

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์  
(ELECTROCARDIOGRAM ON OSCILLOSCOPE AND COMPUTER)



โดย

นายไมตรี	จรุงเดช	40013184
นายสมศักดิ์	ปัญญานุกิจ	40013190
นายสัญญาชัย	อมรมาศ	40013191
นายสุรินทร์	นิลวิเชียร	40013196

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 36882

วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์

นายไมตรี จรุงเดช

นายสมศักดิ์ ปัญญาบุกิจ

นายสัญญาชัย อมรมาศ

นายสุรินทร์ นิลวิเชียร

อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอของออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการนำเอาความรู้เกี่ยวกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ มาใช้งานร่วมกับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและส่วนของการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีวงจรส่วนต่างๆ คือ ภาควิทยาสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ภาคประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 และภาคควบคุมการแสดงผลของจอออสซิลโลสโคป รวมทั้งภาคจ่ายไฟแบบสวิทชิง โดยมีจุดมุ่งหมายคือ สามารถสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยการประยุกต์ใช้ออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์มาเป็นตัวแสดงผลและสามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ELECTROCARDIOGRAM ON OSCILLOSCOPE AND COMPUTER

Maitree Jarungdech

Somsak Panyanukit

Sanchai Amornmarst

Surin Nilwichian

Wattana Pocharearn Advisor

1999

## Abstract

This thesis describes the design and construction of electrocardiogram monitoring use oscilloscope and computer. This system consists of ECG amplifier, processing unit using microcontroller using MCS – 51, oscilloscope display control and switching power supply. The goal of this work is to monitor electrocardiogram signal by applies to use oscilloscope screen and computer monitor to monitoring, and bring to use in the hospital.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2542

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์

(ELECTROCARDIOGRAM ON OSCILLOSCOPE AND COMPUTER)

ผู้จัดทำ

1. นายไมตรี จรุงเดช 40013184
2. นายสมศักดิ์ ปัญญาณุกิจ 40013190
3. นายสัญญาชัย อมรมาศ 40013191
4. นายสุรินทร์ นิลวิเชียร 40013196

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์  
(ELECTROCARDIOGRAM ON OSCILLOSCOPE AND COMPUTER)

ผู้จัดทำ

1. นายไมตรี จรุงเดช 40013184
2. นายสมศักดิ์ ปัญญาบุกิจ 40013190
3. นายสัญญาชัย อมรมาศ 40013191
4. นายสุรินทร์ นิลวิเชียร 40013196

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้ได้ทำการทดลองและประเมินผลที่ทำได้จนถึงขั้นนี้ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ

- อาจารย์วัฒนา โพธิ์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ข้อมูลตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโครงการชิ้นนี้ และยังกรุณาช่วยแนะนำแนวทางแก้ปัญหาที่ถูกต้องในการทำงานชิ้นนี้

- อาจารย์พลศาสตร์ เดิศประเสริฐ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องทดลอง

- อาจารย์พรชัยศ ศรีปัญญาพงศ์ ศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรมศาสตร์ ที่กรุณาช่วยอบรมเกี่ยวกับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 เบื้องต้น

- เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในภาควิชาทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนความรู้ในการทำโครงการชิ้นนี้

- บรรณารักษ์และเจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์และหอสมุดกลาง ที่กรุณาให้คำแนะนำในการหาข้อมูลเพื่อทำโครงการชิ้นนี้

- เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจที่ดีตลอดมา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	3
2.1 สัญญาณจากร่างกายและการวัด	3
2.2 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	8
2.3 ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ	9
2.4 ความปลอดภัยของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้า	10
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์	14
3.1 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์	14
3.2 การออกแบบและการสร้างภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	15
3.3 ภาคควบคุมการแสดงผลบนจอภาพออสซิลโลสโคป	23
3.4 การออกแบบและการสร้างภาคประมวลผล	34
3.5 การออกแบบและการสร้างภาคจ่ายไฟ	47
บทที่ 4 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์	50
4.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	50
4.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	60
5.1 การตอบสนองความถี่ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	62
5.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	65
5.3 วงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ในการสแกนจอออสซิลโลสโคป	67
5.4 วงจรควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	68
5.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์	71
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์	74
6.1 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	74
6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	75

## สารบัญภาพ

ลำดับภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนังมีลักษณะเหมือนอิล็กทริกไดโพล	3
รูปที่ 2.2 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นไฟฟ้าจาก SA node ไปยังส่วนต่างๆของหัวใจ	4
รูปที่ 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติวัดด้วย Lead I	6
รูปที่ 2.4 ศักดาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ	7
รูปที่ 2.5 กราฟของกระแสและความถี่ซึ่งผู้ป่วยชายประมาณครึ่งหนึ่งของผู้ที่ทำการทดลองไม่สามารถควบคุมมือให้ปล่อยอิล็กโตรดได้	12
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดไฟฟ้าหัวใจแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์	14
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาคขยายคลื่นหัวใจ	15
รูปที่ 3.3 วงจรขยายความแตกต่างประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัวและวงจรร L Driver	16
รูปที่ 3.4 แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ส่งผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่ามากเมื่ออิล็กโตรดถูกรบกวน	18
รูปที่ 3.5 วงจรปรับศูนย์ทำหน้าที่ลดค่า Time Constant เมื่อมีศักดาไฟฟ้าออฟเซตเข้ามา	18
รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่ต่ำ Low-pass Notch Filter	19
รูปที่ 3.7 วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง	20
รูปที่ 3.8 วงจร Pulse-Width Modulation และวงจรส่งผ่านสัญญาณแสง	20
รูปที่ 3.9 แสดงการเปลี่ยนความกว้างพัลส์ โดยการมอดูเลตแบบ PWM	21
รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบแอคทีฟฟิลเตอร์	21
รูปที่ 3.11 วงจรขยายและปรับระดับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	22
รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมภาคควบคุมการแสดงผลทางออสซิลโลสโคป	23
รูปที่ 3.13 หลักการสร้างภาพทางดิจิทัล	25
รูปที่ 3.14 การสร้างสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการทำงาน	26
รูปที่ 3.15 สัญญาณทางเอาท์พุทของวงจรร	26
รูปที่ 3.16 วงจรนับ 256 ในการนับตำแหน่งของหน่วยความจำ	27
รูปที่ 3.17 มัลติเพล็กซ์ชนิด 2 ทิศทาง	28
รูปที่ 3.18 วงจรบัฟเฟอร์ชนิด 2 ทิศทาง	29
รูปที่ 3.19 ตำแหน่งของข้อมูลบนวีดีโอแรม	30
รูปที่ 3.20 วงจรหน่วยความจำของวีดีโอแรม	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ลำดับภาพ	หน้า
รูปที่ 3.21 วงจรแลทซ์ข้อมูลขนาด 8 บิต	31
รูปที่ 3.22 วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นอนุกรม 8 บิต	32
รูปที่ 3.2. วงจรสร้างรูปคลื่นสัญญาณพินเลี้ยงทางแกน X	33
รูปที่ 3.24 วงจรสร้างรูปคลื่นสัญญาณพินเลี้ยงทางแกน Y	33
รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมของภาคประมวลผล	34
รูปที่ 3.26 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิทัล	35
รูปที่ 3.27 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรป้องกันทางอินพุท	36
รูปที่ 3.28 แสดงขาต่างๆและ โครงสร้างภายในของ ไอซีเบอร์ 8255	36
รูปที่ 3.29 ความหมายของบิตต่างๆของรหัสควบคุม	38
รูปที่ 3.30 วงจรเชื่อมต่อ 8255 กับไมโครคอนโทรลเลอร์	38
รูปที่ 3.31 แสดงการจัดตำแหน่งของขาภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	42
รูปที่ 3.32 แสดงวงจรที่ใช้ในการตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	43
รูปที่ 3.33 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันโดยทั่วไปและ วงจรตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	44
รูปที่ 3.34 วงจรส่งเสียงเตือน	45
รูปที่ 3.35 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆที่ใช้ในโครงงาน	47
รูปที่ 3.36 วงจรแหล่งจ่ายไฟขนาด +15 โวลต์ และ -15 โวลต์ แบบกราวด์ร่วม	48
รูปที่ 3.37 แสดงวงจรจ่ายไฟแบบกราวด์ลอยโดยใช้สวิทซ์ทรานฟอร์มเมอร์	48
รูปที่ 3.38 วงจรจ่ายไฟ +5 โวลต์ และ -5 โวลต์	49
รูปที่ 4.1 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป และจอคอมพิวเตอร์	50
รูปที่ 4.2 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	51
รูปที่ 4.3 แสดงหลักการรับข้อมูลและอ่านข้อมูลออกเพื่อแสดงออกจอออสซิลโลสโคป	53
รูปที่ 4.4 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์	56
รูปที่ 4.5 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ส่วนของคอมพิวเตอร์	58

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ลำดับภาพ	หน้า
รูปที่ 5.1 แสดงการวางอุปกรณ์ต่างๆภายในตัวเครื่อง	60
รูปที่ 5.2 แสดงด้านหน้าของเครื่อง	61
รูปที่ 5.3 แสดงด้านหลังของเครื่อง	61
รูปที่ 5.4 รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้ซีจีซีมิวมูเลเตอร์	62
รูปที่ 5.5 รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้ วัตต์ผ่านร่างกายคนจริง	62
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการวัดค่าอัตราขยายโหมคความแตกต่าง	64
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการวัดค่าอัตราขยายโหมคร่วม	65
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการหาค่า CMRR ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	65
รูปที่ 5.9 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ใช้ในการสแกนแนวนอนความถี่ 8 kHz ขนาด 14 Vp-p	67
รูปที่ 5.10 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ใช้ในการสแกนแนวตั้งความถี่ 31.45 Hz ขนาด 15.4 Vp-p	67
รูปที่ 5.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการงานเข้าด้วยกัน	68
รูปที่ 5.12 แสดงภาพจริงในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน	69
รูปที่ 5.13 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์	70
รูปที่ 5.14 แสดงหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมพร้อมกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ทำการวัด	71
รูปที่ 5.15 แสดงหน้าจอเมื่อเราต้องการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยไว้ในฐานข้อมูล	72
รูปที่ 5.16 แสดงหน้าจอเมื่อเราต้องการเรียกดูข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับผู้ป่วย	72
รูปที่ 5.17 แสดงหน้าจอเมื่อเราต้องการค้นหาข้อมูลของผู้ป่วย	73
รูปที่ 5.18 แสดงหน้าจอเกี่ยวกับผู้จัดทำโครงการนี้	73
รูปที่ 5.19 แสดงหน้าจอเกี่ยวกับคำแนะนำและการใช้งานเบื้องต้น	73

## สารบัญตาราง

ลำดับตาราง	หน้า
ตารางที่ 5.1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	63
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลของไอซีเบอร์ ADC 0809	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันพบว่ามนุษย์เรามีอัตราการตายที่ลดลงจากอดีต อันเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางด้านทางการแพทย์ที่มีเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพในการรักษาพยาบาลคนที่เจ็บป่วยจากโรคต่างๆ หรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นไม่เว้นแต่ละวัน แต่สิ่งใดมีคุณค่าถึงนั้นก็ต้องมีโทษหรือข้อเสียด้วยเช่นกัน เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ส่วนใหญ่มักจะมีราคาที่สูงแพง เพราะต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ ฉะนั้นมันย่อมเป็นผลเสียอย่างแน่นอนหากเราจะสั่งสินค้า อุปกรณ์ต่างๆ เข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว คนไทยมีความรู้ความสามารถและศักยภาพที่จะสรรสร้างวัสดุอุปกรณ์ทางด้านเครื่องมือแพทย์ที่ดีพอจะใช้งานในโรงพยาบาลบ้านเราได้ไม่แพ้กับของต่างประเทศเลย

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่จะสามารถช่วยให้แพทย์สามารถวิเคราะห์อาการเจ็บไข้ได้ป่วยของคนไข้ได้ ซึ่งเครื่องมือตัวนี้ในปัจจุบันก็มีคนไทยหลายกลุ่มสามารถทำการผลิตออกมาใช้และได้ใช้งานอยู่ในโรงพยาบาลแล้ว เพราะฉะนั้นการสร้างโรงงานขึ้นนี้จึงเป็นการนำเอาวิชาความรู้ที่ได้เรียนมาทำการประยุกต์ใช้ โดยความคิดหลักของโรงงานขึ้นนี้คือ การนำเอาออสซิลโลสโคปที่เป็นระบบอนาล็อกรุ่นเก่าๆ มาทำการคิดแปลงให้เป็นเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยมีขีดความสามารถที่เพิ่มเติมเข้าไปคือการนำค่าอัตราการเต้นของหัวใจ หรือสัญญาณเตือนมาแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปด้วย และยังสามารถที่จะแสดงผลและเก็บข้อมูลของผู้ป่วยไว้ด้วย ซึ่งแพทย์จะนำไปเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์อาการของผู้ป่วยได้

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อที่จะแสดงผลออกทางจอออสซิลโลสโคป และจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
2. ออกแบบและสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจออกทางออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์
3. เป็นการเสริมสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องมือแพทย์ให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

ซึ่งในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญคือ

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การทำงานของหัวใจ ระบบการนำไฟฟ้าของหัวใจ คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การวิเคราะห์คลื่นคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ (Arrhythmia) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลจอออสซิลโลสโคปโดยที่เราสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนๆ คือ ภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier) ภาคประมวลผล (Processing Unit) ภาคควบคุมการแสดงผล (Display Controller) และภาคจ่ายไฟ (Power supply) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวอย่างละเอียดในบทนี้

บทที่ 4 เป็นการออกแบบซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่ใช้ในโครงงาน รวมทั้งโปรแกรมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Delphi 4.0 เป็นซอฟต์แวร์ในการพัฒนา ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบซอฟต์แวร์ได้อธิบายไว้อย่างละเอียดในบทนี้

บทที่ 5 เป็นการทดลองและผลการทดลองของแต่ละภาค รวมทั้งการใช้งานโดยรวมของโครงงานที่เสร็จสมบูรณ์

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลงานที่ได้ทำมาทั้งหมดพร้อมทั้งปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานที่ผ่านมา แล้วยังมีแนวทางในการพัฒนาต่อไปอีกด้วย

ซึ่งหากผู้อ่านได้อ่านและศึกษาอย่างละเอียดก็จะพบว่า เป็นความรู้ที่มีประโยชน์มาก หากต้องการศึกษาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์การแพทย์ (Biomedical Electronics)

## บทที่ 2

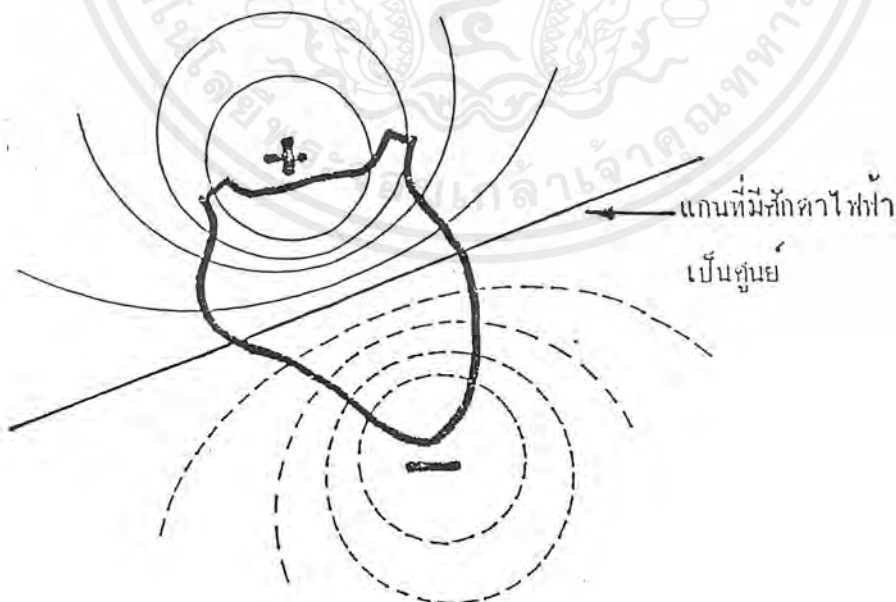
### ทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในบทนี้เป็นการศึกษาความเป็นมาของคลื่นไฟฟ้าหัวใจและความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ โดยในส่วนของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะกล่าวถึงการทำงานของหัวใจ การนำไฟฟ้าภายในหัวใจและลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ ตลอดจนแนวทางในการพิจารณาและวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

#### 2.1 สัญญาณจากร่างกายและการวัด

##### 2.1.1 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram)

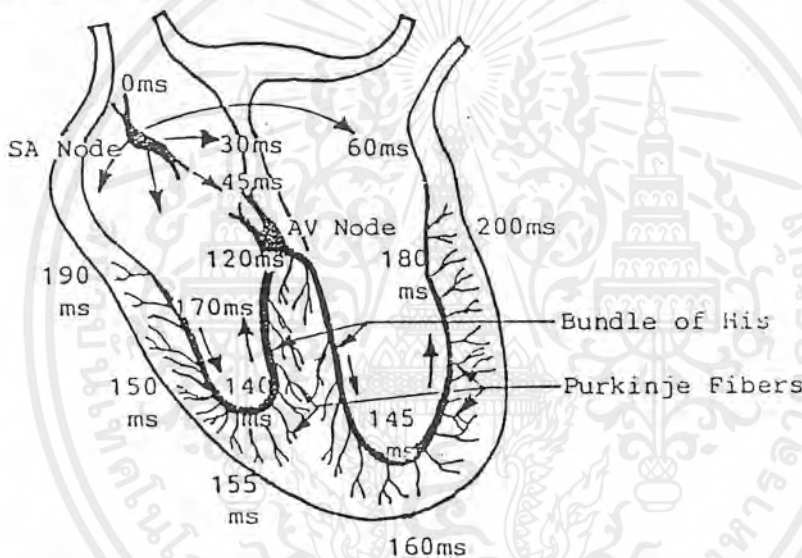
สัญญาณไฟฟ้าหัวใจเกิดจากการทำงานของหัวใจ ซึ่งมีเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้ออยู่ พิจารณาหัวใจเป็นเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งบรรจุอยู่ในก้อนตัวนำคือร่างกาย ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะกระจายออกจากขั้วบวกไปตามส่วนต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวหนังของร่างกายและเข้าที่ขั้วลบ สามารถวัดศักดาไฟฟ้าตลอดระหว่างจุดใด ๆ ที่อยู่บนผิวหนังของร่างกายได้ ศักดาไฟฟ้าจากหัวใจที่วัดได้ระหว่างจุดต่าง ๆ จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางของตำแหน่งที่วัดกระทำต่อแกนหัวใจ ศักดาไฟฟ้าที่วัดได้นี้เรียกว่า สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) หรือ ECG



รูปที่ 2.1 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนัง มีลักษณะเหมือนอิเล็กทริกไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาตำแหน่งที่จะวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจกับทิศทางของกระแสคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อที่จะให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านเข้าไปที่อิเล็กโทรดของเครื่องมอนิเตอร์ได้ดังนี้ ถ้าวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจโดยใช้อิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์ (Bipolar electrode) โดยกำหนดเป็นขั้วบวกและขั้วลบ ถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวผนังมีทิศพุ่งเข้าสู่ขั้วบวกของอิเล็กโทรด จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนขึ้น แต่ถ้ากระแสที่ไหลบนผิวผนังมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วบวกแล้วพุ่งเข้าสู่ขั้วลบ จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนลงล่าง ถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวผนังมีทิศทางทำมุมกับแนวของอิเล็กโทรด ทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าความเบี่ยงเบนน้อยลง และถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวผนังทำมุมฉากกับแนวอิเล็กโทรด จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ไม่มีค่าเบี่ยงเบนปรากฏ



รูปที่ 2.2 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นไฟฟ้าจาก SA node ไปยังส่วนต่าง ๆ ของหัวใจ (เมื่อ SA node ให้กำเนิดคลื่นไฟฟ้า เริ่มนับเวลาเป็นศูนย์)

พิจารณาการเกิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เริ่มจาก SA node (Sinoatrial node) มีตำแหน่งอยู่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องบนขวา SA node นี้เป็นเสมือนวงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์คือ จะกำเนิดคลื่นไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับผู้ใหญ่ในขณะที่พักผ่อนจะให้อัตราประมาณ 70 ครั้งต่อนาที คลื่นไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจาก SA node จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสิ่งเร้าภายนอก เช่นถ้ามีการตกใจ SA node ก็จะให้อัตราของคลื่นไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นต้น คลื่นไฟฟ้าที่เกิดจาก SA node นี้จะกระจายผ่านเส้นประสาทของหัวใจจากส่วนบนลงไปยังส่วนล่าง เมื่อคลื่นไฟฟ้ากระจายออกรอบ ๆ SA node ผ่านกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนก็จะทำให้เกิดการบีบตัวของหัวใจส่วนบน และคลื่นไฟฟ้าจะส่งมาที่ AV node (Atrioventricular node) แล้วส่งผ่านไปตาม Bundle of His

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Perkinje Fibers และในที่สุดมาถึงกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทำให้หัวใจห้องล่างบีบตัว ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นจาก SA node ถึง AV node เรียกว่า Atrioventricular conduction time โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.12 - 0.22 วินาที

เมื่อ SA node อยู่ที่บริเวณสูงสุดทางขวาของหัวใจ การกระตุ้นหัวใจห้องบนของ SA node จึงกระจายลงสู่ข้างล่างและบางส่วนกระจายไปทางซ้าย หัวใจห้องบนมีโครงสร้างของผนังที่บางกว่าและมีมวลของกล้ามเนื้อน้อยกว่า จึงทำให้การกระจายทางไฟฟ้าที่เกิดจากดีโพลาไรเซชันของมัน ปรากฏเพียงเล็กน้อย ทิศทางการกระจายทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนทั้งหมดจะพุ่งลงล่างเฉียงไปทางซ้าย โดยปกติจะมีทิศทางเข้าสู่ขั้วบวกของอิเล็กโทรดทั้ง Lead I และ aVF แต่ปริมาณทางไฟฟ้าทั้งหมดจะมีค่าไม่มากนัก เพราะวากล้ามเนื้อหัวใจห้องบนมีมวลน้อย ดังนั้นคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับจะมีการเบี่ยงเบนขึ้นบนเพียงเล็กน้อย ซึ่งได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่าคลื่น P (P wave)

ต่อมาเมื่อคลื่นของดีโพลาไรเซชันมาถึง AV Node จะมีการหน่วงเวลา ระหว่างช่วงเวลานี้ ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าจากหัวใจห้องบนเคลื่อนผ่าน AV Node ซ้ำมาก และจากนั้นจะเข้าสู่ระบบลื่อนำของหัวใจห้องล่าง (Ventricular conduction system) ได้แก่ Common bundle of His และ Bundles branches ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของ Common bundle of His มีขนาดเล็กจึงไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าได้

เมื่อคลื่นไฟฟ้าของดีโพลาไรเซชันผ่าน AV Node , His bundle และช่วงต้นๆของ Bundle branches ไปแล้ว ช่วงแรกของดีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหัวใจที่เป็นผนังร่วมของหัวใจห้องซ้ายและขวาซึ่งอยู่ภายในหัวใจ ทิศทางของไฟฟ้ามีทิศทางจากซ้ายไปขวาและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับดีโพลาไรเซชัน ที่เกิดจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนที่เป็นผนังอิสระด้านนอก จากการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิวหนังปรากฏว่าที่ Lead I คลื่นไฟฟ้ามีการเบี่ยงเบนลงล่างเล็กน้อยได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น Q (Q Wave) ส่วนที่ Lead aVF มีการเบี่ยงเบนขึ้นเล็กน้อย

จากนั้นดีโพลาไรเซชันจะกระจายไปตามระบบลื่อนำของหัวใจและในที่สุดก็ถึงกล้ามเนื้อหัวใจที่เป็นผนังอิสระทั้งห้องซ้ายและขวา โดยทั่วไปดีโพลาไรเซชันของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน หัวใจห้องล่างซ้ายซึ่งมีมวลมากกว่าจึงมีการกระทำทางไฟฟ้ามากกว่า ดังนั้นผลรวมทางไฟฟ้าจึงมีทิศทางลงล่างเฉียงไปทางซ้ายและเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนนี้มีมวลมากทำให้ได้รับคลื่นไฟฟ้าเบี่ยงเบนขึ้นบนได้มากทั้งใน Lead I และ aVF ได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น R (R Wave)

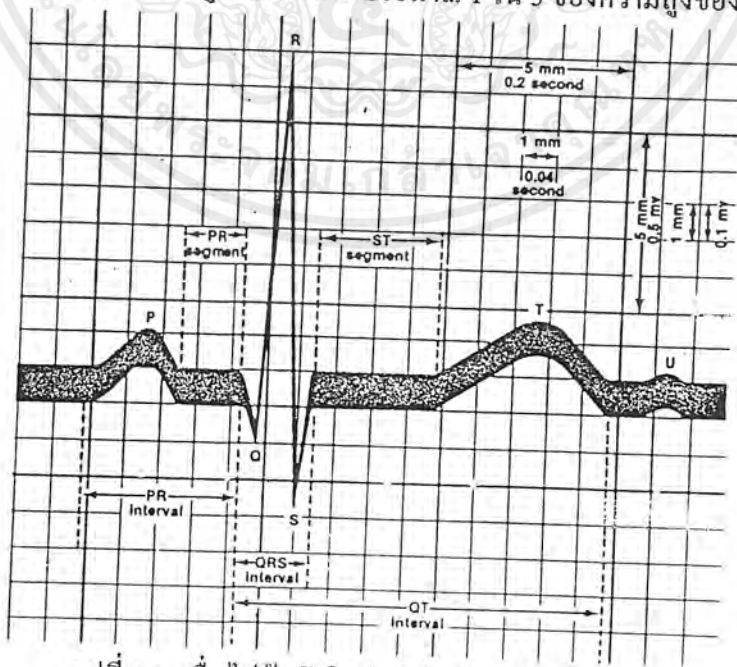
ดีโพลาไรเซชันยังคงผ่านไปในส่วนที่เหลือของหัวใจห้องล่างทั้งสองข้างบริเวณสุดท้ายที่จะมีปฏิกิริยาก็คือตำแหน่งสูงสุดของผนังหัวใจอิสระห้องล่างซ้ายหรือบริเวณที่โลหิตไหลจากหัว

ใจห้องล่างขวา ในช่วงเวลานี้การกระจายทางไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทางตรงข้ามกับเท้า ดังนั้นที่ Lead aVF คลื่นไฟฟ้าที่ได้จะมีขั้วเบนลงล่างได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่าคลื่น S (S Wave)

หลังจากหัวใจห้องล่างทั้งหมดเกิดคลื่นโพลาไรเซชันไปแล้ว จะมีการกระทำเกิดขึ้นน้อยมากจนกระทั่งเกิดรีโพลาไรเซชัน (Repolarization) ดังนั้นคลื่นไฟฟ้าหัวใจในช่วง ST จึงมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ รีโพลาไรเซชันก็คือการกลับอยู่ในสภาวะอยู่นิ่งของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจซึ่งมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นลบ เนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายมีมวลมากกว่ากล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างขวาและกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนจึงมีอิทธิพลต่อทิศทางไฟฟ้าที่เกิดจากรีโพลาไรเซชัน ในหัวใจปกติจึงมีทิศทางไปทางซ้ายเฉียงลงล่างในทิศทางเดียวกับมวลกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย รีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างทำให้ได้รับรูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น T (T Wave)

หลังจากสิ้นสุดรีโพลาไรเซชันก็จะไม่มีการกระทำทางไฟฟ้าเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง จะทำให้ไม่ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจเบี่ยงเบน ศักดาไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จนกระทั่งมีคลื่นไฟฟ้ารูปใหม่เกิดขึ้นที่ SA Node ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าของหัวใจก็จะเกิดขึ้นตามลำดับได้เป็นคลื่น P-QRS-T อีก

สรุปได้ว่าเมื่อวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยติดอิเล็กโทรดที่แขนขวา แขนซ้ายและเท้าตาม Lead I คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 แต่ละส่วนของคลื่นจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษร และจะสัมพันธ์กับการทำงานในช่วงต่าง ๆ ของหัวใจใน 1 รอบการทำงาน เช่นคลื่น P เกิดการดีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องบนทำให้หัวใจห้องบนบีบตัว โดยทั่วไปในคนที่หัวใจปกติความสูงของคลื่น R จะมีค่าประมาณ 1 mV ความสูงของคลื่น T ประมาณ 1 ใน 3 ของความสูงของคลื่น R



รูปที่ 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ วัดด้วย Lead I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อหัวใจทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงาน (Action potential) และทำให้หัวใจเต้น การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะรวมตัวเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า และเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักดาไฟฟ้าภายนอกเนื้อเยื่อและที่บริเวณผิวหนังของร่างกาย การไหลของกระแสจะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดการกระจายของศักดาไฟฟ้าทำงานเท่านั้น เช่นในช่วงของคลื่น QRS หรือ ในระหว่างที่เซลล์กลับคืนสู่สภาพอยู่นิ่ง เช่นในช่วงคลื่น T



รูปที่ 2.4 ศักดาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ

จากรูปที่ 2.4 ศักดาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจกระจายลงล่าง โซเดียมไอออนเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่เร่งเร็ว เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าจาก  $-70$  mV ในขณะที่เซลล์อยู่นิ่งเป็น  $20$  mV การเคลื่อนที่ของไอออนเหล่านั้นรวมกันเป็นกระแสไฟฟ้าไหลเป็นทางวงกลมผ่านความต้านทานของตัวกลางภายนอก ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อม และมีขั้วดังรูป บริเวณที่อยู่ด้านหน้าของการกระจายศักดาไฟฟ้าทำงาน จะเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่อยู่ด้านหลัง

การกระจายของศักดาไฟฟ้าของคลื่น R บนผิวหนังของร่างกาย เราวัดความต่างศักดาไฟฟ้าเหล่านี้บนผิวหนังของร่างกายโดยการติดอิเล็กโทรดบนผิวหนัง ทำการขยายศักดาไฟฟ้าแล้วแสดงผลออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ การเคลื่อนย้ายอิเล็กโทรดไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกายจะมีผลทำให้ขนาดของศักดาไฟฟ้าที่วัดเปลี่ยนแปลง หรือสัญญาณอาจจะกลับหัวกันได้ ด้วยเหตุนี้เอง การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจจึงต้องกำหนดตำแหน่งของอิเล็กโทรดบนร่างกายให้ได้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นการบันทึกสภาพการทำงานของหัวใจ ที่วัดได้บนผิวหนังของร่างกาย ด้วยเครื่องวัดและแสดงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) จึงถือได้ว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็น พารามิเตอร์ของร่างกาย (Physiological parameter) ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวินิจฉัยอาการ ความผิดปกติและประเมินสภาวะของหัวใจได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์และแปลผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประกอบการรักษาโรคต่าง ๆ ของผู้ป่วย โดยเฉพาะเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจจะทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งมีแกนนอนเป็นฐานเวลา (หน่วยเป็นวินาที) ส่วนแกนตั้งเป็นความสูงของคลื่น (หน่วยเป็นมิลลิโวลต์) แล้วอาศัยแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญในการแปลผลมาทำการอ่านและวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น รูปคลื่นความสูงของคลื่น ระยะเวลาในช่วงต่าง ๆ ระดับของเส้นฐานนิยฐาน เป็นต้นแล้วทำการสรุปรวบรวมวิเคราะห์ และคาดคะเนว่าผู้ป่วยมีสภาวะของหัวใจเป็นเช่นใด โดยอาจทำการวิเคราะห์ทั้ง 12 ลีด มาตรฐานหรือเพียงลีดใดลีดหนึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถและความชำนาญในการวิเคราะห์ผลของผู้เชี่ยวชาญนั้น ข้อจำกัดของวิธีการแบบนี้ อยู่ที่เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลเนื่องจากภาระกิจประจำของแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญทำให้การทราบผลที่วิเคราะห์ไม่ทันต่อการดูแลรักษาผู้ป่วย ดังนั้นในปัจจุบันด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถนำคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจแทนคน โดยการแปลงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล แล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เข้ามา เพื่อทำการแปลผลและรายงานผลให้ทราบ ซึ่งวิธีนี้เป็น การแก้ปัญหาบางส่วนของวิธีการวิเคราะห์ในแบบเดิมได้เช่นกรณีไม่มีแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญมีภาระกิจที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ผลได้ ทั้งยังให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แม่นยำและถูกต้อง ทันต่อการรักษาอาการของผู้ป่วย ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญที่เข้ามาช่วยลดภาระของบุคลากรหรือทดแทนการขาดบุคลากร โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังคงความเชื่อถือได้อยู่ การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจสามารถพิจารณาได้ 5 หัวข้อคือ

1. อัตราการเต้นของหัวใจ (Rate)
2. จังหวะการเต้นของหัวใจ (Rhythm)
3. แนวแกนของหัวใจ (Axis)
4. กล้ามเนื้อของหัวใจพองโต (Hypertrophy)
5. กล้ามเนื้อหัวใจตาย (Infarction)

การวิเคราะห์ทั้ง 5 หัวข้อนี้เป็นการพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหัวใจโดยสามารถสังเกตได้จากคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแต่ละหัวข้อจะมีวิธีการสังเกตที่แตกต่างกันไปซึ่งสามารถศึกษาวิธีการต่างๆนี้จากเอกสารอ้างอิง

## 2.3 ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ (Arrhythmia)

จังหวะการเต้น (Rhythm) เป็นคุณสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของหัวใจที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานของหัวใจอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา ซึ่งคุณสมบัตินี้เองจะเป็นสิ่งที่แสดงความเป็นปกติของหัวใจโดยจะสามารถทราบได้จากการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (หรือคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั่นเอง) จังหวะการเต้นของไฟฟ้าหัวใจปกติเป็นไปอย่างสม่ำเสมอแน่นอน ตามความถี่ของ SA node ที่กระตุ้นเซลล์ของหัวใจ เพราะว่าทุก ๆ ส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ และระบบนำไฟฟ้าทำงานอย่างเป็นปกติ แต่เมื่อบางส่วนของหัวใจเกิดการกระตุ้นที่ผิดปกติขึ้นในบางสถานการณ์ก็จะทำให้จังหวะการเต้นผิดปกติไปจากจังหวะปกติ ซึ่งผลของความถี่ปกติก็จะสะท้อนออกมาทางคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้เห็นได้ ความผิดปกติของจังหวะการเต้นมีศัพท์ทางการแพทย์เรียกว่า Arrhythmia หมายถึงความผิดปกติของจังหวะ (Abnormal rhythm)

ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจอาจจะแบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ทำให้สามารถจำแนกลักษณะอาการและเข้าใจกลไกของความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ดังต่อไปนี้

1. Varying Rhythm เป็นลักษณะความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจกลุ่มหนึ่ง ซึ่งมีลำดับสัญญาณ คือ P-QRS-T เป็นปกติธรรมดา แต่จังหวะการเต้น (คือช่วงเวลาระหว่างสัญญาณ P-QRS-T ในแต่ละรอบ) นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไม่สม่ำเสมอ ความผิดปกติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจในประเภทนี้ จะมีข้อสังเกตได้ คือสัญญาณ P-QRS-T มีลักษณะเป็นปกติทั้งขนาดและรูปร่าง แต่ช่วงเวลาระหว่างแต่ละรอบของสัญญาณเหล่านี้จะไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผิดปกติไปจากธรรมดา

2. Extra Beats and Skips เป็นลักษณะความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจกลุ่มหนึ่งที่สามารถจำแนกลักษณะความผิดปกตินั้นด้วยสายตาได้โดยง่าย ศัพท์คำว่า Extra Beats หมายถึง สัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เกิดขึ้นก่อนกำหนดที่คาดไว้ ส่วนศัพท์คำว่า Skips หมายถึง สัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ขาดหายไปจากเวลาที่คาดว่าจะพบสัญญาณนี้ ทำให้เกิดพื้นที่ของ baseline ที่ว่างไว้ การจำแนกความผิดปกติในลักษณะนี้ สามารถสังเกตความแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้าหัวใจปกติได้จากสัญญาณรวม QRS และช่วงเวลาระหว่างสัญญาณไฟฟ้าหัวใจลูกหนึ่งไปอีกลูกหนึ่ง (Pause)

3. Rapid Rhythm เป็นลักษณะความผิดปกติที่มีสาเหตุจากการมีอัตราการเต้นของหัวใจเร็วมาก โดยมีรูปร่างและลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจอาจจะผิดปกติหรือไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับบริเวณที่เกิดความผิดปกติ นั้น ซึ่งลักษณะความผิดปกติประเภทนี้มีความแตกต่างกันในเรื่องของรูปร่างของสัญญาณ เนื่องจากบริเวณที่เกิดความผิดปกติต่างกัน แต่ข้อสังเกตหลักอยู่ที่การมีอัตราการเต้นของหัวใจเร็ว

4. Heart Block เป็นการปิดกั้นการนำไฟฟ้าภายในหัวใจซึ่งพื้นที่ภายในหัวใจที่จะเกิดการปิดกั้นของสัญญาณกระตุ้นได้มีด้วยกัน 3 บริเวณคือ SA node , AV node และ Bundle Branch

## 2.4 ความปลอดภัยของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้า

ในการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานกับผู้ป่วยนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคืออันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่จะมีต่อผู้ป่วย เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายในปริมาณที่ทำให้กล้ามเนื้อในส่วนที่กระแสไหลผ่านมีอาการเกร็งจนไม่สามารถควบคุมได้ และสิ่งที่สำคัญก็คือ ถ้ากล้ามเนื้อส่วนที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นกล้ามเนื้อหัวใจ ก็อาจทำให้หัวใจหยุดเต้นและตายได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงอันตรายที่มีต่อผู้ป่วย และวิธีที่จะป้องกันอันตรายดังกล่าว

### 2.4.1 อันตรายจากกระแสไฟฟ้า

อาการช็อกที่จะเกิดขึ้นกับผู้ป่วยเนื่องจากกระแสไฟฟ้านั้น จะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ มาโครช็อก (Macroshock) เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลเข้าร่างกายผ่านผิวหนังซึ่งมีค่าความต้านทานสูง อีกแบบหนึ่งคือ ไมโครช็อก (Microshock) เป็นอาการที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกล้ามเนื้อโดยตรง โดยไม่ได้ผ่านผิวหนัง จึงทำให้ทางเดินของกระแสไฟฟ้ามีค่าความต้านทานต่ำ

กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดมาโครช็อกมีค่ามากกว่ากระแสที่ทำให้เกิดไมโครช็อกหลายเท่า ได้เคยมีผู้ทำการทดลองเกี่ยวกับกระแสที่ทำให้เกิดมาโครช็อก โดยผู้ทำการทดลองถืออิเล็กโทรดสองอันโดยถือมือละอัน แล้วปล่อยไฟฟ้ากระแสระดับที่ความถี่ 60 Hz ให้ไหลผ่านร่างกายค่าต่าง ๆ กัน โดยเริ่มปรับค่ากระแสตั้งแต่ศูนย์ขึ้นไปเรื่อย ๆ ปรากฏว่าจะเกิดอาการต่าง ๆ ของผู้ทดลองที่ค่าของกระแสต่าง ๆ กัน คือเริ่มกระแสจากศูนย์ขึ้นไปจนถึงค่าหนึ่งจะเริ่มมีความรู้สึกต่อกระแสไฟฟ้า ค่าของกระแสที่ระดับนี้เรียกว่า Perception level จากการทดลองกับผู้ใหญ่ชาย ประมาณ 50% ของผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกที่กระแสประมาณ 1 mA ส่วนผู้ใหญ่หญิงจะเริ่มรู้สึกในระดับกระแสที่ต่ำกว่าผู้

ชายประมาณ 1 ใน 3 เท่า ถ้าความถี่ของกระแสเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ระดับที่เริ่มรู้สึกเปลี่ยนค่าไป ด้วย โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นมากกว่า 100 Hz

เมื่อเพิ่มกระแสให้มากกว่าระดับที่เริ่มรู้สึกจนถึงค่าประมาณ 10-20 mA จะเริ่มรู้สึกชาที่มือหรือร่างกาย และกล้ามเนื้อที่มือจะมีอาการเกร็งตลอดเวลา จนทำให้บางคนไม่สามารถควบคุมมือให้ปล่อยอิเล็กโทรดได้ กราฟในรูปที่ 2.5 เป็นผลจากการทดลองกับผู้ใหญ่ชาย ได้เป็นค่ากระแสที่ความถี่ 60 Hz ซึ่ง 50% ของผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อได้ สันเกตว่าจะต้องใช้กระแสมากขึ้น ถ้าลดความถี่ให้ต่ำลง หรือเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น

เมื่อเพิ่มกระแสขึ้นไปอีกจนถึง 100 mA ผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกปวดและบางคนถึงกับตื่นสติ ค่ากระแสระดับนี้ถ้าไหลผ่านหัวใจก็เพียงพอที่จะทำให้เกิด Ventricular fibrillation (หัวใจห้องล่างเต้นเร็ว เบา และไม่เป็นจังหวะ) ระดับของกระแสที่ทำให้เกิด fibrillation จะมีค่าต่ำลงถ้าให้กระแสไหลผ่านหัวใจนานขึ้น ในการทดลองกับแกะปรากฏว่าการใช้กระแส 1000 mA เป็นเวลา 0.03 วินาที ก็กับการใช้กระแส 100 mA เป็นเวลานาน 3 วินาที ทั้งคู่ต่างก็ทำให้เกิด fibrillation

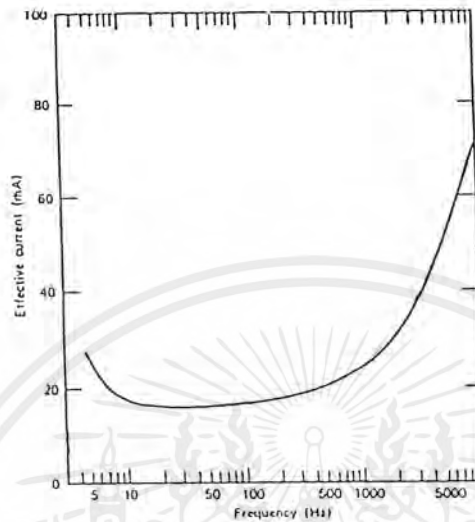
ข้อมูลจากการทดลองจากสัตว์หลาย ๆ ชนิด สามารถนำมาประเมินค่าระดับของกระแสที่ทำให้เกิด Fibrillation กับมนุษย์ได้

สำหรับความถี่ 60 Hz ค่ากระแสสูงสุดที่ยังไม่ทำให้เกิด Fibrillation กับมนุษย์มีค่าประมาณ  $\frac{116}{\sqrt{t}}$  mA เมื่อ t คือช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายเป็นวินาที ตัวอย่างเช่น ถ้าปล่อยกระแสนาน 1 วินาที ค่ากระแสสูงสุดที่ยังปลอดภัยคือ 116 mA ถ้าปล่อยนาน 4 วินาที ค่ากระแสสูงสุดที่ปลอดภัยคือ 58 mA

ต่อไปถ้าเพิ่มกระแสจนถึง 6 A หรือมากกว่านี้ จะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจเกร็ง ซึ่งจะมีอาการคล้ายกับการเกร็งที่มือจนไม่สามารถปล่อยมือออกจากอิเล็กโทรดได้ ถ้าเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ อาจทำให้การหายใจเป็นอัมพาตชั่วคราว และผิวหนังอาจเกิดการไหม้อย่างรุนแรง ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงกดของอิเล็กโทรดต่อผิวหนัง และการสัมผัสกับอิเล็กโทรด

ในกรณีของไมโครชิ้อก กระแสไม่ได้ไหลผ่านผิวหนังซึ่งมีความต้านทานสูง บ่อยครั้งที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้าตามเส้นโลหิตแดงใหญ่สู่หัวใจโดยตรง จะเห็นได้ว่า Ventricular fibrillation สามารถเกิดจากไมโครชิ้อกได้ง่าย เนื่องจากระดับกระแสต่ำกว่ากรณีของมาโครชิ้อกมาก ในการทดลองกับสุนัขพบว่า ถ้าป้อนกระแสเพียง 17  $\mu$ A เข้าหัวใจโดยตรงจะสามารถทำให้เกิด ventricular fibrillation ได้ จากผลอันนี้สามารถประเมินกับมนุษย์ได้ว่าค่ากระแสที่ทำให้เกิด ventricular fibrillation เมื่อป้อน โดยตรงมีค่าประมาณ 30  $\mu$ A

จากการทดลองเหล่านี้ใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่ 60 Hz แต่ผลที่เกิดต่อร่างกายก็ใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่ 50 Hz ดังในกราฟรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟของกระแสและความถี่ ซึ่งผู้ป่วยชายประมาณครึ่งหนึ่งของผู้ที่ทำการทดลองไม่สามารถควบคุมมือให้ปล่อยอิเล็กโทรดได้

ไมโครชิพมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากเนื่องจากปัจจุบันในห้องบำบัดผู้ป่วยพิเศษมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาก ในบรรดาผู้ป่วยต่าง ๆ มีหลายคนที่จะต้องใช้อลอคสวน (Catheter) เข้าไปตามเส้นโลหิต เพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจหรือเพื่อฉีดสารสีในการฉายรังสี หรือเพื่อใช้วัดแรงดันโลหิต ผู้ป่วยในห้องบำบัดพิเศษบางคนต้องใช้เครื่องมือควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ (pace maker) โดยใช้อลอคสวนเข้าไปตามเส้นโลหิตจนสัมผัสกับกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อกระตุ้นหัวใจโดยตรง ในกรณีที่การทำงานของหัวใจล้มเหลว อลอคสวนบางชนิดประกอบด้วยเส้นลวด หรือของเหลวที่นำกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงเกิดทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำไปยังหัวใจ ซึ่งจะช่วยให้ความเป็นไปได้ในการเกิด ไมโครชิพ

อันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากช่องเสียบไฟชาร์จ หรือสายไฟที่ฉนวนชำรุด หรือขั้วต่อสายไฟแตก มักจะค้นพบและแก้ไขได้ง่าย แต่อันตรายที่ค้นพบยากอาจจะเกิดจากในสายจ่ายไฟของเครื่องมือ สายจ่ายไฟมักจะถูกละเลยจากการดูแลรักษา สายประเภทนี้อาจจะถูกดึงมาจากผนังห้องหรือล้อเลื่อนสำหรับวางเครื่องมือหรือเตียง แล้วพาดไปตามพื้น มีหลายครั้งที่เส้นลวดตัวนำภายในชำรุด สายไฟที่ทันสมัยจะมีเส้นลวดตัวนำภายใน 3 เส้น เป็นเส้นที่มีกระแสไฟฟ้า 2 เส้น และอีกเส้นหนึ่งเป็นสายดิน (Ground) ถ้าสายที่มีกระแสไฟฟ้าเส้นใดเส้นหนึ่งขาดเครื่องมือก็จะไม่ทำงาน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสายทั้งสองสัมผัสกันหรือลัดวงจร จะทำให้ฟิวส์ขาดซึ่งทั้งสองกรณีสังเกตได้ง่าย แต่ถ้าสายดินขาดจะไม่สามารถรู้ได้เลยและเครื่องมือก็ยังทำงานปกติ จึงทำให้เกิดอันตรายกับผู้ป่วยที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายได้ง่าย

อันตรายจากกระแสไฟฟ้า อาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุอีกอย่างหนึ่งคือ ระบบไฟฟ้าของโรงพยาบาล ไม่มีสายดิน และเมื่อเครื่องมือที่มีปลั๊กเสียบแบบ 3 ขา เจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลอาจจะตัดขาที่ 3 (สายดิน) ออก หรือมีขณะนั้นก็ใช้วิธีแปลงที่เสียบ บางทีสายดินอาจจะต่อไม่ดีพอ และเมื่อมีเครื่องมือมากขึ้นก็จะต้องทำจุดต่อสายดินเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะอยู่กระจายในบริเวณต่าง ๆ เมื่อต้องใช้เครื่องมือ 2 เครื่องมือพร้อมกันกับผู้ป่วยคนเดียวกัน โดยที่เครื่องทั้งสองต่อกับจุดดินคนละจุด โอกาสที่จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดดินทั้งสองมีมาก และถ้าหากเครื่องหนึ่งต่ออยู่กับ อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกาย กระแสรั่วก็สามารถไหลผ่านผู้ป่วยจากจุดดินจุดหนึ่งไปลงที่จุดดินอีกจุดหนึ่งได้ ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ป่วย

#### 2.4.2 การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า

การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล ทำได้โดยการตรวจสอบและซ่อมแซมอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดอย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามอันตรายจากกระแสไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นได้หลายทางถึงแม้ว่าจะไม่มีการชาร์จของอุปกรณ์เครื่องใช้

ร่างกายของคนเรามีความรู้สึกต่อไฟฟ้ากระแสตรงน้อยกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ 60 Hz และเนื่องจากที่ความถี่  $f = 0$  (ไฟฟ้ากระแสตรง) ค่า  $X_c = \infty$  ดังนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจึงไม่ทำให้เกิดกระแสรั่ว อันเนื่องมาจากค่าความจุของการเก็บประจุระหว่างสายไฟ (stray capacitance)

อันตรายจากกระแสไฟฟ้าอาจลดลงได้อีกทางหนึ่ง โดยการให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงาน โดยได้รับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่มีความถี่สูงกว่า 60 Hz มาก ๆ ซึ่งหัวใจมีความไวต่อการเกิด Ventricular fibrillation น้อยมาก

การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า อาจทำได้โดยการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำงานด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แบตเตอรี่ชนิดที่สามารถชาร์จไฟเข้าไปใหม่ได้ (Rechargeable battery) แต่ในกรณีของเครื่องมือที่ต้องทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น เครื่องมอนิเตอร์หัวใจที่ใช้ในห้องบำบัดผู้ป่วยพิเศษ จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับแบตเตอรี่ ในกรณีนี้จะใช้วิธีเปลี่ยนความถี่ของแหล่งจ่ายไฟให้สูงกว่า 60 Hz มาก ๆ ให้อยู่ในช่วงที่มีความไวของหัวใจต่อการเกิด Ventricular fibrillation น้อยมาก แล้วส่งผ่านทางหม้อแปลงที่มีฉนวนไฟฟ้าอย่างดี

สำหรับสัญญาณออก ที่จะต้องแสดงในระบบแสดงผล จะถูกส่งผ่านทางแสง เพื่อให้ผู้ป่วยมีส่วนใดสัมผัสกับระบบแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

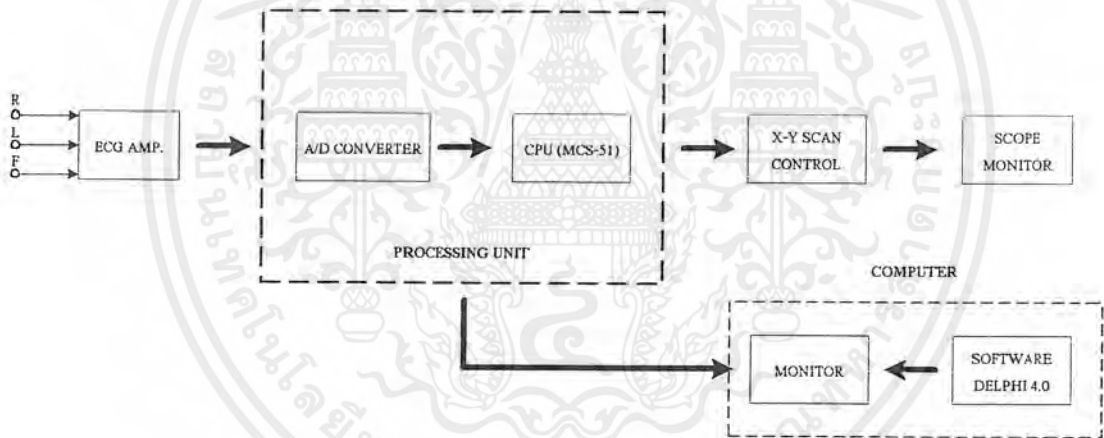
### บทที่ 3

## การออกแบบและการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

### โดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์

#### 3.1 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์

ในการสร้างโครงงานเครื่องวัดไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์นั้น เราได้ใช้ความรู้เรื่องวงจรรีเลย์ทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์ร่วมทั้งการพัฒนาโปรแกรม Delphi 4.0 บนคอมพิวเตอร์มาทำการออกแบบ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.1

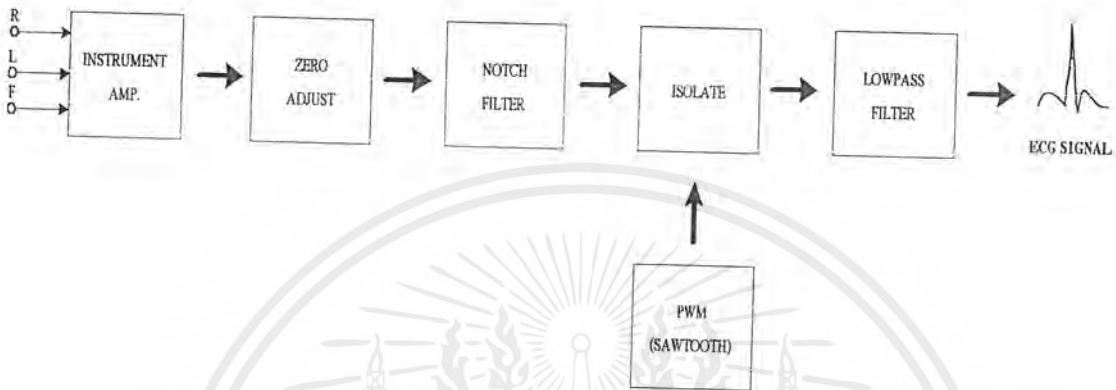


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์

ซึ่งเราสามารถออกแบบและสร้างในแต่ละส่วนได้ดังนี้

### 3.2 การออกแบบและการสร้างภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier)

ในการสร้างภาคขยายคลื่นหัวใจไฟฟ้าเราสามารถออกแบบเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาคขยายคลื่นหัวใจ

จากบล็อกไดอะแกรมที่เห็นในรูปที่ 3.2 เรานำมาออกแบบโดยแยกแต่ละส่วนออกจากกันก่อนเพื่อง่ายต่อการออกแบบ หลังจากนั้นนำมาเชื่อมต่อกัน แล้วทำการปรับแต่งเพื่อให้ได้คุณลักษณะที่ดีของสัญญาณ ตามที่เราต้องการ

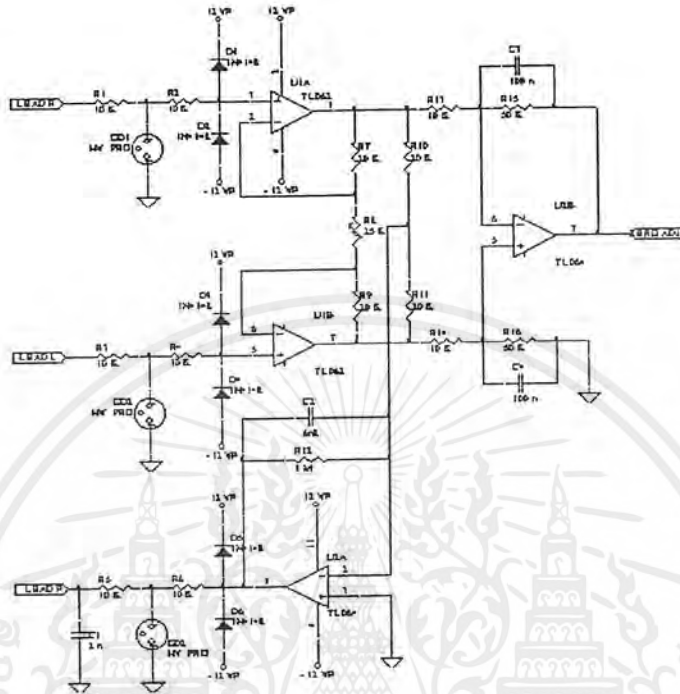
#### 3.2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นวงจรแรกที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ที่มีขนาดของสัญญาณน้อยมากเพียงประมาณ 1 มิลลิโวลต์ โดยการรับสัญญาณจากอิเล็กโทรดที่ติดบนผิวหนัง ซึ่งมีค่าความต้านทานสูง และมีสัญญาณรบกวนจากไฟฟ้าบ้าน กระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ปนมาด้วย ดังนั้น วงจรขยายที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติพิเศษดังต่อไปนี้

ก. อินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานของผิวหนัง เพื่อป้องกันการเสียดสมมูลย์ของวงจรและการบั่นทอนสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่อินพุต การเสียดสมมูลย์ของวงจรจะมีผลเสียดต่อวงจรขยายคือสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในลักษณะสัญญาณคอมมอนโหมด (Common mode signal) ไม่สามารถกำจัดออกไปได้และยังทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซต (Offset voltage) ซึ่งจะถูขยายให้มีความถี่ขึ้นที่เอาท์พุทถ้าศักดาไฟฟ้าออฟเซตมีค่ามากจะทำให้วงจรขยายอิมตัวมีศักดาไฟฟ้าเอาท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ที่ค่าเกือบเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟด้านใดด้านหนึ่ง (บวกหรือลบ) และวงจรไม่สามารถทำงานได้



รูปที่ 3.3 วงจรขยายความแตกต่าง ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัว และวงจร RL driver

ข. ค่า CMRR (Common Mode Rejection Ratio) สูงค่า CMMR เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของ วงจรขยายความแตกต่างที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ คุณสมบัติอันนี้ก็ถือการมีอัตราขยายของ สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential Mode Signal) สูงและมีอัตราขยายของสัญญาณคอมมอนโหมดต่ำทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการขยาย (ECG) จะเข้าไปที่อินพุตในลักษณะ สัญญาณคอมมอนโหมด

วงจรในรูปที่ 3.3 ตัว U1A และ U1B เป็นวงจรขยายบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier) ซึ่งจะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากประมาณมากกว่า 10 M เพราะเลือกใช้ออปแอมป์ชนิดที่มีอินพุตเป็น JFET จากรูปที่ 3.3

$$V_{O1A} = (1 + R_7/R_8)V_1 - (R_7/R_8)V_2 + V_{ic} \quad \dots 3.1$$

$$V_{O1B} = (1 + R_9/R_8)V_2 - (R_9/R_8)V_1 + V_{ic} \quad \dots 3.2$$

ซึ่ง  $V_{ic}$  เป็นค่าแรงดันไปที่เข้ามาในแบบ Common mode มีค่า

$$V_{ic} = (V_1 + V_2)/2 \quad \dots 3.3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ที่สถานะเอาต์พุตสมดุล หรือคือ  $R_{15}/R_{13} = R_{16}/R_{14}$

$$V_{O2}B = (R_{15}/R_{13})(U_1B - U_1A) = R_{15}(R_8+R_7+R_9)(V_2-V_1)/R_8R_{13} \quad \dots 3.4$$

ถ้า  $R_7 = R_9$  และ  $R_{13} = R_{14} = R_{15} = R_{16}$

$$Ad = V_{O2}B/(V_2-V_1) = 1+(2R_7/R_8) \quad \dots 3.5$$

Ad เป็นค่าอัตราขยายแรงดันไฟของวงจร

ถ้า  $V_{O2}B/V_{in} = R_{15}(R_8+R_7+R_9)/R_8R_{13}$

หรืออัตราขยายศักดาไฟฟ้า =  $R_{15}(R_8+R_7+R_9)/R_8R_{13}$

$$= 50000(25000+20000+20000)/25000*10000$$

$$= 13$$

ดังนั้นอัตราขยายศักดาไฟฟ้า มีค่าประมาณ 13 ส่วน C3 และ C4 ในรูปที่ 3.3 ทำหน้าที่กรองความถี่สูงไม่ให้ผ่านวงจรขยายไปได้ U2A, R10, R11 และ R12 เป็นส่วนของวงจรป้อนกลับที่เรียกว่า RL driver

วงจรขยายในภาคแรกไม่ควรให้มีอัตราขยายมากเกินไปเพราะว่าถ้าเกิดมีศักดาไฟฟ้าออฟเซทเกิดขึ้นที่อินพุทไม่ว่าจะสาเหตุใดก็ตามจะทำให้สัญญาณออกที่เอาต์พุตลอยขึ้นไปหรือต่ำลงจากระดับศูนย์มากซึ่งบางครั้งอาจจะถึงกับอิมิตัวอยู่ที่ค่าใกล้ศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ ทำให้วงจรไม่สามารถทำงานได้

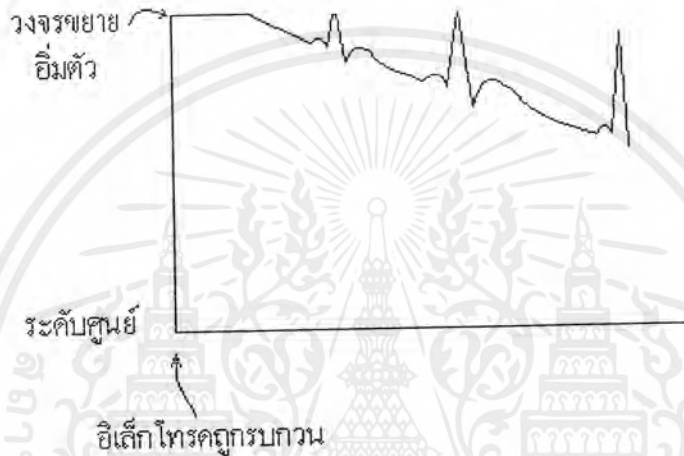
### 3.2.3 วงจรปรับศูนย์ ( Autozero Circuit )

เมื่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านวงจรขยายความแตกต่างมักจะมีศักดาไฟฟ้าออฟเซทถูกขยายมาด้วย ศักดาไฟฟ้าออฟเซทนี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถแยกออกจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้โดยการส่งผ่านสัญญาณทางตัวเก็บประจุ แต่เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีวามถี่ต่ำอยู่ในช่วง 0.5 เฮิรซ์ ถึง 200 เฮิรซ์ ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้จึงมีค่ามาก เพื่อให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำในช่วงดังกล่าวผ่านไปได้ ปัญหาที่ตามมาคือ ถ้ามีการรบกวนที่โอเล็คโตรด เช่น เมื่อคนไข้ขยับตัวจะทำให้ความต้านทานตรงลอสัมผัสของโอเล็คโตรดกับผิวหนังเปลี่ยนแปลงและวงจรเสถียรสมดุลย์เกิดเป็นศักดาไฟฟ้าออฟเซทที่เอาต์พุทของวงจรขยายความแตกต่างคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านตัวเก็บประจุจะลอยตัวออกห่างจากระดับศูนย์และกลับเข้าสู่ระดับศูนย์ช้ามาก เนื่องจากค่าเวลาคงที่ (Time constant) ของตัวเก็บประจุกับความต้านทานอินพุทของวงจรถัดไปมีค่ามาก ดังรูปที่ 3.4

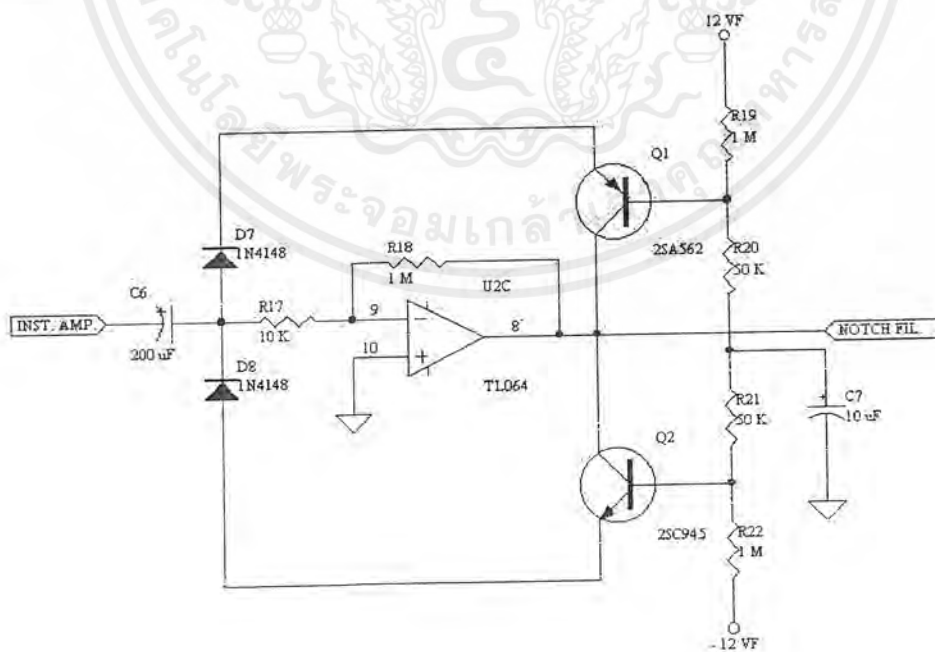
หลักการของวงจรปรับศูนย์คือ จะช่วยลดค่าเวลาคงที่ ให้เหลือน้อยมากเมื่อเกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซทถึงระดับที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.5 ในขณะที่ยังไม่เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซทค่าเวลาคงที่ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ C6 กับ R17 และเมื่อมีศักดาไฟฟ้าออฟเซทประมาณ + 1.2 โวลท์ หรือ -1.2

โวลท์ เท่ากับศักดาไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D7 หรือ D8 กับขา EB ของทรานซิสเตอร์ Q1 หรือ Q2 ทรานซิสเตอร์ก็จะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสัญญาณลงกราวด์ทำให้ค่า time constant มีค่าลดลง เหลือเพียงเท่ากับผลคูณของ C6 กับความต้านทานภายในของทรานซิสเตอร์ซึ่งมีค่าน้อยส่วน IC2C เป็นวงจรรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) มีอัตราขยายศักดาไฟฟ้าคือ

$$\text{อัตราขยายศักดาไฟฟ้ามีค่า} \quad R_1/R_2 = 1M/10K = 100$$



รูปที่ 3.4 แสดงคลื่น ไฟฟ้าหัวใจที่ส่งผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก เมื่ออิลเล็ก โทรคดูกรบกวอน

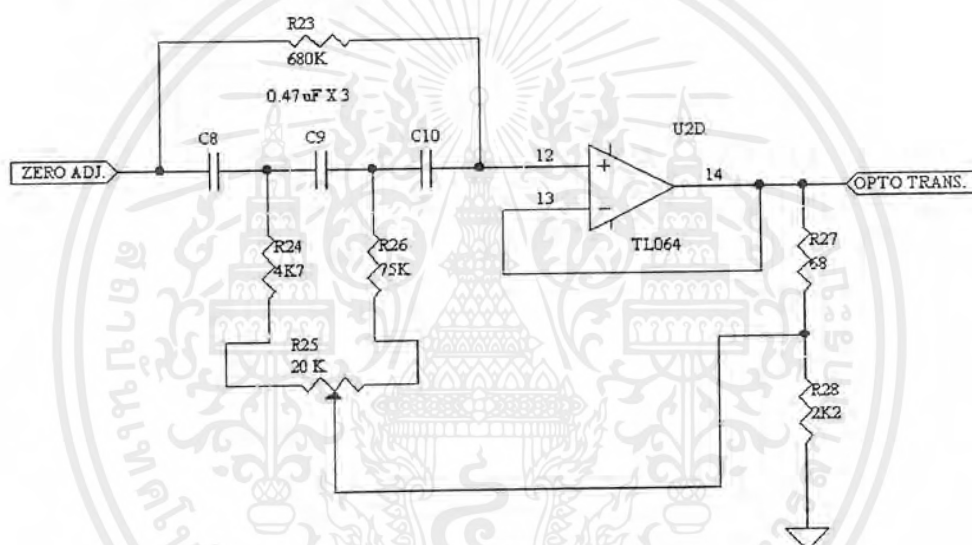


รูปที่ 3.5 วงจรปรับศูนย์ ทำหน้าที่ลดค่า Time Constant เมื่อมีศักดาไฟฟ้าออกเฟสเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

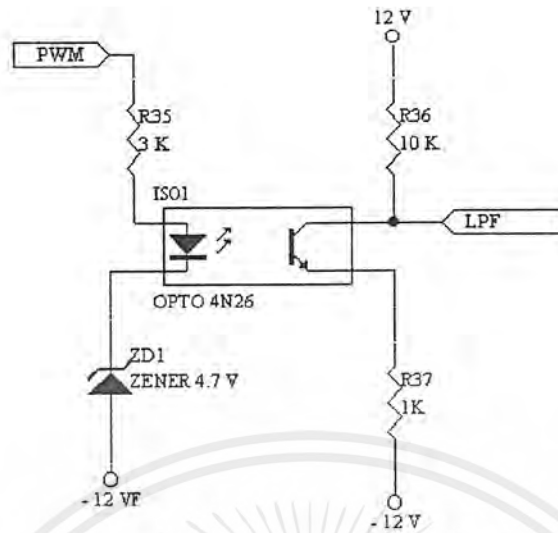
### 3.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ ( Low pass Notch filter )

ถึงแม้ว่าวงจรขยายในภาคแรกจะเป็นวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ก็ตาม แต่ถ้าเกิดความไม่สมดุลของวงจรขึ้นมา สัญญาณรบกวนซึ่งส่วนใหญ่เป็นความถี่ 50 HZ ก็สามารถผ่านไปได้ แต่เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีความถี่ต่ำอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 200 HZ ถ้าเราใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) แบบธรรมดาที่ยอมให้ความถี่ต่ำกว่า 50 HZ ผ่านไปได้ก็จะทำให้สัญญาณไฟฟ้าหัวใจส่วนที่มีความถี่สูงกว่า 50 HZ ถูกกำจัดออกไปดังนั้น เราจึงต้องใช้วงจรความถี่ต่ำแบบ Low pass Notch filter ซึ่งจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงและต่ำกว่า 50 Hz ผ่านไปได้ ส่วนสัญญาณรบกวน 50 HZ จะถูกกำจัดออกไป วงจรแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่ต่ำ Low-pass Notch Filter

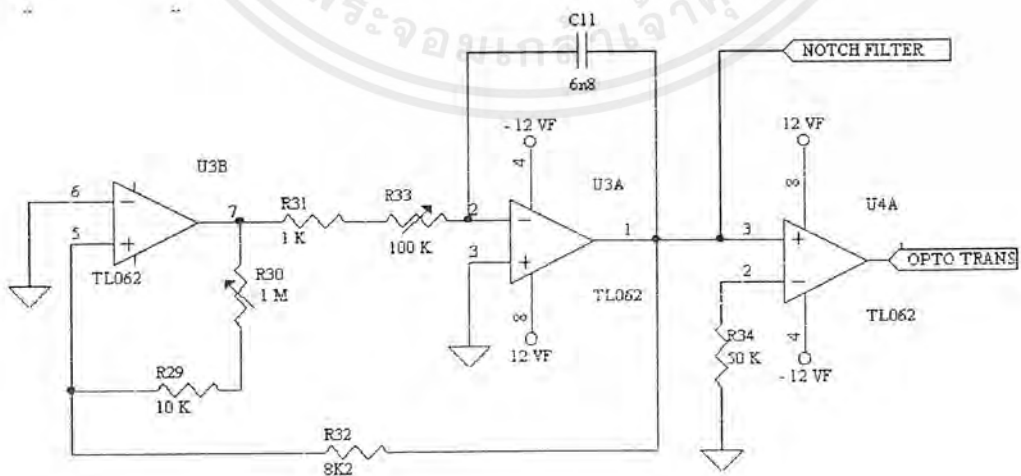
เมื่อกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการให้ผ่านไปได้แล้ว ก็ผ่านมาที่วงจรส่งผ่านสัญญาณแสงเพื่อทำการแยกจุดดินระหว่างวงจรส่วนหน้าที่สัมผัสร่างกายกับวงจรถัดไป เพื่อป้องกันกระแสรั่วไหลจากเครื่องไปทำอันตรายต่อคนไข้ได้ จากวงจรในรูปที่ 3.5 ความต้านทาน R35 และ R36 จะเป็นตัวป้อนกระแสไบอัสให้กับตัวส่ง การตั้งไบอัสทำได้โดยการเปลี่ยนตัวความต้านทาน R35 และ R36 จนกระทั่งศักดาไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์ของตัวรับสัญญาณแสงมีค่าประมาณ  $\frac{1}{2}$  ของศักดาไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ +V



รูปที่ 3.7 วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง

การไบอัสดังกล่าวเป็นการไบอัสให้ตัวส่งสัญญาณแสงซึ่งเป็นไดโอด ทำงานในช่วง ดิเนียร์ ซึ่งการปรับกระแสไบอัสให้อยู่ในช่วงดิเนียร์นี้กระทำได้ง่ายและตัวส่งสัญญาณแสงแต่ละตัว ก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เราจึงทำการปรับไบอัสทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตัวส่งสัญญาณ (แม้ว่าตัว ส่งสัญญาณจะเป็นเบอร์เดียวกันก็ตาม) และอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์ของวงจรถัดไป คิว

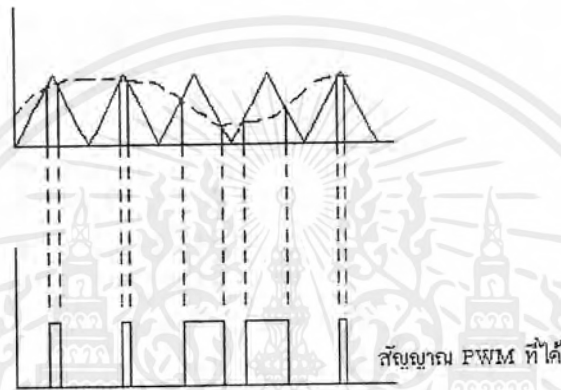
ดังนั้นเราจึงแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการมอดคูเลตสัญญาณก่อนจะส่งผ่าน ไปยังตัวส่ง สัญญาณแสง โดยเราจะใช้วงจร พัลส์ – วิดท์ มอดคูเลเตอร์ ( Pulse – Width Modulator ) ดังแสดงใน รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจร Pulse – Width Modulator และวงจรส่งผ่านสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

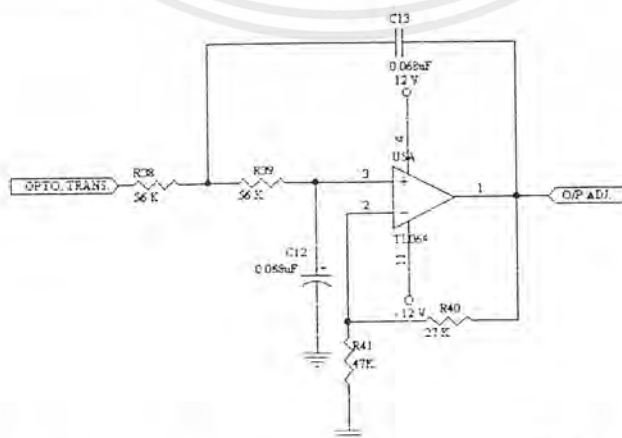
จากรูปที่ 3.8 U3B และ U3A ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Signal) ความถี่ 3 KHz เพื่อเป็นสัญญาณเปรียบเทียบ (Reference Signal) เข้าที่ขาอินพุทไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) ของ IC3 ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) โดยสัญญาณที่ออกจากวงจรองความถี่ต่ำ จะถูกนำเข้ามาที่ขาอินพุทกลับเฟส (Inverting Input) ของ U4A สัญญาณที่เอาท์พุทของ IC3 จะมีลักษณะเป็นพัลส์ โดยที่ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) จะแปรเปลี่ยนตามสัญญาณที่ขาอินพุทไม่กลับเฟส ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการเปลี่ยนความกว้างพัลส์โดยการมอดูเลตแบบ PWM

### 3.2.4 วงจรดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator)

หลังจากที่เราได้รับสัญญาณจากตัวรับสัญญาณแสงซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์แล้วจะต้องแปลงสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามเดิม โดยการใช้วงจรดีมอดูเลเตอร์ ซึ่งวงจรที่ทำหน้าที่ดังกล่าวคือ วงจรกรองความถี่ต่ำ ที่ยอมให้ความถี่ในช่วงความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



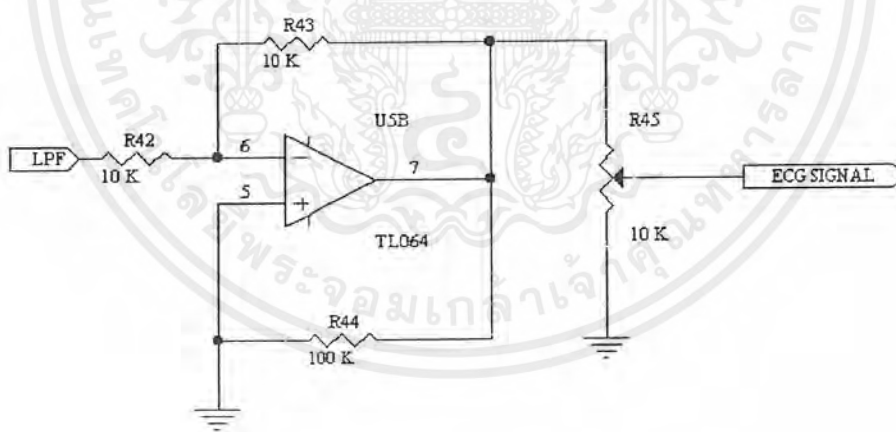
รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 3.10 เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอคทีฟ (Active Low-Pass Filter) แบบ SALLEN AND KEY CIRCUIT ซึ่งมีค่าความถี่คัทออฟ (Cut-off Frequency or Passband Edge Frequency) หรือ  $\omega_p = 262 \text{ Hz}$  และ Pole  $Q = 0.7$

### 3.2.5 วงจรขยายและปรับระดับสัญญาณ (Amplifier and Clamp Circuit)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าหัวใจให้มีขนาดและระดับของศักดาไฟฟ้าเหมาะสมกับวงจรในส่วนถัดไป โดยที่คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณที่มีแถบความถี่ (Bandwidth) ประมาณ 0.5 ถึง 40 Hz สัญญาณเอาท์พุทมีศักดาไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ สัญญาณอินพุทมีขนาดประมาณ 1 โวลต์ ยอดถึงยอด ( $V_{p-p}$ ) รูปที่ 3.11 แสดงวงจรขยายและปรับระดับสัญญาณ โดยส่วนของวงจขยายประกอบด้วยออปแอมป์ TL062 ตัวแรกทำหน้าที่เป็น Non-inverting Amp. มีอัตราขยาย 4 เท่า ส่วนตัวหลักทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ออปแอมป์นี้ทำงานด้วยไฟเลี้ยง +12V, -12V ส่วนวงจรปรับระดับสัญญาณทำหน้าที่ยกระดับสัญญาณอินพุทที่มีศักดาต่ำกว่าศูนย์ให้มีศักดาสูงกว่าศูนย์ เพื่อให้สัญญาณเหมาะสมที่จะป้อนให้แก่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

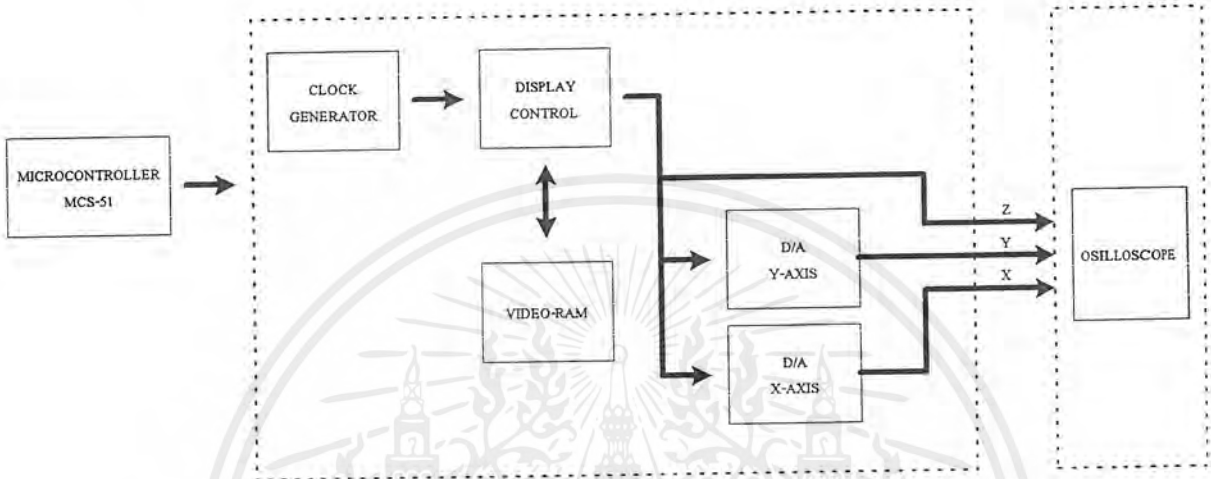


รูปที่ 3.11 วงจรขยายและปรับระดับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ภาคควบคุมการแสดงผลบนจอภาพออสซิลโลสโคป

ภาคควบคุมการแสดงผลบนจอภาพออสซิลโลสโคป เป็นการรวมเอาหลักการแสดงภาพบนจอโทรทัศน์ มาใช้งานร่วมกับหลักการทางดิจิทัล ซึ่งบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมภาคควบคุมการแสดงผลทางออสซิลโลสโคป

#### 3.3.1 ทฤษฎีการสร้างภาพดิจิทัลบนจอภาพออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคป จัดเป็นเครื่องมือวัดอีกประเภทหนึ่งที่ใช้กันกว้างขวาง ทั้งในทางค่านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ข้อดีของออสซิลโลสโคปคือ สามารถที่จะแสดงผลสิ่งที่เราทำการวัดได้ทันทีและยังให้รายละเอียดที่ชัดเจนพร้อมกับการตอบสนองที่เร็วกว่าเครื่องมือวัดแบบอื่นๆ

สิ่งที่มีความสำคัญถือว่าเป็นหัวใจของออสซิลโลสโคปคือหลอด CRT ซึ่งทำหน้าที่คล้ายหลอดภาพของโทรทัศน์ โดยที่มันจะทำหน้าที่แสดงภาพของสัญญาณที่เราทำการวัด ทำให้สามารถที่จะอ่านค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ ได้

ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอด CRT คือ

1. ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) เป็นตัวผลิตลำอิเล็กตรอน ประกอบด้วย ไล่หลอด (Heater) แคโทด (Cathode :K) และคอนโทรลกริด (Control grid :GI)
2. ส่วนประกอบปรับลำอิเล็กตรอนให้เรียวเล็ก (Focus electron) เป็นตัวปรับลำแสงให้ตกกระทบบนจอภาพภาพเล็กและคมชัด ประกอบด้วยแอโนดปรับโฟกัส

3. ส่วนเร่งความเร็วให้ลำอิเล็กตรอน (Accelerating Electron) เป็นตัวทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังจอภาพได้เร็วขึ้น ประกอบด้วยแอโนดเร่งอิเล็กตรอน (Accelerating Anode)

4. ส่วนหักเหแนวนอนและแนวตั้ง (Horizontal & Vertical Deflection Electrode) เป็นตัวควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนที่จะไปกระทบจอภาพ เกิดการบ่ายเบนไปทางซ้ายหรือทางขวา ขึ้นบนหรือลงล่าง ทำให้เกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคป ประกอบด้วยเพลทหักเหทางแนวตั้ง (Vertical Deflection Plate) 2 ชุด และเพลทหักเหทางแนวนอน (Horizontal Deflection Plate) 2 ชุด

5. จอภาพ (Screen) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดภาพเรืองแสงขึ้นบนจอประกอบด้วยสารฟลูออเรสเซนต์ ฟอสเฟอร์ (Fluorescent Phosphor) หรืออาจเรียกว่า ฟอสเฟอร์เรสเซนซ์ (Phosphorescent)

เมื่อสังเกตภาพที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคป จะพบว่าในภาพนั้นประกอบขึ้นด้วยเส้นภาพเล็ก ๆ เรียงกันอยู่ในแนวนอนมากมาย ซึ่งเรียกว่า เส้นสแกน (Scan-Line) และเมื่อสังเกตดูเส้นสแกนแต่ละเส้นจะประกอบไปด้วยจุดภาพต่าง ๆ ตลอดทั้งเส้นมีทั้งจุดมืดสว่างมาก เรียกว่า องค์ประกอบภาพ (Picture Element) ดังนั้น ภาพที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปก็จะประกอบขึ้นด้วยองค์ประกอบของภาพมากมายที่มีระดับความสว่างแตกต่างกันอยู่ จนเกิดเป็นภาพได้

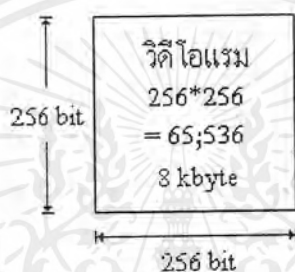
ภาพที่เกิดขึ้นบนจอออสซิลโลสโคป เกิดขึ้นได้คือ เมื่อแคโทดได้รับความร้อนจากการเผาของไส้หลอดจะทำให้แคโทดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมานี้จะถูกดึงให้เข้าไปกระทบกับแอโนดที่หน้าจอหลอดภาพโดยที่แอโนดจะมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าที่แคโทดมาก ที่หน้าจอหลอดภาพจะถูกฉายด้วยสารเรืองแสง เรียกว่า สารฟอสเฟอร์ (Phosphor) การกระทบของอิเล็กตรอนกับสารฟอสเฟอร์ตันยังเกิดแสงอีกชั่วขณะ เพื่อป้องกันการกระปริบของรูปภาพที่กินจอในออสซิลโลสโคปแบบทั่วไปจะใช้ฟอสเฟอร์ชนิดเรืองแสงได้ในเวลาสั้น เพราะความถี่ที่ใช้งานสูง

การบังคับทิศทางลำอิเล็กตรอน จะใช้สนามแม่เหล็กในการควบคุมซึ่งหลอดภาพของออสซิลโลสโคปใช้สนามไฟฟ้าสถิตย์เป็นตัวควบคุม

การสแกนภาพทางแนวนอนจะใช้เส้นสแกนจำนวน 256 เส้น เรียกว่า 1 ภาพ หรือ 1 เฟรม ใน 1 เฟรม จะแบ่งเส้นสแกนออกเป็น 2 ส่วนเรียกว่า ฟิวด์ (Field) ใน 1 ฟิวด์มีเส้นสแกนจำนวน 128 เส้น โดยแบ่งเป็นฟิวด์เส้นคู่และฟิวด์เส้นคี่ ดังนั้น 1 ภาพ หรือ 1 เฟรมก็จะมี 2 ฟิวด์

การแสดงผลภาพดิจิทัลทางออสซิลโลสโคป จะใช้ความสว่างของจุดที่เป็นองค์ประกอบภาพ มี 2 ระดับ คือมืดแทนด้วยลอจิก "0" และสว่างแทนด้วยลอจิก "1" การแสดงผลภาพทางดิจิทัลนี้จะแสดงผลภาพเป็นรูปภาพหรือตัวอักษรก็ได้ซึ่งถ้าจะแสดงผลภาพเป็นตัวอักษร ก็อาศัยซอฟต์แวร์ควบคุมในการแสดงผล

การสร้างภาพใช้หลักการของวิดีโอแรม โดยใช้หน่วยความจำมาแทนตำแหน่งเป็นองค์ประกอบของภาพในแต่ละตำแหน่ง โดยมีการกำหนดให้สามารถแสดงเส้นภาพทางแนวนอนได้ 256 เส้น และในแต่ละเส้นมีรายละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 256 จุด ดังนั้นหน่วยความจำที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ  $256 \times 256$  เท่ากับ 65,536 บิต หรือ 8 กิโลบิต (ในองค์ประกอบของภาพ 1 ตำแหน่งเท่ากับหน่วยความจำ 1 บิต) โดยแสดงหลักการสร้างภาพโดยใช้วิดีโอแรมไว้ในรูปที่ 3.13 วิธีการใช้วิดีโอแรมนี้ทำให้เราสามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำในตำแหน่งนั้น ดังนั้นจึงสามารถบังคับให้ตำแหน่งมืดหรือสว่างก็ได้



รูปที่ 3.13 หลักการสร้างภาพทางดิจิทัล

ภาคขยายสัญญาณของออสซิลโลสโคปมีหลายภาค เช่นภาค VER, HOR, Pre-Amp เป็นต้น แต่แกน Z เป็นส่วนสำคัญในการแสดงผลออกเป็นตัวหนังสือ โดยใช้ข้อมูลจากวิดีโอแรม และถูกเลือกข้อมูลออกมาแสดงผลโดยอาศัยวงจรนับเป็นตัวเลข ข้อมูลจากวิดีโอแรมเป็นข้อมูลแบบขนาน และจะถูกทำการเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลแบบอนุกรมด้วยวงจร PISO (Parallel In Series Out) แล้วป้อนให้แกน Z

แกน Z บางครั้งเรียกว่า Intensity Modulation เป็นการสอดแทรกสัญญาณเข้าไประหว่างกราวด์กับแคโทดหรือกับกริดของหลอด CRT สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากภาคทริกเกอร์ หรือจากแกน Z สัญญาณที่ป้อนเข้ามาจะทำให้แรงดันที่กริดหรือแคโทดสูงเพิ่มจนเกิดการคัทออฟ (Cut off) ขึ้นในหลอด CRT ภาพก็จะมีลดลง ในทางตรงถ้าจ่ายพัลส์บวกให้กับคอนโทรลกริด หรือให้พัลส์ลบกับแคโทด จะทำให้ภาพสว่างขึ้น

### 3.3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

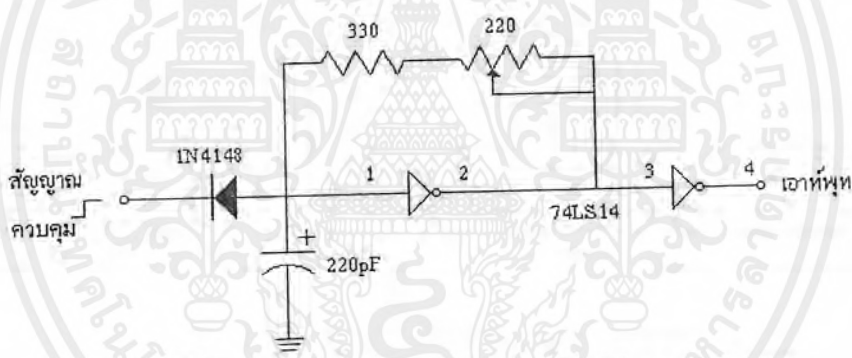
ในภาคควบคุมการทำงานแสดงผลทางจอภาพออสซิลโลสโคปนั้นประกอบด้วยวงจรหลายส่วน ดังนี้ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรนับ วงจรมัลติเพล็กซ์ชนิดสองทิศทาง วงจรบีฟเฟอร์

ชนิดสองทิศทาง วงจรวีดีโอแรม วงจรแอสซิงโครนัส วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นอนุกรม วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

### 1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

สัญญาณนาฬิกาในวงจรนี้จะมีความสำคัญคือ จะเป็นตัวส่งข้อมูลออกจากวงจร PISO (Parallel In Serial Out) ซึ่งวงจรนับที่ใช้กำหนดชุดข้อมูลในวีดีโอแรมนี้ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้จะมีค่าประมาณ 6 MHz วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เกรดแบบซิมิทริกเกอร์อย่างง่าย ๆ ความถี่ของวงจรถูกกำหนดโดยค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุโดยสมการดังนี้  $T = R \cdot C$  มีหน่วยเป็นวินาที

ที่อินพุทของวงจรจะเห็นว่า มีไดโอดต่ออยู่ด้วย ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อหยุดการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาในทุก ๆ เส้นภาพขณะเริ่มต้น กล่าวง่าย ๆ คือเป็นการทำให้การเริ่มต้นการสร้างสัญญาณนาฬิกาในทุก ๆ เส้นภาพเกิดขึ้นพร้อมกันทุก ๆ ครั้ง และการควบคุมการสร้างสัญญาณนาฬิกาในรูปแบบที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีขาควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.15 สัญญาณทางเอาต์พุทของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

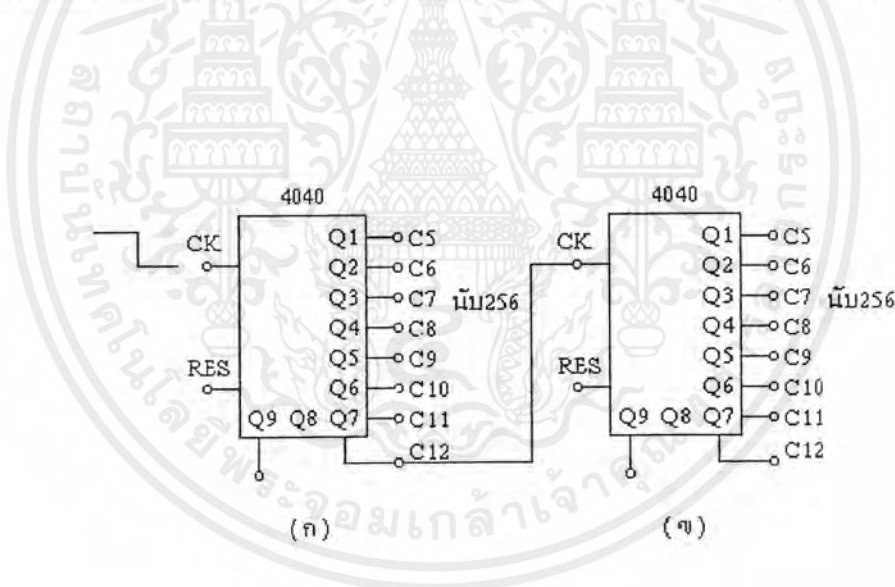
## 2. วงจรนับ

ในส่วนวงจรมานี้ จะมีวงจรมานับ 256 อยู่ 2 วงจร ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ในวงจรมานับ 256 ชุดแรก จะใช้ขา Q4-Q8 ซึ่งเป็นการนับ 32 ในการนับตำแหน่งของหน่วยความจำ ที่จะนำข้อมูลออกมาแสดงในแต่ละเส้นสแกน

การนับ จะนับเป็น 256 บิต ดังนั้นในแต่ละเส้นภาพจะสามารถแสดงข้อมูลได้เท่ากับ 256 บิต หรือ 256 จุดภาพในหนึ่งเส้นสแกน

ส่วนวงจรมานับ 256 อีกชุดหนึ่งจะใช้เลื่อนตำแหน่งของหน่วยความจำครั้งละ 1 ไบต์ เพื่อแสดงข้อมูลในภาพต่อ ๆ ไป การนับ 256 นี้เป็นการแสดงว่าวงจรมานับจะสามารถแสดงเส้นภาพได้ทั้งหมด 256 เส้นภาพ นั่นแสดงว่ารายละเอียดของภาพที่ปรากฏบนจอภาพจะเท่ากับ 65,536 จุดภาพ เทียบเป็นหน่วยความจำได้เท่ากับ 8,192 ไบต์หรือ 8 กิโลไบต์

การออกแบบวงจรมานับจะใช้ไอซีวงจรมานับเบอร์ 4040 ซึ่งเป็นวงจรมานับฐานสอง 12 สเตตต์ ต่อเป็นวงจรมานับ 256 ดังแสดงในรูปที่ 3.16 วงจรส่วนนี้การออกแบบสามารถใช้วงจรมานับพื้นฐานได้ทันที



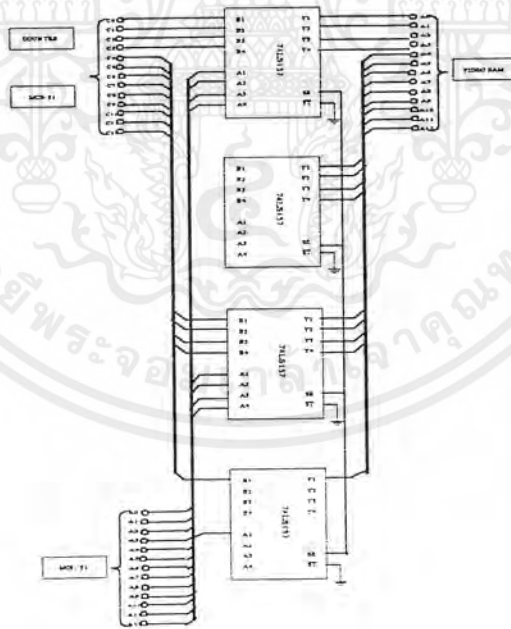
รูปที่ 3.16 ( ก ) วงจรมานับ 256 สำหรับข้อมูลในแต่ละเส้น  
( ข ) วงจรมานับ 256 สำหรับจำนวนเส้นภาพ

### 3. วงจรมัลติเพล็กซ์ชนิดสองทิศทาง

การส่งข้อมูลจากวีดีโอแรมขึ้นไปแสดงบนจอภาพนั้นจะอาศัยการนับจากวงจรมัลติเพล็กซ์ในหัวข้อที่ผ่านมา ส่วนข้อมูลภาพที่จะกำหนดลงบนวีดีโอแรมจะมาจากวงจรมัลติเพล็กซ์ของไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านทางบัสข้อมูล (Data Bus)

การเชื่อมต่อวงจรมัลติเพล็กซ์กับไมโครโปรเซสเซอร์จะเชื่อมต่อกันทางบัสแอดเดรส (Address Bus) ของวีดีโอแรม สัญญาณบัสแอดเดรสจากทั้งสองแหล่งดังกล่าว ไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับวีดีโอแรมได้โดยตรง จะต้องกระทำผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ชนิดสองทิศทาง เพื่อเป็นการเลือกบัสแอดเดรสจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งเท่านั้น

จากในหัวข้อที่แล้วกล่าวไว้ว่า หน่วยความจำที่ใช้มีความจุเท่ากับ 8 กิโลไบต์ ดังนั้นบัสแอดเดรสของหน่วยความจำจะต้องมี 13 เส้น ได้แก่ A0 ถึง A12 การออกแบบวงจรมัลติเพล็กซ์ชนิดสองทิศทางจะใช้ไอซีเบอร์ 74LS157 ซึ่งเป็นไอซีมัลติเพล็กซ์ชนิดสองทิศทางสี่ชุดจำนวนสี่ตัว อินพุต A และ B โดยสามารถเลือกสัญญาณจากอินพุต A และ B ได้โดยการควบคุมที่ขาเลือก (Select) ถ้าขา Select มีสถานะลอจิกเป็น “0” วงจรจะเลือกอินพุต A และหากขา Select มีสถานะลอจิกเป็น “1” วงจรจะเลือกอินพุต B ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 มัลติเพล็กซ์ชนิด 2 ทิศทาง

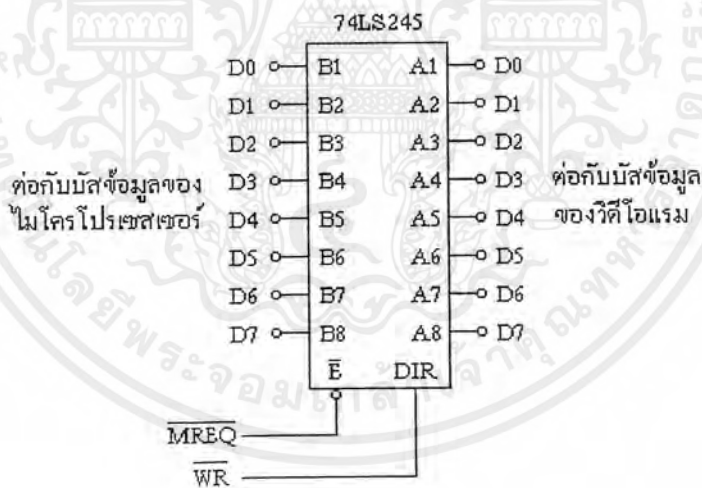
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. วงจรบัฟเฟอร์ชนิดสองทาง

วงจรบัฟเฟอร์ชนิดสองทางมีหน้าที่เชื่อมโยงบัสข้อมูลระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับวีดีโอแรม เพื่อใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนวีดีโอแรม โดยมีการกำหนดทิศทางของข้อมูลได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรบัฟเฟอร์ชนิดสองทิศทางในวงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74LS245 โดยอินพุต B ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนอินพุต A ต่อเข้ากับบัสข้อมูลของวีดีโอแรม ทิศทางการเคลื่อนที่ของข้อมูลถูกกำหนดโดยขา DIR เมื่อขา DIR มีลอจิกเป็น “1” ข้อมูลจะผ่านจาก A ไป B และหากขา DIR เป็น “0” ข้อมูลจะผ่านจาก B ไป A ขา DIR นี้จะต่อกับขาสัญญาณ  $\overline{WR}$  ( Write ) ของไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อบังคับทิศทางของข้อมูล

ส่วนขา  $\overline{E}$  จะถูกต่อกับสัญญาณ Memory Request ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้ไอซีเบอร์ 74LS245 ทำงานหรือไม่ทำงาน ซึ่งเปรียบเสมือนวงจรถูกแยกตัวออกจากระบบ และถ้าเมื่อใดขา  $\overline{E}$  นี้ได้รับลอจิก “0” ตัวไอซีจะทำงานและขณะนี้จะสามารถบังคับทิศทางได้ที่ขา DIR ทั้งนี้ วงจรบัฟเฟอร์ชนิดสองทิศทางนี้แสดงดังรูปที่ 3.18



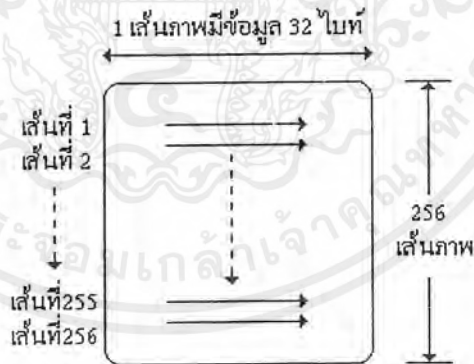
รูปที่ 3.18 วงจรบัฟเฟอร์ชนิดสองทิศทาง

## 5. วีดีโอแรม

วีดีโอแรมเป็นการใช้หน่วยความจำมาแทนตำแหน่งข้อมูลของภาพที่ปรากฏบนจอภาพตามที่ได้กล่าวไปในตอนต้น ๆ แล้วว่า ความละเอียดของภาพที่จะใช้งานคือ มีจำนวน 256 จุดภาพในเส้นภาพหนึ่งเส้น และมีจำนวนเส้นภาพเท่ากับ 256 เส้นภาพ ดังนั้นหน่วยความจำจึงมีความจุเท่ากับ 65,536 หรือ 8 กิโลไบต์

หน่วยความจำขนาด 8 กิโลไบต์ จะมีตำแหน่งแอดเดรสตั้งแต่ 8000H จนถึงทั้งหมดของจุดภาพและเส้นภาพในหนึ่งเส้นภาพจะแสดงข้อมูลเท่ากับ 256 จุดภาพ ซึ่งเท่ากับ 32 ไบต์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแต่ละตำแหน่งได้ตามต้องการ ในรูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นตำแหน่งต่าง ๆ ของข้อมูลบนวีดีโอแรม

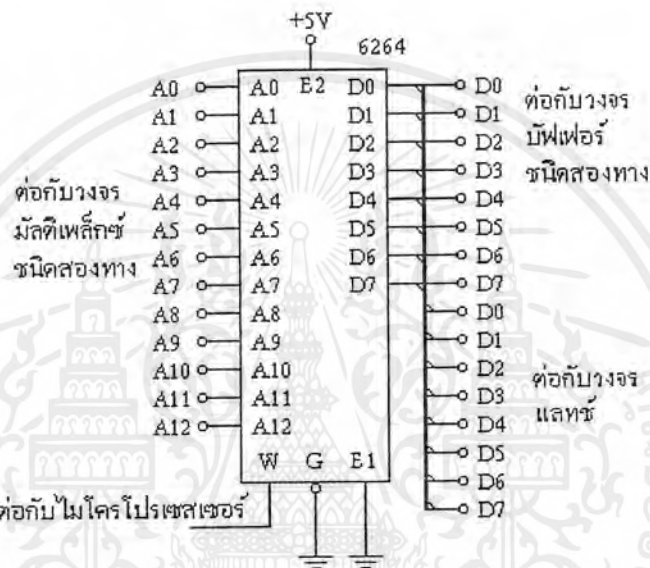
หน่วยความจำวีดีโอแรมที่กล่าวถึงนี้มีความจุเท่ากับ 8 กิโลไบต์ ดังนั้นจะใช้ไอซี RAM เบอร์ 6264 ซึ่งจะมีความเหมาะสมคือ เป็นหน่วยความจำแบบขนาน ความจุเท่ากับ 8 กิโลไบต์ ใช้แหล่งจ่ายไฟประมาณ 5 โวลต์ สามารถเชื่อมต่อกับไอซี TTL ได้โดยตรง บัสแอดเดรสของวีดีโอแรม จะรับอินพุตมาจากวงจรมัลติเพล็กซ์ชนิดสองทิศทาง ส่วนบัสข้อมูล จะต่อกับวงจรบัฟเฟอร์ชนิดสองทิศทางและวงจรถอดรหัส การอ่านหรือเขียนข้อมูลสามารถควบคุมได้ที่ขา  $\bar{E}$  หากขา  $\bar{W}$  ได้รับลอจิก "0" จะเป็นการเขียนข้อมูลลงบนวีดีโอแรม และหากขา  $\bar{W}$  ได้รับลอจิก "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากวีดีโอแรมออกมา



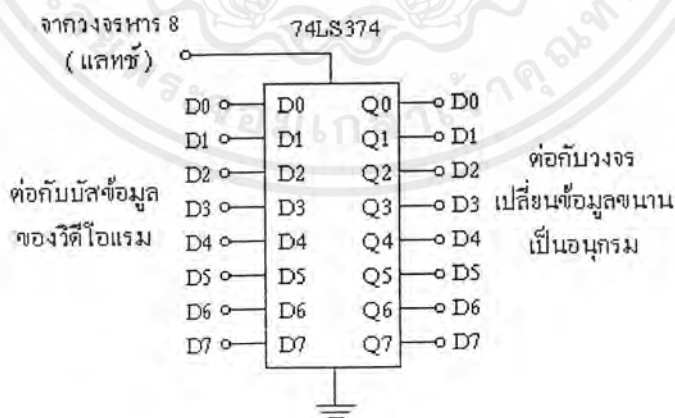
รูปที่ 3.19 ตำแหน่งของข้อมูลบนวีดีโอแรม

## 6. วงจรแลตช์

วงจรถ่ายจะทำหน้าที่คงสถานะข้อมูลจากวีดิโอแรมครั้งละ 8 บิตหรือ 1 ไบต์ ก่อนที่จะส่งข้อมูลให้กับวงจรถ่ายเปลี่ยนข้อมูลจากข้อมูลขนานเป็นข้อมูลอนุกรม วงจรแลตช์ในที่นี้ใช้ D ฟลิปฟล็อปเบอร์ 74LS374 ซึ่งภายในมี D ฟลิปฟล็อปอยู่ 8 ตัวเท่ากับ 8 บิตพอดี วงจรแลตช์นี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.20 ข้อมูลทางอินพุตจะถูกแลตช์ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแลตช์เป็นขอบขาขึ้น สัญญาณแลตช์นี้จะ ได้มาจากไอซีเบอร์ 74LS14



รูปที่ 3.20 วงจรหน่วยความจำของวีดิโอแรม

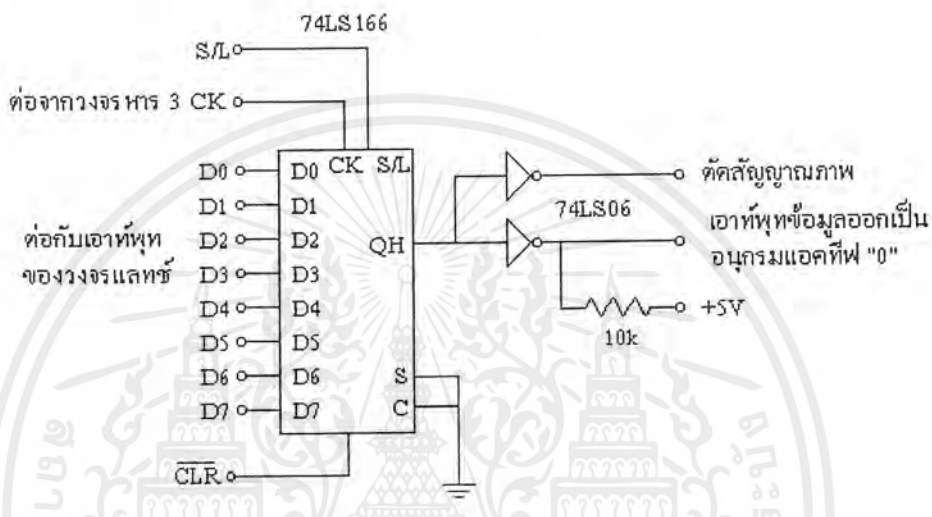


รูปที่ 3.21 วงจรแลตช์ข้อมูลขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นข้อมูลอนุกรม

วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นข้อมูลอนุกรมหรือ PISO (Parallel In Serial Out) จะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลแบบอนุกรม เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลนี้ไปยังออสซิลโลสโคปให้สัมพันธ์กัน วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นข้อมูลอนุกรมนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.22



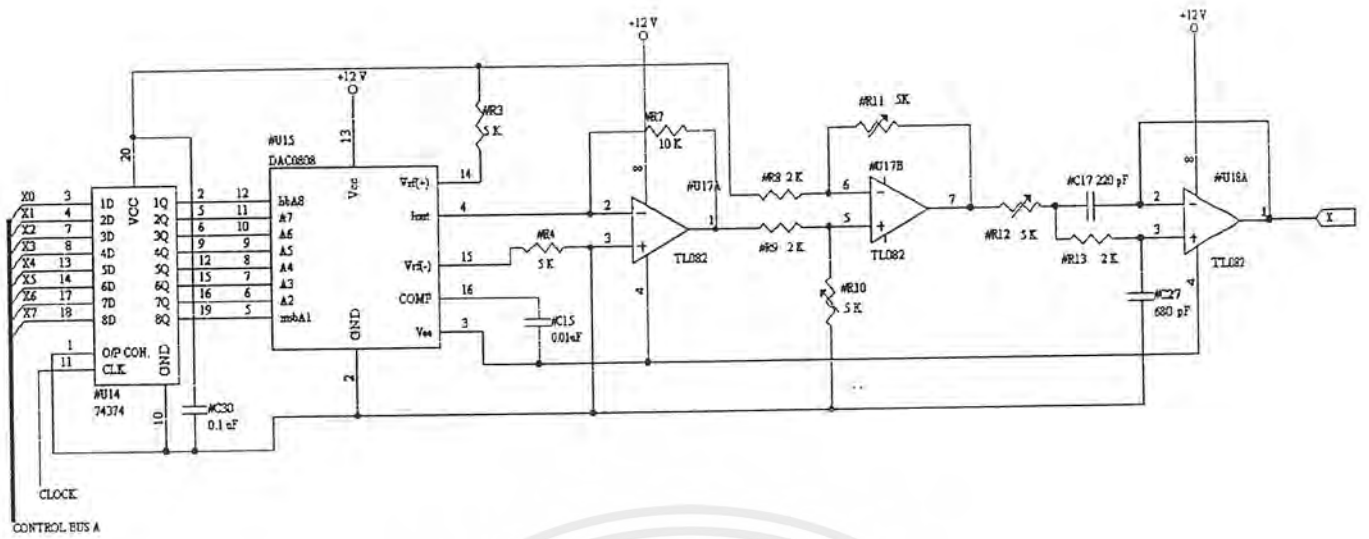
รูปที่ 3.22 วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นอนุกรม 8 บิต

## 8. การส่งข้อมูลเพื่อขับหลอดภาพ

ข้อมูลสุดท้ายจากวงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นข้อมูลอนุกรม จะถูกนำไปขับหลอดภาพโดยต่อเข้ากับแกน Z ของออสซิลโลสโคป ซึ่งจะนำไปขยายสัญญาณขับขั้วแคโทดของหลอดภาพออสซิลโลสโคป

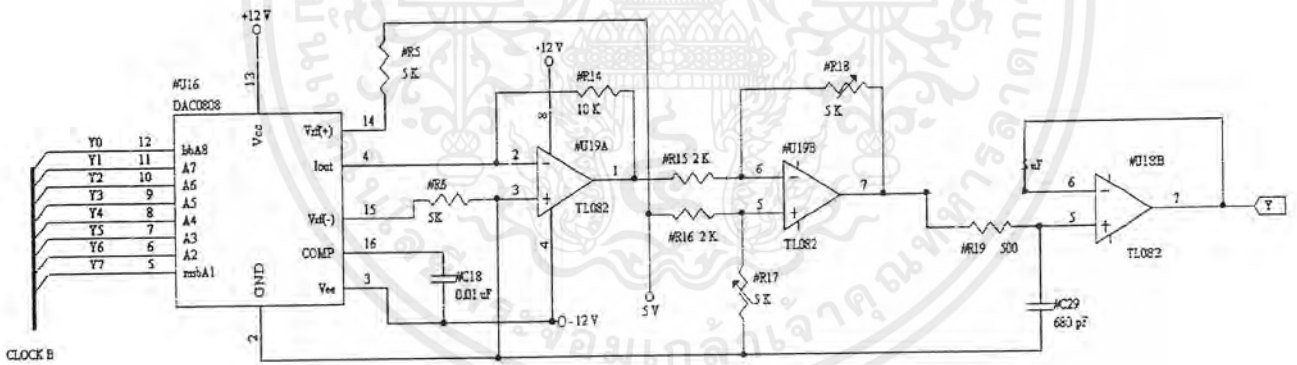
## 9. วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

จากวงจรในรูปที่ 3.27 เป็นวงจรสร้างสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย เมื่อเคาท์เตอร์ทำการนับตั้งแต่ 0-256 ผ่านไอซีเบอร์ 74LS374 เพื่อทำการคงสถานะไว้ จากนั้นไอซีเบอร์ DAC0808 ก็จะทำการเปลี่ยนข้อมูลแบบบิตให้เป็นกระแส แล้วทำการเปลี่ยนให้เป็นแรงดันที่เป็นทั้งบวกและลบ แล้วนำไปผ่านวงจรฟิลเตอร์เพื่อให้สัญญาณที่ได้เป็นเชิงเส้น เพื่อนำไปสแกนหน้าจอออสซิลโลสโคปทางแกน X



รูปที่ 3.23 วงจรสร้างรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อยทางแกน X

ส่วนในวงจรรูปที่ 3.24 เป็นวงจรสร้างสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อยเช่นเดียวกับรูปที่ 3.23 แต่นำไปสแกนหน้าจอออสซิลโลสโคปทางด้านแกน Y

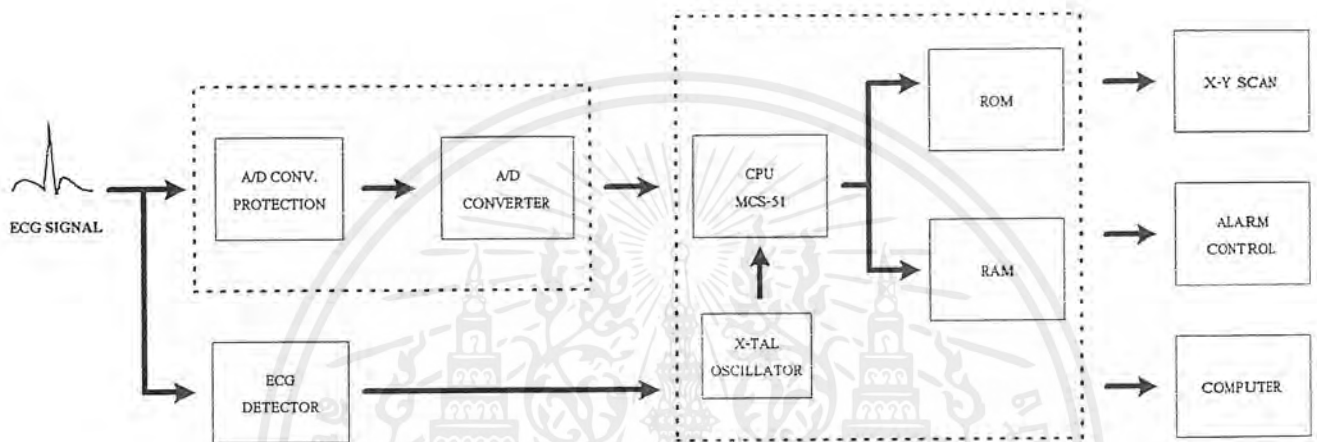


รูปที่ 3.24 วงจรสร้างรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อยทางแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบและการสร้างภาคประมวลผล (Processing Unit)

จากบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปเราจะพบว่าหัวใจของโครงการชิ้นนี้ก็คือภาคประมวลผล ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 โดยในเบื้องต้นก่อนที่จะออกแบบเราต้องรู้ถึงการเชื่อมต่อเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ซึ่งในที่นี้ใช้งานร่วมกับบวจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล แสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมของภาคประมวลผล

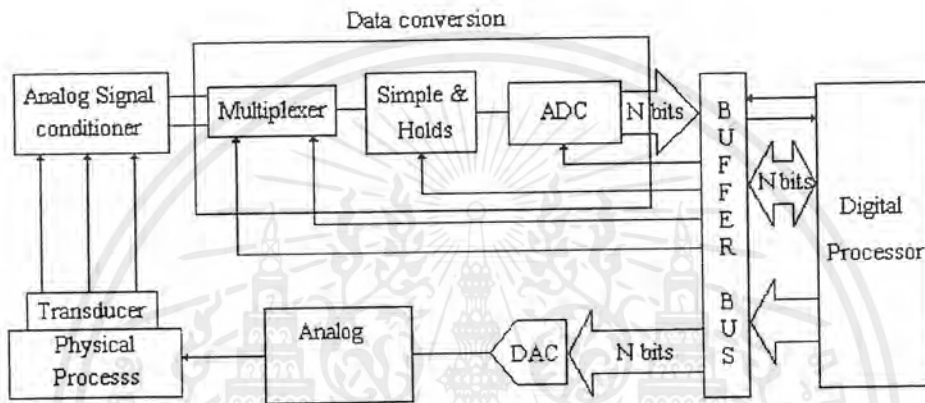
จากบล็อกไดอะแกรมเราต้องใช้ความรู้เรื่องการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะประมวลผลได้ การออกแบบสามารถแยกออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

#### 3.4.1 วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter : ADC)

รูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่เราพบเห็นและคุ้นเคยในชีวิตประจำวันอยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่ต่อเนื่องเรียกว่าสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) ซึ่งแต่เดิมการนำเอาสัญญาณไฟฟ้างกล่าวมาประมวล (Process) เพื่อให้มีรูปแบบที่เหมาะสมจะกระทำในแบบอนาล็อก แต่เมื่อเทคนิคและอุปกรณ์ประมวลสัญญาณดิจิทัลได้รับการพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากพบว่าในรูปแบบของดิจิทัล การประมวล เก็บ สื่อสาร และการนำเสนอกระทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณ (Conversion) จึงได้มีความจำเป็นขึ้นมา ในรูปที่ 3.13 เป็นตัวอย่างแสดงระบบควบคุมที่ใช้การประมวลข้อมูลในระบบดิจิทัล ในระบบที่ยกมาเป็นตัวอย่างนี้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใด ๆ ก็ตาม (Physical process) เช่น ความดัน อุณหภูมิ ฯลฯ จะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่อง (สัญญาณอนาล็อก) โดยทรานสดิวเซอร์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับรูปแบบทางกายภาพนั้น สัญญาณไฟฟ้านั้นจะถูกปรับให้อยู่ในรูปและขนาดที่เหมาะสมก่อนโดย Analog signal conditioner เช่น วงจรขยายหรือ ฟิลเตอร์ เป็นต้น ADC จะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ตัวประมวลผลทางดิจิทัล (Digital processors) เช่น คอมพิวเตอร์ จะจัดการกับข้อมูลเพื่อนำเสนอหรือถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปแบบอนาล็อกโดย DAC เพื่อป้อนกลับไปควบคุม Physical Process



รูปที่ 3.26 ระบบควบคุมที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิทัล

หลังจากที่เราได้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีค่าเหมาะสม เราต้องทำการเพิ่มส่วนของการป้องกันความเสียหายของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC Input Protection) เนื่องจากที่เราใช้ไฟเลี้ยงออปแอมป์ซึ่งมีทั้งบวกและลบ ค้างนั้นอาจเกิดเหตุการณ์ที่สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีแรงดันเป็นลบ ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้ จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันทางด้านอินพุทของเอดีซี คอนเวอร์เตอร์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.27

#### อัตราการแซมปลิง (Sampling Rate)

อัตราการแซมปลิง คือ ค่าความถี่ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นอนาล็อกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล เช่น สัญญาณอนาล็อกอินพุทความถี่ 1 Hz เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ค่า 1,000 ค่า หมายถึงมีอัตราการแซมปลิงเท่ากับ 1,000 เป็นต้น

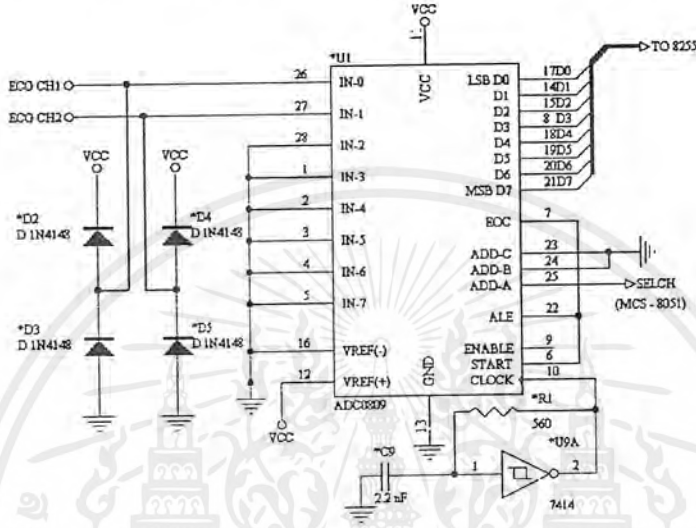
การคำนวณหาอัตราการแซมปลิงสูงสุด (Maximum Sampling Rate) หาได้จากสูตร

$$F_s = \frac{1}{n(T_s + T_t)} = \frac{1}{m(n_{\text{Channel}})(R_{\text{ON}})C_d) + T_t} \quad \dots(3.6)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } m &= 6 * RC \text{ Time Constant (8 Bit)} \\ &= 8 * RC \text{ Time Constant (12 Bit)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

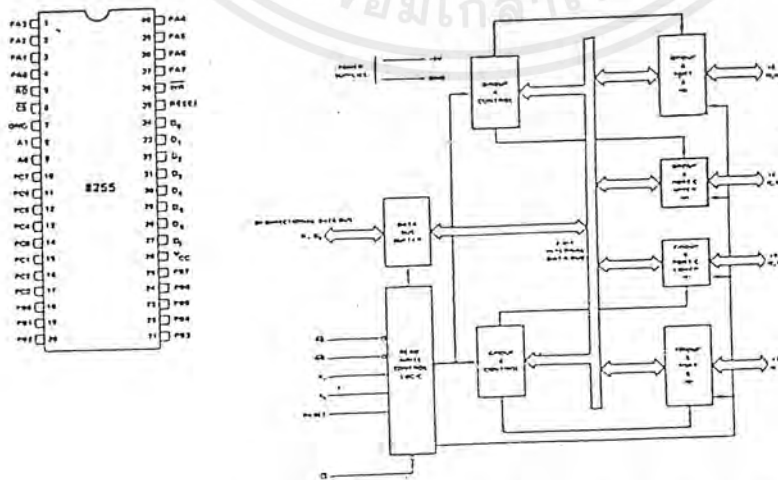
เราคำนวณโดยใช้ข้อมูลของไอซีเบอร์ ADC0809 ซึ่งแทนค่าต่างๆ ลงในสมการเราก็จะได้ความถี่ในการแซมปลิงสูงสุดคือ 138.5 kHz แต่ในการใช้งานทั่วไปนั้นสัญญาณอินพุทจะเกิดค่าเวลา Roll Off และค่า RC Delay ดังนั้นจึงมีค่าแฟคเตอร์ในการคำนวณเกิดขึ้น โดยทั่วไปความถี่ที่ใช้งานได้คือจะใช้แฟคเตอร์เท่ากับ 4 ดังนั้นความถี่แซมปลิงที่ใช้งานได้จริงคือ 34.63 KHz



รูปที่ 3.27 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรป้องกันทางอินพุท

### 3.4.2 วงจรเชื่อมต่อไอซี 8255 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (8255 Interfacing)

ไอซี 8255 เป็น IC PORT ที่สามารถโปรแกรมการทำงาน ได้ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาใช้กับ 8080 แต่ก็สามารถนำมาใช้กับ MCS - 51 ได้ง่ายคาย



รูปที่ 3.28 แสดงขาต่างๆและ โครงสร้างภายใน ของไอซีเบอร์ 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าตัว IC มีอยู่ 3 PORT ที่ใช้งานคือ PORT A, PORT B มีขนาด 8 BIT และ PORT C โดยที่ PORT C ยังสามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น PORT ละ 4 BIT จึงทำให้มี PORT C บน และ PORT C ล่าง การต่อใช้งานก็จะมีขาที่เป็น INPUT ให้กับตัว IC มีดังนี้

- D0-D7 ต่อเข้ากับ DATA BUS ของ CPU เพื่อใช้สำหรับรับส่งข้อมูลกันระหว่าง PORT กับ CPU

- A0-A7 ขา ADDRESS ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการกำหนด PORT ว่าเรียก PORT อะไรเป็น PORT A B หรือ C จากที่กล่าวมาแล้วสถานะที่เราคิดมีเพียง ON กับ OFF ดังนั้น IC ตัวนี้จึงมีเบอร์ PORT ในตัวมัน 4 PORT เพราะมีสาย ADDRESS 2 เส้น = 22 และเราได้กล่าวมาแล้ว 3 PORT ดังนั้นจึงเหลืออีก PORT หนึ่ง ซึ่ง PORT ตัวนี้จะเป็นตัวที่สำคัญที่สุดในการทำงานของ IC ตัวนี้ ซึ่งก่อนที่จะให้ IC ตัวนี้มีหน้าที่อะไรนั้นจะต้องทำการสั่งหน้าที่ของ IC ให้กับ PORT นี้เสียก่อนเรียก PORT นี้ว่า CONTROL PORT

- RESET เป็น "1" ใช้ CLEAR สถานะต่างๆของ 8255

- PA0 – PA7 เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต

- PB0 – PB7 เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต

- PC0 – PC7 เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต

-  $\overline{RD}$  ในการอ่านข้อมูลที่พอร์ท 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก "0" พร้อมกับขา CS

-  $\overline{WR}$  ในการเขียนข้อมูลหรือโปรแกรมลงบน 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก "0" พร้อมกับ CS

- CS เป็นขาเลือกให้ 8255 ทำงานมักจะต่อกับระบบ I/O Decoder

MODE การทำงานของ 8255

8255 มีการทำงานโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3 MODE คือ

- MODE 0 มีการทำงานแบบ Basic I/O ไม่มี Handshaking

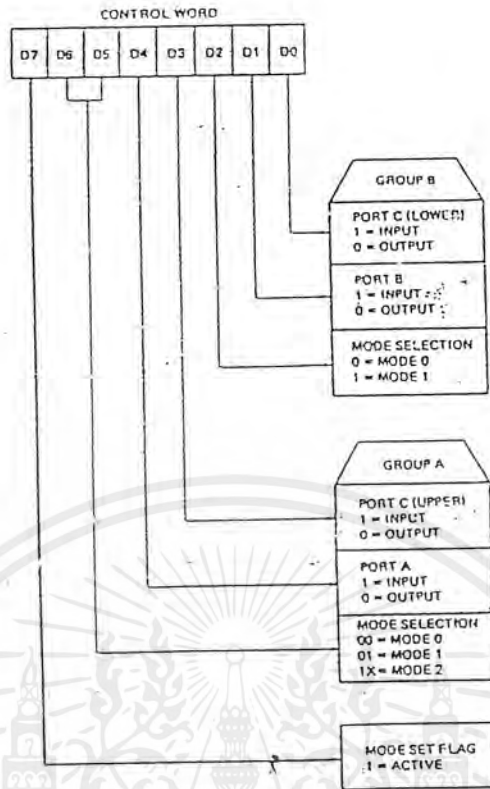
- MODE 1 ใช้พอร์ท A, B ในการรับส่งข้อมูล และใช้พอร์ท C ในการตรวจสอบสัญญาณ Handshake

- MODE 2 ใช้พอร์ท A ในการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทาง และใช้พอร์ท B ในการรับหรือส่งข้อมูล ส่วนพอร์ท C บิต 0, 1, 2 ใช้ในการส่งข้อมูล และบิต 4, 5, 6 เป็นสัญญาณ Handshake

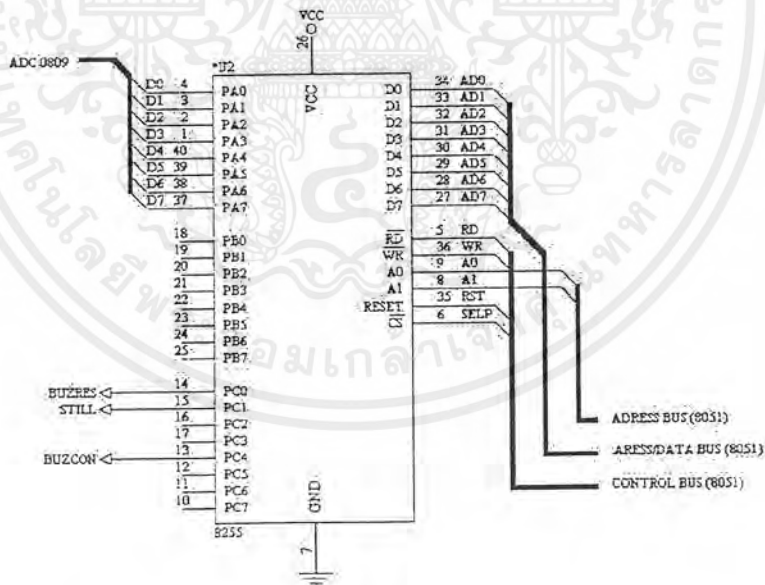
PORT ที่ใช้สำหรับ CONTROL

การใช้ 8255 จะต้องส่งรหัสควบคุม (CONTROL BYTE) เข้าไปยัง PORT ข้อมูลควบคุม (PORT สุดท้ายใน 4 PORT คือที่ A1 กับ A0 เป็น 1 เช่น PORT 8003H) เพื่อควบคุมการทำงานของ 8255 ว่าเป็นการทำงานใน MODE ไหนและให้แต่ละ PORT เป็น INPUT หรือ OUTPUT PORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 ความหมายของบิตต่างๆ ของรหัสควบคุม



รูปที่ 3.30 วงจรเชื่อมต่อ 8255 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

จากวงจรการเชื่อมต่อข้างบนเราได้ออกแบบการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานไว้ดังนี้

- 8000H เป็นพอร์ท A ใช้ในการรับข้อมูลดิจิทัลจากวงจรแปลงสัญญาณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยต่อลักษณะการรับ-ส่งข้อมูลแบบขนาน

- 8001H เป็นพอร์ต B ในที่นี้เรายังไม่ได้ใช้งานจึงปล่อยไว้เฉยๆ

- 8002H เป็นพอร์ต C เราใช้เป็นพอร์ตที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยออกแบบให้พอร์ต C ต่ำ (PC0-PC3) เป็นพอร์ตอินพุต และพอร์ต C บน (PC4-PC7) เป็นพอร์ตเอาต์พุต

- 8003H เป็นพอร์ตควบคุมเพื่อใช้การควบคุมการทำงานของพอร์ตต่างพร้อมกับตั้งค่าโหมดการทำงานของ 8255 อีกด้วย จากการออกแบบการทำงานที่ผ่านมาของ 8255 เราจะใช้คำสั่งควบคุม (Control Word) มีค่าเท่ากับ 91H

### 3.4.3 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller interfacing)

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นเราสามารถที่จะนำมาออกแบบวงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์สิ่งที่เราต้องทราบในเบื้องต้นคือสถาปัตยกรรมเบื้องต้นและการใช้งานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 เสียก่อน

#### 3.4.3.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ลักษณะทั่วไป ของMCS-51 จะประกอบด้วย

1. สร้างโดยใช้ HMOS และ DHMOS เทคโนโลยีและการทำงานด้วย แหล่งจ่ายไฟขนาด 5 V เพียงแหล่งเดียว
2. CPU มีขนาด 8 Bit
3. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรมานาฬิกาบนชิป
4. ชุดแบงก์ (BANK) รีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 ตัว
5. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2ชุด และสำหรับเบอร์ 8032 , 8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ต I/Oแบบขนาน 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่เหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น ใช้ในการเข้าถึงทางแอสแตรมและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งไซเคิลคำสั่งจะใช้เวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใส่คริสตอล 12 เมกกะเฮิร์ตซ์
9. แอสแตรมข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอสแตรมโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาด ไบต์ หรือบิตได้โดยตรง
12. มีซอร์ฟแฟลคสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. โครงสร้างอินเทอร์รัพท์ทำได้ 5 แพล่ง และ 6 แพล่ง สำหรับ 8032/8052 พร้อมด้วยการจัดไพรออริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ

14. ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ ใช้งานควบคู่กัน

15. มีคำสั่งคูณและหารทางฮาร์ดแวร์ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที

16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ใช้ได้ทั้งแบบไบนารี (Binary) และ เดซิมาล (Decimal)

17. การใช้พื้นที่สแต็คสำหรับโปรแกรมย่อยต่างๆทำได้กว้างขึ้น

18. ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะมีชุดคำสั่งของ MCS-48 ครอบคลุม MCS-51 จะมี ทั้งแบบ ROM ในตัว หรือ ไม่มี ROM หรือมี EPROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน

### 3.4.3.2 การจัจัดขาลักษณะภายนอกของ MCS-51

จากรูปที่ 3.31 แสดงการจัดขาลักษณะภายนอกของชิป MCS-51 ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1. ขา Vss (ขา 20) เป็นขาสำหรับต่อลงดิน

2. ขา Vcc (ขา 40) เป็นขาที่ต่อลงดินไฟกระแสตรงขนาด 5 V. และใช้สำหรับการโปรแกรม

3. ขา PORT 0 (PO.0 – PO.72 AD0 – AD7) ( ขา 32-39) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบ Open Drain Bi-directional สามารถที่จะรับโหลดที่ที่แอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า “1” ไปที่พอร์ตนี้จะเป็นการปล่อย (Float) ขา ของพอร์ตนี้ทำให้มันทำงานเป็นอินพุท มีสถานะอิมพีแดนซ์สูง ในการพอร์ตนี้ให้บริการแบบไอโอพอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพล็กซ์ด้วยสัญญาณแอดเดรสไบต์เดียวกับบัสข้อมูล สำหรับการใช้งานในด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูลอัพ พอร์ต 0 ยังใช้งานเป็นตัวส่งข้อมูลทางพอร์ตนี้ เมื่อใช้บริการทางด้านการ ตรวจสอบโปรแกรม ROM ภายในและการโปรแกรมตัว EPROM ภายใน ถ้าใช้งานภายในลักษณะนี้การพูลอัพภายนอกจะต้องมีค่าด้วยค่า 10 กิโลโอห์ม

4. ขา PORT 1 (P1.0 – P1.7) (ขา 1-8) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พร้อมด้วยพูลอัพภายใน ถ้าเป็นพอร์ต เอาต์พุท บัฟเฟอร์สามารถขับโหลดที่ที่แอล ครอบคลุมแอลเอสไอได้ 4 ตัว, พอร์ต 1 เมื่อถูกเขียนค่า “1” ด้วยโปรแกรมมันจะมีสถานะสูงด้วย การพูลอัพภายใน การให้สถานะเช่นนี้จะเป็นการ Initial ใช้งานพอร์ตนี้ให้เป็นอินพุท ขณะที่พอร์ต 1 เป็นอินพุทการ ให้สัญญาณลงค่าจะเป็นการจ่ายกระแสออก เนื่องจากการพูลอัพ ภายใน

5. ขา PORT 2 (P2.0 – P2.7) (ขา 21 - 28) เป็น พอร์ตไอโอ 8 บิตแบบ Open Drain Bidirectional ด้วยการพูลอัพภายในพอร์ต 2 ที่ทำหน้าที่ เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุต สามารถจ่ายโหลดที่แอลแอดเดรสครอบคลุมแอลเอสไอได้ 4 ตัว พอร์ตจะ ถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อ ให้แอดเดรสได้ ถึง 16 บิตด้วยการใช้งานแบบนี้ มันจะมีพูลอัพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในที่ช่วยให้ การส่งค่า “1” ได้ระดับที่แน่นอน นอกจากการใช้งานสำหรับ แอดเดรสอันดับสูง ยังเป็นขาคควบคุมในการใช้งานการตรวจสอบ และเขียนโปรแกรมเบอร์ 8751 และตรวจสอบ โปรแกรมภายใน 8051

6. ขา PORT 3 (P3.0 P.07) (ขา 10-17) เป็น พอร์ตไอโอ 8 บิตแบบพูลอ์พภายใน นอกจาก ทำ ที่สามารถรับโหลด ที่มีแอดพวคตระกูล แอลเอสได้ 4 ตัว แล้วยังใช้งานเป็นพิเศษสำหรับตระกูล MCS-51 การที่จะทำงานจะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการส่ง ค่า “1” ไปแลพชไว้ก่อนที่ ให้ทำงานตาม ฟังก์ชันข้างบน

7. ขา RST (ขา 9) ต้องคงสถานะค่าสูงเป็นเวลาประมาณ อย่างน้อย สองไซเคิล ระหว่างที่ ออสซิลเลเตอร์ทำงานขณะที่ต้องการรีเซททั้งระบบงาน โดยจะต่อรีจิสเตอร์พุดควาน์ (8.2 กิโลโอห์ม) จากขา RST ไปลงดินและเพื่อให้ตัวปริเซต ใค้คโนมิคขณะเปิดไฟจะใช้คาปาซิเตอร์ (10ไมโครฟา รัด) ต่อคร่อม ระหว่างขา RST กับขา Vcc

8. ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นแอดเดรสแลพชอื่นาเบิ้ลด้วยการส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับ แลพชค่าแอดเดรสไบท์ค่าจากพอร์ด 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำ ภายใน ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วคงที่ ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีการเข้าถึงข้อมูล จากภายใน, ดังนั้นจึงจะสามารถจะใช้สัญญาณจากขานี้เป็นตัวเวลา ภายนอก หรือเป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนี้จะลดความถี่ช้าลงไป ทำหนึ่ง ระหว่างการทำงานแบบเข้าถึงของหน่วยความจำภายนอก, ขานี้ยังใช้เป็นสัญญาณพัลส์เข้า สำหรับการควบคุมโปรแกรม EPROM ภายในชิป

9. PSEN (Program Storage Enable)(ขา 29) เป็นสโตรปอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ ภายนอก เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขา PSEN จะสร้างสโตรปค่าสองครั้งภายในแต่ละ ไซเคิล สัญญาณจะมีสถานะสูงหรือพัลส์ต่ำ ทั้งสองลูกจะหายไปเมื่อทำงานในช่วงการอ่านหรือ เขียนข้อมูล จากหน่วยความจำภายนอกและ PSEN จะไม่มีพัลส์ส่งออกถ้าชิปทำงานด้วยโปรแกรม หน่วยความจำภายใน

10. EA/Vpp (ขา 31) มีสถานะสูง ตัว CPU ในชิปจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ในหน่วย ความจำภายใน (โดยที่โปรแกรมจะต้องไม่ยาวกว่า 4 Kbytes สำหรับเบอร์ 8051AH และ 8 Kbytes สำหรับเบอร์ 8052AH) การทำให้ EA มีสถานะต่ำจะเป็นการควบคุมให้ CPU ทำงานตามโปรแกรม หน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 Kbytes ในตัว 8031AH และ 8032AH ขาEA จะต้องต่อลงดินเช่นกัน

11. ขา XTAL (ขา19) ใช้เป็นตัวอินพุทเข้าสู่ออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

12. ขา XTAL2 (ขา18) ใช้เป็นตัวเอาท์พุทจากออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 แสดงการจัดตำแหน่งขาภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

เมื่อเราได้ทำการศึกษากันเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างภายนอกและตำแหน่งของขาต่างๆ แล้วก็สามารถออกแบบการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถหาได้จากคู่มือและตำราเกี่ยวกับเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ได้ที่สำคัญคือ

1. การต่อ ROM ในโครงงานนี้เราจะใช้เป็น EPROM เบอร์ 2764 มีขนาด 64 Kbytes ซึ่งได้ออกแบบการทำงานไว้ที่แอดเดรส 0000H – 1FFFH ซึ่งปกติแล้วจะทำหน้าที่เป็นมอนิเตอร์โปรแกรม (Monitor Program) ในการทดลองเบื้องต้นเราจะใช้อีมูเลเตอร์ (EPROM Emulator) เป็นตัวเขียนโปรแกรมก่อนเพื่อง่ายต่อการแก้ไขโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่

2. การต่อ RAM ในโครงงานนี้ใช้ RAM เบอร์ 6264 มีขนาด 64 Kbytes ซึ่งได้ออกแบบการทำงานไว้ที่แอดเดรส 2000H – 3FFFH ให้ทำหน้าที่พักข้อมูลในระหว่างการประมวลผล

3. การต่อวงจรส่วนของเอ็ดจี คอนเวอร์เตอร์ โดยการเชื่อมต่อที่พอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และต่อขาอินเทอร์รัพท์ถึงกันเพื่อทำการส่งและรับข้อมูลได้ถูกต้อง

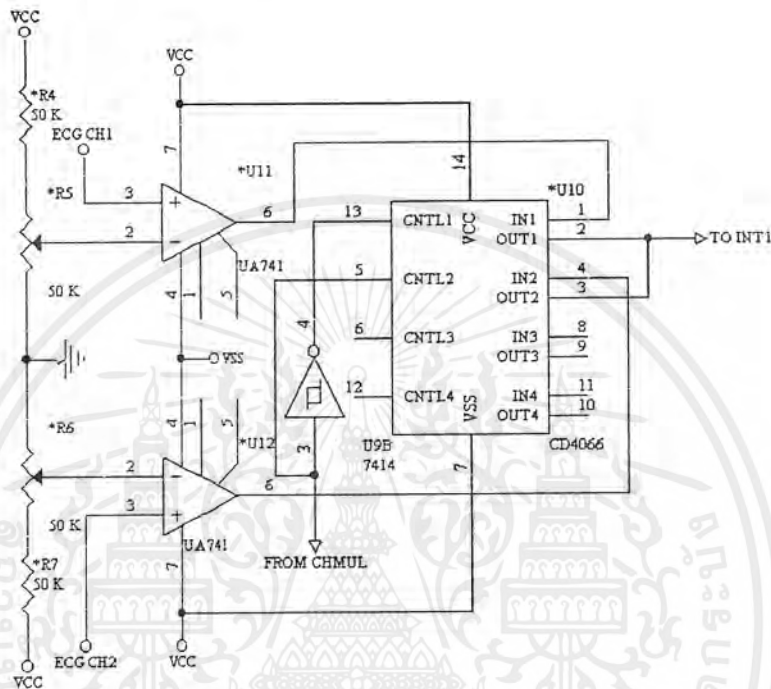
4. การต่อวงจรถอดรหัส (Decoder) โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS138 ซึ่งเป็นตัวถอดรหัสแบบ 3 to 8 Line เพื่อแยกการทำงานของ ROM และ RAM ให้เป็นอิสระต่อกัน

5. การต่อสัญญาณอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น สัญญาณรีเซท วงจรกำเนิดความถี่ วงจรแยกสัญญาณข้อมูลและสัญญาณแอดเดรสออกจากกัน การรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ทอนุกรม สามารถต่อได้ตามลักษณะข้อกำหนดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 การทำงานของวงจรนับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Detector)

วงจรที่ใช้ในการนับคลื่นไฟฟ้าหัวใจในที่นี้มีหลักการทำงานของวงจรคอมพาราเตอร์ (Comparator Circuit) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.32

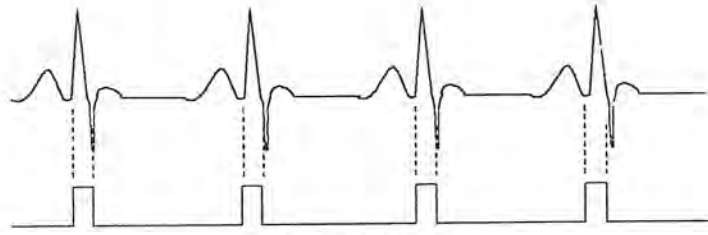


รูปที่ 3.32 แสดงวงจรที่ใช้ในการตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

การทำงานของวงจรนี้ใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบแรงดันหรือวงจรคอมพาราเตอร์ โดยหลักการทำงานโดยทั่วไปแสดงในรูปที่ ซึ่งสัญญาณอินพุต ( $V_{IN}$ ) ที่เข้ามาจะต่ออยู่กับขาอินพุตอินเวอร์ตติ้งและแรงดันอ้างอิง ( $V_{REF}$ ) จะต่ออยู่กับขาอินเวอร์ตติ้ง เมื่อแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่า แรงดันเปรียบเทียบอย่างน้อย  $1 \text{ mV}$  ค่าอัตราขยายของวงจร Open - Loop ซึ่งมีค่าสูงของออปแอมป์ จะให้เอาต์พุตมีค่าเท่ากับ  $+V_{SAT}$  โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่าไฟเลี้ยงอยู่ประมาณ  $1.4 - 2 \text{ V}$

สมมติให้ออปแอมป์มีอัตราขยายของ Open - Loop อยู่เท่ากับ  $200,000$  เมื่อ  $V_{IN} - V_{REF} = 1 \text{ mV}$  ค่าแรงดันเอาต์พุต จะมีค่า  $200,000 \times 1 \text{ mV} = 200 \text{ V}$  อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าไฟเลี้ยงของออปแอมป์ ด้านบวกมีค่า  $+5 \text{ V}$  จะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าประมาณ  $+3 \text{ V}$  (เมื่อ  $V_{IN} > V_{REF}$ ) ในตรงกันข้ามเมื่อไรก็ตามที่  $V_{IN} < V_{REF}$  ค่าแรงดันเอาต์พุตก็จะมีค่าประมาณ  $-3 \text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

(ก)



(ข)

รูปที่ 3.33 (ก) การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันโดยทั่วไป

(ข) การทำงานของวงจรตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

สรุปการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_o &= V_{+SAT} && \text{เมื่อ } V_{IN} > V_{REF} \\
 &= V_{-SAT} && \text{เมื่อ } V_{IN} < V_{REF} \\
 &= 0 && \text{เมื่อ } V_{IN} = V_{REF}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

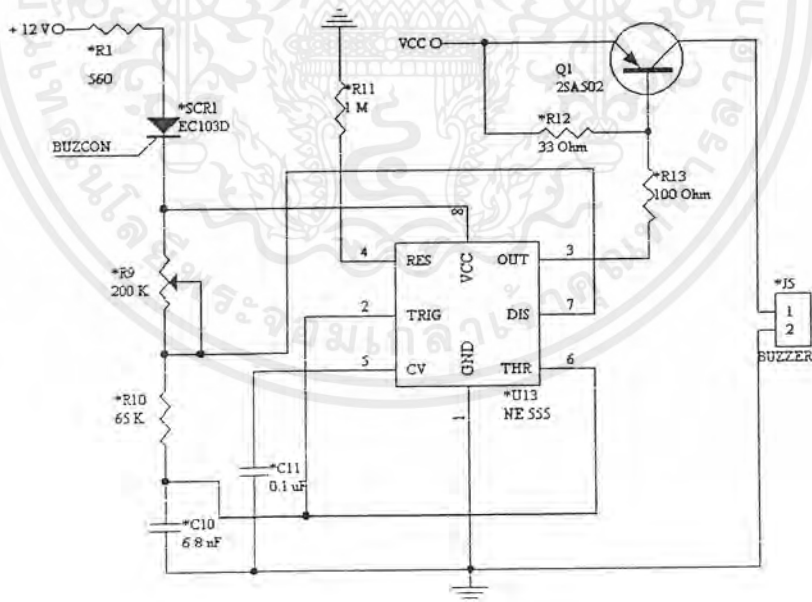
ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ใส่ในวงจรมีไว้เพื่อปรับระดับแรงดันอ้างอิงที่ต้องการเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่เป็นค่ายอด (Peak) ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับสัญญาณรบกวน

เมื่อได้สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเพื่อนำเข้าไปสู่ภาคประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าอัตราการเต้นของหัวใจ โดยการควบคุมช่องสัญญาณที่ต้องการผ่านทางพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้การมัลติเพล็กซ์ผ่านทางไอซีเบอร์ 4066 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอนาล็อกสวิตช์ เลือกสัญญาณอินพุตที่ต้องการโดยการควบคุมขา CONTROL ของไอซีแต่ละชุด ในการเลือกช่องสัญญาณเราใช้การควบคุมนอกเกต เพื่อเลือกสัญญาณอินพุตเข้าสู่ INT1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

### 3.4.5 การทำงานของวงจรส่งสัญญาณเตือน (Alarm Circuit)

วงจรเตือนมีความจำเป็นมากเนื่องจากว่าหากอัตราการเต้นของคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีค่าต่ำหรือสูงกว่าค่าที่กำหนด โปรแกรมที่เขียนขึ้นก็ต้องทำการส่งสัญญาณเตือนบอกให้ผู้ใช้เครื่องเช่นแพทย์ ให้ดูแลอย่างใกล้ชิด หรือทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วย

การทำงานของวงจรส่งเสียงเตือนนี้ใช้อุปกรณ์หลักคือ ไอซีเบอร์ 555 ซึ่งเป็นไอซีอนุกรมประสงค์ในการใช้งานเกี่ยวกับผลิตความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 วงจรส่งเสียงเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรถูกกำเนิดความถี่ โดยใช้ไอซีเบอร์ 555 ทำได้โดยการจับวงจรดังรูปที่ ซึ่งเป็นวงจรถอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) ซึ่งมีหลักการทำงานคือ เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟเข้ามา C10 ก็จะได้รับประจุผ่าน R9 และ R10 เมื่อระดับแรงดันในตัวเก็บประจุถึงจุดกระตุ้นในวงจรถ่วงเวลา (Trigger) ฟลิปฟลอป ภายในตัวไอซีจะทำงานแล้วขา 7 (Discharge) ของไอซีจะระดับแรงดันเป็น “0” เพื่อคายประจุ C10 จนแรงดันที่ C10 ลดต่ำถึงระดับเทรชโฮลด์ของ IC ฟลิปฟลอปภายในก็จะถูกรีเซ็ต ทำให้ขา 7 ของ IC มีค่าเป็น “1”

ในส่วนเอาต์พุตของวงจรถ่วงเวลา (ขา 3) จะต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งจัดไบอัสไว้เป็นวงจรถ่วงเวลาจะทำหน้าที่ขยายกระแสเพื่อนำไปขับบัชเซอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสียงเตือนให้กับวงจรถ่วงเวลา เพื่อให้ผู้ที่ทำการวัดทราบว่า อัตราการเดินของหัวใจมีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่ตั้งไว้หรือไม่

ความถี่ที่ใช้ในการขับบัชเซอร์สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$f = \frac{1.44}{(R_9 + 2R_{10})C_2} \quad \dots (3.7)$$

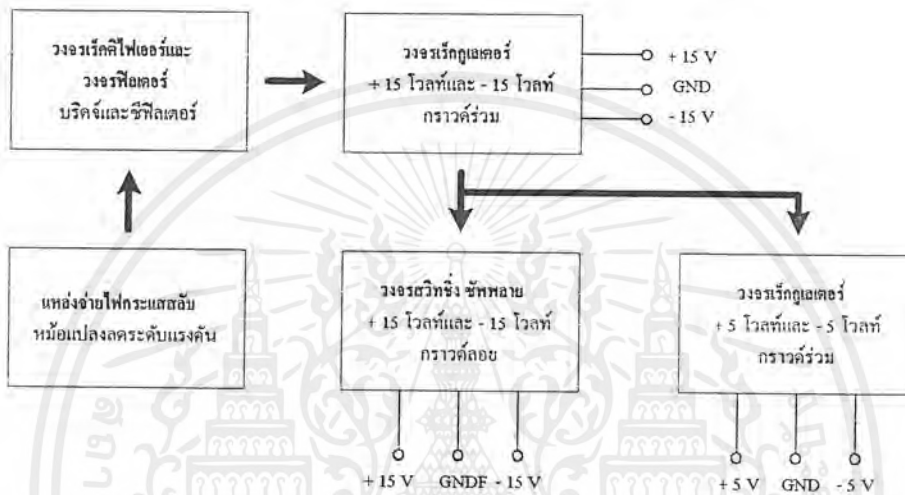
จากวงจรข้างบนในรูปที่เราสามารถคำนวณค่าความถี่ได้

$$\begin{aligned} f &= \frac{1.44}{(100\text{K}\Omega + 2(65\text{K}\Omega)(6.8\text{nF})} \\ &= 920.7 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นความถี่ที่คนปกติทั่วไปสามารถได้ยินได้ จึงสามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนได้

### 3.5 การออกแบบและการสร้างภาคจ่ายไฟ (Power supply)

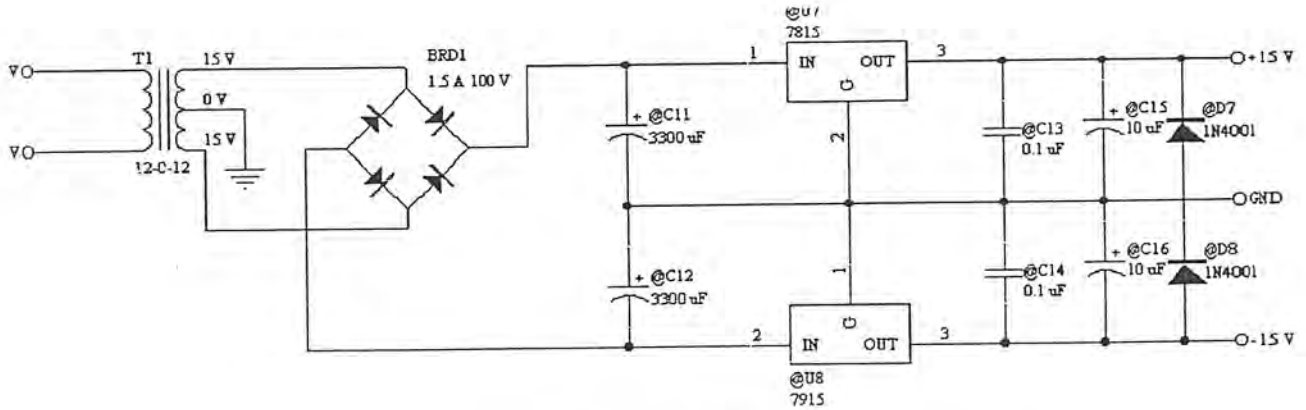
สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งสำหรับวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปที่จะขาดไม่ได้เลยคือแหล่งจ่ายไฟ ในการทำโครงงานชิ้นนี้ก็เช่นเดียวกัน โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้มีอยู่ด้วยกันหลายระดับและหลายลักษณะการใช้งานซึ่งมีอยู่หลายลักษณะดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบต่างๆ ที่ใช้ในโครงงาน

#### 3.5.1 การออกแบบแหล่งจ่ายขนาดแรงดัน +15 โวลท์และ -15 โวลท์ แบบกราวด์ร่วม

เป็นแหล่งจ่ายไฟหลักในโครงงานนี้ ซึ่งเราออกแบบโดยกำหนดกระแสเอาต์พุตจ่ายได้ที่ประมาณ 2 แอมแปร์ โดยต้องไฟที่ได้คือ + 15 โวลท์และ - 15 โวลท์ ไปใช้งานในการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ในวงจรต่างๆ และรวมทั้งไอซี DAC0808 ซึ่งใช้เป็นไอซีในการแปลงความถี่ค็ล็อกเป็นความถี่ที่ใช้ในการบังคับการสแกนทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง และยังต้องออกแบบไว้ในการเรกติเพเตอร์ให้เป็นระดับไฟเลี้ยง + 5 โวลท์และ - 5 โวลท์ รวมทั้งแรงดันไฟ + 15 โวลท์ซึ่งต้องใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรสวิทช์ เพาเวอร์ ซัพพลาย อีกด้วย โดยแสดงวงจรดังในรูปที่ 3.36

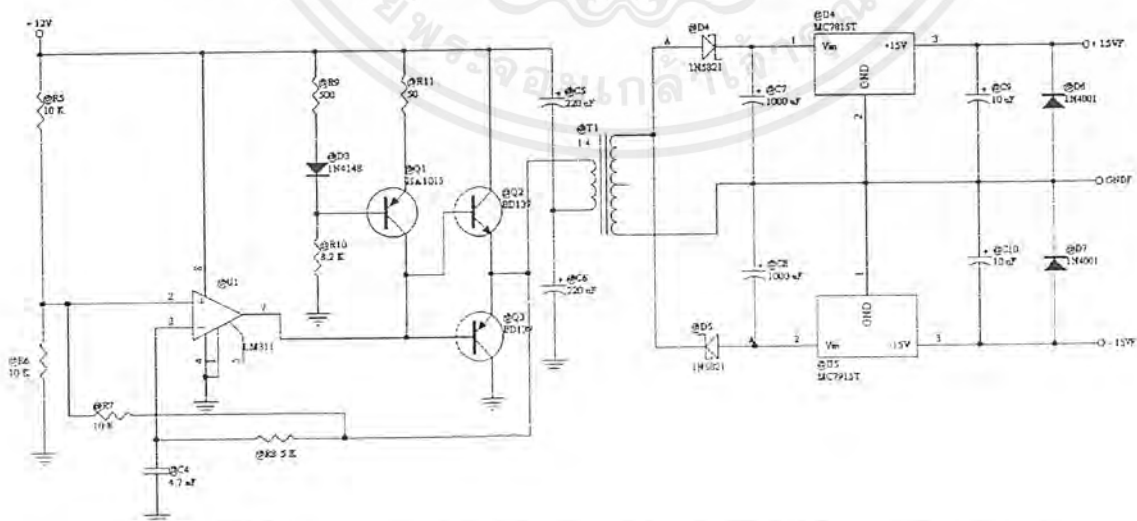


รูปที่ 3.36 วงจรแหล่งจ่ายไฟขนาด + 15 โวลต์และ - 15 โวลต์ แบบกราวด์ร่วม

### 3.5.2 แหล่งจ่ายไฟขนาดแรงดัน + 15 โวลต์และ - 15 โวลต์ โดยเป็นแบบกราวด์ลอย

เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ใช้สำหรับวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เหตุผลที่ต้องทำการแยกกราวด์ออกจากวงจรอื่น ก็ด้วยเหตุผลทางการแพทย์ที่ว่าหากเราเอาเครื่องมือวัดที่ใช้แหล่งจ่ายที่สร้างมาจากไฟฟ้ากระแสสลับโดยทั่วไป ถึงแม้ว่าเราจะทำการแปลงมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วก็ตามที่มันอาจส่งผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นมาได้ และบางทีก็อาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วยได้

วงจรจ่ายไฟแบบสวิทชิงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เรามาใช้เพื่อแก้ปัญหาตรงจุดนี้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้เกิดจากการสวิทซ์ด้วยความถี่สูง จึงไม่มีผลต่อคลื่นไฟฟ้าหัวใจซึ่งมีลักษณะคลื่นความถี่ต่ำ และยังแยกกราวด์ของทางอินพุตและทางเอาต์พุตออกจากกันโดยใช้หม้อแปลงสวิทชิง (Switching Transformer) ซึ่งแนวทางการออกแบบและวงจรแสดงการทำงานมีดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 แสดงวงจรจ่ายไฟแบบกราวด์ลอยโดยใช้สวิทชิงทรานส์ฟอเมอร์

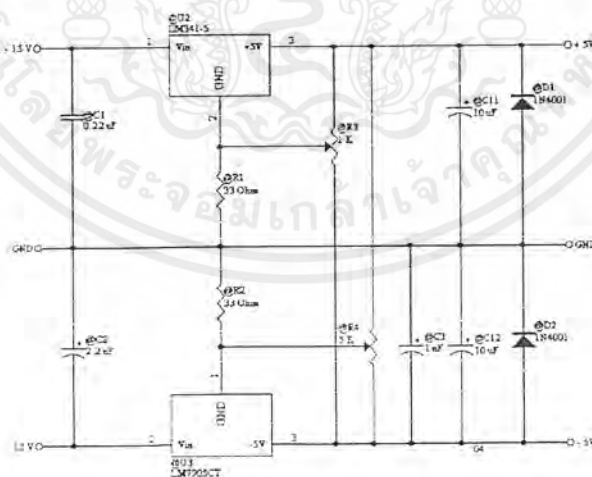
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อเสียของลิเนียร์เรกูเลเตอร์ ในเรื่องของกำลังสูญเสียและขนาดใหญ่โต จึงมีการพัฒนาเรกูเลเตอร์มาเป็นแบบสวิตชิ่ง ซึ่งมีกำลังสูญเสียต่ำและขนาดเล็กกว่ามากที่กำลังเท่ากัน

หลักการโดยทั่วไปของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งคือ การสร้างวงจรกำเนิดความถี่สูง ในที่นี้ใช้เป็นแบบเซลฟออสซิลเลเตอร์ (Self oscillator) โดยการต่อทรานซิสเตอร์แบบพุช – พูล (Push – pull) แล้วนำความถี่สูงที่ได้ ไปขับหม้อแปลงทางค่านขดปฐมภูมิ ในโครงงานนี้ใช้คลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ประมาณ 20 กิโลเฮิร์ต ส่วนทางด้านขดทุติยภูมิจะใช้ไดโอดที่ใช้งานสำหรับความถี่สูง (Fast recovery diode) เป็นตัวเรกติไฟร์ (Rectifier) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงทั้งทางด้านซีกบวกและซีกลบ แล้วก็ทำการเรกติจัน (Regulation) เพื่อให้ได้แรงดันประมาณ + 5 โวลต์และ - 5 โวลต์เพื่อนำไปใช้งานต่อไป จากการที่ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นสวิตช์ ทำให้พลังงานสูญเสีย้น้อยมาก จึงทำให้เกิดความร้อนต่ำมากในขณะทำงาน ส่งผลให้อุปกรณ์ระบายความร้อนมีขนาดเล็กกลง หรืออาจไม่ต้องใช้เลย ขนาดรวมของวงจรก็จะเล็กกลงไปอย่างมาก

### 3.5.3 แหล่งจ่ายไฟขนาดแรงดัน + 5 โวลต์และ - 5 โวลต์ใช้กราวด์ร่วม

แหล่งจ่ายไฟชุดนี้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อประกอบ เช่น หน่วยความจำประเภทรอม หน่วยความจำประเภทแรม รวมทั้งไอซีประเภททีทีแอล (TTL) ซึ่งจะใช้แหล่งจ่ายไฟ + 5 โวลต์กับกราวด์ ส่วนแหล่งจ่ายไฟ - 5 โวลต์ใช้สำหรับไอซีประเภทซีมอส (CMOS) ซึ่งการออกแบบและสร้างวงจรนี้ก็สร้างแบบที่ใช้งานกันทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 วงจรจ่ายไฟ +5 โวลต์และ - 5 โวลต์

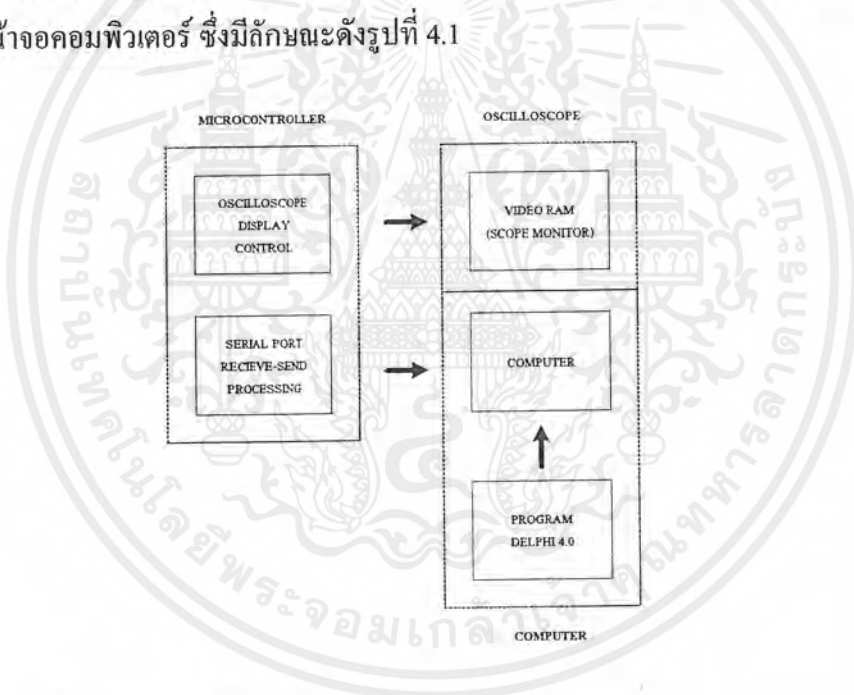
การใช้งานเกี่ยวกับไอซีทางดิจิทัลสิ่งที่สำคัญคือระดับแรงไฟที่เป็นข้อกำหนดระดับลอจิก ซึ่งต้องมีความแน่นอน เพราะฉะนั้นเราจึงใช้ R3 และ R4 เป็นตัวปรับแรงดันขดขยเพื่อให้ได้ระดับแรงดัน + 5 โวลต์และ - 5 โวลต์ที่ถูกต้อง หากมีการคิงกระแสมาก ซึ่งแรงดันอาจตกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดย แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์

ในการออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์นั้นเราแบ่งการออกแบบเราสามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 2 ส่วนคือ การออกแบบโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีและการออกแบบโปรแกรมภาษาเคลฟ 4.0 โดยการออกแบบภาษาแอสเซมบลีนั้นยังแบ่งเป็น การออกแบบเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป และการออกแบบเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ทอนุกรมเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.1

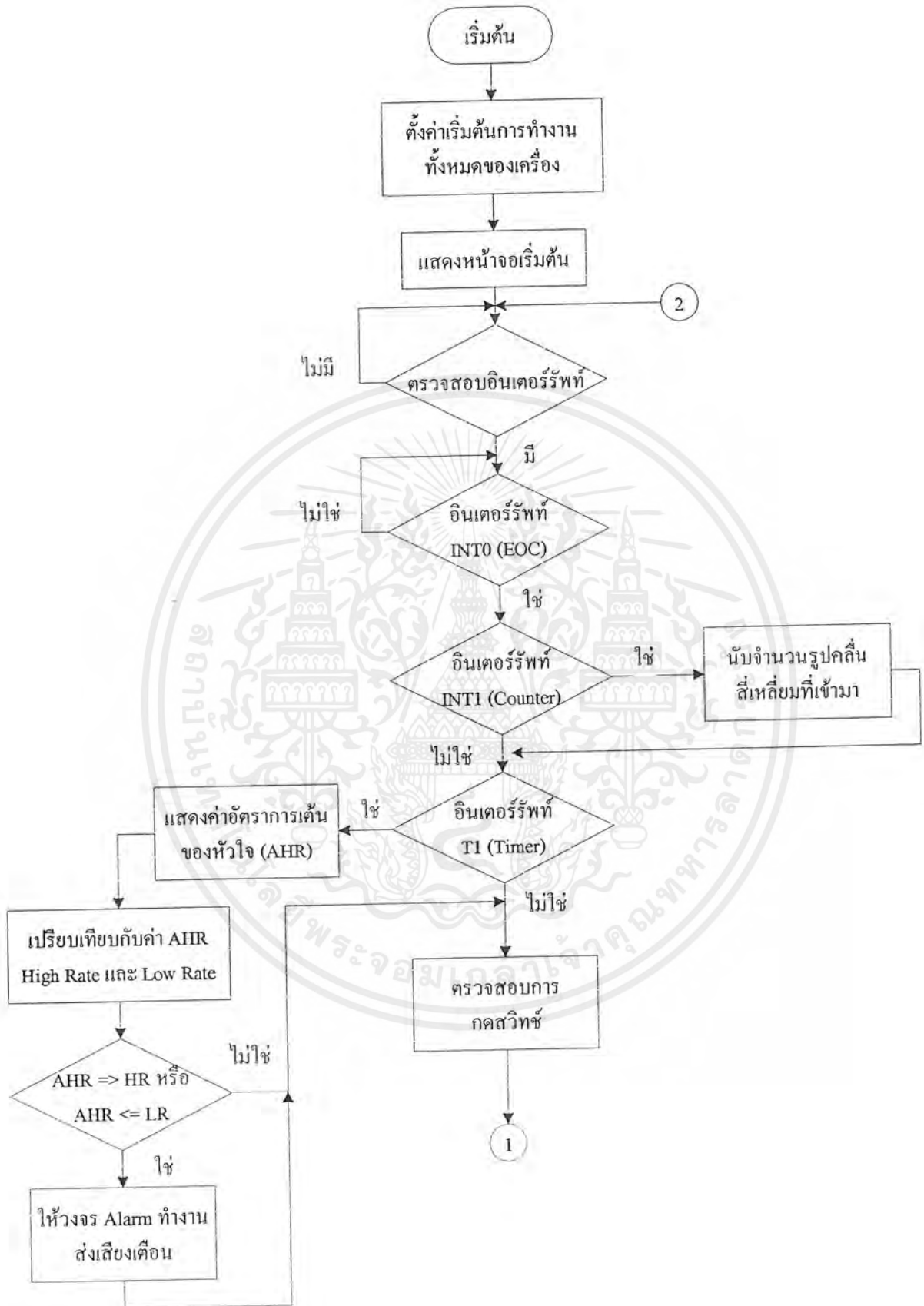


รูปที่ 4.1 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์

### 4.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

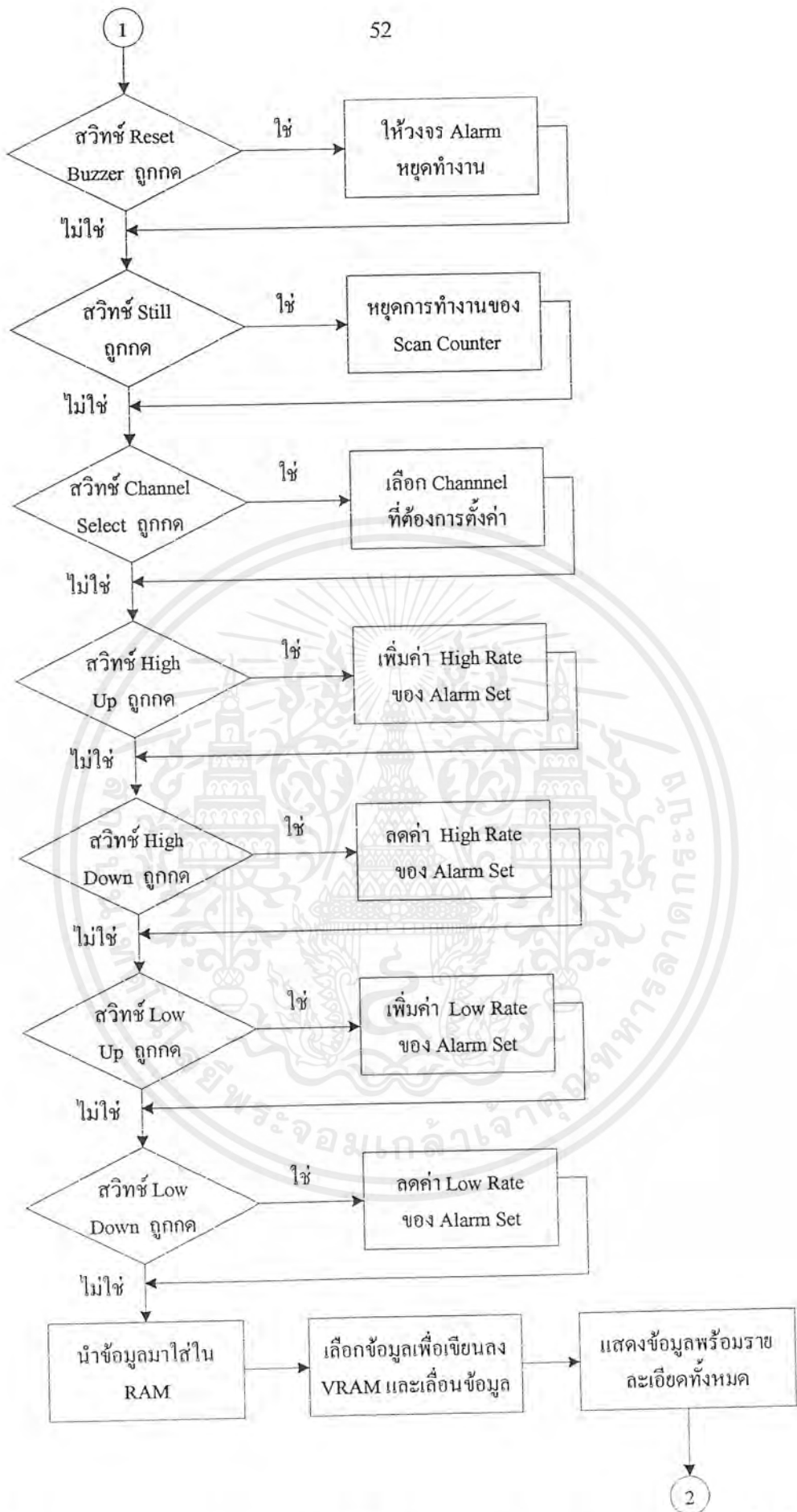
การออกแบบในส่วนการแสดงผลนั้นต้องออกแบบร่วมกับส่วนของฮาร์ดแวร์ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยต้องมีความรู้เกี่ยวกับคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ซึ่งมีลักษณะที่ง่ายต่อการออกแบบโปรแกรมในการควบคุมอุปกรณ์ที่ต่อพ่วง โดยในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเขียนผังงานของโปรแกรมก่อนดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอออกสซิดิลโคสโคป (ต่อ)

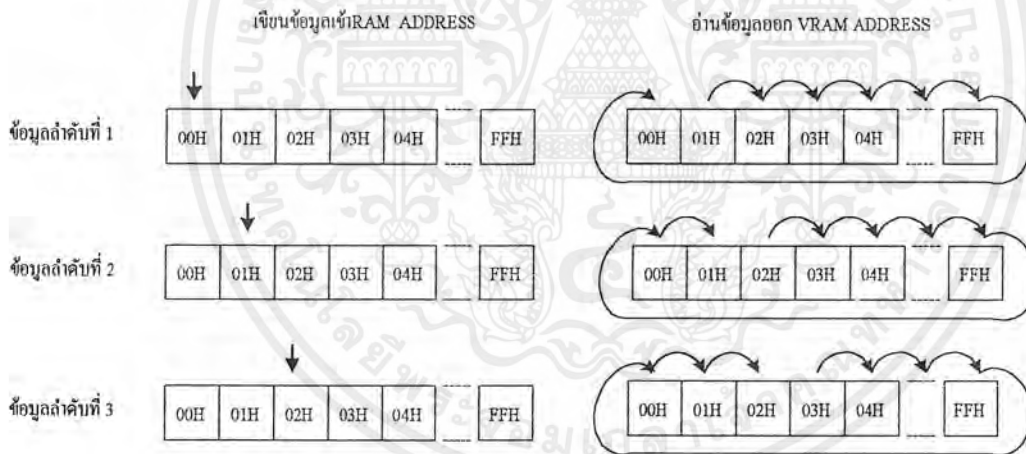
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 การทำงานของโปรแกรม

ในตอนเริ่มแรกของโปรแกรมต้องทำการตั้งค่าต่างๆ ของโปรแกรม เช่นการตั้งค่าการอินเทอร์รัพท์ การทำงานของโปรแกรมเริ่มต้นด้วยการรอสัญญาณอินเทอร์รัพท์จากวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกมาเป็นดิจิทัล ซึ่งเมื่อแปลงเสร็จก็ส่งสัญญาณ EOC (End Of Conversion) ออกมาโดยมีสถานะลอจิกเป็น “1” โดยที่ขานี้จะต่อกับขาอินเทอร์รัพท์ภายนอก (INT0) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ซึ่งต่อผ่านนอทเกตเพื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณให้ตอบสนองการอินเทอร์รัพท์ที่ “0” โดยการตั้งค่าการอินเทอร์รัพท์ เป็นระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงจากระดับสัญญาณลอจิก “1” มาเป็นระดับสัญญาณลอจิก “0” และถูกตั้งค่าให้มีความสำคัญในการรับอินเทอร์รัพท์สูงสุด

เมื่อเกิดการอินเทอร์รัพท์ที่ตำแหน่งนี้โปรแกรมจะกระโดดไปทำที่แห่ง “0003H” ซึ่งเป็นโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์ให้รับค่าข้อมูลที่แปลงเข้ามา พร้อมกับให้โปรแกรมนับคลื่นไฟฟ้าหัวใจเริ่มทำงานโดยรับค่าที่ทำการแปลงสัญญาณผ่านเข้าทางขาอินเทอร์รัพท์ภายนอกขา INT1 และตั้งเวลาในการนับให้ทำงานพร้อมกันไปด้วย

หลักการที่ใช้ในการประมวลผลให้รูปคลื่นออกหน้าจอแสดงได้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงหลักการรับข้อมูลและอ่านข้อมูลออกเพื่อแสดงออกจอออกอสซิดิลโกสโคป

จากหลักการที่แสดงในภาพเราสามารถอธิบายการควบคุมแสดงผลได้ดังนี้

รับข้อมูลชุดแรก เก็บไว้ใน RAM ตำแหน่ง 00H ทำการอ่านออกไปที่ VRAM คือ 01H, 02H, 03H, ...FFH, 00H

รับข้อมูลชุดที่ 2 เก็บไว้ใน RAM ตำแหน่ง 01H ทำการอ่านออกไปที่ VRAM คือ 02H, 03H, ...FFH, 00H, 01H

รับข้อมูลชุดที่ 3 เก็บไว้ใน RAM ตำแหน่ง 02H ทำการอ่านออกไปที่ VRAM คือ 03H , ... FFH, 00H, 01H, 02H



รับข้อมูลชุดที่ 256 เก็บไว้ใน RAM ตำแหน่ง FFH ทำการอ่านออกไปที่ VRAM คือ 00H, 01H, 02H, 03H ...FFH

เมื่อครบทั้ง 256 ไบท์โปรแกรมก็จะเริ่มทำใหม่ในลักษณะเดิมอีกครั้ง ดังนั้นเราจะเห็นรูปคลื่นเคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย

ส่วนการประมวลผลส่วนของการนับอัตราการเดินของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะเริ่มนับทุกครั้งที่มีการอินเตอร์รัพท์ที่ขา INT1 และเริ่มจับเวลาโดยใช้ไทเมอร์ 0 เป็นตัวจับเวลาเป็นช่วงประมาณ 10 วินาที เมื่อครบ 10 วินาทีที่ตั้งไว้ เราก็นำค่าที่นับได้จากการอินเตอร์รัพท์ที่ INT1 มาคำนวณเพื่อหาอัตราการเดินของหัวใจภายในเวลา 1 นาทีแล้วนำไปแสดงผลบนหน้าจอที่กำหนดไว้

เมื่อได้อัตราการเดินของหัวใจมาแล้ว เราก็จะทำการตรวจเช็คค่าอัตราการเดินที่คำนวณได้กับค่าที่เราตั้งไว้ โดยในการตั้งค่าเราได้ตั้งค่าอัตราการเดินด้านต่ำ (Low Rate) และอัตราการเดินด้านสูง (High Rate) โดยการรับค่าที่ตั้งไว้จากสวิทช์เลือก เมื่อโปรแกรมทำการตรวจสอบแล้วพบว่าอัตราการเดินที่คำนวณมีค่าต่ำกว่าอัตราการเดินด้านต่ำ หรือมีค่าสูงกว่าอัตราการเดินด้านสูง โปรแกรมก็จะสั่งให้โปรแกรมที่ควบคุมเสียงเตือนทำงาน แล้วก็ทำการตรวจสอบสวิทช์ที่ทำการรีเซตส่วนของการควบคุมเสียง หากมีการกดสวิทช์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะส่งสัญญาณ ไปทำการรีเซตการทำงานของวงจรเตือนให้หยุดทำงาน วงจรเตือนก็จะหยุดการส่งเสียง

ส่วนการตั้งค่าอัตราการเดินด้านต่ำและอัตราการเดินด้านสูง จะใช้การอ่านค่าเข้ามาทางสวิทช์ ซึ่งต้องทำการเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการตั้งค่า แล้วก็ทำการเลือกการตั้งค่าได้ตามที่ต้องการ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเก็บค่าที่ทำการตั้งไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จริง ซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กับโปรแกรมส่วนควบคุมการส่งเสียงเตือน

การที่จะทำให้ภาพที่เคลื่อนที่อยู่บนจอออกสวิตโคสโคปหยุดการเคลื่อนที่ชั่วขณะนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบการกดสวิทช์ หากมีการกดสวิทช์โปรแกรมจะทำการวนลูปการทำงานในการแสดงผล ทำให้จึงดูเหมือนว่าภาพที่อยู่บนจอหยุดการเคลื่อนที่ หากมีการกดสวิทช์อีกครั้ง โปรแกรมก็จะทำการแสดงผลโดยการนำข้อมูลมาประมวลผลในลักษณะเช่นเดิม ทำให้ภาพที่เห็นมีการเคลื่อนที่ในลักษณะจากขวาไปซ้ายเช่นเดิม

## 4.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

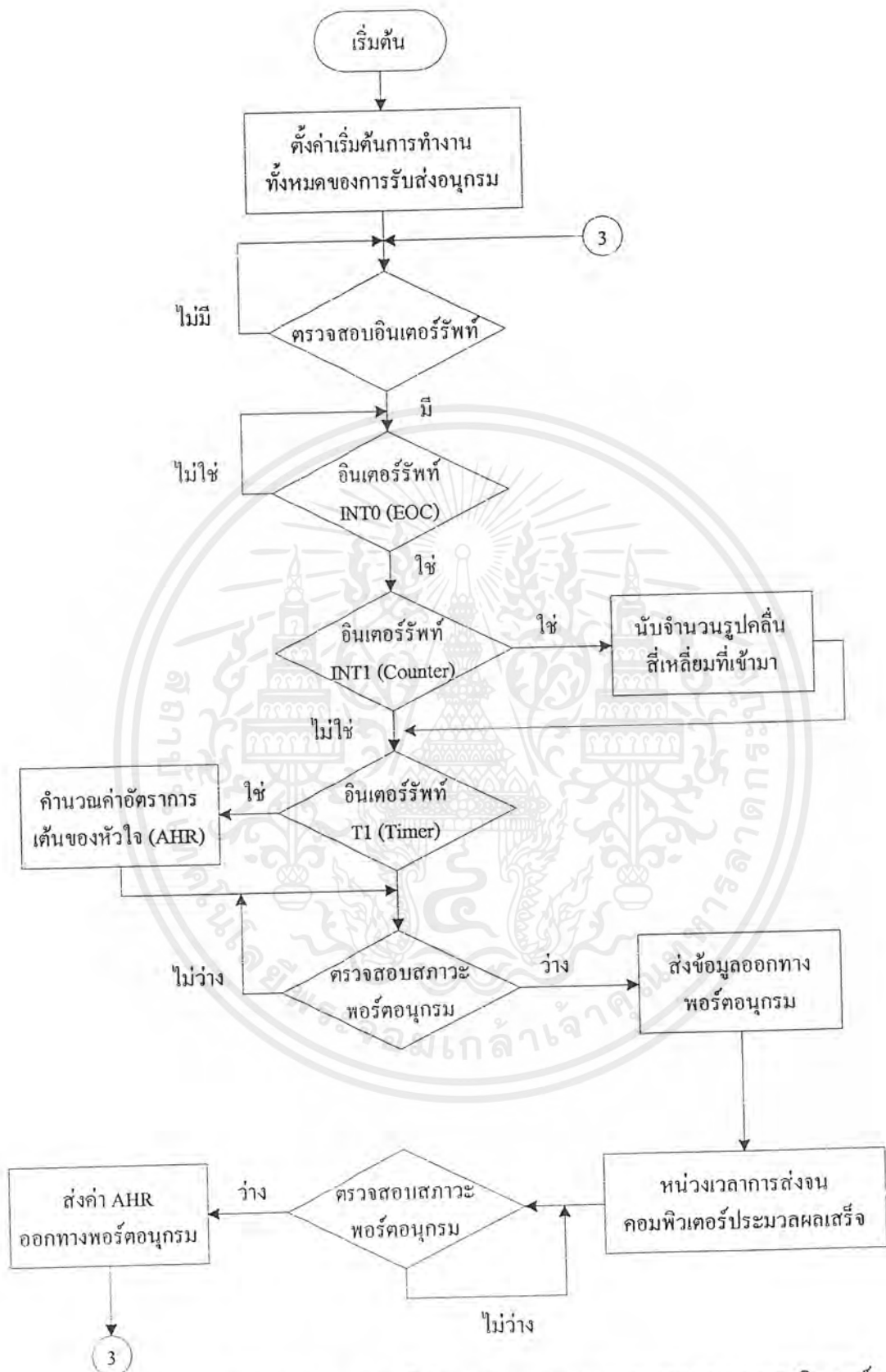
การออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อทำการควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์เราต้องใช้ซอฟต์แวร์ถึง 2 ตัวเพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์และการรับ-ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งทั้ง 2 ตัวจะต้องมีความสัมพันธ์กันในการรับ-ส่ง เพื่อข้อมูลจะได้มีความถูกต้องและสัมพันธ์กันเพื่อใช้ในการประมวลผลและแสดงออกทางจอคอมพิวเตอร์

### 4.2.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ภาษาแอสเซมบลี

การออกแบบซอฟต์แวร์ภาษาแอสเซมบลีในที่นี้มีจุดประสงค์เพื่อเป็นตัวประมวลผลทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหน้าที่หลักคือการรับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งถูกแปลงโดยวงจรอนาล็อกเป็นดิจิตอลเข้ามาเพื่อประมวลผล ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป แต่หน้าที่การทำงานที่เพิ่มขึ้นมาคือการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม ในรูปแบบมาตรฐาน RS-232C ซึ่งมีอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นมาในการเชื่อมต่อคือ ไอซี MAX232C ซึ่งเป็นไอซีปรับระดับสัญญาณดิจิตอลให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน RS-232C

การทำงานของโปรแกรมมีลักษณะตามผังงานในรูปที่ 4.4 กล่าวคือการทำงานเริ่มต้นจากการตั้งค่าต่างๆ ที่จำเป็น รวมทั้งการตั้งค่าเพื่อการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งในที่นี้เราตั้งอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลไว้ที่ 9600 Baud rate จากนั้นก็รอการอินเทอร์รัพท์จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เมื่อมีการอินเทอร์รัพท์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะรับข้อมูลเข้ามา พร้อมทั้งเริ่มการทำงานของโปรแกรมการนับค่าอัตราการเดินของคลื่นหัวใจ

การส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องตรวจสอบว่าพอร์ตอนุกรมที่เราต้องการส่งข้อมูลว่างอยู่หรือเปล่า โดยการตรวจสอบแฟลก TI หากพบว่าพอร์ตว่างก็จะทำการส่งข้อมูลไปยังพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ เสร็จก็จะรอคอมพิวเตอร์ประมวลผลเสร็จ โดยทำการหน่วงค่าเวลาไว้ค่าหนึ่ง แล้วก็จะทำการส่งอัตราการเดินของหัวใจที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลได้ไปให้คอมพิวเตอร์แสดงออกหน้าจอมอนิเตอร์ด้วย



รูปที่ 4.4 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ภาษาเคลไฟ 4.0

ในการออกแบบส่วนของซอฟต์แวร์ในการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ ในโครงการนี้เลือกใช้ภาษาเคลไฟ 4.0 ในการพัฒนาโปรแกรมเนื่องจากเป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นสูง มีการเขียนแอปพลิเคชันต่างๆ ขึ้นมารวมถึงการเขียนคอมโปเนนท์ขึ้นมาเพื่อการใช้งานเองได้ ถ้าหากว่าเราต้องการใช้คอมโปเนนท์ที่นอกเหนือจากที่โปรแกรมเคลไฟ คิดตั้งมาให้

การออกแบบโปรแกรมส่วนนี้ เริ่มต้นจากการออกแบบหน้าจอการแสดงผล ซึ่งต้องเน้นไปที่ การแสดงผลต้องมีความชัดเจน มองดูง่าย และสามารถปรับแต่งค่าต่างๆ ได้สะดวกและมีความเหมาะสมกับการแสดงผล

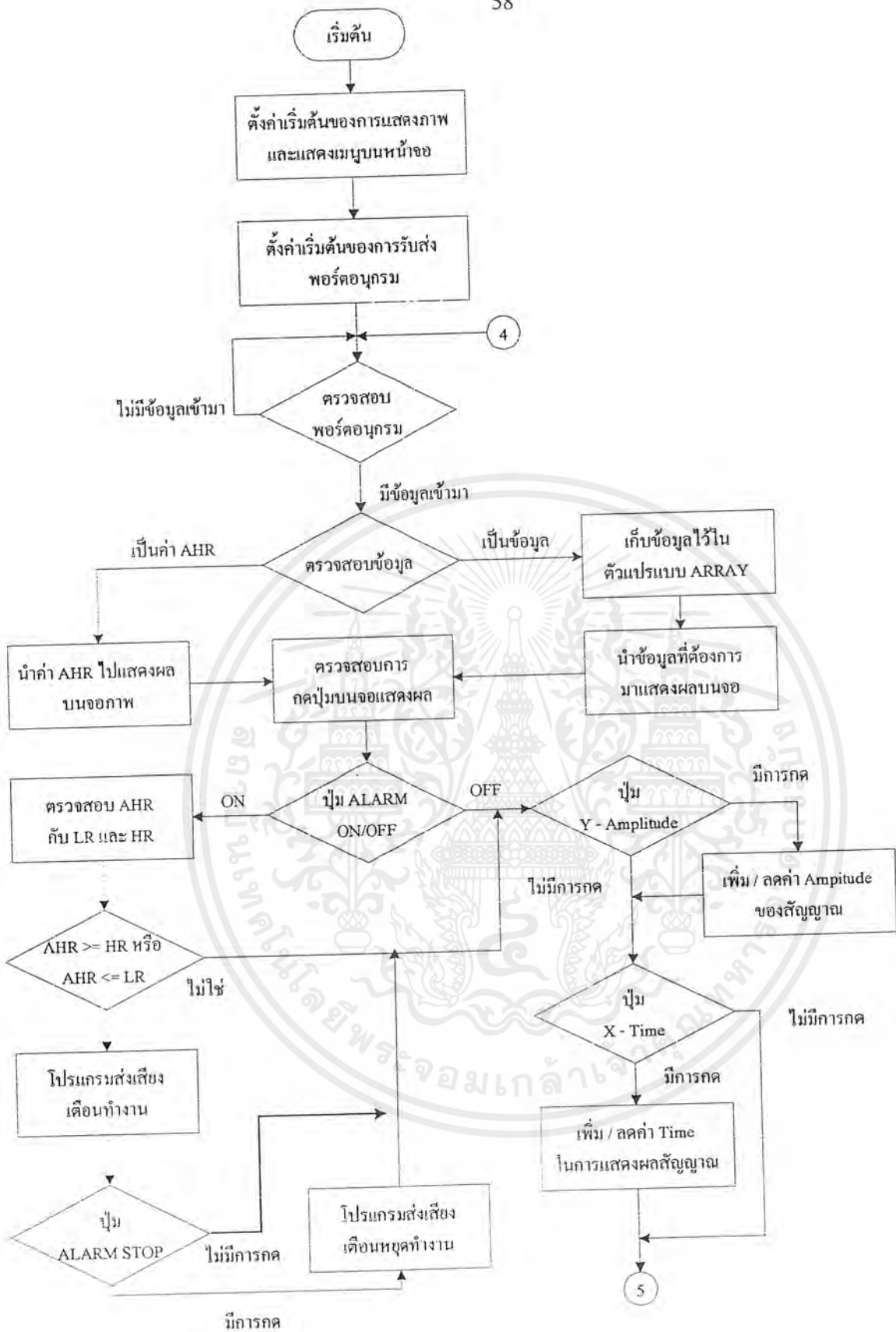
หลังจากการออกแบบหน้าจอเสร็จแล้ว ก็จะเริ่มทำการตั้งค่าเริ่มต้นในการใช้งานโปรแกรม รวมทั้งการตั้งค่าเกี่ยวกับการรับส่งอนุกรมเช่น การตั้งค่าความเร็วในการรับส่งข้อมูล พอร์ตที่ต้องการรับส่งข้อมูลในที่นี้ใช้พอร์ต COM2 เป็นต้น

การทำงานจะใช้คอมโปเนนท์ที่เรียกว่า TCOMPORT เป็นตัวติดต่อในการรับส่งข้อมูลทางอนุกรม เมื่อมีข้อมูลเข้ามาที่พอร์ตอนุกรม โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะกระโดดไปทำงานที่การตอบสนองการรับข้อมูลที่เข้ามา เหมือนกับการอินเตอร์รัพท์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่า ข้อมูลที่ส่งมานั้นเป็นข้อมูลหรือค่าอัตราการเดินที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลแล้วส่งมา โดยหลังจากที่แยกข้อมูลที่ส่งมาแล้ว หากว่าเป็นอัตราการเดินก็จะนำค่ามาแสดงที่หน้าจอ

แต่ถ้าเป็นข้อมูล โปรแกรมก็จะทำการเก็บข้อมูลไว้ในตัวแปรประเภทอาร์เรย์ (Array) ที่เราได้ตั้งค่าไว้ ส่วนในการแสดงผลก็ใช้คอมโปเนนท์ประเภทกราฟฟิก มาเป็นตัวแสดงผล โดยใช้คำสั่งในการวาดเส้น เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลเข้าด้วยกัน โดยเลือกรูปตามที่ต้องการ โดยการเลือกช่วงอาร์เรย์ที่เก็บข้อมูล

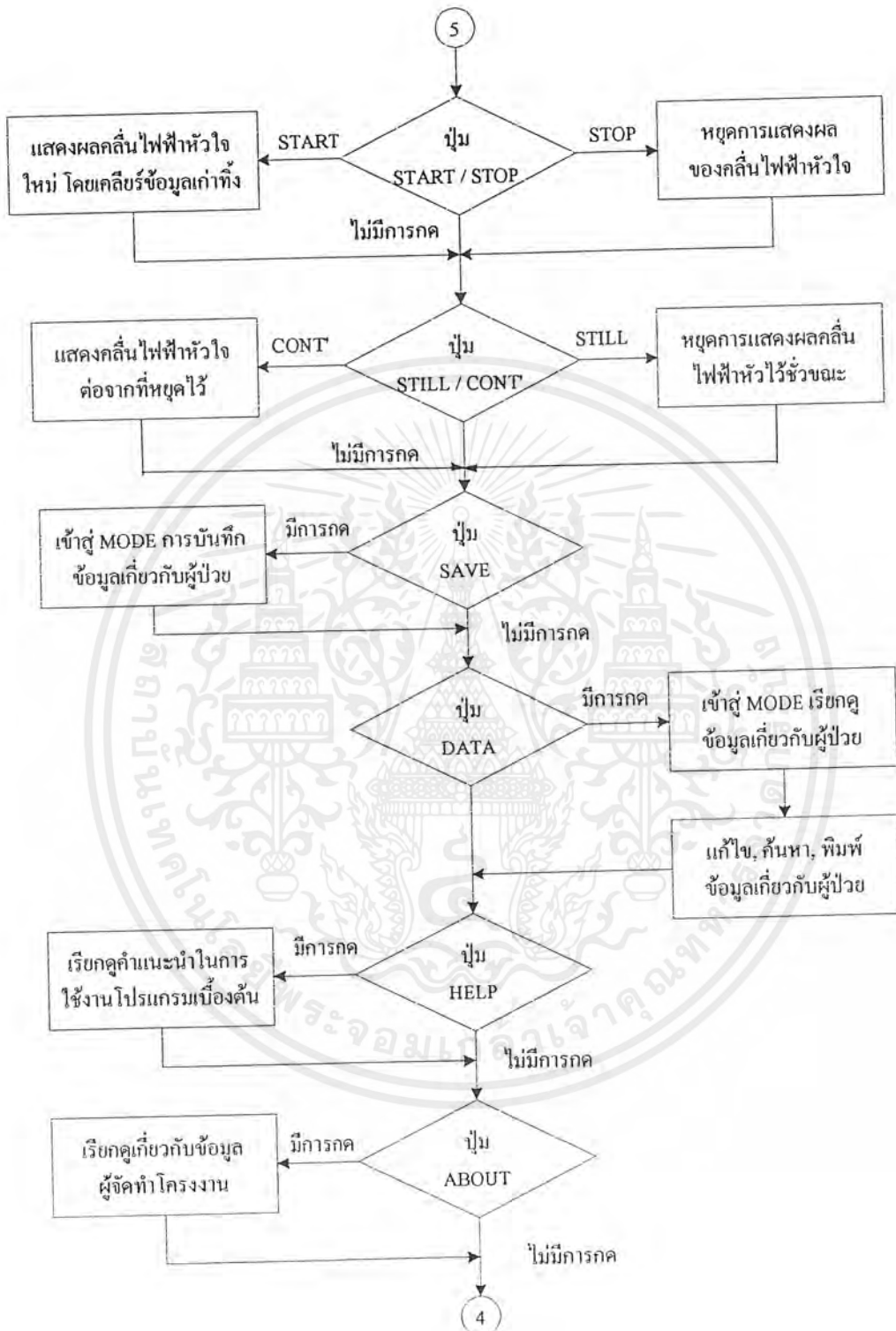
การตั้งค่าอัตราการเดินต่ำสุดและอัตราการเดินสูงสุด ทำได้โดยการเลื่อนสกลอบาร์ เพื่อตั้งค่าตามที่ต้องการ แล้วทำการเลือก ALARM ON/OFF ให้เป็น ON เพื่อให้โปรแกรมส่งเสียงทำงาน หากว่า อัตราการเดินที่คำนวณ ได้มีค่าน้อยกว่าอัตราการเดินต่ำสุดหรืออัตราการเดินสูงสุด ถ้าหากว่าโปรแกรมส่งเสียงเตือนทำงานก็สามารถหยุดการทำงานได้โดยการกดปุ่ม STOP

เพื่อให้โปรแกรมที่เขียนสามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยไว้เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ทำการวัดใหม่ หรือว่าต้องการดูประวัติผู้ป่วยก็สามารถทำได้ การทำโปรแกรมส่วนนี้ทำโดยการออกแบบส่วนฐานข้อมูล โดยสามารถเก็บบันทึก แก้ไข ค้นหา ข้อมูลนี้ได้



รูปที่ 4.5 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ส่วนของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



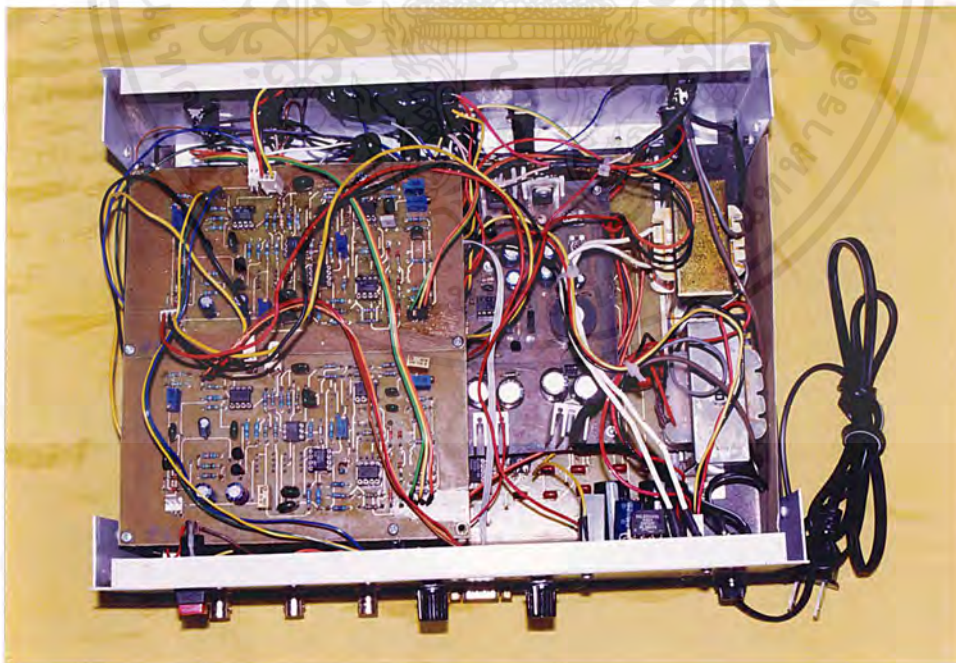
รูปที่ 4.5 ฝั่งงานแสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ส่วนของคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ออกแบบทุกๆ ส่วนที่กล่าวมาในข้างต้นแล้วจึงทำการต่อวงจรทั้งหมดแยกออกเป็นส่วนๆ โดยในขั้นแรกต้องลงแผ่นปริ้นท์เอนกประสงค์ก่อน โดยใช้สายวอร์แรพ (Wire wrap) ในการเชื่อมต่อ และทดลองในแต่ในส่วนจนกระทั่งในทุกๆ ส่วนมีผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ แล้วทำการประกอบเป็นวงจร พร้อมทั้งได้ออกแบบลายปริ้นท์ของทุกวงจรที่ได้ออกแบบไว้ หลังจากนั้นก็ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมกับการศึกษาและเขียนโปรแกรมพัฒนาบนคอมพิวเตอร์ไปพร้อมกันด้วย เมื่อมีผลออกมาในระดับหนึ่งก็ทำการสร้างแผ่นปริ้นท์ และทำการทดลองอยู่อีกระยะหนึ่งเพื่อแก้ไขให้ดีกว่าเดิม พร้อมทั้งหาจุดเสียที่เกิดขึ้น หลังจากการลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นท์ ซึ่งลักษณะภายนอกของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 5.1 แสดงการวางอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงด้านหน้าของเครื่อง

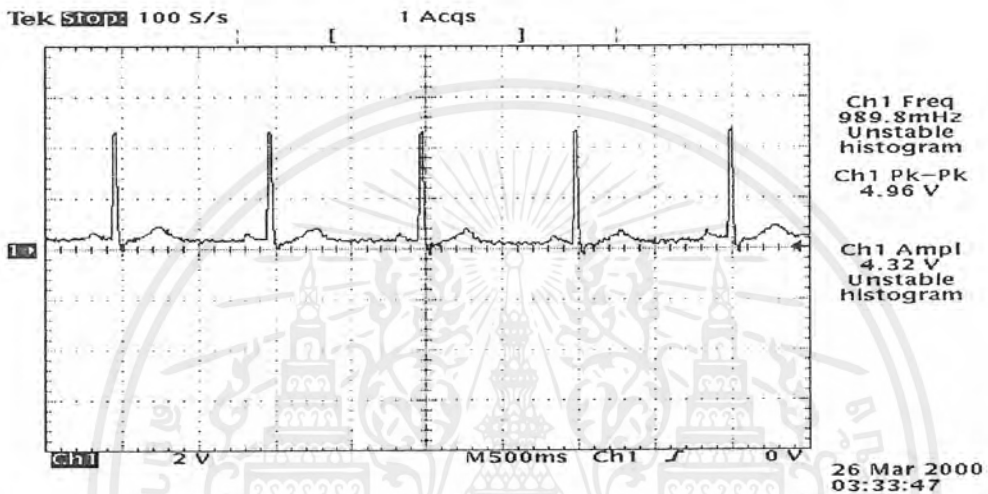


รูปที่ 5.3 แสดงด้านหลังของเครื่อง

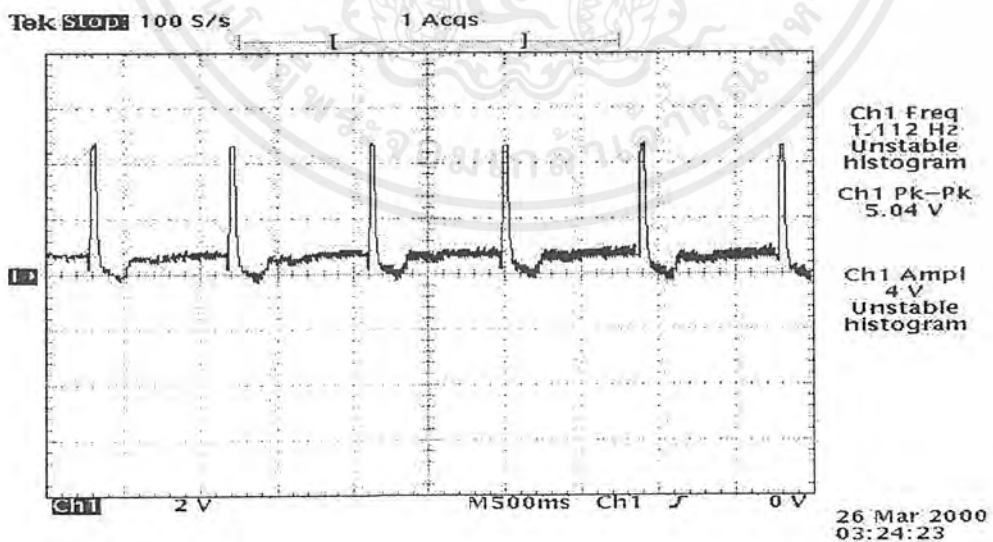
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 การตอบสนองความถี่ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในการทดลองส่วนนี้เราได้ทำการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยการทดลองใช้อีซีจี ซิมูเลเตอร์ (ECG Simulator) และการทดลองวัดคนจริงโดยใช้อิเล็กโทรด เป็นอุปกรณ์ในการวัดกับร่างกายคนซึ่งผลการของการทดลองวัดทั้งสองแบบ แสดงได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.4 รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้อีซีจี ซิมูเลเตอร์



รูปที่ 5.5 รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้อิเล็กโทรดวัดผ่านร่างกายคนจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปกติในการวัดค่าการตอบสนองความถี่ของวงจรอินทรมอนต์ แอมพลิไฟเออร์ ซึ่งเป็นหัวใจหลักของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เราต้องการวัดค่า CMRR (Common Mode Rejection Ratio) ของวงจร ซึ่ง CMRR นี้คืออัตราส่วนของอัตราขยายแบบโหมคความแตกต่าง (Differential Mode) กับอัตราขยายแบบโหมคร่วม (Common Mode) ซึ่งค่านี้ควรมีค่าสูงๆ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เข้ามา และขยายสัญญาณความถี่คลื่นไฟฟ้าหัวใจให้แรงขึ้น ซึ่งการวัดในแบบโหมคความแตกต่าง ทำได้โดยการนำสัญญาณคลื่นไซน์เวฟค่าแรงดันต่ำ ป้อนเข้าสู่อินพุตโคอินพุตหนึ่ง ส่วนอีกอินพุตก็ทำการช้อตลงกราวด์ แล้วทำการเปลี่ยนค่าความถี่ ส่วนในแบบโหมคร่วมก็ทำได้โดยการนำอินพุตทั้งสองมาช้อตกัน แล้วก็ป้อนสัญญาณเหมือนกับโหมคความแตกต่าง แล้วนำมาคำนวณหาค่า CMRR ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$$CMRR = 20 \log \frac{A_{dm}}{A_{cm}} \quad \dots (5.1)$$

โดยที่  $A_{dm}$  คือ อัตราขยายแบบโหมคความแตกต่าง

$A_{cm}$  คือ อัตราขยายแบบโหมคร่วม

ซึ่งผลจากการทดลองแสดงดังในตารางที่ 5.1 และรูปด้านล่างนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

$V_{in} = \text{Sinewave } 30 \text{ mV}$

ความถี่ (Hz)	Differential Mode Gain			Common Mode Gain			CMRR	
	ขนาด (V)	อัตราขยาย (V/V)	อัตราขยาย (dB)	ขนาด (mV)	อัตราขยาย (V/V)	อัตราขยาย (dB)	V/V	dB
0.5	1	33.33	30.46	10	0.33	-9.54	100	40
1	1.3	43.33	32.74	15	0.50	-6.02	86.67	38.76
2	1.3	43.33	32.74	20	0.67	-3.52	65.00	36.26
5	1	33.33	30.45	30	1	0	33.33	30.46
10	0.88	29.33	29.45	40	1.33	2.5	22.00	26.85
20	0.84	28.00	28.94	42	1.40	2.92	20.00	26.02

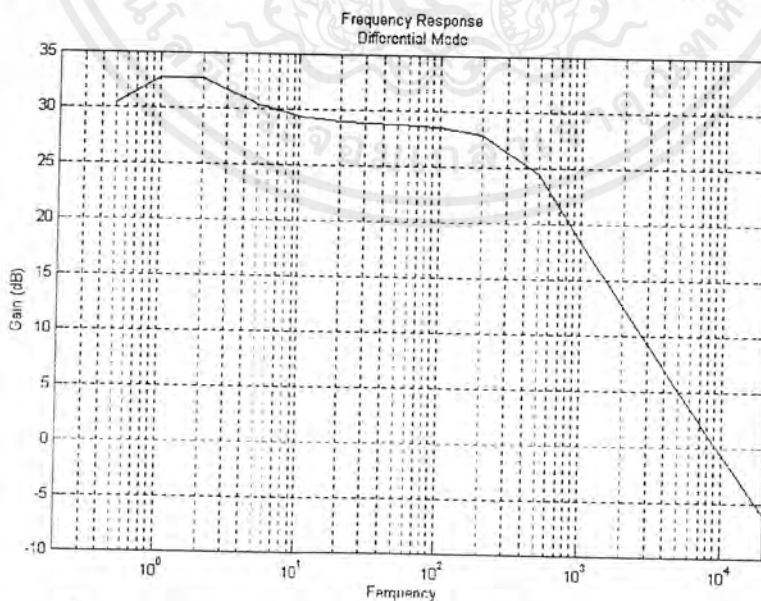
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ต่อ)

$V_{in}$  = Sinewave 30 mV

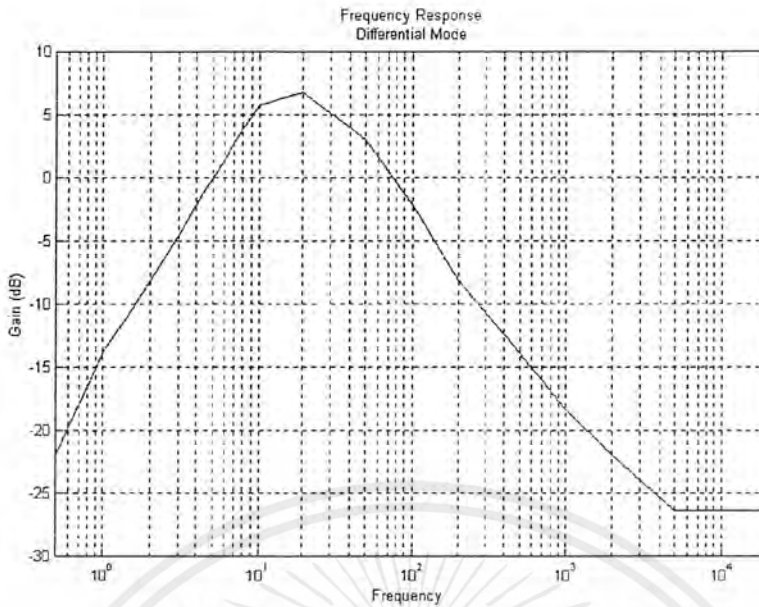
ความถี่ (Hz)	Differential Mode			Common Mode			CMRR	
	Gain			Gain				
	ขนาด (V)	อัตราขยาย (V/V)	อัตราขยาย (dB)	ขนาด (mV)	อัตราขยาย (V/V)	อัตราขยาย (dB)	V/V	dB
50	0.82	27.33	28.73	35	0.33	-1.34	23.43	27.39
100	0.8	26.67	28.52	27	0.90	-0.92	29.63	29.43
200	0.75	25	27.96	20	0.67	-3.52	37.50	31.48
500	0.5	16.67	24.43	15	0.50	-6.02	33.33	30.46
1,000	0.25	8.33	18.42	12	0.40	-7.96	20.83	26.78
2,000	0.13	4.33	12.74	10	0.33	-9.54	13.00	22.27
5,000	0.054	1.8	5.11	8	0.27	-11.48	6.75	16.59
10,000	0.028	0.933	-0.6	8	0.27	-11.48	3.50	10.88
20,000	0.015	0.5	-6.02	8	0.27	-11.48	1.875	5.46

จากตารางที่ 5.1 พบว่าค่า CMRR ที่ความถี่ของอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งเป็นความถี่ต่ำมีค่า CMRR ค่อนข้างสูง ซึ่งเหมาะสำหรับวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ใช้ในโครงการนี้

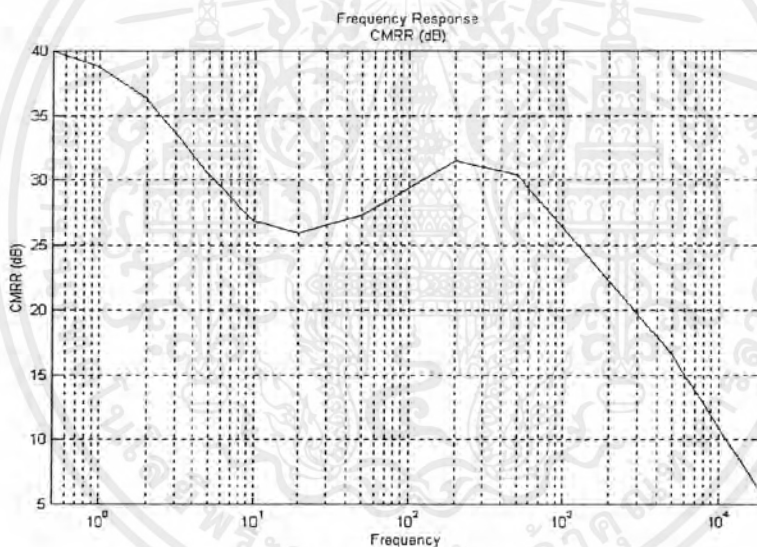


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการวัดค่าอัตราขยายโหมดความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการวัดค่าอัตราขยายโหมคร่วม



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการหาค่า CMRR ของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

## 5.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลเป็นวงจรที่ใช้แปลงสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจมาแล้ว โดยในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ ADC0809 ซึ่งเป็นไอซีที่มีระบบมัลติเพล็กซ์ภายในตัวไอซีเอง ซึ่งอินพุตสามารถเลือกใช้ได้ถึง 12 แชนเนล ซึ่งในการทดลองเบื้องต้นได้ทำการต่อวงจรการใช้งานของไอซี โดยใช้ความถี่คล็อกในการทำงาน 600 kHz ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

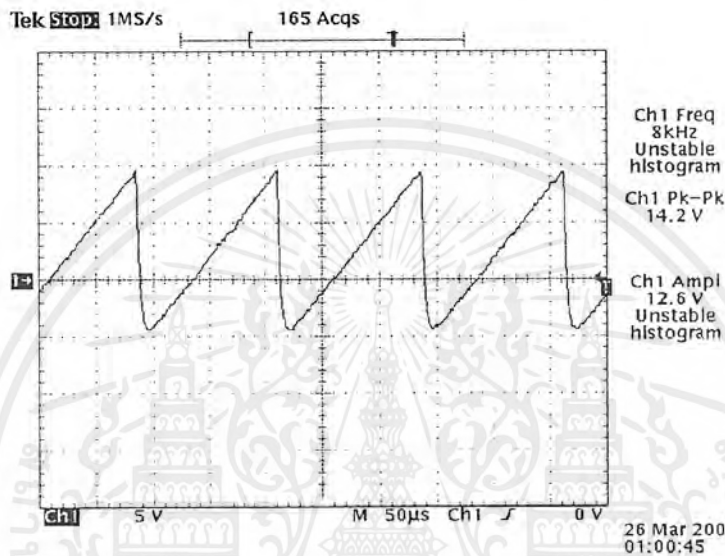
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลของไอซีเบอร์ ADC0809

แรงดันอนาล็อก (โวลต์)	ค่าดิจิทัลที่วัดได้ (ฐานสิบ)	ค่าดิจิทัลที่คำนวณ (ฐานสิบ)	ค่าความผิดพลาด (% Error)
0	0	0	0
0.2	10	10.2	-2
0.4	20	20.4	-2
0.6	31	30.6	1.29
0.8	41	40.8	0.488
1.0	51	51	0
1.2	61	61.2	-0.33
1.4	71	71.4	-0.56
1.6	82	81.6	0.488
1.8	92	91.8	0.217
2.0	102	102	0
2.2	112	112.2	-0.18
2.4	122	122.4	-0.33
2.6	132	132.6	-0.45
2.8	142	142.8	-0.56
3.0	153	153	0
3.2	163	163.2	-0.123
3.4	173	173.4	-0.23
3.6	184	183.6	0.22
3.8	194	193.8	0.1
4.0	204	204	0
4.2	214	214.2	-0.094
4.4	224	224.4	-0.18
4.6	235	234.6	0.17
4.8	245	244.8	0.082
5.0	255	255	0

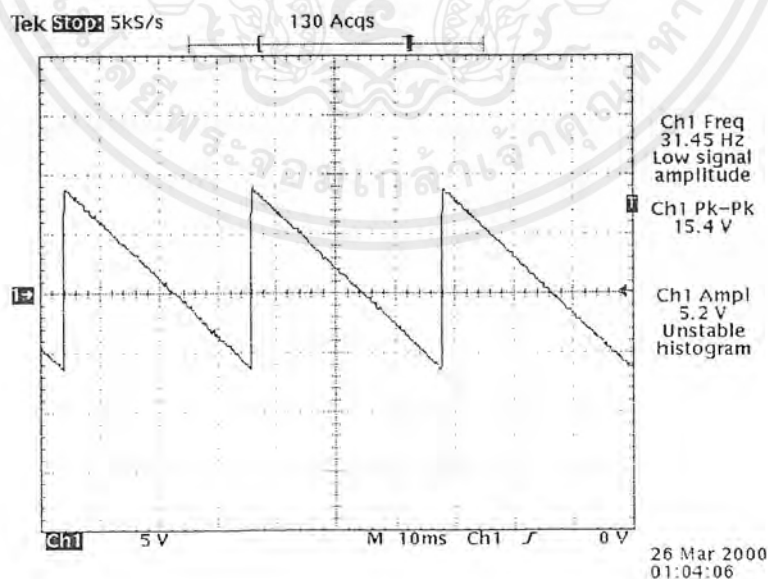
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 วงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ในการสแกนจอออสซิลโลสโคป

ในการทำงานของการแสดงผลผ่านทางจอออสซิลโลสโคป เราจำเป็นต้องใช้สัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย ในการควบคุมการสแกนทั้งทางด้านแนวตั้ง (Vertical: Y) และทางด้านแนวนอน (Horizontal: X) จากการทดลองเราต้องทำการปรับสัญญาณรูปฟันเลื่อยให้มีขนาดแรงดันและความถี่เหมาะสม อีกทั้งความเป็นเชิงเส้นของสัญญาณก็มีความจำเป็นอีกอย่างหนึ่งด้วย



รูปที่ 5.9 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ใช้ในการสแกนแนวนอน ความถี่ 8 kHz ขนาด 14 Vpp



รูปที่ 5.10 สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ใช้ในการสแกนแนวตั้ง ความถี่ 31.45 Hz ขนาด 15.4 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 วงจรควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

เมื่อเราได้ทำการทดลองวงจรส่วนต่างๆ พร้อมทั้งคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งเราได้กำหนดไว้ ขั้นตอนสุดท้ายคือการเชื่อมต่อวงจรต่างๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันแสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการเข้าด้วยกัน

ในการเชื่อมต่อเราต้องทำการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

1. เลือกการเชื่อมต่อว่าต้องการเชื่อมต่อกับออสซิลโลสโคปหรือว่าต้องการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยการทำการเลือกโดยการกดสวิทช์ด้านหลังของเครื่อง
2. ในการเชื่อมต่อกับออสซิลโลสโคปทำการตั้งค่าเครื่องดังนี้
  - ต่อสาย BNC ทั้ง 3 เส้นจากจุดต่อ X, Y และ Z เข้าที่ออสซิลโลสโคปจุดต่อ X, Y และ Z ให้ตรงกัน
  - ปรับปุ่มปรับตั้งฐานเวลา (Time / Div) ไปที่ตำแหน่ง X-Y เพื่อเลือกการสแกนทั้งแนวตั้งและแนวนอนเข้าทางแชนเนล 1 และแชนเนล 2
  - ที่ปุ่มปรับตั้งค่าแรงดัน (Volt / Div) ของแชนเนลที่ 1 ตั้งค่าไว้ที่ 1 V และปุ่มปรับตั้งค่าแรงดัน (Volt / Div) ของแชนเนลที่ 2 ตั้งค่าไว้ที่ 2 V เพื่อที่จะได้รูปภาพทั้งหมดที่ออกมาเต็มจอพอดี
  - เปิดเครื่องออสซิลโลสโคปและเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลังจากนั้นก็สามารถใช้งานได้ตามปกติ โดยที่ยังใช้ปุ่มปรับค่าต่างๆ ของออสซิลโลสโคปได้ อยู่เช่น ปุ่มปรับความเข้ม (Intensity) ปุ่มปรับโฟกัส (Focus) ปุ่มเลื่อนทางด้านแกนนตั้งและทางด้าน แกนนอน เป็นต้น

### 3. ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทำการตั้งค่าเครื่องดังนี้

- เชื่อมต่อสัญญาณด้วยสายสัญญาณ RS-232C จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดย แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์เข้าที่พอร์ต COM2 ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งปกติ จะว่างอยู่ไม่ใช้งาน
- เปิดเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและ คอมพิวเตอร์
- รันโปรแกรม ECG MONITOR บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้งานได้ตามปกติ โดย สามารถที่จะปรับตั้งค่าต่างๆ โดยผ่านทางคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.12 แสดงภาพจริงในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

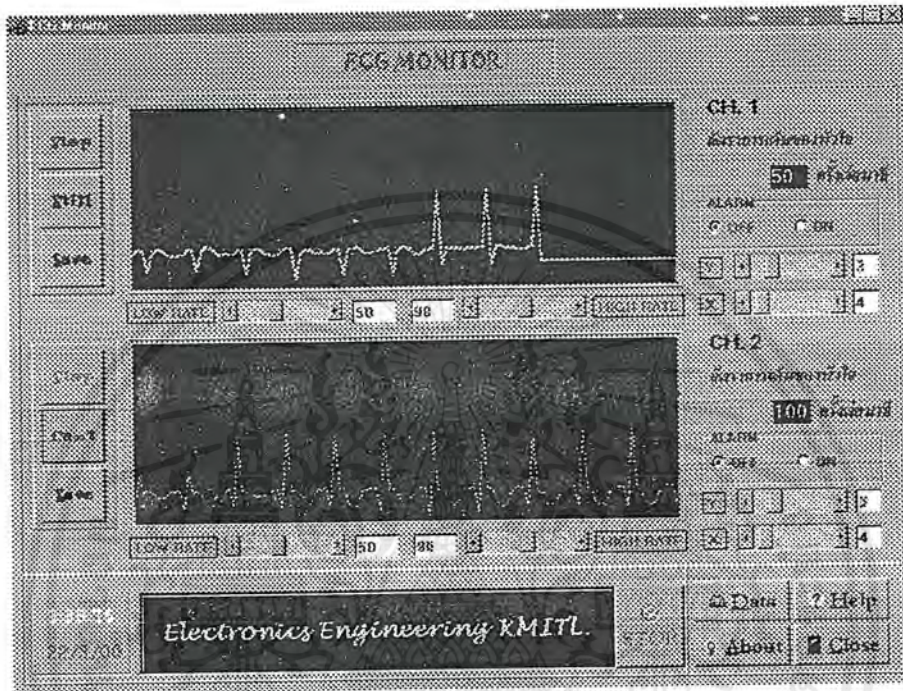


รูปที่ 5.13 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออกสซิดโลสโคปและคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

ในการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เราทำการเขียนและพัฒนาขึ้นมา นั้น ทำได้โดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งเมื่อทดลองรัน โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะมีลักษณะดัง รูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมพร้อมกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ทำการวัด

จาก รูปที่ 5.14 เป็นหน้าจอเริ่มต้นของการทำงานซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะโดยที่เราสามารถทำ การตั้งค่าต่างๆ ที่อยู่บนจอมอนิเตอร์ได้เช่น ตั้งการส่งเสียงเตือนเมื่อมีค่าอัตราการเต้นที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าอัตราการเต้นต่ำสุด หรือมากกว่าอัตราการเต้นสูงสุด หากว่าเราต้องการหยุดดูภาพ หรือต้องการวาดภาพใหม่ก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม STILL และ STOP ตามลำดับ เป็นต้น

ในโครงการนี้เราสามารถทำการบันทึกข้อมูลของผู้ป่วยที่ทำการวัดคลื่นหัวใจ โดยทำการกดปุ่ม SAVE จะมีหน้าจอลักษณะดังรูปที่ 5.15

โดยที่ข้อมูลทั้งหมดรวมทั้งภาพของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะเก็บไว้ในฐานข้อมูลสามารถที่จะเรียกดู แก้ไข หรือค้นหาได้ และที่สำคัญยังสามารถที่จะพิมพ์ข้อมูลของผู้ป่วยที่ต้องการดูออกมาทางเครื่องพิมพ์ได้อีกด้วย

หากว่าไม่สามารถใช้งานโปรแกรมได้ ก็ลองกดปุ่ม HELP ขึ้นมาดูจะมีคำแนะนำต่างๆ ที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรมขึ้นมาให้ดู

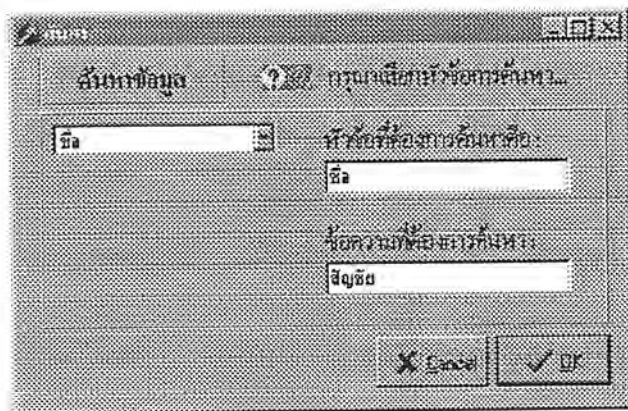
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.15 แสดงหน้าจอเมื่อเราต้องการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยไว้ในฐานข้อมูล

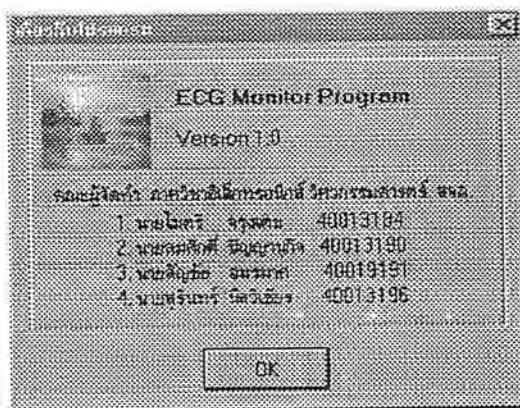
ID	ชื่อ	Place	Sex	Address
1	สุชาติ	สมทก	ชาย	39 ม.8 ต.ท่าเรือ อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80000
2	สุวิชัย	ฉะเชิงเทรา	ชาย	30 ม.2 ต.บ้านกรวด อ.เสนา จ.สระบุรี 90000
3	สมศักดิ์	สุพรรณบุรี	ชาย	65/2 ม.8 ต.คลองมะขู อ.ปากพะอูน จ.พัทลุง
4	ไมตรี	ระยอง	ชาย	20 ม.3 ต.ท่าเรือ อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80000
5	สุชาติ	เพชรบุรี	ชาย	169 ม.3 ต.คลองมะขู อ.ปากพะอูน จ.พัทลุง 9013
6	สมชาย	เคียนรีเขต	ชาย	8 ม.บ่อน จ.นครศรีธรรมราช

รูปที่ 5.16 แสดงหน้าจอเมื่อเราต้องการเรียกดูข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับผู้ป่วย

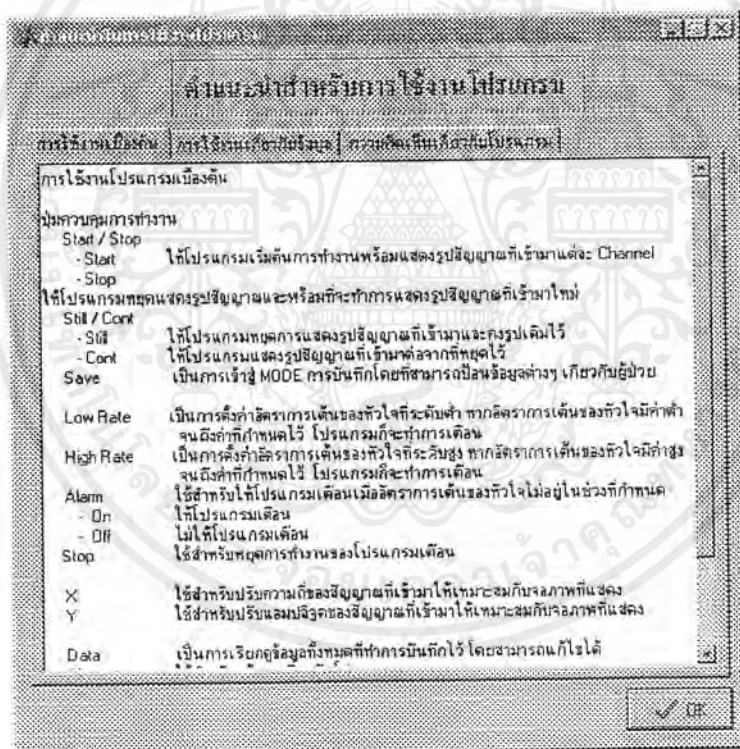
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 แสดงหน้าจอเมื่อเราต้องการ  
ค้นหาข้อมูลของผู้ป่วย



รูปที่ 5.18 แสดงหน้าจอเกี่ยวกับ  
ผู้จัดทำโครงการนี้



รูปที่ 5.19 แสดงหน้าจอเกี่ยวกับคำแนะนำและการใช้งานโปรแกรมเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลและวิจารณ์

จากการที่ได้ศึกษาและทำโครงการชิ้นนี้เป็นระยะเวลารวมทั้งหมด 1 ปีการศึกษา ทางคณะผู้จัดทำได้สร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์ พบว่าการใช้งานเครื่องนี้สามารถใช้งานได้ง่าย และได้ผลคืออยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับผู้ที่ใช้งานเครื่องนี้ ซึ่งก็คือแพทย์นั่นเอง ว่าแพทย์ต้องการคุณลักษณะของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ในรูปแบบลักษณะอย่างไร การพัฒนาในลำดับต่อไป จึงควรมีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญมาเป็นผู้ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการในลักษณะเดียวกันนี้ จึงจะได้เครื่องมือที่ดีสำหรับทางการแพทย์

#### 6.1 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

1. ในการสร้างส่วนภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น ในขั้นแรกต้องทำการศึกษาเรื่องคลื่นไฟฟ้าหัวใจและการวัด และในการลงมือสร้างตอนแรกพบว่ามีความยุ่งยากและเสถียรภาพไม่ค่อยดี

แนวทางการแก้ไข ทำได้โดยการศึกษาเรื่องคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้ดี และหาไอซีเบอร์อื่นที่มีสัญญาณรบกวนน้อยมาทำการทดลองแทน พร้อมทั้งขอคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา

2. ในการสร้างส่วนประมวลผลและการเขียนโปรแกรมแอสเซมบลี ไม่มีความรู้ทางด้านการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เนื่องจากว่าทางผู้จัดทำเคยเรียนและใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล Z-80 มาเพียงอย่างเดียว

แนวทางการแก้ไข พยายามศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จากหนังสือทั่วไปและคู่มือการใช้งาน พร้อมทั้งหาซิงเกิลบอร์ด (Single Board) ซึ่งในที่นี้ได้บอร์ด JAZZ - 31 มาใช้งาน จึงสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานและการต่อใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

3. ในการสร้างส่วนของภาคควบคุมการแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป ซึ่งต้องอาศัยหลักการเดียวกันกับการใช้งานแบบโอเอสดี (On Screen Display: OSD) บนจอของโทรทัศน์ ซึ่งทำได้ค่อนข้างยาก

แนวทางการแก้ไข พยายามอ่านหนังสือและบทความเกี่ยวกับการแสดงตัวหนังสือบนจอโทรทัศน์และหลักการการทำงานของโทรทัศน์ พร้อมทั้งศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานวงจรดิจิทัล เพื่อนำมาเป็นส่วนร่วมในการแสดงตัวหนังสือบนจอออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การใช้งานโปรแกรมเคลฟ 4.0 เพื่อนำมาใช้เป็นซอฟต์แวร์ในการพัฒนาโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์นั้น ทางผู้จัดทำไม่มีความรู้ด้านนี้มากนัก จึงมองภาพรวมของโปรแกรมที่ต้องเขียนทั้งหมดไม่ค่อยออก อีกทั้งโปรแกรมเคลฟ 4.0 ที่ใช้ยังไม่มีคอมโพเนนท์ที่ใช้สำหรับการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งในการใช้งานเราจำเป็นต้องใช้งานในส่วนนี้

แนวทางการแก้ไข ทำการศึกษาและลองใช้งานโปรแกรมเคลฟ 4.0 นั้น ทำการศึกษาจากหนังสือซึ่งมีขายอยู่ทั่วไป ผนวกกับทางผู้จัดทำมีความรู้พื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมภาษาเทอร์โบปาสคาล อยู่ก่อนแล้วจึงง่ายต่อการศึกษเกี่ยวกับโครงสร้างของภาษาและการใช้งานโปรแกรม ส่วนปัญหาเรื่องพอร์ตอนุกรม ก็ได้ไปทำการดาวน์โหลดคอมโพเนนท์ตัวนี้มาจากอินเทอร์เน็ต และทำการศึกษาก็สามารถใช้งานได้

## 6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

เนื่องจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์ ที่ทำการสร้างขึ้นมายังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ที่น่าจะทำการพัฒนาต่อเพื่อจะได้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ดีและเหมาะสมยิ่งขึ้น ซึ่งพอที่จะสรุปแนวทางพัฒนาต่อได้ดังนี้

1. สัญญาณรบกวนในวงจรส่วนขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ยังมีอยู่จึงควรที่จะหาวิธีกำจัดหรือลดสัญญาณรบกวนให้หมดไปหรือน้อยลงกว่านี้ เพื่อประสิทธิภาพในการทำงานด้านเครื่องมือวัดที่เป็นเครื่องมือแพทย์
2. ความละเอียดในการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลมีน้อยเกินไป ทำให้ความละเอียดของค่าที่แปลงออกมามีช่วงห่างกันเยอะ ดังนั้นควรเปลี่ยนมาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียดมากกว่า 8 บิต เช่นใช้ 10 บิต หรือ 12 บิต แทน
3. หน้าจอที่แสดงผลมีขนาดเล็กเกินไป เนื่องจากข้อจำกัดที่ต้องใช้งานจอออสซิลโลสโคป จึงทำให้การออกแบบตัวหนังสือและการแสดงสัญญาณมีขอบเขตที่จำกัด ควรจะหาจอคอมพิวเตอร์แสดงผลที่ใหญ่กว่านี้ เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบและการอ่านค่าต่างๆ บนจอภาพ
4. ลักษณะของสัญญาณที่แสดงออกจจอออสซิลโลสโคป ไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ต้องทำคำสั่งต่างๆ หลายคำสั่งจึงทำให้ความเร็วในการแสดงผลช้าลงไป ควรจะพัฒนาส่วนของโปรแกรมให้มีความเร็วในการแสดงผลที่ดีขึ้น หรือเขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่อทำการเชื่อมต่อกับจุดต่างๆ เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทำงานร่วมกันของการแสดงผลบนจอสโคปและจอคอมพิวเตอร์ ไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลโปรแกรมต่างๆ ดังนั้นควรพัฒนาให้สามารถทำงานพร้อมกันได้ และให้การตั้งค่าจากอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียว อีกตัวก็จะไปค่าเดียวกันด้วย เช่นการตั้งค่าอัตราการเดินด้านค่าจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและคอมพิวเตอร์ ซึ่งปกติจะแสดงคาบบนจอออสซิลโลสโคป ก็จะมีผลให้ค่าที่อยู่บนจอคอมพิวเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามด้วย

6. การแสดงข้อมูลของผู้ป่วยตอนนี้ไม่สามารถเก็บข้อมูลในลักษณะเรียลไทม์ได้ ซึ่งน่าจะพัฒนาส่วนนี้ให้สามารถเก็บค่าต่างๆ ไว้ตามเวลาที่แพทย์ได้ตั้งไว้ เพื่อสามารถเรียกดูและนำไปวิเคราะห์อาการของผู้ป่วยต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

เกษม วัฒนชัย นพ., ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ, สำนักพิมพ์พัฒนาศึกษา : กรุงเทพมหานคร, 2532.

ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด, ไมโครโปรเซสเซอร์ 2, ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน : กรุงเทพมหานคร, 2539.

ณรงค์ ช่างสกุล, “เทคนิคการออกแบบระบบวงจรดิจิทัล ตอน สร้างภาพบนจอโทรทัศน์”, วารสาร-  
เซมิคอนดักเตอร์, ฉบับที่ 144 (พ.ย. 2537), หน้า 65-71.

สมยศ จุณณะปิยะ รัช., การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์, พิมพ์ครั้งที่ 2 :  
กรุงเทพมหานคร, 2541.

มนัส สังวรศิลป์ รัช., พิชัย คูศิริวานิชกร, ประภากร สุวรรณะ, ยุทธนา คัดใจเดียว,

“สร้างเครื่องต้นแบบระบบไอซีมอนิเตอร์ขนาด 4 เตียง”, รายงานวิจัยได้รับทุนอุดหนุน  
การวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ประจำปีงบประมาณ 2531 โดย  
ห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2531.

Adel S.Sedra and Kenneth C. Smith, **Microelectronics**, 1998

National Semiconductor Corporation, **National Power IC Databook**, 1998

National Semiconductor Corporation, **National Operational Amplifier Databook**, 1998

National Semiconductor Corporation, **National Data Acquisition Databook**, 1998

## ภาคผนวก



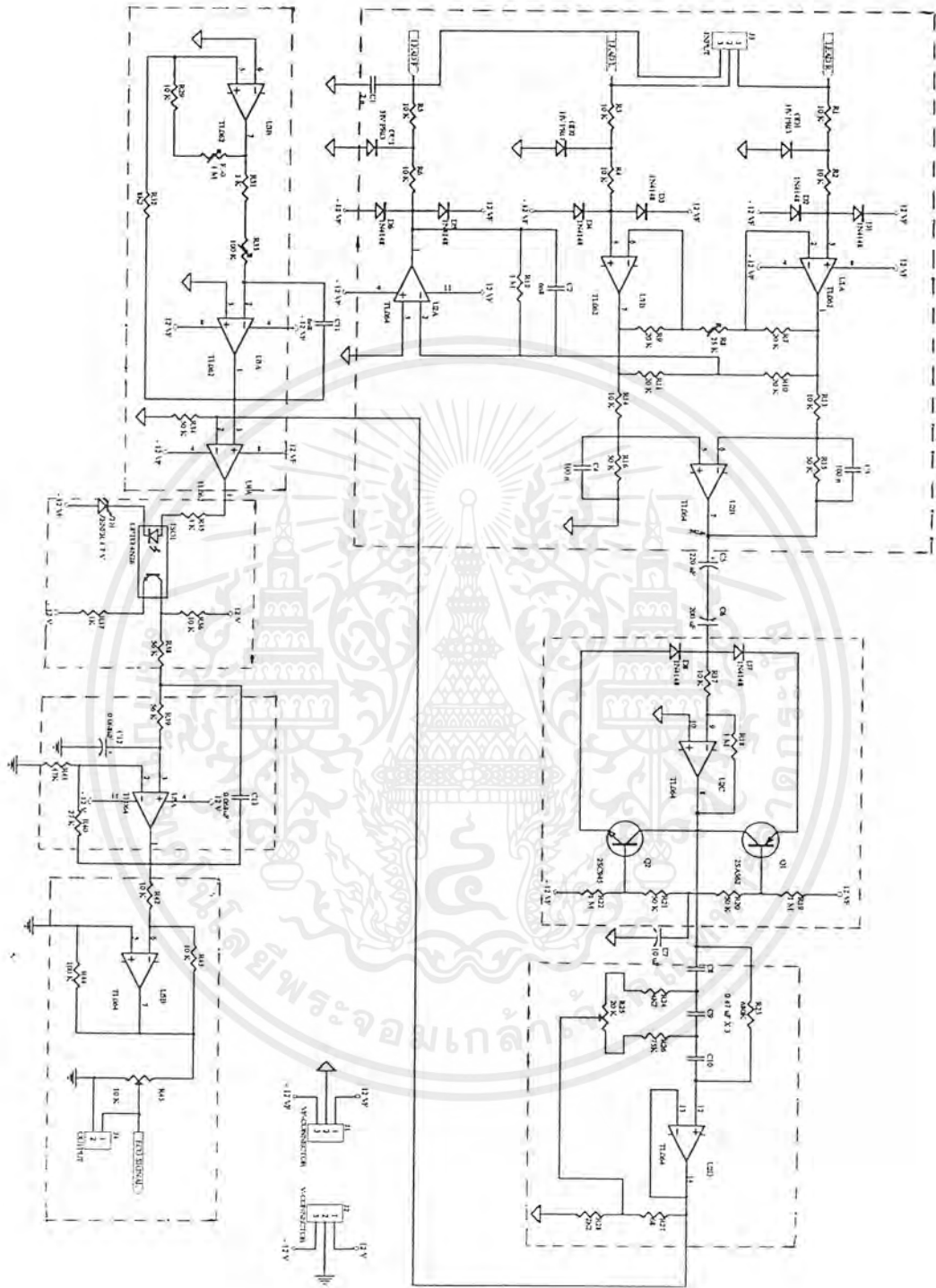
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วงจร, ถายทองแดงและการวางอุปกรณ์ของภาคต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

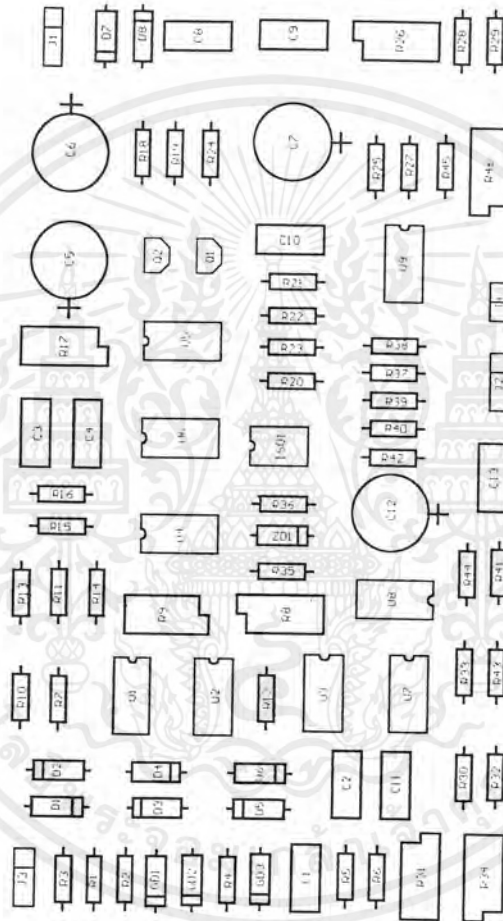


รูปที่ 1

วงจรรักษาขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

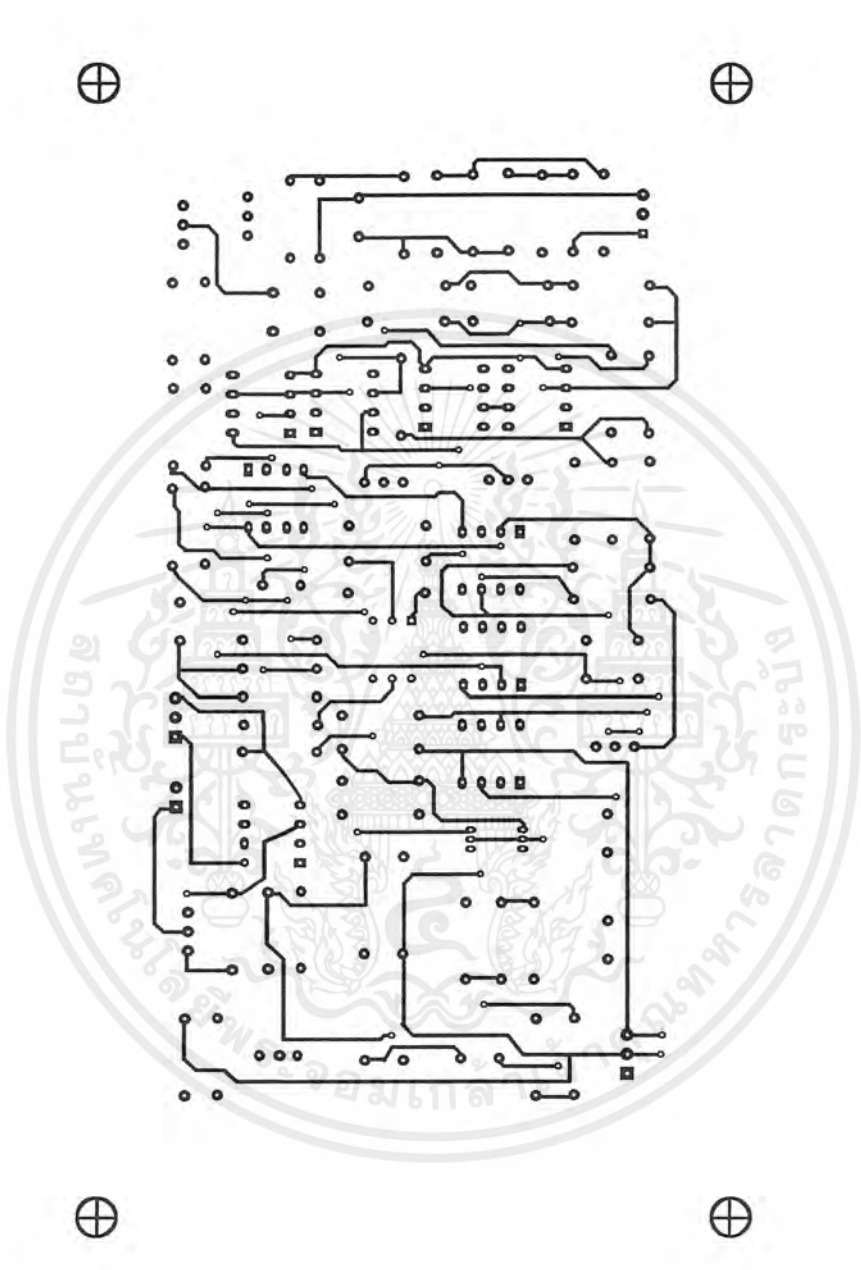
## ECG Amplifier Electronics KMITL



รูปที่ ก2

### Top Silkscreen Overlay ของวงจรภาคขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier)

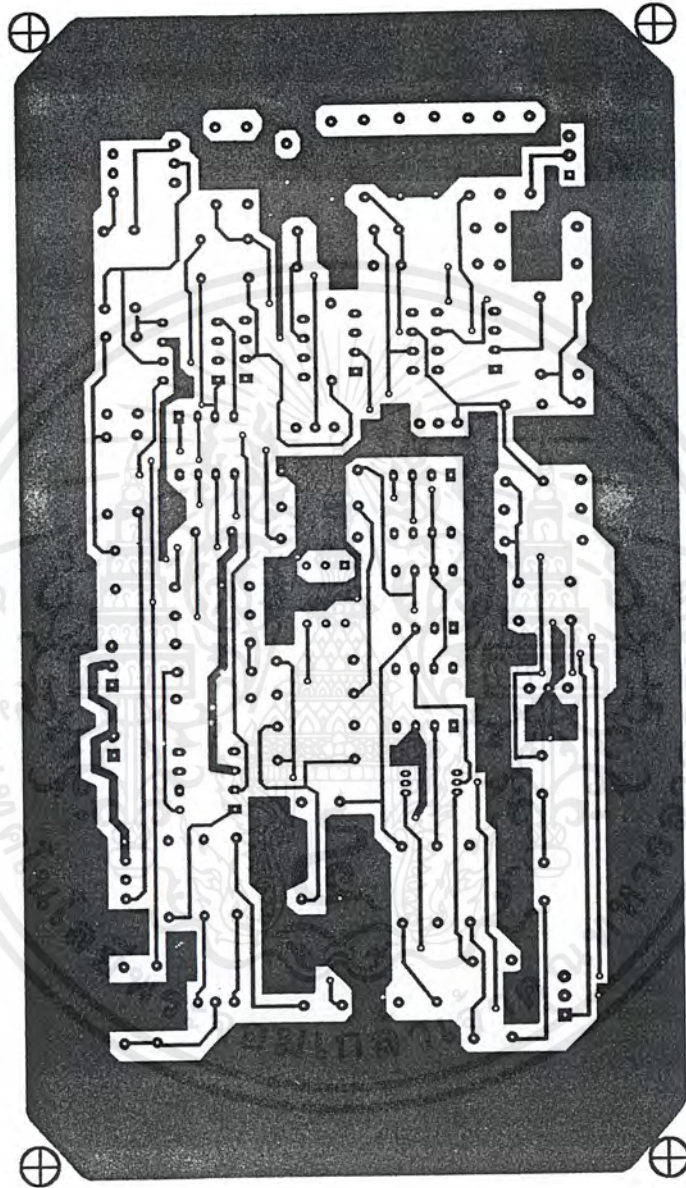
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก3

ลายทองแดงด้านบน (Top Layer) ของวงจรรักษาขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

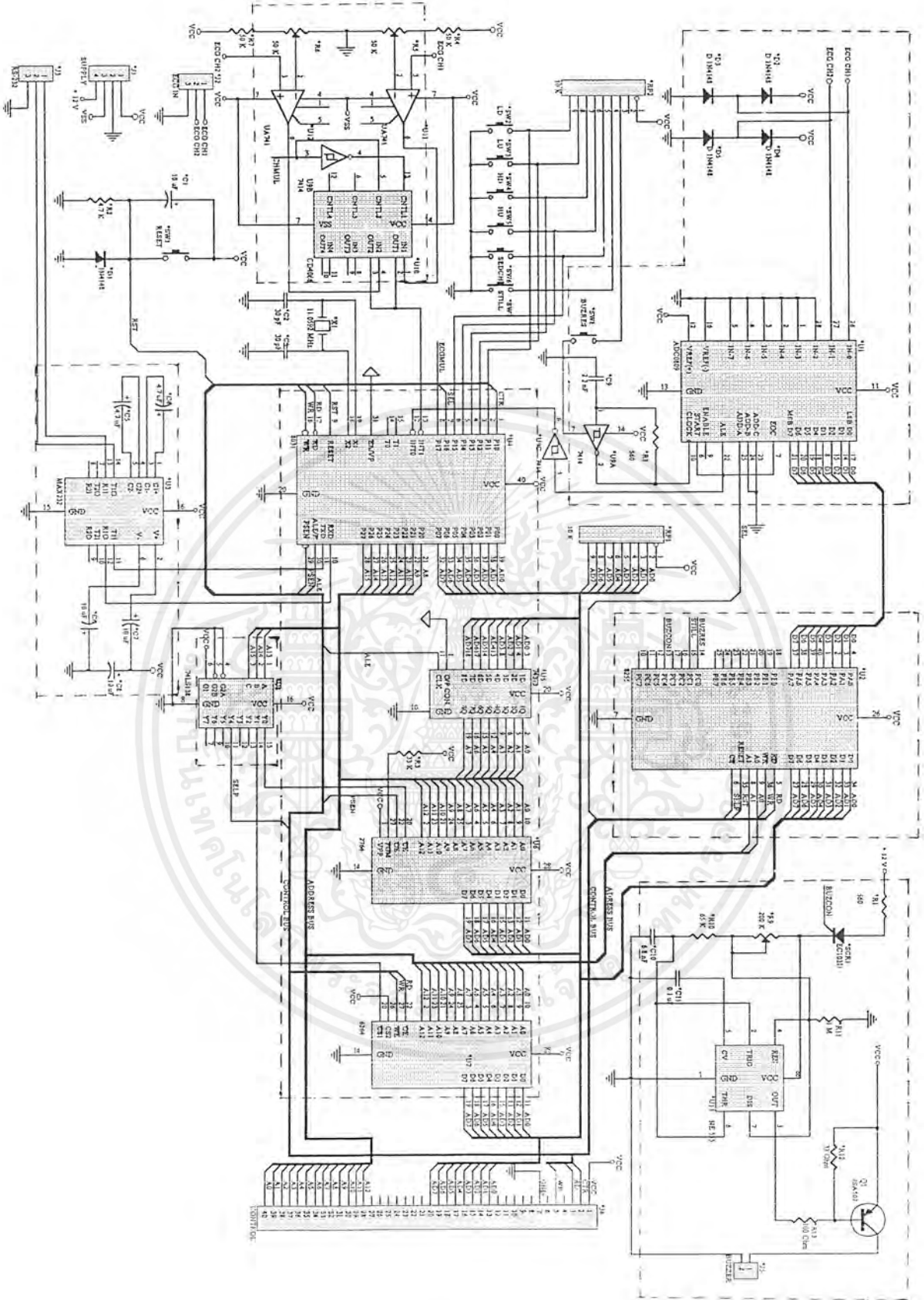


รูปที่ ก4

ลายทองแดงด้านล่าง (Bottom Layer) ของวงจรรักษาขยาย

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier)

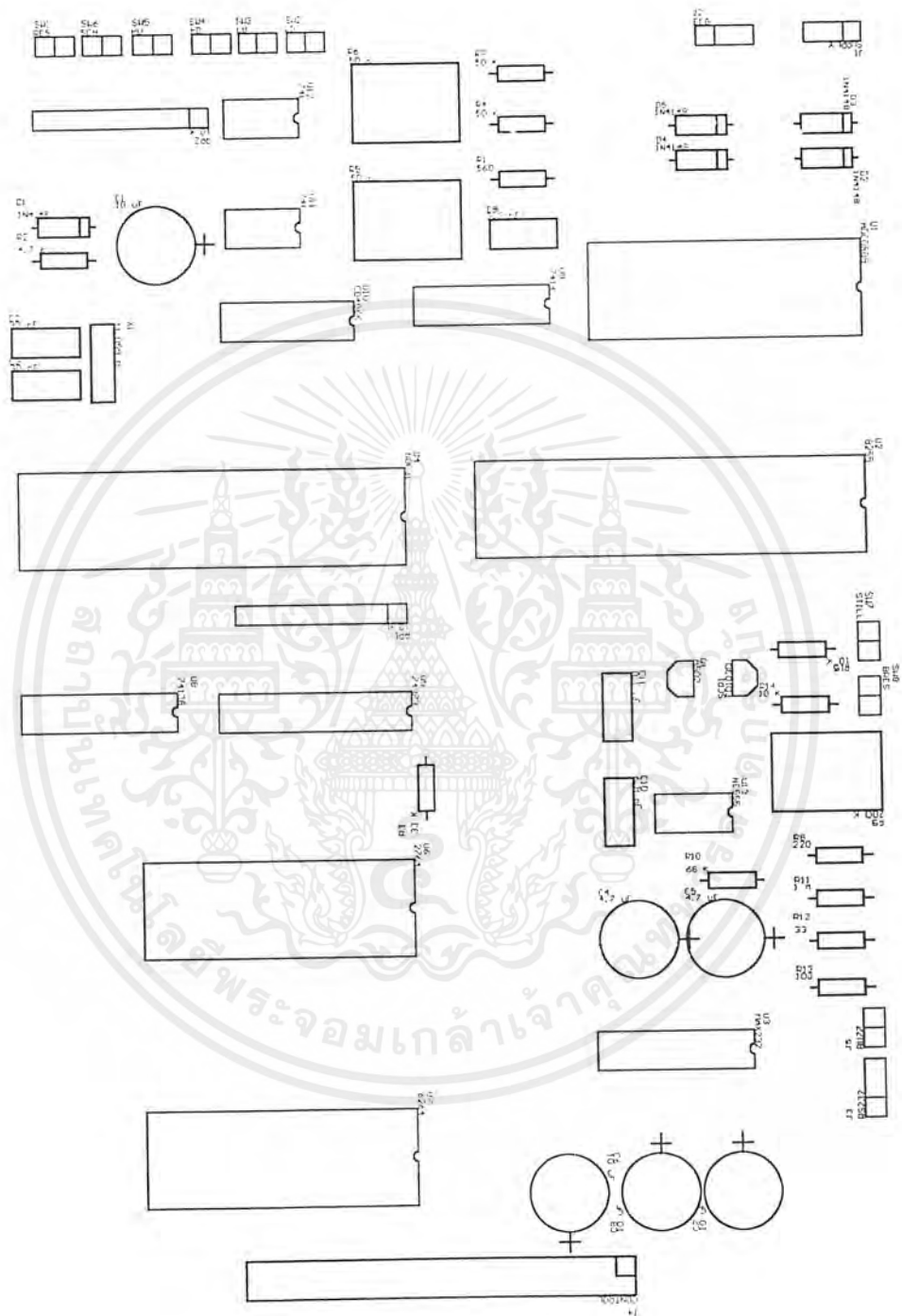
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓5

วงจรภาคประมวลผล (Microcontroller Circuit)

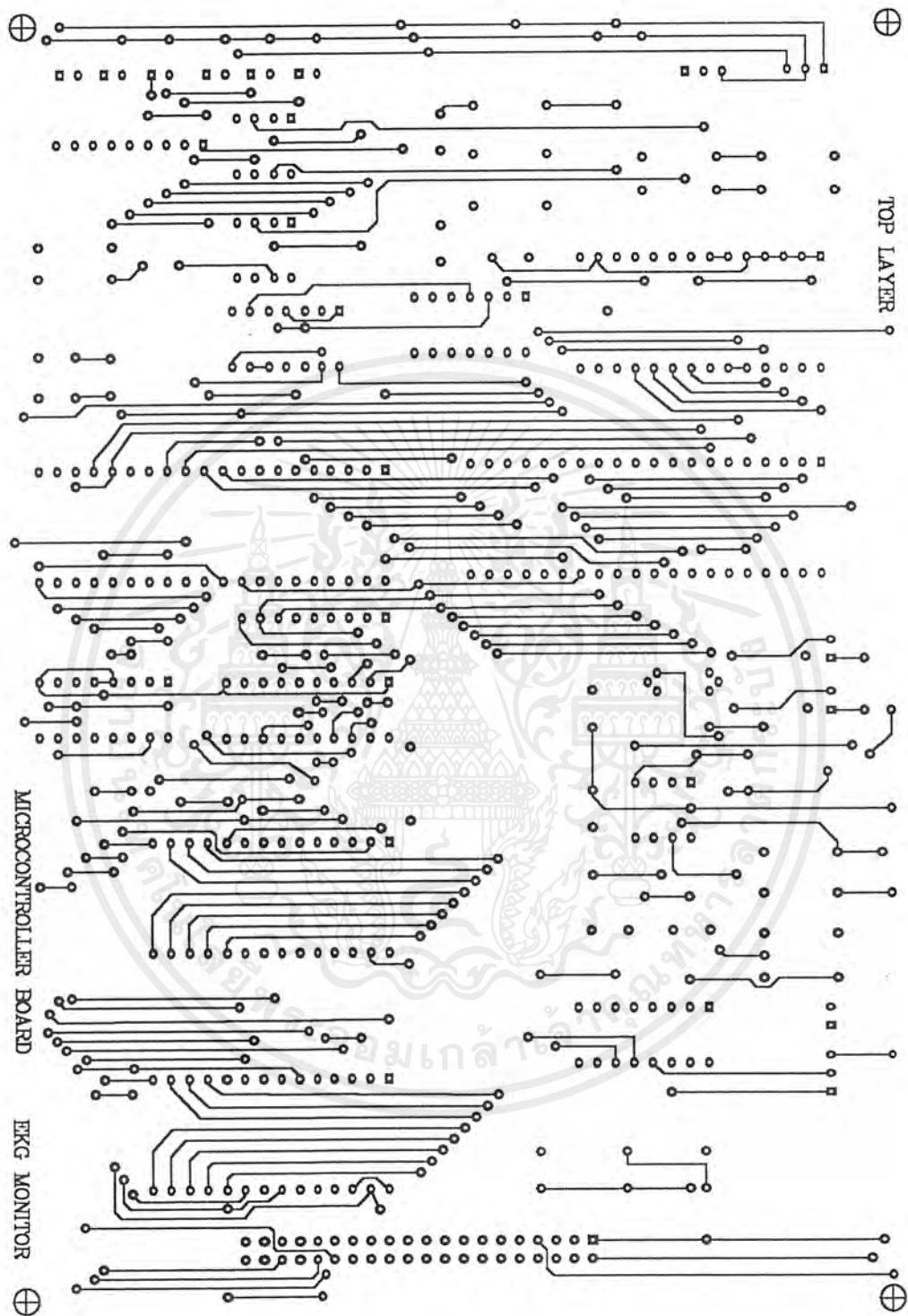
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6

Top Silkscreen Overlay ของวงจรภาคประมวลผล (Microcontroller Circuit)

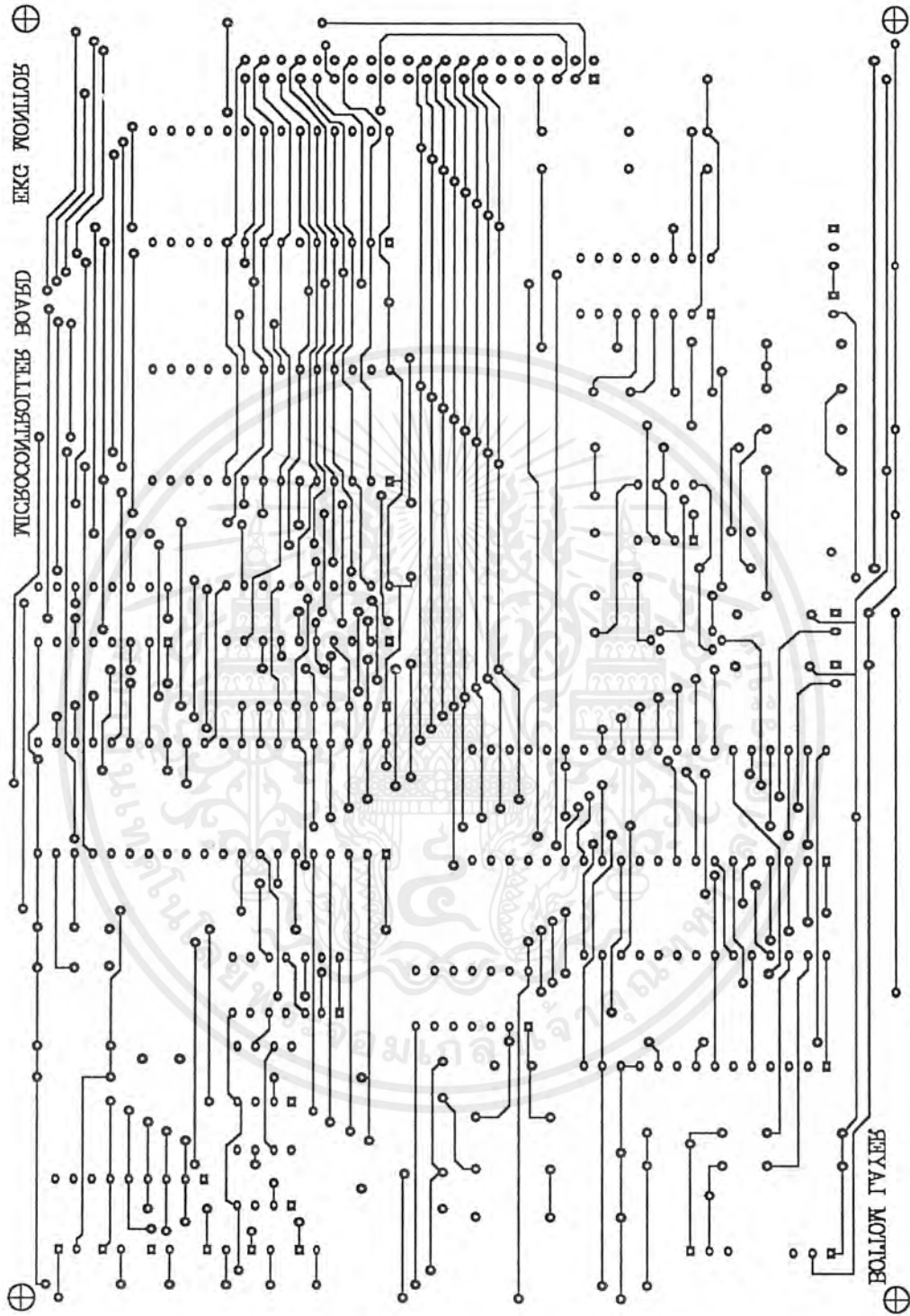
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก7

ลายทองแดงด้านบน (Top Layer) ของวงจรรภาคประมวลผล (Microcontroller Circuit)

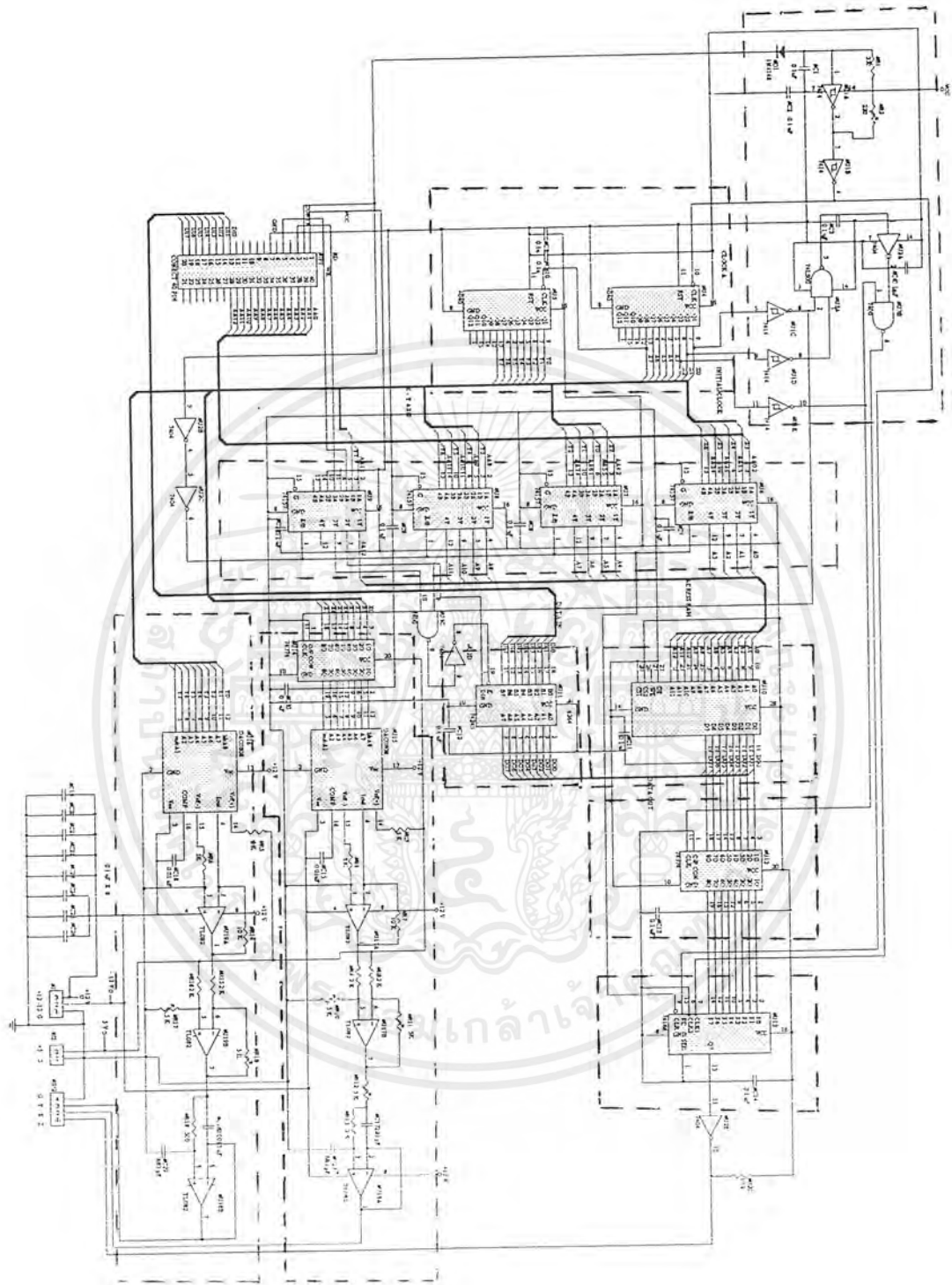
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓8

ลายทองแดงด้านล่าง (Bottom Layer) ของวงจรรากคปรมวลผล (Microcontroller Circuit)

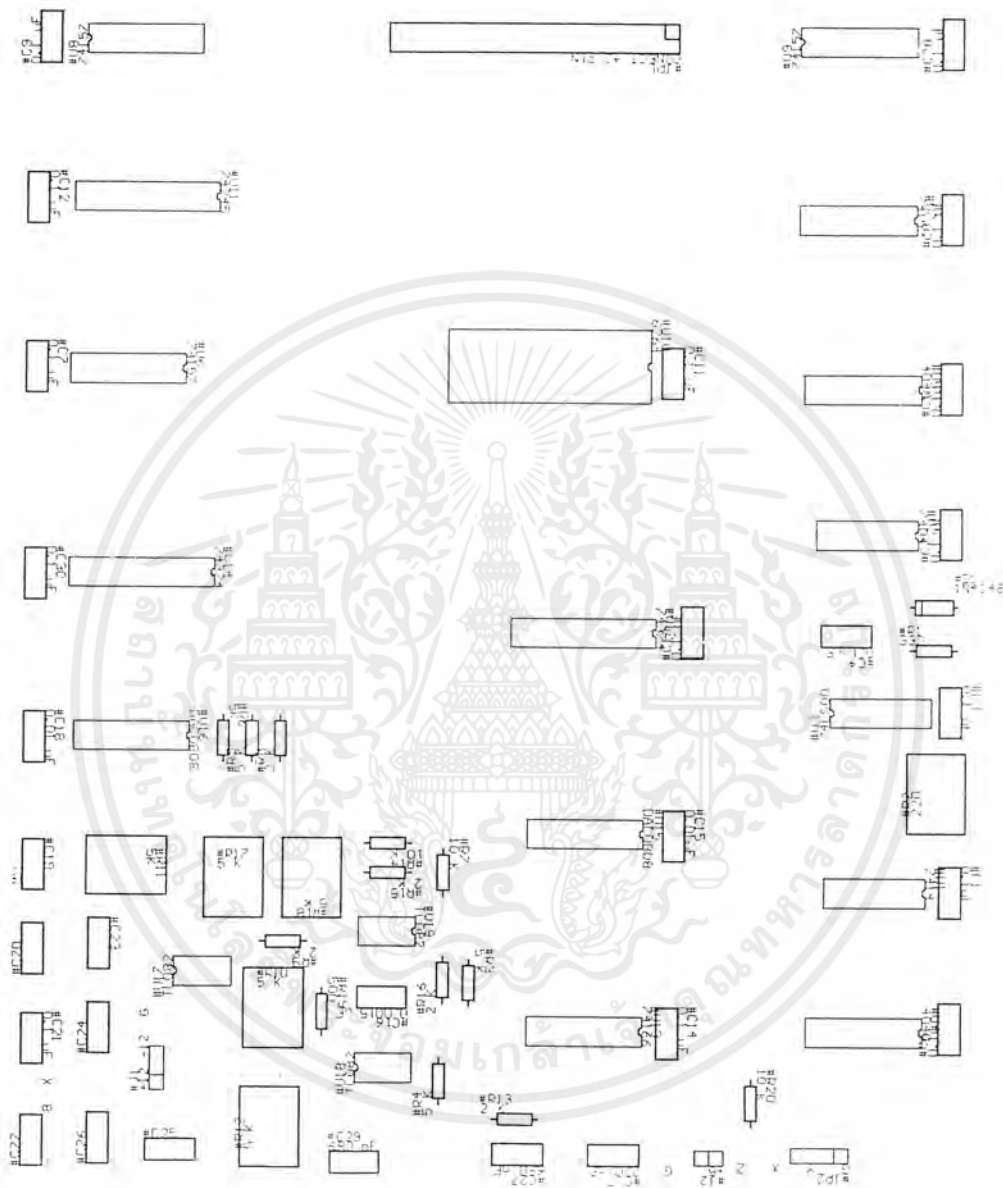
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก9

วงจรภาคควบคุมการแสดงผล (Display Control Circuit)

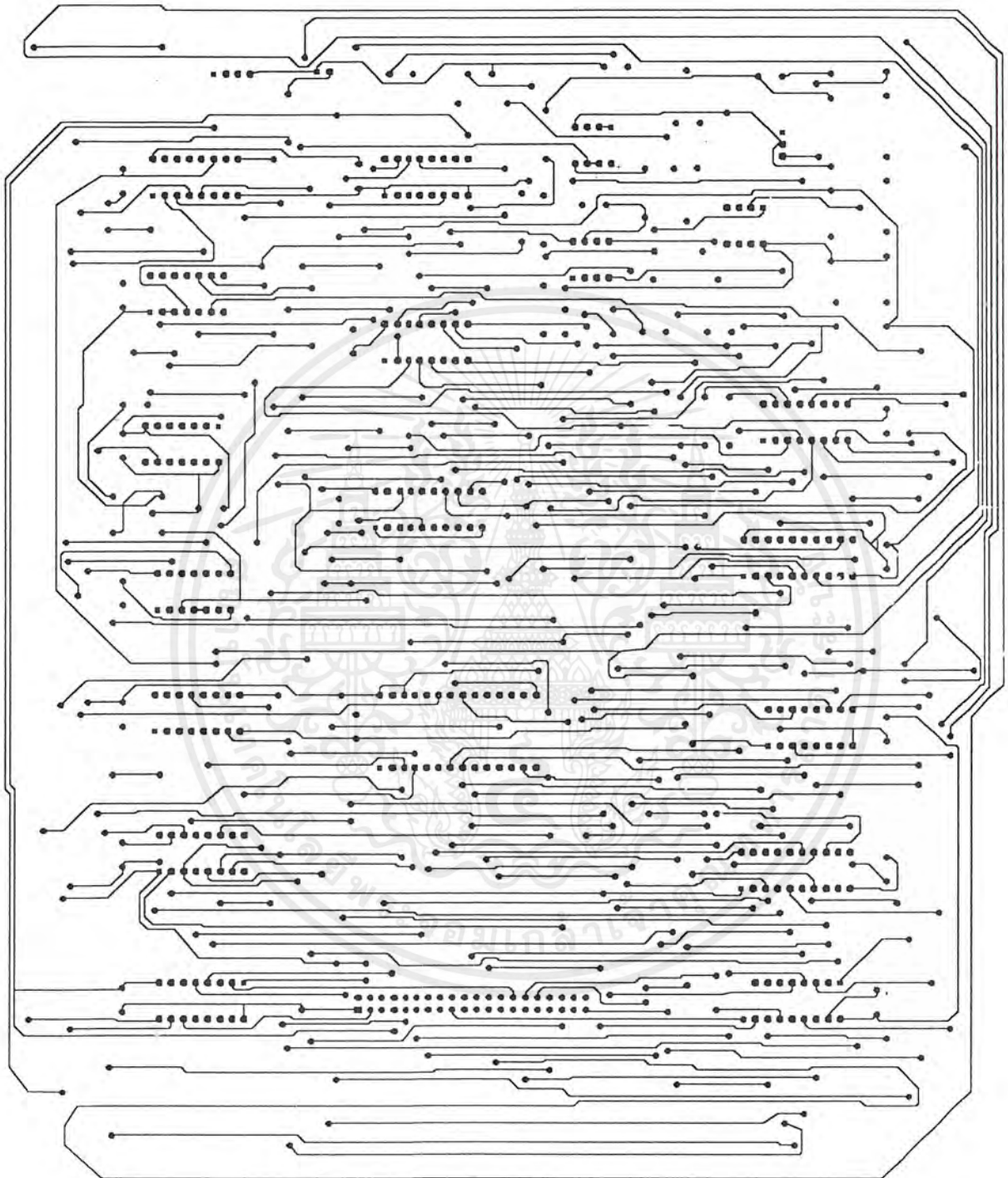
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10

Top Silkscreen Overlay ของวงจรควบคุมการแสดงผล (Display Control Circuit)

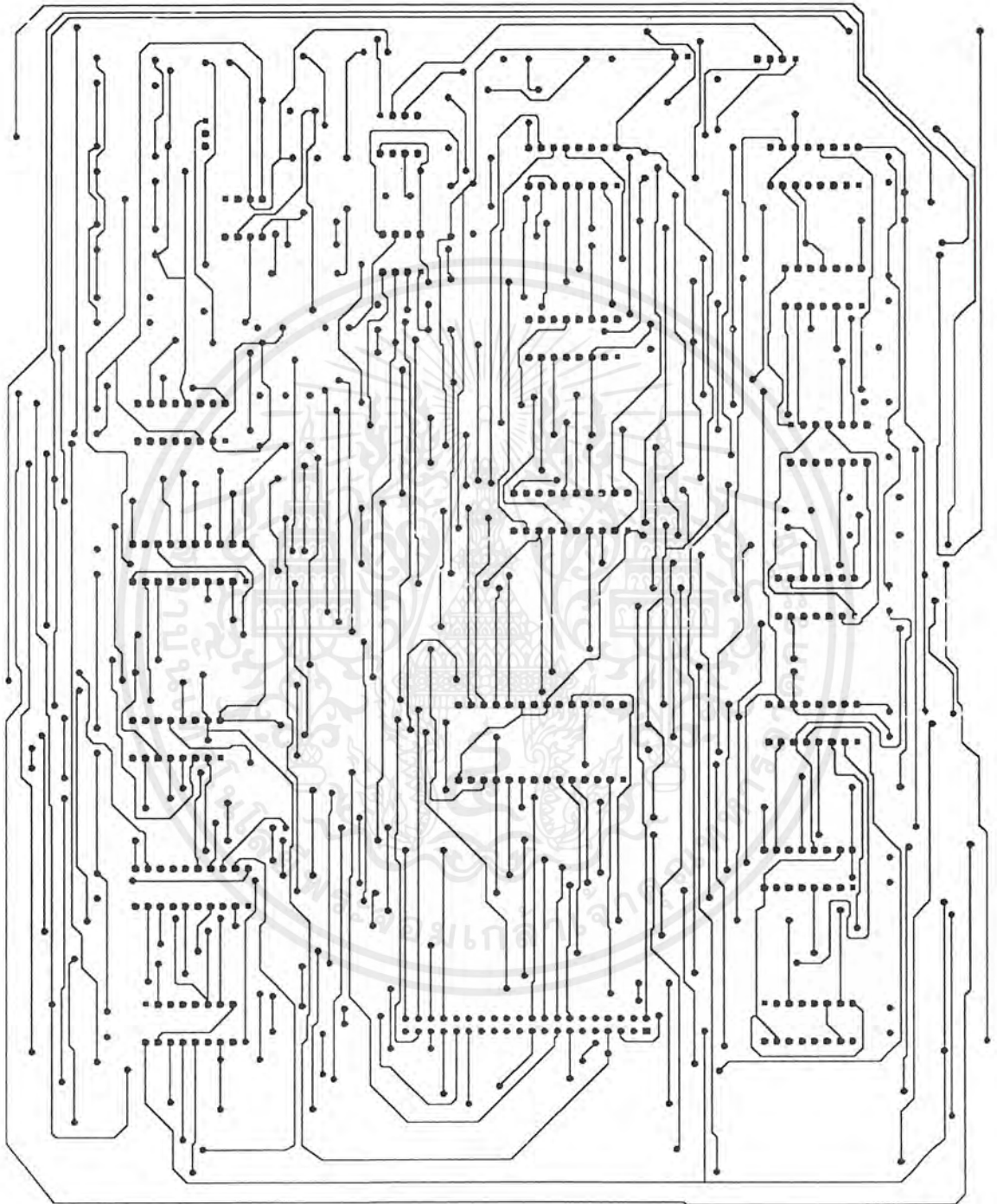
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก11

ลายทองแดงด้านบน (Top Layer) ของวงจรรภาคควบคุมการแสดงผล (Display Control Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

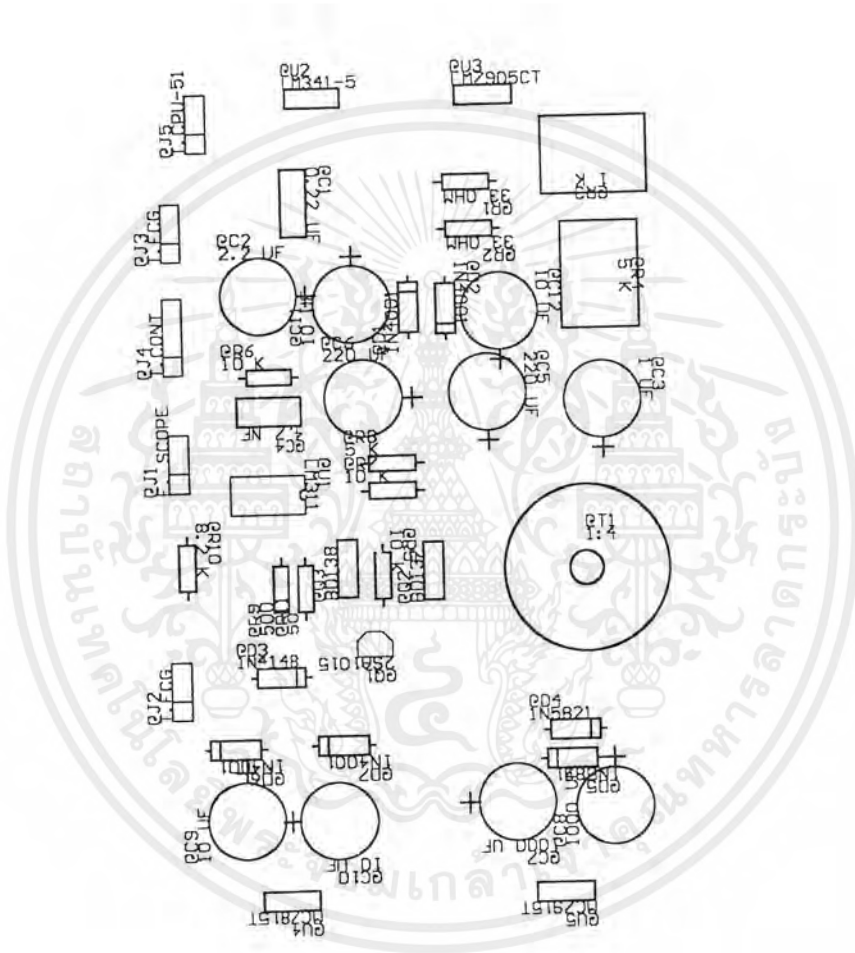


รูปที่ ก12

ลายทองแดงด้านล่าง (Bottom Layer) ของวงจรรภาคควบคุมการแสดงผล (Display Control Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

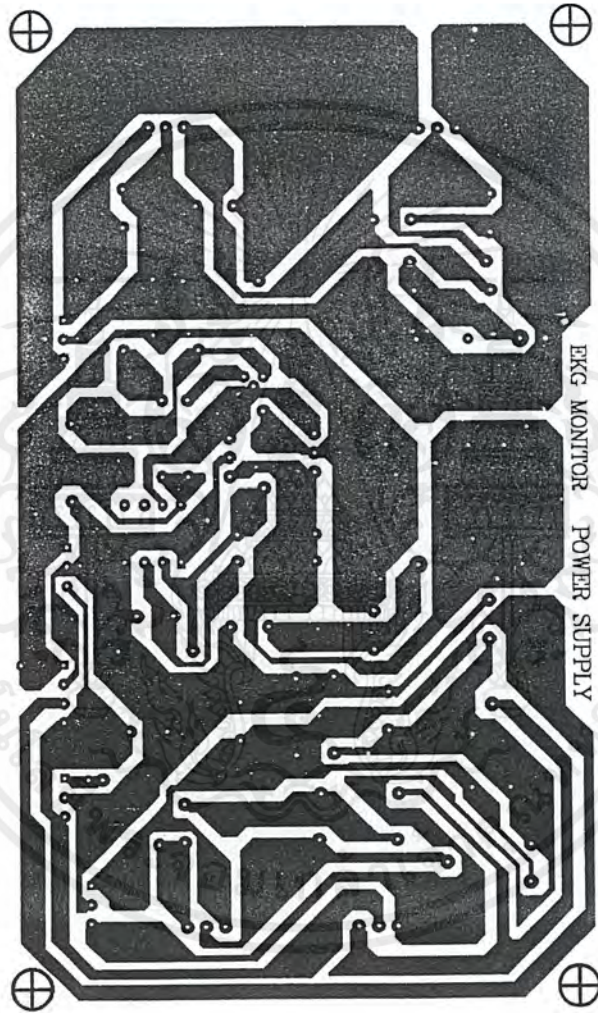




รูปที่ 14

Top Silkscreen Overlay ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

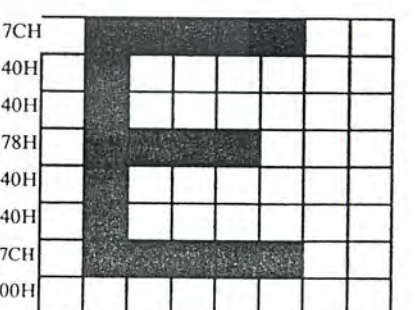
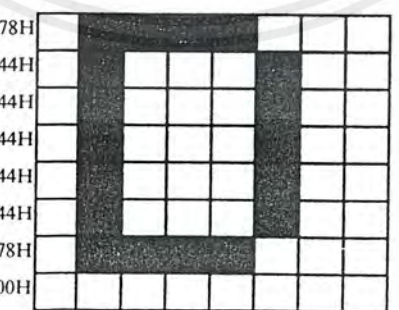
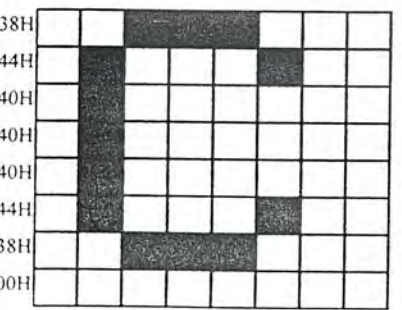
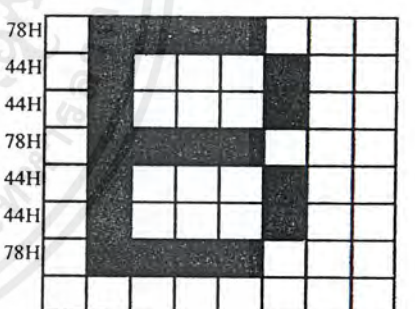
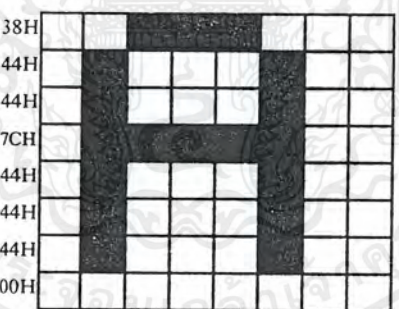
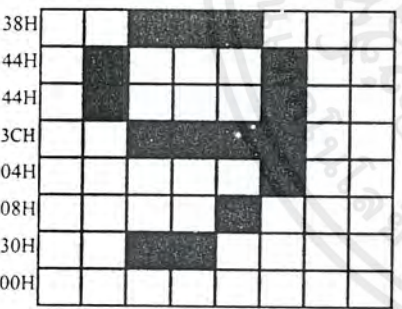
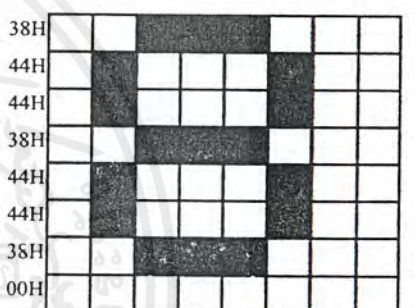
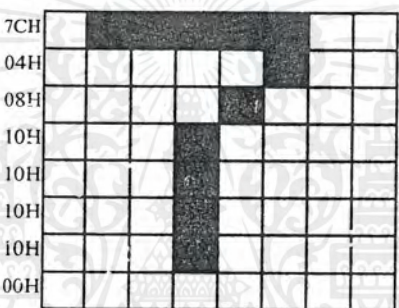
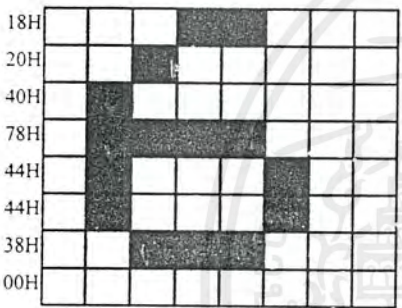
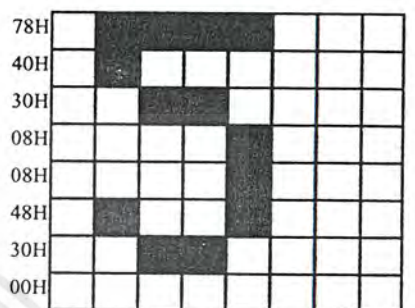
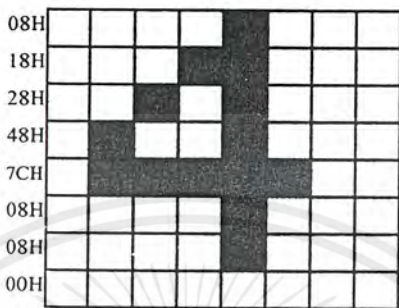
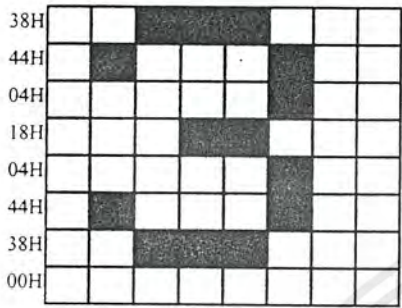
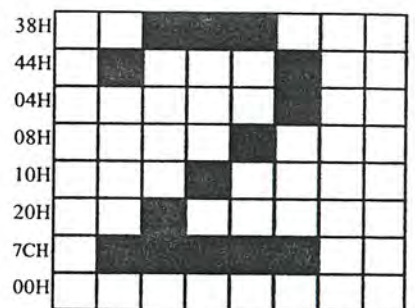
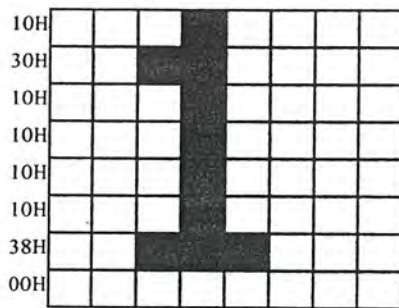
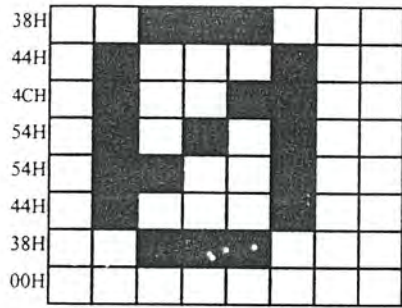
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก15

ลายทองแดงด้านล่าง (Bottom Layer) ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

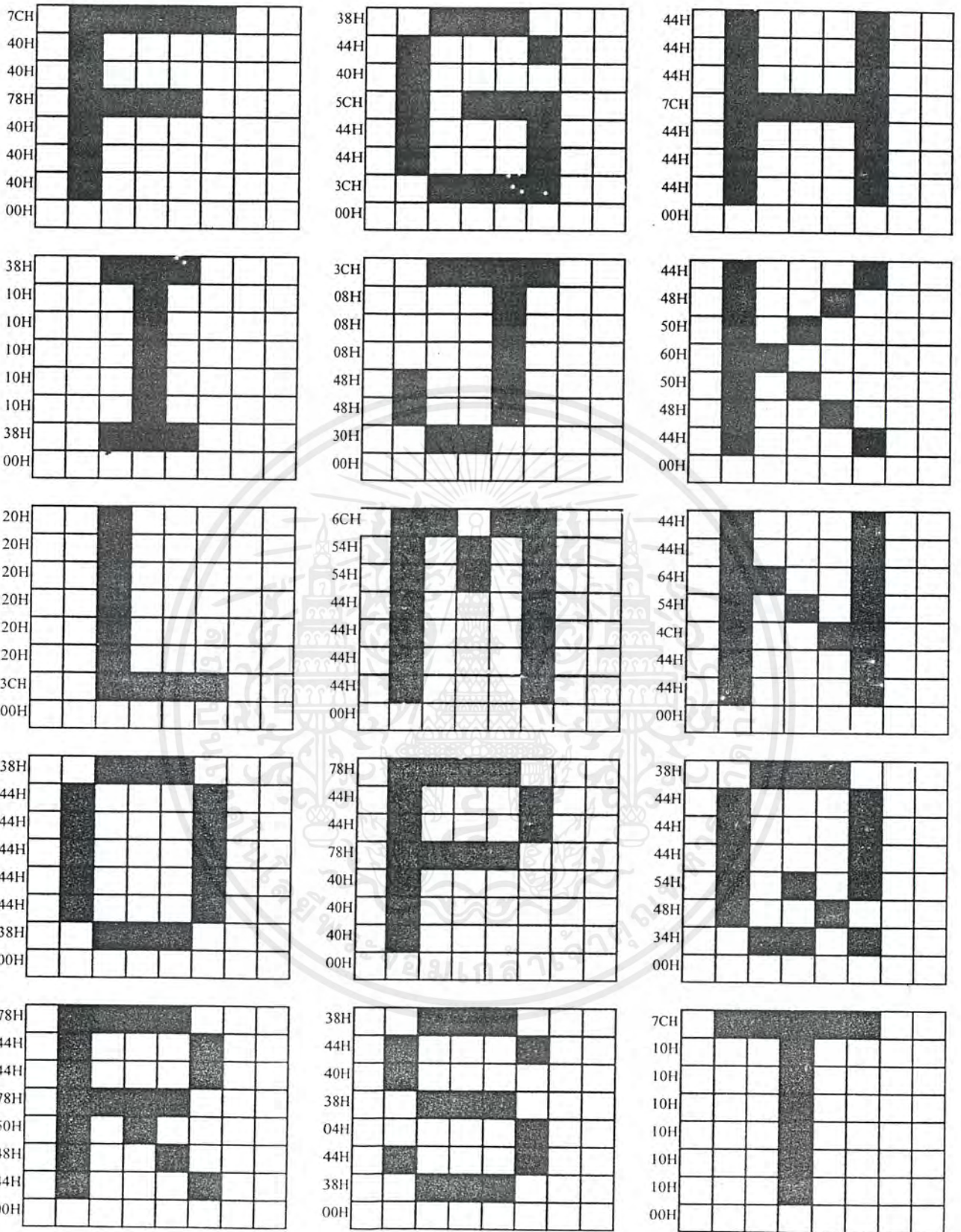
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก16

การออกแบบตัวอักษรที่ใช้ในการแสดงผล

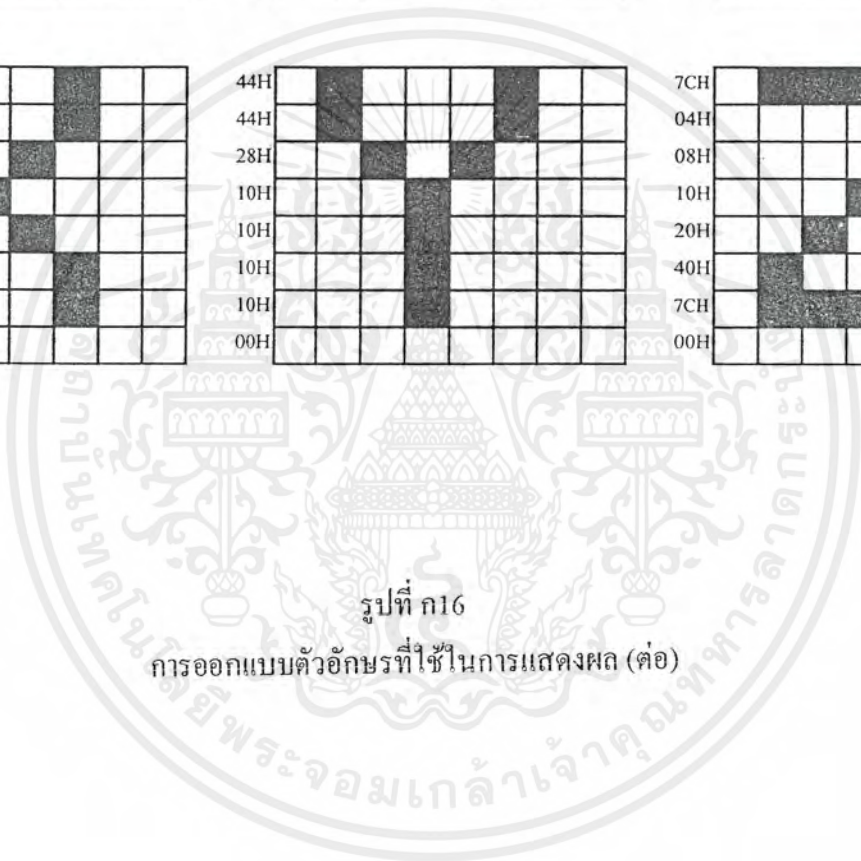
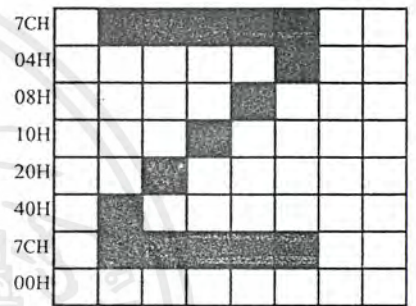
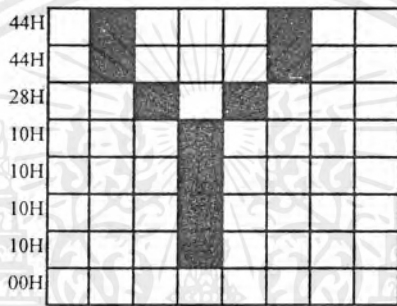
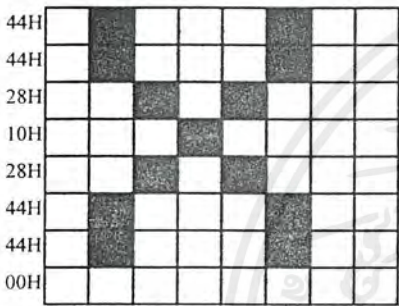
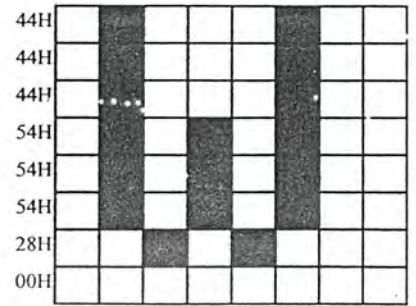
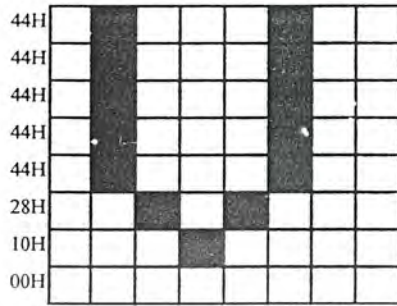
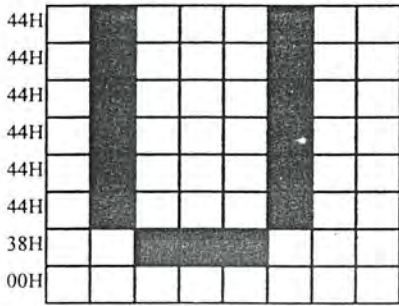
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก16

การออกแบบตัวอักษรที่ใช้ในการแสดงผล (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก16

การออกแบบตัวอักษรที่ใช้ในการแสดงผล (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

## รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 แสดงพารามิเตอร์ของ Transistors Bipolar Types ที่ใช้ในโครงการ

NO.Device	Description and Application	Collector To	Collector	Base To Emitter	Max. Collector	Max. Device	Freq. In MHz $F_T$	Current	Package	
		Base Volts $BV_{CBO}$	To Emitter Volts $BV_{CEO}$	Volts $BV_{EBO}$	Current $I_C$ Amps	Diss. $P_D$ Watts		Gain $h_{FE}$		
2SA1015	PNP-Si, AF Pwr Amp( Comp. to 2SC1815 )	100	80	5	.5	.500 (TA = 25°C)	120	100 min	TO-92	T16
2SC1815	NPN-Si, AF Pwr Amp(Comp. To 2SA 1015 )	100	80	5	.5	.500(TA = 25°C)	120	100 min	TO-92	T16
BD137	NPN-Si, AF Driver (Comp. ToBD138)	180	160	5	1.5	1 (TA= 25°C) 20 (TA= 25°C)	140	100 typ	TO-126	T45
2SA562	PNP-Si, AF Pwr Amp	100	80	5	.5	.500 (TA=25°C)	120	100 min	TO-92	T16

ตารางที่ ข2 แสดงพารามิเตอร์ของ Silicon Controlled Rectifiers (SCR) Phase Control – SCR ที่ใช้ในโครงการ

No. Device	$I_{TRMS}$ (Amp)	$I_{TAVE}$ (Amp)	$I_{GT\ min}$ (uA)	$V_{GT\ max}$ (Volt)	$I_{Surge}$ (Amp)	$I_H\ min$ (mA)	VGFM (Volt)	VGRM (Volt)	VF on max (Volt)	PG Av (Watt)	Tj (°C)	Fig. No.	Package
EC103D	0.8	0.5	200	0.8	6.0	5.0	8.0	8.0	1.7	.01	-65 to +125	Z36	TO-92

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

### General Description

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

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

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

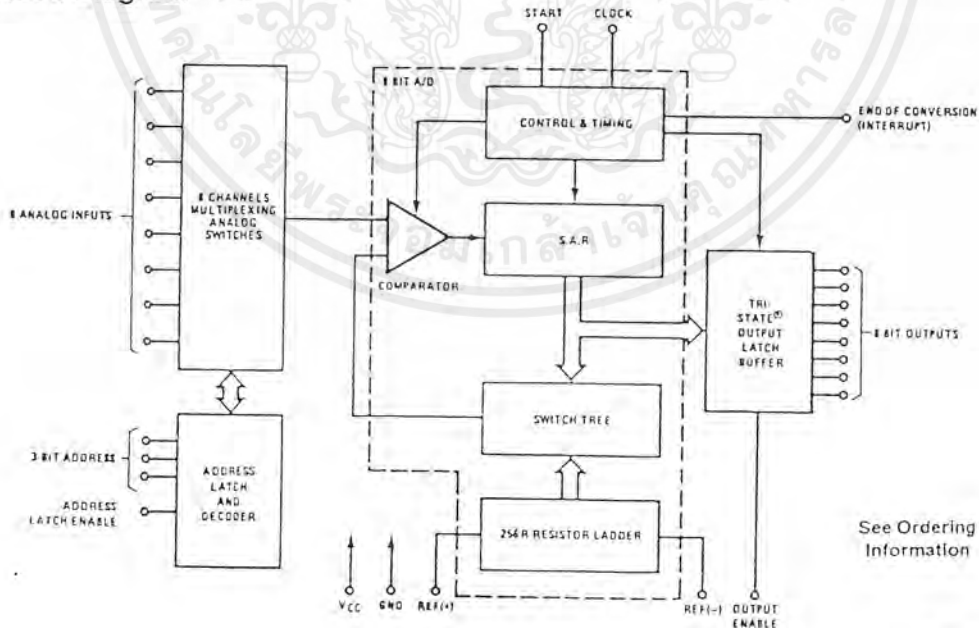
### Features

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

### Key Specifications

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

### Block Diagram



See Ordering Information

TL/H/5672-1

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3V$ )
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs	-0.3V to $\pm 15V$
(START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ C$	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	400V

## Operating Conditions (Notes 1 & 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0808CJ	-55°C $\leq T_A \leq$ +125°C
ADC0808CCJ, ADC0808CCN,	
ADC0809CCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
Range of $V_{CC}$ (Note 1)	4.5 $V_{DC}$ to 6.0 V

## Electrical Characteristics

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

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

## Electrical Characteristics

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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,  $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$ ,  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CONTROL INPUTS</b>						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC} - 1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 15V$			1.0	$\mu A$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN} = 0$	-1.0			$\mu A$
$I_{CC}$	Supply Current	$f_{CLK} = 640 \text{ kHz}$		0.3	3.0	mA
<b>DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)</b>						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$	$V_{CC} - 0.4$			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	$\mu A$ $\mu A$

## Electrical Characteristics

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{WS}$	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_{WALE}$	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
$t_s$	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_h$	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
$t_D$	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	$\mu S$
$t_{H1}, t_{H0}$	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 6)		125	250	ns
$t_{H1}, t_{H0}$	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$ , $R_L = 10k$ (Figure 6)		125	250	ns
$t_c$	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$ , (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	$\mu S$
$f_c$	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
$t_{EOC}$	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		$8 + 2 \mu S$	Clock Periods
$C_{IN}$	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs, (Note 12)		10	15	pF

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

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

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

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute  $0V_{DC}$  to  $5V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of  $4.900 V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

### General Description

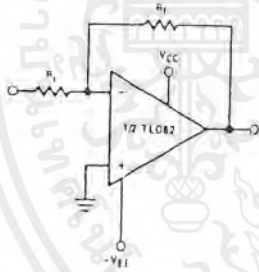
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL082 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and most LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

### Features

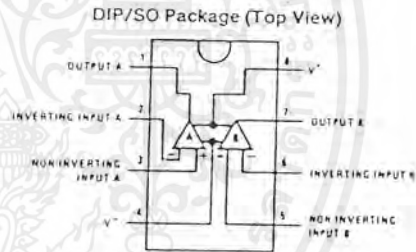
■ Internally trimmed offset voltage	15 mV
■ Low input bias current	50 pA
■ Low input noise voltage	16nV/√Hz
■ Low input noise current	0.01 pA/√Hz
■ Wide gain bandwidth	4 MHz
■ High slew rate	13 V/μs
■ Low supply current	3.6 mA
■ High input impedance	10 <sup>12</sup> Ω
■ Low total harmonic distortion $A_V = 10$ , $R_L = 10k$ , $V_O = 20 V_p - p$ , $BW = 20 \text{ Hz} - 20 \text{ kHz}$	<0.02%
■ Low 1/f noise corner	50 Hz
■ Fast settling time to 0.01%	2 μs

### Typical Connection



TL/H/8357-1

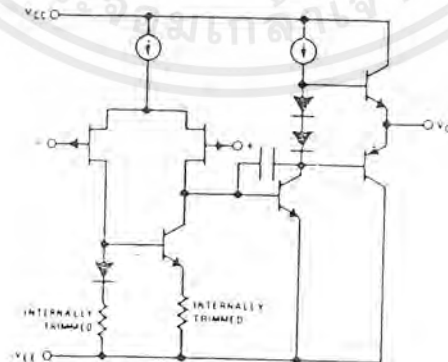
### Connection Diagram



TL/H/8357-3

Order Number TL082CM or TL082CP  
See NS Package Number M08A or N08E

### Simplified Schematic



TL/H/8357-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage  $\pm 18V$   
 Power Dissipation (Note 1)  
 Operating Temperature Range  $0^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$   
 $T_{j(MAX)}$   $150^{\circ}C$

Differential Input Voltage  $\pm 30V$   
 Input Voltage Range (Note 2)  $\pm 15V$   
 Output Short Circuit Duration Continuous  
 Storage Temperature Range  $-65^{\circ}C$  to  $+150^{\circ}C$   
 Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)  $260^{\circ}C$   
 ESD rating to be determined.

## DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	TL082C			Units
			Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^{\circ}C$ Over Temperature		5	15	mV
					20	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$		10		$\mu V/^{\circ}C$
$I_{OS}$	Input Offset Current	$T_I = 25^{\circ}C$ , (Notes 4, 5) $T_I \leq 70^{\circ}C$		25	200	pA
					4	nA
$I_B$	Input Bias Current	$T_I = 25^{\circ}C$ , (Notes 4, 5) $T_I \leq 70^{\circ}C$		50	400	pA
					8	nA
$R_{IN}$	Input Resistance	$T_I = 25^{\circ}C$		$10^{12}$		$\Omega$
$A_{VOL}$	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$ , $T_A = 25^{\circ}C$ $V_O = \pm 10V$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ Over Temperature	25	100		V/mV
			15			V/mV
$V_O$	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$	$\pm 12$	$\pm 13.5$		V
$V_{CM}$	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	$\pm 11$	$\pm 15$		V
				$-12$		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	70	100		dB
$I_S$	Supply Current			3.6	5.6	mA

## AC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	TL082C			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	$T_A = 25^{\circ}C$ , $f = 1\text{ Hz}$ , 20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V$ , $T_A = 25^{\circ}C$	8	13		V/ $\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V$ , $T_A = 25^{\circ}C$		4		MHz
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^{\circ}C$ , $R_S = 100\Omega$ , $f = 1000\text{ Hz}$		25		nV/ $\sqrt{Hz}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$T_I = 25^{\circ}C$ , $f = 1000\text{ Hz}$		0.01		pA/ $\sqrt{Hz}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of  $115^{\circ}C/W$  junction to ambient for the N package.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: The power dissipation limit, however, cannot be exceeded.

Note 4: These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and  $0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

Note 5: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^{\circ}C$  increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_J = T_A + \theta_{JA} P_D$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 6: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice.  $V_S = \pm 6V$  to  $\pm 15V$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Interface Circuits

## LM311 voltage comparator general description

The LM311 is a voltage comparator that has input currents more than a hundred times lower than devices like the LM306 or LM710C. It is also designed to operate over a wider range of supply voltages: from standard  $\pm 15V$  op amp supplies down to the single 5V supply used for IC logic. Its output is compatible with RTL, DTL and TTL as well as MOS circuits. Further, it can drive lamps or relays, switching voltages up to 40V at currents as high as 50 mA.

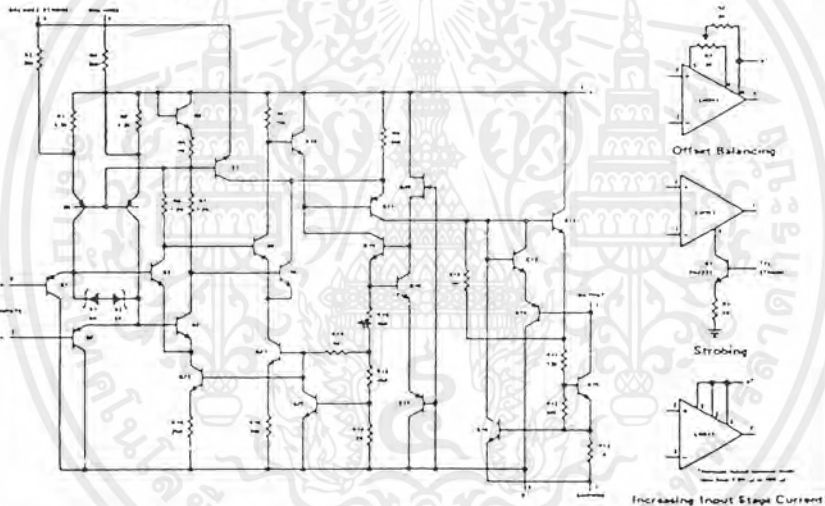
### features

- Operates from single 5V supply
- Maximum input current: 250 nA

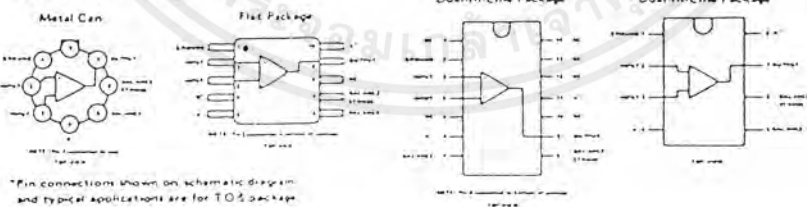
- Maximum offset current: 50 nA
- Differential input voltage range:  $\pm 30V$
- Power consumption: 135 mW at  $\pm 15V$

Both the input and the output of the LM311 can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire OR'ed. Although slower than the LM306 and LM710C (200 ns response time vs 40 ns) the device is also much less prone to spurious oscillations. The LM311 has the same pin configuration as the LM306 and LM710C.

## schematic diagram and auxiliary circuits



## connection diagrams\*



\*Pin connections shown on schematic diagram and typical applications are for TO-9 package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DAC0808/DAC0807/DAC0806 8-Bit D/A Converters

### General Description

The DAC0808 series is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with  $\pm 5V$  supplies. No reference current ( $I_{REF}$ ) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically  $\pm 1$  LSB of  $255 I_{REF} / 256$ . Relative accuracies of better than  $\pm 0.19\%$  assure 8-bit monotonicity and linearity. The zero level output current of less than  $4 \mu A$  provides  $\pm 0.1\%$  zero accuracy for  $I_{REF} \geq 2$  mA. The power supply currents of the DAC0808 series are independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

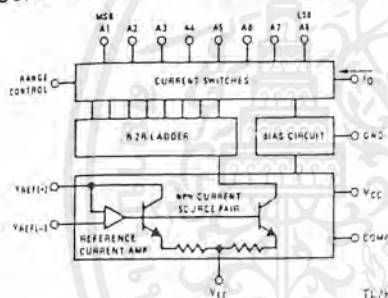
The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the

MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

### Features

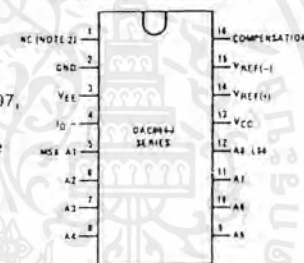
- Relative accuracy:  $\pm 0.19\%$  error maximum (DAC0808)
- Full scale current match:  $\pm 1$  LSB typ
- 7 and 6-bit accuracy available (DAC0807, DAC0806)
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ $\mu s$
- Power supply voltage range:  $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW  $\pm 5V$

### Block and Connection Diagrams

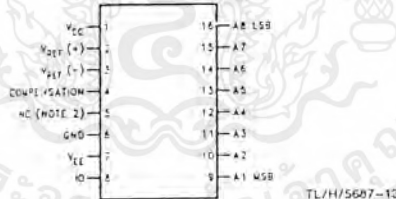


Order Number  
DAC0808, DAC0807,  
or DAC0806  
See NS Package  
Number J16A,  
M16A or N16A

### Dual-In-Line Package



### Small-Outline Package



Top View

### Ordering Information

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	ORDER NUMBERS				
		J PACKAGE (J16A)*		N PACKAGE (N16A)*		SO PACKAGE (M16A)
7-bit	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +75^{\circ}C$	DAC0807LCJ	MC1408L7	DAC0808LCN	MC1408P8	DAC0808LCM
6-bit	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +75^{\circ}C$	DAC0806LCJ	MC1408L6	DAC0807LCN	MC1408P7	DAC0807LCM
				DAC0806LCN	MC1408P6	DAC0806LCM

\*Note: Devices may be ordered by using another order number.

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Power Supply Voltage

$V_{CC}$  +18 V<sub>DC</sub>  
 $V_{EE}$  -18 V<sub>DC</sub>

Digital Input Voltage, V5-V12 -10 V<sub>DC</sub> to +18 V<sub>DC</sub>

Applied Output Voltage, V<sub>O</sub> -11 V<sub>DC</sub> to +18 V<sub>DC</sub>

Reference Current, I<sub>14</sub> 5 mA

Reference Amplifier Inputs, V14, V15  $V_{CC}, V_{EE}$

Power Dissipation (Note 3) 1000 mW

ESD Susceptibility (Note 4) TBD

Storage Temperature Range

-65°C to +150°C

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)

Dual-In-Line Package (Plastic) 260°C

Dual-In-Line Package (Ceramic) 300°C

Surface Mount Package

Vapor Phase (60 seconds) 215°C

Infrared (15 seconds) 220°C

## Operating Ratings

Temperature Range  
 DAC0808LC Series

$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$   
 $0 \leq T_A \leq +75^\circ C$

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 5V, V_{EE} = -15V_{DC}, V_{REF}/R14 = 2mA, DAC0808: T_A = -55^\circ C$  to  $+125^\circ C, DAC0808C, DAC0807C, DAC0806C: T_A = 0^\circ C$  to  $+75^\circ C$ , and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$E_r$	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale I <sub>O</sub> )	(Figure 4)				%
	DAC0808LC (LM1408-8)				±0.19	%
	DAC0807LC (LM1408-7), (Note 5)				±0.39	%
	DAC0806LC (LM1408-6), (Note 5)				±0.78	%
	Settling Time to Within 1/2 LSB (Includes t <sub>PLH</sub> )	T <sub>A</sub> = 25°C (Note 6), (Figure 5)		150		ns
t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time	T <sub>A</sub> = 25°C, (Figure 5)		30	100	ns
TCl <sub>O</sub>	Output Full Scale Current Drift			±20		ppm/°C
MSB	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)	2			V <sub>CC</sub>
V <sub>IH</sub>	High Level, Logic "1"				0.8	V <sub>CC</sub>
V <sub>IL</sub>	Low Level, Logic "0"					V <sub>CC</sub>
MSB	Digital Input Current	(Figure 3)				mA
	High Level	V <sub>IH</sub> = 5V		0	0.040	mA
	Low Level	V <sub>IL</sub> = 0.8V		-0.003	-0.8	mA
I <sub>15</sub>	Reference Input Bias Current	(Figure 3)		-1	-3	μA
	Output Current Range	(Figure 3)				mA
		V <sub>EE</sub> = -5V	0	2.0	2.1	mA
		V <sub>EE</sub> = -15V, T <sub>A</sub> = 25°C	0	2.0	4.2	mA
I <sub>O</sub>	Output Current	V <sub>REF</sub> = 2.000V, R14 = 1000Ω, (Figure 3)	1.9	1.99	2.1	mA
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)		0	4	μA
	Output Voltage Compliance (Note 2)	E <sub>r</sub> ≤ 0.19%, T <sub>A</sub> = 25°C				V <sub>CC</sub>
	V <sub>EE</sub> = -5V, I <sub>REF</sub> = 1 mA				-0.55, +0.4	V <sub>CC</sub>
	V <sub>EE</sub> Below -10V				-5.0, +0.4	V <sub>CC</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





October 1992

DATA SHEET

80C31/80C51

## CMOS SINGLE-CHIP 8 BIT MICROCONTROLLER

- 80C31/80C51 : 0 TO 12 MHz
- 80C31/80C51-1 : 0 TO 16 MHz
- 80C31-S/80C51-S : 0 TO 20 MHz

80C31/80C51-L : 0 TO 6 MHz WITH  $2.7 V < V_{CC} < 6 V$   
80C51F : 80C51 WITH PROTECTED ROM

### FEATURES

- POWER CONTROL MODES
- 128 x 8 BIT RAM
- 4 K BYTES OF ROM (80C51)
- 32 PROGRAMMABLE I/O LINES
- TWO 16 BIT TIMER/COUNTER
- 64 K PROGRAM MEMORY SPACE
- FULLY STATIC DESIGN
- BOOLEAN PROCESSOR
- 5 INTERRUPT SOURCES
- PROGRAMMABLE SERIAL PORT
- 64 K DATA MEMORY SPACE
- TEMPERATURE RANGE : COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AUTOMOTIVE AND MILITARY

### INTRODUCTION

MHS's 80C31 and 80C51 are high performance CMOS versions of the 8031/8051 NMOS single chip 8 bit  $\mu C$  and are manufactured using a self-aligned silicon gate CMOS process (SAJI VI).

The fully static design of the MHS 80C31/80C51 allows to reduce system power consumption by bringing the clock frequency down to any value, even DC, without loss of data.

The 80C51 retains all the features of the 8051 : 4 K bytes of ROM ; 128 bytes of RAM ; 32 I/O lines ; two 16 bit timers ; a 5-source, 2-level interrupt structure ; a full

duplex serial port ; and on-chip oscillator and clock circuits.

In addition, the 80C51 has two software-selectable modes of reduced activity for further reduction in power consumption. In the Idle Mode the CPU is frozen while the RAM, the timers, the serial port, and the interrupt system continue to function. In the Power Down Mode the RAM is saved and all other functions are inoperative.

The 80C31 is identical to the 80C51 except that it has no on-chip ROM.

*The information contained herein is subject to change without notice. No responsibility is assumed by MATRA MHS SA for using this publication and/or circuits described herein ; nor for any possible infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## INTERFACE

### PIN CONFIGURATION

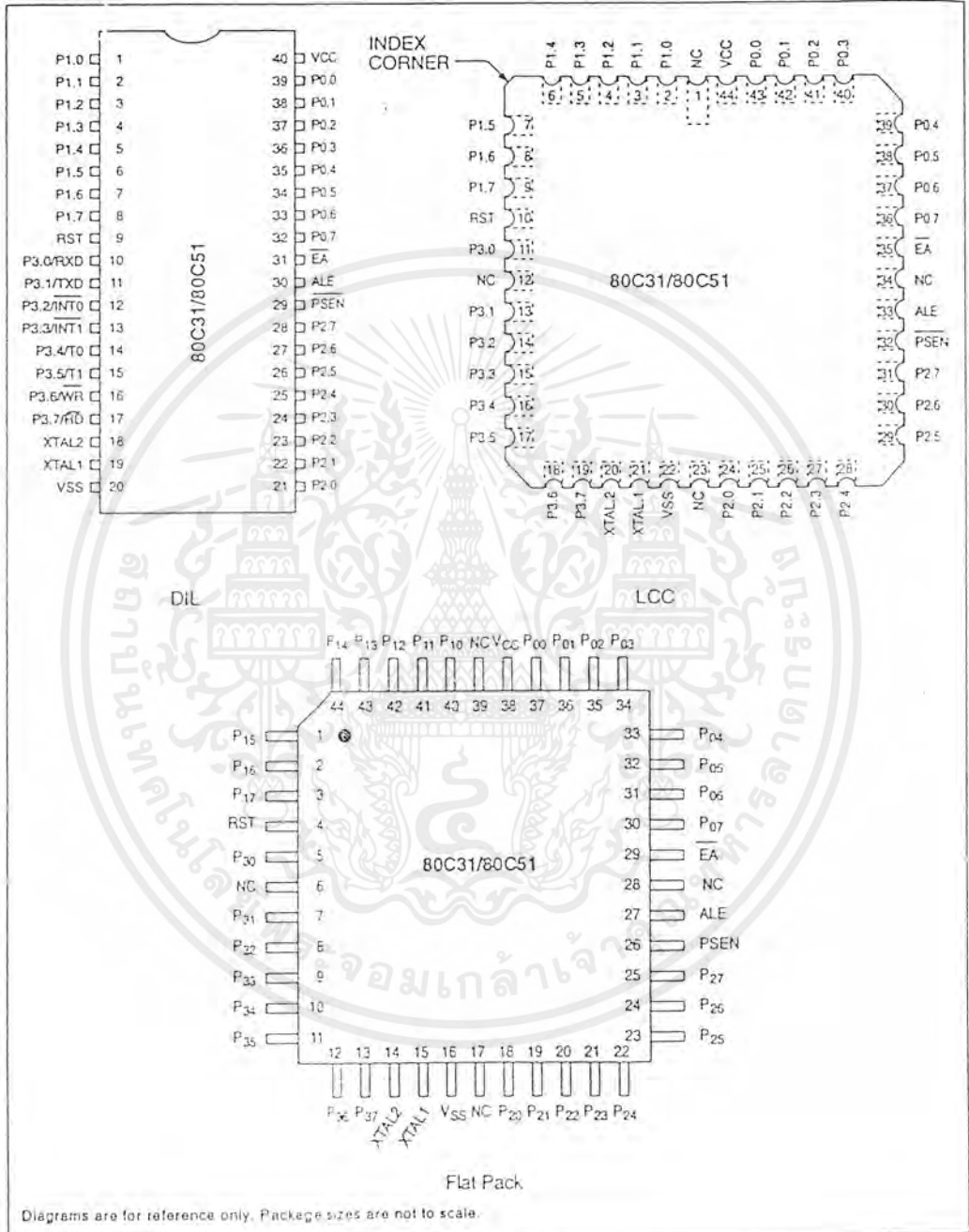


Figure 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FUNCTIONAL DESCRIPTION

## BLOCK DIAGRAM

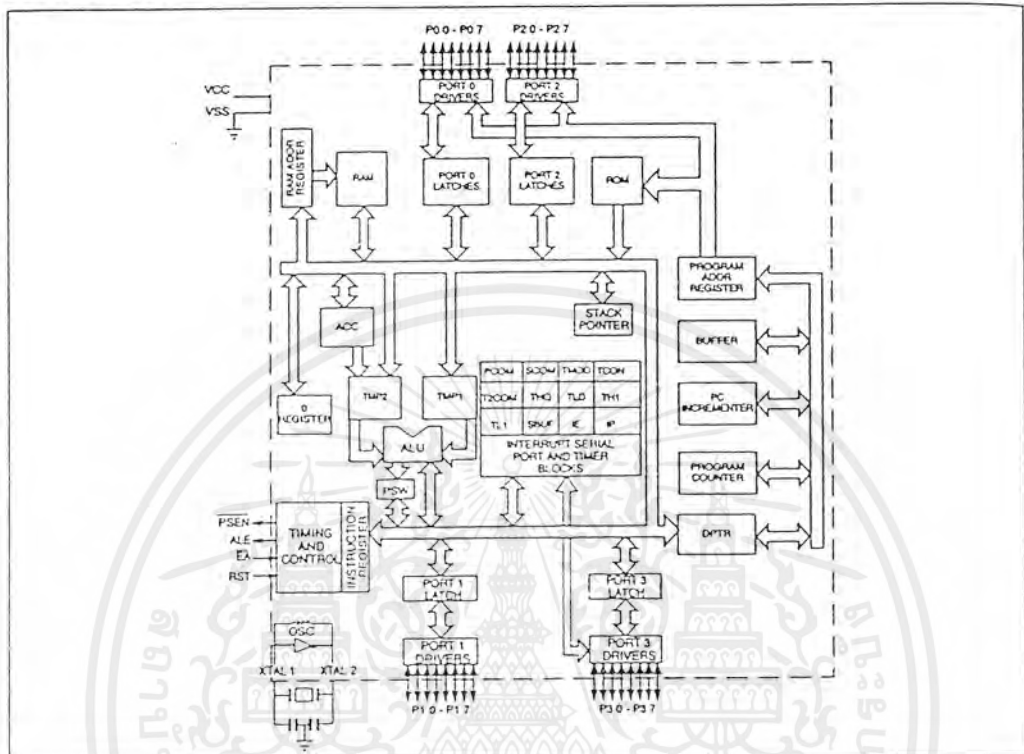


Figure 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\*

Ambient Temperature Under Bias :

C = commercial ..... 0°C to 70°C

I = industrial ..... - 40°C to +85°C

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

Voltage on V<sub>CC</sub> to V<sub>SS</sub> ..... - 0.5 V to + 7 VVoltage on Any Pin to V<sub>SS</sub> ..... - 0.5 V to V<sub>CC</sub> + 0.5 V

Power Dissipation ..... 1 W\*\*

\*\* This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package

## \* Notice

Stresses at or above those listed under \* Absolute Maximum Ratings\* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

## DC CHARACTERISTICS

T<sub>A</sub> = 0 to + 70°C ; V<sub>CC</sub> = 5 V ± 20 % ; V<sub>SS</sub> = 0 V ; F = 0 to 16 MHzV<sub>CC</sub> = 5 V ± 10 % ; V<sub>SS</sub> = 0 V ; F = 16 to 20 MHzT<sub>A</sub> = - 40 to 85°C ; V<sub>CC</sub> = 5 V ± 10 % ; V<sub>SS</sub> = 0 V ; F = 0 to 16 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V <sub>CC</sub> - 0.1	V	
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (Except XTAL and RST)	0.2 V <sub>CC</sub> + 0.9	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
V <sub>IH1</sub>	Input High Voltage (RST and XTAL1)	0.7 V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.3 0.45 1.0	V V V	I <sub>OL</sub> = 100 μA I <sub>OL</sub> = 1.6 mA (note 3) I <sub>OL</sub> = 3.5 mA
V <sub>OL1</sub>	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.3 0.45 1.0	V V V	I <sub>OL</sub> = 200 μA I <sub>OL</sub> = 3.2 mA (note 3) I <sub>OL</sub> = 7.0 mA
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	V <sub>CC</sub> - 0.3 V <sub>CC</sub> - 0.7 V <sub>CC</sub> - 1.5		V V V	I <sub>OH</sub> = - 10 μA I <sub>OH</sub> = - 30 μA I <sub>OH</sub> = - 60 μA V <sub>CC</sub> = 5 V ± 10 %
V <sub>OH1</sub>	Output High Voltage (Port 0, ALE, PSEN)	V <sub>CC</sub> - 0.3 V <sub>CC</sub> - 0.7 V <sub>CC</sub> - 1.5		V V V	I <sub>OH</sub> = - 200 μA I <sub>OH</sub> = - 3.2 mA I <sub>OH</sub> = - 7.0 mA V <sub>CC</sub> = 5 V ± 10 %
I <sub>IL</sub>	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)		C - 50 I - 60	μA	V <sub>in</sub> = 0.45 V
I <sub>LI</sub>	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	μA	0.45 < V <sub>in</sub> < V <sub>CC</sub>
I <sub>TL</sub>	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 650	μA	V <sub>in</sub> = 2.0 V
IPD	Power Down Current		50	μA	V <sub>CC</sub> = 2.0 V to 6 V (note 2)
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C <sub>IO</sub>	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	f <sub>c</sub> = 1 MHz, T <sub>A</sub> = 25°C
ICC	Power Supply Current				(notes 1, 2)
	Active Mode				
	12 MHz		20	mA	
	16 MHz		26	mA	
	20 MHz		32	mA	
	Idle Mode				
	12 MHz		5	mA	
	16 MHz		6	mA	
	20 MHz		8	mA	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias :

A = Automotive .....	- 40°C to + 125°C
Storage Temperature.....	- 65°C to + 150°C
Voltage on Any Pin to V <sub>SS</sub> .....	- 0.5 V to V <sub>CC</sub> + 0.5 V
Voltage on V <sub>CC</sub> to V <sub>SS</sub> .....	- 0.5 V to 6.5 V
Power Dissipation.....	1 W

**\* Notice**

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

**DC CHARACTERISTICS**T<sub>A</sub> = - 40° to 125°C ; V<sub>CC</sub> = 5 V ± 10 % ; V<sub>SS</sub> = 0 V ; F = 0 to 12 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V <sub>CC</sub> - 0.1	V	
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (Except XTAL1, RST)	0.2 V <sub>CC</sub> + 0.9	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
V <sub>IH1</sub>	Input High Voltage (XTAL1, RST)	0.7 V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.3	V	I <sub>OL</sub> = 100 μA
			0.45	V	I <sub>OL</sub> = 1.6 mA (note 3)
			1.0	V	I <sub>OL</sub> = 3.5 mA
V <sub>OL1</sub>	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.3	V	I <sub>OL</sub> = 200 μA
			0.45	V	I <sub>OL</sub> = 3.2 mA (note 3)
			1.0	V	I <sub>OL</sub> = 7.0 mA
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)	V <sub>CC</sub> - 0.3		V	I <sub>OH</sub> = - 10 μA
		V <sub>CC</sub> - 0.7		V	I <sub>OH</sub> = - 30 μA
		V <sub>CC</sub> - 1.5		V	I <sub>OH</sub> = - 60 μA
V <sub>OH1</sub>	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode, ALE, PSEN)	V <sub>CC</sub> - 0.3		V	I <sub>OH</sub> = - 200 μA
		V <sub>CC</sub> - 0.7		V	I <sub>OH</sub> = - 3.2 mA
		V <sub>CC</sub> - 1.5		V	I <sub>OH</sub> = - 7.0 mA
I <sub>IL</sub>	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		- 75	μA	V <sub>in</sub> = 0.45 V
I <sub>TL</sub>	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 750	μA	V <sub>in</sub> = 2.0 V
I <sub>LI</sub>	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	μA	0.45 < V <sub>in</sub> < V <sub>CC</sub>
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C <sub>IO</sub>	Pin Capacitance		10	pF	Test Freq = 1 MHz, T <sub>A</sub> = 25°C
I <sub>PD</sub>	Power Down Current		75	μA	V <sub>CC</sub> = 2 V to 5.5 V (note 2)
I <sub>CC</sub>	Power supply current Active mode 12 MHz Idle mode 12 MHz		21	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5 V (notes 1, 2)
			7	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5 V (notes 1, 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias :

M =Military .....	- 55°C to + 125°C
Storage Temperature .....	- 65°C to + 150°C
Voltage on Any Pin to V <sub>SS</sub> .....	- 0.5 V to V <sub>CC</sub> + 0.5 V
Voltage on V <sub>CC</sub> to V <sub>SS</sub> .....	- 0.5 V to 6.5 V
Power Dissipation .....	1 W

**\* Notice**

Stresses above those listed under \*Absolute Maximum Ratings\* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended period may affect device reliability.

**DC CHARACTERISTICS**T<sub>A</sub> = - 55° to 125°C ; V<sub>SS</sub> = 0 V ; V<sub>CC</sub> = 5 V ± 10 % ; F = 0 to 12 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V <sub>CC</sub> - 0.1	V	
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (Except XTAL1, RST)	0.2 V <sub>CC</sub> + 0.9	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
V <sub>IH1</sub>	Input High Voltage ( XTAL1, RST)	0.7 V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3)		0.45	V	I <sub>OL</sub> = 1.6 mA (note 3)
V <sub>OL1</sub>	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.45	V	I <sub>OL</sub> = 3.2 mA (note 3)
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)	2.4		V	I <sub>OH</sub> = - 60 μA V <sub>CC</sub> = 5 V ± 10 %
		0.75 V <sub>CC</sub>		V	I <sub>OH</sub> = - 25 μA
		0.9 V <sub>CC</sub>		V	I <sub>OH</sub> = - 10 μA
V <sub>OH1</sub>	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode, ALE, PSEN)	2.4		V	I <sub>OH</sub> = - 800 μA V <sub>CC</sub> = 5 V ± 10 %
		0.75 V <sub>CC</sub>		V	I <sub>OH</sub> = - 300 μA
		0.9 V <sub>CC</sub>		V	I <sub>OH</sub> = - 80 μA
I <sub>IL</sub>	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		- 75	μA	V <sub>in</sub> = 0.45 V
I <sub>TL</sub>	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 750	μA	V <sub>in</sub> = 2 V
I <sub>LI</sub>	Input Leakage Current (Port 0, EA)		± 10	μA	0.45 < V <sub>in</sub> < V <sub>CC</sub>
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
C <sub>IO</sub>	Pin Capacitance		10	pF	Test Freq = 1 MHz, T <sub>A</sub> = 25°C
IPD	Power Down Current		75	μA	V <sub>CC</sub> = 2 V to 5.5 V (note 2)
I <sub>CC</sub>	Power supply current Active mode 12 MHz Idle mode 12 MHz		21	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5 V (notes 1, 2)
			7	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5 V (notes 1, 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias :

C = commercial ..... 0°C to 70°C

I = industrial ..... - 40°C to +65°C

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

Voltage on V<sub>CC</sub> to V<sub>SS</sub> ..... - 0.5 V to + 7 VVoltage on Any Pin to V<sub>SS</sub> ..... - 0.5 V to V<sub>CC</sub> + 0.5 V

Power Dissipation ..... 1 W\*\*

\*\* This value is based on the maximum allowable die temperature and the thermal resistance of the package

**\* Notice**

Stresses at or above those listed under \* Absolute Maximum Ratings\* may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions may affect device reliability.

**DC CHARACTERISTICS**T<sub>A</sub> = - 40° to 85°C ; V<sub>CC</sub> = 2.7 V to 6 V ; V<sub>SS</sub> = 0 V ; F = 0 to 6 MHz

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
VIL	Input Low Voltage	- 0.5 V	0.2 V <sub>CC</sub> - 0.1	V	
VIH	Input High Voltage (Except XTALS and RST)	0.2 V <sub>CC</sub> + 0.9	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
VIH1	Input High Voltage to RST for Reset	0.7 V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
VIH2	Input High Voltage to XTAL1	0.7 V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> + 0.5	V	
VPD	Power Down Voltage to V <sub>CC</sub> in PD Mode	2.0	6.0	V	
VOL	Output Low Voltage (Ports 1, 2, and 3)		0.45		IOL = 800 μA (note 3)
VOL1	Output Low Voltage (Port 0, ALE, PSEN)		0.45	V	IOL = 1.6 mA (note 3)
VOH	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	0.9 V <sub>CC</sub>		V	IOH = - 10 μA
VOH1	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode), ALE, PSEN	0.9 V <sub>CC</sub>		V	IOH = - 80 μA
IIL	Logical 0 Input Current Ports 1, 2, 3		C - 50 I - 60	μA	Vin = 0.45 V
ILI	Input Leakage Current		± 10	μA	0.45 < Vin < VCC
ITL	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 2, 3)		- 650	μA	Vin = 2.0 V
IPD	Power Down Current		50	μA	V <sub>CC</sub> = 2.0 V to 6 V (note 2)
RRST	RST Pulldown Resistor	50	150	kΩ	
CIO	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	f <sub>c</sub> = 1 MHz, T <sub>A</sub> = 25°C

**MAXIMUM I<sub>CC</sub> (mA)**

FREQ. VCC	OPERATING (NOTE 3)			IDLE (NOTE 4)		
	2.7 V	5 V	6 V	2.7 V	5 V	6 V
1 MHz	0.8 mA	1.5 mA	1.8 mA	400 μA	800 μA	1 mA
6 MHz	4 mA	8 mA	10 mA	1.2 mA	3.5 mA	3.8 mA

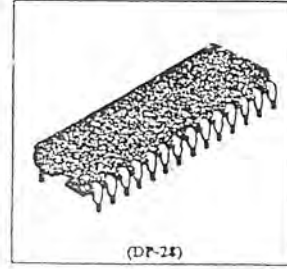
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HM6264P-10, HM6264P-12, HM6264P-15

8192-word x 8-bit High Speed Static CMOS RAM

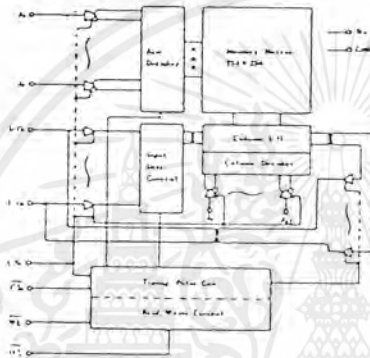
## ■ FEATURES

- Fast access Time 100ns/120ns/150ns (max.)
- Low Power Standby Standby: 0.1mW (typ.)
- Low Power Operation Operating: 700mW (typ.)
- Single +5V Supply
- Completely Static Memory. . . . No clock or Timing Strobe Required
- Equal Access and Cycle Time
- Common Data Input and Output, Three State Output
- Directly TTL Compatible: All Input and Output
- Standard 28pin Package Configuration
- Pin Out Compatible with 64K EPROM HN482764



(DP-24)

## ■ BLOCK DIAGRAM



## ■ PIN ARRANGEMENT



(Top View)

## ■ ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Item	Symbol	Rating	Unit
Terminal Voltage *	V <sub>T</sub>	-0.5 ** to +7.0	V
Power Dissipation	P <sub>T</sub>	1.0	W
Operating Temperature	T <sub>OPR</sub>	0 to +70	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>	-55 to +125	°C
Storage Temperature (Under Bias)	T <sub>BIAS</sub>	-10 to +25	°C

\* With respect to GND. \*\* Pulse width 50ns; -3.0V

## ■ TRUTH TABLE

WE	CS <sub>1</sub>	CS <sub>2</sub>	OE	Mode	I/O Pin	V <sub>CC</sub> Current	Note
X	H	X	X	Not Selected (Power Down)	High Z	I <sub>SR</sub> , I <sub>SB1</sub>	
X	X	L	X		High Z	I <sub>SR</sub> , I <sub>SB2</sub>	
H	L	H	H	Output Disabled	High Z	I <sub>CC</sub> , I <sub>CC1</sub>	
H	L	H	L	Read	Dout	I <sub>CC</sub> , I <sub>CC1</sub>	
L	L	H	H	Write	Din	I <sub>CC</sub> , I <sub>CC1</sub>	Write Cycle (1)
L	L	H	L		Din	I <sub>CC</sub> , I <sub>CC1</sub>	Write Cycle (2)

X: Don't care.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2764 (8K × 8) UV ERASABLE PROM

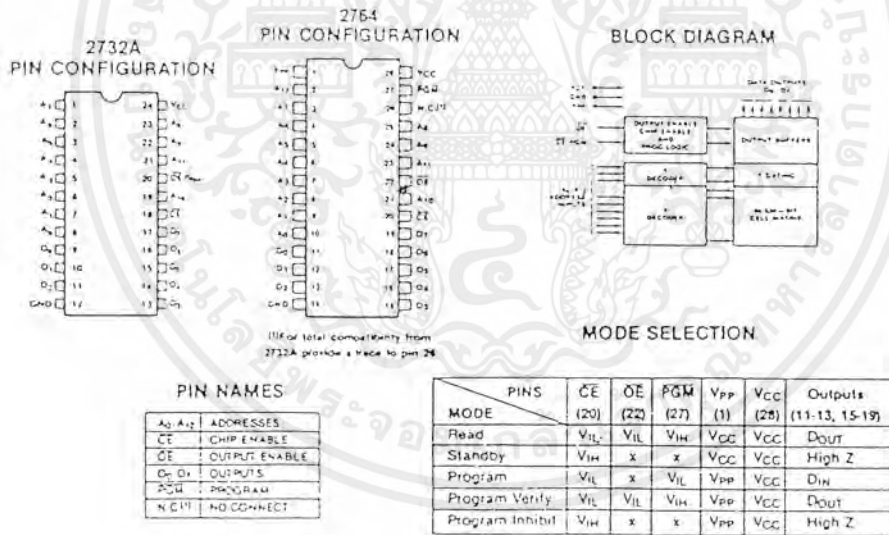
- 200 ns (2764-2) Maximum Access Time . . . HMOS<sup>®</sup>-E Technology
- Pin Compatible to 2732A EPROM
- Compatible to high speed 8MHz 8086-2 MPU . . . Zero WAIT State
- Industry Standard Pinout . . . JEDEC Approved
- Two Line Control
- Low Standby Current . . . 35mA Max.

The Intel<sup>®</sup> 2764 is a 5V only 65,536 bit ultraviolet erasable and electrically programmable read-only memory (EPROM). The standard 2764 access time is 250ns with speed selection available at 200ns. The access time is compatible to high performance microprocessors, such as Intel's 8MHz 8086-2. In these systems, the 2764 allows the microprocessor to operate without the addition of WAIT states.

An important 2764 feature is the separate output control, Output Enable ( $\overline{OE}$ ) from the Chip Enable control ( $\overline{CE}$ ). The  $\overline{OE}$  control eliminates bus contention in multiple bus microprocessor systems. Intel's Application Note AP-72 describes the microprocessor system implementation of the  $\overline{OE}$  and  $\overline{CE}$  controls on Intel's EPROMs. AP-72 is available from Intel's Literature Department.

The 2764 has a standby mode which reduces the power dissipation without increasing access time. The active current is 150mA, while the standby current is only 35mA, a 75% savings. The standby mode is achieved by applying a TTL-high signal to the  $\overline{CE}$  input.

The 2764 is fabricated with HMOS<sup>®</sup>-E technology, Intel's high-speed N-channel MOS Silicon Gate technology.



<sup>†</sup>HMOS is a patented process of Intel Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 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.

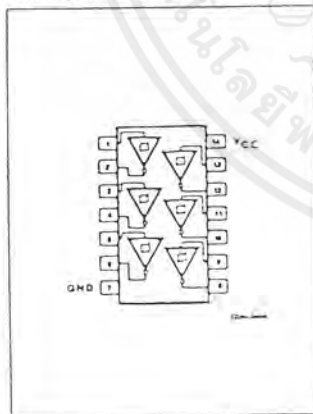
### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

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

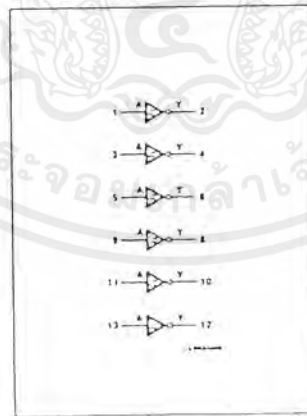
### NOTE:

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

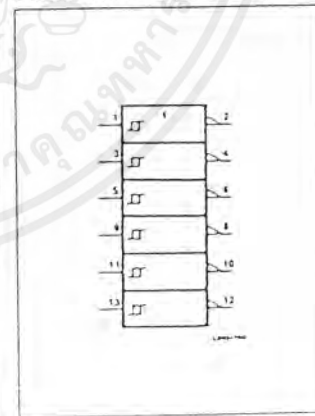
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL



### LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74LS138, S138 Decoders/Demultiplexers

1-Of-8 Decoder/Demultiplexer  
Product Specification

Logic Products

**FEATURES**

- Demultiplexing capability
- Multiple Input enable for easy expansion
- Ideal for memory chip select decoding
- Direct replacement for Intel 3205

**DESCRIPTION**

The '138 decoder accepts three binary weighted inputs ( $A_0, A_1, A_2$ ) and when enabled, provides eight mutually exclusive, active LOW outputs ( $\bar{O}_0 - \bar{O}_7$ ). The device features three Enable Inputs: two active LOW ( $E_1, E_2$ ) and one active HIGH ( $E_3$ ). Every output will be HIGH unless  $E_1$  and  $E_2$  are LOW and  $E_3$  is HIGH. This multiple enable function allows easy parallel expansion of the device to a 1-of-32 (5 lines to 32 lines) decoder with just four '138s and one inverter.

The device can be used as an eight output demultiplexer by using one of the active LOW Enable inputs as the Data Input and the remaining Enable inputs as strobes. Enable inputs not used must be permanently tied to their appropriate active HIGH or active LOW state.

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74LS138	20ns	6.3mA
74S138	7ns	49mA

**ORDERING CODE**

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74S138N, N74LS138N
Plastic SO	N74LS138D, N74S138D

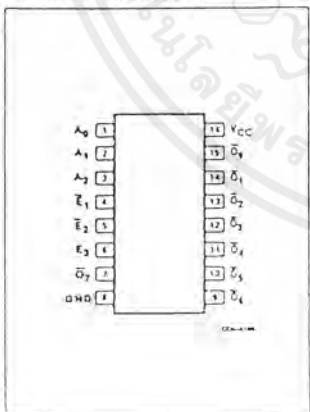
**NOTE:**  
For information regarding devices processed to Military Specifications see the Signetics Military Products Data Manual.

**INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE**

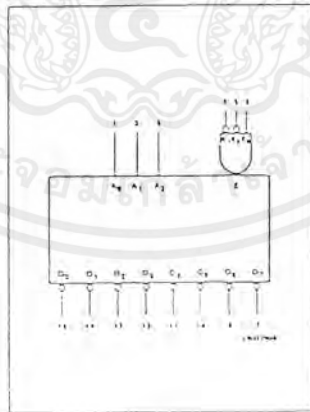
PINS	DESCRIPTION	74S	74LS
All	Inputs	1LSuI	1LSuI
All	Outputs	10SuI	10LSuI

**NOTE:**  
Where a 74S unit load (LSuI) is  $50\mu A I_{HL}$  and  $-2.0mA I_{OL}$ , and a 74LS unit load (LSuI) is  $20\mu A I_{HL}$  and  $-0.4mA I_{OL}$ .

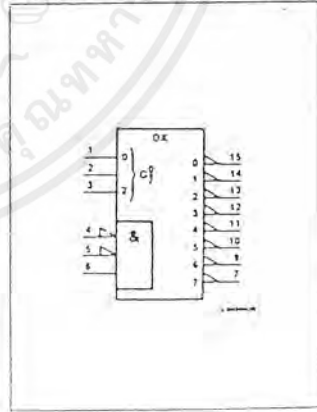
**PIN CONFIGURATION**



**LOGIC SYMBOL**



**LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74157, 74158, LS157, LS158, S157, S158 Data Selectors/Multiplexers

'157 Quad 2-Input Data Selector/Multiplexer (Non-Inverted)  
'158 Quad 2-Input Data Selector/Multiplexer (Inverted)  
Product Specification

## Logic Products

### DESCRIPTION

The '157 is a quad 2-input multiplexer which selects four bits of data from two sources under the control of a common Select input (S). The Enable input (E) is active LOW. When E is HIGH, all of the outputs (Y) are forced LOW regardless of all other input conditions.

Moving data from two groups of registers to four common output busses is a common use of the '157. The state of the Select input determines the particular register from which the data comes. It can also be used as a function generator. The device is useful for implementing highly irregular logic by generating any four of the 16 different functions of two variables with one variable common.

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74157	13ns	30mA
74LS157	13ns	9.7mA
74S157	7.4ns	50mA
74158	13ns	30mA
74LS158	13ns	4.8mA
74S158	6ns	40mA

### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGES $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74157N, N74LS158N, N74S157N N74LS157N, N74S158N, N74LS158N
Plastic SO	N74LS157D, N74S158D

#### NOTE:

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

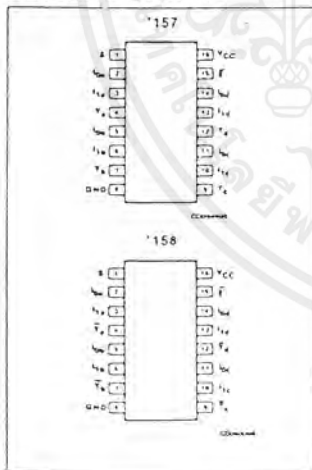
### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

PINS	DESCRIPTION	74	74S	74LS
S, E	Inputs	1uF	2Sul	2LSul
Data	Inputs	1uF	1Sul	1LSul
All	Outputs	10uF	10Sul	10LSul

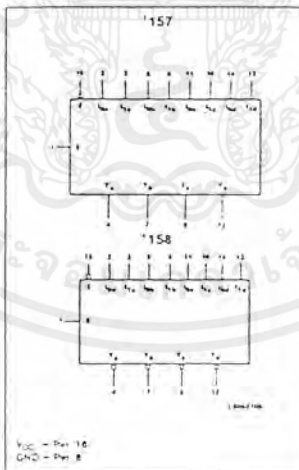
#### NOTE:

Where a 74 unit load (ul) is understood to be  $40\mu A I_{OH}$  and  $-1.6mA I_{OL}$ , a 74S unit load (Sul) is  $50\mu A I_{OH}$  and  $-2.0mA I_{OL}$ , and a 74LS unit load (LSul) is  $20\mu A I_{OH}$  and  $-0.4mA I_{OL}$ .

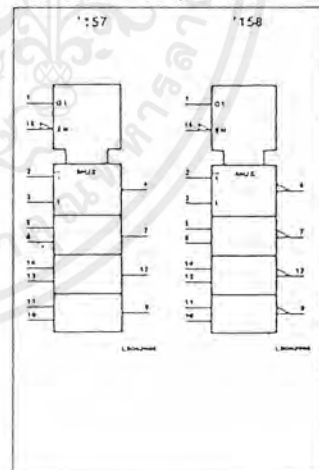
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL



### LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74166 Shift Register

8-Bit Serial/Parallel-In, Serial-Out Shift Register  
Product Specification

## Logic Products

### FEATURES

- Synchronous parallel to serial applications
- Synchronous serial data input for easy expansion
- Clock enable for "do nothing" mode
- Asynchronous Master Reset
- See '165 for asynchronous parallel data load

### DESCRIPTION

The '166 is an 8-bit shift register that has fully synchronous serial or parallel data entry selected by an active LOW Parallel Enable (PE) input. When the PE is LOW, one set-up time before the LOW-to-HIGH clock transition, parallel data is entered into the register. When PE is HIGH, data is entered into internal bit position  $Q_0$  from Serial Data Input ( $D_5$ ), and the remaining bits are shifted one place to the right ( $Q_0 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_2$ , etc.) with each positive-going clock transition. For expansion of the register in parallel to serial converters, the  $Q_7$  output is connected to the  $D_5$  input of the succeeding stage.

TYPE	TYPICAL $f_{MAX}$	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74166	35MHz	90mA

### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74166N
Plastic SO	N74166D

#### NOTE:

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

### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

PIKS	DESCRIPTION	74
All	Inputs	10
$Q_7$	Output	10

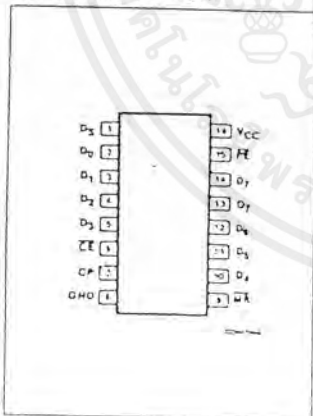
#### NOTE:

where a 74 unit load (U) is understood to be 40pA hi and -1.0mA L.

The clock input is a gated OR structure which allows one input to be used as an active LOW Clock Enable (CE) input. The pin assignment for the CP and CE inputs is arbitrary and can be reversed for layout convenience. The LOW-to-HIGH transition of CE input should only

take place while the CP is HIGH for predictable operation. A LOW on the Master Reset (MR) input overrides all other inputs and clears the register asynchronously, forcing all bit positions to a LOW state.

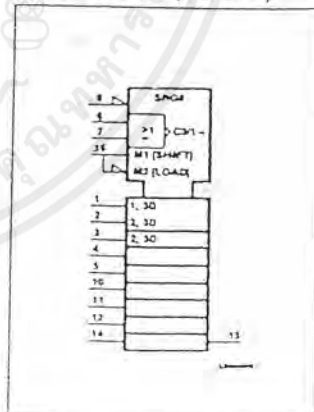
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL



### LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74LS245 Transceiver

Octal Transceiver (3-State)  
Product Specification

## Logic Products

### FEATURES

- Octal bidirectional bus interface
- 3-State buffer outputs
- PNP inputs for reduced loading
- Hysteresis on all Data inputs

### DESCRIPTION

The 74LS245 is an octal transceiver featuring non-inverting 3-State bus compatible outputs in both send and receive directions. The outputs are all capable of sinking 24mA and sourcing up to 15mA, producing very good capacitive drive characteristics. The device features a Chip Enable (CE) input for easy cascading and a Send/Receive (S/R) input for direction control. All data inputs have hysteresis built in to minimize AC noise effects.

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74LS245	8ns	58mA

### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74LS245N
Plastic SOL-20	N74LS245D

#### NOTE

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

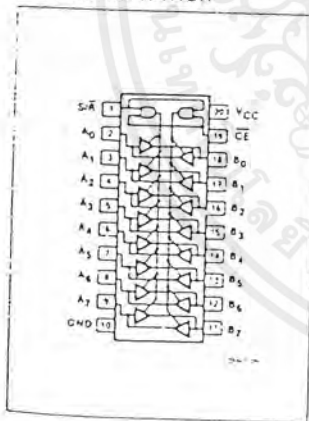
### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

PINS	DESCRIPTION	74LS
All	Inputs	1LSul
All	Outputs	30LSul

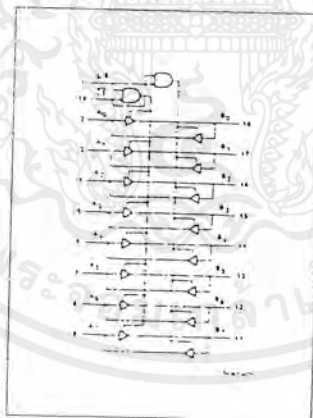
#### NOTE

Where a 74LS unit load (LSul) is 20 $\mu$ A  $I_{IH}$  and 0.4mA  $I_{OL}$ .

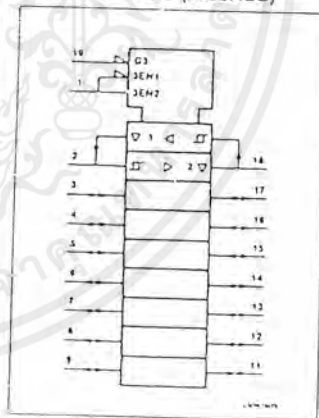
### PIN CONFIGURATION



### LOGIC SYMBOL



### LOGIC SYMBOL (IEEE/IEC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 74LS373, 74LS374, S373, S374

## Latches/Flip-Flops

'373 Octal Transparent Latch With 3-State Outputs

'374 Octal D Flip-Flop With 3-State Outputs

Product Specification

### Logic Products

#### FEATURES

- 8-bit transparent latch — '373
- 8-bit positive, edge-triggered register — '374
- 3-State output buffers
- Common 3-State Output Enable
- Independent register and 3-State buffer operation

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY	TYPICAL SUPPLY CURRENT (TOTAL)
74LS373	19ns	24mA
74S373	10ns	105mA
74LS374	19ns	27mA
74S374	8ns	116mA

#### DESCRIPTION

The '373 is an octal transparent latch coupled to eight 3-State output buffers. The two sections of the device are controlled independently by Latch Enable (LE) and Output Enable ( $\overline{OE}$ ) control gates.

#### ORDERING CODE

PACKAGES	COMMERCIAL RANGE $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ ; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$
Plastic DIP	N74LS373N, N74S373N, N74LS374N, N74S374N
Plastic SOL-20	N74LS373D, N74S373D, N74LS374D, N74S374D

#### NOTE:

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

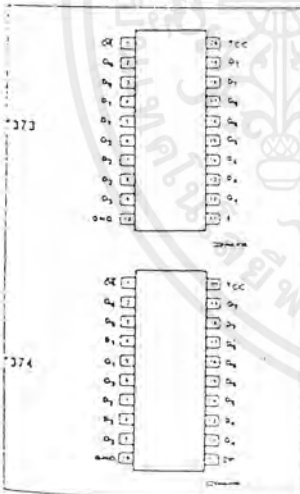
#### INPUT AND OUTPUT LOADING AND FAN-OUT TABLE

PINS	DESCRIPTION	74S	74LS
All	Inputs	15uI <sub>IL</sub>	1LSuI <sub>IL</sub>
All	Outputs	10SuI <sub>OL</sub>	30LSuI <sub>OL</sub>

#### NOTE:

Where a 74S unit load (15uI<sub>IL</sub>) is 50 $\mu$ A I<sub>IL</sub> and -2.6mA I<sub>OL</sub>, and a 74LS unit load (1LSuI<sub>IL</sub>) is 20 $\mu$ A I<sub>IL</sub> and -0.4mA I<sub>OL</sub>.

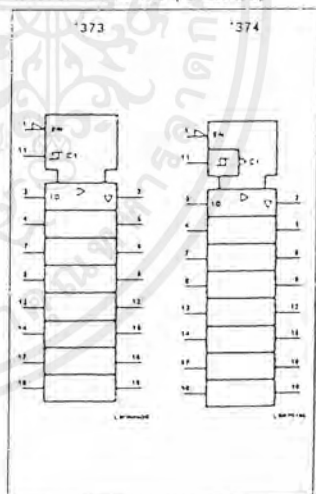
#### PIN CONFIGURATION



#### LOGIC SYMBOL



#### LOGIC SYMBOL (IEEE/EC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานการสื่อสาร RS-232C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน RS232

### พอร์ต RS232 C

โดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นแบบอนุกรม เรียกชื่อกันว่า RS232C อยู่ในตัวมันเองอยู่แล้ว หลายเครื่องไม่มีมากับเครื่อง อย่างเช่น IBM PC จำเป็นที่จะต้องมีการ์ดที่เรียกว่า อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ (Asynchronous Communication Adapter) มาเสียบได้

พอร์ต RS 232 นี้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS 232C ก็เนื่องจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา หรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้ชื่อว่า RS 232 ความจริงมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ก็คือ RS 232

หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสก็คือ  
รับสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณเข้ามาแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนาน
2. ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับ
3. ตัดสตอปบิตและพาริตี
4. ส่งสัญญาณให้ซีพียูรู้ว่ารับสัญญาณไว้แล้ว

ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูค่อยทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่มสตอปบิตและพาริตี
3. เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่ต่อเชื่อม (ถ้ามี) พอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม RS-232

### คุณสมบัติของ RS 232C

อัตราการรับส่งข้อมูล : 0-20000 บิตต่อวินาที

ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงสุดในภาวะไม่มีโหลด : -25 โวลต์ (ลอจิก "1")  
+25 โวลต์ (ลอจิก "0")

ระดับแรงดันเอาต์พุตสำหรับโหลด 3-7 กิโลโอห์ม : ลอจิก "1" -15 โวลต์ (7 กิโลโอห์ม)  
-5 โวลต์ (3 กิโลโอห์ม)

ลอจิก "0" +15 โวลต์ (7 กิโลโอห์ม)

+5 โวลต์ (3 กิโลโอห์ม)

กระแสเอาต์พุต เมื่อลัดวงจร

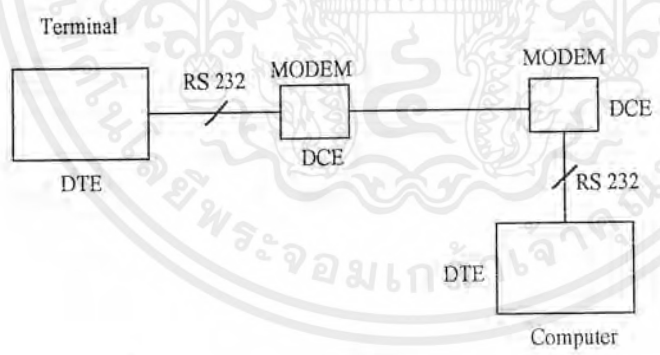
: สูงสุด 500 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

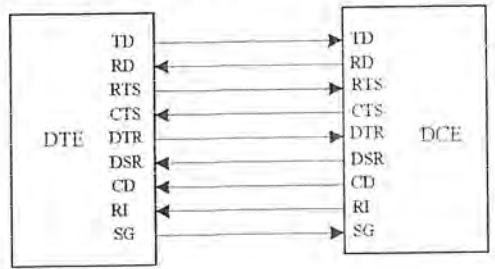
เอาต์พุตอิมพีแดนซ์เมื่อไม่จ่ายไฟเลี้ยง	: ต่ำสุด 30 โอห์ม
สัณฐานเรขาคณิตของเอาต์พุตสูงสุด	: 30 โวลต์ค่อไมโครวินาที
ความต้านทานอินพุตของภาครับ	: สูงสุด 7 กิโลโอห์ม
	: ต่ำสุด 3 กิโลโอห์ม
ค่าความจุอินพุตของภาครับ	: สูงสุด 2,500 พิโกฟารัด
ย่านแรงดันอินพุตของภาครับ	: -25 โวลต์ ถึง +25 โวลต์

**มาตรฐาน RS 232C**

มาตรฐาน RS 232C ได้จัดพิมพ์ขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1969 โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบังคับของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขท้ายสุดของมาตรฐานตัวนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐานตัวนี้ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment : DCE) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็หมายถึงตัวไมโครคอมพิวเตอร์ และ DCE ก็หมายถึง โมเด็ม อุปกรณ์อื่นๆเช่นเครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรมอาจจะเป็นไปได้ทั้ง DTE และ DCE ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ข้อแตกต่างของ DTE และ DCE จะเห็นได้จากรูปที่ ๓1 จากรูปนี้เราจะเห็นได้ว่า RS232C มีส่วนสำคัญอย่างใหญ่หลวงสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์

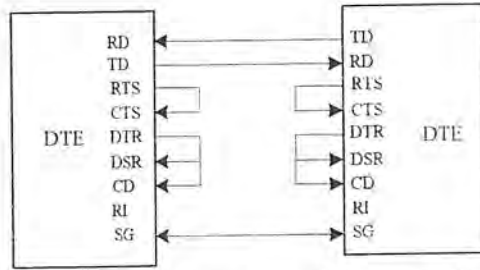


รูปที่ ๓1 การใช้ RS232 เชื่อมต่ออุปกรณ์



รูปที่ ๓3 การต่ออนุกรม DTE เข้ากับอุปกรณ์ DCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค4 การต่ออนุกรม DTE เข้ากับอุปกรณ์ DEC

ความจริงอีกประการหนึ่งของ RS 232C ก็คือความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีอัตราบอด 110 ถึง 9600 บอด ความยาวของสายเชื่อมต่อ โดยสัญญาณตามมาตรฐานของ RS 232C จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

#### ลักษณะของสัญญาณของ RS 232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้องจำเป็นจะต้องมีข้อตกลงในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS232C กำหนดขานของแรงดันไฟฟ้าสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ข้างบน

#### ตารางที่ ค1 มาตรฐานการใช้แรงดันไฟฟ้า ของ RS232C

แรงดันไฟฟ้า	สถานภาพลอจิก	สถานภาพของสัญญาณ	ฟังก์ชันในการควบคุม
บวก	0	Space	On
ลบ	2	Mark	Off

สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์บางเครื่องใช้แค่สัญญาณลอจิกออกมาเป็นสัญญาณของ RS232C เลขอย่างเช่น อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ IBM PC ในกรณีเช่นนี้ระยะทางของสายที่เชื่อมต่ออาจจะต่อไปได้สั้นกว่า 50 ฟุต ดังที่กล่าวเอาไว้เนื่องจากระดับของกราวด์เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องจากการสูญเสียไปในความต้านทานของสาย

ผู้ที่เคยใช้ IBM PC อาจจะเคยประสบปัญหาที่กล่าวมาแล้วว่า ทำไม่ต่อสัญญาณ RS232C เกินกว่า 10 ฟุต แล้วใช้งานไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตาม RS232C ของ IBM PC ยังมีโอกาสให้เลือกใช้ 20 มิลลิแอมแปร์ (mA) กระแสวนกลับแทนแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การกำหนดจุดต่อของ RS232C

ในทางพีสิคส์แล้วมาตรฐานของ RS232C กำหนดข้อต่อแบบ DB-25 ยกตัวอย่างเช่น Fujitsu F-8 IBM Jr เป็นต้น ตัวเมียของข้อต่อควรอยู่ที่โมเด็ม ขณะที่ตัวผู้ควรอยู่ที่ Asynchronous Communication Adapter หรือที่ตัวไมโครคอมพิวเตอร์เอง อย่างไรก็ตามผู้ผลิตหลายรายไม่ได้ทำตามกฎเกณฑ์ที่ว่านี้

### ตารางที่ ค2 แสดงขาที่ต่อใช้งานภายนอกของ RS 232C

Pin	Name	Abbreviation
1	Frame ground	FG
2	Transmit data	TD
3	Receive data	RD
4	Request to send	RTS
5	Clear to send	CTS
6	Data set ready	DSR
7	Signal ground	SG
8	Data carrier detect	DCD
20	Data terminal ready	DTR

สัญญาณต่างๆถูกมอหมายให้ทำหน้าที่ต่างๆดังนี้

#### Transmit Data (TD ขาที่ 2)

เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE (หรือตัวไมโครคอมพิวเตอร์) ไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่น หรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานะภาพของลอจิกที่ขา 2 นี้จะมีค่าเท่ากับ "1" หรือเทียบเท่า stop bit

#### Receive Data (RD ขาที่ 3)

เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามา ขา 3 นี้จะมีสถานะภาพทางลอจิกเป็น "1"

#### Request To Send (RTS ขาที่ 4)

ใช้สำหรับส่งสัญญาณไปยังโมเด็มหรือเครื่องพิมพ์เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณมาทางขา 2 สัญญาณนี้ใช้คู่กับ CTS หรือ Clear To Send อุปกรณ์รับ หากได้รับสัญญาณ RTS จะตรวจตัวเองว่าพร้อมจะรับสัญญาณได้หรือยัง หากพร้อมที่จะรับหรือส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 4 ไปใช้

### Clear To Send (CTS ขาที่ 5)

ตั้งอธิบายไว้ใน RTS เมื่อสัญญาณนี้อยู่ในสถานะออฟ (negative voltage หรือลอจิก “1”) หมายความว่า อุปกรณ์รับกำลังบอกว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

### Data Set Ready (DSR ขาที่ 6)

เมื่อสัญญาณสายนี้อยู่ในสถานะออน (หรือลอจิก “0”) เป็นการบอกไมโครคอมพิวเตอร์ หรือฝ่ายส่งว่าโมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่งได้แล้ว โมเด็มที่มีการหมุนหมายเลขอัตโนมัติจะส่งสัญญาณสายนี้ไปบอกไมโครคอมพิวเตอร์รู้ว่าต่อโทรศัพท์ได้สำเร็จแล้ว

### Signal Ground (SG ขาที่ 7)

SG ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุกๆสายของสัญญาณจะมีแรงดันเป็น “0” เมื่อเทียบกับสัญญาณอื่น

### Carrier Detect (CD ขาที่ 8)

โมเด็มจะส่งสัญญาณที่อยู่ในสถานะออน (ลอจิก “0”) ไปบอกไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณอีกฝ่ายหนึ่ง สัญญาณนี้จะนำไปจุด LED บอกว่าได้รับสัญญาณอีกฝ่ายหนึ่งแล้ว ไฟ LED จะอยู่บนหน้าปัดของโมเด็มเอง

### Data Terminal Ready (DTR ขาที่ 20)

คอมพิวเตอร์เปิดสัญญาณนี้ให้ออน (ลอจิก “0”) เมื่อพร้อมที่จะติดต่อกับโมเด็ม โมเด็มส่วนมากจะไม่รายงานสถานะภาพของตนเอง (CD, DSR และ CTS) ให้คอมพิวเตอร์รู้หากคอมพิวเตอร์ไม่เปิดสัญญาณ DTR

### Ring Indicator (RI ขาที่ 22)

สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มที่เป็นระบบตอบรับอัตโนมัติ (Auto Answer) สัญญาณนี้จะออน (On) เมื่อมีสัญญาณกระดิ่งมา และออฟ (Off) ระหว่างเสียงดิ่งของกระดิ่ง บางครั้งอาจสับสนระหว่างสถานะภาพของลอจิกของสัญญาณ โดยปกติเราจะคุ้นเคยอยู่กับความรู้สึกรู้สึกที่ว่าเมื่อแรงดันเป็นบวกหรือสัญญาณออนลอจิกน่าจะเป็น “1” สำหรับสัญญาณต่างๆที่กล่าวมานี้จะมีลักษณะตรงกันข้ามเพราะว่าแต่เดิมนั้นการติดต่อกันทางโทรเลข การทำงานของสัญญาณจะต้องครบวงจรทั้งฝ่ายส่งและฝ่ายรับเมื่อลอจิกวงจรเป็น “0” หรือขณะที่ไม่มีอะไรส่งควรจะมีสัญญาณทางไฟฟ้าครบวงจรอยู่ตลอดเวลาจะได้รู้ว่าสัญญาณไม่ขาดระหว่างทางตรงไหน ควรจะรู้ว่าวงจรครบอยู่ตลอดเวลา ก็โดยให้แรงดันที่ฝ่ายส่ง ดังนั้นถือกันว่าสัญญาณไฟบวกให้เป็นลอจิก “0”