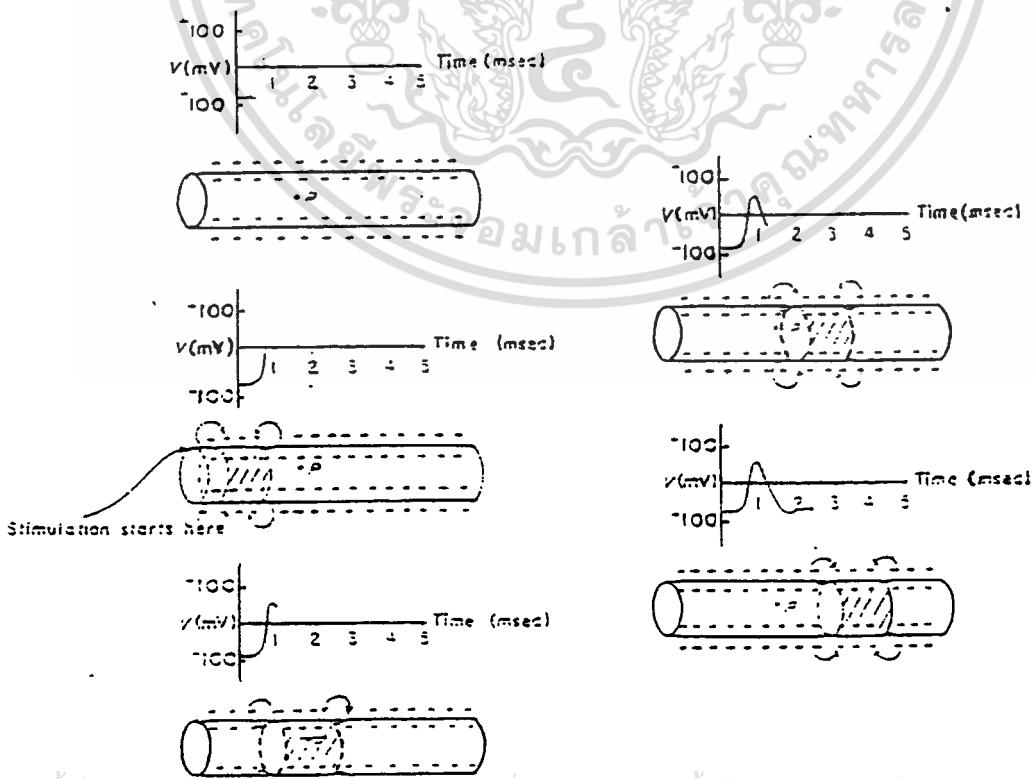
เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้น คุณสมบัติจะเปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะ โดยจะยอมให้โซเดียมไอออนผ่านภายในเซลล์อย่างรวดเร็ว ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณบวก 20 มิลลิโวลต์ ศักดาไฟฟ้าขณะนี้เรียกว่าศักดาไฟฟ้าทำงาน (Action Potential) และจะกลับคืนสู่ศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง ดังรูป 2.1 ขณะที่เกิดไฟฟ้าทำงานนี้ เซลล์จะอยู่ในสภาวะดีโพลาไรซ์ (Depolarized) และการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้าจากศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งไปเป็นศักดาไฟฟ้าทำงาน เรียกว่าดีโพลาไรเซชัน (Depolarization) หลังจากนั้นคุณสมบัติของผนังเซลล์จะกลับสู่สภาวะเดิมคือยอมให้โปรตีนโซเดียมไอออนผ่านผนังเซลล์ไปได้ส่วนโซเดียมไอออนก็จะถูกกระบวนการที่เรียกว่า โซเดียมปั๊ม (Sodium Pump) นำออกจากเซลล์อย่างช้าๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้พลังงานจากการสันดาปของเซลล์ (Metabolism) เพื่อนำโซเดียมไอออนออกจากเซลล์ ศักดาไฟฟ้าของเซลล์ก็จะคืนสู่ศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งตามเดิมซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโพลาไรเซชัน (Repolarization) เซลล์ก็จะกลับสู่สภาวะปกติ จนกว่าจะมีการกระตุ้นใหม่ ช่วงเวลาที่ศักดาไฟฟ้าของเซลล์จากศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง ไปเป็นศักดาไฟฟ้าทำงานแล้วกลับมาสู่ศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งตามเดิมนั้นจะมีระยะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ดังรูป 2.2 แสดงช่วงเวลาต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจเมื่อถูกกระตุ้น โดยที่แนวแกนตั้งเป็นขนาดของศักดาไฟฟ้า และแนวแกนนอนเป็นเวลาตัวอักษรย่อต่างๆ ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นดังนี้

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 0 - Depolarization; | 1,2,3 - Phases of Repolarization; |
| 4 - Diastolic Phases; | MRP - Membrane Resting Potential; |
| TP - Threshold Potential; | DAP - Duration of Action Potential; |
| SN - Supernormalm Period; | ARP - Absolute Refractory Period; |
| RRP - relative Refractory Period | |



รูปที่ 2.2 ช่วงเวลาต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจเมื่อถูกกระตุ้น

ศักดาไฟฟ้าทำงานของเซลล์ที่ถูกกระตุ้น ให้เกิดความลาดเอียงของศักดาไฟฟ้า (Potential gradient) เป็นผลให้เกิดกระแสไหลไปกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงซึ่งถ้าการกระตุ้นเป็นตามกฎการเกิดขึ้นและไม่เกิดขึ้นของเซลล์ ก็จะทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงานต่อกันไปเรื่อยๆ ลักษณะเช่นนี้เป็นการนำไฟฟ้าของศักดาไฟฟ้าทำงาน ดังรูป 2.3 ซึ่งแสดงการนำไฟฟ้าภายในเซลล์ประสาทและกราฟของศักดาไฟฟ้าที่จุด P ตามเวลาที่เกิดขึ้น

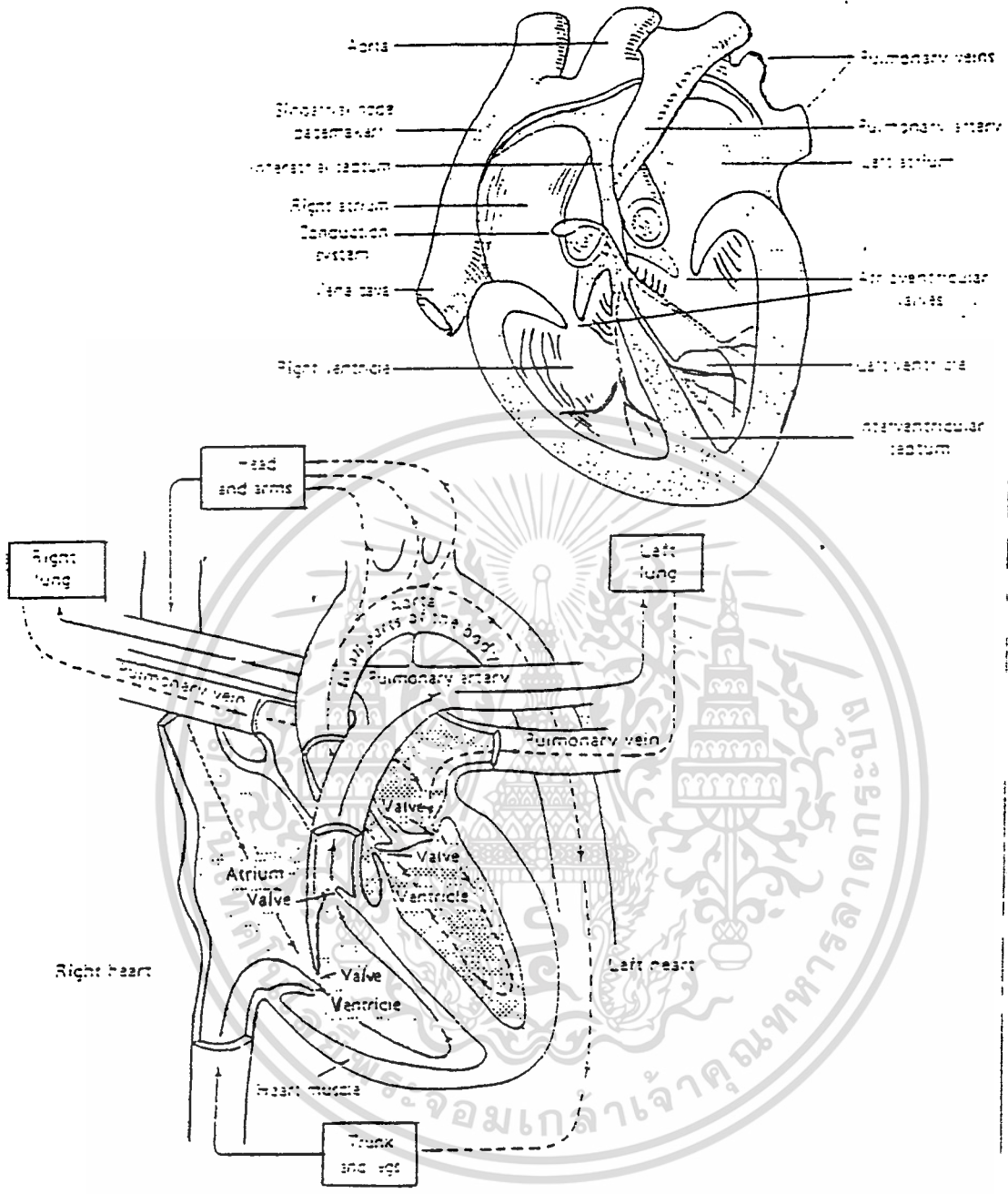


ค่าการนำไฟฟ้านี้เกิดขึ้นที่เซลล์ประสาทศักดาไฟฟ้าทำงานของเซลล์ประสาทก็คือคำสั่งของระบบประสาทต่อเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งศักดาไฟฟ้าทำงานนี้จะส่งจากเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ถัดไปเรื่อยๆตามเส้นประสาทจนถึงเซลล์กล้ามเนื้อซึ่งจะทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อและเกิดศักดาไฟฟ้าทำงานขึ้นในทางตรงข้ามเมื่อเซลล์ของอวัยวะรับความรู้สึกถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอกจะเกิดศักดาไฟฟ้าทำงานขึ้น แล้วส่งผ่านเส้นประสาทกลับไปยังระบบประสาท

2.2 การทำงานของหัวใจ

หัวใจทำหน้าที่เสมือนลูกสูบจ่ายโลหิตไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆในร่างกายรวมทั้งเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจเอง หัวใจตั้งอยู่ในทรวงอกเหนือกระบังลมค่อนข้างมาทางด้านซ้ายภายในหัวใจแบ่งออกเป็น 4 ห้องมีผนังกั้นระหว่างซีกซ้ายและซีกขวา (Septum) โดยห้องหัวใจที่อยู่ทางด้านขวาทำหน้าที่รับโลหิตดำจากส่วนต่างๆของร่างกายการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อส่งโลหิตออกไปจะกระทำพร้อมกันทั้งทางซีกขวาและซีกซ้าย ห้องหัวใจที่อยู่ด้านบนเรียกว่า หัวใจห้องบน (Atrium) และหัวใจที่อยู่ด้านล่างเรียกว่า หัวใจห้องล่าง (Ventricle) โลหิตดำจากร่างกายจะไหลกลับเข้าสู่หัวใจทางหลอดเลือดโลหิตดำซูปรีเวนาคาวา (Superior vena cava) และอินฟีเรีย (Inferior vena cava) เข้าสู่ห้องหัวใจบนขวาโลหิตแดงที่ได้รับออกซิเจนจากปอดจะเข้าสู่หัวใจทางหลอดเลือดโลหิตแดงพัลโมนารีเวน (Pulmonary veins) เข้าสู่ห้องหัวใจบนซ้าย และหัวใจบนขวา และหัวใจบนซ้ายจะบีบตัวส่งโลหิตไปยังหัวใจห้องล่างซึ่งมีลิ้นหัวใจกั้นอยู่

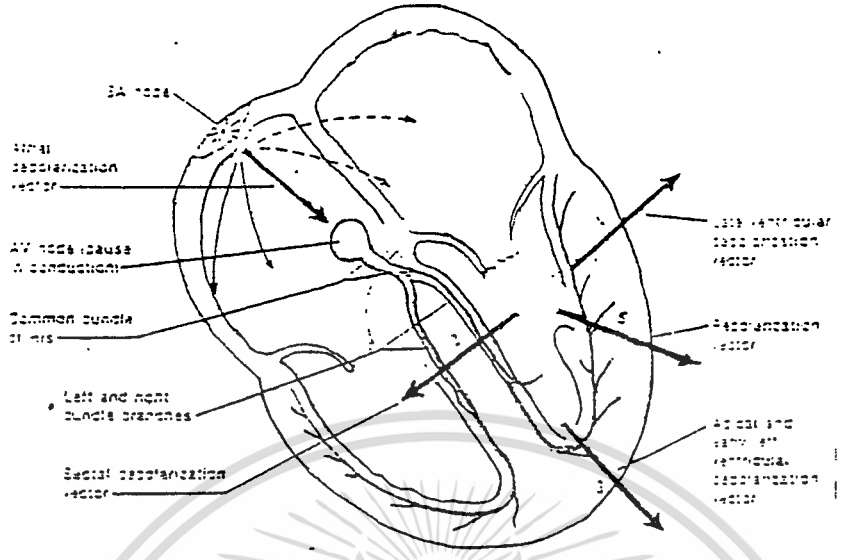
หลังจากที่หัวใจห้องบนหดตัวส่งโลหิตมายังหัวใจห้องล่างชั่วคราว หัวใจห้องล่างจะหดตัวส่งโลหิตออกไปพร้อมกันทั้งซ้ายและขวา หัวใจห้องล่างขวาจะส่งโลหิตดำไปยังปอดเพื่อรับออกซิเจน โดยผ่านหลอดเลือดโลหิตดำใหญ่พัลโมนารีอาเตอรี (Pulmonary Artery) และห้องล่างซ้ายจะส่งโลหิตไปเลี้ยงร่างกาย โดยผ่านหลอดเลือดแดงใหญ่เออร์ตา (Aorta) ซึ่งการทำงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้แสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังของหัวใจและระบบการสูบฉีดโลหิตของหัวใจ

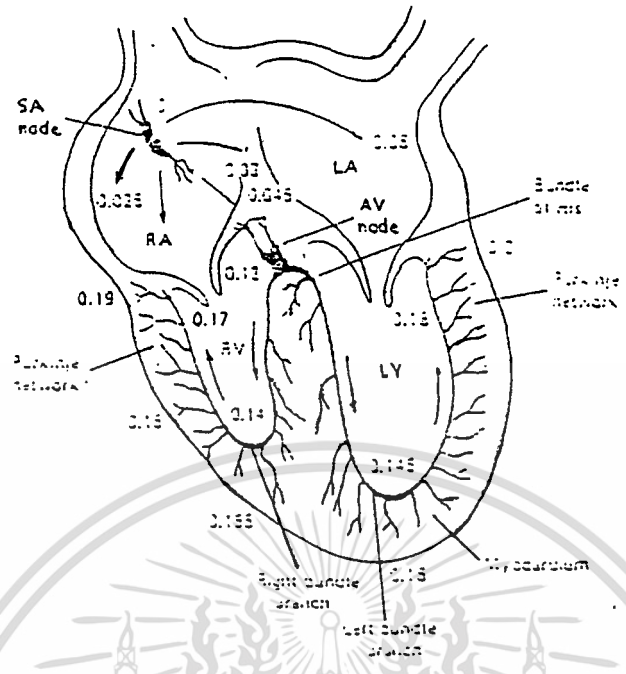
2.3 ระบบนำไฟฟ้าของหัวใจ

การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับกล้ามเนื้ออื่นๆ กล่าวคือจะถูกกระตุ้นด้วยศักยะไฟฟ้าทำงาน แต่การกระตุ้นนี้มีได้มาจากระบบประสาทส่วนกลางหรือสมอง เป็นการกระตุ้นต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกิดขึ้นจากภายในตัวหัวใจเอง โดยประกอบด้วยกลุ่มเซลล์กลุ่มหนึ่งที่ทำหน้าที่ผลิตพัลส์ทำหน้าที่คล้ายกับหัวใจ โดยระบบนำไฟฟ้านี้จะนำพัลส์ไฟฟ้าไปกระตุ้นต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจดังรูป



รูปที่ 2.5 การนำไฟฟ้าภายในหัวใจ

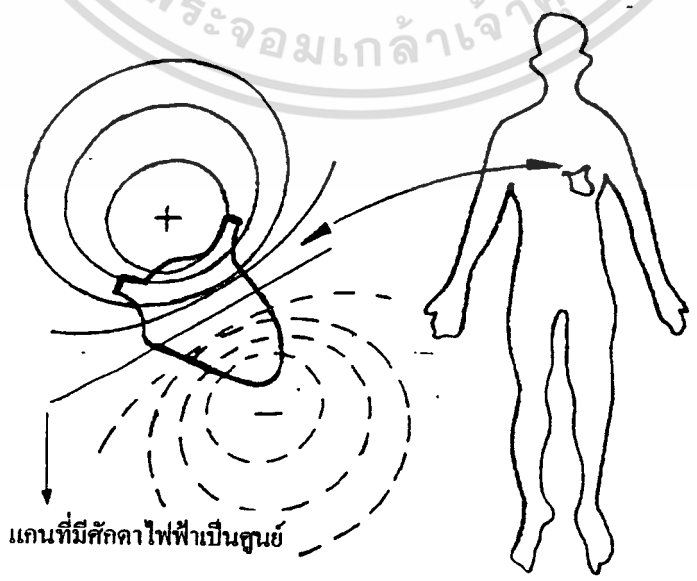
บริเวณผนังด้านในของหัวใจระหว่างหลอดโลหิตใหญ่ซูปพีเรียเวนาคาวาและอิมพีเรียเวนาคาวาจะมีเวลายู่กลุ่มหนึ่งที่คุณสมบัติพิเศษ เซลล์กลุ่มนี้จะสร้างพัลส์ไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจซึ่งเซลล์กลุ่มนี้ เรียกว่า ซายนาเวเทรียวโนด (Sinoatrial node) หรือเรียกย่อว่าเอสเอโนด (SA node) หรือไซนัสโนด (Sinus node) หรือเพซเมคเกอร์ (Pacemaker) โดยความถี่ของพัลส์ที่เอสเอโนดสร้างขึ้นจะมีอิทธิพลในการกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งโดยปกติแล้วค่าของอัตราการเต้นของหัวใจจะเท่ากับความเร็วของพัลส์ที่เอสเอโนดนี้ปล่อยออกมา พัลส์ไฟฟ้านี้จะแพร่กระจายออกจากเอสเอโนดผ่านหัวใจห้องบนทั้งซ้ายและขวาไปสู่ เอทรีโอเวนเทรียคูล่า (Atrioventricular node) หรือเรียกย่อว่าเอวีโนด โดยที่เอวีโนดนี้จะอยู่ที่ผนังกันหัวใจทางด้านขวาระหว่างห้องบนขวาและห้องล่างขวา พัลส์ไฟฟ้าที่ผ่านหัวใจห้องบนจะทำให้หัวใจห้องบนหดตัวบีบโลหิตมายังห้องล่างเส้นทางนำไฟฟ้าจากเอสเอโนดไปสู่เอวีโนด ดังรูป 2.5 ที่เอวีโนดนี้ประกอบด้วยเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่หน่วงเวลาประมาณ 70 มิลลิวินาที เพื่อให้การทำงานของหัวใจห้องบนและห้องล่างสัมพันธ์กันจากเอวีโนด จะมีระบบนำไฟฟ้าในการนำพัลส์ไฟฟ้าไปสู่กล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งจะแยกออกเป็น 3 เส้นทาง โดยจะไปสู่ห้องล่างซ้าย 2 สาขาและห้องล่างขวาก็อีกหนึ่งสาขา แต่ละสาขาก็จะนำพัลส์ไฟฟ้าไปกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง โดยผ่านกล้ามเนื้อหัวใจในส่วนของเพอร์กินไฟเบอร์ (Purkinje fiber) รูป 2.6 แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลายใช้ในการส่งพัลส์ไฟฟ้าขึ้นมาชนิดเดียวกับที่เอสเอโนด ไปยังส่วนต่างๆของหัวใจ ซึ่งที่เอวีโนดนี้ มีการผลิตพัลส์ไฟฟ้าขึ้นมาเช่นเดียวกับที่เอสเอโนด แต่สำหรับคนปกติแล้วความเร็วของพัลส์ไฟฟ้าที่เอวีโนด ผลิตขึ้นจะมีอัตราต่ำกว่าของเอสเอโนด



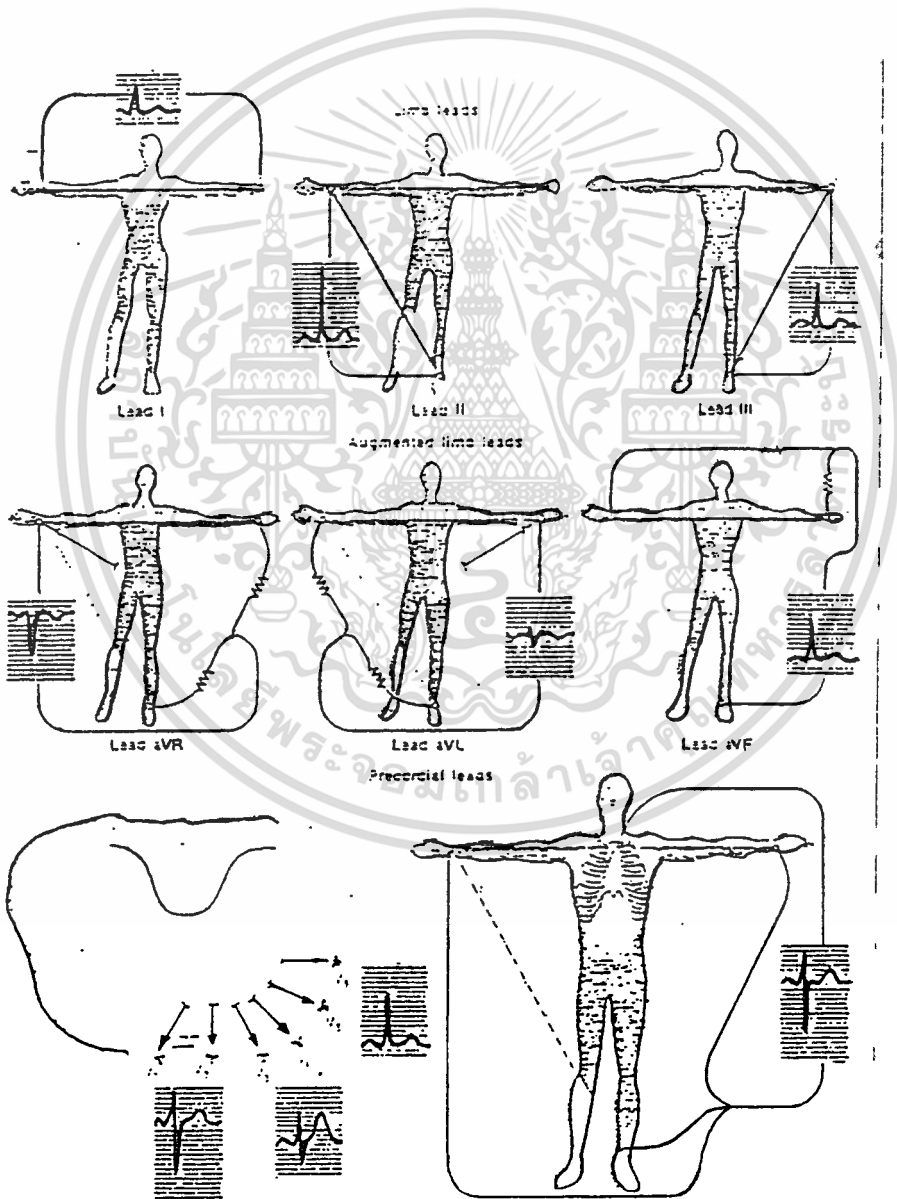
รูปที่ 2.6 ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งพัลส์ไฟฟ้าจากเอสเอโนดไปยังส่วนต่างๆของหัวใจ

เอวีโนดจะถูกกระตุ้นด้วยพัลส์จากเอสเอโนดทำให้การเต้นของหัวใจมีค่าเท่ากับความเร็วของเอสเอโนด แต่ถ้าเส้นทางนำไฟฟ้าจากเอสเอโนด ไปสู่เอวีโนดผิดปกติหรือถูกสกัดกั้น (AV Block) หัวใจก็จะเต้นด้วยพัลส์ที่เอวีโนด สร้างขึ้น ซึ่งจะมีค่าประมาณ 40-45 ครั้งต่อนาที

2.4 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ



จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา การทำงานของกล้ามเนื้อเกิดจากการที่ พัลส์ไฟฟ้ามาก กระตุ้นทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวและเกิดศักดาไฟฟ้าทำงานขึ้นด้วย ซึ่งกล้ามเนื้อหัวใจก็เป็นเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงานและทำให้หัวใจเต้น การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ จะรวมตัวเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า และเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักดาไฟฟ้าภายนอกเนื้อเยื่อและที่บริเวณผิวหนังของร่างกายการไหลของกระแสจะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดการกระจายของศักดาไฟฟ้าที่ทำงานเท่านั้น



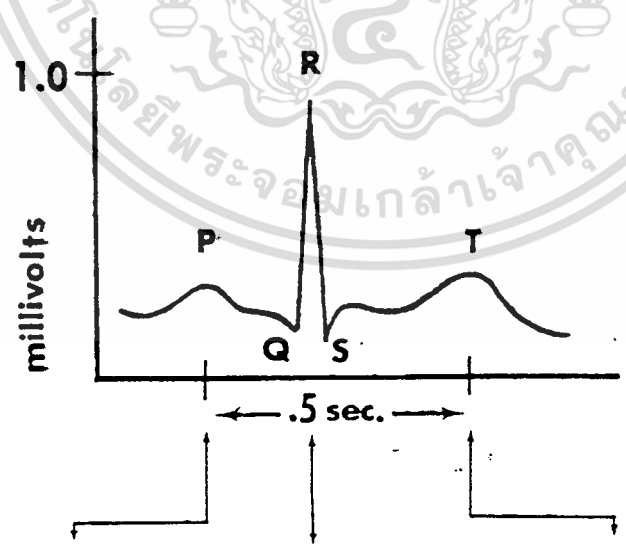
ดังนั้นเราอาจจะพิจารณาได้ว่าหัวใจเป็นเสมือนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าซึ่งบรรจุอยู่ในก้อนตัวนำร่างกาย สักคาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายออกจากขั้วบวกและขั้วลบไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกายเหมือนเป็นอิเล็กทริกไดโพล (Electric dipole) ดังแสดงในรูป 2.7 และสามารถวัดศักคาไฟฟ้าตกร่อมระหว่างจุดใดๆ ที่อยู่บนผนังร่างกายได้ ซึ่งศักคาไฟฟ้าที่วัดได้นี้เรียกว่า สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) เรียกย่อๆว่า อีซีจี (ECG) โดยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ที่วัดได้ระหว่างจุดต่างๆ จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางของตำแหน่งที่วัดกระทำต่อแกนหัวใจ (Heart axis) ดังรูป 2.8 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้จากคนปกติจะเป็นดังในรูป 2.9 แต่ละช่วงสัญญาณจะมีชื่อ เรียกแทนด้วยอักษร P,Q,R,S,T,U ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการทำงานของหัวใจในช่วงต่างๆ ภายในหนึ่งรอบของการเต้นของหัวใจ แต่ละช่วงของสัญญาณจะมีความหมายต่อไปนี้

สัญญาณ P เกิดจากการทำงานของหัวใจห้องบนจะมีคาบเวลาประมาณ 80-120 มิลลิวินาที

สัญญาณรวม QRS เกิดจากการทำงานของหัวใจห้องล่าง จะมีคาบเวลาประมาณ 80-100 มิลลิวินาที และสัญญาณ R จะมีขนาดสูงที่สุด เนื่องจากหัวใจห้องล่างจะต้องบีบโลหิตส่งไปยังทุกส่วนของร่างกายผ่านผนังของหัวใจห้องล่างจึงมีความหมายมากกว่าส่วนอื่น

โดยการนำขั้วหัวใจไปติดที่แขนขวาและแขนซ้ายหรือที่เรียกว่า ลีด 1 (Lead 1) การที่สัญญาณ R มีขนาดสูงเพราะผลรวมของศักคาไฟฟ้าทำงานของเซลล์เป็นจำนวนมาก

สัญญาณ T เกิดจากการคลายตัวของกล้ามเนื้อห้องล่าง มีคาบเวลาประมาณ 200 ms และมีขนาดประมาณ 30% ของสัญญาณ R



เกิดจากการทำงานของหัวใจห้องบน เกิดจากการทำงานของหัวใจห้องล่าง เกิดจากการคลายตัวของหัวใจห้องล่าง

สัญญาณ U ยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน แต่สันนิษฐานกันว่าเกิดจากการกลับคืนสู่ระดับ ศักดาไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งอย่างช้าๆ ของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างหรือที่เรียกว่า ศักดาไฟฟ้าตามหลัง (After potential)

หมายเหตุ * ช่วงเวลาของ PR วัดได้จากเวลาของสัญญาณ P ถึงเวลาเริ่มของสัญญาณรวม QRS เวลาในแต่ละช่วงของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ แสดงถึงการส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจที่จุดต่างๆ ซึ่งเวลาในแต่ละช่วงของสัญญาณสรุปไว้ในตารางที่ 2.1

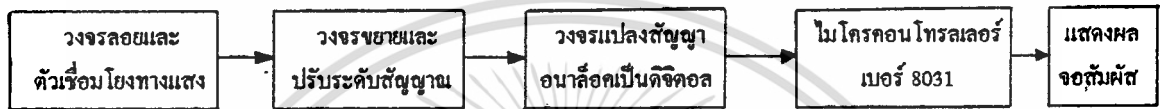
ช่วงเวลาต่างๆ ของ	ช่วงเวลาปกติ (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วงเวลา
คลื่นไฟฟ้าหัวใจ		
ช่วงเวลาของ PR*	0.18	0.12 - 0.20
ช่วงเวลาของ QR	0.08	ถึง 0.10
ช่วงเวลาของ QT	0.40	ถึง 0.43
ช่วงเวลาของ ST (คือ QT - QRS)	0.32	-----

ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงเวลาต่างๆ ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

3.1 บล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



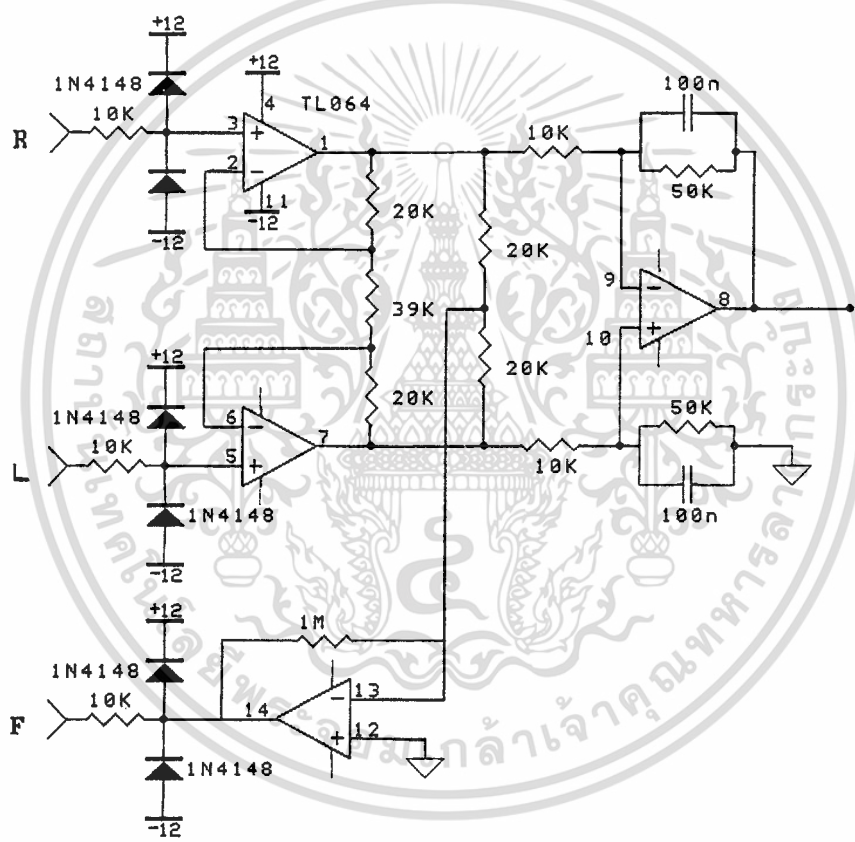
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของวงจรในภาควงจรลอย

3.2 วงจรในภาควงจรลอย (Floating circuit)

วงจรถูกประกอบด้วยวงจรถูกต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

วงจรถูกขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นวงจรถูกแรกที่ทำหน้าที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ที่มีขนาดของสัญญาณน้อยมากเพียงประมาณ 1 มิลลิโวลต์ โดยการรับสัญญาณจากอิเล็กโทรดที่ติดบนผิวหนัง ซึ่งมีค่าความต้านทานสูงและมีสัญญาณรบกวนจากไฟบ้าน กระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ป้อนมาด้วย ดังนั้น วงจรถูกขยายที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้



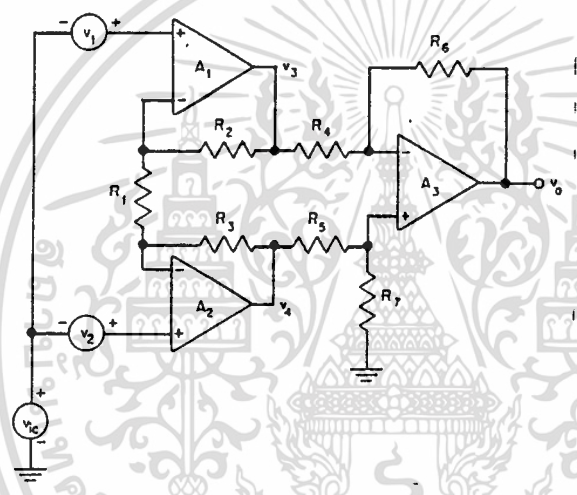
รูปที่ 3.3 วงจรถูกขยายความแตกต่าง ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัว และวงจรถูกป้อนกลับแบบลบ

ก. อินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานของผิวหนัง เพื่อป้องกันการเสียดุลย์ของวงจรถูกและการบั่นทอนสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่อินพุต การเสียดุลย์ของวงจรถูกจะมีผลเสียดุลย์ของวงจรถูกขยายคือสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในลักษณะสัญญาณคอมมอนโหมด (Common mode signal) ไม่สามารถกำจัดออกไปได้และยังทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซต (offset voltage) ซึ่งจะถูกรวมให้มีค่ามากขึ้นที่เข้าพุต ถ้าศักดาไฟฟ้าออฟเซตมีค่ามากจะทำให้วงจรถูกขยายอิมตัวมีศักดาไฟฟ้าเข้าพุตค้างอยู่ที่ค่าเกือบเท่ากับศักดาไฟฟ้าออฟเซต

ข. วงจรถูกขยายที่ได้อาจใช้สำหรับขยายสัญญาณที่อ่อนแอได้โดยไม่ต้องใช้การสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ป้อนมาด้วย ดังนั้น วงจรถูกขยายที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

ข. ค่า CMRR (Common Mode Rejection Ratio) สูง ค่า CMRR เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวงจรขยายความแตกต่างที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้คุณสมบัติอื่นก็คือ การมีอัตราขยายของสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential Mode Signal) สูง และมีอัตราขยายของสัญญาณคอมมอนโหมดต่ำทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการขยาย จะเข้าไปที่อินพุตในลักษณะสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

วงจรขยายความแตกต่างที่ใช้ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัว ดังรูปที่ 3.4 สำหรับออปแอมป์ตัวที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นวงจรป้อนกลับแบบลบ (negative feedback) เพื่อใช้แทนกราวด์ หรือเรียกว่า อาร์ แอล ไดรเวอร์ (Right Leg driver) ทำหน้าที่ลดศักดาไฟฟ้าคอมมอนโหมด (Common Mode Potential) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างร่างกายของคนไข้กับกราวด์ของวงจรลอย



รูปที่ 3.4 วงจรขยายความแตกต่าง

วงจรในรูปที่ 3.4 ตัว A1 และ A2 เป็นวงจรขยายบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier) ซึ่งจะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากประมาณ 10 เมกะโอมห์ ซึ่งจะได้ค่า

$$V_3 = (1 + R_2/R_1)V_1 - (R_2/R_1)V_2 + V_{ic}$$

$$V_4 = (1 + R_3/R_1)V_2 - (R_3/R_1)V_1 + V_{ic}$$

โดย V_{ic} เป็นค่าแรงดันไฟที่เข้ามาในแบบ คอมมอนโหมด มีค่าเท่ากับ

$$V_{ic} = (V_1 + V_2)/2$$

ถ้ากำหนดให้ที่สถานะเอาพุตสมดุลย์ หรือคือ $(R_4/R_4) = (R_7/R_5)$

$$V_o = (R_6/R_4)(V_4 - V_3) = R_6(R_1 + R_2 + R_3)(V_2 - V_1)/R_1R_4$$

ถ้า $R_2 = R_3$ และ $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$

$$A_d = V_o/(V_2 - V_1) = 1 + (2R_2/R_1)$$

A_d เป็นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านจรค่า

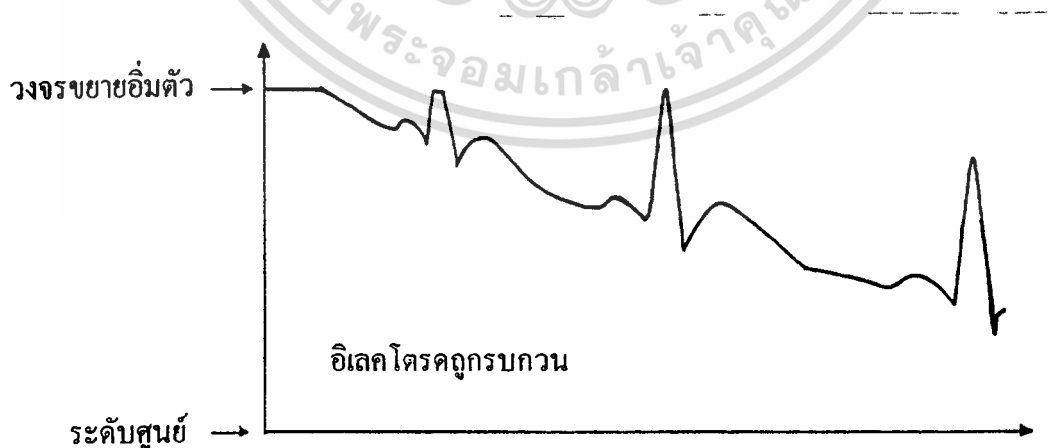
$$\begin{aligned} \text{หรืออัตราขยายศักดาไฟฟ้า} &= R_6(R_1+R_2+R_3)/R_1R_4 \\ &= 50 \times 10^3 (39 \times 10^3 \times 20 \times 10^3 + 20 \times 10^3) / (39 \times 10^3 \times 50 \times 10^3) \\ &= 79/39 = 2.025 \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราขยายศักดาไฟฟ้ามีค่าประมาณ 2 ส่วน C_1 และ C_2 ในรูปที่ 3.3 ทำหน้าที่กรองความถี่สูงไม่ให้ผ่านวงจรขยายไปได้

วงจรขยายในภาคแรกไม่ควรให้มีอัตราขยายมากเกินไปเพราะว่าถ้าเกิดมีศักดาไฟฟ้าออฟเซตเกิดขึ้นที่อินพุทไม่ว่าจะสาเหตุใดก็ตามจะทำให้สัญญาณออกที่เอาพุทลอยขึ้นไปหรือต่ำลงจากระดับศูนย์มากซึ่งบางครั้งอาจจะถึงกับอึดตัวอยู่ที่ค่าใกล้ศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ ทำให้วงจรไม่สามารถทำงานได้

3.2.2 วงจรปรับศูนย์ (Autozero Circuit)

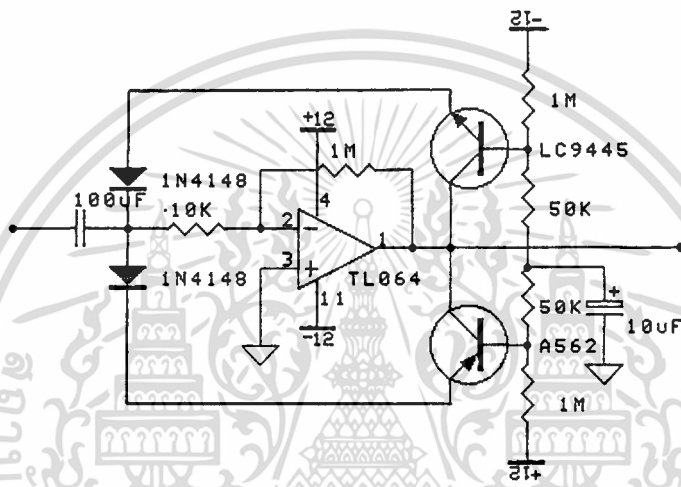
เมื่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านวงจรขยายความแตกต่างมักจะมีศักดาไฟฟ้าออฟเซตถูกขยายมาด้วย ศักดาไฟฟ้าออฟเซตนี้เป็นไฟกระแสดตรงซึ่งสามารถแยกออกจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้โดยการส่งสัญญาณผ่านตัวเก็บประจุ แต่เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีความถี่ต่ำอยู่ในช่วง 0.5 เฮิร์ตซ์ ถึง 200 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้จึงมีค่ามาก เพื่อให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำในช่วงดังกล่าวผ่านไปได้ ปัญหาที่ตามมาก็คือ ถ้ามีการรบกวนที่อิเลคโตรดเช่นเมื่อคนไข้ขยับตัวจะทำให้ความต้านทานตรงรอยสัมผัสของอิเลคโตรดกับผิวหนังเปลี่ยนแปลงและวงจรจะเสียนสมดุลย์ เกิดเป็นศักดาไฟฟ้าออฟเซตที่เอาพุทของวงจรขยายความแตกต่าง คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านตัวเก็บประจุจะลอยออกห่างจากระดับศูนย์และกลับเข้าสู่ระดับศูนย์ช้ามาก เนื่องจากค่าเวลาคงที่ (Time constant) ของตัวเก็บประจุกับความต้านทานอินพุทของวงจรตัดไปมีค่ามาก ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ส่งผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก เมื่ออิเลคโตรดถูกรบกวน

ของ C_1 กับ R_2 และเมื่อมีศักดาไฟฟ้าออฟเซตประมาณ +1.2 โวลต์ หรือ -1.2 โวลต์ (เท่ากับศักดาไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D_1 หรือ D_2 กับขามิเตอร์เบส ของทรานซิสเตอร์ Q_1 หรือ Q_2) ทรานซิสเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสัญญาณลงกราวด์ทำให้ค่าเวลาคงที่ มีค่าลดลงเหลือเพียงเท่ากับผลคูณของ C_1 กับความต้านทานภายในของทรานซิสเตอร์ซึ่งมีค่าน้อย ส่วน IC_1 เป็นวงจรถยายแบบกลับเฟส (Inverting amplifier) มีอัตราขยายศักดาไฟฟ้าคือ

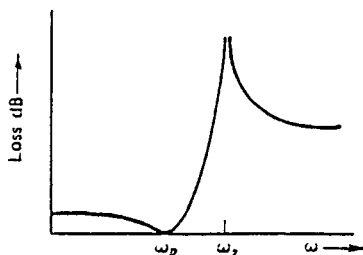
อัตราขยายศักดาไฟฟ้าคือ $R_2/R_1 = 1M/10k = 100$

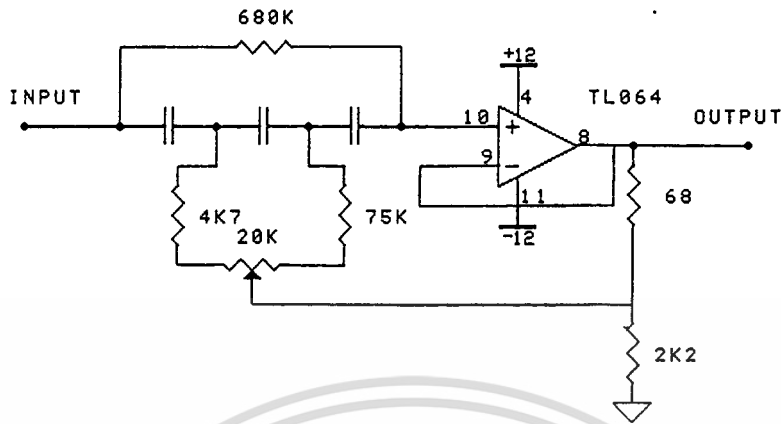


รูปที่ 3.6 วงจรปรับศูนย์ทำหน้าที่ลดค่าเวลาคงที่ เมื่อมีศักดาไฟฟ้าออฟเซตเข้ามา

3.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass notch filter)

ปกติคลื่นหัวใจไฟฟ้าจะมีความถี่ในช่วง 0.5 ถึง 200 เฮิรตซ์ แต่ถ้าวงจรขยายความแตกต่างซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ เกิดความไม่สมดุลย์ของวงจร ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวน จะสามารถผ่านไปได้ ถ้าหากใช้วงจรความถี่ต่ำ แบบธรรมดา ดังนั้นจึงใช้วงจรความถี่ต่ำแบบนอร์ฟิลเตอร์ ที่มีคุณสมบัติยอมให้สัญญาณความถี่สูงและต่ำกว่า 50 เฮิรตซ์ ผ่านได้ ดังรูปที่ 3.7





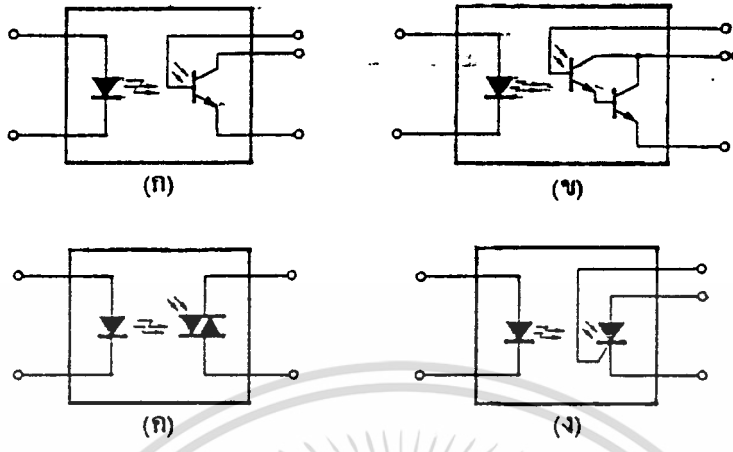
รูปที่ 3.8 วงจรกรองความถี่ต่ำอนุพัลเตอร์ Low pass Notch Filter

3.2.4 วงจรผ่านสัญญาณด้วยแสง (Optocoupler)

วงจรผ่านสัญญาณด้วยแสง หรือ การเชื่อมโยงทางแสงสามารถใช้งานที่ต้องการแยกระบบไฟฟ้าของทั้งสองวงจรออกจากกัน ในกรณีนี้เราใช้เพื่อทำการแยกคร่าวระหว่างวงจรส่วนที่ต้องสัมผัสกับร่างกายกับวงจรคิมอูเลทเตอร์ (Demodulator) เพื่อป้องกันกระแสรั่วไหลจากเครื่องไปทำอันตรายต่อคนใช้ได้ เพื่อให้เข้าใจการทำงานของวงจร ควรทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของตัวเชื่อมโยงทางแสงก่อน

ตัวเชื่อมโยงทางแสงบางครั้งเรียกว่า ตัวแยกโดยใช้แสง (Optoisolator) เป็นอุปกรณ์เดี่ยวที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจรับแสง โดยที่ทั้งสองชิ้นส่วนนี้แยกจากกันและกันโดยมีฉนวนที่โปร่งใสคั่นกลาง และชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังที่บดแสง แหล่งกำเนิดแสงสำหรับตัวเชื่อมโดยทางแสงส่วนมากแล้วจะใช้ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared Emitting Diode) ที่ทำจากสารแกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium arsenide : GaAs) ส่วนตัวตรวจรับหรืออุปกรณ์ภาคเข้าพุทนั้น อาจจะเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์, โฟโตไดร์ลิงตัน, สวิตช์สองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้นและเอสซีอาร์ (SCR) ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง ในรูปที่ 3.9 ได้แสดงให้เห็นถึงสัญลักษณ์ของวงจรชนิดต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว

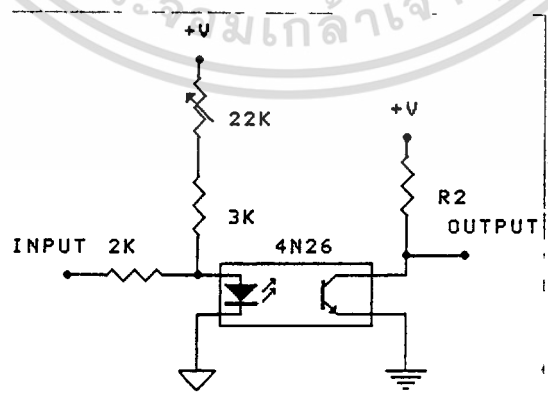
สัญญาณจะถูกส่งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นที่แยกออกจากกันทางไฟฟ้า โดยอยู่ในรูปของสัญญาณแสง โดยที่ชิ้นส่วนทั้งสองนี้ไม่สามารถสลับหน้าที่กัน ได้และ ไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้าระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้ สัญญาณที่ถูกส่งผ่านจึงมีได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3.9 ตัวเชื่อมโยงทางแสงแบบต่างๆ ไป

- รูปที่ 3.9 ก มีเข้าพุทเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์
- รูปที่ 3.9 ข เข้าพุทเป็นโฟโต้คาร์ลิงตัน
- รูปที่ 3.9 ค มีเข้าพุทเป็นสวิตซ์สองทิศทางซึ่งทำงาน เมื่อมีแสงมากระตุ้น
- รูปที่ 3.9 ง มีเข้าพุทเป็นเอสซีอาร์ ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง

จากวงจรในรูปที่ 3.10 ความต้านทาน R_1 ทำหน้าที่เปลี่ยนศักดาไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า เพื่อป้อนให้กับตัวส่งสัญญาณแสงซึ่งเป็นไดโอด ความต้านทาน R_2 และความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ จะเป็นตัวป้อนกระแสไบอัสให้กับตัวส่ง การตั้งไบอัสทำได้โดยการปรับตัวต้านทานเปลี่ยนค่าได้ จนกระทั่งศักดาไฟฟ้าที่คอลเลกเตอร์ของตัวรับสัญญาณแสงมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของศักดาไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ +V



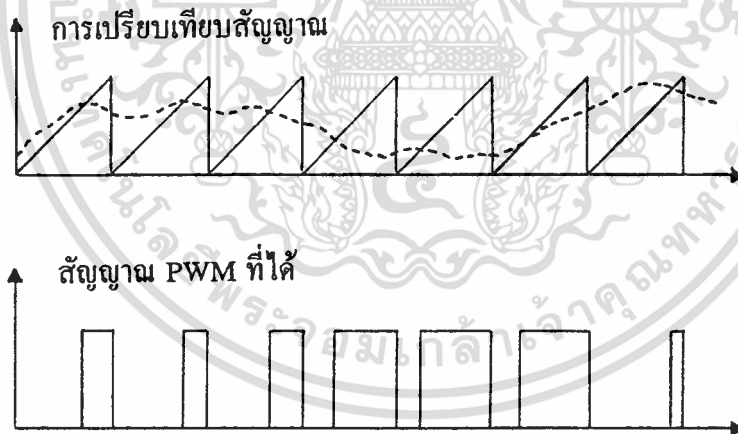
รูปที่ 3.10 วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง

แต่เนื่องจากว่าการไบอัสให้ตัวเชื่อมโยงทางแสงซึ่งเป็นไดโอดทำงานอยู่ในช่วงลิเนียร์กระทำได้ยาก และตัวส่งสัญญาณแสงแต่ละตัวมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป การไบอัสอาจมีการเปลี่ยนตัวเชื่อมโยงทางแสง และอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์ของวงจรถัดไปอีกด้วย

ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการมอดูเลทก่อนจะส่งผ่านไปตัวเชื่อมโยงทางแสงโดยเราใช้วงจรพัลส์-วิดท์ มอดูเลเตอร์ (Pulse width Modulation) ที่จะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

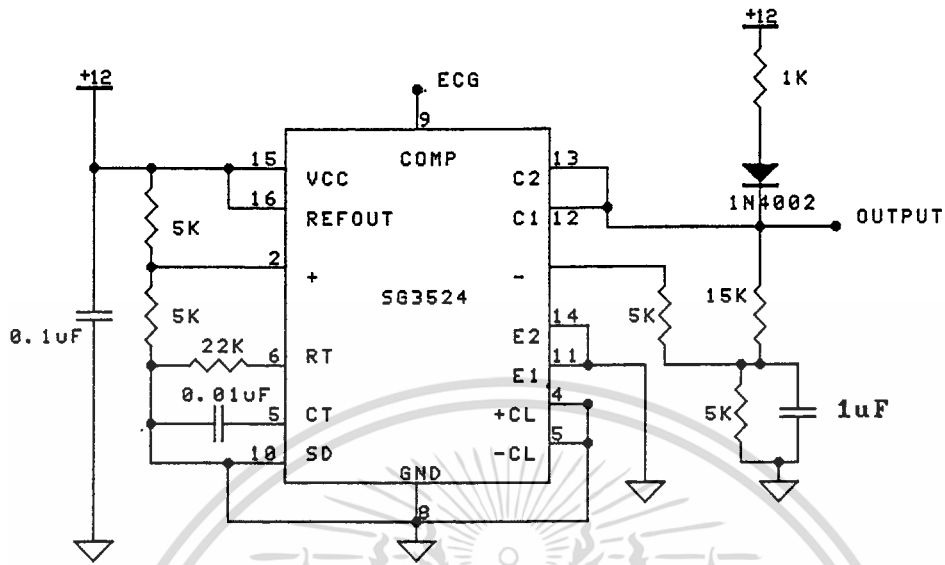
3.2.5 วงจรพัลส์-วิดท์ มอดูเลเตอร์

หลักการทำงานของส่วนนี้ คือป้อนสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ออกจากวงจรกรองความถี่ต่ำ เข้าที่ ขา 9 ของ LM 3524 (Regulating Pulse Width Modulator) เพื่อทำการเปรียบเทียบ (compare) กับสัญญาณ ฟันเลื่อย (saw tooth) ที่สร้างขึ้นในวงจร (ขา7) ความถี่ของสัญญาณฟันเลื่อยสามารถปรับได้โดยการปรับค่า ความต้านทานที่ขา 6 ซึ่งใช้ค่า 22 กิโลโอห์ม ได้สัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 3 กิโลเฮิรตซ์ เป็นสัญญาณเปรียบเทียบ (Reference Signal) เมื่อนำสัญญาณทั้งสองป้อนเข้าที่อินพุทของออปแอมป์ ทำให้ได้สัญญาณเอาต์ พูท ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ มีความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) แปรเปลี่ยนตามคลื่นไฟฟ้าหัวใจ สามารถ อธิบายได้ดังรูป



รูปที่ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณเมื่อใช้พัลส์-วิดท์มอดูเลเตอร์

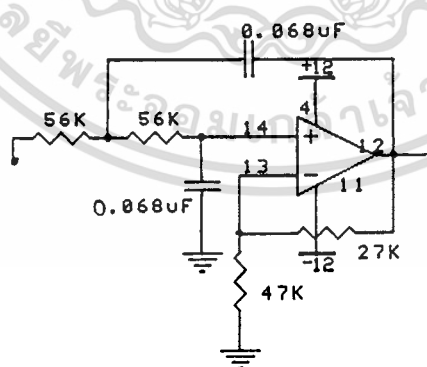
วงจรพัลส์-วิตช์มอดดูเลเตอร์ ใช้ LM 3524 ค่อวางจรดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.12 แสดงวงจร พัลส์-วิตช์มอดดูเลเตอร์

3.3 วงจรตีมอดดูเลเตอร์

หลังจากที่เราได้รับสัญญาณจากตัวรับสัญญาณแสงซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์แล้วจะต้องแปลงสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามเดิม โดยการใช้วงจรตีมอดดูเลเตอร์ซึ่งวงจรที่ทำหน้าที่ดังกล่าวคือ วงจรกรองความถี่ต่ำที่ยอมให้ความถี่ในช่วงความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.13

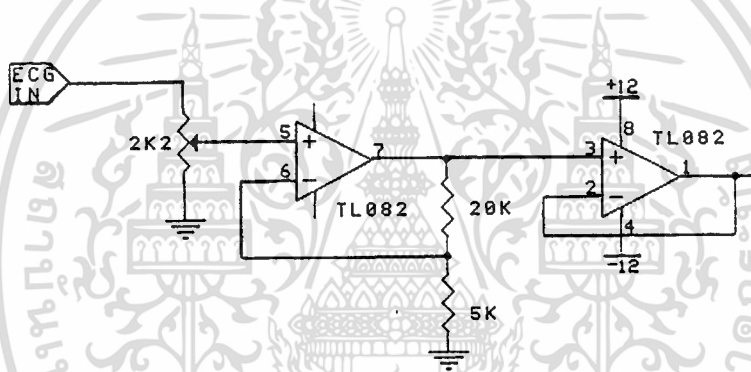


รูปที่ 3.13 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอกทิฟฟิลเตอร์

จากรูปที่ 3.13 เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอกทิฟฟิลเตอร์ (Active Low-Pass Filter) ซึ่งมีค่าความถี่คัทออฟ (Cut-Off Frequency of Passband Edge Frequency) หรือ $\omega_p = 262$ เฮิรตซ์ และ Pole $Q = 0.7$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.4 วงจรขยายและปรับระดับสัญญาณ (Amplifier and Clamp Circuit)

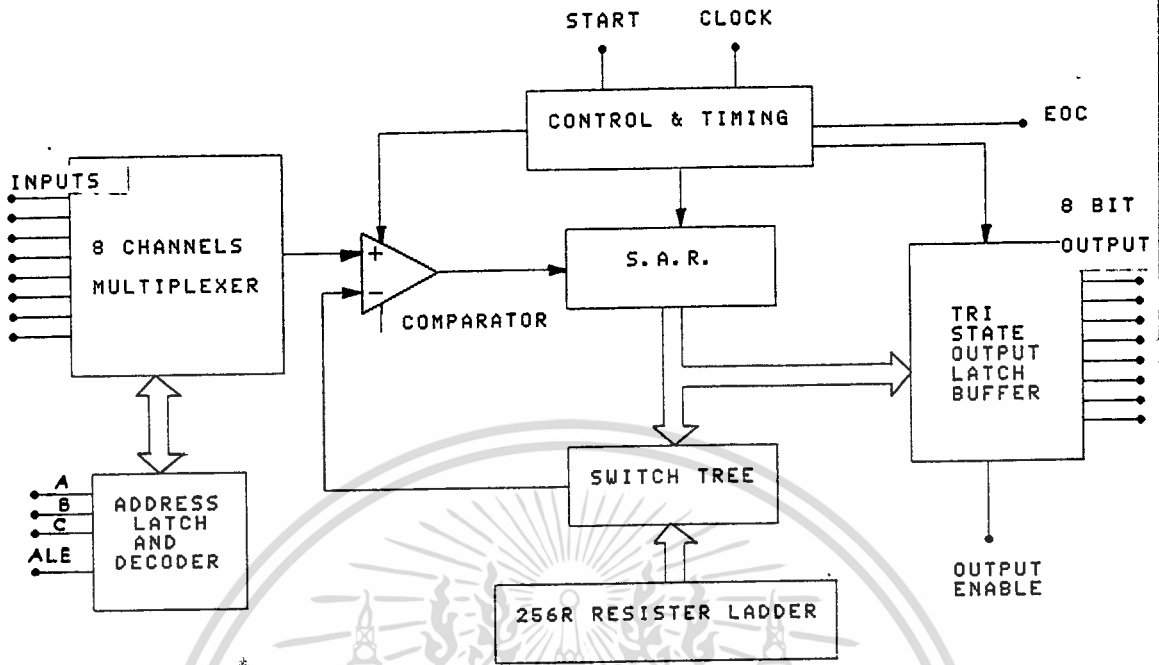
ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้มีขนาดและระดับของศักดาไฟฟ้าเหมาะสมกับวงจรในส่วนถัดไป โดยที่คุณสมบัติของวงจขยายสัญญาณที่มีแถบความถี่ (Bandwidth) ประมาณ 0.5 และ 40 เฮิรตซ์ สัญญาณเข้าที่พหุมีศักดาไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ สัญญาณอินพุตมีขนาดประมาณ 1 โวลต์ รูปที่ 3.14 แสดงวงจขยายและปรับระดับสัญญาณ โดยส่วนของวงจขยายประกอบด้วยออปแอมป์ TL082 ตัวแรกทำหน้าที่เป็นวงจขยายป้อนกลับแบบลบ มีอัตราขยาย 4 เท่า ส่วนตัวหลังทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ออปแอมป์นี้ทำงานด้วยไฟเลี้ยง ± 12 โวลต์ ส่วนวงจปรับระดับสัญญาณทำหน้าที่ยกระดับสัญญาณอินพุตที่มีศักดาต่ำกว่าศูนย์ให้มีศักดาสูงกว่าศูนย์ เพื่อให้สัญญาณที่เหมาะสมป้อนให้แก่วงจแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ซึ่งมีวงจแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจขยายและปรับระดับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

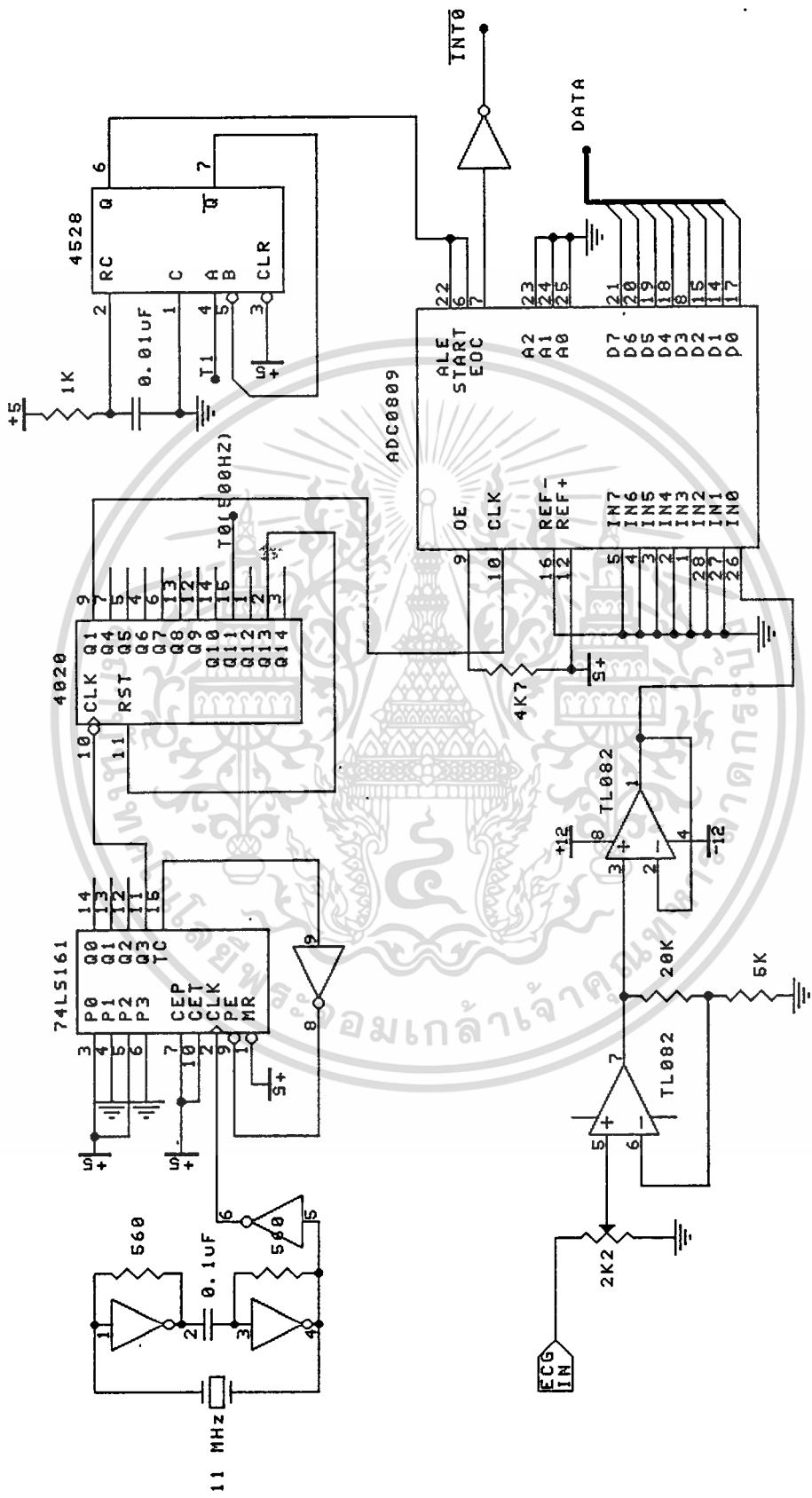
3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

ในโครงงานนี้ใช้ ADC0809 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล มีขนาดอินพุต 8 ช่องสัญญาณ โดยเลือกจากการถอดรหัส 3 บิตให้อินพุตเข้าที่ขา IN_{TO} ของ 8031 สัญญาณอินพุตต้องมีศักดาไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อให้ทำการแปลงสัญญาณได้ถูกต้องสัญญาณนาฬิกามีค่าความถี่ 500 กิโลเฮิรตซ์ ที่ได้จากวงจหารความถี่ ซึ่งประกอบด้วยไอซี 74LS161 กับ ไอซี 4020 ขา Start และ ALE (Address Latch Enable) จะรับสัญญาณจากไอซี 4582 (CMOS Dual Monostable Multivibrator) ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณจากขา P3.4 (T₀) ของ 8031 มาเปลี่ยนความกว้างพัลส์ให้มีความกว้างพัลส์ (Pulse width) 100 ถึง 200 นาโนวินาที ป้อนเข้าที่ ขา Start และ ALE



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของไอซี ADC 0809

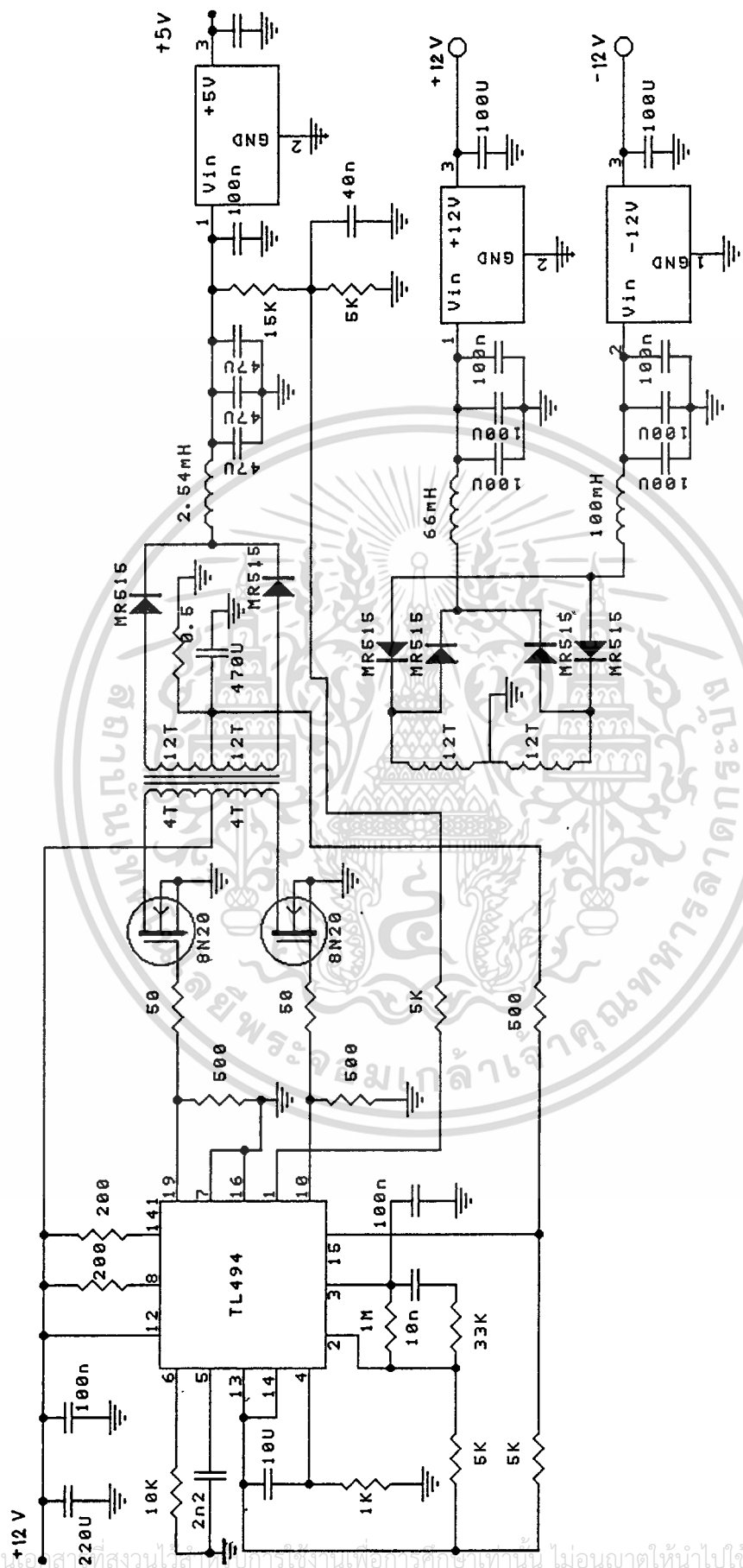
ADC0809 มีการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยคอมแพเรเตอร์ (Comparator) จะทำการ 2 เปรียบเทียบสัญญาณ กับ อนาล็อกอินพุต (Analog Input) เอาท์พุทจากคอมแพเรเตอร์จะไปควบคุม SAR (Successive Approximation Register) ให้สัญญาณดิจิทัลที่ได้เป็น เอาท์พุทสามสถานะ (Tri-state output) ไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ ซึ่งมีค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time) เท่ากับ 100 ไมโครวินาที โดยที่ ขา EOC (End Of Conversion) จะเปลี่ยนสถานะจากลอจิก 0 เป็นลอจิก 1 เมื่อมีการแปลงข้อมูลเสร็จแล้ว หน่วยประมวลผลกลางสามารถอ่านข้อมูลดิจิทัลได้ตลอดเนื่องจากข้อมูลเป็นค่าต่อเนื่องจึงให้ขา OE (Output Enable) มีสถานะลอจิก 1 และให้สัญญาณที่ขา EOC ผ่านอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นสัญญาณ อินเตอร์รัปต์ให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031



3.6 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงส่วนต่างๆ

วงจรส่วนนี้ จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จากแบตเตอรี่เป็นศักดา +5 โวลต์ และ ± 12 โวลต์ วงจรเป็นแบบสวิทซ์เรกกูเลเตอร์ (Switching regulator) มีเพาเวอร์มอสเฟต 2 ตัวเบอร์ 8N20 ผลัดกันขับหม้อแปลงเอาต์พุตด้านไพรมารี (Primary) ฟัลต์ควบคุมการสวิทซ์ของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัว จะถูกส่งมาจากไอซี TL494 ซึ่งจะควบคุมศักดาและกระแสเอาต์พุต โดยมีขาเซ็นเตอร์แทป (Center tap) ต่ออยู่กับไฟเลี้ยง 12 โวลต์ ส่วนขาเกทของมอสเฟตแต่ละตัวต่อกับขา 9 และขา 10 ซึ่งเป็นขาอิมิตเตอร์ในไอซี TL494 โดยมีความต้านทาน 500 โอห์ม ต่อลงกราวด์

ไอซี TL494 ทำหน้าที่ เป็นสวิทซ์พัลส์วิธมอดูเลชัน (Switchmod Pulse Width Modulation) สามารถกำหนดความถี่พัลส์ได้จากค่า R_T และ C_T ที่ขา 6 และ ขา 5 ซึ่งมีค่าคงที่เท่ากับ $1.1/R_T C_T$ โดยในวงจรที่ใช้กำหนดให้มีค่า 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ขาอินพุตของ เออริอร์แอมป์ (error amp) ทั้งสองตัวใน TL494 จะรับค่าศักดาไฟฟ้าที่ถูกป้อนกลับจากจากศักดาและกระแสเอาต์พุต เพื่อไปควบคุมการสร้างพัลส์เข้ามาที่ขา 1 และขา 15 โดยขา 1 รับการป้อนกลับของศักดาเอาต์พุตจากขดที่จ่ายแรงดัน +5 โวลต์ และขา 15 รับการป้อนกลับของกระแสเอาต์พุต ซึ่งมีความต้านทาน 0.5 โอห์ม เป็นตัวควบคุมกระแสเอาต์พุต จากนั้นจะสร้างพัลส์ที่มีความกว้างเหมาะสมออกไปที่ขา 8 และขา 11 ซึ่งเป็นขาคอลเลกเตอร์ ที่มีเฟสสลับกันในไอซีไปขับหม้อแปลงด้านไพรมารีให้มอสเฟตทำงานแบบพุชพูลคอนเวอร์เตอร์ (Push Pull Converter) ทางด้านขดเซคันดารี (Secondary) มี 2 ขดแบบเซ็นเตอร์แทป โดยในแต่ละขดจะมาเข้าวงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ (Full wave rectifier) และวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อกรองไฟให้เรียบ เข้าไอซีเรกกูเลเตอร์ได้ศักดาคงที่ +5 โวลต์ และ ± 12 โวลต์



บทที่ 4

การควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

หลังจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลก่อนส่งสัญญาณข้อมูลผ่านไป ยังจอแสดงผล ซึ่งรายละเอียดในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้

4.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ แต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างแตกต่างกันเช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลในตัว สามารถรับการอินเทอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA (Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทมเมอร์หรือเคาน์เตอร์เพิ่มขึ้น คุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างกันของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูลนี้ดังแสดงในตารางที่

4.1

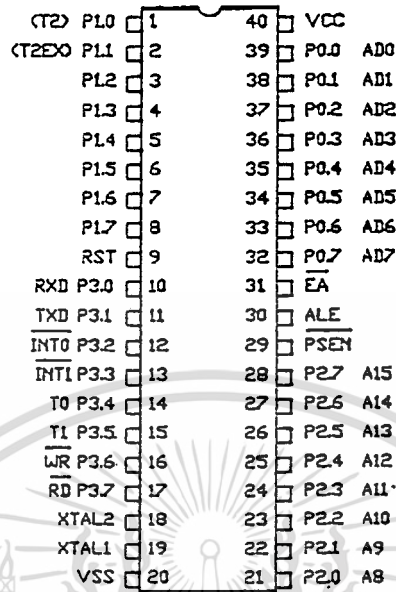
Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)
8051	8031	—	4K	128	4	2		✓		
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2		✓		
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3		✓		
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓		
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓		
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓		
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4K	128	4	2		✓	✓	
83C152JA	80C152JA	—	8K	256	5	2		✓		✓
—	80C152JB	—	—	256	7	2		✓		✓
83C152JC	80C152JC	—	8K	256	5	2		✓		✓
—	80C152JD	—	—	256	7	2		✓		✓
83C451	80C451	—	4K	128	7	2		✓		
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2		✓		

ตารางที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของสมาชิกไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วยเบอร์ 8051,8031,8751 เป็นเบอร์พื้นฐาน โดยในโครงการนี้จะใช้เบอร์ 8031 ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทมเมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงใน

รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0-P0.7) พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้และยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่ง ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านข้อมูลโดยมีวงจรถวลีภายใน
- ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้โดยมีวงจรถวลีภายใน
- ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 ขนาด 8 บิต (P2.0-P2.7)สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้และยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วยโดยส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง(A8-A15)และมีวงจรถวลีภายใน
- ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) สามารถใช้งาน เป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้โดยมีวงจรถวลีภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ ดังนี้

ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลไปภายนอกแบบอนุกรม

- ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทมเมอร์ 0
- ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทมเมอร์ 1
- ขา P3.6 ใช้เป็น สัญญาณควบคุมการ เขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป
- ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้งานก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่
- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาใช้ในการส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (address latch enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก
- ขา PSBEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (program strobe enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมกซ์ไซเคิล
- ขา BA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ ที่เก็บโปรแกรมภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมภายในชิป
- ขา XTAL 1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL2(ขา 18)ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์

4.2 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2.1 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51

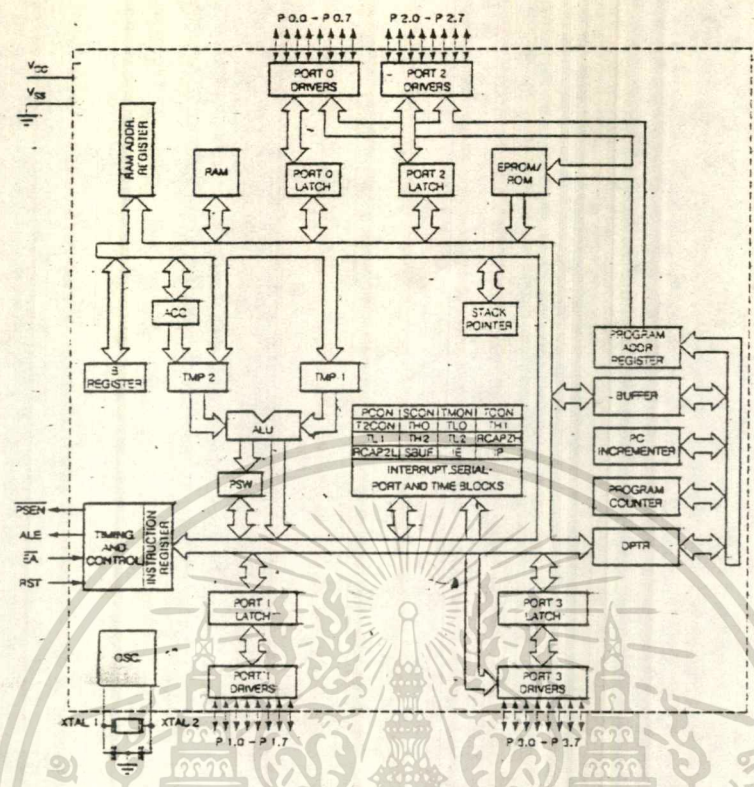
ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลนี้ จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory)

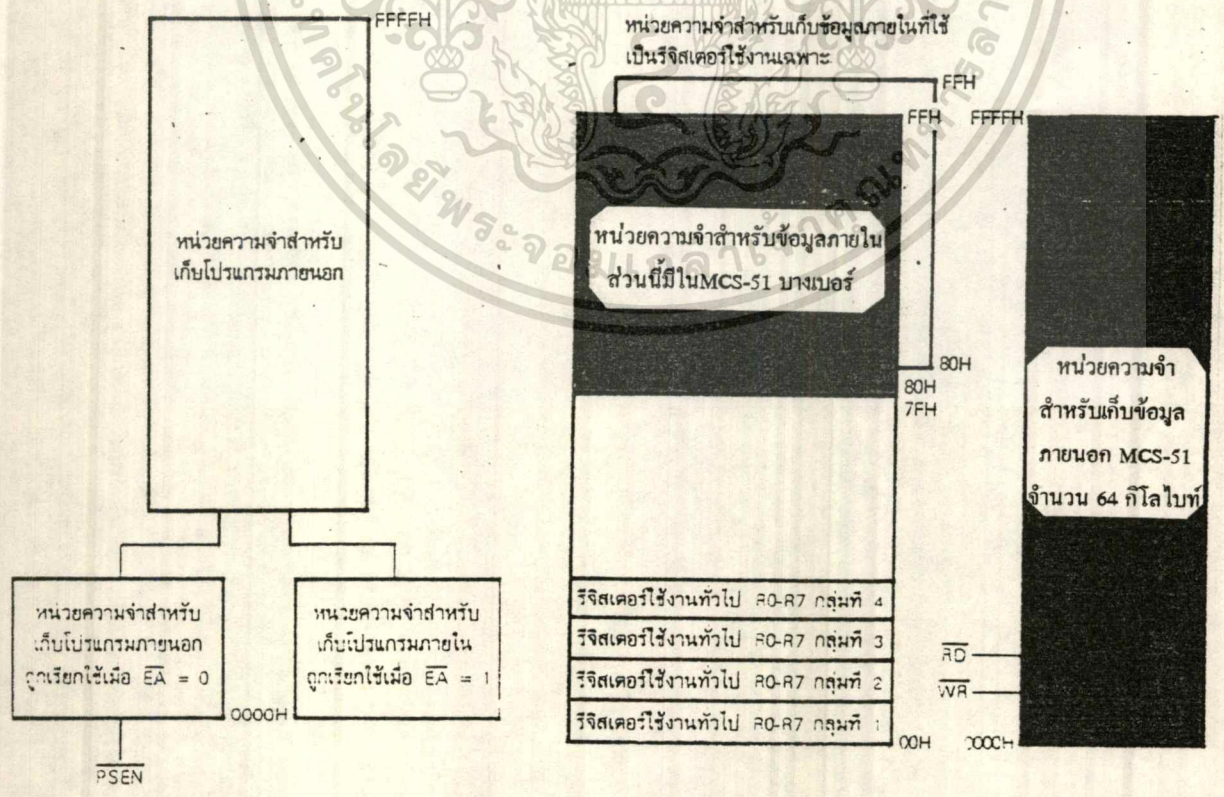
หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มีทำให้เก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอก

ทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สองคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น



รูปที่ 4.2 แสดง โครงสร้างภายในของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

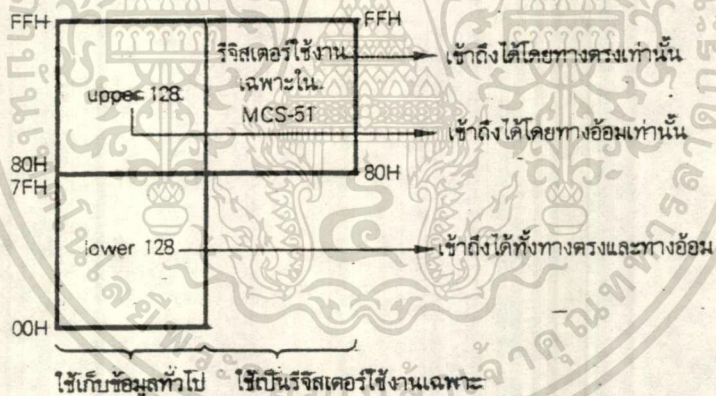


หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (Internal program memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป (External program memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีตั้งแต่ 0,4,8,16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อยดังนี้

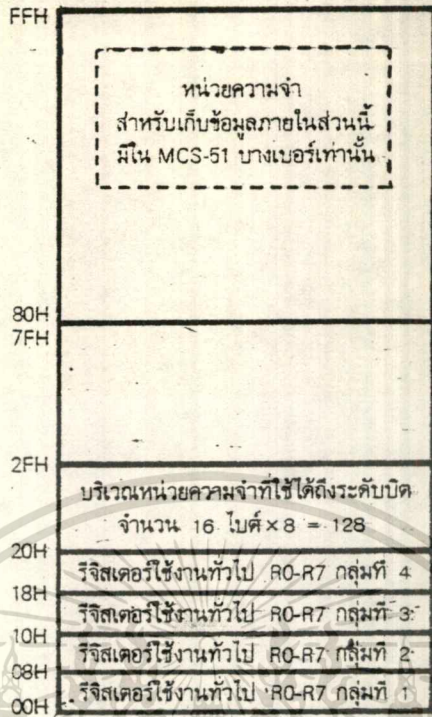
- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (Internal RAM)
- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (Special function register)

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะที่ทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายใน MCS-51 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของชิป แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้งสองบริเวณมีแสดงดังในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบต์ไปจนถึง 256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า upper 128 ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์หลัง (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป เช่นกัน) โดยมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน

4.2.2 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นในการใช้ MCS-51 ที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน MCS-51 มีดังแสดงในรูปที่ 4.6

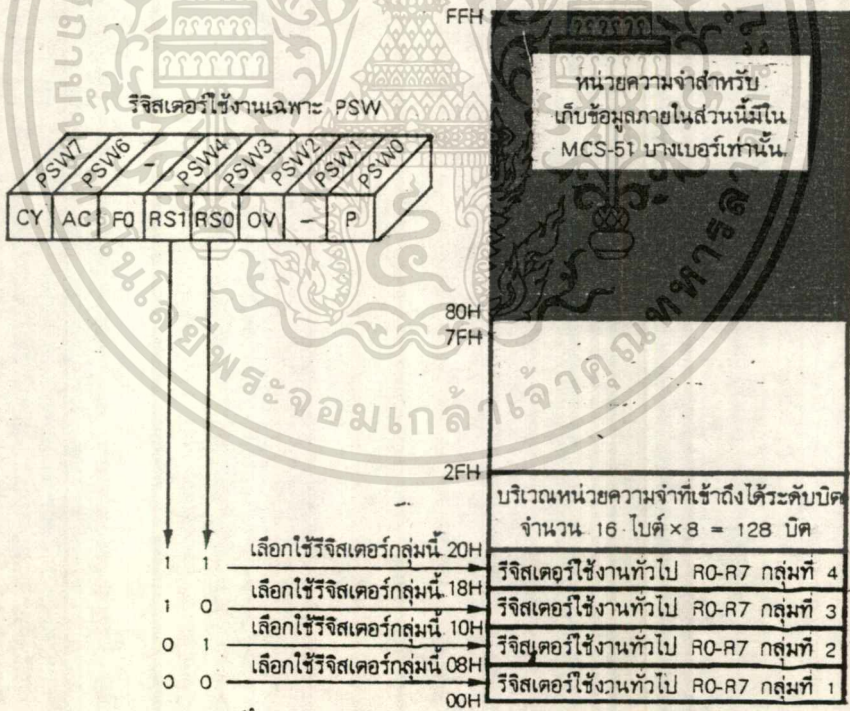
8 ไบต์

F8	-								FF
F0	B								F7
E8									E7
E0	ACC								E7
D8									DF
D0	PSW								D7
C8	(T2CON)	(RCAP2L)	(RCAP2H)	(TL2)	(TH2)				CF
C0									C7
B8	IP								BF
B0	P3								B7
A8	IE								AF
A0	P2								A7
98	SCON	SBUF							9F
90	P1								97
88	TCON	TMOD	TLO	TL1	TH0	TH1			8F
80	PO	SP	DPL	DPL				PCON	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างและตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51 ชนิดการคัด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำที่อยู่ภายนอกชิป MCS-51 ซึ่งต้องติดตั้งเพิ่ม การติดต่อระหว่าง MCS-51 กับหน่วยความจำทั้งสองส่วนจะใช้ขา 32 ถึง 39 (พอร์ต 0) เป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย (ใช้เป็นคาตาบัส) ส่วนค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) จะใช้ขา 21-28 (พอร์ต 2) ดังนั้นเมื่อพอร์ต 0 และพอร์ต 2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก (ทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล) จะทำให้เหลือพอร์ตสำหรับใช้งานอื่นๆ น้อยลง

4.2.3 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปที่สามารถใช้งานได้คือ รีจิสเตอร์ A,B (อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ แต่นับเป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปเพราะไม่ถูกกำหนดหน้าที่ใช้งานโดยตรง) และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 มีด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรีจิสเตอร์จำนวน 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มกระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 แต่ละกลุ่ม

4.2.4 โครงสร้างพอร์ต MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต (P0,P1,P2,P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ต

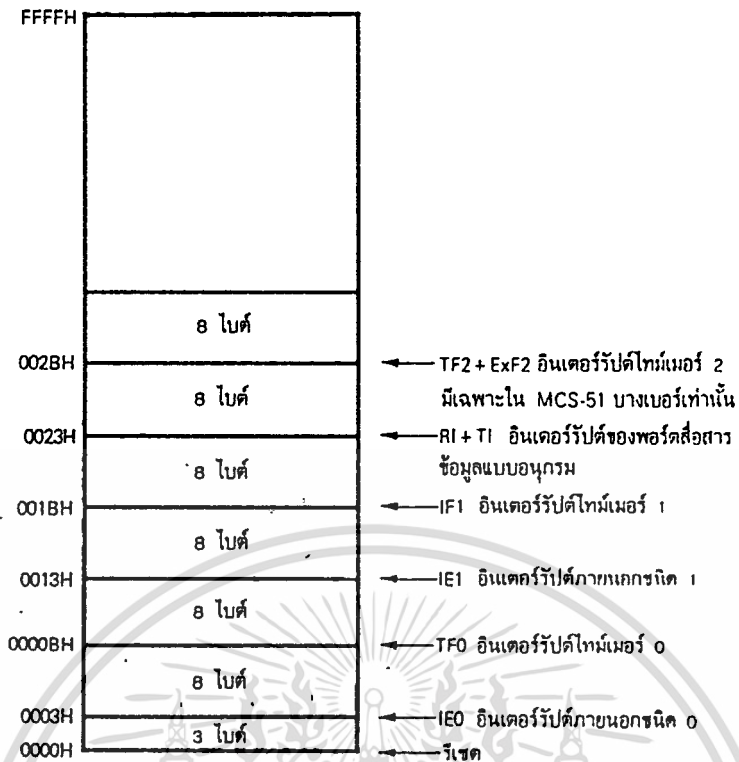
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้สามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ตได้อย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ ในกรณีที่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก พอร์ต 0 จะถูกกำหนดให้เป็นคาตาบัสและแอดเดรสบัสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์สูง และบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุมหรือคอนโทรลบัส (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูล) พอร์ต 3 นอกจากนี้จะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูล ในการติดต่อกับหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ (INT0, INT1) สัญญาณอินพุตที่ต้องการการนับสำหรับเคาน์เตอร์ (T0, T1) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD, TXD) อีกด้วย ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่งและเป็นเอาต์พุตในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม

4.2.5 ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ ใน MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาหรือแมชชีนไซเคิลของวงจรรอสซิงเคลเตอร์ภายใน (ทำงานเป็นไทมเมอร์) หรือนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก (นับสัญญาณพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0, T1 ของพอร์ต 3 (ทำงานเป็นเคาน์เตอร์) การควบคุมการทำงานของไทมเมอร์หรือเคาน์เตอร์ สามารถควบคุมจากวงจรมานอก (ควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณที่ขา INT0, INT1) หรือควบคุมคำสั่งจากโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทมเมอร์ใน MCS-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์ หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอกที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้กำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอนได้

4.2.6 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์ภายนอก ในด้านอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามต้องการ โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) มาตรฐานได้ตั้งแต่ 110, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 375000 นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมในการใช้งาน

4.2.7 โครงสร้างการอินเทอร์รัปต์ MCS-51 สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิดโดยจะเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และที่เกิดจากภายในอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่ข้ามไปทำงานโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt service routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ดังแสดงในรูปที่ 4.8

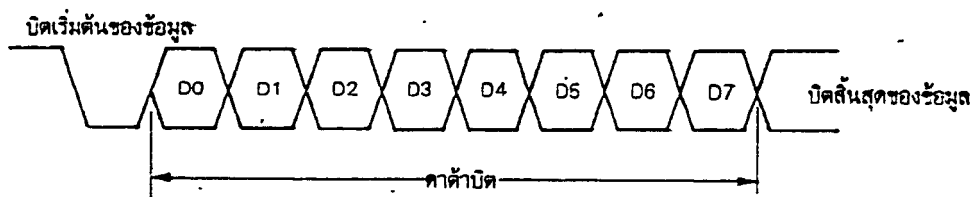


รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51

4.3 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS-232

เมื่อรับข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เข้าสู่พอร์ต 1 ของ 8031 ก็จะนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณอัตราการเดินทางของหัวใจ เสร็จแล้วก็จะส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS-232 ไปยังหน่วยความจำของจอสัมผัส ซึ่งจอสามารถกำหนดให้รับข้อมูลตรงกับมาตรฐานการส่งได้

การใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใน MCS-51 สามารถกำหนดการทำงานได้จากค่าของบิตในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SCON โดยกำหนดให้ ทำงานในโหมด 1 คือ มีการรับส่งข้อมูลครั้งละ 10 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้นของข้อมูล 1 บิต (มีค่าเป็น 0 เสมอ) บิตข้อมูล 8 บิต โดยจะส่งบิตต่ำสุดก่อน และบิตสิ้นสุดของข้อมูลอีก 1 บิต (มีค่าเป็น 1 เสมอ) ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะข้อมูลในการส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 1

การส่งข้อมูลใช้อัตราการส่ง 9600 บิตต่อวินาที โดยสามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD ให้ใช้ไทมเมอร์ 1 โหมด 2 เพื่อกำหนดค่าอัตราการส่ง (Boud rate) ซึ่งโดยทั่วไปเราทราบว่า จะต้องการอัตราการส่งเท่าใด ดังนั้นค่าที่เราต้องการหาคือค่าที่ต้องโหลดไว้ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TH1 คือ

$$TH1 = 256 - [\{ 2^{SMOD} \times \text{ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้} \} / \{ 32 \times 12 \times \text{baud rate} \}]$$

จากข้อมูลเบื้องต้น สามารถกำหนดในโปรแกรมได้ดังนี้

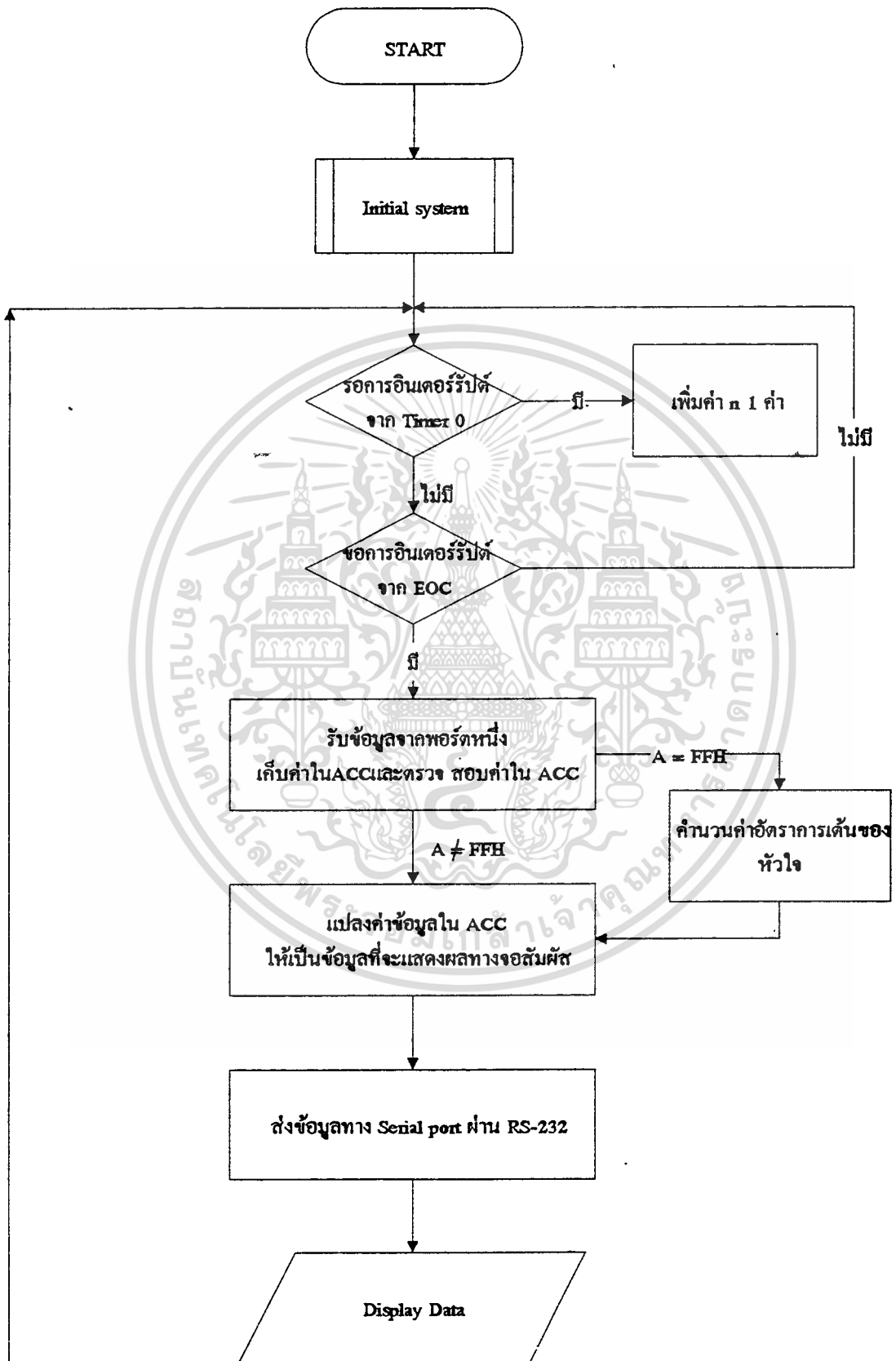
```
MOV SCON, #50H ; ให้พอร์ตสื่อสารอนุกรมทำงานโหมด 1
MOV TMOD, #20H ; ใช้ไทมเมอร์ 1 ในโหมด 2 เพื่อกำหนดอัตราการส่ง
MOV TH1, #0FDH ; กำหนดค่าอัตราการส่ง เป็น 9600 บิตต่อวินาที
SETB TR1 ; ให้ไทมเมอร์ 1 เริ่มทำงาน
```

4.4 โฟลว์ชาร์ท (Flow Chart) แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ประกอบด้วยโฟลว์ชาร์ทต่าง ๆ ดังนี้

- MAIN PROGRAM
 - INITIAL SYSTEM
 - INTERRUPT PROCESS
 - บล็อกโคออดิเนตการแสดงผล
- มีดังนี้

MAIN PROGRAM

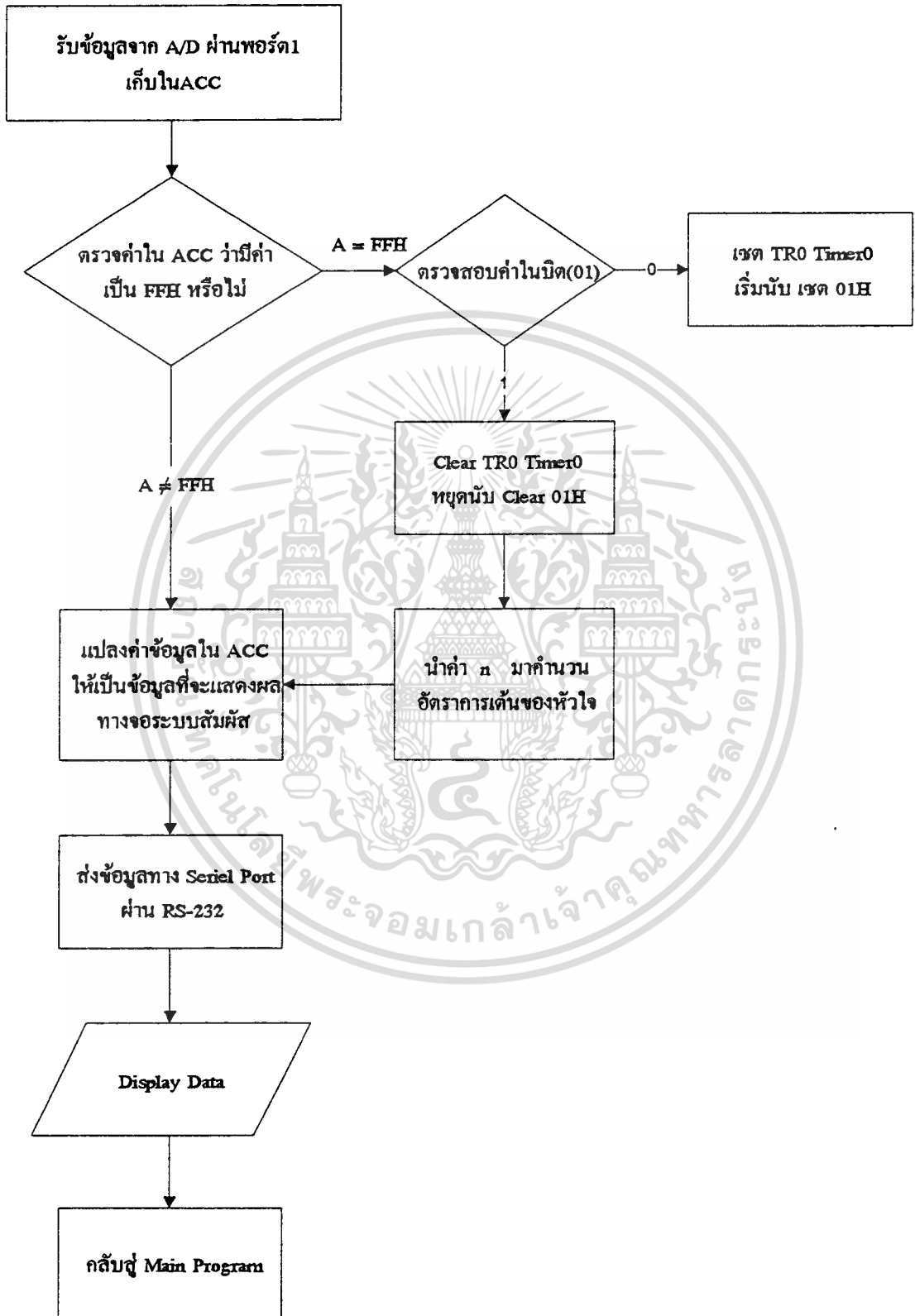


INITIAL PROGRAM

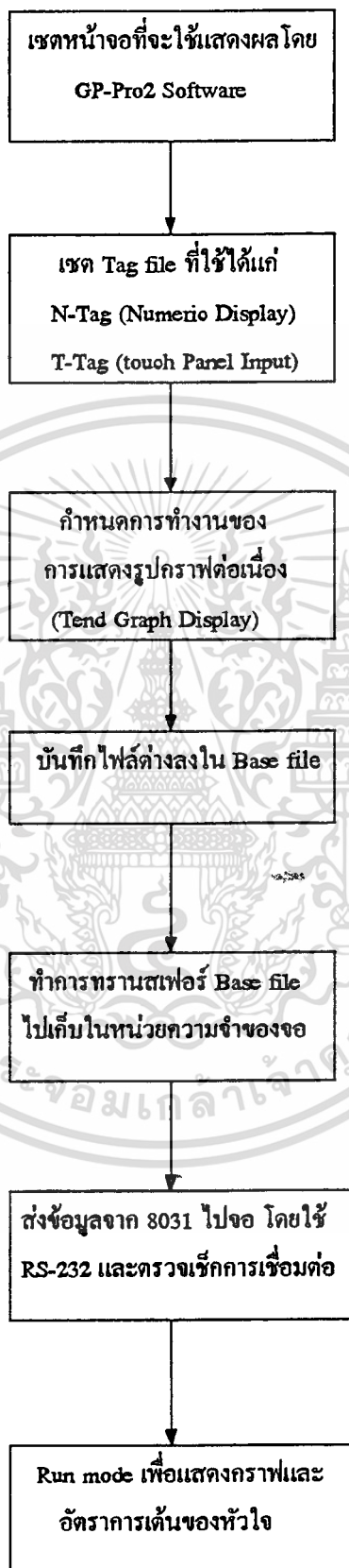


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERRUPT PROCESS



บล็อกไดอะแกรมการแสดงผล



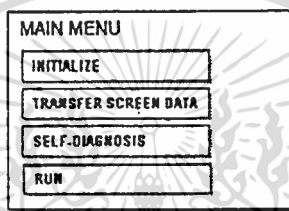
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

จอแสดงผลระบบสัมผัส

5.1 การใช้งานเบื้องต้น

จอแสดงผลระบบสัมผัส ในโครงการได้เลือกใช้จอ GP-250 โดยจอระบบสัมผัส(Graphic Panel Unit) นี้ เป็น แอลซีดี แบบ โมโนโครมบลูโหมด (Monochrome blue mode LCD) จะแสดงผลเป็น 2 สีคือ สีฟ้าและสีขาว มีจุด 320 x 240 จุด มีหน่วยความจำภายในคืออีพรอม (Flash EPROM) จำนวน 256 กิโลไบต์ ภายในจอระบบสัมผัส สามารถกำหนดการใช้งานระบบต่างๆได้โดยตรง เมื่อกดที่จอด้านบนซ้ายสุด จะแสดง เมนูหลัก (Main menu) ให้เลือกดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 จอแสดงเมนูหลัก

เมนูหลักประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1 เมนูเริ่มต้นการทำงาน (Initialize) สามารถใช้งานได้ดังนี้

1.1 กำหนดระบบ (System set up) ใช้กำหนดเวลาเริ่มต้นการทำงานของหน้าจอเมื่อเปิดเครื่อง กำหนดให้มีเสียงหรือไม่มีเสียงเมื่อสัมผัสจอ (touch buzzer sound) กำหนดรหัสผ่าน (pass word) กำหนดหมายเลขของไฟล์เบส (Base Files) ที่จะแสดงออกทางจอสัมผัส ให้เป็นไบนารี(BIN) หรือ ไบนารีโคดเดจิมอล (BCD:Binary code decimal)กำหนดพื้นที่ระบบสำหรับการอ่านหรือการเขียนข้อมูล

1.2 กำหนดการติดต่อภายนอก (Set up I/O) กำหนดการสื่อสารของจอกับอุปกรณ์ภายนอก โดยสามารถกำหนดความเร็วของการส่งข้อมูล (Baud rate), ความยาวของข้อมูล 7 หรือ 8 บิต, จำนวนสตอปบิต (stop bit) 1 หรือ 2 บิต, พาริตีบิต (parity bit) คู่ คี่ หรือไม่มีพาริตีบิต, เลือกการเชื่อมต่อสื่อสาร (Communication interface)ว่าจะใช้ RS-232C หรือ RS-422 และสามารถเลือกโหมดการสัมผัสแบบ 1 หรือ 2 จุดได้

1.3 กำหนดพีแอลซี (PLC Setting) เป็นการกำหนดพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Control) ให้ตรงกับพีแอลซี ที่ใช้ ซึ่งสำคัญมากในการใช้งานที่มีพีแอลซี

1.4 กำหนดหน่วยความจำเริ่มต้น (Initial memory) จะทำการลบข้อมูลในหน่วยความจำภายในจอ

1.5 กำหนดเวลา (Set up time) ใช้กำหนดเวลาในจอแสดงผลให้ตรงกับเวลาปัจจุบัน โดยบอกเป็น วัน,เดือน,ค.ศ,ชั่วโมง,นาที

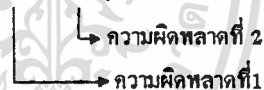
1.6 กำหนดหน้าจอ (Set up screen) ใช้กำหนดหมายเลขจอเริ่มต้นที่จะถูกแสดงผลเป็นจอภาพแรก, กำหนดขนาดตัวอักษรให้มีขนาดตามต้องการ,กำหนดให้มีหรือไม่มีข้อความเตือนแสดงความคิดพลาดขณะ แสดงหน้าจอสัมผัส

2 เมนูส่งข้อมูลหน้าจอ (Transfer screen data) เป็นส่วนที่แสดงผลการส่งข้อมูลจาก คอมพิวเตอร์ ในส่วนของจอภาพที่ใช้โปรแกรม GPRO-2 เขียนภาพเก็บไว้ ส่งไปยังหน่วยความจำของ จอแสดงผล โดยจะแสดงข้อความบอกเมื่อส่งข้อมูลเสร็จแล้ว

3 เมนูตรวจสอบฮาร์ดแวร์ (Self-diagnosis) ใช้ตรวจสอบข้อผิดพลาดในส่วนของฮาร์ดแวร์ ได้แก่ การตรวจเช็คจุดสัมผัส, การตรวจเช็คไดนามิกแรม (DRAM), เช็คหน่วยความจำที่จะแสดงข้อมูลบนจอ, เช็คสถานะของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ภายในจอถ้ามีความผิดพลาดจะมีลูกศรชี้บอก และใช้เช็คสายรับ-ส่ง สัญญาณของ RS-232C และ RS-422 ที่ต่อเชื่อมกันหากเกิดความผิดพลาดจะแสดงข้อความบอกเตือน

4 เมนูแสดงหน้าจอ (Run) ใช้แสดงข้อมูล ออกบนจอสัมผัส โดยข้อมูลดังกล่าวเก็บอยู่ในรูปแบบของไฟล์เบส ขณะที่ทำโหมดการทำงาน หากมีข้อผิดพลาด จอจะแสดงข้อความบอกความผิดพลาด (error message) ดังกล่าว เช่น

ILLEGAL ADDRESS IN SCREEN DATA (00B : 0C1 : 191)



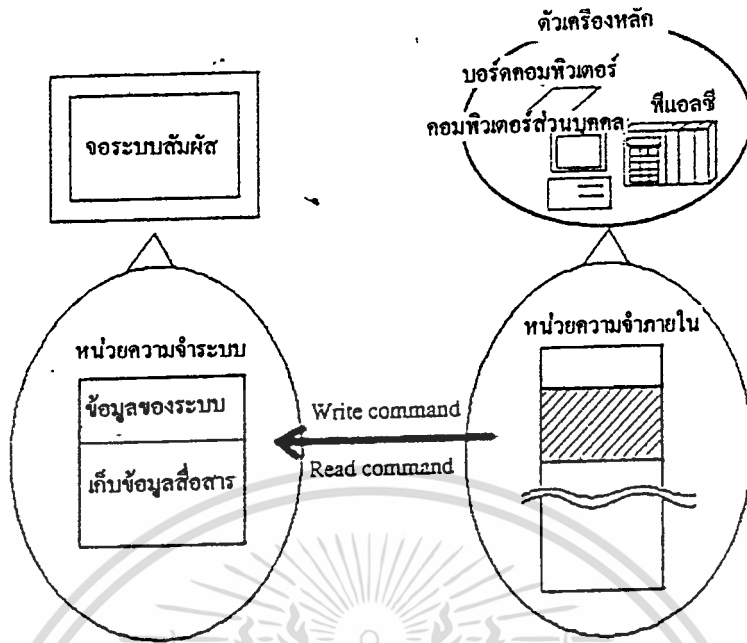
หมายถึง บางส่วนหรือทุกส่วนของไฟล์ที่ ถูกเก็บในช่วงของหน่วยความจำเดียวกับหน่วยความจำ ของระบบ (System area) ทำให้เกิดการซ้อนทับกันของหน่วยความจำ (overlap of address)

5.2 การสื่อสารของจอรระบบสัมผัส

5.2.1 วิธีการติดต่อสื่อสาร

การติดต่อสื่อสารระหว่างจอสัมผัสกับตัวเครื่องหลัก (Host machine) จะถูกควบคุมจากตัวเครื่อง หลักเอง กล่าวคือการแสดงผลบนจอสัมผัสนี้ข้อมูลที่นำมาเก็บไว้ในหน่วยความจำของจอสัมผัสจะถูกส่งมา โดยคำสั่งการเขียนข้อมูลจากตัวเครื่องหลัก ขณะเดียวกันจอสัมผัสก็สามารถส่งข้อมูลกลับ ไปยังตัวเครื่อง หลักได้โดยการตอบสนองต่อคำสั่งการอ่านข้อมูลที่ได้จากตัวเครื่องหลักจอสัมผัสกับตัวเครื่องหลักมีการ แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน โดยอาศัยพื้นที่หน่วยความจำของระบบ ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารดังรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



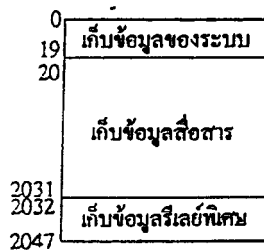
รูปที่ 5.2 การติดต่อสื่อสารของจอร์บบสั้มผัส

5.2.2 หน่วยความจำของระบบ

หน่วยความจำของระบบเป็นตัวสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างจอร์บบสั้มผัสกับตัวเครื่องหลัก ซึ่งหน่วยความจำส่วนนี้จะบรรจุอยู่ในส่วนของหน่วยความจำภายในจอร์บบสั้มผัส และการแสดงผลบนจอร์บบสั้มผัสจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่เก็บอยู่ในพื้นที่ส่วนนี้ ขนาดของหน่วยความจำของระบบมีจำนวนทั้งหมด 2048 ตำแหน่ง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยคือ

- หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลของระบบ (System Data Area)
- หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลสื่อสาร (User Area)
- หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลรีเลย์พิเศษ (Special Relay Area)

ส่วนต่างๆในหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ขนาดและตำแหน่งต่างๆของหน่วยความจำของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของส่วนต่างๆจะมีการทำงานดังนี้

-หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลของระบบ

ส่วนนี้เป็นพื้นที่ซึ่งใช้ควบคุมข้อมูลและเช็คสถานะความผิดพลาดของจอสัมผัส โดยในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลจะถูกกำหนดไว้ตายตัว

-หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลสื่อสาร

พื้นที่ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ข้อมูลจะถูกแลกเปลี่ยนกันระหว่างจอสัมผัสกับตัวเครื่องหลัก โดยถ้าหากใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวเครื่องหลัก ในขั้นแรกจะต้องกำหนดช่วงตำแหน่งของหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลสื่อสาร ที่จะถูกเขียนข้อมูลลงไป จากนั้นเขียนโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์หลักเพื่อว่ามันจะยังสามารถส่งข้อมูลไปบนพื้นที่ที่กำหนดไว้ใน หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลสื่อสารก่อนแล้ว

ส่วนทางด้านของจอสัมผัส จะใช้หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลสื่อสารนี้ในการกำหนดแท็ก (Tag) เพื่อจะแสดงข้อมูลข้อมูลที่ได้รับมา (Data Transfer) ขนาดของหน่วยความจำใน หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลสื่อสาร มีจำนวน 2032 ตำแหน่ง

-หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลรีเลย์พิเศษ

พื้นที่ในส่วนนี้จะใช้เก็บสถานะของรีเลย์พิเศษของจอ ซึ่งมีตำแหน่งต่างๆในหน่วยความจำดังรูปที่

5.4

2032	สำรองไว้ในอนาคต
2034	1 Second Binary Counter
2035	
2036	เวลาสนทนของแท็กไฟล์
2037	สำรองไว้ในอนาคต
2038	รีเลย์เทอร์มินัลของแท็กไฟล์
2039	สำรองไว้ในอนาคต
2047	

รูปที่ 5.4 แสดงหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลรีเลย์พิเศษ

5.2.3 รูปแบบคำสั่งในการติดต่อสื่อสาร

ตัวเครื่องหลัก จะสามารถเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำของระบบ โดยใช้คำสั่งเขียน (Write command) และสามารถอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของระบบ นี้โดยใช้คำสั่งอ่าน (Read command) ซึ่งมีรูปแบบต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำของระบบ

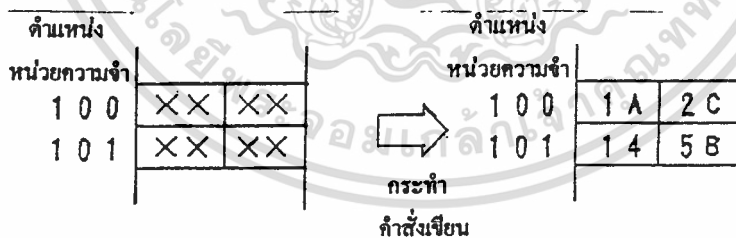
เมื่อใช้คำสั่งเขียน ข้อมูลจะถูกเขียนลงบนตำแหน่ง ที่กำหนดไว้ในหน่วยความจำของระบบโดยรายละเอียดของคำสั่งเขียนมีดังนี้

ESC (1Bh)	รหัสเริ่มต้น (Start code)
W (57h)	คำสั่งเขียน
Address (4 bytes)	แอดเดรสเริ่มต้น
Data 1 (4 bytes)	
Data 2 (4 bytes)	
⋮	
CR (0Dh)	คำป้อนกลับ (Carriage return)

ตัวอย่างเช่น ให้เขียนข้อมูล 1A2C และ 145B จากจุดเริ่มต้นที่หน่วยความจำตำแหน่งที่ 100 บนหน่วยความจำของระบบ



รูปแบบของคำสั่งเขียน

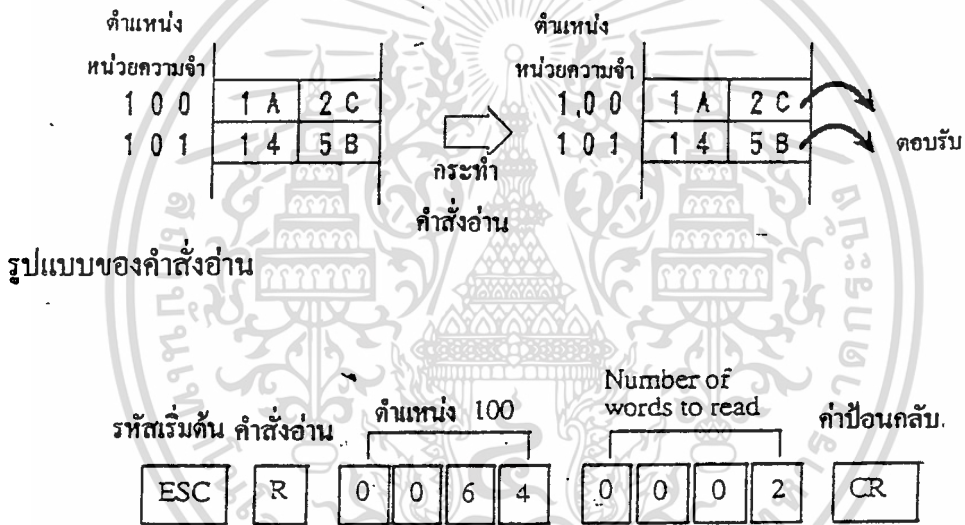


2. การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของระบบ

เมื่อใช้คำสั่งอ่านข้อมูลจะถูกอ่านจากหน่วยความจำที่ถูกกำหนดไว้ในหน่วยความจำของระบบ โดยรายละเอียดของคำสั่งอ่านมีดังนี้

ESC (1Bh)	รหัสเริ่มต้น
R (52h)	คำสั่งอ่าน
Address (4 bytes)	แอดเดรสเริ่มต้น
Number of words to read	
CR (0Dh)	คำป้อนกลับ

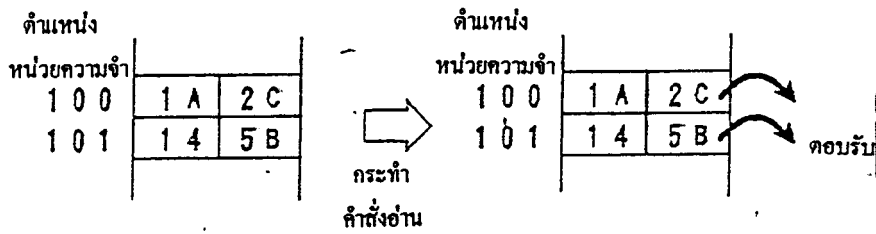
ตัวอย่างเช่น ให้อ่านข้อมูล 2 คำ โดยเริ่มนับจากหน่วยความจำตำแหน่งที่ 100 ในหน่วยความจำของระบบ



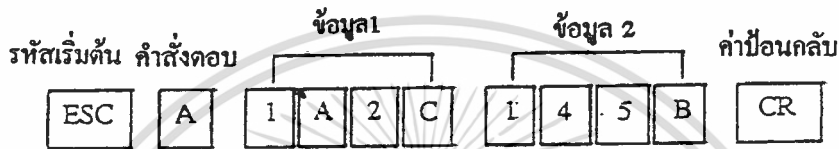
เมื่อคำสั่งอ่าน 1 คำสั่ง ซึ่งส่งมาจากตัวเครื่องหลักส่งมาถึงจอสัมผัส ตัวจอจะส่งข้อมูลซึ่งเป็นคำสั่งคำตอบส่งกลับไปให้ตัวเครื่องหลัก โดยรายละเอียดของคำสั่งคำตอบมีดังนี้

ESC (1Bh)	รหัสเริ่มต้น
A (41)	คำสั่งตอบ
Data 1 (4 bytes)	
Data 2 (4 bytes)	
⋮	
CR (0Dh)	คำป้อนกลับ

ตัวอย่างเช่น ให้ส่งข้อมูล 2 ตำแหน่งโดยเริ่มนับจากหน่วยความจำตำแหน่งที่ 100 ในหน่วยความจำของระบบ



รูปแบบของคำสั่งคำตอบ



5.3 การแสดงภาพกราฟต่อเนื่อง

ภาพกราฟต่อเนื่องที่ปรากฏขึ้นบนจอจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลที่บรรจอยู่ในหน่วยความจำ (word address) โดยจะถูกเก็บไว้ในทีแอลซี ซึ่งในโครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่าข้อมูลที่แสดงกราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจไปยังหน่วยความจำในจอแสดงผล

หลักการทำงาน

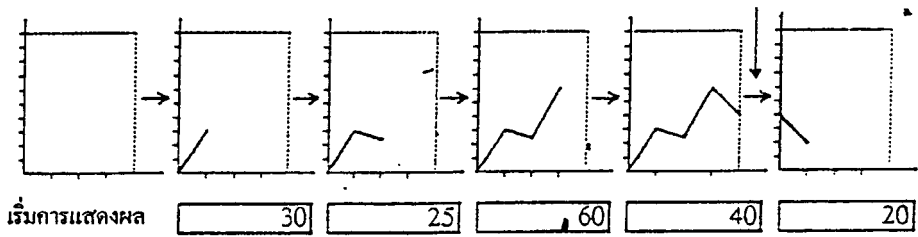
ข้อมูลในหน่วยความจำ ที่ถูกกำหนดไว้จะถูกสุ่มเรียกตามอัตราที่กำหนดไว้ในไฟล์ที (T-File) จากนั้นก็จะแสดงเป็นภาพกราฟต่อเนื่อง ในการสร้างภาพกราฟจะถูกกำหนดโดยไฟล์ที เมื่อข้อมูลถูกสร้างและกำหนดแล้วไฟล์ทีจะถูกเรียกบนไฟล์บี (B-File) โดยภาพกราฟสามารถติดตั้งบนไฟล์บีได้สูงสุด 8 ไฟล์ พื้นที่หน่วยความจำที่เก็บข้อมูลของเส้นกราฟจะเก็บข้อมูลข้อมูลของเส้นกราฟได้หลายเส้น โดยจำนวนสูงสุดที่เส้นกราฟหรือช่อง จะแสดงบนจอได้ต้องไม่เกิน 20 เส้นหรือ 20 ช่อง ข้อมูลของเส้นกราฟที่อยู่ในช่องแรกก็คือข้อมูลในไฟล์ทีที่เป็นข้อมูลแรกด้วยโดยจะเรียงตามหมายเลขที่กำกับไว้ในไฟล์ทีเอง ซึ่งการทำงานของจอสามารถแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. แบบปกติ (Normal Display)

ข้อมูลในหน่วยความจำ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งถูกสุ่มเรียกตามอัตราที่กำหนดไว้จากจอแสดงผล จะทำให้ข้อมูลในหน่วยความจำนี้ถูกวาดเป็นเส้นกราฟ ข้อมูลจะเริ่มจากจุดที่มีค่าเป็น 0 จากนั้นก็ถูกลากไปจุดที่กำหนดค่าไว้ในหน่วยความจำ โดยเส้นกราฟที่ถูกสุ่มเรียกมาเรื่อยๆนั้นจะถูกลากไปในทิศทางที่กำหนดไว้ เมื่อกราฟถูกลากมาจนสุดขอบจอแสดงผล เส้นกราฟช่องต่อมาก็จะถูกแสดงเป็นข้อมูลแรกในหน้าจอดีไป ดังแสดงในรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

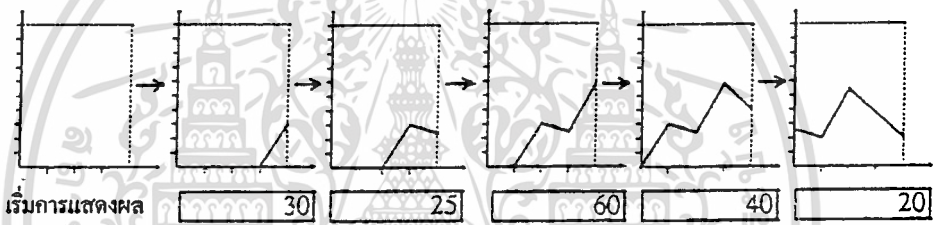
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงการเขียนเส้นกราฟแบบปกติโดยมีทิศไปทางขวา

2. แบบภาพกราฟต่อเนื่อง (Pen-Recording Mode)

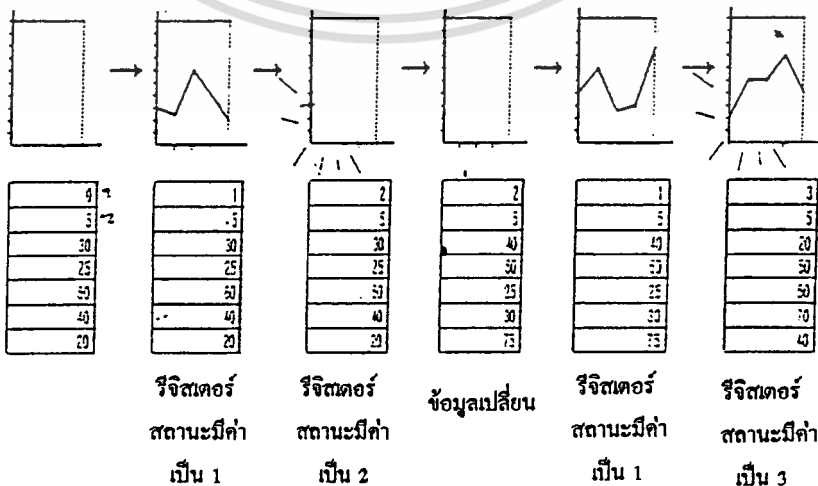
ข้อมูลในหน่วยความจำ 1 ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งถูกสุ่มเรียกตามอัตราที่กำหนดไว้จากจอแสดงผล จะทำให้ข้อมูลในหน่วยความจำนี้ถูกวาดเป็นเส้นกราฟ ข้อมูลจะเริ่มจากจุดที่มีค่าเป็น 0 จากนั้นก็ถูกลากไปจุดที่กำหนดค่าไว้ในหน่วยความจำ ข้อมูลถัดมาก็จะถูกแสดงออกมาเรื่อยๆ เป็นภาพเนื่องตามทิศทางที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างภาพกราฟต่อเนื่องโดยมีทิศไปทางขวา

3. แบบแสดงเป็นชุด (Block Display Mode)

ข้อมูลในหน่วยความจำ ตามลำดับ จะถูกสุ่มตามอัตราที่กำหนดไว้ จากนั้นจะถูกลากเป็นเส้นกราฟต่อเนื่อง โดยข้อมูลที่แสดงเป็นเส้นกราฟบนจอแสดงผลนั้นจะถูกเรียกใช้งานเป็นชุดๆ ไป และยังสามารรถกำหนดไม่ให้แสดงภาพกราฟออกทางจอแสดงผลได้อีกด้วย ซึ่งตัวอย่างการทำงานแสดงในรูปที่ 5.7



หมายเหตุ * 1 ตำแหน่งหน่วยความจำที่เก็บค่ารีจิสเตอร์ ควบคุมสถานะ

* 2 หมายเลขของจำนวนข้อมูลที่จะแสดงผล

โดยรายละเอียดของการกำหนดค่ารีจิสเตอร์ควบคุมสถานะ มีดังนี้

- ถ้าถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 หมายถึง ให้ทำการแสดงข้อมูลกราฟตามลำดับข้อมูลในหน่วยความจำ
- ถ้าถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 2 หมายถึง ให้ทำการยกเลิกกราฟที่แสดงผลอยู่
- ถ้าถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 3 หมายถึง ให้ทำการยกเลิกกราฟที่แสดงผลอยู่แล้วแสดงกราฟข้อมูลอันใหม่ทันที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบการทำงานของวงจร

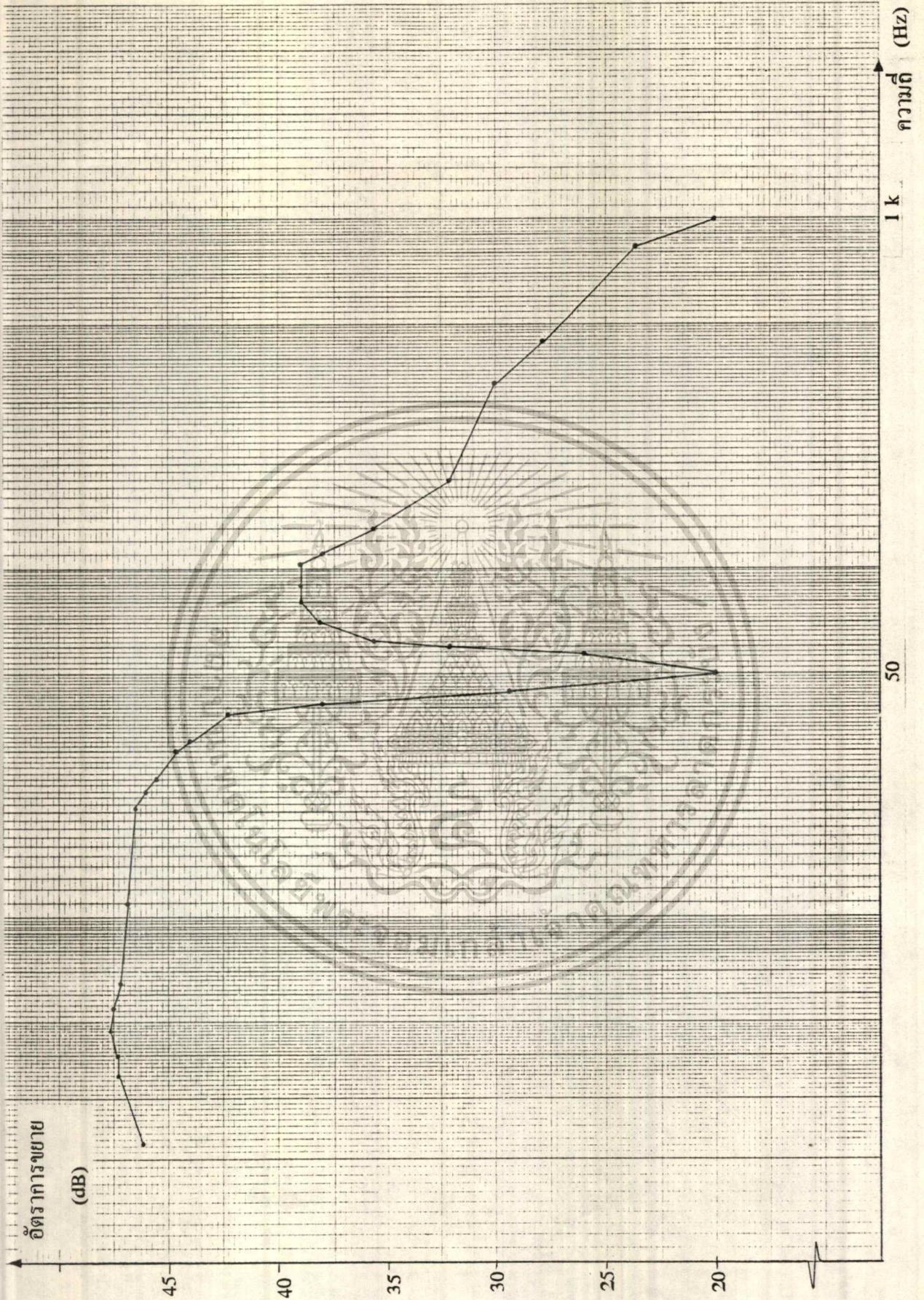
6.1 ภาควงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Preamplifier)

6.1.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ

เพื่อทำการทดสอบว่า วงจรกรองความถี่ต่ำแบบนอร์ฟิลเตอร์ สามารถกำจัดสัญญาณรบกวน ที่ช่วงความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยการหาผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ให้ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์เข้ามาที่อินพุทของวงจรกรองความถี่ต่ำแล้วทำการปรับค่าความต้านทานให้ค่าเอาต์พุทต่ำสุด หลังจากนั้นให้ป้อนค่าอินพุทที่ทำให้ได้ค่าเอาต์พุทสูงสุดเปลี่ยนความถี่ ตั้งแต่ 0 ถึง 1 กิโลเฮิร์ตซ์ วัดค่าเอาต์พุทที่ได้ แล้วนำมาวาดกราฟผลตอบสนองความถี่ จากการทดลองป้อนอินพุท 20 มิลลิโวลต์ ที่ความถี่ 0 ถึง 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ได้ อัตราการขยายดังตารางที่ 6.1

ความถี่ (Hz)	V_o (V)	อัตราการขยาย (dB)	ความถี่ (Hz)	V_o (V)	อัตราการขยาย (dB)
0	0	∞	50	0.2	20.00
2.25	4.0	46.02	57	0.6	26.02
3.5	4.5	47.40	60	0.2	32.04
4.0	4.6	47.23	62	1.2	35.56
4.8	4.8	47.60	71	1.8	39.08
5.5	4.8	47.60	80	1.8	39.08
6.5	4.6	47.23	90	1.8	39.08
11.5	4.4	46.85	105	1.8	39.08
20.5	4.2	46.44	110	1.6	38.06
23.0	4.0	46.02	130	1.2	35.56
25.0	3.8	45.57	150	1.0	33.97
30.0	3.4	44.60	180	0.8	32.04
32.5	3.2	44.08	350	0.6	29.54
38.0	2.6	42.28	450	0.5	27.95
41.0	1.6	38.06	850	0.3	23.52
45.0	0.6	29.54	1 k	0.2	20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการตอบสนองความถี่ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

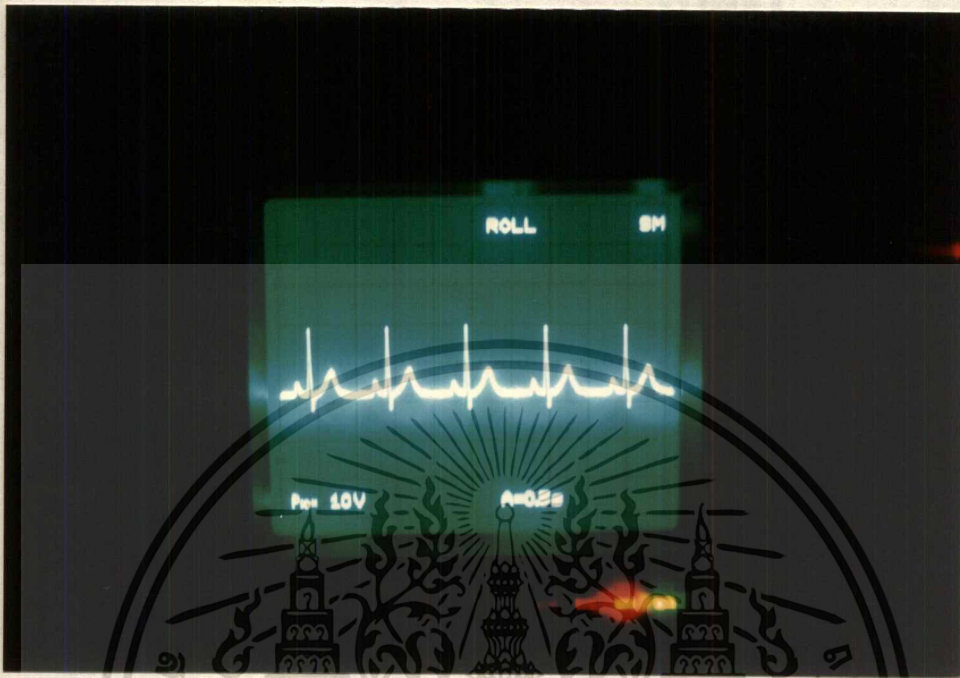


รูปที่ 6.1 กราฟแสดงผลตอบสนองของความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

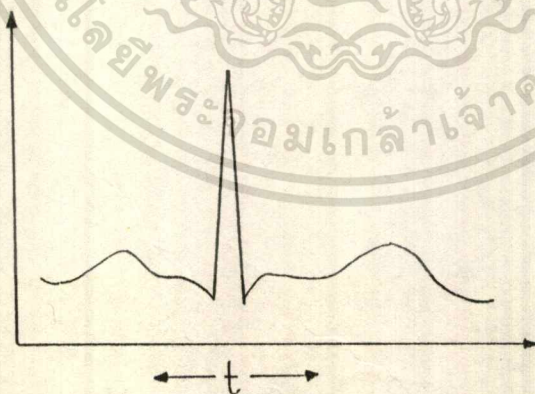
6.1.2 คุณสมบัติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เมื่อวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เอาท์พุท ของภาควงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะได้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 รูปแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

จากนั้นทำการวัดค่าเวลาการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ในช่วงเวลาสั้นๆ โดยให้มีค่าเท่ากับ t ซึ่งวัดได้ 0.043 วินาที ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงค่าเวลาการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ในช่วงเวลาสั้นๆ

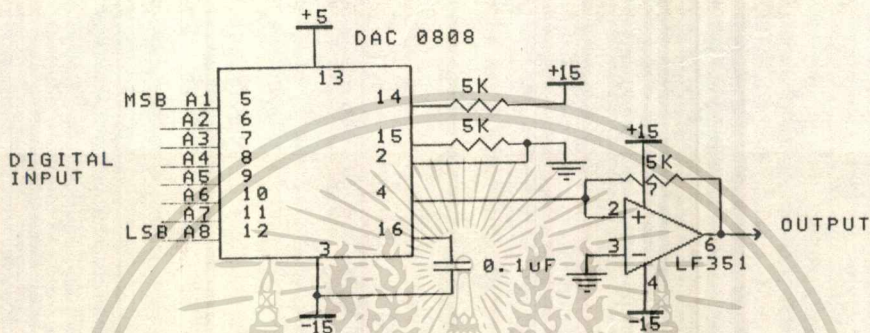
แถบความถี่ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะมีค่าความถี่สูงสุด (maximum frequency : f_{max}) เท่ากับ $1/2t$ โดยทั่วไปค่า t มีค่า 0.08 ถึง 0.1 วินาที จะได้ค่าแถบความถี่สูงสุดเท่ากับ 6.25 ถึง 5 เฮิร์ตซ์ แต่ในการทดลอง ค่า t ไม่ได้หาจากร่างกายจริง แต่ถือว่าใช้ได้คือวัดได้เท่ากับ 0.043 วินาที เพราะฉะนั้น แถบความถี่สูงสุดของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็น 11.627 เฮิร์ตซ์ แสดงว่าแถบความถี่ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบความถี่ของเครื่องวัด ดังนั้นสามารถนำไปใช้งานจริงได้

6.2 ภาควงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

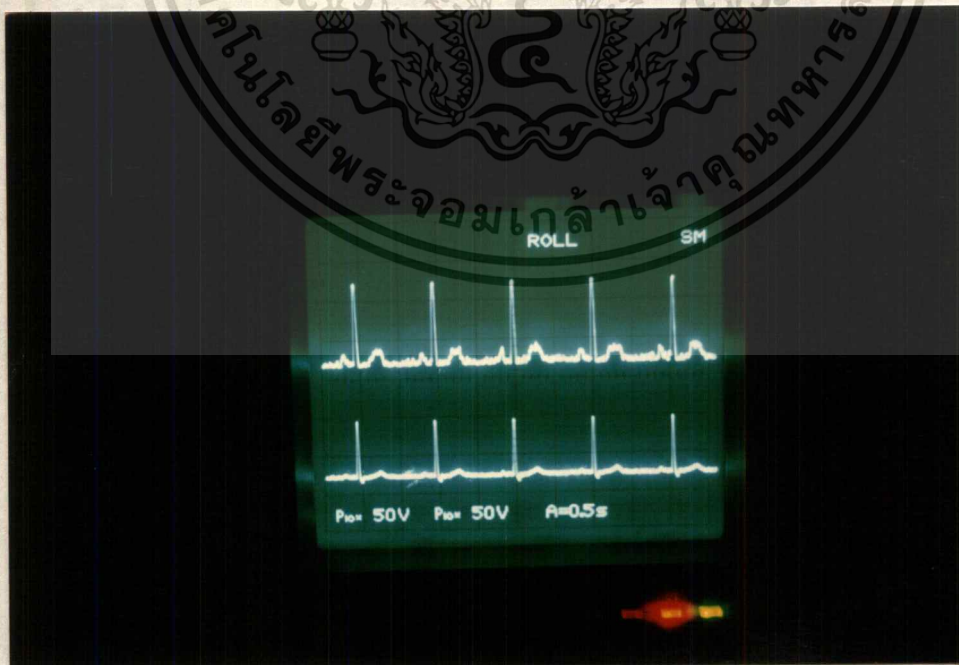
นำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ป้อนเข้าวงจรมายและปรับระดับสัญญาณ เพื่อให้ระดับสัญญาณที่จะป้อนเข้าแก่ ADC 0809 มีค่าศักดาระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์จากนั้นเพื่อตรวจสอบเช็คสัญญาณดิจิทัลที่ได้ว่า ADC 0809 ทำการแปลงสัญญาณได้ถูกต้องหรือไม่ โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

เมื่อเอาที่พุดจาก DAC 0808 ผ่านวงจรมายกลับเฟส สัญญาณคลื่นหัวใจไฟฟ้าที่ได้จาก LF 351

แสดงให้เห็นดังรูปที่ 6.5 โดยวัดเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทของ ADC 0809



รูปที่ 6.5 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อกเทียบกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.5 จะเห็นว่า สัญญาณที่วัดได้จาก DAC 0808 ใกล้เคียงกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ มีความถี่เท่าเดิมคือ 1 เฮิรตซ์ แสดงว่า สัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลสามารถส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ประมวลผลได้

6.3 หน่วยประมวลผลกลาง

เพื่อตรวจสอบการส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม โดยให้สัญญาณจากขา EOC ของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลเป็นสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกของ 8031 เมื่อเกิดการอินเทอร์รัปต์ให้ทำการอ่านข้อมูลดิจิทัลที่พอร์ตหนึ่ง เก็บเข้าในแฉีกิวมูลเตอร์แล้วส่งทางพอร์ตอนุกรม ได้ทำการวัดสัญญาณอินเทอร์รัปต์เทียบกับสัญญาณที่วัดที่ขา TxD ของ 8031 ซึ่งคือสัญญาณที่ส่งออกจากพอร์ตอนุกรมนั่นเอง ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 สัญญาณอินเทอร์รัปต์ และสัญญาณข้อมูลของพอร์ตอนุกรม

เนื่องจาก 8031 จะทำการตรวจสอบสถานะของสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกเป็นระยะๆ ทุกเมกซ์ ซินไซเคิลของการทำงานดังนั้น สัญญาณที่เข้ามาอินเทอร์รัปต์ค้างสถานะไว้เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 12 คาบของสซิมเลเตอร์ คือ 12/11.059 เมกเฮิรตซ์ เท่ากับ 1.085 ไมโครวินาที

เมื่อวัดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ พบว่ามีสัญญาณค้างในสถานะที่จะให้ 8031 ตรวจสอบได้เท่ากับ 126 ไมโครวินาทีซึ่งเพียงพอที่จะให้ 8031 ตรวจสอบสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยให้สัญญาณคลื่นหัวใจผ่านวงจรขยายและกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ วัดคุณสมบัติของสัญญาณได้ความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ และแถบความถี่สูงสุดของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็น 11.627 เฮิร์ตซ์ ซึ่งน้อยกว่าแถบความถี่ของวงจรขยายสัญญาณ ดังนั้นสามารถนำไปใช้งานจริง จากนั้นทำการปรับระดับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้มีระดับสัญญาณพอเหมาะที่จะป้อนให้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยทำการวัดเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก เช่นรูปที่ 6.5 ซึ่งแสดงว่าสัญญาณดิจิทัลที่ได้ขณะนั้นมีความถูกต้องพร้อมที่จะนำไปประมวลผลได้

เมื่อทำการทดสอบโปรแกรม ซึ่งจะอ่านข้อมูลจากพอร์ตหนึ่งเข้ามาเมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์คำนวณอัตราการเต้นของหัวใจแล้ว จึงส่งข้อมูลดังกล่าวออกทางพอร์ตข้อมูลอนุกรม และได้ทำการวัดเปรียบสัญญาณอินเทอร์รัปต์และสัญญาณข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม ดังรูป 6.6 จะเห็นว่าเมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์เท่านั้นจึงจะส่งข้อมูล แสดงว่าไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบการอินเทอร์รัปต์ได้และไปทำงานตามโปรแกรมการอินเทอร์รัปต์

จากข้อมูลดังกล่าวขณะนี้สามารถที่จะส่ง ข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจออกทางพอร์ตอนุกรมได้ แต่เนื่องจากการเชื่อมต่อกับจอร์ระบบสัมผัสจะต้องมีไครฟเวอร์ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ทำการป้อนข้อมูลดิบให้เป็นข้อมูลที่สามารแสดงออกทางหน้าจอได้ ไครฟเวอร์ดังกล่าวไม่สามารถทำได้เพราะต้องเข้าใจการทำงานของจอและโครงสร้างภายในจอโดยละเอียด ส่วนใหญ่ไครฟเวอร์จะถูกทำออกมาใช้โดยบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น ซึ่งในระดับนี้ยังไม่สามารถทำได้และไม่สามารถจัดหาไครฟเวอร์ได้ตามต้องการ จึงแก้ไขโดยการให้แสดงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ คือ เก็บค่าข้อมูลที่ส่งออกจากพอร์ตอนุกรม โดยใช้โปรแกรม PCPLUS เก็บข้อมูลในไฟล์ แล้วนำมาแสดงผลกับโปรแกรมแสดงผลหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการทดสอบข้อมูลเท่านั้น ปรากฏว่าข้อมูลที่แสดงออกมาไม่ถูกต้อง จึงได้ทำการทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆดังนี้

1. ตรวจสอบโปรแกรมโดยตัดส่วนการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจออก ซึ่งอาจจะทำให้ขณะคำนวณเกิดข้อมูลผิดพลาดได้ ดังนั้นโปรแกรมจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากพอร์ตหนึ่ง เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัปต์แล้วส่งข้อมูลออกไปทางพอร์ตอนุกรมทันที แต่การแสดงผลยังไม่ถูกต้อง จึงอาจเป็นที่ส่วนส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม จึงแก้ไขโปรแกรมแทนที่จะรับข้อมูลจากพอร์ต 1 ก็ให้ส่งข้อมูลรหัสแอสกีแทนข้อมูลที่เก็บโดยโปรแกรม PCPLUS จะถูกต้องและทำการแสดงผลหน้าจอได้เป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลที่รับจากพอร์ต 1 อาจมีความผิดพลาด

2. ตรวจสอบเช็คสัญญาณอินเทอร์รัปต์อีกครั้ง พบว่าไม่มีข้อผิดพลาด สัญญาณค้างสถานะพอเพียงที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบได้ คือ 126 ไมโครวินาที จากนั้นตรวจสอบสัญญาณ Start และ ALE เทียบกับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ พบว่าสัมพันธ์กัน โดยสัญญาณ Start และ ALE มีความถี่ 966 เฮิร์ตซ์ ซึ่งใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอัตราสุ่ม (Sampling) ได้ โดยมีความถี่มากกว่า 2 เท่าของความถี่คลื่นไฟฟ้าหัวใจ คือช่วง 0.5 ถึง 200 เฮิร์ตซ์

3. ตรวจสอบว่าการแปลงสัญญาณของวงจรถอนาล็อกเป็นดิจิทัลสัมพันธ์กับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไม่ โดยตรวจดูไทม์มิงไดอะแกรม (Timing Diagram) ของ ADC 0809 โดยความผิดพลาดอาจเกิดจากอาจอ่านข้อมูลดิจิทัลที่มีสถานะไตรสเตต (tri state) คือ อาจมีช่วงเวลาช่วงหนึ่งซึ่งไม่ทราบค่าแล้วค่อยให้เอาต์พุตออกมา ซึ่งในโปรแกรมเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ จะทำการอ่านข้อมูลทันที ช่วงเวลาดังกล่าวอาจเร็วไปก่อนที่เอาต์พุตจะออกมา ทำให้อ่านข้อมูลจากพอร์ต 1 ผิดผลขาดได้ จึงทำการแก้ไขโปรแกรมโดยหลังจากรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ให้รอเวลาช่วงหนึ่งแล้วจึงอ่านข้อมูลจากพอร์ต 1 เมื่อนำไปแสดงผลกับโปรแกรมการแสดงผลหน้าจอกอมพิวเตอร์ พบว่าได้สัญญาณเป็นคลื่นไฟฟ้าหัวใจ แสดงว่าข้อมูลจากพอร์ตคอนนุกรมมีค่าถูกต้อง

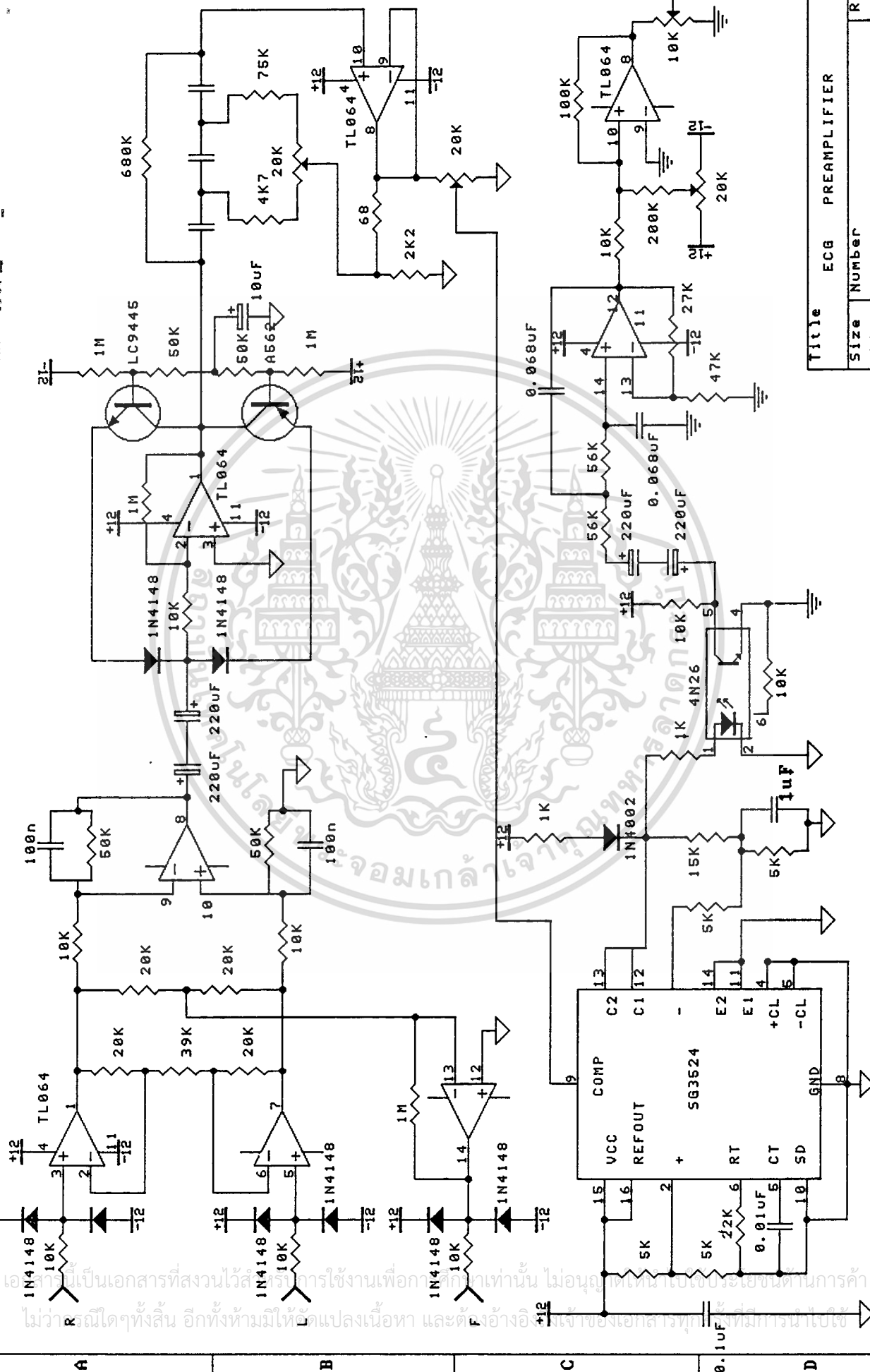
แนวทางการพัฒนา

ขณะนี้สามารถทำการส่งข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจออกจากพอร์ตคอนนุกรมได้ แต่ไม่สามารถส่งไปยังจอสัมผัสได้เพราะขาดไดรฟ์เวอร์ ดังนั้นจะต้องมีการจัดหาไดรฟ์เวอร์ซึ่งอาจเป็นซอฟต์แวร์หรือทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ เป็นตัวควบคุมให้ส่งข้อมูลไปที่หน่วยความจำของจอสัมผัส ตามที่กำหนดไว้โดยใช้โปรแกรม GPPRO-2 ในการอ้างอิงแท็คไฟล์ ซึ่งสามารถให้แสดงผลในรูปแบบต่างๆมากมาย รวมทั้งการเปลี่ยนหน้าจอเมื่อสัมผัสจอ อันเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

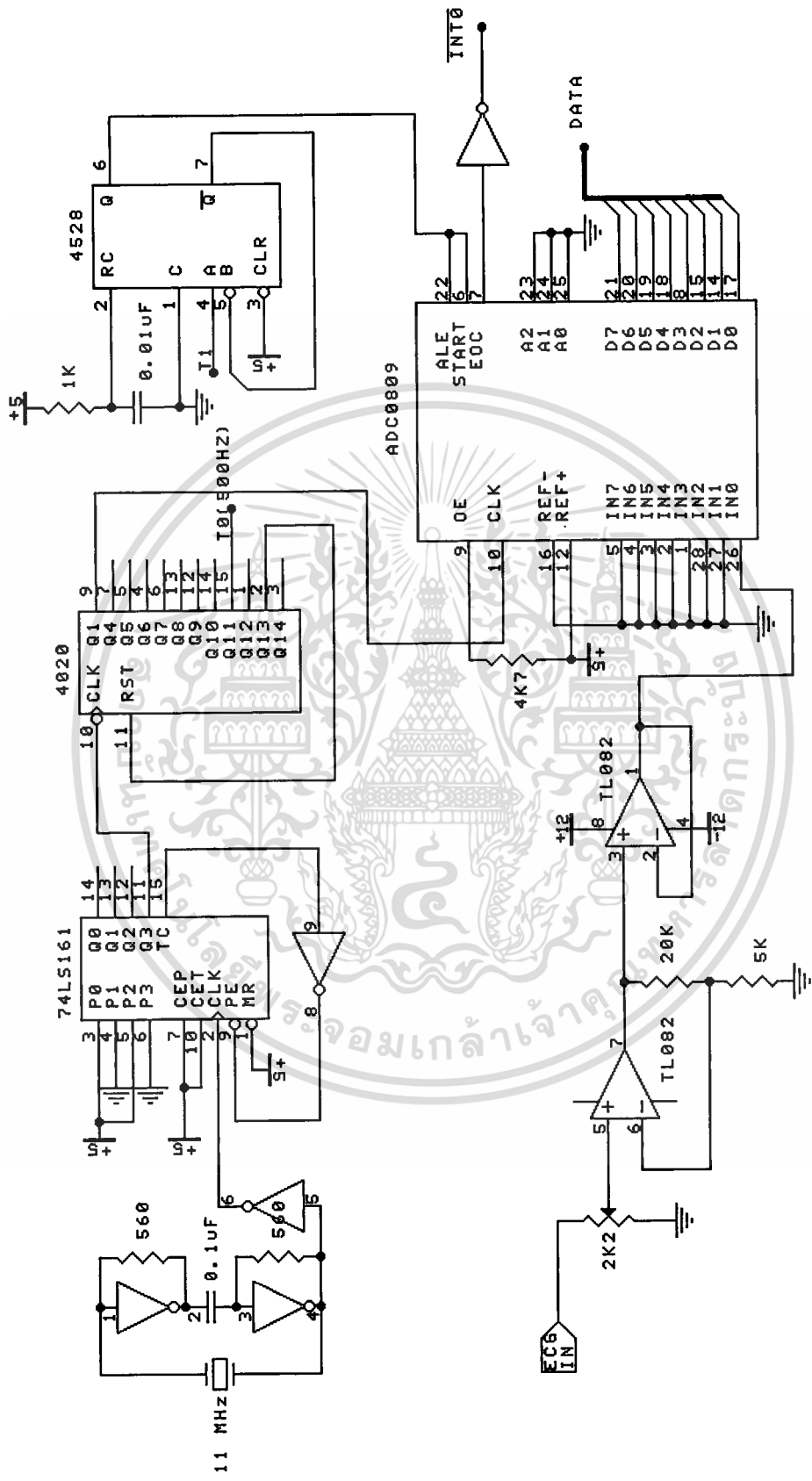


Title ECG PREAMPLIFIER

Size	Number	Revision
A4		

Date: 15-MAR-1996
 File: PROJECT/1
 Sheet of
 Drawn By:

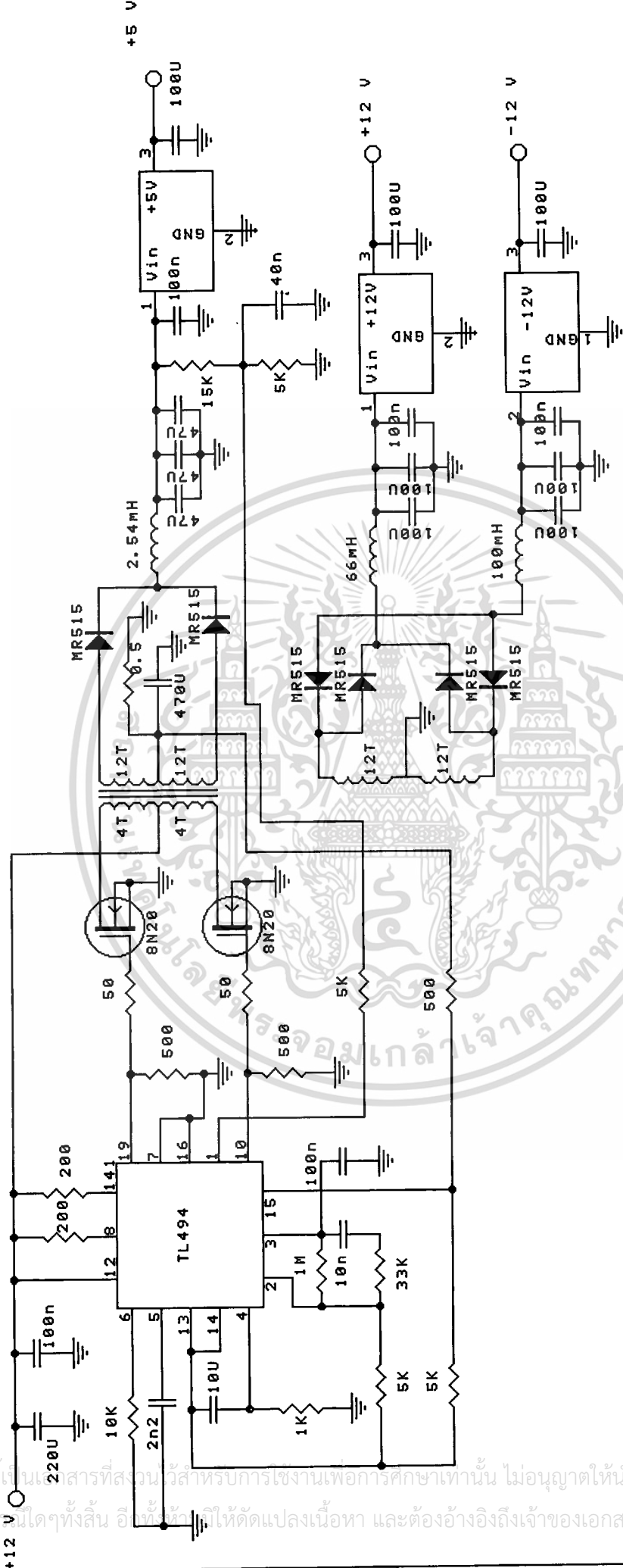
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าในกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงเข้าสู่ของเอกสารที่ผู้จัดทำไม่ได้



Title ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

Size	Number	Revision
A4		
Date:	13-MAR 1996	Sheet of
File:	B:\AD\1	Drawn By:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title DC-DC SWITCHING POWER SUPPLY	
Size Number A4	Revision
Date: 13-MAR 1996	Sheet of
File: SUPPLY/1	Drawn By:

START PROGRAM

N EQU 01H

ORG 0000H

SJMP INIT_SS

ORG 0003H

CLR EX0

SJMP INT

ORG 000BH

SJMP COUNTER

ORG 30H

INITIAL PROGRAM

INIT_SS:ACALL DELAY

.....

SERIAL PORT

.....

MOV SCON,#50H ; SET MODE 1

MOV TMOD,#20H ; TIMER 1 MODE 2

MOV TH1,#0FDH ; BAUD RATE 9,600

SETB TR1 ; TIMER 1 ON

.....

SET REGISTER IE AND TCON

.....

SETB EA ; SET INTERRUPT

SETB ET0 ; SET INTERRUPT T0

SETB EX0 ; SET INTERRUPT INTO

SETB IT0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SET TIMER 0

```
MOV    TMOD,#06H           ; COUNTER MODE 2
SETB   IP.1                ; SET PRIORITY OF T0
MOV    TH0,#(256-2)
MOV    TL0,#(256-2)
MOV    P1,#0FFH           ; SET PORT1:INPUT PORT
CLR    00H
CLR    01H
CLR    P3.5                ; FIRST START TO A/D
SETB   P3.5
```

; *****
; MAIN PROGRAM
; *****

```
WAIT:MOV    C,00H           ; WAIT FOR INTERRUPT INTO
JNC    WAIT                ; JUMP IF C = 1
ACALL   TRANS
SETB   EX0
SETB   P3.5
SJMP   WAIT
```

; *****
; TRANSFER DATA
; *****

SERIAL PORT RS232

```
TRANS:CLR    TI
MOV    SBUF,A
JNB    TI,$
CLR    P3.5           ; START & ALE TO A/D
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
REIT
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERRUPT PROCESS

```

INT:SETB    00H

      MOV    A,P1

      CJNE   A,#0FFH,RETURN      ; JUMP IF A ≠ #FFH

      JB     01H,HR              ; JUMP IF BIT = 1

      SETB   TR0                 ; START COUNT PLUSE

      SETB   01H

      RETI

HR:CLR     TR0                   ; STOP COUNT PLUSE

      CLR    01H

      PUSH   ACC

      MOV    A,#96H

      MOV    B,N

      DIV    AB

      MOV    B,#64H

      MUL    AB

      MOV    32H,A

      MOV    33H,B

      POP    ACC

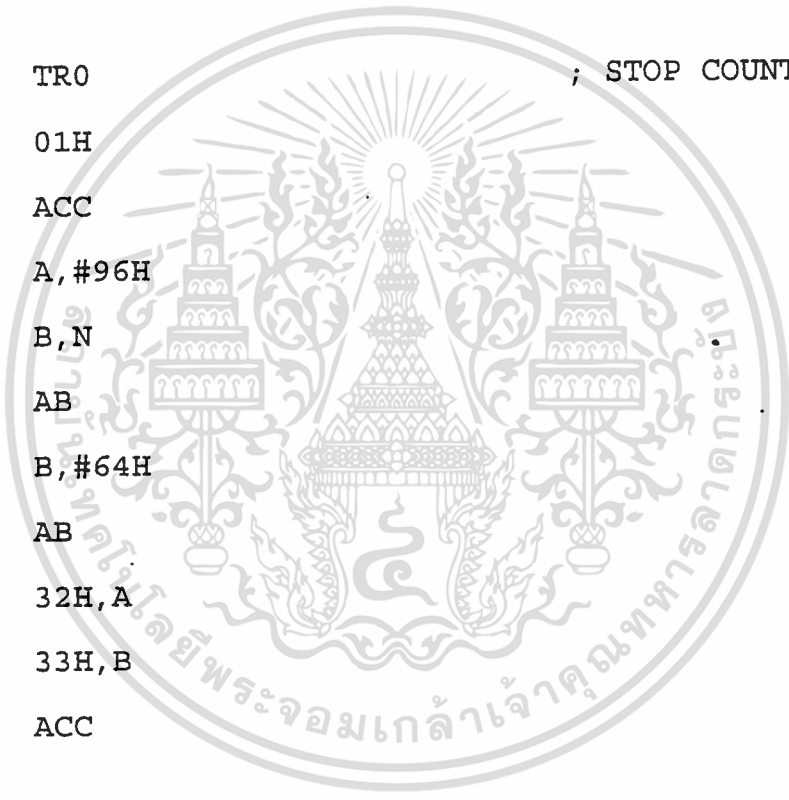
      RETI

RETURN:RETI

COUNTER:INC    N

      RETI

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.....

DELAY

.....

```
DELAY:MOV    R2,#20H
DELAY1:MOV   R3,#10H
            DJNZ  R3,$
            DJNZ  R2,DELAY1
            RET
            END
```





**National
Semiconductor**

Voltage Regulators

LM1524/LM2524/LM3524 Regulating Pulse Width Modulator

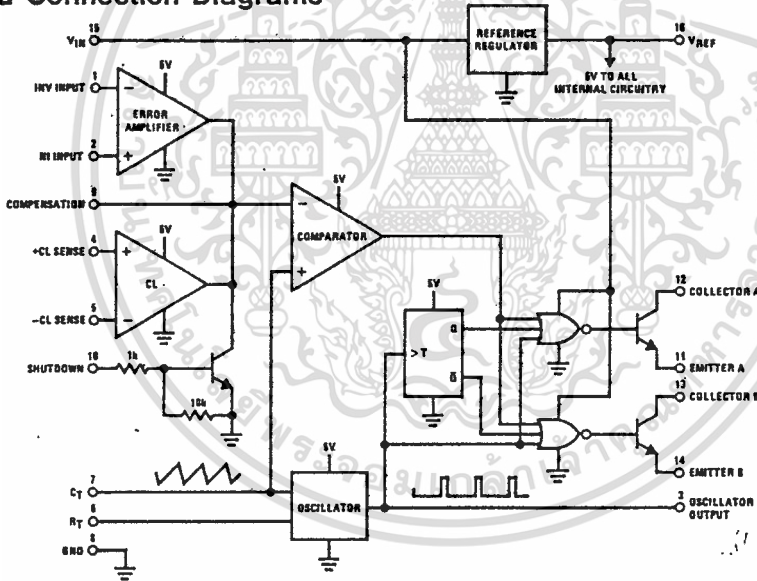
General Description

The LM1524 series of regulating pulse width modulators contains all of the control circuitry necessary to implement switching regulators of either polarity, transformer coupled DC to DC converters, transformerless polarity converters and voltage doublers, as well as other power control applications. This device includes a 5V voltage regulator capable of supplying up to 50 mA to external circuitry, a control amplifier, an oscillator, a pulse width modulator, a phase splitting flip-flop, dual alternating output switch transistors, and current limiting and shut-down circuitry. Both the regulator output transistor and each output switch are internally current limited and, to limit junction temperature, an internal thermal shut-down circuit is employed. The LM1524 series will be available in the 16-pin dual-in-line package with either a military, industrial or commercial temperature range.

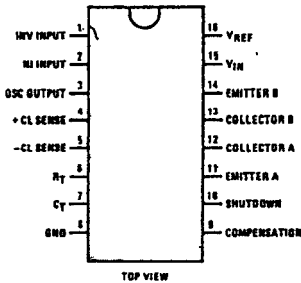
Features

- Complete PWM power control circuitry
- Frequency adjustable to greater than 100 kHz
- 2% frequency stability with temperature
- Total quiescent current less than 10 mA
- Dual alternating output switches for both push-pull or single-ended applications
- Current limit amplifier provides external component protection
- On-chip protection against excessive junction temperature and output current—thermal limit
- 5V, 50 mA linear regulator output available to user

Block and Connection Diagrams



Dual-In-Line Package



Order Number LM1524J, LM2524J
or LM3524J
See NS Package J16A

Order Number LM2524N or LM3524N
See NS Package N16A

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage	40V	Maximum Junction Temperature*	
Reference Voltage, Forced	6V	(J Package)	150°C
Reference Output Current	50 mA	(N Package)	125°C
Output Current (Each Output)	100 mA	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Oscillator Charging Current (Pin 6 or 7)	5 mA	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Internal Power Dissipation (Note 1)	1W		
Operating Temperature Range			
LM1524	-55°C to +125°C		
LM2524/LM3524	0°C to +70°C		

Electrical Characteristics

Unless otherwise stated, these specifications apply for $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ for the LM1524 and 0°C to $+70^\circ\text{C}$ for the LM2524 and LM3524, $V_{IN} = 20\text{V}$, and $f = 20\text{ kHz}$.

PARAMETER	CONDITIONS	LM1524/ LM2524			LM3524			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Reference Section								
Output Voltage		4.8	5.0	5.2	4.6	5.0	5.4	V
Line Regulation	$V_{IN} = 8\text{--}40\text{V}$		10	20		10	30	mV
Load Regulation	$I_L = 0\text{--}20\text{ mA}$		20	50		20	50	mV
Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		66			66		dB
Short-Circuit Output Current	$V_{REF} = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		100			100		mA
Temperature Stability	Over Operating Temperature Range		0.3	1		0.3	1	%
Long Term Stability	$T_A = 25^\circ\text{C}$		20			20		mV/khr
Oscillator Section								
Maximum Frequency	$C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 2\ \text{k}\Omega$		350			350		kHz
Initial Accuracy	R_T and C_T constant		5			5		%
Frequency Change with Voltage	$V_{IN} = 8\text{--}40\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$			1			1	%
Frequency Change with Temperature	Over Operating Temperature Range			2			2	%
Output Amplitude (Pin 3)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.5			3.5		V
Output Pulse Width (Pin 3)	$C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5			0.5		μs
Error Amplifier Section								
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 2.5\text{V}$		0.5	5		2	10	mV
Input Bias Current	$V_{CM} = 2.5\text{V}$		2	10		2	10	μA
Open Loop Voltage Gain		72	80		60	80		dB
Common-Mode Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1.8		3.4	1.8		3.4	V
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ\text{C}$		70			70		dB
Small Signal Bandwidth	$A_V = 0\ \text{dB}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		3			3		MHz
Output Voltage Swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5		3.8	0.5		3.8	V
Comparator Section								
Maximum Duty Cycle	% Each Output ON	45			45			%
Input Threshold (Pin 9)	Zero Duty Cycle		1			1		V
Input Threshold (Pin 9)	Maximum Duty Cycle		3.5			3.5		V
Input Bias Current			-1			-1		μA
Current Limiting Section								
Sense Voltage	Pin 9 = 2V, $V_{(\text{Pin } 2)} = V_{(\text{Pin } 1)} \geq 50\ \text{mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	190	200	210	180	200	220	mV
Sense Voltage T.C.			0.2			0.2		mV/°C
Common-Mode Voltage		-1		1	-1		1	V
Output Section (Each Output)								
Collector-Emitter Voltage		40			40			V
Collector Leakage Current	$V_{CE} = 40\text{V}$		0.1	50		0.1	50	μA
Saturation Voltage	$I_C = 50\ \text{mA}$		1	2		1	2	V
Emitter Output Voltage	$V_{IN} = 20\text{V}$, $I_E = -250\ \mu\text{A}$	17	18		17	18		V
Rise Time	$R_C = 2\ \text{k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2			0.2		μs
Fall Time	$R_C = 2\ \text{k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.1			0.1		μs
Total Standby Current	$V_{IN} = 40\text{V}$, Pins 1, 4, 7, 8, 11 and 14 are grounded, Pin 2 = 2V, All Other Inputs and Outputs Open		8	10		8	10	mA

Note 1: For operation at elevated temperatures, devices in the J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W , junction to ambient, and devices in the N package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W , junction to ambient.

SCL4528B



CMOS DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATOR

FEATURES

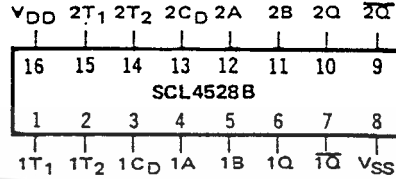
- ◆ Two Independent Multivibrators on One Chip
- ◆ Triggerable from Leading- or Trailing-Edge Pulse
- ◆ Retriggerable
- ◆ Resettable
- ◆ Q and \bar{Q} Buffered Outputs Available
- ◆ Wide Range of Output Pulse Widths

DESCRIPTION

The SCL4528B Dual Multivibrator provides stable retriggerable/resettable one-shot operation for any fixed-voltage timing application. Timing for the circuit is controlled by an external resistor-capacitor combination (R_X - C_X). Adjustment of these components permits generation of output pulse widths from nanoseconds to minutes. Leading-edge and trailing-edge Trigger inputs are provided, and both positive-going and negative-going pulses are available from complementary outputs.

Timing pulses may be terminated at any time by applying a low logic level to the Reset input C_D .

CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

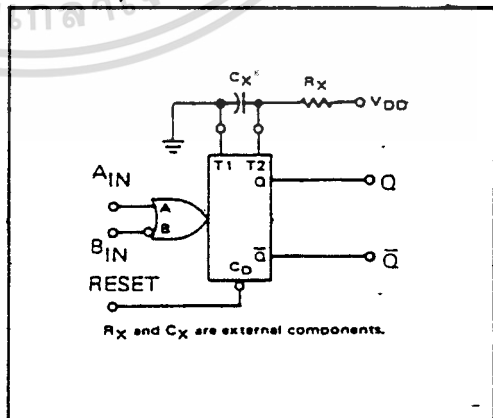
DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
C_D	A	B	Q	\bar{Q}
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	↑	H	⎓	⎓
H	L	↓	⎓	⎓

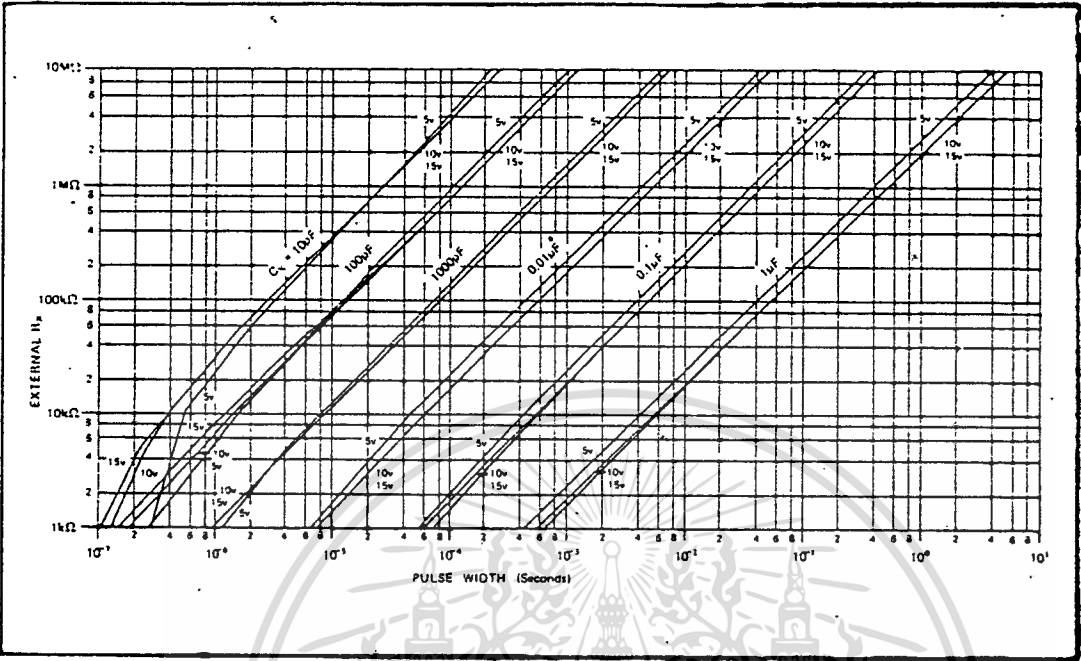
- H = High Level (Steady State)
- L = Low Level (Steady State)
- ↑ = Transition, Low-to-High
- ↓ = Transition, High-to-Low
- X = Irrelevant (Inc. Transitions)
- ⎓ = One High-Level Pulse
- ⎓ = One Low-Level Pulse

BLOCK DIAGRAM (one of two devices)

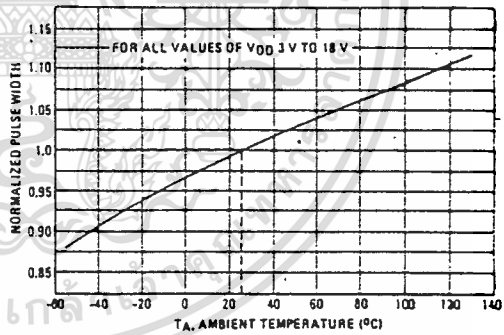
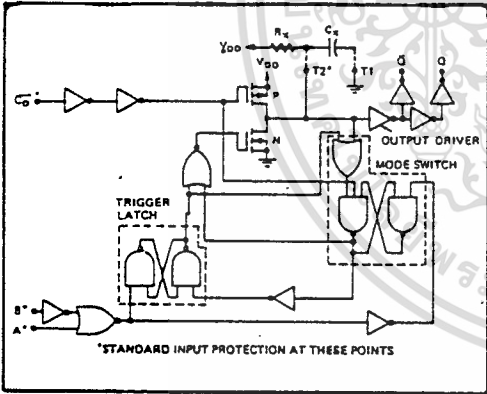


R_X and C_X are external components.

SCL4528B PULSE WIDTH VS R_X , C_X , V_{DD}



LOGIC DIAGRAM



Normalized Pulse Width versus Temperature

Notes:

There is no effective maximum limit on R_X ; recommended minimum value for R_X is $1K\Omega$. There are no restrictions on the value of C_X .

For proper operation all unused inputs should be tied to a logic level. The mode point (T2) of a unused half of device should be tied high through an external resistor to V_{DD} .

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

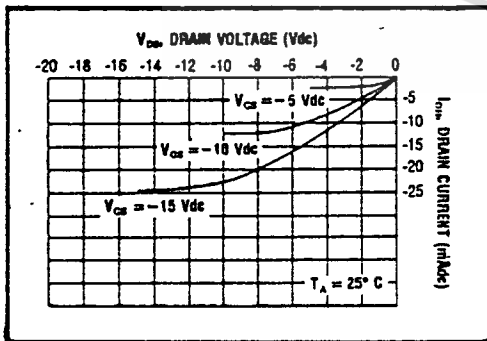
STATIC CHARACTERISTICS¹

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	5	-	0.05	5	-	150	μAde
			-	10	-	0.1	10	-	300	
			-	20	-	0.2	20	-	600	

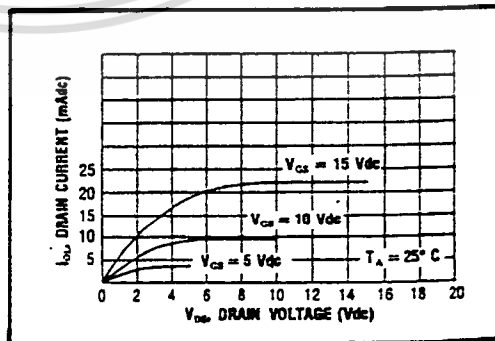
NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	C _x (pF)	R _x (kΩ)	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PML}	15	5	5	-	270	ns	
				10	-	90	180	
				15	-	70	140	
				5	-	510	1020	
				10	-	170	340	
				15	-	120	240	
From C ₀		1000	10	5	-	550	ns	
				10	-	300	600	
				15	-	250	500	
				5	-	270	540	
				10	-	90	180	
				15	-	70	140	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	-	-	5	-	130	ns	
				10	-	65	130	
				15	-	50	100	
				5	-	130	260	
				10	-	85	130	
				15	-	50	100	
	Note: $\bar{0}$ Output	t _{TLH}	15	5	5	-	270	ns
					10	-	240	480
					15	-	220	440
					5	-	70	140
					10	-	30	60
					15	-	25	50
MINIMUM INPUT PULSE WIDTH	PW _{in}	-	-	5	-	140	ns	
OUTPUT PULSE WIDTH MATCH	ΔPW _{out}	1000	10	5	± 7.5	±15	%	
				10	±10	±20		
				15	±10	±20		
				5	-	±50	%	
				10	-	±50		
				15	-	±50		



Typical P-Channel Source Current Characteristics



Typical N-Channel Sink Current Characteristics

7414, LS14

Schmitt Triggers

Hex Inverter Schmitt Trigger
Product Specification

Logic Products

DESCRIPTION

The '14 contains six logic inverters which accept standard TTL input signals and provide standard TTL output levels. They are capable of transforming slowly changing input signals into sharply defined, jitter-free output signals. In addition, they have greater noise margin than conventional inverters.

Each circuit contains a Schmitt trigger followed by a Darlington level shifter and a phase splitter driving a TTL totem-pole output. The Schmitt trigger uses positive feedback to effectively speed-up slow input transition, and provide different input threshold voltages for positive and negative-going transitions. This hysteresis between the positive-going and negative-going input thresholds (typically 800mV) is determined internally by resistor ratios and is essentially insensitive to temperature and supply voltage variations.

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
7414	15ns	31mA
74LS14	15ns	10mA

ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N7414N, N74LS14N
Plastic SO	N74LS14D

NOTE:

For information regarding devices processed to Military Specifications, see the Signetics Military Products Data Manual.

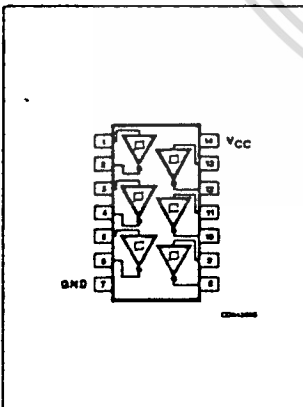
INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

PINS	DESCRIPTION	74	74LS
A	Inputs	1uI	1LSuI
Y	Output	10uI	10LSuI

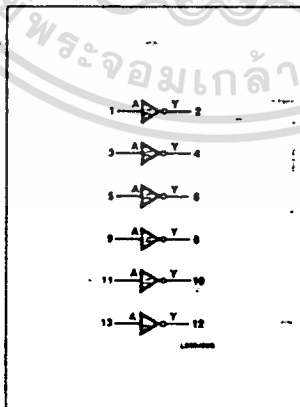
NOTE:

Where a 74 unit load (uI) is understood to be $40\mu A I_{IH}$ and $-1.6mA I_{OL}$, and 74LS unit load (LSuI) is $20\mu A I_{IH}$ and $-0.4mA I_{OL}$.

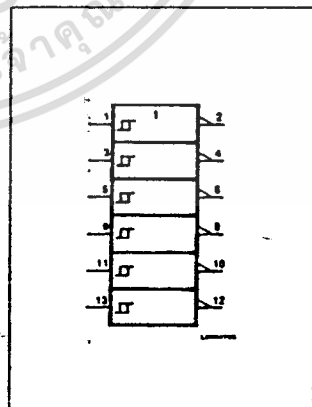
PIN CONFIGURATION



LOGIC SYMBOL



LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS¹

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units	
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.		
QUIESCENT DEVICE CURRENT I _{DD}	5	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All, valid input combinations	—	5	—	0.05	5	—	150	μA _{dc}	
	10		—	10	—	0.1	10	—	300		
	15		—	15	—	0.2	20	—	600		
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	I _{OH}	V _{OH} = 4.6V V _{OH} = 9.5V V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-0.15	—	-0.12	-0.5	—	-0.08	—	mA _{dc}	
			-0.37	—	-0.3	-1.15	—	-0.21	—		
			-1.25	—	-1.0	-4.5	—	-0.69	—		
	E device	I _{OH}	V _{OH} = 4.6V V _{OH} = 9.5V V _{OH} = 13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	-0.14	—	-0.12	-0.5	—	-0.10	—	mA _{dc}
				-0.35	—	-0.3	-1.15	—	-0.25	—	
				-1.2	—	-1.0	-4.5	—	-0.85	—	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I _{OL}	V _{OL} = 0.4V V _{OL} = 0.5V V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	0.15	—	0.12	0.5	—	0.08	—	mA _{dc}	
			0.37	—	0.3	1.0	—	0.21	—		
			1.25	—	1.0	5.8	—	0.69	—		
	E device	I _{OL}	V _{OL} = 0.4V V _{OL} = 0.5V V _{OL} = 1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	0.14	—	0.12	0.5	—	0.10	—	mA _{dc}
				0.35	—	0.3	1.0	—	0.25	—	
				1.2	—	1.0	5.8	—	0.85	—	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.

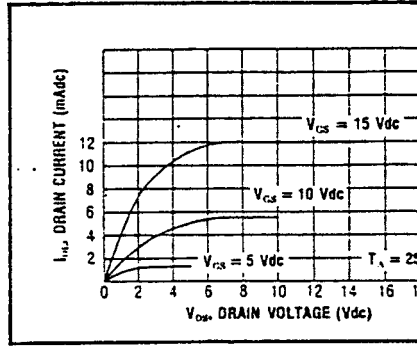
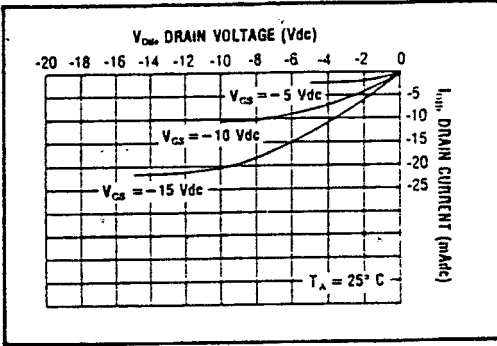
= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

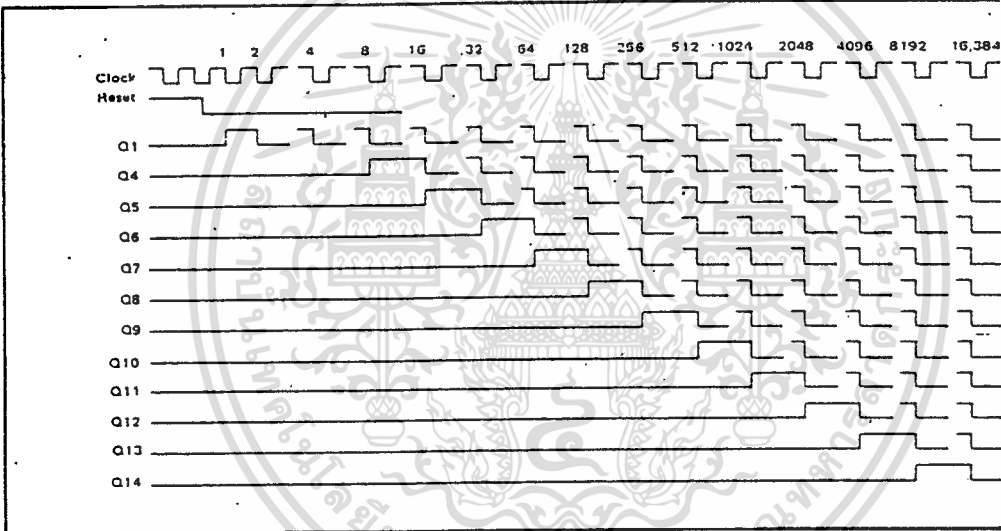
= + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

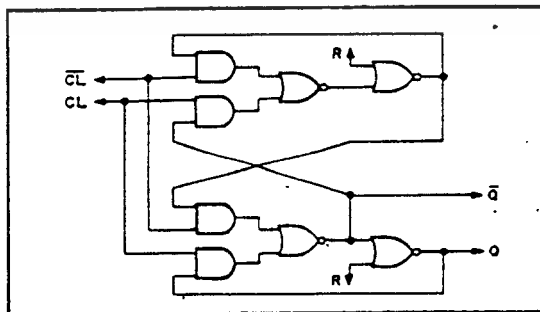
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	200	400	ns
		10	—	100	200	
		15	—	80	160	
Q ₁ to Q ₁ + 1	t _{PLH} , t _{PHL}	5	—	150	300	ns
		10	—	75	150	
		15	—	60	120	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	—	180	360	ns
		10	—	90	180	
		15	—	65	130	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	2.0	4.0	—	MHz
		10	4.0	8	—	
		15	5	10	—	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME	t _{rCL} , t _{fCL}	5	15	—	—	μs
		10	15	—	—	
		15	5	—	—	
RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t _{rPL}	5	—	300	600	ns
		10	—	150	300	
		15	—	120	240	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW _R	5	—	150	300	ns
		10	—	75	150	
		15	—	60	120	
RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	250	500	ns
		10	—	125	250	
		15	—	100	200	



TIMING DIAGRAM



TYPICAL COUNTER STAGE





National
Semiconductor
Corporation

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.)

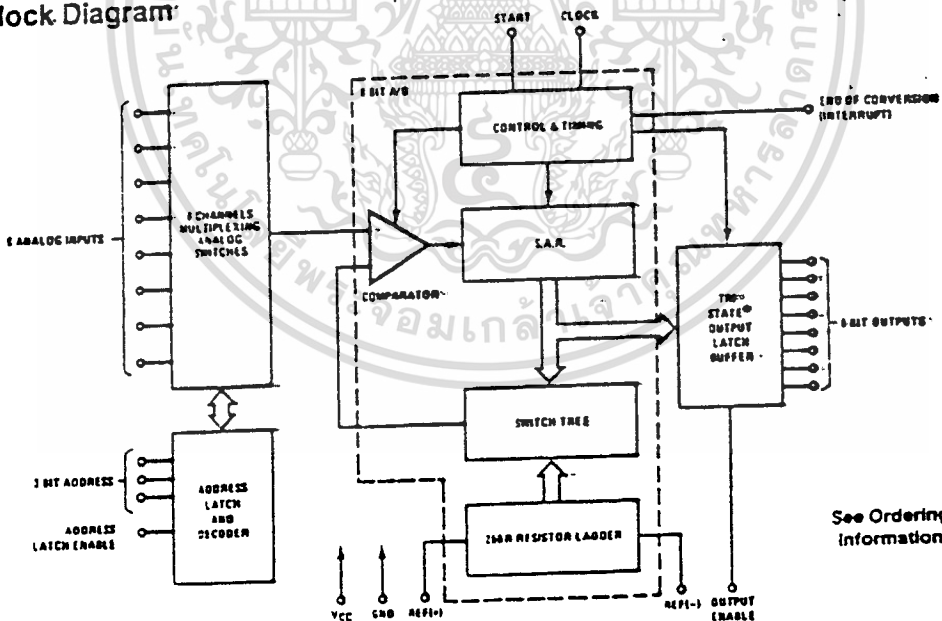
Features

- 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

Key Specifications

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

Block Diagram



See Ordering
Information

TL/M/5672-1

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$ unless otherwise noted
 ADC0808CCJ, 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	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$		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	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μS
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$, (Figure 5) (Note 7)		90	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 slope shows 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 $0V_{CC}$ to $5V_{CC}$ input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.900 V_{CC}$ over temperature variations, resist tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplier errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an at 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 comparator stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4 G.

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

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

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table 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

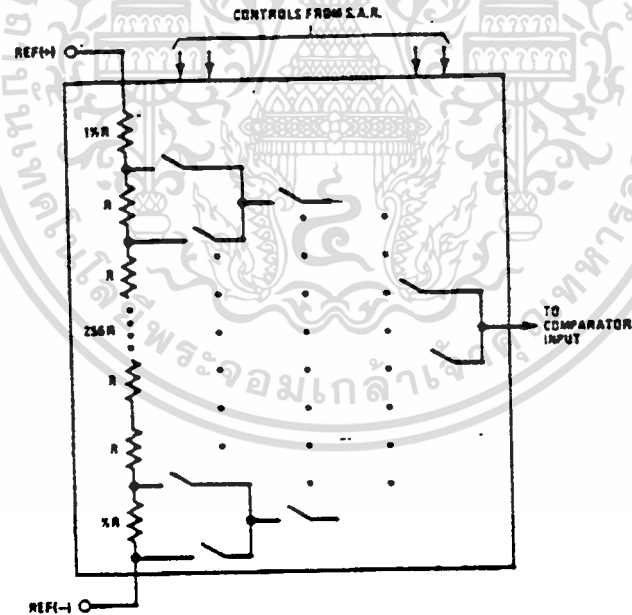
to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

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 $+1/2$ 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.



TUM-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.

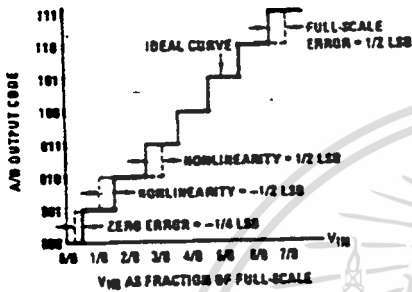


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

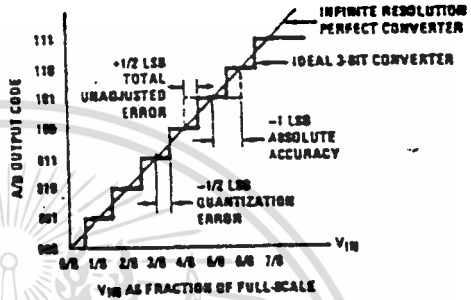


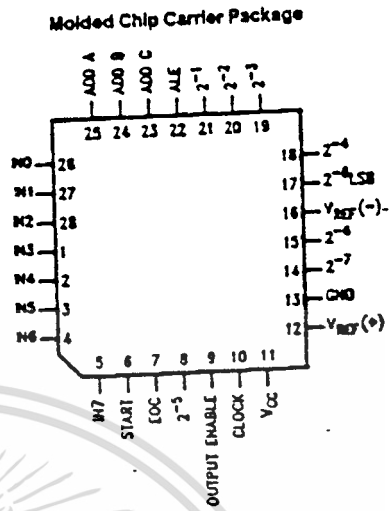
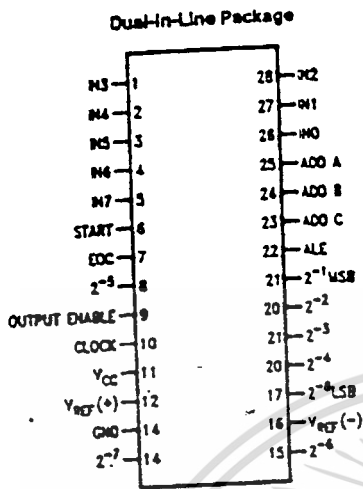
FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve



FIGURE 4. Typical Error Curve

TLH/5672-3

Connection Diagrams



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

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Timing Diagram

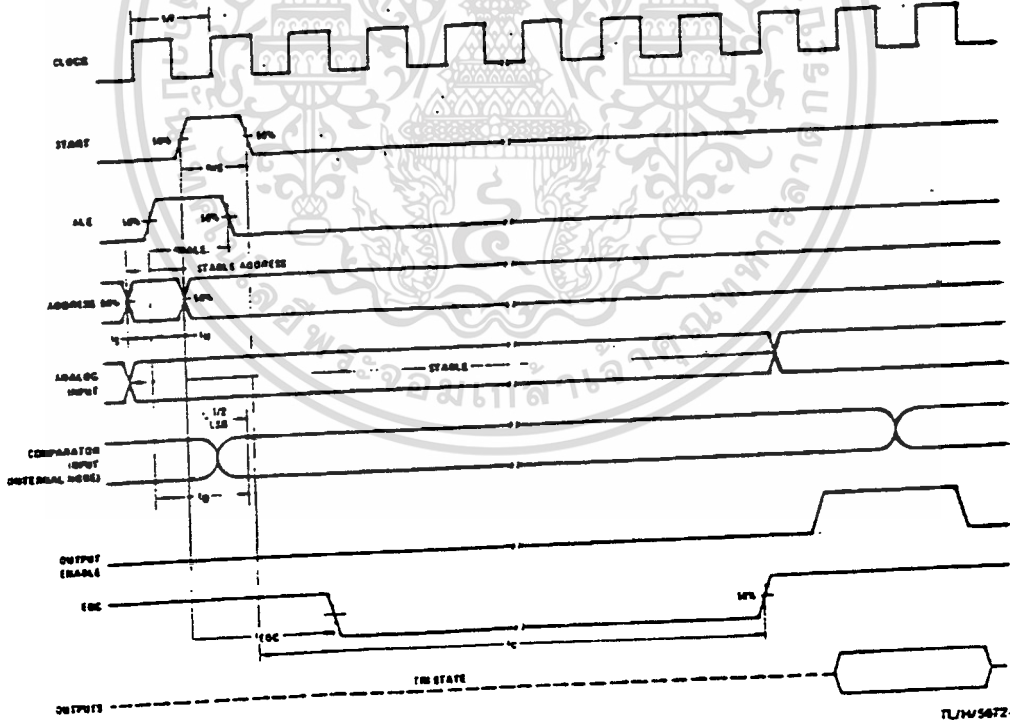


FIGURE 5

TUM5672-4

Applications Information (Continued)

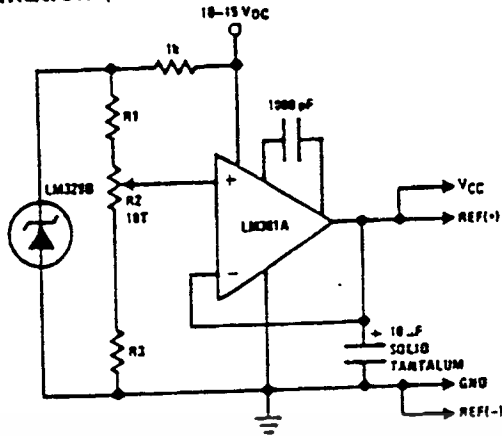


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

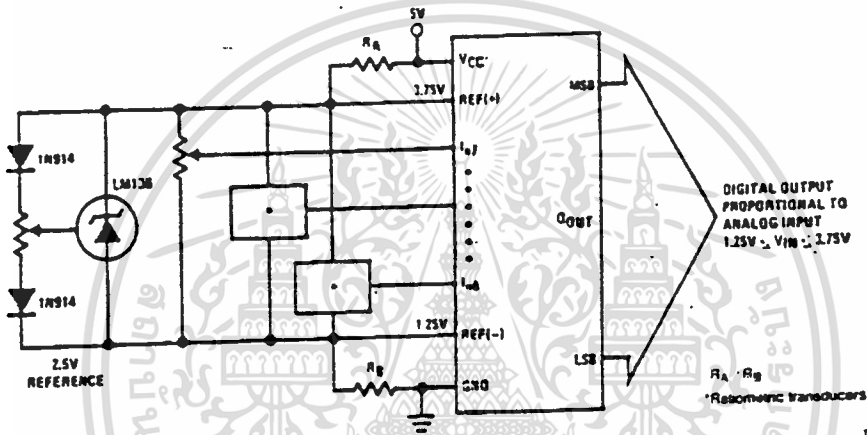


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

TUM/5672-9

3.0 CONVERTER EQUATIONS

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

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

The center of an output code N is given by:

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

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

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

where: V_{IN} = Voltage at comparator input

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

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

V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically

$V_{REF+} \div 512$)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

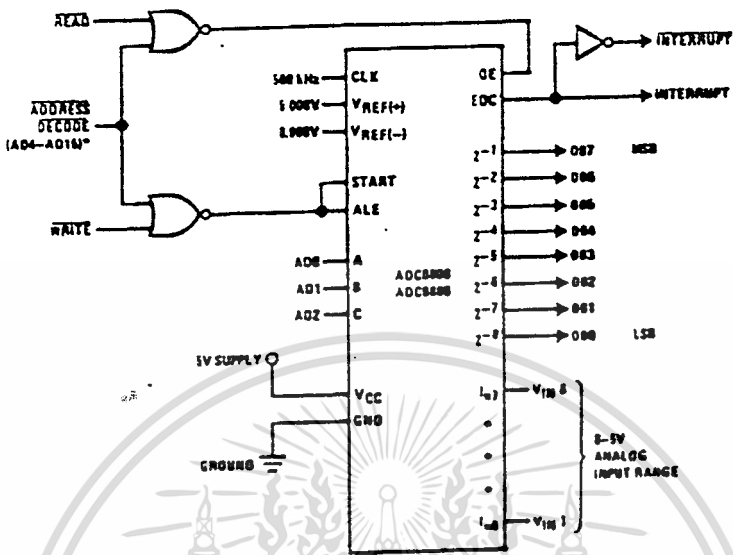
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

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

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

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

Typical Application



TL/MS872-10

*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 2 ϕ R/W	IROA or IROB (Thru P1A)

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		- 40°C to + 85°C			- 55°C to - 125°C
Error	$\pm 1/2$ 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

Switchmode Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

This device features:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

SWITCHMODE
PULSE WIDTH MODULATION
CONTROL CIRCUIT

SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUITS

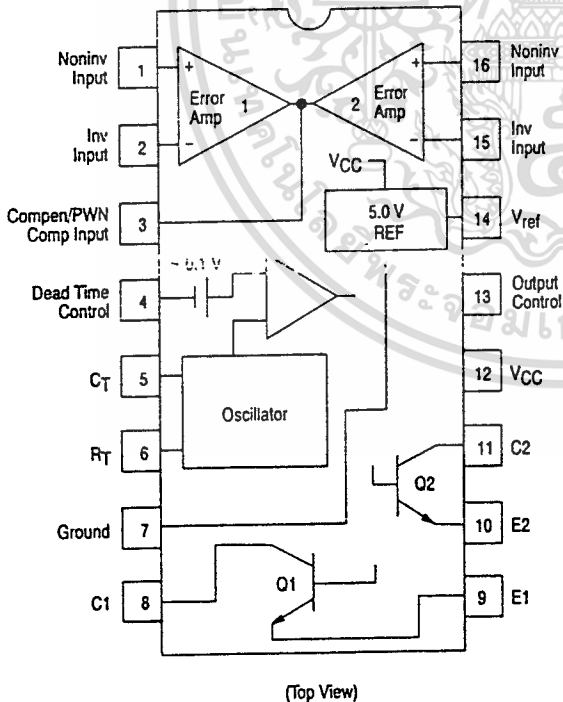


J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 346

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN	0° to +70°C	Plastic
TL494CJ		Ceramic
TL494IN	-25° to +85°C	Plastic
TL494IJ		Ceramic
TL494MJ	-55° to +125°C	Ceramic

TL494

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	TL494M	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	42			V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42			V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I _{C1} , I _{C2}	500			mA
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to +42			V
Power Dissipation @ T _A ≤ 45°C	P _D	1000			mW
Operating Junction Temperature	T _J	125	—		°C
		150			
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +125		—	°C
		-65 to +150			
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to +70	-25 to +85	-55 to +125	°C

NOTES: 1. Maximum thermal limits must be observed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	N Suffix	J Suffix	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	80	100	°C/W
Derating Ambient Temperature	T _A	45	50	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Condition/Value	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage	V _{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	—	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I _{C1} , I _{C2}	—	—	200	mA
Amplified Input Voltage	V _{in}	-0.3	—	V _{CC} - 2.0	V
Current Into Feedback Terminal	I _{fb}	—	—	0.3	mA
Reference Output Current	I _{ref}	—	—	10	mA
Timing Resistor	R _T	1.8	30	500	kΩ
Timing Capacitor	C _T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f _{osc}	1.0	40	200	kHz

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	TL494C,I			TL494M			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	

REFERENCE SECTION

Reference Voltage ($I_O = 1.0\ \text{mA}$)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ($V_{CC} = 7.0\ \text{V}$ to $40\ \text{V}$)	Reg_{line}	—	2.0	25	—	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0\ \text{mA}$ to $10\ \text{mA}$)	Reg_{load}	—	3.0	15	—	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0\ \text{V}$)	I_{SC}	15	35	75	15	35	75	mA

OUTPUT SECTION

Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40\ \text{V}$, $V_{CE} = 40\ \text{V}$)	$I_{C(off)}$	—	2.0	100	—	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40\ \text{V}$, $V_C = 40\ \text{V}$, $V_E = 0\ \text{V}$)	$I_{E(off)}$	—	—	-100	—	—	-150	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ($V_E = 0\ \text{V}$, $I_C = 200\ \text{mA}$) Emitter-Follower ($V_C = 15\ \text{V}$, $I_E = -200\ \text{mA}$)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	— —	1.1 1.5	1.3 2.5	— —	1.1 1.5	1.5 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4\ \text{V}$) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	— —	10 0.2	— 3.5	— —	10 0.2	— 3.5	μA mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_r	— —	100 100	200 200	— —	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_f	— —	25 40	100 100	— —	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

TL494

Characteristics	Symbol	TL494			Unit
		Min	Typ	Max	

ERROR AMPLIFIER SECTION

Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{iO}	—	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{iO}	—	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{iB}	—	-0.1	-1.0	μ A
Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{iCR}	-0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open-Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0$ V, $V_O = 0.5$ V to 3.5 V, $R_L = 2.0$ k Ω)	A_{VOL}	70	95	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5$ V to 3.5 V, $R_L = 2.0$ k Ω)	f_{c-}	—	350	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5$ V to 3.5 V, $R_L = 2.0$ k Ω)	ϕ_m	—	65	—	deg.
Common Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40$ V)	CMRR	65	90	—	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33$ V, $V_O = 2.5$ V, $R_L = 2.0$ k Ω)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	2.0	-4.0	—	mA

PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)

Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	—	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{(Pin 3)} = 0.7$ V)	I_{I-}	0.3	0.7	—	mA

DEAD-TIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)

Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin 4} = 0$ V to 5.25 V)	I_{iB} (DT)	—	-2.0	-10	μ A
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin 4} = 0$ V, $C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω) ($V_{Pin 4} = 0$ V, $C_T = 0.001$ μ F, $R_T = 30$ k Ω)	DC_{max}	45	48	50	%
		—	45	50	
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{TH}	—	2.8	3.3	V
		0	—	—	

OSCILLATOR SECTION

Frequency ($C_T = 0.001$ μ F, $R_T = 30$ k Ω)	f_{osc}	—	40	—	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001$ μ F, $R_T = 30$ k Ω)	σf_{osc}	—	3.0	—	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0$ V to 40 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	$\Delta f_{osc} (\Delta V)$	—	0.1	—	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) ($C_T = 0.001$ μ F, $R_T = 12$ k Ω)	$\Delta f_{osc} (\Delta T)$	—	—	12	%

UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION

Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, $I_{ref} = 1.0$ mA)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
--	----------	-----	------	-----	---

TOTAL DEVICE

Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All other inputs and outputs open) ($V_{CC} = 15$ V) ($V_{CC} = 40$ V)	I_{CC}	—	5.5	10	mA
		—	7.0	15	
Average Supply Current ($C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω , ($V_{(Pin 4)} = 2.0$ V) $V_{CC} = 15$ V) (See Figure 12)	—	—	7.0	—	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

TL494

Figure 1. Block Diagram

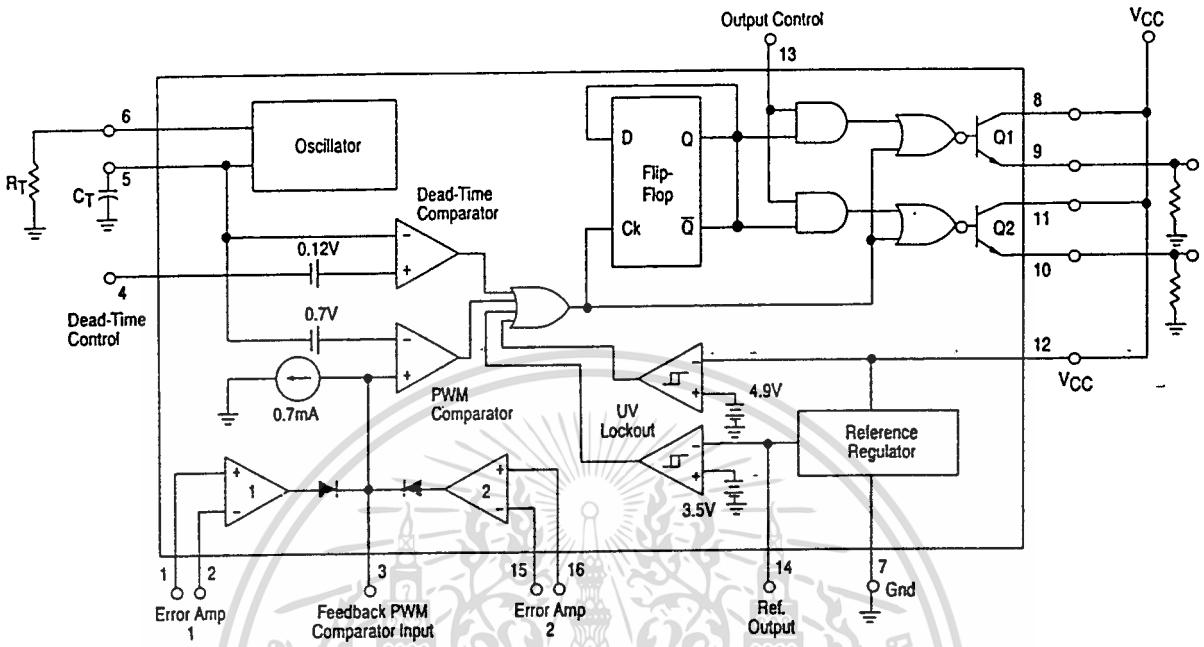
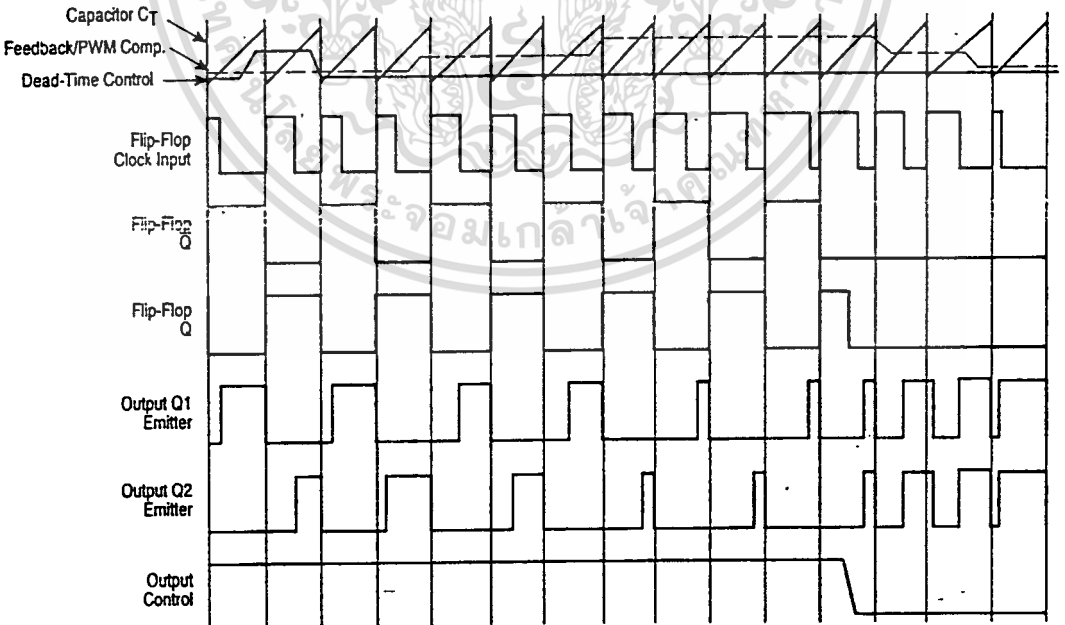


Figure 2. Timing Diagram



APPLICATIONS INFORMATION

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the dead-time control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The dead-time control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output dead time to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional dead time may be imposed on the output by setting the dead time-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ V_{ref}	Push-pull Operation	0.5

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the dead time control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common

mode input range from -0.3 V to ($V_{CC} - 2V$), and may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the dead-time comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 5.0\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

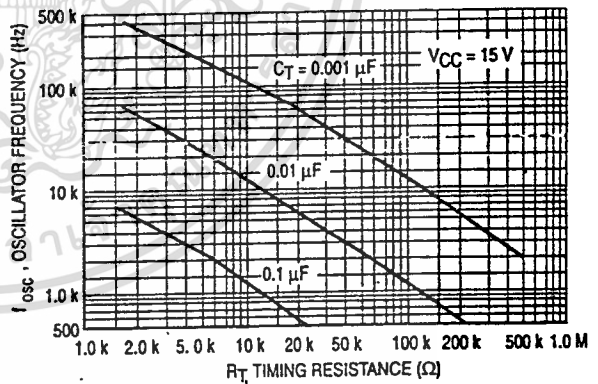


Figure 4. Open-Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

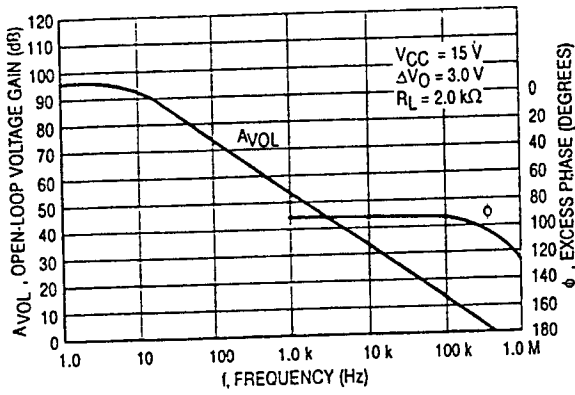


Figure 5. Percent Dead-Time versus Oscillator Frequency

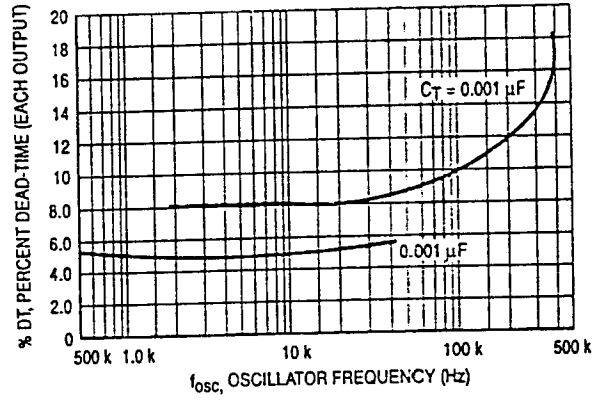


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Dead-Time Control Voltage

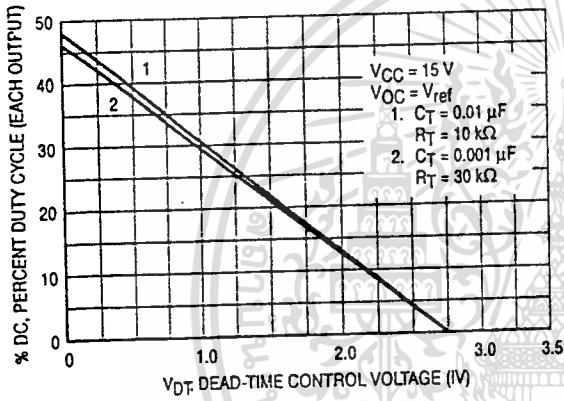


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

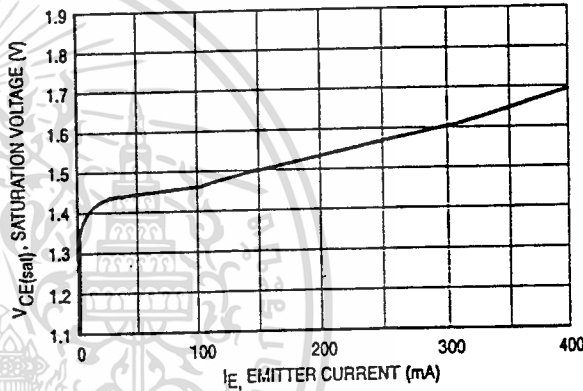


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

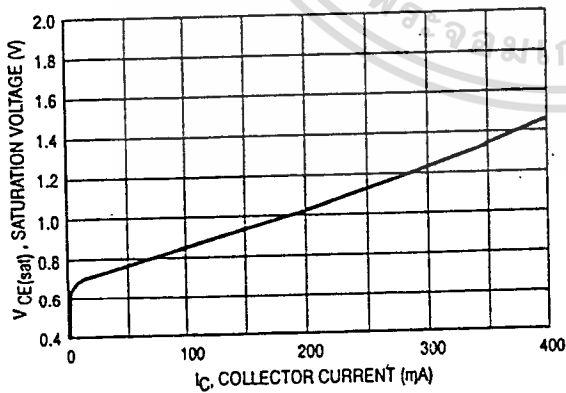
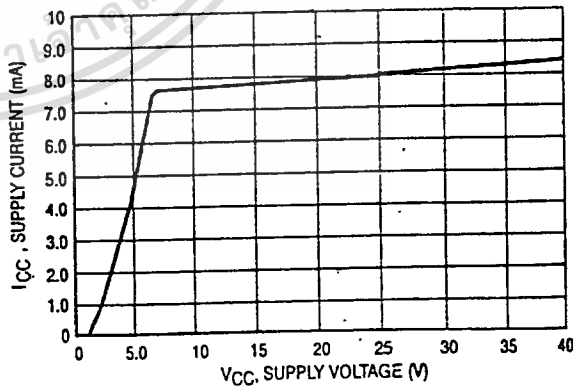


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE ICs DEVICE DATA

Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

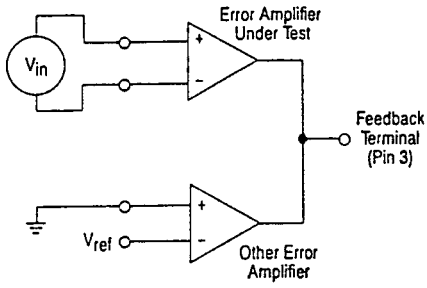


Figure 11. Dead-Time and Feedback Control Circuit

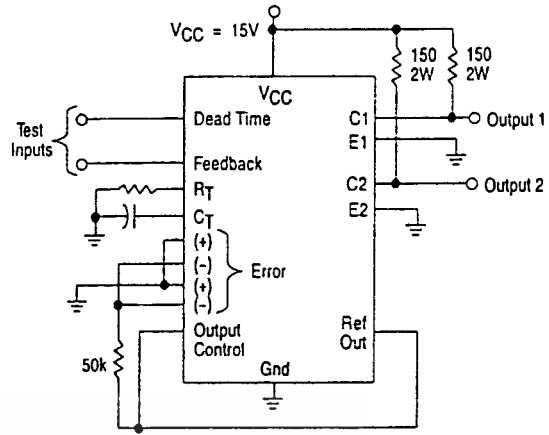


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

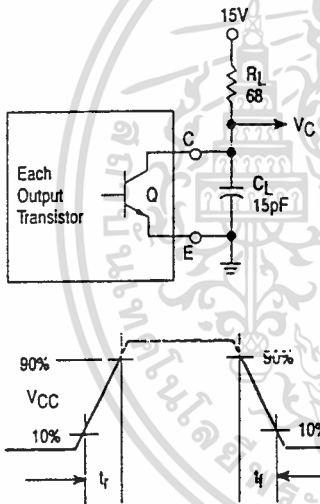
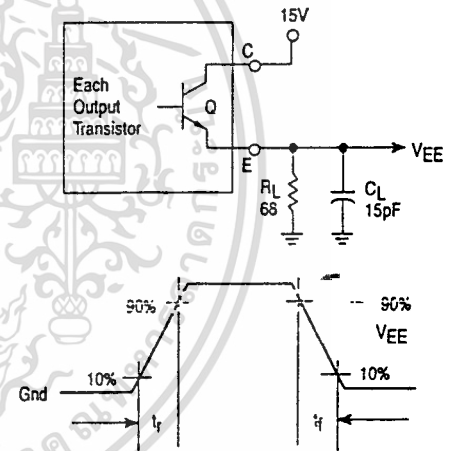


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

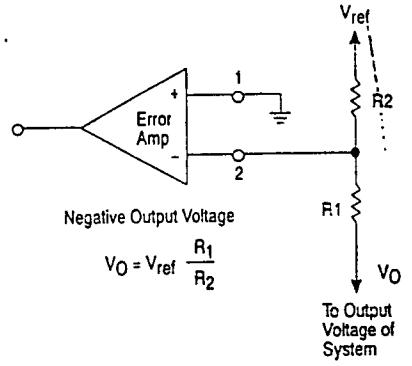
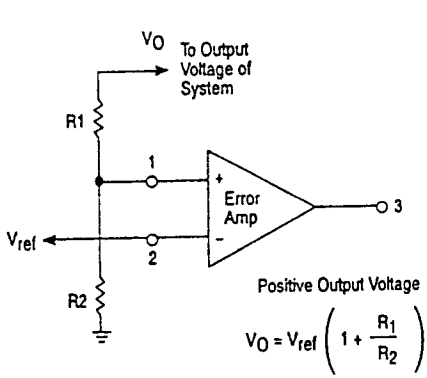


Figure 15. Dead-Time Control Circuit

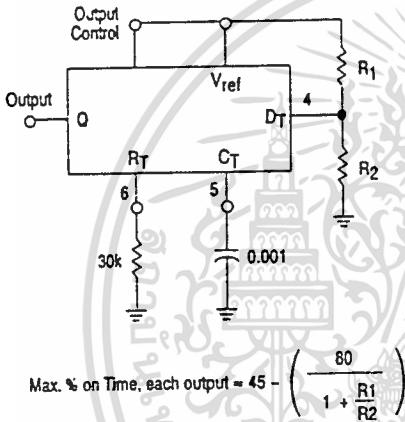


Figure 16. Soft-Start Circuit

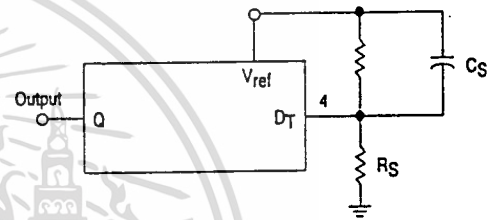


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations

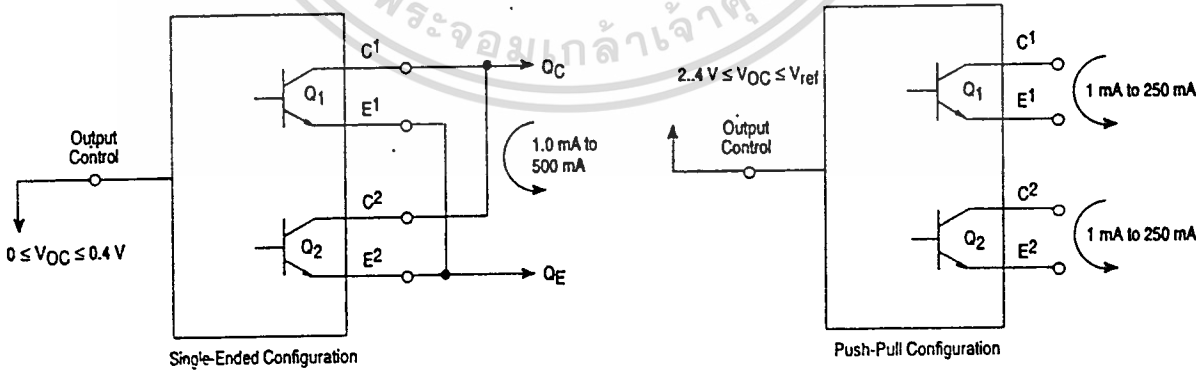


Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

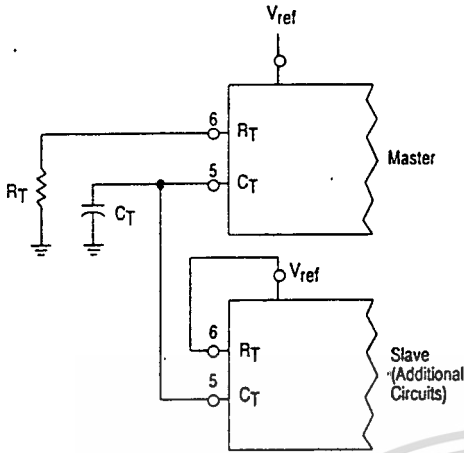


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40V$ Using External Zener

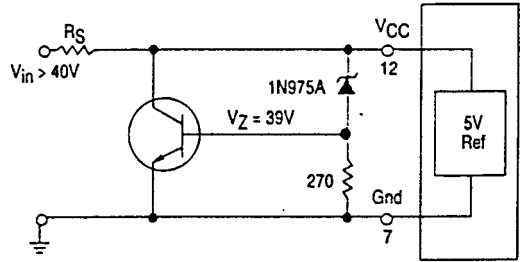
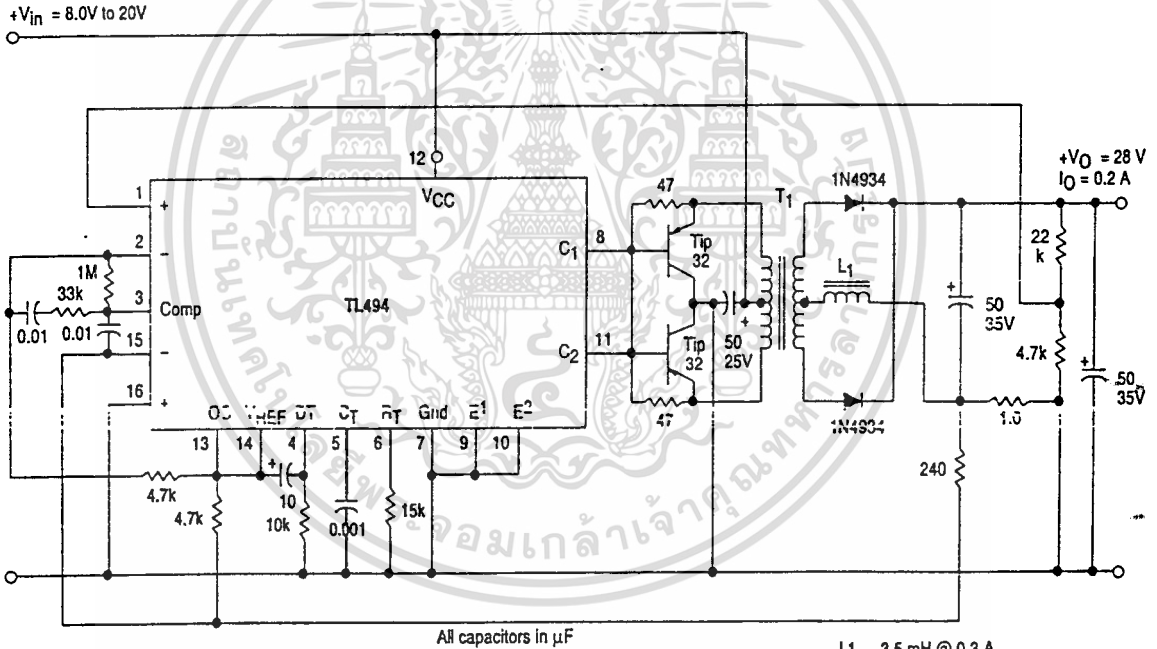


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

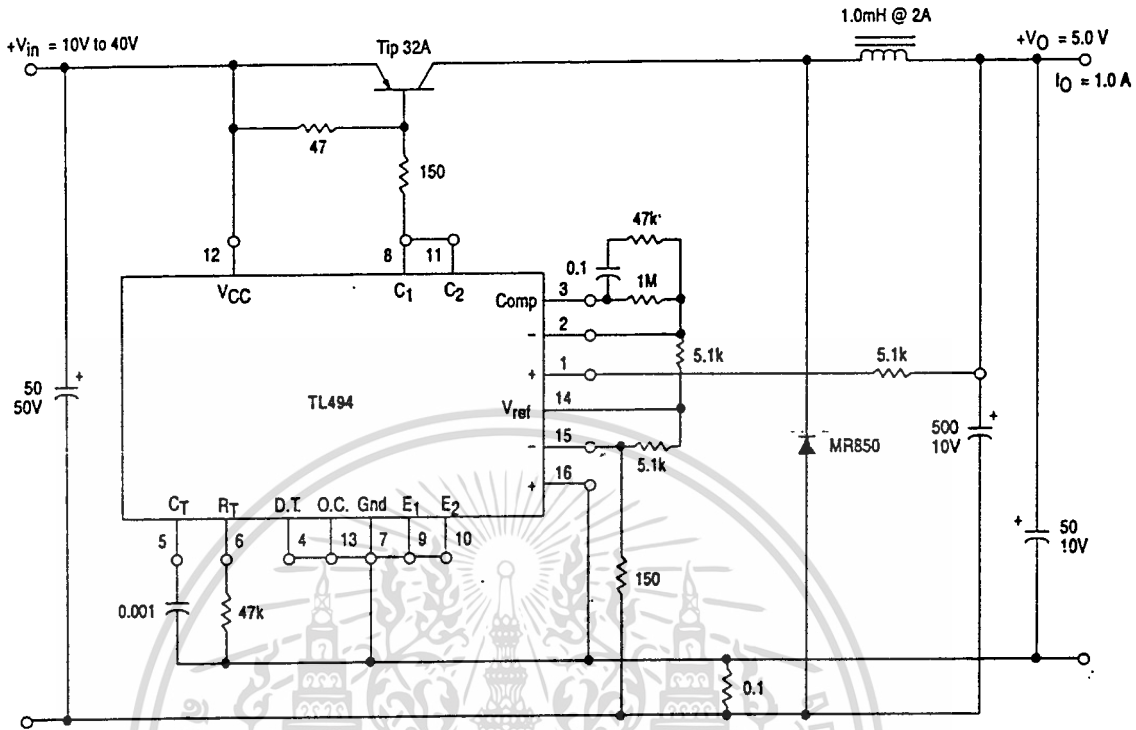


L1 — 3.5 mH @ 0.3 A
 T1 — Primary: 20T C.T. #28 AWG
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 10V$ to $40V$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28V$, $I_O = 1.0$ mA to 1.0 A	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28V$, $I_O = 1.0$ A	65 mV P-P P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28V$, $R_{L_s} = 0.1 \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28V$, $I_O = 1.0$ A	71%

TL494

Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



TEST	CONDITIONS	RESULTS
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_o = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_o = 200 \text{ mA}$	$\pm 0 \text{ mV P-P}$ F.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_o = 200 \text{ mA}$	72%

กิตติกรรมประกาศ

ในการสร้างโครงการปริยฐานิพนธ์เล่มนี้ ได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือให้คำแนะนำ
แนวทางในการดำเนินงานจาก อาจารย์ พลศาสตร์ เดศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ทาง
คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย และงานจะสำเร็จไม่ได้เลยถ้าไม่มี กำลังใจและ
ความช่วยเหลือจากพี่ๆ เพื่อนๆทุกคนขอขอบคุณพี่บอม พี่นัฐ เชษฐ นุ ย์ม นิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ประมวญ์ ประยานันท์ , ปิยพงษ์ เผ่าวนิช , “คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 , สำนักพิมพ์ซีอีค , 380 หน้า , 2536
2. สนั่น สุขวัฒน์, “กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา”, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
3. GOBIND DARYANANI , “PRINTCIPLES OF ACTIVE NETWORK SYNTHESIS AND DESIGN ”, JOHN WILEY & SONS , 495 P. , 1976
4. MOTOROLA , “ LINEAR AND INTERFACE INTEGRETED CIRCUITS ” , MOTOROLA INC. , 1985
5. NATIONAL SEMICONDUCTOR. , LINEAR DATABOOK , 1973
6. DIGITAL ELECTRONICS CORPORATION , “ GP-250 SERIES PLC CONNECTION MANUAL ” , 1995
7. DIGITAL ELECTRONICS CORPORATION , “ GP-250 SERIES USER ’ S MANUAL ” , 1995

