



ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านตู้สายโทรศัพท์  
EKG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE



โดย  
นายบูรินทร์ ไรจน์ชาญกุล  
นายอนุพงศ์ ทานพันธ์สุกุล

วัน เดือน ปี..... ๑๖/๑๑/๒๕๖๐  
เลขทะเบียน..... ๐๓๗๑๑๗  
เลขเรียกหนังสือ..... ๑๘๘๑๐ น.๒๓๗๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 25๖๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง ๐๓๗๑๑๗

**ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์**  
**EKG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE**



**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**  
**สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์**  
**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ปีการศึกษา 2538**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2538


ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์การ

ผู้จัดทำ

1. นาย บุรินทร์ โรจน์ชาญชัยกุล
2. นาย อนุพงศ์ ทานุพันธุ์สกุล



  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ดร. กิติพล ชิตสกุล )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านตู้สายโทรศัพท์

EKG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE.

นายบูรินทร์ โรจน์ชาญชัยกุล 36013111

นายอนุพงศ์ ทานูพันธ์สกุล 36013136

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



(ดร. กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านตู้สายโทรศัพท์

นาย นรินทร์ โรจน์ชาญชัยกุล

นาย อนุพงศ์ ทานุพันธุ์สกุล

ดร. กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

### บทคัดย่อ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นคลื่นที่มีความสำคัญทางการแพทย์มากคลื่นหนึ่ง เพราะแพทย์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติของหัวใจของผู้ป่วยที่เกิดขึ้นโดยวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้ ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะพัฒนาการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้โดยการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ ด้วยการเชื่อมอุปกรณ์การวัดเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางตู้สายโทรศัพท์ โดยมีการ์ด PA-MA12(-H) A/D converter เป็นตัวควบคุมการส่งข้อมูลและแสดงรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้ในขณะที่ทำการวัด

# EKG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE

BURIN ROJCHANCHAIKUL 36013111

ANUPONG THANUPANSAKUL 36013126

DR. KITIPOL CHITAKUL Advisor

1996

## ABSTRACT

Electrokardiogram (EKG) is importance in medical technology. Because doctor can diagnose heart condition of a patient by analysing EKG. So it is suitable to develop the EKG measuring by interfacing it with computer via telephone line through PA-MA12(-H) card. The card is the a controller of data transmission and displays EKG while measuring.

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของปริญญาโท	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	
2.1 คำศัพท์ต่างๆที่ควรทำความเข้าใจ	3
2.2 ระบบการนำไฟฟ้าของหัวใจ	7
2.3 ลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ	10
2.4 ระบบขั้วต่อ	15
บทที่ 3 ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านกุสสายโทรศัพท์	22
3.1 คุณสมบัติของระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	22
3.1.1 อัตราการขยายสูง	22
3.1.2 ค่า CMRR สูงภาค	22
3.1.3 ค่า Input Impedance สูง	23
3.1.4 มีความตอบสนองความถี่ต่ำดี	23
3.2 ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านกุสสายโทรศัพท์	24
3.2.1 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนชัน	25
3.2.2 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ Band Reject	25
3.2.3 วงจรออปโตคัปเปิล	26
3.2.4 วงจรมอดคูเลชัน	27
3.2.5 วงจรเพอร์เวอร์แอมพลิไฟด์	28
3.2.6 วงจรโทนติโคัดเคอร์	28
3.2.7 วงจรคีมอดคูเลชัน	29
3.2.8 วงจรกรองความถี่ต่ำ	33
บทที่ 4 การบันทึกผล	
4.1 Hardware Installation	35
4.2 Software Programming	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โครงสร้างของข้อมูล	54
4.4 การตรวจสอบสถานะ	54
บทที่ 5 การแสดงผล	56
5.1 การแสดงผลของ Computer	56
5.2 จอ VGA	59
5.3 โหมดการทำงานมาตรฐานของ VGA และ EGA	59
5.4 การเก็บข้อมูลสี	59
5.5 การทำงานของจอแสดงผล( จอ CRT )	60
5.6 ฟังก์ชันที่ใช้ในภาวะกราฟฟิกในภาษา C (graphics mode )	63
5.7 โปรแกรมทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ	66
บทที่ 6 ผลการทดลอง	
6.1 สัญญาณ EKG จากการวัดผ่านทางร่างกาย	84
6.2 สัญญาณ EKG จากการวัดผ่านทางร่างกายโดยผ่านวงจร Filter	86
6.3 สัญญาณ EKG ที่ผ่านคู่สายโทรศัพท์	88
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	89
กิตติกรรมประกาศ	90
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก	

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจในระยะพัก	4
รูปที่ 2.2 แสดงขบวนการของ depolarization	5
รูปที่ 2.3 แสดงขบวนการของ repolarization	6
รูปที่ 2.4 ก แสดง Upward deflection คลื่นจะขึ้นบนถ้าการกระจายของคลื่นไฟฟ้าพุ่งตรงไปหาอิเล็กโทรด	7
รูปที่ 2.4 ข แสดง Downward deflection คลื่นจะลงล่างถ้าการกระจายของคลื่นไฟฟ้าพุ่งออกอิเล็กโทรด	7
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนต่าง ๆ ของระบบการนำไฟฟ้าหัวใจ	9
รูปที่ 2.6 การกระจายของคลื่นไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิด EKG complex	12
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติซึ่งให้เห็นถึงช่วงต่าง ๆ ของคลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้	13
รูปที่ 2.8 Normal sinus rhythm	14
รูปที่ 2.9 แสดงระนาบต่าง ๆ ของร่างกายเมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงกระบอก	16
รูปที่ 2.10 แสดงขั้วต่อมาตรฐานแขนขา (A), ขั้วต่อแขนขาชนิดขั้วเดียว (B), และขั้วต่อทรวงอก (C) ถูกตรึงแสดงถึง Vector ที่ทำให้การบันทึกได้ผลเป็น upward deflection	18
รูปที่ 2.11 แสดงถึงสามเหลี่ยมของ Einthoven	19
รูปที่ 2.12 แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ของการวางขั้วต่อทรวงอก	20
รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งในการวาง modified chest lead (MCL1) ขั้วต่อทรวงอกทั้ง 6 lead สามารถนำมาดัดแปลงในลักษณะเดียวกันโดยคลื่นอิเล็กโทรดขั้ว (+) ไปตามตำแหน่งที่ถูกต้อง	21
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์	24
รูปที่ 3.2 วงจรขยายความแตกต่างแบบ Instrumentation	25
รูปที่ 3.3 วงจร 50 Hz Notch Filter	26
รูปที่ 3.4 วงจร Opto Couple	27
รูปที่ 3.5 วงจร FM Modulation	27
รูปที่ 3.6 วงจร Power Amplifier	28
รูปที่ 3.7 วงจร Tone Decoder	29
รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของ PLL	30
รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลง ERROR VOLTAGE กับการเพิ่มและลดความถี่สัญญาณเข้า	30
รูปที่ 3.10 วงจร FM Demodulation	32

รูปที่ 3.11 วงจรกรองความถี่ต่ำ Low Pass Filter	33
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของ Jumper ภายในการ์ด PA-MA12(-H)	34
รูปที่ 4.2 แสดงการนำสัญญาณแบบ single ended เข้าสู่การ์ด	35
รูปที่ 4.3 แสดงการ set address ที่ Jumper JP7	36
รูปที่ 4.4 แสดงการ set Interrupt reques โดย set ค่าที่ JP3	37
รูปที่ 4.5 แสดงการ set DMA channel โดย set JP12	38
รูปที่ 4.6 แสดงการ set รูปแบบ data โดย set JP4	39
รูปที่ 4.7 แสดงการ set Input type โดยใช้การ set JP9	40
รูปที่ 4.8 แสดงการ set Input gain โดยการ set JP8	41
รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่ง pin ของ connector ของการ์ด PA-MA12(-H)	42
รูปที่ 4.10 flow chart แสดงขั้นตอนการทำงานของ DMA transfer	45
รูปที่ 6.1 กราฟ EKG	84
รูปที่ 6.2 สัญญาณ 50 Hz Nocth Filter	85
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงคลื่น EKG ที่ผ่านการ Filter แล้ว	86
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความถี่โดยการปรับ Voltage	87
รูปที่ 6.5 การแสดงการมอดคูดงชั้น	87
รูปที่ 6.6 กราฟ EKG ที่ผ่านคู่สายโทรศัพท์	88

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดง address ของ IRQ และบอกการใช้งานแต่ละ IRQ	36
ตารางที่ 4.2 แสดง configuration ของการติดตั้งการ์ด	39
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการ set JP ต่าง ๆ ในตาราง	40
ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างระหว่าง word กับ byte transfer	44
ตารางที่ 4.5 แสดงการเขียนค่าเพื่อ reset PA-MA(-H)	46
ตารางที่ 4.6 แสดงการเขียนค่าเพื่อ disable DMA controller	46
ตารางที่ 4.7 แสดงการเลือก channel ของ MUX	46
ตารางที่ 4.8 แสดงการเขียนข้อมูลไปที่ port+2 ตามการเปลี่ยนแปลง channel ของ MUX	47
ตารางที่ 4.9 แสดงการเขียนโปรแกรมไปที่ port ที่กำหนดเพื่อกำหนดค่า Sampling Rate ที่ต้องการ	48
ตารางที่ 4.10 แสดงการเขียนค่าไปที่ port ตาม channel ของการทำ DMA	50
ตารางที่ 4.11 แสดงตัวอย่างการเขียนค่าเพื่อกำหนด address ของ memory ที่จะนำข้อมูลไปเก็บ	50
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า address ของ DMA channel ที่จะต้องโปรแกรมค่า counter ของ DMA	51
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าที่จะต้องเขียนสำหรับ DMA count register	52
ตารางที่ 4.14 แสดงการ set ค่า DMA mode	53
ตารางที่ 4.15 การ set ค่า Enable DMA controller	53
ตารางที่ 4.16 การเลือกค่าตามวิธีการใช้ counter แบบต่าง ๆ	54
ตารางที่ 4.17 แสดงการ check สถานะของการ transfer	55
ตารางที่ 5.1 จอแสดงภาพแบบต่าง ๆ	57
ตารางที่ 5.2	58
ตารางที่ 5.3 โหมดการแสดงผลของการ์ด EGA/VGA	58
ตารางที่ 6.1	85
ตารางที่ 6.2 การเปลี่ยนแปลงของความถี่โดยการปรับ Voltage	86

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญาโท

ปัจจุบันประเทศไทยเราได้นำเข้าเทคโนโลยีและอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เครื่องมือทางการแพทย์ก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความจำเป็นต้องสั่งซื้อเพื่อใช้ในการบำบัดรักษาผู้ป่วยตามโรงพยาบาลต่างๆ ภายในประเทศ ด้วยมูลค่าของเครื่องมือสูงมาก ทำให้ปีหนึ่งๆ ประเทศชาติต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในการนำเข้าเครื่องมือต่างๆ เหล่านี้ ดังนั้นโครงการนี้จึงเกิดขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือทางการแพทย์ให้พัฒนาขึ้นไปเรื่อยๆ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อที่จะแสดงผลออกมาทางจอ Computer โดยผ่านทางคู่สายโทรศัพท์
2. ออกแบบและสร้างเครื่องแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ออกทางจอ computer
3. เป็นการเพิ่มศักยภาพของระบบเครื่องมือทางการแพทย์ซึ่งจะสามารถ นำไปใช้สะดวกในสถานที่ต่างๆ
4. เป็นการเสริมสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องมือการแพทย์ให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

#### 1.3 เนื้อหาของโครงการ

เพื่อความเข้าใจในเนื้อหาของโครงการจึงได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นบทๆ ซึ่งสามารถสรุปเนื้อ ได้ดังนี้

บทที่ 2 เป็นการศึกษาระบบนำไฟฟ้าของหัวใจซึ่งเป็นที่มาของระบบคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

บทที่ 3 เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าซึ่งจะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องในส่วนฮาร์ดแวร์

**บทที่ 4 กล่าวถึง การบันทึกและการแสดงผลโดยใช้โปรแกรมภาษา C ในการควม  
คุม**

**บทที่ 5 เป็นส่วนแสดงผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจ**

**บทที่ 6 กล่าวถึงผลการทดลอง และ สรุปผลการทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการ  
พัฒนาต่อไป**



## บทที่ 2

### ทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

### ELECTROCARDIOGRAM

#### 2.1 คำศัพท์ต่างที่ควรทำความเข้าใจ

Electrocardiography เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของศักดาไฟฟ้า (potential) ที่ผิวของร่างกายซึ่งเกิดจาก depolarization และ repolarization ของกล้ามเนื้อหัวใจ

Polarized state เป็นภาวะที่เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจอยู่ในระยะพัก (resting state) จะคงไว้ซึ่งประจุลบภายในเซลล์และประจุบวกภายนอกเซลล์ ความแตกต่างของศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์เมื่อเปรียบเทียบกับภายนอกเซลล์ คือ resting membrane potential (รูปที่ 2.1)

Depolarization เมื่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถูกกระตุ้น โชนีเดียม ไอออนจากภายนอกเซลล์จะเคลื่อนผ่านเข้าไปในเซลล์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าภายในเซลล์กลายเป็นบวก ภายนอกเซลล์กลายเป็นลบสนามไฟฟ้าจะเกิดตรงบริเวณระหว่างส่วนที่ depolarize กับส่วนที่ polarize ของกล้ามเนื้อหัวใจ (รูปที่ 2.2)

P wave ตรงกับ atrial depolarization

QRS complex ตรงกับ ventricular depolarization

Repolarization ไอออนเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ผ่านเมมเบรนเพื่อทำให้เซลล์กลับเข้าสู่สภาวะ polarize จุดเริ่มต้นของ repolarization เกิดขึ้นขณะที่โปแตสเซียม ไอออนเคลื่อนออกจากเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจหลังจาก repolarization แล้ว โปแตสเซียมและโชนีเดียมจะกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิม เพื่อคงไว้ซึ่งความเข้มข้นเดิมและเข้าสู่สภาวะ polarize (รูปที่ 2.3)

Ta wave ตรงกับ atrial repolarization โดยทั่วไปจะซ่อนอยู่ใน QRS complex

T wave ตรงกับ ventricular repolarization เกิดตามหลัง QRS complex

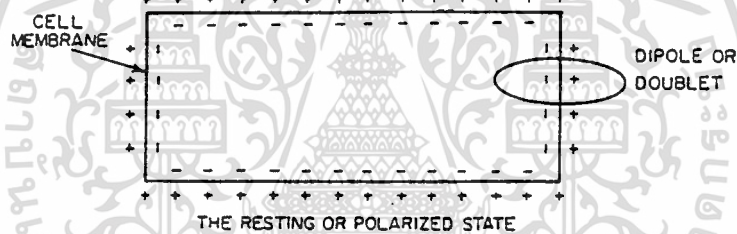
ST segment คือ isoelectric line นับจากจุดสิ้นสุดของ QRS complex ไปยังจุดเริ่มต้นของ T wave

Deflection หมายถึง wave หรือ complex ใดก็ตามที่เกิดในภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (electrocardiogram) ถ้าอยู่เหนือ base line ถือเป็นบวก อยู่ใต้ base line ถือเป็นลบ

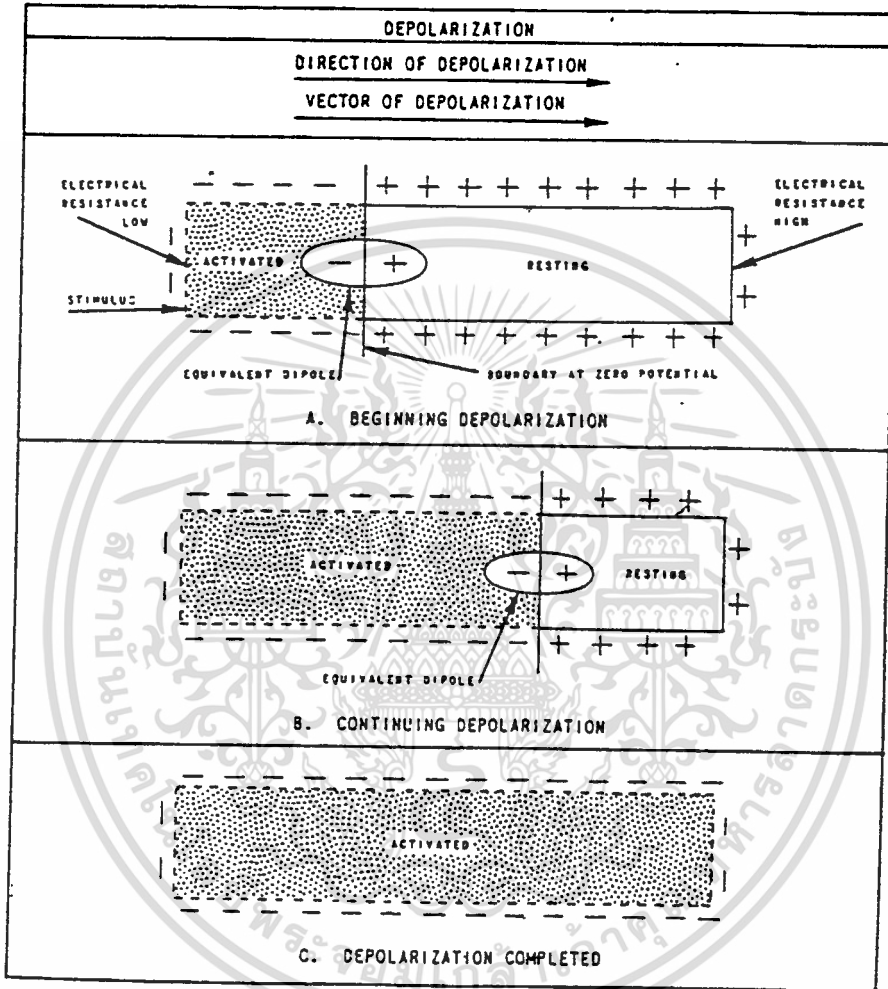
Upward deflection เกิดเมื่อทิศทางของ depolarization พุ่งเข้าหาอิเล็กโทรด (รูปที่ 2.4 ก.)

Downward deflection เกิดเมื่อทิศทางของ depolarization พุ่งออกจากอิเล็กโทรด (รูปที่ 2.4 ข.)

โทรด

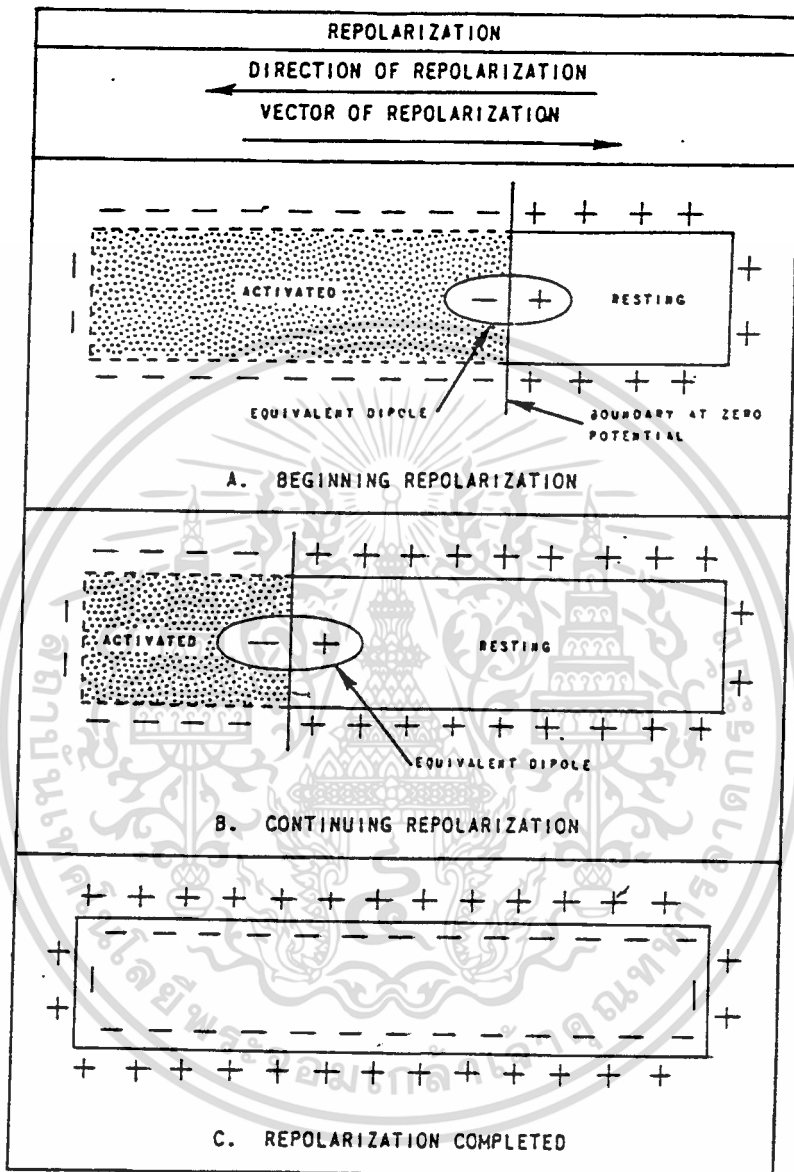


รูปที่ 2.1 เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจในระยะพัก (the resting or polarized state)



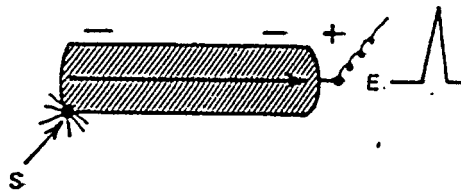
รูปที่ 2.2 แสดงขบวนการของdepolarization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

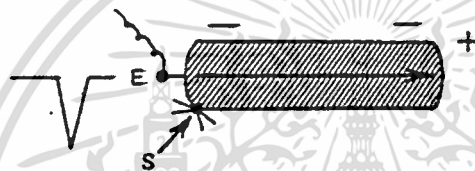


**รูปที่ 2.3 แสดงขบวนการของ repolarization**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ก. แสดง Upward deflection คลื่นจะขึ้นบนถ้าการกระจายของคลื่นไฟฟ้า  
พุ่งตรงไปหาอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.4 Downward deflection คลื่นจะลงล่างถ้าการกระจายของคลื่นไฟฟ้าพุ่ง  
ออกจากอิเล็กโทรด

## 2.2 ระบบการนำไฟฟ้าของหัวใจ (Conducting System of the Heart)

ประกอบด้วย sinoatrial node, atrioventricular node, common AV bundle (bundle of His), right และ left bundle branch และ peripheral หรือ Purkinje fiber นอกจากนี้ยังมีทางติดต่อระหว่าง node และระหว่างเอเดรียม (internodal และ interatrial pathway) ด้วย (รูปที่ 2.5) ซึ่งเชื่อว่ามีส่วนสำคัญใน paroxysmal supraventricular tachycardia

### Sinoatrial node (SA node)

SA node เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจที่มีลักษณะพิเศษโดยเฉพาะ คือเป็น pacemaker ของหัวใจตำแหน่งอยู่ที่ตรงบริเวณแนวคอของ superior vena cava กับเอเดรียมขวา

โดยมีหลอดเลือด SA node artery มาเลี้ยง และมีปลายประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกมาอยู่เป็นจำนวนมากเป็นตำแหน่งที่ให้คลื่นไฟฟ้าเป็น excitation wave ไปยัง conducting tissue ของหัวใจ

### Atrioventricular node (AV node)

AV node อยู่ในผนังของเอเดรียมขวา เหนือ septal leaflet ของหัวใจ tricuspid คลื่นไฟฟ้าจาก SA node เมื่อมาถึง AV node จะเสียเวลาตรงบริเวณนี้ประมาณ 0.04 ถึง 0.12 วินาที ซึ่งในช่วงนี้กล้ามเนื้อของเวนตริเคิลยังไม่ถูกกระตุ้น จนกว่าเลือดจากเอเดรียมถูกบีบเข้าสู่เวนตริเคิลแล้วปกติ AV node จะมีหลอดเลือดแดงโคโรนารีขามาเลี้ยง แต่ก็พบว่าร้อยละ 10 ของผู้ป่วยที่ AV node รับเลือดมาจากแขนง circumflex ของหลอดเลือดแดงโคโรนารีซ้าย

### Bundle of His

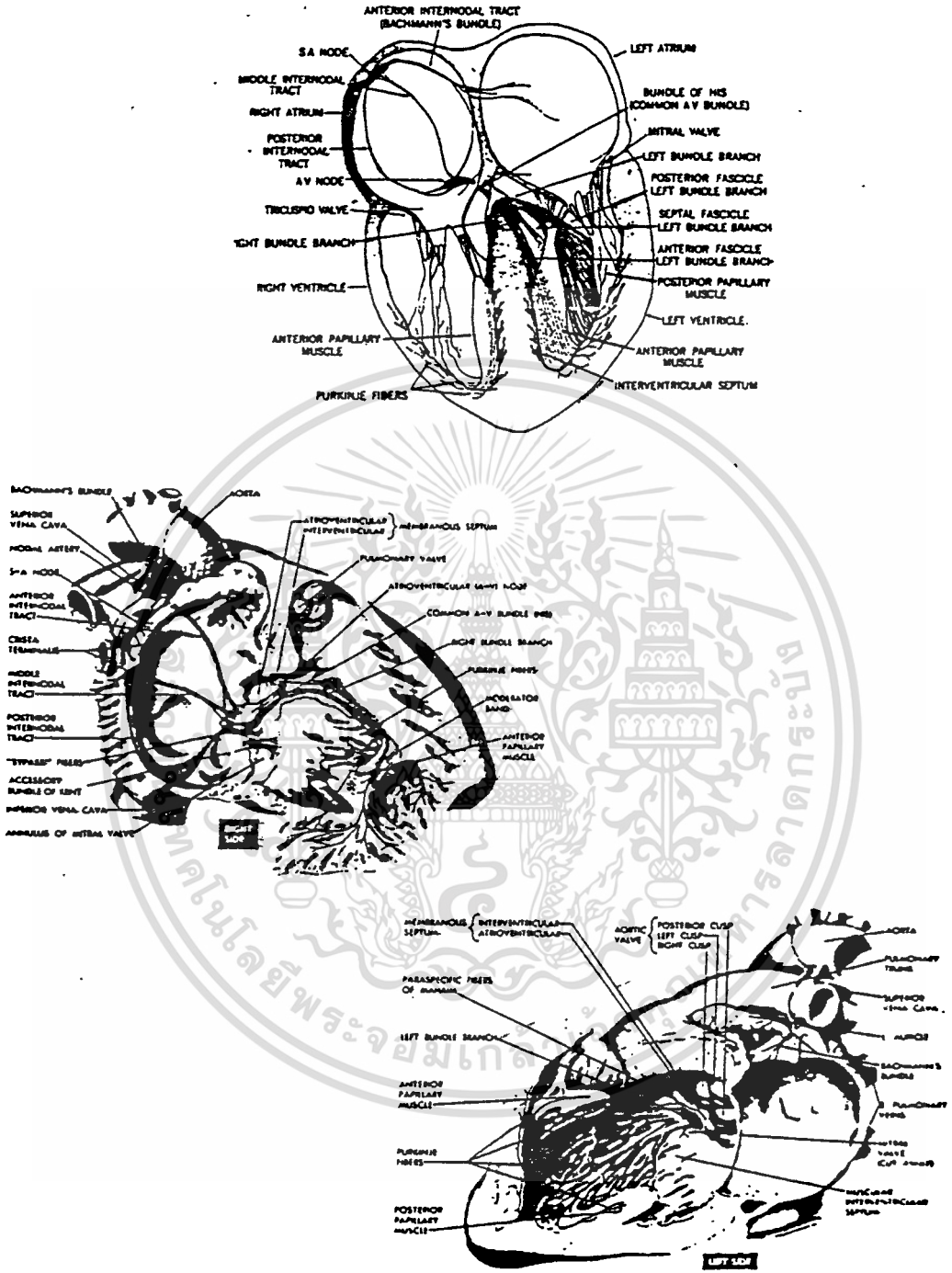
ต่อออกไปจาก AV node เข้าในเนื้อของผนังกันระหว่างเวนตริเคิล แล้วแยกเป็น 2 แขนง คือ right และ left bundle branch แต่ละแขนงผ่านซิดผิวแต่ละด้านของผนังกันระหว่างเวนตริเคิล

1. Right bundle branch แยกจาก bundle of His แล้วผ่านซิดผิวด้านขวาของผนังกันระหว่างเวนตริเคิล เป็นแขนงที่ยาว และอยู่ที่ผิวกว่า left bundle branch

2. Left bundle branch แยกออกเป็น

ก. Antero-superior division ซึ่งยาวและอยู่ผิว มีหลอดเลือดไปเลี้ยงหลอดเลือด

ข. Postero-inferior division สั้นและใหญ่ มีหลอดเลือดไปเลี้ยง 2 หลอด



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนต่างๆ ของระบบการนำไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Purkinje system

เป็นเส้นใยที่แยกออกจาก bundle branch ทั้งสองข้าง พบในชั้นใต้เยื่อหุ้มหัวใจของ เวนทรีเก็ลทำหน้าที่นำคลื่นไฟฟ้าเข้าสู่ผนังกล้ามเนื้อหัวใจ

### การเกิดและการกระจายของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

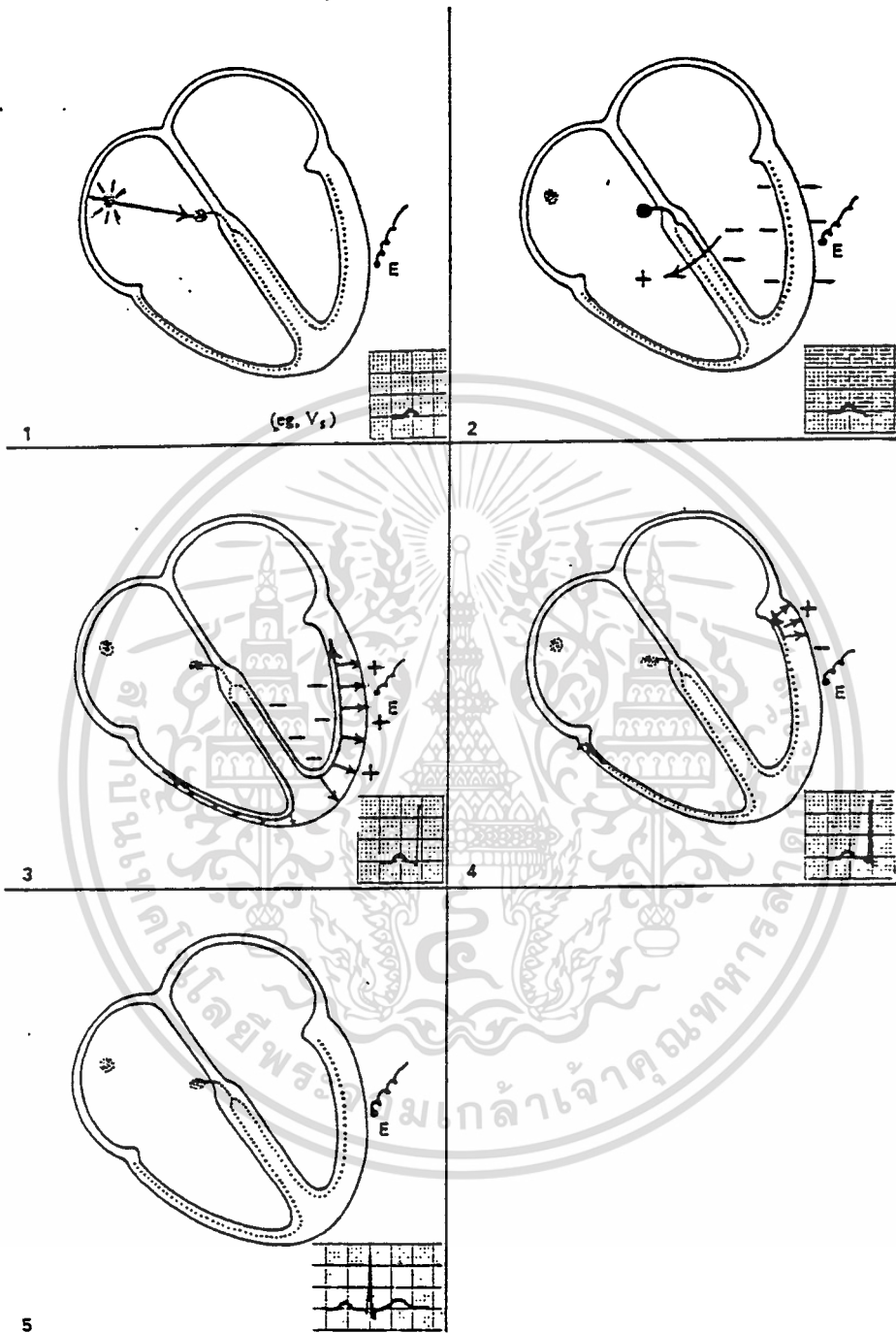
โดยปกติคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีจุดกำเนิดที่ pacemaker cell ใน SA node แล้วกระจายไปยัง AV node โดยผ่านทาง anterior, middle และ posterior internodal tract (รูปที่ 1.5) ที่ anterior internodal tract (Bachmann's bundle) มีแขนงแยกไปยังเอเตรียมซ้าย การกระตุ้นจะกระตุ้นที่ เอเตรียมขวาก่อนที่เอเตรียมซ้ายโดยผ่านทาง interatrial tract. Depolarization ของเอเตรียมทั้งสองจะสิ้นสุดภายในเวลาประมาณ 0.1 วินาที เมื่อผ่านไปยัง AV node คลื่นไฟฟ้าจะล่าช้าอยู่ประมาณ 0.1 วินาที จึงผ่านไปยัง bundle of His แล้วแยกไปตาม right bundle branch, common left bundle branch, anterior และ posterior division ของ left bundle branch และ Purkinje network. Depolarization ของเวนทรีเก็ล กระจายประมาณ 0.08-0.1 โดยเริ่มต้น depolarize ที่ซีกซ้าย ซีกขวาและด้านล่างของผนังกันระหว่างเวนทรีเก็ลตามลำดับก่อน แล้วกระจายไปยัง apex ของหัวใจ จากนั้นคลื่นไฟฟ้าจะกระจายจากชั้นในของกล้ามเนื้อหัวใจ ออกสู่ชั้นนอกของกล้ามเนื้อหัวใจ ส่วนสุดท้ายที่ถูก depolarize คือ ส่วนของ posterobasal ของเวนทรีเก็ลซ้าย pulmonary conus และส่วนบนสุดของผนังกันระหว่างเวนทรีเก็ล (รูปที่ 2.6)

### 2.3 ลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ (Normal Electrocardiogram)

ขณะที่กล้ามเนื้อหัวใจอยู่ในระยะพักพักคาไฟฟ้าภายนอกเซลล์จะเท่ากันหมดโดยเป็นบวกเทียบกับภายในเซลล์ซึ่งเป็นลบ ถ้าวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดบนผนังด้านนอกเซลล์จะพบว่า ความต่างศักย์นั้นเป็นศูนย์ จึงไม่มีคลื่นไฟฟ้าเกิดขึ้นในขณะนั้น แต่เมื่อกล้ามเนื้อถูกเร้า ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์จะเปลี่ยนไปทำให้ภายนอกเซลล์มีศักย์เป็นลบและข้าง

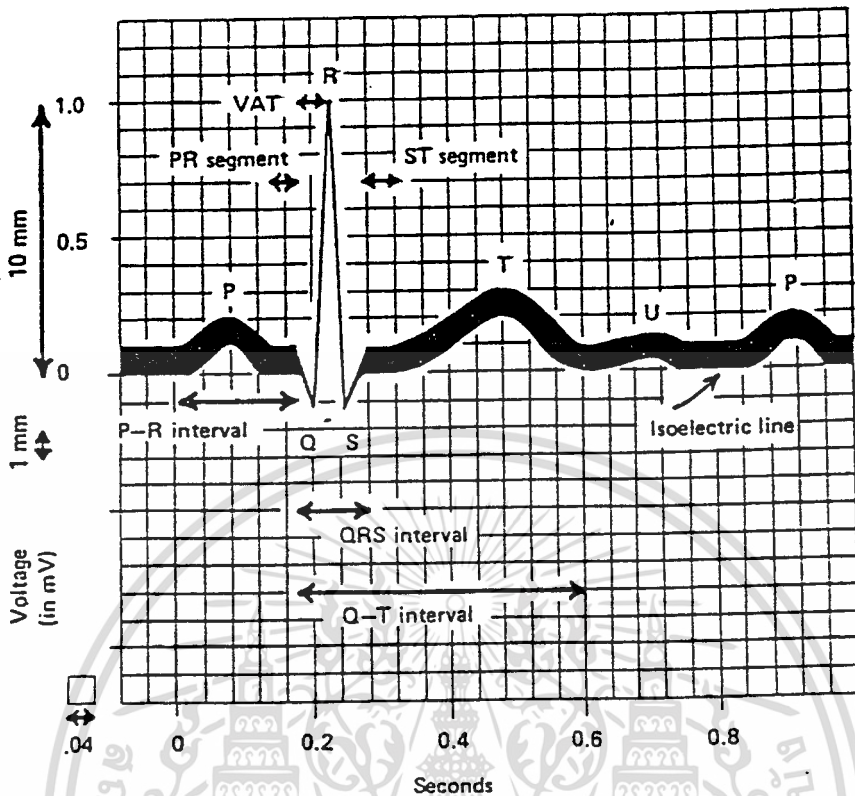
โนเซลล์เป็นบวกเรียกว่าเกิด depolarization บริเวณที่ถูกกระตุ้นเกิดความต่างศักย์ขึ้นบนเยื่อเซลล์ระหว่างตำแหน่งที่ถูกกระตุ้นกับตำแหน่งที่ยังไม่ถูกกระตุ้น นั่นคือ เริ่มมี dipole เกิดขึ้น ทิศทาง dipole ขึ้นอยู่กับทิศของการแผ่กระจายของ depolarization และขนาดของ dipole ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของเยื่อเซลล์ที่ถูกกระตุ้นและไม่ถูกกระตุ้นในการบันทึกภาพความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มักจะให้คลื่นของกราฟเป็นบวกเมื่อทิศของ dipole วิ่งเข้าหาอิเล็กโทรดและเป็นลบเมื่อทิศทางของ dipole วิ่งไปจากอิเล็กโทรด

การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเริ่มต้นจาก primary pacemaker ของหัวใจในเอเดรียมขวา เหนี่ยวนำทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าแผ่ไปทั่วเอเดรียมและเวนทริเกิ้ลทั้งสองข้าง จากสภาพ polarization เป็น depolarization แล้วกลับเป็น polarization ใหม่ เราสามารถบันทึกคลื่นไฟฟ้าได้ โดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าที่มีความไวและกำลังขยายที่เหมาะสม การบันทึกทำได้โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดวางตะที่ตำแหน่งมาตรฐานบนผิวหนัง โดยไม่จำเป็นต้องวัดที่หัวใจโดยตรง เนื่องจากร่างกายมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี คลื่นไฟฟ้าจากหัวใจจึงแผ่ไปทุกทิศทางทั่วร่างกายและออกสู่บริเวณผิวหนังได้ ภาพการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เรียกว่า คลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือ electrocardiogram ซึ่งเรียกย่อๆ ว่า ECG หรือ EKG (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.6 การกระจายของคลื่นไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิด EKG complex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ ซึ่งให้เห็นถึงช่วงต่างๆ ของคลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้

ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ จะเริ่มตั้งแต่ก่อนการบีบตัวของหัวใจแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงเกิดขึ้นเป็นจังหวะที่มีความถี่เท่าอัตราเต้นของหัวใจ ภาพคลื่นไฟฟ้าในแต่ละจังหวะประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าย่อย 3 คลื่น คือ

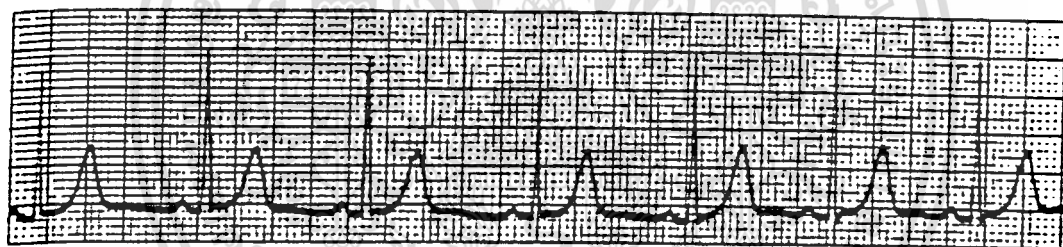
P wave เป็นผลรวมทางไฟฟ้าของ depolarization ที่เกิดขึ้นที่เอเดรียลเซลล์และขาเกิดก่อนที่เวนตริเคิลทั้งสองข้างจะบีบตัว

QRS complex เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจาก depolarization ของเวนตริเคิลซ้ายและขวาเกิดก่อนที่เวนตริเคิลทั้งสองข้างบีบตัว

T wave เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจาก repolarization ของเวนตริเคิลซ้ายและขวา เกิดก่อนที่จึงถูกบดบังไป

สำหรับ repolarization ของเอเดรียัมมักไม่เห็น เพราะเกิดในช่วง depolarization ของเวนตริเคิล จึงถูกบดบังไป

คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ เป็นกราฟที่บันทึกต่อเนื่องและเกิดซ้ำๆ กันของคลื่น P,Q,R,S และ T (ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว) รูปแบบของคลื่นแต่ละคลื่นมีมาตรฐานกำหนดไว้ทั้งในขนาด รูปร่างและจังหวะที่สม่ำเสมอด้วยอัตรา 60-100 ครั้ง/นาที ถ้าลักษณะดังกล่าวนี้เกิดขึ้นตลอดเวลา เราสามารถสรุปได้ว่า ไม่มีความผิดปกติของลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และเรียกภาวะปกตินี้ว่า normal sinus rhythm (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 Normal sinus rhythm

### Normal Sinus Rhythm

อัตราอยู่ในช่วงปกติ 60-100 ครั้ง/นาที

Isoelectric line คือ baseline ของกราฟเป็นเส้นตรงในแนวนอนที่ยังไม่มีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

P wave เป็นคลื่นที่ deflect จาก baseline เกิดจาก depolarization ของเอเดรียัม สำหรับ repolarization ของเอเดรียัมเกิดขึ้นช้าและมีแรงไฟฟ้าต่ำ ทำให้ไม่พบ atrial T wave ซึ่งอาจจะซ่อนอยู่ใน QRS complex

**P-R interval** เป็นช่วงเวลาที่คลื่นไฟฟ้าจาก SA node ผ่านทิวเอเดรียลไปยัง AV node ค่าปกติ 0.12-0.2 วินาที เป็นช่วงที่นับจากจุดเริ่มของ P wave ไปยังจุดเริ่มของ QRS complex

**QRS complex** เป็น deflection จาก baseline เกิดจาก depolarization ของเวนทริเคิล ช่วงปกติ คือ 0.06-0.08 วินาที

**ST Segment** เป็นช่วง isoelectric line เริ่มจากจุดสิ้นสุดของ QRS complex ไปยังจุดเริ่มต้นของ T wave

**T wave** เป็น deflection จาก baseline เกิดจาก repolarization ของเวนทริเคิลและมีทิศไปในทางเดียวกับ QRS complex

**U wave** เป็น deflection เล็กๆ เกิดตามหลัง T wave ปกติไม่ค่อยพบ ลักษณะสำคัญ ไม่นานจะพบได้ชัดเจนในภาวะโปแตสเซียมในเลือดต่ำ

## 2.4 ระบบขั้วต่อ(Lead System)

ปกติคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกจากผิวหนังนอกร่างกายเป็นผลรวมของคลื่นไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจ ในทางคลินิกการบันทึกศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากหัวใจ จะใช้ระบบขั้วต่อชนิดสองขั้ว (bipolar lead) และขั้วต่อชนิดขั้วเดียว (unipolar lead)

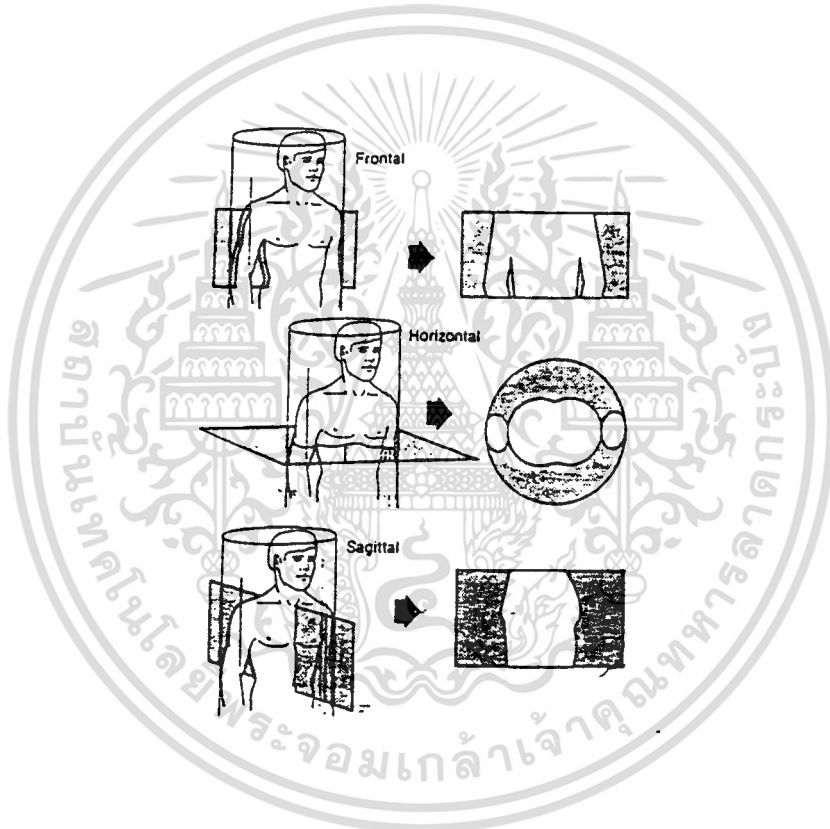
ระบบขั้วต่อชนิดสองขั้ว อิเล็กโทรดทั้งคู่จะอยู่ในสนามไฟฟ้าที่ส่งออกจากหัวใจ เครื่องบันทึกไฟฟ้าหัวใจจะบันทึกความต่างศักดาระหว่าง 2 ขั้ว คือ อิเล็กโทรดที่เป็นขั้วบวกกับอิเล็กโทรดที่เป็นขั้วลบ

ระบบขั้วต่อชนิดขั้วเดียว อิเล็กโทรดขั้วหนึ่งจะถูกสร้างให้มีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ เรียกว่า indifferent electrode อิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่งจะบันทึกศักดาไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์เพียงขั้วเดียวเรียกว่า exploring electrode

สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการทำความเข้าใจกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก คือ exploring electrode เป็นตัวตัดสินใจทิศทางของคลื่น ถ้าอยู่ในสนามที่ศักดาไฟฟ้าเป็นบวก

คลื่นที่บันทึกได้จะขึ้นบน (upward deflection) ถ้าอยู่ในสนามที่ศักดาไฟฟ้าเป็นลบคลื่นที่บันทึกได้จะมีทิศทางลงล่าง (downward deflection)

การบันทึกคลื่นไฟฟ้าโดยสมบูรณ์ นิยมบันทึกด้วย 12 ขั้วต่อ (lead) ประกอบด้วย แขนขา 6 ขั้วต่อทรวงอก 6 ขั้วต่อ เพื่อให้เข้าใจลำดับขั้วต่อง่ายขึ้น ให้เปรียบเทียบร่างกายของคนเป็นรูปทรงกระบอกในแนวอื่น แล้วแบ่งรูปทรงกระบอกออกเป็น 3 ระนาบ (plane) ได้แก่ frontal plane, horizontal plane และ sagittal plane (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แสดงระนาบต่างๆ ของร่างกายเมื่อเปรียบกับรูปทรงกระบอก  
ขั้วต่อมาตรฐานแขนขา (Standard Limb Lead หรือ Bipolar Lead)

ได้แก่ Lead I, II และ III บันทึกการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าใน frontal plane ซึ่ง Einthoven เป็นผู้คิดริเริ่ม โดยวางอิเล็กโทรดขั้ว (+) และอิเล็กโทรดขั้ว (-) ลงบนแขนขา แขนซ้าย และขาซ้ายบันทึกความต่างศักดาไฟฟ้าระหว่าง 2 ขั้วนี้

Lead I บันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแขนขวา (-) กับแขนซ้าย (+)

Lead II บันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแขนขวา (-) กับขาซ้าย (+)

Lead III บันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแขนซ้าย (-) กับขาซ้าย (+)

หลักการจำ แขนขวาเป็น (-) เสมอ

ขาซ้ายเป็น (+) เสมอ

แขนซ้ายเป็นได้ทั้ง (+) และ (-)

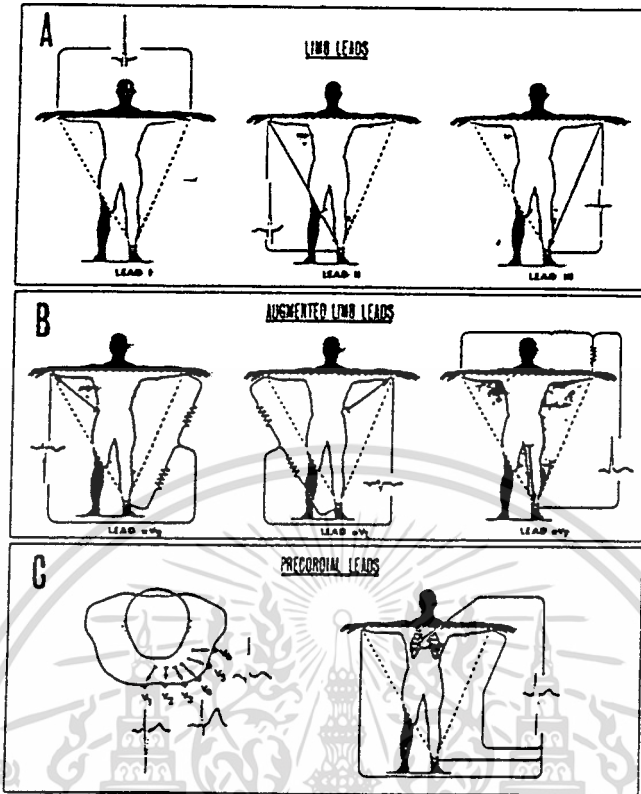
ขั้วต่อมาตรฐานทั้ง 3 คู่นี้เมื่อนำมาต่อกันแล้วจะได้สามเหลี่ยมด้านเท่าทางไฟฟ้าเรียกว่า Einthoven triangle (รูปที่ 2.10 A) โดยมีหัวใจอยู่เป็นศูนย์กลางของสามเหลี่ยม ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ ตามกฎของ Einthoven จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Lead I, II และ III เป็นสมการดังนี้

$$\text{Lead II} = \text{Lead I} + \text{Lead III}$$

จากสมการนี้ทำให้เราทราบว่า P wave ใน Lead II จะเป็น P wave ที่ สูงสุดถ้าคลื่น P ของ ทั้งสาม Lead ขึ้นบนหมด

**ขั้วต่อแขนขาชนิดขั้วเดียว (Unipolar Limb Lead)**

ประกอบด้วยขั้วต่อ aVR, aVL และ aVF บันทึกการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าใน frontal plane เช่นเดียวกับขั้วต่อมาตรฐานแขนขา Wilson เป็นผู้คิดวิธีการบันทึกนี้ขึ้น โดยดัดแปลงมาจากกฎของ Einthoven ที่ว่า Lead I + Lead III เท่ากับ Lead II และเมื่อนำ Lead I, II และ III มาต่อกันเป็นวงจรมัด ผลรวมศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จะเท่ากับศูนย์ Wilson ได้นำวงจรมานี้มาใช้เป็น indifferent electrode โดยให้ชื่อว่า Central terminal of Wilson และวาง exploring electrode ไว้บนแขนหรือขาขั้วใดขั้วหนึ่ง



รูปที่ 2.10 แสดงขั้วต่อมาตรฐานแขนขา (A), ขั้วต่อแขนขาชนิดขั้วเดียว (B), และขั้วต่อทรวงอก (C) ลูกศรชี้แสดงถึง Vector ที่ทำให้การบันทึกได้ผลเป็น upward deflection

VR exploring electrode อยู่บนแขนขวา

VL exploring electrode อยู่บนแขนซ้าย

VF exploring electrode อยู่บนขาซ้าย

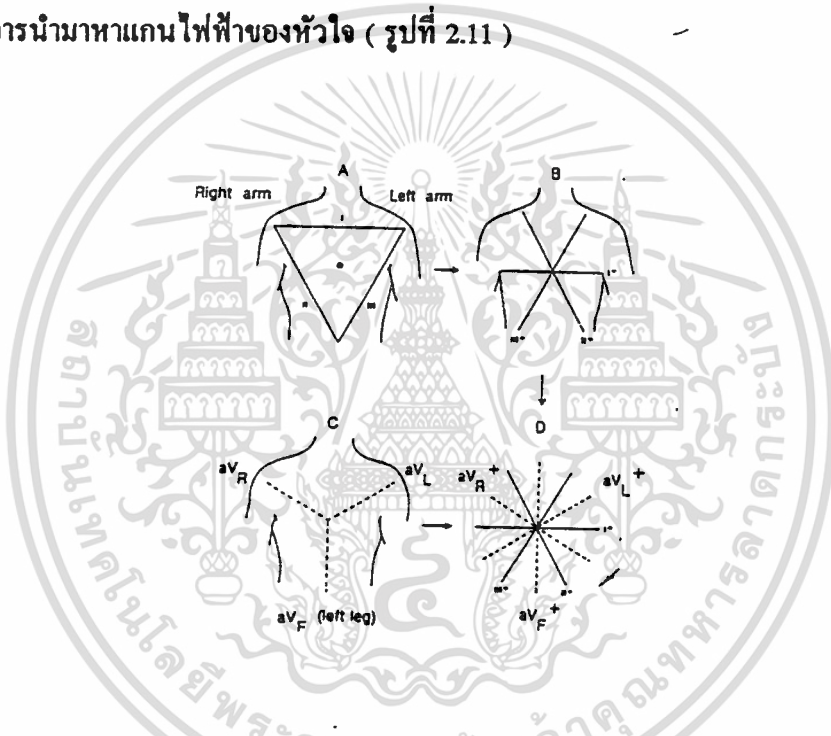
อักษร V แสดงให้เห็นว่า เป็นขั้วต่อชนิดขั้วเดียว โดยมี Wilson terminal เป็น reference electrode

ในระบบการบันทึกดังกล่าวนี้ สักคาไฟฟ้าที่วัดได้จะต่ำ ต่อมาจึงได้มีการคิดแปลงโดย ปลดฮีเลียมหลอดจาก central terminal ออกหนึ่งขั้ว แล้วบันทึกสักคาไฟฟ้าระหว่างขั้วต่อแขนขาที่เหลือ ทำให้ความแรงของสักคาไฟฟ้าที่บันทึกได้เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เท่าของขั้วต่อ V ปกติ



เรียกระบบการบันทึกใหม่ที่ว่า augmented unipolar system ใช้อักษรย่อ “a” เข้าประกอบเป็น aVR, aVL และ aVF (รูปที่ 2.10 B)

สามเหลี่ยมของ Einthoven นี้ สามารถนำมาจัดใหม่ให้แต่ละขั้วต่อตัดกันที่จุดกึ่งกลาง (Zero reference point) โดยไม่ทำให้แกนของมันเปลี่ยนแปลง จะออกมาในรูปของ triaxial reference system of Bayley และถ้านำขั้วต่อแขนขาชนิดขั้วเดียวมารวมเข้ากับ triaxial reference system จะออกมาเป็นรูปเส้นตรง 6 เส้นตัดกันเรียกว่า hexaxial system ซึ่งมีความสำคัญในการนำมาหาแกนไฟฟ้าของหัวใจ (รูปที่ 2.11 )



รูปที่ 2.11 A. สามเหลี่ยมด้านเท่าของ Einthoven แสดงแกนของขั้วต่อมาตรฐานแขนขา Lead I, II, และ III โดยมีจุดศูนย์กลางที่หัวใจ B. แสดงแกนของขั้วต่อมาตรฐานแขนขา เมื่อนำมาตัดกันที่จุด

ศูนย์กลางของสามเหลี่ยมเป็นรูป “triaxial” C. แสดงแกนของขั้วต่อแขนขาชนิดขั้วเดียว D. แสดงการรวมแกนของขั้วต่อมาตรฐานแขนขาและขั้วต่อแขนขาชนิดขั้วเดียวเข้าด้วยกัน ออกมาเป็นรูป “hexaxial”

## ขั้วต่อทรวงอก (Precordial Lead หรือ Unipolar Chest Lead)

เป็นระบบขั้วต่อขั้วเดียว บันทึกการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าใน horizontal plane โดยใช้ exploring electrode วางบนตำแหน่งต่างๆ บนทรวงอก (รูปที่ 2.10 C) ดังต่อไปนี้

$V_1$  ช่องซี่โครงที่ 4 ด้านขวาของกระดูกอก

$V_2$  ช่องซี่โครงที่ 4 ด้านซ้ายของกระดูกอก

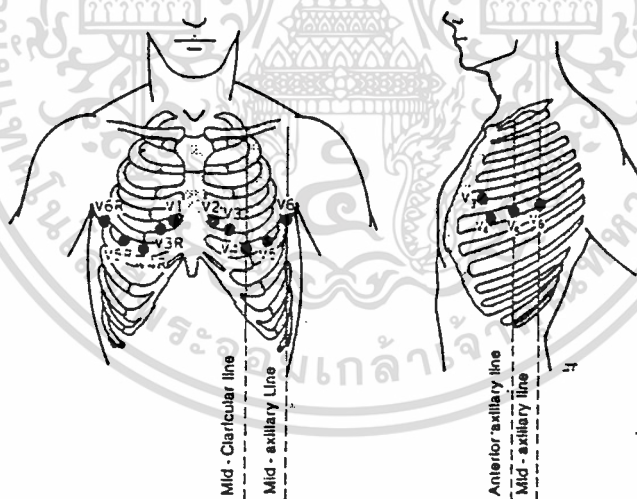
$V_3$  กึ่งกลางระหว่างเส้นต่อ  $V_2$  และ  $V_4$

$V_4$  ช่องซี่โครงที่ 5 ตรงแนวกึ่งกลางของกระดูกไหปลาร้าซ้าย

$V_5$  ช่องซี่โครงที่ 5 ตรงแนวขอบหน้าของรักแร้ซ้าย (left anterior axillary line)

$V_6$  ช่องซี่โครงที่ 5 ในแนวกึ่งกลางรักแร้ซ้าย (left mid-axillary line)

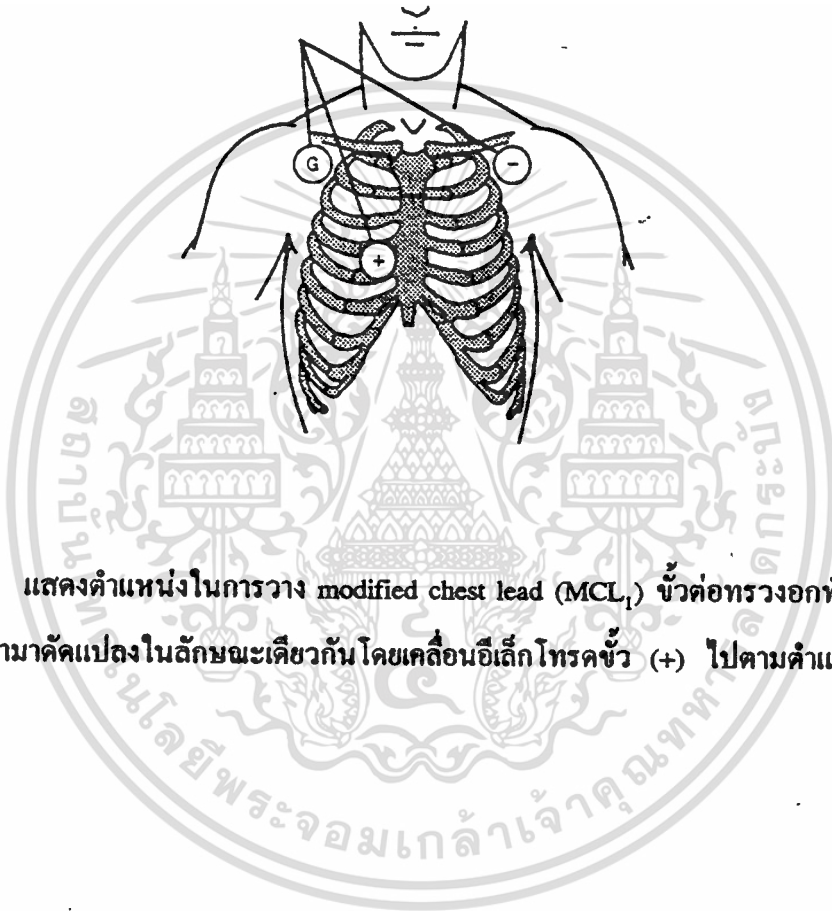
การวินิจฉัยโรคหัวใจพิการแต่กำเนิด อาจจำเป็นต้องทำ Lead อื่นๆ เพิ่มขึ้น เช่น  $V_3R$ ,  $V_6R$  ขั้วต่อเหล่านี้จะสัมพันธ์กับตำแหน่งขั้วต่อของหัวใจซีกซ้าย (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 แสดงตำแหน่งต่างๆ ของการวางขั้วต่อทรวงอก

การมอนิเตอร์ (monitoring) ผู้ป่วยในหอภิบาลอาจใช้ Lead ใด Lead หนึ่ง ใน 12 Lead แต่ที่นิยมใช้กันคือ modified chest lead ของ  $V_1(MCL_1)$  ซึ่งทำให้สามารถเห็นกราฟ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ชัดเจนและวินิจฉัยจังหวะการเต้นปกติของหัวใจได้รวดเร็ว การบันทึกจะใช้ อิเล็กโทรดขั้ว (+) วางในตำแหน่ง  $V_1$  อิเล็กโทรดขั้ว (-) วางในตำแหน่งของแขนซ้าย, ส่วน แขนขวาจะเป็น ground (รูปที่ 2.13)



รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งในการวาง modified chest lead (MCL<sub>1</sub>) ขั้วต่อทรวงอกทั้ง 6 lead สามารถนำมาดัดแปลงในลักษณะเดียวกันโดยเคลื่อนอิเล็กโทรดขั้ว (+) ไปตามตำแหน่งที่ถูก

ต้อง

## บทที่ 3

### ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

#### 3.1 คุณสมบัติของระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือ electrocardiogram (ECG) ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้  
คือ

##### 3.1.1 อัตราการขยายสูง

การที่ศักดาไฟฟ้าจากหัวใจมีค่าเพียงประมาณ 0.1-5 มิลลิโวลต์ และอยู่ในช่วงความถี่ 0.2-100 Hz โดยการรับสัญญาณจากอิเล็กโทรดที่ติดอยู่บนผิวหนัง จึงต้องใช้วงจรขยายที่มีอัตราการขยายสูงมากตลอดช่วงความถี่ดังกล่าว เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความแรงพอเพื่อแสดงผลการวัด ออกมาโดยไม่มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ซึ่งในการสร้างเครื่องขยายให้มีอัตราการขยายสูงมากๆ นี้ จะมีปัญหาเกิดขึ้นคือสัญญาณรบกวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัญญาณจากสายไฟกระแสสลับหรือไฟฟ้าบ้าน ซึ่งมีความถี่ 50 Hz และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับนี้อยู่ในช่วงของความถี่ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ดังนั้นในการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจจึงต้องแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนนี้ โดยใช้วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ จะขยายเฉพาะสัญญาณที่เป็น differential mode ส่วนสัญญาณที่เป็น common mode จะไม่ถูกขยายให้ออกไปที่เอาต์พุต และเนื่องจากสัญญาณรบกวนส่วนมากจะเข้าไปในวงจรขยายในลักษณะ common mode ดังนั้นสัญญาณรบกวนจึงไม่ปรากฏที่เอาต์พุตของวงจรขยาย

##### 3.1.2 ค่า CMMR (Common Mode Rejection Ratio) สูง

Common Mode Rejection Ratio คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังขยายของสัญญาณที่เป็น differential mode ต่อกำลังขยายของสัญญาณที่เป็น common mode ค่า CMRR นี้ เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวงจรขยายความแตกต่างที่จะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้

คือต้องมีอัตราขยายของสัญญาณ differential mode สูง และมีอัตราขยายของสัญญาณ common mode ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการขยาย (ECG) จะเข้าไปที่อินพุตในลักษณะของสัญญาณ differential mode ส่วนสัญญาณรบกวน (50 Hz) จะเข้าไปที่อินพุตในลักษณะของสัญญาณ common mode ดังนั้นถ้าค่า CMRR มีค่าสูงย่อมหมายความว่าสัญญาณรบกวนจะมีโอกาสไปปรากฏที่เอาต์พุตได้น้อย แต่ถ้าค่า CMRR มีค่าต่ำ สัญญาณรบกวนจะมีโอกาสไปออกที่เอาต์พุตได้มาก

### 3.1.3 ค่า Input Impedance สูงมาก

เนื่องจากการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจนั้น ไม่ได้วัดที่หัวใจโดยตรง แต่จะใช้ขั้วไฟฟ้า (electrode) ติดที่ผิวหนังบริเวณ แขน ขา และทรวงอก จึงทำให้เกิดความต้านทานขึ้นตรงบริเวณรอยสัมผัสของขั้วไฟฟ้ากับผิวหนัง ซึ่งค่าความต้านทานนี้มีค่าสูงตั้งแต่ 0.1 - 0.8 เมกะโอห์ม ดังนั้นวงจรขยายจึงต้องมีค่า Input Impedance สูงมากๆ เมื่อเทียบกับความต้านทานตรงรอยสัมผัสหรือผิวหนัง เพื่อให้สัญญาณที่วัดสูญเสียที่รอยสัมผัสน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้วยังเป็นการเพิ่มค่า CMRR ให้กับวงจรได้ด้วย จึงเป็นการป้องกันการเสียดสมดุลย์ของวงจร ซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณรบกวนที่เข้ามาในลักษณะสัญญาณ common mode ไม่สามารถกำจัดออกไปได้และในการวัดค่า CMRR นั้นจะต้องวัดรวมทั้งสายขั้วไฟฟ้าด้วย และค่าความต้านทานของสายขั้วไฟฟ้าแต่ละเส้นนี้จะมีโอกาสเท่ากันได้ยาก ดังนั้นถ้าค่า Input Impedance ของวงจรมีค่าสูงมากๆ เมื่อเทียบกับความต้านทานของสายขั้วไฟฟ้า ความแตกต่างของความต้านทานในสายขั้วไฟฟ้า ก็จะมีผลต่อวงจรน้อยลง

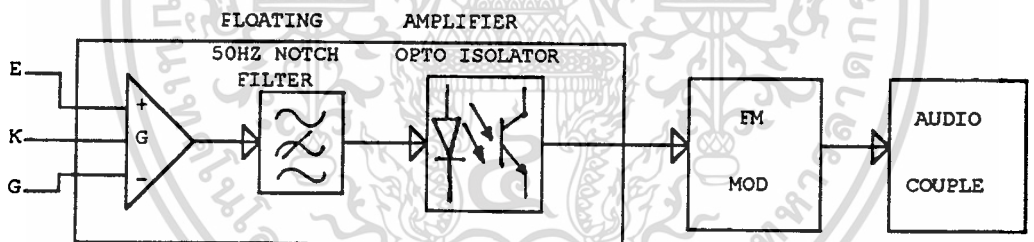
### 3.1.4 มีการตอบสนองความถี่ต่ำดี

เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีความถี่อยู่ในช่วง 0.2 - 100 Hz ดังนั้นวงจรขยายจะต้องขยายสัญญาณในช่วงความถี่นี้ได้ โดยที่สัญญาณไม่ผิดเพี้ยน วงจรที่ใช้จึงต้องเป็นวงจรขยายไฟฟ้า คี.ซี. (D.C. Amplifier)

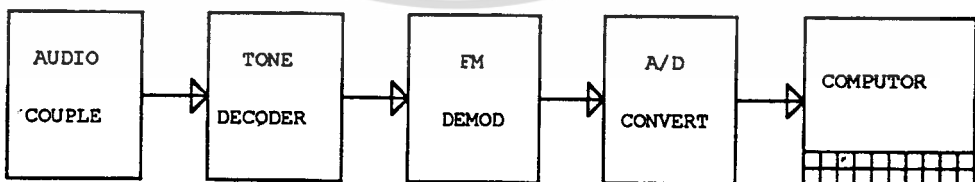
นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้ว ในการออกแบบเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจยังจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการวัดด้วย เนื่องจากในการวัดต้องใช้สายขั้วไฟฟ้าต่ออยู่ระหว่างผู้ป่วยและเครื่องวัด ดังนั้นถ้าหากเครื่องวัดมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลมากก็อาจทำให้ผู้ป่วยได้รับอันตราย หรืออาจจะทำให้ผลการวัดออกมาผิดพลาดได้ ดังนั้นเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จึงมีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างจากวงจรขยายทั่วไป คือ วงจรขยายในภาคแรกจะต้องเป็นวงจรขยายแบบ Floating Amplifier คือเป็นวงจรที่มีสาย common ไม่ได้ต่อที่แทนเครื่องโดยตรง จึงทำให้ผู้ป่วยและแท่นเครื่องแยกจากกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนของวงจร Opto Couple ที่สามารถป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดกับผู้ป่วย

### 3.2 ระบบเครื่องตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์ประกอบไปด้วยระบบวงจรที่สำคัญดังต่อไปนี้



ส่วนของการวัด



ส่วนของการแสดงผล

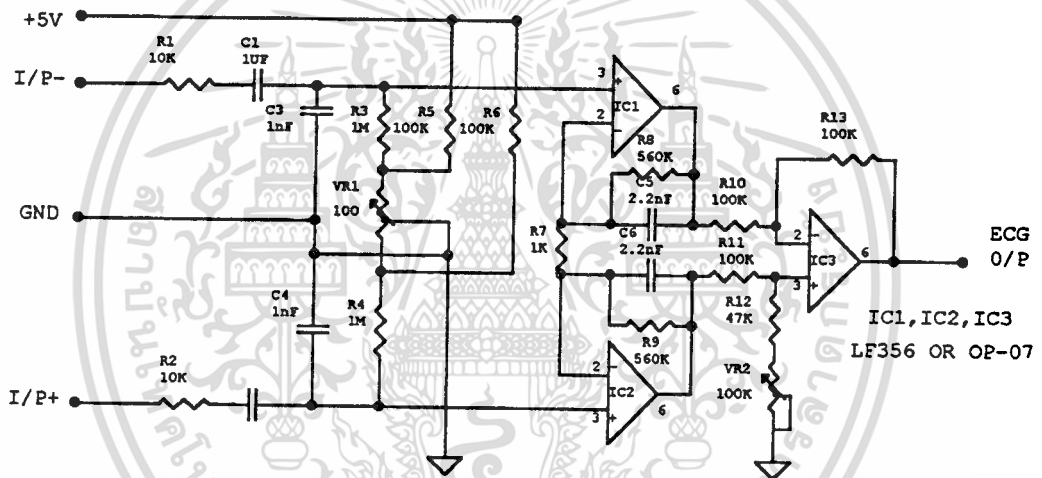
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการวัด

3.2.1 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนชัน (Instrumentation Amplifier)

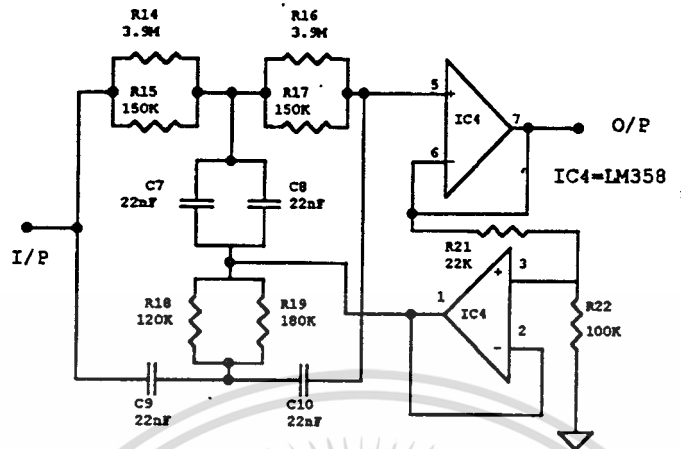
Instrumentation Amplifier เป็นวงจรที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีอัตราขยายของสัญญาณมากกว่า Buffer Amplifier และมี Input Impedance สูง ส่วนสัญญาณที่ถูกขยายมานั้นจะมีสัญญาณรบกวนจากไฟฟ้าบ้าน กระแสสลับความถี่ 50 Hz ปนมาด้วย ดังนั้นวงจรที่เราจะใช้ควรจะเป็นแบบ Differential Amplifier เพื่อลดสัญญาณรบกวนให้ได้มากที่สุด เพราะว่าคุณสมบัติของ Differential Amplifier ก็คือมีค่า CMRR สูง



รูปที่ 3.2 วงจรขยายความแตกต่างแบบ Instrumentation

3.2.2 วงจรกรองความถี่ต่ำ (50 Hz Notch Filte)

วงจรมีไว้สำหรับแยกเอาเฉพาะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 0.5 - 200 Hz กรองความถี่ที่ต่ำกว่า 200 Hz ผ่านเท่านั้น ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่มีความถี่มากกว่านี้ ก็ไม่สามารถผ่านไปได้ และยังทำการกำจัดสัญญาณรบกวน 50 Hz ด้วย

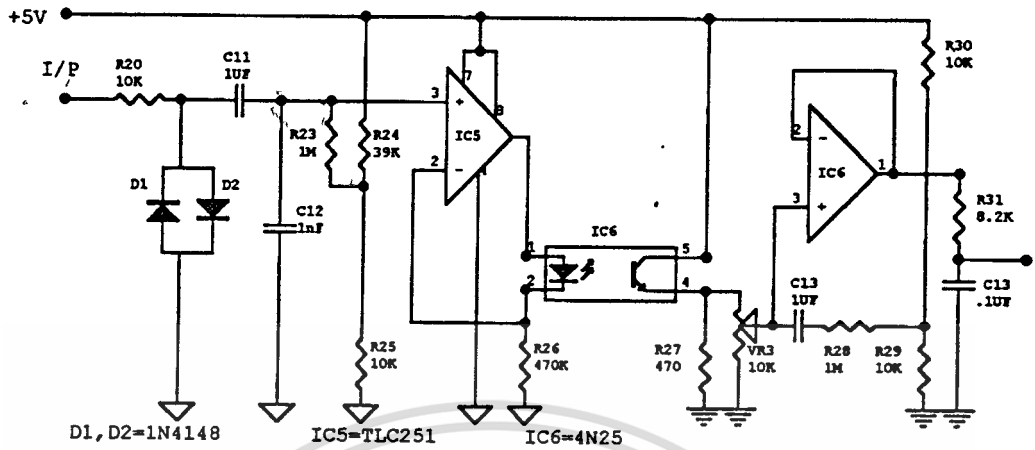


รูปที่ 3.3 วงจร 50 Hz Notch Filter

### 3.2.8 วงจรอปโตคัปเปิล (Opto Couple)

คงได้กล่าวมาแล้วว่าในการออกแบบเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้ด้วย คือหลังจากที่กรองสัญญาณที่ไม่ต้องการไม่ให้ผ่านได้แล้ว ก็ผ่านมาที่วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง เพื่อทำการแยกจุดดินระหว่างวงจรขยายในส่วนหน้าที่สัมผัสร่างกายกับวงจรถัดไป เพื่อป้องกันกระแสรั่วไหลจากเครื่องเข้าไปทำอันตรายต่อคนไข้ได้ หรืออาจจะทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้

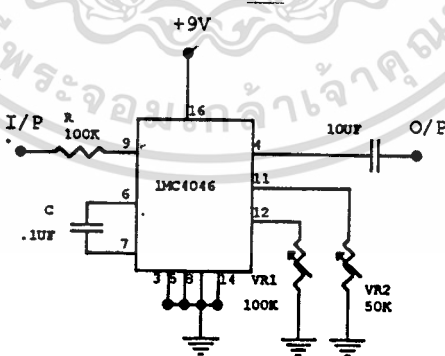
การทำงานของวงจรมี คือ เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็นระดับสูง จะทำให้ LED สว่าง และทำให้ Opto Transistor ในตัว Opto couple ทำการส่งสัญญาณต่อไป และผ่าน op-amp ที่จะทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณที่ได้จากตัว Opto couple เพื่อให้มีขนาดเพียงพอที่จะนำไปใช้งานในภาคต่อไป



รูปที่ 3.4 วงจร Opto Couple

3.2.4 วงจรมอดดูเลชั่น (Modulation)

ในวงจรนี้ใช้ Phase lock loop เมอร์ 1MC4046 ภายใน 1MC4046 ส่วนที่สำคัญอยู่สองส่วนคือ Phase Comparator และ Voltage Control Oscillator (VCO) VCO เป็นวงจร Oscillator ซึ่ง Output Signal มีความถี่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ Input Voltage ดังนั้น เมื่อเราให้สัญญาณที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา สัญญาณ จาก Output จะมีความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดสัญญาณ Input นั้น คือ การผสมคลื่นแบบ Frequency Modulation

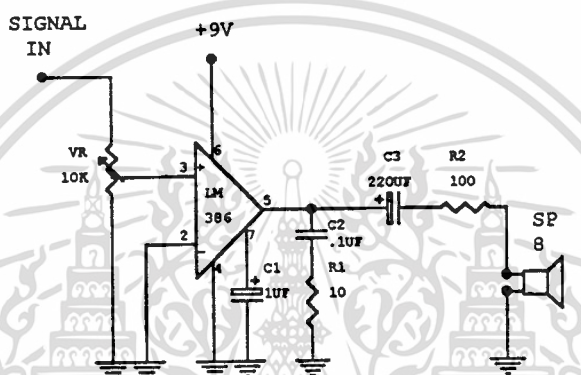


รูปที่ 3.5 วงจร Modulation

จากวงจร ค่า C เท่ากับ 0.1  $\mu$ F ค่า VR1 เท่ากับ 50 k $\Omega$  และ VR2 เท่ากับ 100 k $\Omega$  เพื่อต้องการให้ 1MC4046 ผลิตความถี่ 2 KHz เพื่อจะทำสัญญาณ ECG มา Modulation

### 3.2.5 วงจรเพอร์เวอร์แอมป์ไฟด์ (Power Amplifier)

ในการที่จะส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) ผ่านสายโทรศัพท์นั้นเราจำเป็นต้องจะ  
ต้องเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงเสียก่อนเพื่อจะได้นำสัญญาณเสียงนั้นผ่านเข้า  
ไปในโทรศัพท์ซึ่งในภาคนี้เราจะได้นำเอา IC เบอร์ LM 386 ซึ่งเป็น IC Power Amplifier ที่  
ใช้แรงดันต่ำ และสามารถกำหนด Gain ได้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งกำหนด Gain เท่า  
กับ 20 เท่า และสามารถขับลำโพง  $8\Omega$  ได้โดยตรง



รูปที่ 3.6 วงจร Power Amplifier

### ส่วนของการแสดงผล

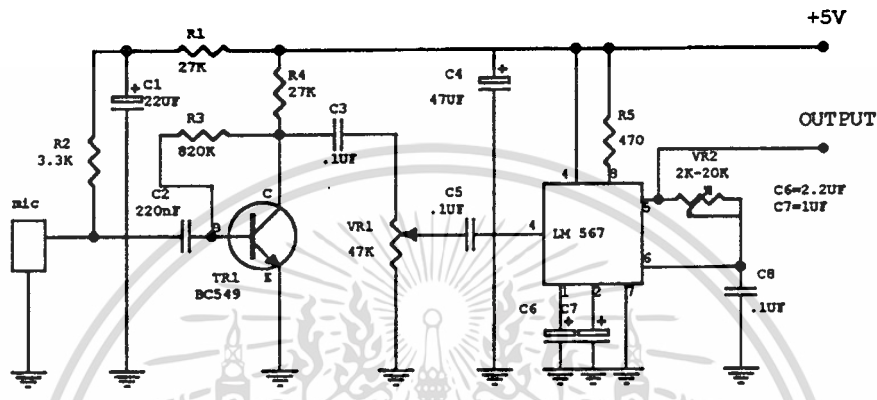
### 3.2.6 . วงจรโทนดีโค้ดเดอร์ (Tone Decoder)

ในส่วนของวงจร Tone Decoder ได้ใช้ ELECTRET MICROPHONE เป็นตัวทำการ  
แปลงสัญญาณเสียงที่ได้รับเข้ามาให้กลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วทำการขยายสัญญาณโดยใช้  
Transistor (TR1) เบอร์ BC549 และจากนั้นก็ให้นำมาทำการถอดรหัสสัญญาณเสียงด้วย Tone  
Decoder โดยใช้ IC เบอร์ LM 567 ซึ่งภายในตัวมันจะประกอบด้วยวงจร เฟสล็อกคูลูป  
(Phase-locked Loop) QUADRATURE PHASE DETECTOR AMPLIFIER และ  
ทรานซิสเตอร์ที่ต่ออยู่ทางด้านเอาต์พุตของไอซีในภาคที่ได้นำส่วนของ Phase-locked Loop  
มาใช้เพื่อจะให้ LM 567 ทำการผลิตความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยกระแส (Current  
Controlled Oscillator, CCO) เพื่อที่จะให้ได้ความถี่เดียวกับความถี่ของ MC14046 ของภาค  
Modulation ในส่วนของภาคส่ง เพื่อที่จะนำไปเข้ายังภาค Demodulation

สำหรับ ความถี่กลางหรือ Center frequency,  $f_0$  ของวงจรถอดรหัสสามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$f_0 = 1.1/(VR_2 \times XC_1)$$

ค่า  $VR_2$  ที่ใช้งานควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 2 กิโลโอห์ม ถึง 20 กิโลโอห์ม



รูปที่ 3.7 วงจร Tone Decoder

### 3.2.7 วงจรดีมอดูเลชัน (Demodulation)

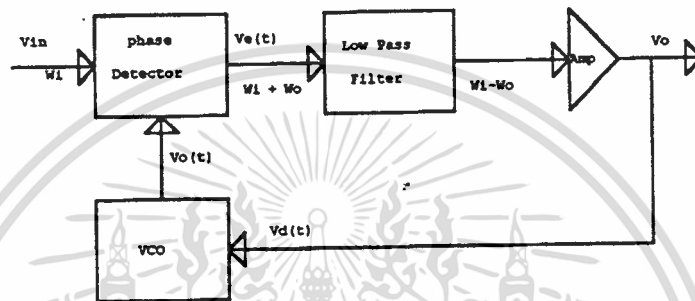
ในที่นี้ได้ใช้ PHASE LOCK LOOP เบอร์ 1MC4046 เป็นตัว DEMODULATOR เพื่อ DETECT เอา SUBCARRIER ออกไปจากสัญญาณ ECG

จากรูป เป็นวงจรถอดรหัสโดยมี VCO เป็นตัวสร้าง CENTER FREQUENCY ( $\omega_0$ ) เพื่อไป LOCK กับสัญญาณเข้า ขณะไม่มีสัญญาณเข้า ERROR VOLTAGE ( $V_d$ ) ส่วน VCO จะสร้างความถี่  $\omega_0$  ขึ้นมา สามารถกำหนดได้ตามต้องการเมื่อป้อนสัญญาณเข้าที่มีขนาด  $V_i$  (t) และ  $\omega_i$  เข้าไปในระบบ ตัว PHASE DETECTOR (PD) จะทำการเปรียบเทียบทั้ง PHASE ( $\theta$ ) และความถี่ของสัญญาณเข้ากับของ VCO และจะทำให้ ERROR VOLTAGE  $V_e$  (t) ออกมาจาก PD ซึ่ง  $V_e(t)$

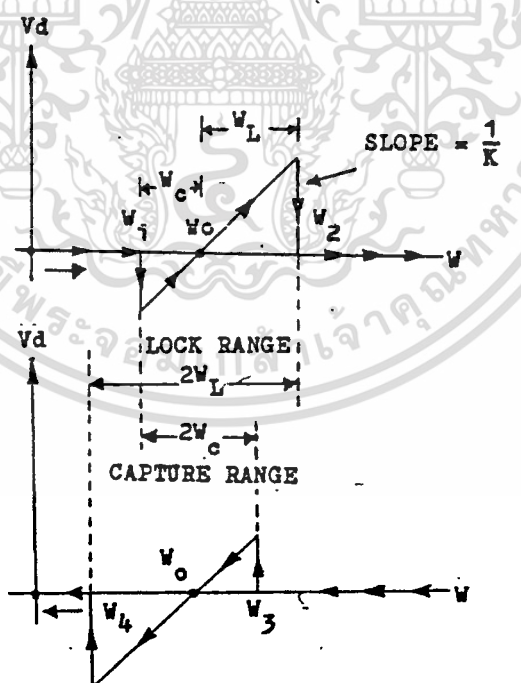
นี่จะเป็นสัญญาณของผลรวมและผลต่างของความถี่ทั้งสอง คือ  $\omega_i \pm \omega_0$  ผ่านเข้า LOW PASS FILTER (LPF) โดยความถี่  $\omega_i - \omega_0$  ที่ต่ำกว่าจะผ่าน LPF ไม่ได้ สัญญาณนี้จะเข้าภาคขยาย (A) เพื่อขยายสัญญาณออกมาเป็น  $V_d(t)$  และป้อนเข้า VCO  $V_d(t)$  นี่จะเป็นตัวบังคับให้ VCO เปลี่ยนความถี่  $\omega_0$  ให้เข้าใกล้  $\omega_i$  และป้อนเข้า VCO  $V_d(t)$  นี่จะเป็นตัวบังคับให้ VCO เปลี่ยนความถี่  $\omega_0$  ให้เข้าใกล้  $\omega_i$  ทั้งนี้ก็เพื่อให้  $\omega_i - \omega_0$  เข้าใกล้ศูนย์และเมื่อ  $\omega_i = \omega_0$  แล้ว

ความถี่ของ VCO จะ Lock เข้ากับความถี่ของ สัญญาณเข้า ซึ่งจะทำให้ PLL อยู่ในสภาพ IN LOCK ถึงแม้ว่า  $\omega_i$  จะเท่ากับ  $\omega_o$  ก็ตาม แต่ PHASE ( $\theta$ ) ยังคงต่างกันอยู่ ทั้งนี้เพื่อให้มี ERROR VOLTAGE ไว้คอยปรับ CENTER FREQUENCY ให้เท่ากับความถี่ที่เข้ามาเมื่อ สัญญาณเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นวงจรจะยังคงอยู่ในสภาพ IN LOCK ตามเดิม

หลักการทำงานของ PLL



รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของ PLL



รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลง ERROR VOLTAGE  
กับการเพิ่มและลดของความถี่สัญญาณเข้า

จากรูป เมื่อความถี่ที่เข้ามายังไม่ถูก LOCK  $V_d$  จะยังคงเป็นศูนย์ เพราะผลต่างของความถี่ INPUT กับ VCO ยังคงสูงอยู่ จึงไม่สามารถผ่าน LOW-PASS FILTER ไปได้ ดังนั้น VCO ก็ยังคงสร้างความถี่  $\omega_0$  คงเดิมได้ เมื่อความถี่ที่เข้ามาเพิ่มขึ้นจนถึง  $\omega_1$  ทำให้ผลต่างของ  $\omega_1$  และ  $\omega_0$  ลดลง สัญญาณจึงผ่าน LF ไปได้ ทำให้เกิด ERROR VOLTAGE ขึ้น และป้อนกลับแบบบวกเข้าไปบังคับ VCO ให้ปรับความถี่ใหม่จนเข้าใกล้ความถี่ที่เข้ามา และ LOCK INPUT FREQUENCY

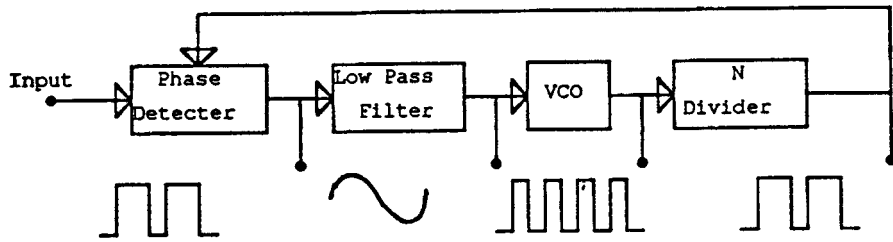
ไว้ได้ เมื่อความถี่ที่เข้ามาเพิ่มขึ้นถึง  $\omega_2$  PLL จะหลุดจากการ LOCK เพราะ ERROR VOLTAGE=0 เนื่องจากผลต่างของ  $\omega_2$  กับ  $\omega_0$  สูงเกินไปจนสัญญาณไม่สามารถผ่าน LF ไปได้และในทางกลับกัน เมื่อความถี่ที่เข้ามาเริ่มลดลงจนถึง  $\omega_3$  PLL ก็จะมี LOCK อีกครั้ง ต่อมาเมื่อลดความถี่มาจนถึง  $\omega_4$  ก็จะทำให้ PLL หลุดจาก LOCK อีกครั้ง

ต่อไปศึกษาว่า เหตุใด PHASE LOCK LOOP จึงสามารถนำมาใช้เป็น FM MODULATOR ได้ โดยดูจากรูปที่ 3.10

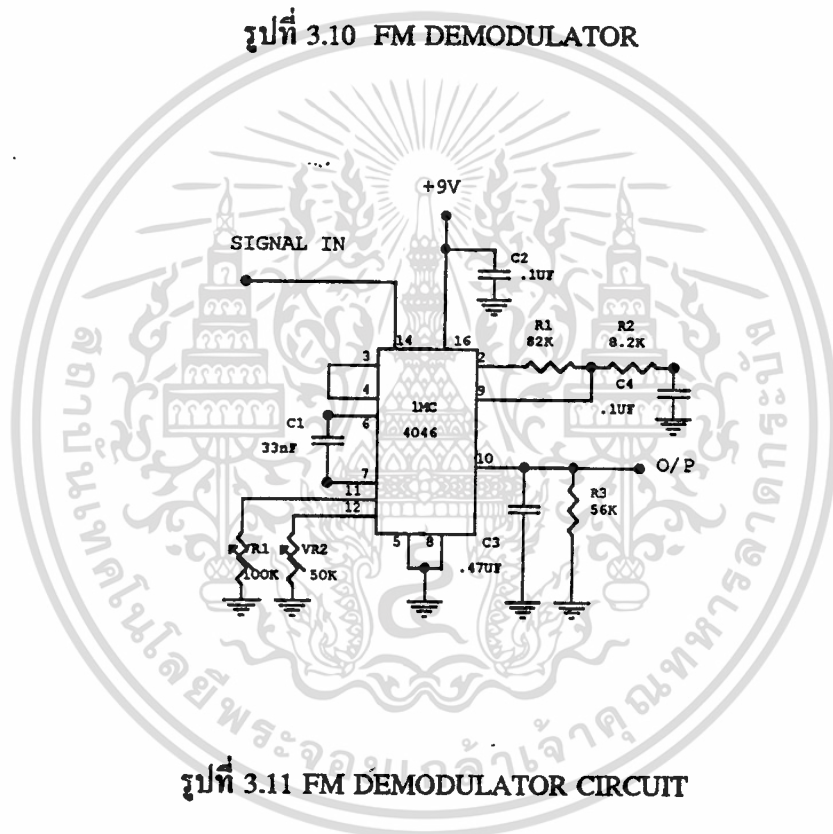
เมื่อป้อนสัญญาณเข้าที่ขา INPUT ของวงจร PHASE LOCK LOOP สัญญาณที่เข้ามานี้จะได้รับการ LOCK ด้วยวงจรเปรียบเทียบ PHASE โดยจุดมุ่งหมายแล้วเราต้องการควบคุม หรือ SYNCHRONIZE สัญญาณนี้เอง การ SYNCHRONIZE ด้วยวิธีนี้ทำให้สัญญาณรบกวนที่ติดมากับ INPUT ได้รับการตัดหรือลดลงได้ โดยปกติสัญญาณเมื่อออกจากการเปรียบเทียบ PHASE แล้วเราจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อให้ได้ ค่าระดับแรงดันในอินพุตที่จะส่งไปควบคุมวงจร OSCILLATOR ต่อไป

สัญญาณ OUTPUT จากวงจร VCO จะได้รับการหารด้วย  $n$  ซึ่ง  $n$  เป็นเลขใดๆ หรือกล่าวได้ว่า OUTPUT จาก VCO มีค่าความถี่มากกว่า INPUT OUTPUT ของวงจรหารด้วย  $n$  เข้ามาเปรียบเทียบ PHASE กับวงจร PHASE DETECTOR วงจรเปรียบเทียบ PHASE จะนำผลต่าง PHASE ทั้งสองมาสร้างค่าแรงดัน ซึ่งแปรค่าตามความต่าง PHASE ทั้งสองแรงดัน แสดงค่าความต่าง PHASE จะได้รับการกรองด้วย FILTER เพื่อเป็นสัญญาณมาควบคุม วงจร OSCILLATOR ให้ได้ความถี่ตามต้องการ

ส่วน OUTPUT ที่ออกจากวงจร PHASE DETECTOR โดยทั่วไปถ้าเอาเฉพาะค่าแรงดันออกไปโดยไม่ไหลวงจร ผลที่ได้จะเป็น OUTPUT ที่ได้จากวงจรเปลี่ยนค่าความถี่เป็นแรงดัน ซึ่งนำมาใช้เป็นวงจร FM DEMODULATOR



รูปที่ 3.10 FM DEMODULATOR

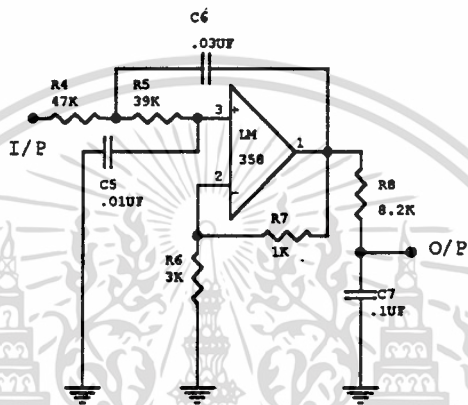


รูปที่ 3.11 FM DEMODULATOR CIRCUIT

จากวงจรจะเห็นว่า การดึง OUTPUT FM DEMODULATOR ของ PLL นั้นจะดึงออกจากขา 10 แทนที่จะเป็น OUTPUT ของ PHASE DETECTOR ดังทฤษฎีที่กล่าว

### 3.2.8 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter)

จากวงจร DEMODULATOR นั้นยังมีสัญญาณของ Carrier ติดอยู่ นั่นเราจึงต้องทำการกรองความถี่ที่สัญญาณนั้นออกไป ดังนั้นเราจึงต้องใช้วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ Low pass Filter ซึ่งจะยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำกว่า 200 Hz ผ่านไปได้ ส่วนสัญญาณรบกวน จะถูกกำจัดออกไปวงจรแสดงดังรูป 3.12

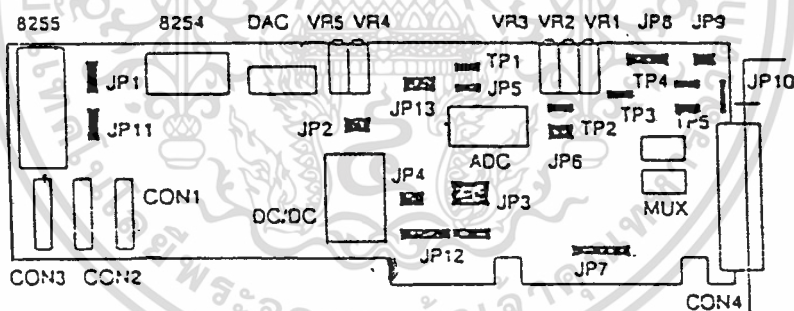


รูปที่ 3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำ Low pass Filter

## บทที่ 4 การบันทึกผล

การที่จะบันทึกสัญญาณ ECG ที่ได้จากการวัด ซึ่งเป็นสัญญาณ analog เราจะได้นำสัญญาณนี้ไปเปลี่ยนเป็น Digital เสียก่อน จากนั้นจึงนำสัญญาณนี้ไปประมวลผลใน computer จึงสามารถเก็บข้อมูลของสัญญาณ ECG นี้ในรูปของ file

สำหรับการแปลงสัญญาณจาก analog ไปเป็นสัญญาณ Digital นั้นเราได้ใช้วงจรที่เรียกว่า analog to digital converter ทำการเปลี่ยนสัญญาณ จากนั้นเราจะต้องนำสัญญาณนี้ใส่ computer ดังนั้นเราจะต้องทำการ Interface โดยเลือกใช้การ์ด PA-MA 12 (H) ของบริษัท Acqutek ซึ่งมีความสามารถในการแปลงสัญญาณ analog ไปเป็นสัญญาณ digital ด้วยค่า Sampling Rate ที่สูงมาก(สูงสุด 100 KHz) และยังสามารถเก็บความละเอียดของสัญญาณในรูปของ Digital ได้สูงถึง 12 bit มากกว่าการ์ดทั่วไป 8 bit และยังสามารถใช้การ Interface ข้อมูลได้หลายวิธี สามารถใช้การ transfer ข้อมูลแบบ DMA (Direct Memory Access) ทั้งยังเขียนโปรแกรมควบคุมการ์ดได้ง่าย

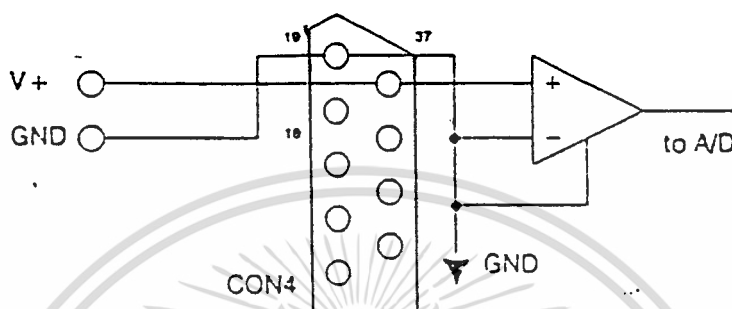


รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของ Jumper ภายในการ์ด PA-MA12(H)

ดังนั้นสิ่งที่ต้องทำอันดับแรกคือ เราต้องทำการ Interface การ์ด PA-MA12(H) เข้ากับเครื่อง Computer เสียก่อน (ในโครงการนี้เราใช้ Computer แบบ AT) โดยการ Installation การ์ดนี้รวมถึงการ transfer ข้อมูลนั้นสามารถแบ่งเป็นหลักใหญ่ๆ ได้คือ Hardware และ Software

ก่อนที่จะติดตั้งหรือควบคุมการ์ด PA-MA12(H) เราจะต้องทราบถึงลักษณะของสัญญาณที่เราจะนำเข้าการ์ดเสียก่อน เพื่อที่จะสามารถ set configuration ของการ์ดได้

อย่างถูกต้องในโครงการนี้หลังจากขยายสัญญาณ ECG ที่วัดนี้เรียบร้อยแล้ว เราจะให้สัญญาณนี้เป็นแบบ single ended Input สำหรับการ์ด PA-MA(-H) รูปแบบในการนำเข้าการ์ด



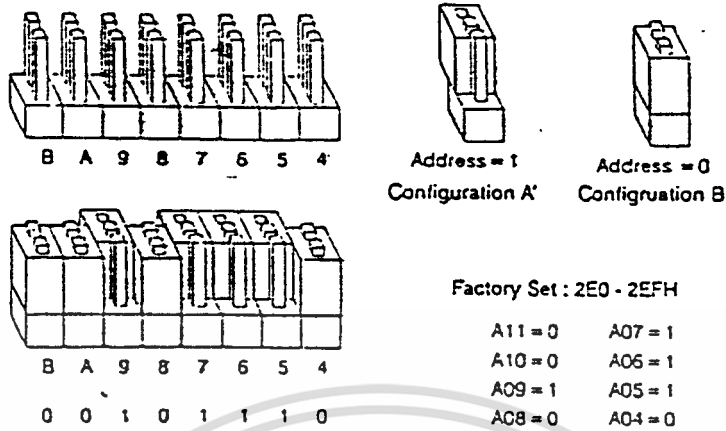
รูปที่ 4.2 แสดงการนำสัญญาณแบบ single ended เข้าสู่การ์ด

เนื่องจากสัญญาณ ECG มีลักษณะที่สามารถมีค่าเป็นลบได้ เราจึงต้องให้ Input แบบ unipolar ดังนั้นการติดตั้งการ์ดจะต้องทำดังนี้

#### 4.1 Hardware Installation

4.1.1 เลือก I/O port address จากการ์ดเราต้องเลือก I/O address ที่ขั้วว่างอยู่ใน PC มาใช้เป็น address การ์ดที่เราเลือกใช้ address 2E0-2EF

การ set การ์ดนี้เราใช้ address ตามที่บริษัท set มาให้ ถ้าต้องการเลือก address ด้วยตัวเองมีวิธีดังรูป(X10H-XFFH)



รูปที่ 4.3 แสดงการ set address ที่ Jumper JP7

4.1.2 การเลือก interrupt channel เพื่อกำหนดช่องสัญญาณ Interrupt request ซึ่ง PC จะมีช่อง IRQ ให้เลือก 15 ช่อง แต่ละช่องใช้งานดังนี้

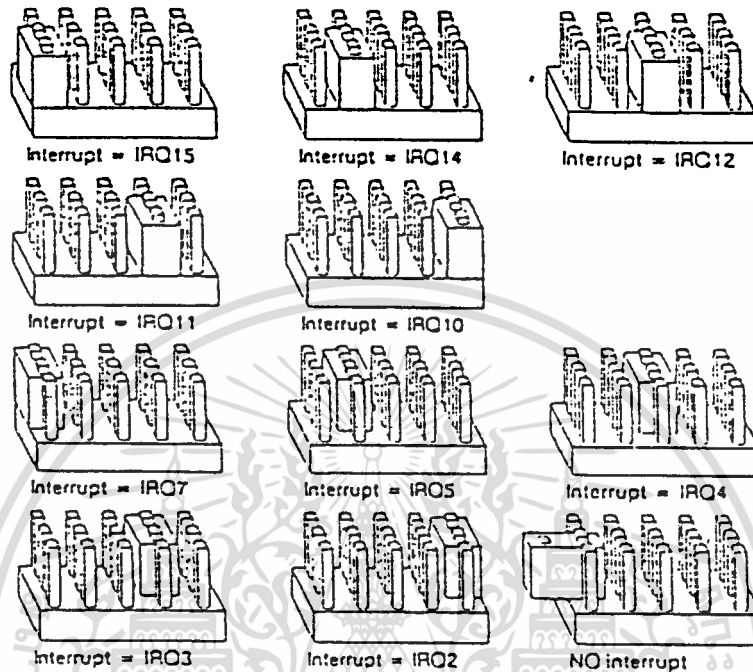
IRQ	Address	Description	Detected	Handled By
0	0C3C : 1875	Timer Clock	Yes	Block Device
1	0C3C : 1923	Keyboard	Yes	Block Device
2	0433 : 0057	Second 8259A	Yes	Default Handless
3	0433 : 006F	COM2 : COM4 :	COM2:	Default Handless
4	0433 : 0087	COM1 : COM3 :	COM1:	Default Handless
5	0433 : 009F	LPT2 :	NO	Default Handless
6	0433 : 00B7	Floppy Disk	Yes	Default Handless
7	0070 : 06F4	LPT1 :	Yes	System Area
8	0433 : 0052	Real - Time Clock	Yes	Default Handless
9	F000 : EC3D	Pedirected IRQ2	Yes	Bios
10	0433 : 00CF	(Reserved)		Default Handless
11	0433 : 00E7	(Reserved)		Default Handless
12	0433 : 00FF	(Reserved)		Default Handless
13	F000 : EC46	Math Coprocessor	Yes	Bios
14	0433 : 0117	Fixed Disk	Yes	Default Handless
15	0433 : 012F	(Reserved)		Default Handless

\*\*\* ที่มาของตาราง IRQ Status จากโปรแกรมใน DOS (MSD.EXE)

ตารางที่ 4.1 แสดง address ของ IRQ และบอกการใช้งานของแต่ละ IRQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราเลือก Interrupt ที่ยังว่างอยู่ในที่นี้เลือก IRQ 10 โดยมีวิธี set ดังรูป



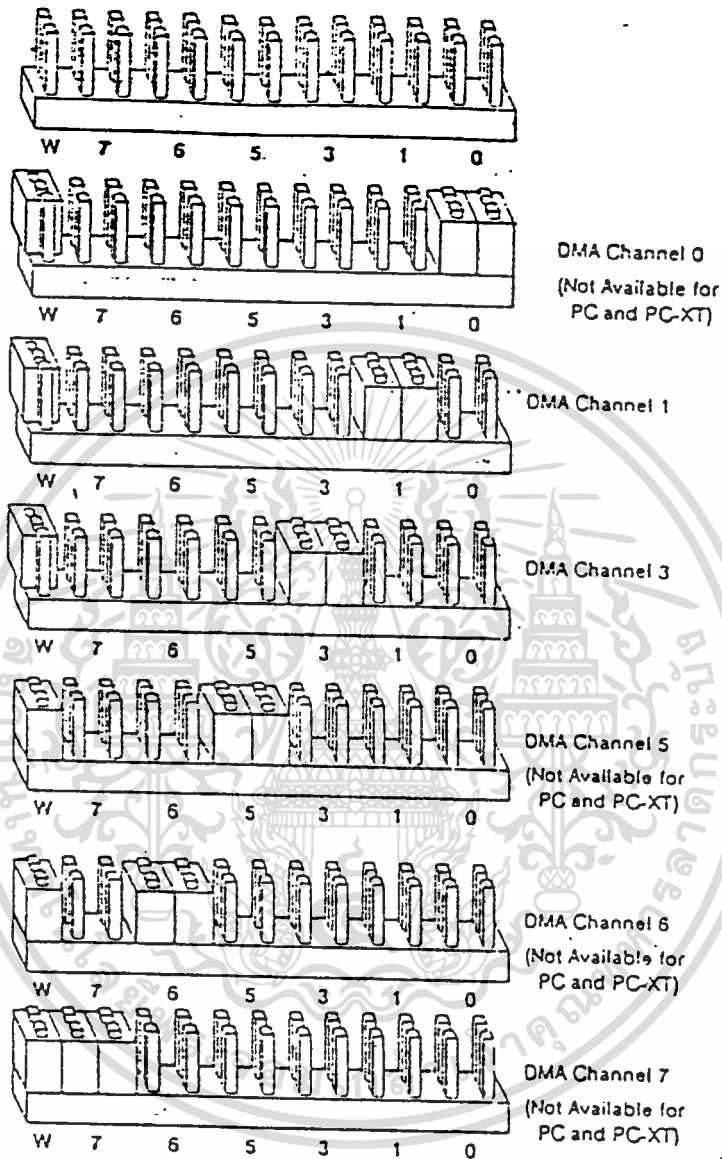
รูปที่ 4.4 แสดงการ set Interrupt reques โดย set ค่าที่ JP3

4.1.3 การเลือก DMA channel เนื่องจากการ transfer ข้อมูลสามารถส่งข้อมูลได้สองแบบคือแบบ byte และแบบ word

-แบบ byte จะสามารถ transfer ข้อมูลได้ที่ละ 8 bit

-แบบ word จะสามารถ transfer ข้อมูลได้ที่ละ 16 bit

ดังนั้นการ transfer ข้อมูลนี้ ข้อมูลแบบ 12 bit ถ้า transfer แบบ byte เราจะต้อง transfer ข้อมูล 2 ครั้งใน 1 คำข้อมูล ถ้า transfer แบบ word เราจะใช้การ transfer ข้อมูลเพียง 1 ครั้งใน 1 คำข้อมูล แต่การ transfer แบบ word นี้เราจะต้องใช้กับ computer แบบ AT เท่านั้นการ transfer ข้อมูลแบบ word โดยเลือก DMA channel จะเลือก channel ได้เพียง channel 5,6,7 เท่านั้นซึ่งมีวิธีเลือกดังรูป



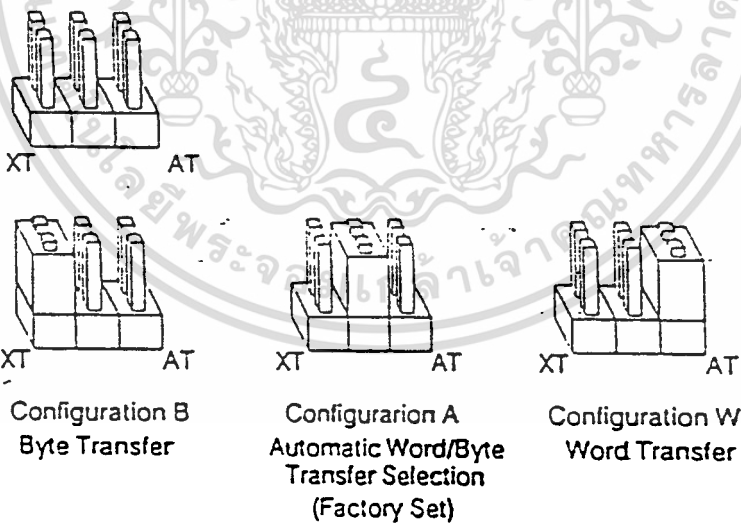
รูปที่ 4.5 แสดงการ set DMA channel โดย set JP12

4.1.4 หลังจากเลือก DMA channel แบบ word แล้วเราต้อง set ค่า Data length ให้เป็นแบบ word ด้วยวิธี set ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP 4	Computer	Slot	Data length
Configuration B	8088(PC/XT)	Any slot	Byte
	80286(PC-AT)	Any slot	Byte
	80386 or	Any slot	Byte
	80486		
Configuration W	8088(PC/XT)	Any slot	N/A
	80286(PC-AT)	8 bit slot	N/A
		16 bit slot	Word
	80386 or	8 bit slot	N/A
	80486	16 bit slot	Byte
Configuration A	8088(PC/XT)	Any slot	Byte
	80286(PC-AT)	8 bit slot	Byte
		16 bit slot	Word
	80386 or	8 bit slot	Byte
	80486 pc	16 bit slot	Word

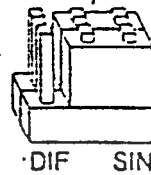
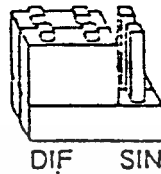
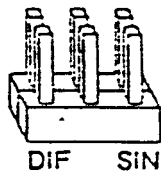
-ตารางที่ 4.2 แสดง configuration ของการติดตั้งการ์ด



รูปที่ 4.6 แสดงการ setรูปแบบ data โดย set JP4

4.1.5 การเลือก Input type เรสเลือกให้เป็น single ended มีวิธี set ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A/D Input : Differential

A/D Input : Single-ended

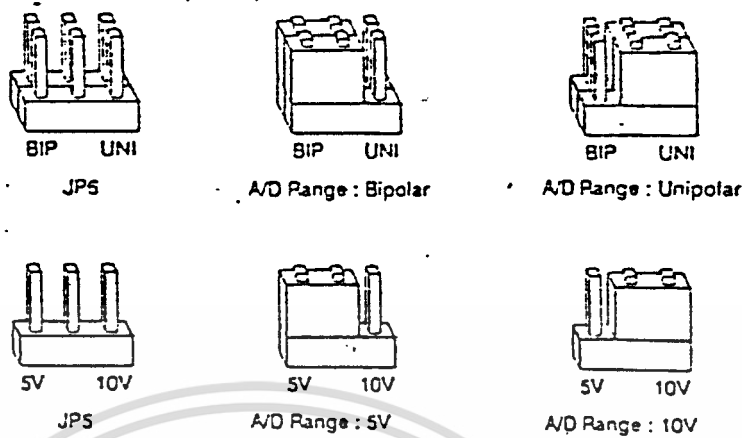
### รูปที่ 4.7 แสดงการ set Input type โดยใช้การ set JP9

4.1.6 เลือก Input range เลือกค่า Voltage สูงสุดและต่ำสุดที่จะเข้าการควมามีค่าเท่าไรและให้มีค่าแบบ bipolar คือมีทั้ง + และ - โดยให้มี Voltage rang -5 +5 วิธีการ set แสดงค่าดังตาราง

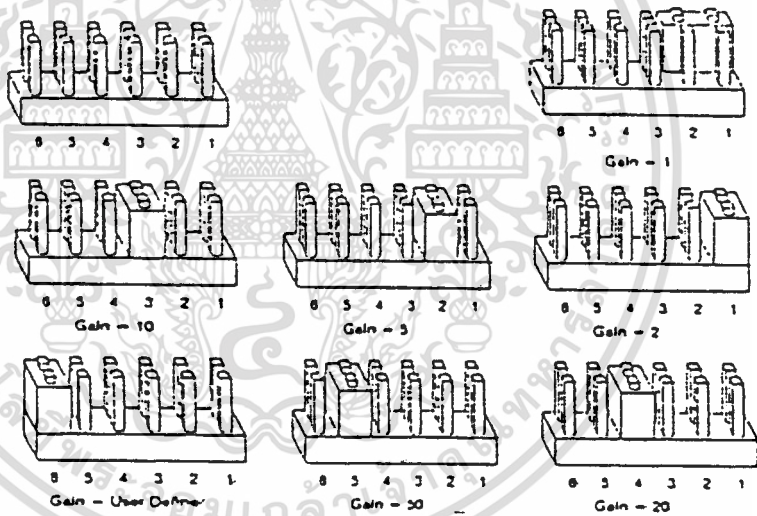
Jumper Setting				Analog to Digital
JP 5	JP 6	JP 8		Conversion
		Jumper pin	gain	Voltage Range
10V	Unipolar	don't care		N/A
	Bipolar	Not Installed	1	-10 TO +10V
5V	Unipolar	Position 6	User	User define(R14)
		Position 5	50	0 to +0.25V
		Position 4	20	0 to +0.5V
		Position 3	10	0 to +1V
		Position 2	5	0 to +2V
		Position 1	2	0 to +5V
		Not Installed	1	0 to +10 V
	Bipolar	Position 6	User	User define(R14)
		Position 5	50	-0.1 to +0.1V
		Position 4	20	-0.25 to +0.25V
5V	Bipolar	Position 3	10	-0.5 to +0.5V
		Position 2	5	-1 to +1V
		Position 1	2	-2.5 to +2.5V
		Not Installed	1	-5 to +5V

### ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการ set JP ต่างๆในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การ set Voltage Rang โดย set JPS และ JP6



รูปที่ 4.8 แสดงการ set Input gain โดย set JP8

**4.1.7 ต้องทำการต่อสายสัญญาณเข้ากับ connecter ของการ์ดเพื่อนำสัญญาณเข้าสู่ การ์ดได้ถูกต้องตาม software ควบคุมสัญญาณ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การ conversion แล้วจะเกิดการ Interrupt ไปที่ CPU เพื่อบอกให้ CPU ทราบว่าการ conversion ได้เสร็จสมบูรณ์แล้วจากนั้น CPU ก็จะทำการอ่านข้อมูลที่เก็บอยู่ใน Interrupt Data Buffer ไปเก็บใน memory จากนั้นสัญญาณ Interrupt ก็จะถูก disable แสดงว่าจบการ Interrupt แล้ว CPU ก็จะไปทำงานอย่างอื่นจนกว่าจะมีสัญญาณ Interrupt ใหม่อีกครั้งก็จะทำการอ่านข้อมูลที่เก็บอยู่ใน Interrupt Data Buffer อีกครั้งเป็นอย่างนี้เรื่อยไป

ก. DMA (Direct Memory Access) วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพราะการ transfer แบบนี้มีความรวดเร็วสูงโดยใช้การติดต่อระหว่างการ์ดกับ memory โดยตรงไม่ผ่าน CPU ทำให้ CPU สามารถไปทำงานอื่นๆที่มีความสำคัญกว่าได้แต่ต้องมีการเขียนโปรแกรมที่ยุ่งยากมีหลักการค่อนข้างจะยุ่งยากและซับซ้อนโดยการทำงานจะใช้ ตัว DMA controller เป็นตัวควบคุม DMA คือการ DMA จะเกิดขึ้นได้เราจะต้องทำให้ DMA controller enable เสียก่อน จะต้องทำการเลือกตำแหน่ง memory และข้อมูลจะถูกเก็บใน word register โดยจะมี register อีกตัวทำหน้าที่นับการ transfer จนเมื่อจบการ transfer counter register จะมีค่าเป็น 0 และจะเกิดสัญญาณ Interrupt เพื่อบอกว่าการ transfer สมบูรณ์และหลังจากการ transfer สมบูรณ์แล้วจะเกิดการ disable DMA controller ขึ้นอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าการ transfer ข้อมูลแบบที่ 3 ดีที่สุดเราจึงเลือกใช้การ DMA ในการ transfer ข้อมูลเพื่อความเร็วซึ่งการเขียนโปรแกรมและการทำงานของ DMA มีดังนี้

ในการส่งผ่านข้อมูลแบบ DMA นั้นเราสามารถส่งผ่านข้อได้ 2 แบบคือแบบ word และแบบ byte ในการส่งผ่านข้อมูลทั้ง 12 bit

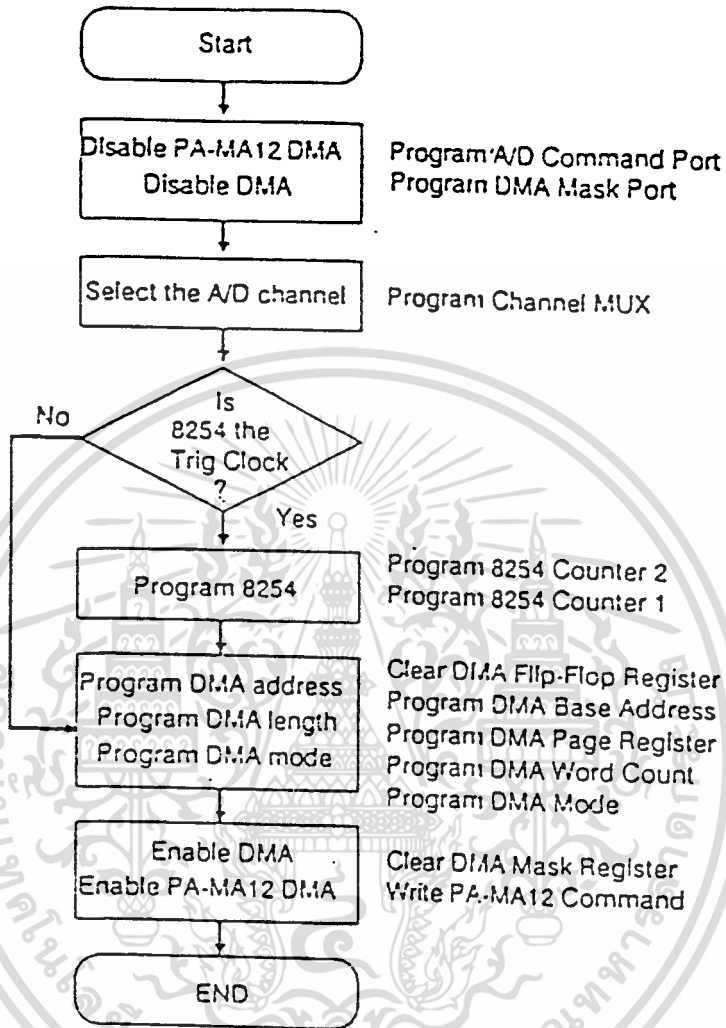
- การ transfer แบบ byte จะใช้การส่งผ่านข้อมูล 2 ครั้งในการ transfer ข้อมูลหนึ่งข้อมูลและเนื่องจากการ transfer จะส่งข้อมูล 16 bit นี้จะเป็นข้อมูล 12 bit และอีก 4 บิตจะเป็น channel ของสัญญาณที่เข้ามาในการ์ดการ transfer แบบนี้สามารถทำการ transfer ข้อมูลได้มากที่สุด 64k หรือ 32k ครั้งของการ transfer

- การ transfer แบบ word จะใช้การส่งผ่านข้อมูล 1 ครั้งในการ transfer ข้อมูลหนึ่งข้อมูลและเนื่องจากการ transfer จะส่งข้อมูล 16 bit นี้จะเป็นข้อมูล 12 bit และอีก 4 บิตจะเป็น channel ของสัญญาณที่เข้ามาในการ์ดการ transfer แบบนี้สามารถทำการ transfer ข้อมูลได้มากที่สุด 64k หรือ 32k ครั้งของการ transfer ข้อมูล

ข้อแตกต่างระหว่างการ transfer ทั้ง 2 แบบนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.

Major Difference	Word Transfer	Byte transfer
Data length per transfer	16 bit (one word)	8 bit (one byte)
DMA Channel	5, 6, 7	0, 1, 3
Number of DMA transfer needed to be made per conversion	1 Transfer 4 bit channel number all 12 bit data simultaneous	2 Transfer 4 bit Channel number and 4 A/D LSB data first then 8 A/D MSB data
Estimate total time need for one A/D conversion	less than 1 us	more than 2 us
Maximum A/D conversion	64K (65,536) times	A/D data can be transfer to any of all 16 MB
Memory	A/D data can be transfer to any of the all 16MB	Can be installed in any slot of any PC compatible computer
H/W Installation	must install the PA-MA(-H) in a 16 bit slot of PC-AT computer	Can be installed in any slot of any PC compatible computer
Advantage	Fast Conversion and saves time for CPU to do other important tasks	Can be installed in any slot of any PC compatible computer
Disadvantage	Can installed only in a 16 bit slot PC-AT compatible computer	Can be installed in any slot of any PC compatible computer
Note	There is no effect on to the conversion speed; even at 100 Khz A/D conversion	

ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างระหว่าง word กับ byte transfer  
เราสามารถแสดงการทำงานของ DMA transfer ได้ดัง Flow chart ต่อไปนี้



รูปที่ 4.11 flow chart แสดงขั้นตอนการทำงานของ DMA transfer

เราจะต้องเขียนโปรแกรมตาม Programming Procedures ดังนี้

**4.2.1: Reset the PA-MA12 and disable the DMA**

ขั้นตอนแรกที่เราต้องทำคือในการเขียนโปรแกรมเพื่อ disable การ์ด PA-MA12 และ DMA controller ก่อนที่จะทำการ transfer ข้อมูลเพื่อป้องกัน error ที่อาจจะเกิดขึ้น โดยค่าต่างๆดังตารางข้างล่าง

(1) reset การ์ด PA-MA12

โดยการ Disable 8254/external clock trig และ DMA request โดยการเขียน 00H

ไปที่ A/D command port(base+3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Write	All channel (7, 6, 5, 3, 1, 0)	
Sequent	Prot	Data
1-1	p+3	00H
Note : P PA-MA12(-H) base port address		

#### ตารางที่ 4.5 แสดงการเขียนค่าเพื่อ reset PA-MA12

##### (2) Disable the DMA controller

เราสามารถ disable DMA controller ได้โดยเขียนค่าต่างๆตามตาราง

Write	Channel 3		Channel 1		Channel 0	
Sequent	Port	Data	Port	Data	Port	Data
1-2	00AH	07H	00AH	05H	00AH	04H

Write	Channel 7		Channel 6		Channel 5	
Sequent	Port	Data	Port	Data	Port	Data
1-2	D4H	07H	D4H	06H	D4H	05H

#### ตารางที่ 4.6 แสดงการเขียนค่าเพื่อ disable DMA controller

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงการโดยทำการ transfer ที่ DMA channel 3 คือ

```
/* Disable DMA transfer first */
```

```
outp(PORT+3,0);
```

```
outp(0x0A,0x07);
```

##### 4.2.2: Program A/D Input multiplexer

เราต้องเลือก channel ในการ transfer ข้อมูลว่าเราจะนำสัญญาณเข้าในการ์ดที่ channel ไหนบ้างโดยเขียนโปรแกรมไปที่ port+2 ตามลักษณะของสัญญาณ input ที่ได้ทำการเลือกไว้แล้ว

A/D Channel MUX- Single Ended Input							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
H3	H2	H1	H0	L3	L2	L1	L0
A/D high channel scan limit				A/D low channel scan limit			

#### ตารางที่ 4.7 แสดงการเลือก channel ของ MUX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่าเราต้องเลือก channel ของ MUX ซึ่งมีให้เลือกได้ทั้งหมด 15 ช่องตารางข้างล่างจะแสดงค่าที่จะต้องเขียนไปที่ port+2 ตามการ convert ของ MUX ที่เราจะต้องการใช้ว่าจะใช้การเปลี่ยนแปลงของ MUX ที่ channel และ channel ใดไปสู่ channel ใด กล่าวคือถ้าเราให้มีการเปลี่ยนแปลง channel ของ MUX เราต้องเขียน channel ที่สูงสุดของการเปลี่ยนแปลงไปที่ A/D high scan limit และเขียน channel ที่ต่ำสุดไปที่ A/D high low limit ซึ่งค่าต่างๆจะแสดงได้ดังตาราง

MUX	Ch(s)	MUX	Ch(s)		MUX	Ch(s)	MUX	Ch(s)
00H	0	10H	0 to 1		E0H	0 to 14	F0H	0to15
01H	1	11H	1		E1H	1 to 14	F1H	1 to15
02H	2	12H	2		E2H	2 to 14	F2H	2 to15
03H	3	13H	3		E3H	3 to 14	F3H	3 to15
04H	4	14H	4		E4H	4 to 14	F4H	4 to15
05H	5	15H	5		E5H	5 to 14	F5H	5 to15
06H	6	16H	6		E6H	6 to 14	F6H	6 to15
07H	7	17H	7	20H	E7H	7 to 14	F7H	7 to15
08H	8	18H	8	to	E8H	8 to 14	F8H	8 to15
09H	9	19H	9	DFH	E9H	9 to 14	F9H	9 to15
0AH	10	1AH	10		EAH	10 to 14	FAH	10 to15
0BH	11	1BH	11		EBH	11 to 14	FBH	11 to15
0CH	12	1CH	12		ECH	12 to 14	FCH	12 to15
0DH	13	1DH	13		EDH	13 to 14	FDH	13 to15
0EH	14	1EH	14		EEH	14	FEH	14 to15
0FH	15	1FH	15		EFH	15	FFH	15

ตารางที่ 4.8 แสดงการเขียนข้อมูลไปที่ port+2 ตามการเปลี่ยนแปลง channel ของ MUX

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงงานโดยทำการ transfer ข้อมูลที่ channel 0

```
/* Define the A/D channel MUX */
```

```
outp(PORT+2,0x00);
```

4.2.3: Program 8254 to decide the frequenc เราต้องทำการกำหนดค่า Sampling Rate ที่เราจะทำการ Sampling เพื่อที่จะเลือกค่าการ Sampling ที่ถูกต้องโดยเขียนโปรแกรมไปที่ 8254 Counter/timer โดยการกำหนดค่าต่างๆตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analog		Data For 8254 Initialization					
Digital(A/D)		8254 Counter 2			8254 Counter 1		
Conversion		Base	Base	Base	Base	Base	Base
Frequency		+15	+14	+14	+15	+14	+14
100KHz	10 us	B4H	4	0	74H	10	0
80KHz	12.5us	B4H	4	0	74H	25	0
50KHz	20us	B4H	4	0	74H	20	0
40KHz	25us	B4H	4	0	74H	25	0
25KHz	40us	B4H	4	0	74H	40	0
20KHz	50us	B4H	4	0	74H	50	0
10KHz	100us	B4H	4	0	74H	100	0
5KHz	200us	B4H	4	0	74H	200	0
2KHz	500us	B4H	4	0	74H	244	1
1KHz	1ms	B4H	4	0	74H	232	3
500Hz	2ms	B4H	4	0	74H	208	7
200Hz	5ms	B4H	4	0	74H	136	19
100Hz	10ms	B4H	4	0	74H	13	39
50Hz	20ms	B4H	4	0	74H	32	78
20Hz	50ms	B4H	4	0	74H	80	195
10Hz	100ms	B4H	40	0	74H	16	39
5Hz	200ms	B4H	40	0	74H	32	78
2Hz	500ms	B4H	40	0	74H	80	195
1Hz	1s	B4H	144	1	74H	16	39
0.1Hz	10s	B4H	160	15	74H	16	39
0.01Hz	100s	B4H	64	156	74H	16	39

ตารางที่ 4.9 แสดงการเขียนโปรแกรมไปที่ port ที่กำหนดเพื่อกำหนดค่า Sampling Rate ที่ต้องการ

#### ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม

- 1.เขียน B4H ไปที่ 8254 command port(base+15)
- 2.เขียน 04H to counter 2 data port(base+14)
- 3.เขียน 00H to counter 2 data port(base+14)
- 4.เขียน 74H ไปที่ 8254 command port(base+15)
- 5.เขียน E8H to 8254 counter 1 data port(base+13)
- 6.เขียน 03H to 8254 counter 1 data port(base+13)

จากการทำงานตามขั้นตอนบนจะสามารถโปรแกรม 8254 ที่ความถี่ 1 KHz  
ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงการโดยทำการ transfer ข้อมูลด้วยความถี่  
Sampling 100Hz

```
/* Initial 8254 Time */
outp(PORT+15,0xB4);
outp(PORT+14,0x04);
outp(PORT+14,0x00);
outp(PORT+15,0x74);
outp(PORT+13,13);
outp(PORT+13,39);
```

#### 4.2.4: Program the transfer memory address

เป็นการเลือกตำแหน่ง memory ที่เราจะทำการ transfer ข้อมูลโดยจะต้องทำดังนี้

(1) Clear the DMA pointer flip-flop

เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเราต้อง clear flip-flop เสียก่อนที่จะทำ  
การ transfer ข้อมูล

(2) Program DMA base address and page register

เป็นการเขียนค่า buffer address ไปที่ current address register เพื่อบอกว่าจะ  
transfer ข้อมูลไปที่ใดใน memory

ทั้ง 2 ขั้นตอนนี้สามารถแสดงได้ในตาราง

แบบ byte

Write Sequent	Channel 3		Channel 1		Channel 0	
	Port	Data	Port	Data	Port	Data
4-1	0CH	00H	0CH	00H	0CH	00H
4-2	06H	A0-A7	02H	A0-A7	06H	A0-A7
4-3	06H	A8-A15	02H	A8-A15	06H	A8-A15
4-4	82H	A16-A32	83H	A16-A32	82H	A16-A32

**แบบ word**

Write	Channel 7		Channel 6		Channel 5	
Segment	Port	Data	Port	Data	Port	Data
4-1	0CH	00H	0CH	00H	0CH	00H
4-2	06H	A0-A7	02H	A0-A7	06H	A0-A7
4-3	06H	A8-A15	02H	A8-A15	06H	A8-A15
4-4	82H	A16-A32	83H	A16-A32	82H	A16-A32

ตารางที่ 4.10 แสดงการเขียนค่าไปที่ port ตาม channel ของการทำ DMA ตัวอย่างการเขียนค่าตามตารางข้างต้นนี้สามารถแสดงได้ตามตารางข้างล่าง

Example for DMA base address reg. page programming									
System	Starting Address for DMA Transfer	Byte (16bit) Transfer				Word (16bit) Transfer			
		Data to be written			Max	Data to be written			Max
		Page reg.	Base address		Xfer	Page reg.	Base address		Xfer
			MSB	LSB	Avail		MSB	LSB	Avail
PC/XT and PC-AT	00000H	00H	00H	00H	64KB	00H	00H	00H	128KB
	10000H	01H	00H	00H	64KB	00H	80H	00H	64KB
	20000H	02H	00H	00H	64KB	02H	00H	00H	126KB
	30000H	03H	00H	00H	64KB	02H	80H	00H	64KB
	40000H	04H	00H	00H	64KB	04H	00H	00H	128KB
	40002H	04H	00H	02H	65,534	04H	00H	01H	131,070
	40010H	04H	00H	10H	65,520	04H	00H	08H	131,056
	40400H	04H	04H	00H	63KB	04H	02H	00H	127KB
	40800H	04H	08H	00H	62KB	04H	04H	00H	126KB
	41000H	04H	10H	00H	60KB	04H	08H	00H	124KB
	42000H	04H	20H	00H	56KB	04H	10H	00H	120KB
	44000H	04H	40H	00H	48KB	04H	20H	00H	112KB
	48000H	04H	80H	00H	32KB	04H	40H	00H	96KB
	4C000H	04H	C0H	00H	16KB	04H	60H	00H	80KB
	4FFFEH	04H	FFH	FEH	2	04H	7FH	FFH	65,538
	50000H	05H	00H	00H	64KB	04H	80H	00H	64KB
	58000H	05H	80H	00H	32KB	04H	C0H	00H	32KB
	5FFFEH	05H	FFH	FEH	2	04H	FFH	FFH	2
	60000H	06H	00H	00H	64KB	06H	00H	00H	128KB
	70000H	07H	00H	00H	64KB	06H	80	00H	64KB
80000H	08H	00H	00H	64KB	08H	00	00H	128KB	
90000H	09H	00H	00H	64KB	08H	80	00H	64KB	
PC-AT only	10000H	10H	00H	00H	64KB	10H	00H	00H	128KB
	12345H	12H	34H	56H	52,138	12H	14H	2BH	117,674
	F1246H	F1H	24H	68H	56,215	F0H	12H	34H	56,216

ตารางที่ 4.11 แสดงตัวอย่างการเขียนค่าเพื่อกำหนด address ของ memory ที่จะนำข้อมูลไปเก็บไว้

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงงานโดยทำการ transfer ข้อมูลไปที่ memory 80000H

```

outp(0x0C,0);    /* Clear DMA flip-flop */
outp(0x06,0x08); /* DMA address A00-A07 or A01-A08 */
outp(0x06,0x00); /* DMA address A08-A15 or A09-A16 */
outp(0x82,0x00); /* DMA address A16-A19 or A17-A23 */

```

#### 4.2.5: Program the DMA current word counter

ตัว current word counter จะเป็นการเก็บค่าจำนวนการ transfer ข้อมูลที่จะทำการ transfer ไว้เพื่อที่จะใช้เป็นตัวนับการ transfer ข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยเราจะเลือกขนาดของการ transfer ข้อมูลว่าจะให้ transfer ข้อมูลมากเท่าใดโดยเขียนค่าไปที่ current word counter โดยค่าที่จะทำการเขียนตามตาราง

แบบ byte

Write	Channel 3		Channel 1		Channel 0	
	Port	Data	Port	Data	Port	Data
5-1	07H	W0-W7	03H	W0-W7	01H	W0-W7
5-2	07H	W8-W15	03H	W8-W15	01H	W8-W15

แบบ word

Write	Channel 7		Channel 6		Channel 5	
	Port	Data	Port	Data	Port	Data
5-1	CEH	W0-W7	CAH	W0-W7	C6H	W0-W7
5-2	CEH	W8-W15	CAH	W8-W15	C6H	W8-W15

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า address ของ DMA channel ที่จะต้องโปรแกรมค่า counter ของ DMA

Example for DMA base count register programming									
Number of A/D Converter	Byte (8bit) DMA transfer				Word(8bit) DMA transfer				
	Number DMA transfer	Data to be written to			Number DMA transfer	Data to be written to			
		DMA base count register				DMA base count register			
		Count	LSB	MLB		Count	LSB	MLB	
1	2	1	01H	00H	1	0	00H	00H	
2	4	3	03H	00H	2	1	01H	00H	
3	6	5	05H	00H	3	2	02H	00H	
4	8	7	07H	00H	4	3	03H	00H	
5	10	9	09H	00H	5	4	04H	00H	
126	252	251	FBH	00H	126H	125H	7DH	00H	
127	254	253	FDH	00H	127H	126H	7EH	00H	
128	256	255	FFH	00H	128H	127H	7FH	00H	
129	258	257	01H	01H	129H	128H	80H	00H	
130	260	259	03H	01H	130H	129H	81H	00H	
32766	65532	65531	FBH	FFH	32766	32765	FDH	7FH	
32767	65534	65533	FDH	FFH	32767	32766	FEH	7FH	
32768	65536	65535	FFH	FFH	32768	32767	FFH	7FH	
32769	N/A				32769	32768	00H	80H	
32770	N/A				32770	32769	01H	80H	
65534	N/A				65533	65533	FDH	FFH	
65535	N/A				65535	65534	FEH	FFH	
65536	N/A				65535	65535	FFH	FFH	
65537	N/A				N/A				
65538	N/A				N/A				
:	N/A				N/A				

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าที่จะต้องเขียนสำหรับ DMA count register

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงการโดยทำการ transfer ข้อมูลทีละ 5 ครั้งในแบบ byte transfer

```
outp(0x07,0x09); /* DMA word W00-W07 */
```

```
outp(0x07,0x00); /* DMA word W08-W15 */
```

#### 4.2.6: Initial the DMA mode register

เป็นการ set ค่าเริ่มต้นให้กับ DMA เป็นการกำหนด mode ของการ DMA นั้นเอง โดยกำหนดค่าตามตาราง

Write	Channel 3		Channel 1		Channel 0	
Sequent	Port	Data	Port	Data	Port	Data
6	09H	47H	09H	45H	09H	44H

Write	Channel 7		Channel 6		Channel 5	
Sequent	Port	Data	Port	Data	Port	Data
6	D2H	47H	D2H	46H	D2H	45H

ตารางที่ 4.14 แสดงการ set ค่า DMA mode

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงงานโดยทำการ

```
outp(0x0B,0x47); /* Write DMA mode */
```

#### 4.2.7: Enable the DMA controller

หลังจากกำหนดแล้ว DMA controller พร้อมทั้งจะทำการ transfer data ไปที่ memory แล้ว

Write	Channel 3		Channel 2		Channel 1	
Sequent	Port	Data	Port	Data	Port	Data
7	0AH	03H	0AH	02H	0AH	01H

Write	Channel 3		Channel 2		Channel 1	
Sequent	Port	Data	Port	Data	Port	Data
7	D4H	03H	D4H	02H	D4H	01H

ตารางที่ 4.15 การ set ค่า Enable DMA controller

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงงานโดยทำการ transfer

```
outp(0x0A,0x03); /* Enable DMA */
```

#### 4.2.8: Program the PA-MA12 command port

เป็นการเลือกที่เราใช้ Counter แบบไหนโดยสามารถแสดงได้ดังตารางโดยเขียนค่าไปที่ `command port+3`

Command						Trig Source	Interrupt
7-4	3	2	1	0	Hex		
X	1	0	1	0	0AH	External clock	Disabled
X	1	0	1	1	0BH		Enabled
X	1	1	0	0	0CH	8254 Timer	Disabled
X	1	1	0	1	0DH		Enabled
X	1	1	1	0	0EH	8254 Timer perced	Disabled
X	1	1	1	1	0FH	by external clock	Enabled

ตารางที่ 4.16 การเลือกค่าตามวิธีการใช้ counter แบบต่างๆ  
ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงการ โดยทำการ transfer  
/\* Enable PA-MA12 DMA transfer and 8254 time trigger \*/  
`outp(PORT+3,0xCD);` /\* Enable PA-MA12 DMA \*/

#### 4.3 โครงสร้างของข้อมูล

เนื่องจากการ transfer ข้อมูลนี้ให้ผลลัพธ์เป็นข้อมูล 12 bit ดังนั้นการ transfer ข้อมูลจะ ต้อง transfer 16 bit โดยมีการกำหนด MSB และ LSB กล่าวคือข้อมูล 8 bit แรกจะเป็น ข้อมูลเสีย 4 bit อีก 4 bit ที่เหลือเป็น channel ของ MUX ที่ทำการ transfer ข้อมูลโดย ข้อมูลจะคือค่าบิตที่ 7-4 และ channel ของ MUX บิตที่ 3-0 ข้อมูลนี้คือบิตต่ำสุดของข้อมูลส่วน 8 บิต จะเป็นบิตสูงสุดของข้อมูล

ตัวอย่างเช่นถ้าเราเลือก MUX จาก 0 ถึง 3 ข้อมูลที่ได้จากการ transfer ครั้งแรกจะเป็น ข้อมูลของ channel 0 ของ MUX หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้ครั้งที่ 2 จะเป็นข้อมูลของ channel ที่ 1 ของ MUX และครั้งต่อไปเป็นของ channel ที่ 3 หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้ก็จะเป็นของ channel ที่ 0 อีกครั้งเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

#### 4.4 การตรวจสอบสถานะ

การทำ DMA transfer นั้นจะมี register ที่ชื่อว่า word count ทำหน้าที่ในการนับ transfer ข้อมูลดังนั้นการตรวจสอบสถานะของการ transfer ถ้า word count เป็น 0 แสดง

ว่าการ transfer จบอย่างสมบูรณ์ โดยเขียนโปรแกรมจะใช้การ check ที่ DMA status ~ register โดยแสดงค่าของ status register แสดงได้ดังตาราง

write Segment	Channel 3		Channel 2		Channel 1	
	Port	Data	Port	Data	Port	Data
C-read	08H	R = D7 C = D3	08H	R = D5 C = D1	08H	R = D4 C = D0

write Segment	Channel 7		Channel 6		Channel 5	
	Port	Data	Port	Data	Port	Data
C-read	D0H	R = D7 C = D3	D0H	R = D6 C = D2	D0H	R = D5 C = D1

#### ตารางที่ 4.17 แสดงการ Check สถานะของการ transfer

bit 7-4 เป็น 1 แสดงว่าเกิดการ request

bit 3-0 เป็น 1 แสดงว่าเกิดสัญญาณการ transfer complete

หลังจากการ transfer เสร็จเรียบร้อยแล้วเราจะต้องทำการ disable การ์ด PA-MA12 และ DMA controller โดยการทำขั้นตอนนี้เหมือนกับขั้นตอนที่ 1 หลังจากนั้นต้องเขียนโปรแกรมในการ นำข้อมูลที่ได้ไปเก็บไว้ใน file เพื่อที่จะสามารถนำมาแสดงผลข้อมูลภายหลังได้

ตัวอย่างโปรแกรมภาษา C ที่เราใช้ในโครงการ

```
/* Check conversion status */
```

```
do{
```

```
    t=0;
```

```
    t=inp(0x80);
```

```
    h=(t&0x80); /* Rade DMA status */
```

```
    outp(0x0C,0); /* Clear DMA flip-flop */
```

```
}while(h==0);
```

```
printf("the end of the data transmission");
```

```
outp(PORT+3); /* Disable DMA command */
```

```
outp(0xA0,0x07); /* Disable DMA transfer */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 การแสดงผล

การแสดงผล คือ การนำข้อมูลที่บันทึกได้มาแสดงบนจอภาพ (monitor) โดยเราจะใช้การเขียนโปรแกรมภาษา C ในการนำข้อมูลที่ได้รับการบันทึกลงใน file ในส่วนของการบันทึกผลมาแสดงผลบนจอภาพ โดยใช้การแสดงผลในภาษา C ในภาวะกราฟฟิก ซึ่งจะมีลักษณะการแสดงผลเป็นจุดมาประกอบเป็นรูปภาพ ดังนั้นใน 1 จอภาพ นั้นจะมีจุดมาประกอบเป็นจอภาพตามขนาดต่างๆเช่น 320\*200, 640\*350 ซึ่งความละเอียดของจอภาพมากก็จะมีจุดทางแถวและคอลัมน์มาก การอ้างถึงตำแหน่งเป็นแถวเป็นคอลัมน์ โดยจุดเริ่มต้นของตำแหน่งจะอยู่ที่ แถวที่ 0 คอลัมน์ที่ 0 และความละเอียดของจอภาพขึ้นอยู่กับคุณภาพของวงจรที่ใช้ในการแสดงผลในภาวะกราฟฟิก ดังนั้นการเขียนโปรแกรมในภาวะกราฟฟิก ควรจะต้องรู้ว่าวงจรที่ใช้ในการแสดงผลในภาวะกราฟฟิกของเครื่องของคนเป็นของบริษัทใด เพราะใน C จะมี graphic driver อยู่หลายแฟ้มข้อมูล เพื่อเตรียมไว้สำหรับวงจรแบบต่างๆ แต่ในที่นี้ผู้ทำได้ใช้ graphic driver แบบ EGAVGA.BGI ในการแสดงผล

นอกจากนี้ ฟังก์ชันที่ใช้ในภาวะกราฟฟิก จะเก็บในแฟ้มข้อมูลชื่อ graphic.h ดังนั้นเราจึงต้อง #include แฟ้มข้อมูล graphic.h ก่อนเขียนโปรแกรม

การแสดงผลถ้ายังมีความละเอียดมากยิ่งดีเราจึงใช้ความละเอียดของ VGAHI ซึ่งมี ความละเอียด 640\*480

### 5.1 การแสดงผลของ Computer

ในการแสดงผลข้อมูล ข้อความ ตัวอักษร หรือ กราฟฟิกของ CPU ให้มนุษย์ได้รับรู้ นั้น เราจะอาศัยจอภาพ (monitor) ในการแสดงผล เป็นตัวกลางในการตอบรับข้อมูลที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้ แต่ในการเชื่อมต่อระหว่าง monitor กับ CPU นั้น เราจะอาศัย การ์ดแสดงผลซึ่งจอแสดงผลนั้นมีหลายแบบหลายชนิด ซึ่งส่วนแสดงผลจะแบ่งตามความละเอียดของตัวอักษร ความละเอียดของกราฟฟิก อัตราการวาดภาพ จำนวนของสีที่สามารถแสดง และการ์ดที่ใช้ในการแสดงผลดังตารางที่ 5.1

จอแสดงผล	การ์ดแสดงผล ชนิด	สี	ความละเอียด ของตัวอักษร	ความละเอียด ของกราฟิกส์	อัตราการ กวาดภาพ
จอโมโนโครม	เซอร์ทิวนิส	2	MDA 80*25	640*350 720*350 720*348	แนวตั้ง 50 Hz แนวนอน 15.8kHz
จอสีมาตรฐาน	CGA EGA	16	40*25 80*25	320*200 640*200	แนวตั้ง 60Hz แนวนอน 15.8kHz
จอ ECD	CGA VGA	16จาก64	40*25 80*25	320*200 340*200 640*350	แนวตั้ง 60Hz แนวนอน 15.8kHz หรือ 21.8kHz
จอสีจัดจอ มัลติซิงค์	CGA EGA	16จาก64	80*25	320*200 640*200 640*350	เปลี่ยนแปลงได้
จอขนาดจอ มัลติซิงค์	VGA	256จาก 256K	80*25	640*480 800*600	เปลี่ยนแปลงได้
จอ VGA	VGA	256จาก 256K	80*25	320*400 640*400 320*350 640*350 720*350 720*400 640*480	แนวตั้ง 70Hz แนวนอน 31.5kHz

### ตารางที่ 5.1 จอแสดงผลแบบต่างๆ

จากตารางจะเห็นว่า มีจอแสดงผลและการ์ดแสดงผลมากมาย แต่ที่นิยมใช้กันมาก และใช้กันทั่วไป มักจะใช้การ์ดแสดงผล EGA และ VGA ซึ่งเป็นส่วนที่เราได้ศึกษาพิจารณา ฉะนั้นจึงมุ่งเน้นเนื้อหาไปที่การ์ด EGA และ VGA

การ์ด EGA และ VGA ไม่สามารถประมวลผลได้ด้วยตนเอง แต่จะแสดงผลตามข้อมูลที่มนุษย์ป้อนเข้าไปในหน่วยความจำแสดงผล (bit-mapped display memory) ในลักษณะของ Software ซึ่งการ์ด EGA และ VGA มีการทำงานและสถาปัตยกรรมที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างทางด้านประสิทธิภาพ ความสามารถดังแสดงได้ในตารางที่ 5.2

การ์ดแสดงผล	ความละเอียด	ความสามารถในการแสดงสี	ATX Interface
BOA	ความละเอียดในแนวนอน 640 จุด แนวตั้ง 350 จุด	แสดงสีได้พร้อมกัน 16 สี จาก 64 สี	สามารถนำไปใช้กับจอแสดงผลทั่วไปได้
VGA	ความละเอียดในแนวนอน 640 จุด แนวตั้ง 350 จุด	แสดงสีได้พร้อมกัน 16 สี จาก 64 สี	ใช้กับจอทั่วไปไม่ได้จึงได้มีการพัฒนาจอสี และ ไมโครโครนสำหรับ VGA

ตารางที่ 5.2

โมเดล	รายละเอียดของการ์ดจอ	สี	ความละเอียด	อินเทอร์เฟซ
0,1	ข้อความสี	16	40*25 8*8 char oell	CD,BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
0,1*	ข้อความสี	16	40*25 8*14char oell	BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
0+,1+	ข้อความสี	16	40*25 8*16char oell	VGA จอสีทั้งสายความถี่
2,3	ข้อความสี	16	80*25 8*8char oell	BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
2*3*	ข้อความสี	16	80*25 8*14char oell	VGA จอสีทั้งสายความถี่
2+3+	ข้อความสี	16	80*25 9*16char oell	CD,BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
4,5	กราฟิกสี	4	320*200	CD,BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
6	กราฟิกสี	2	640*200	CD,BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
7	ข้อความไมโครโครน	2	40*25 8*14char oell	จอไมโครโครน VGA
7+	ข้อความไมโครโครน	2	80*25 9*16char oell	เฉพาะVGA
8,9,A	เฉพาะPCjr			
D	กราฟิกสี	16	320*200	CD,BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
E	กราฟิกสี		640*200	CD,BCD,VGA
F	กราฟิกไมโครโครน	16	640*350	จอไมโครโครน VGA
10	กราฟิกสี	16	640*350	BCD,VGA จอสีทั้งสายความถี่
11	กราฟิกสี	2	640*480	VGA จอสีทั้งสายความถี่
12	กราฟิกสี	16	640*480	VGA จอสีทั้งสายความถี่
13	กราฟิกสี	256	320*200	VGA จอสีทั้งสายความถี่

ตารางที่ 5.3 โมเดลการแสดงผลของการ์ด EGA/VGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 จอ VGA

ในส่วนที่ได้ศึกษาอยู่นี้ จะต้องมุ่งไปที่การใช้งานที่ใช้กันทั่วไป ฉะนั้นเราจึงมุ่งไปศึกษาเกี่ยวกับการ์ด EGA และ VGA ซึ่งจากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่า การ์ด VGA สามารถนำไปใช้ Interface กับจอได้หลายชนิด แต่ที่เรามุ่งเน้นก็คือ จอภาพ VGA ซึ่งจอภาพ VGA มีความละเอียดสูง และได้แบ่งออกเป็น จอสี และ โมโนโครม โดยจอโมโนโครมสามารถแสดงรายละเอียดสีในรูปแบบระดับสีเทา และจอทั้งสองแบบสามารถใช้แทนกันได้

### 5.3 โหมดการทำงานมาตรฐานของ EGA และ VGA

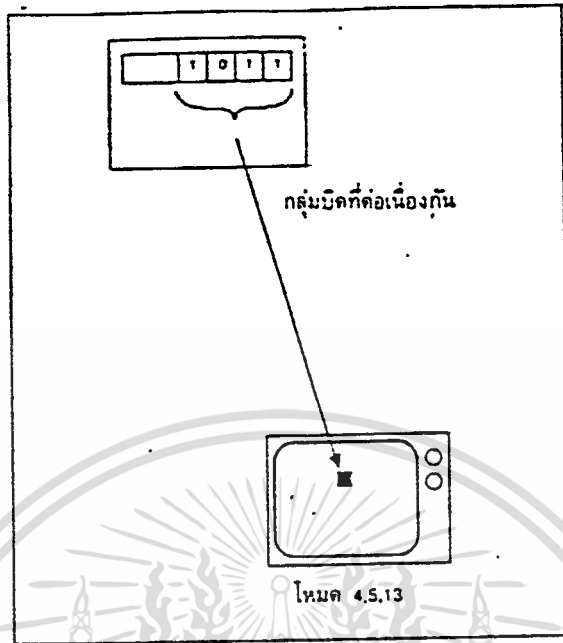
ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การติดต่อระหว่างมนุษย์และจอแสดงผล เราอาศัย Software ในการเชื่อมต่อ แต่เนื่องจากมีการ์ดแสดงผลหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน เช่น จำนวนสี ความละเอียด เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการเขียน Software ฉะนั้นการนำ Software ที่ใช้กับจอแสดงผลชนิดหนึ่ง ไม่อาจจะนำไปใช้กับจอภาพชนิดอื่นได้ ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานในการทำงานในโหมดต่างๆ ดังตารางที่ 5.3

ข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการแสดงบนจอภาพนั้น จะถูกประมวลโดย CPU แล้วเก็บข้อมูลในหน่วยความจำแสดงผลเพื่อแสดงแต่ละจุดภาพออกนอกจอ โดยการทำงานของ EGA และ VGA นี้เรียกว่า การรีเฟรชจอภาพ (display refresh) ซึ่ง EGA จะทำการแสดงผลซ้ำๆ กันด้วยอัตรา 60 ครั้งต่อ วินาที ส่วน VGA ใช้อัตรา 70 ครั้งต่อวินาที

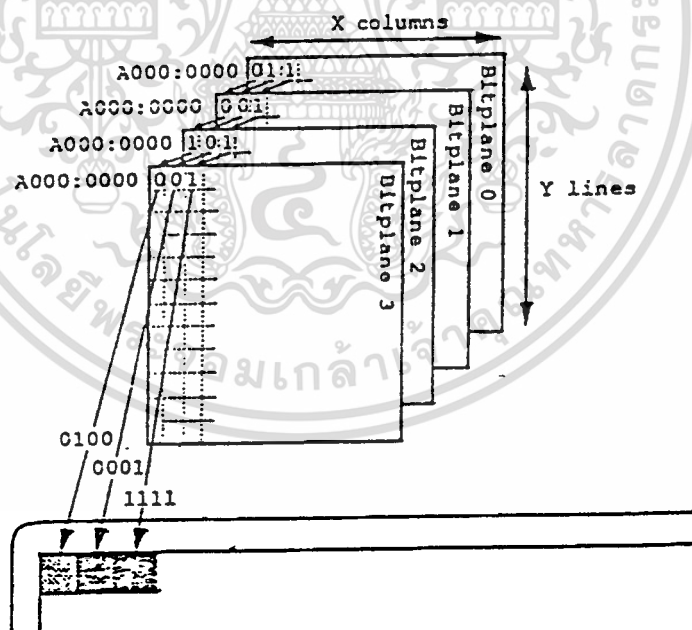
### 5.4 การเก็บข้อมูลสี มี 2 วิธี คือ

5.4.1 Packed pixels ใช้ในการเก็บข้อมูลจากภาพแต่ละจุดภาพ จะถูกเก็บลงในหน่วยความจำที่ต่อเนื่องกัน ดังรูปที่ 5.1 แสดง Packed pixels แบบ 4 บิตต่อจุดภาพ

5.4.2 Color plane จะแบ่งหน่วยความจำแสดงผลออกเป็นหลายแพลงนที่เป็นอิสระต่อกัน โดยแต่ละแพลงนจะใช้สำหรับควบคุมสี และแต่ละบิตบนแพลงนจะแทนจุดภาพบนจอแต่ละจุด แล้วรวมข้อมูลที่ตรงกันของทุกแพลงนเป็นข้อมูลตัวแสดงผลหนึ่งภาพ ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 1



รูปที่ 2

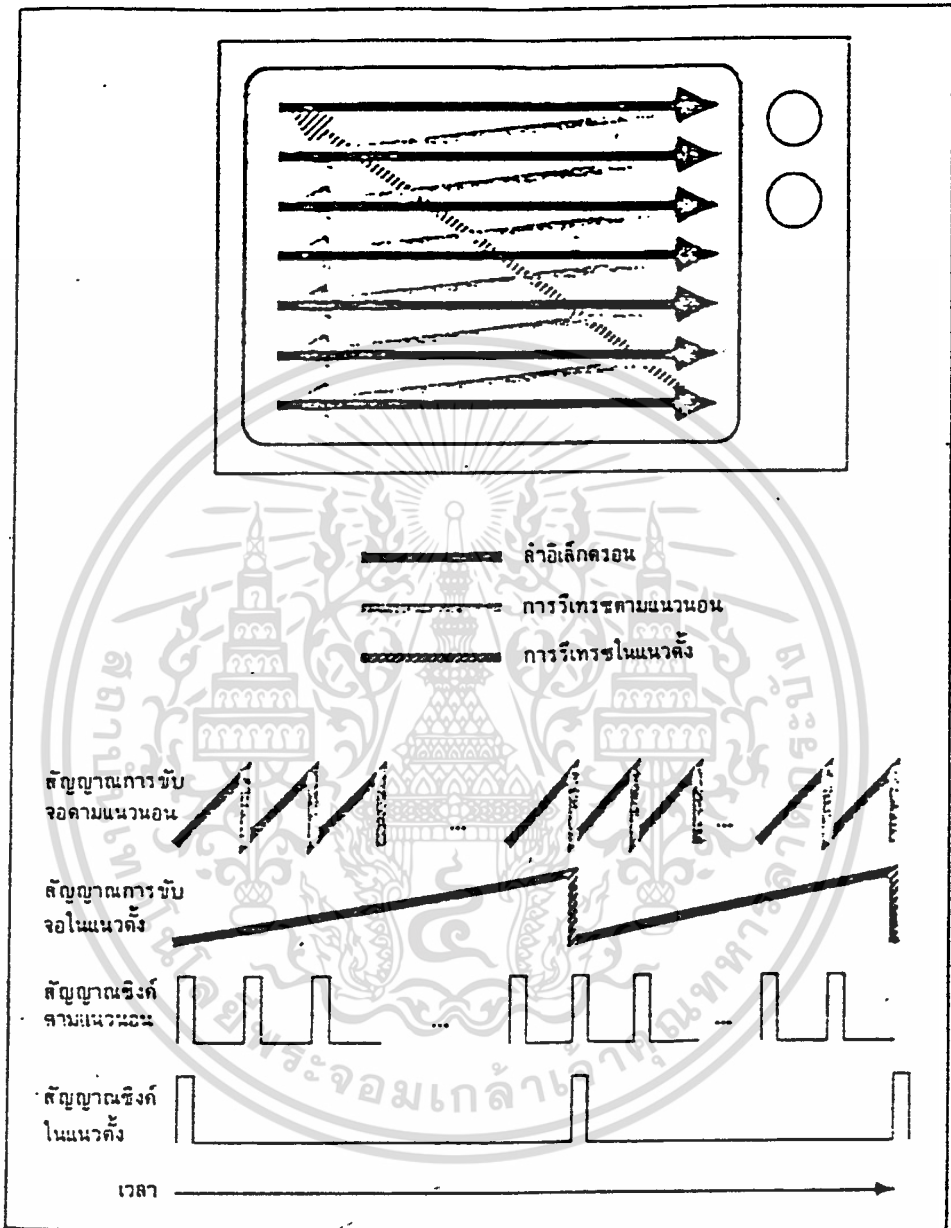
5.5 การทำงานของจอแสดงผล ( จอ CRT )

การทำงานของจอ CRT ( Cathode ray tube display ) ใช้หลักการคล้ายกับโทรทัศน์โดยอาศัยการสแกนของลำอิเล็กตรอนไปกระทบผิวจอที่ฉาบด้วยสารฟอสฟอรัส ซึ่งตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

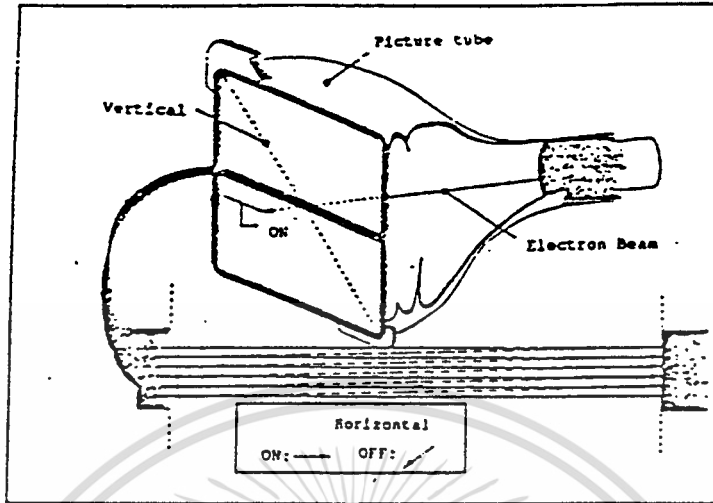
แต่ละจุดภาพบนจอ คือ ตำแหน่งของลํ้าอิเล็กตรอนที่สแกนผ่าน และสีต่างๆที่เกิดขึ้นแต่ละจุดคือ ค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำแสดงผลลํ้าอิเล็กตรอนจะถูกกวาดจํ้าไปมาด้วยอัตราการกวาดภาพประมาณ 50,60 หรือ 70 ครั้งต่อวินาที ขึ้นอยู่กับชนิดของจอ ซึ่งเรียกขบวนการนี้ว่า การรีเฟรชจอภาพ ( display refresh ) และเรียกการกวาดลํ้าของอิเล็กตรอนบนจอว่า แรสเตอร์ ( raster ) ซึ่งเป็นการกวาดลํ้าอิเล็กตรอนจากมุมบนซ้าย แล้วกวาดไปทางขวา เมื่อกวาดถึงขวาสุด ก็จะทำการบีดลํ้าอิเล็กตรอน ( blanking ) จากนั้นจะไปเริ่มต้นทางซ้ายใหม่ ( retrace ) เพื่อกวาดเส้นการสแกนในแนวระดับนั้นถัดไป เมื่อกวาดภาพตามแนวระดับถึงมุมขวาล่าง จะบีดลํ้าอิเล็กตรอนจากนั้นจะไปเริ่มต้นที่มุมบนซ้ายใหม่ดังรูปที่ 5.3



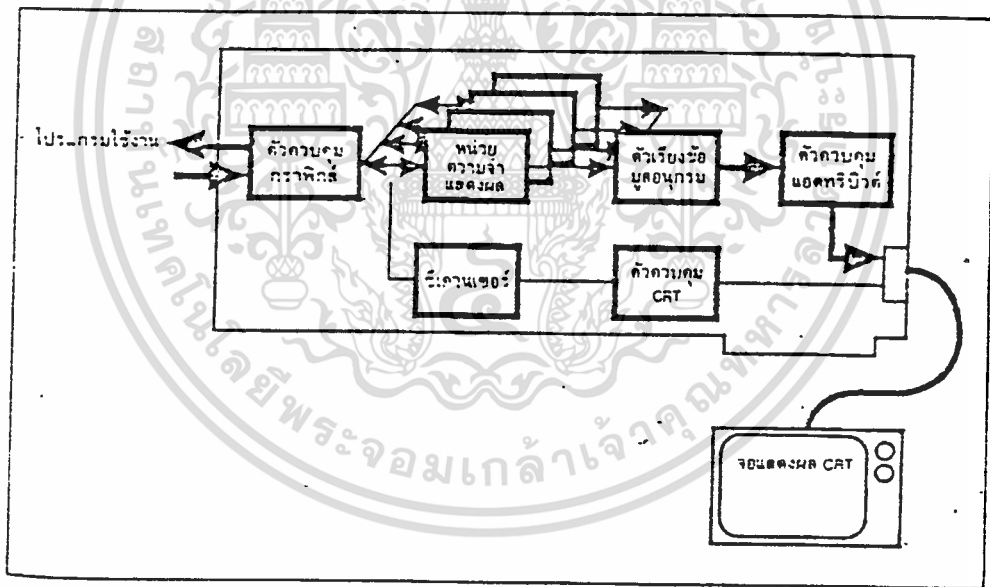


รูปที่ 3 การทำงานของจอ CRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 หลักการทำงานของสแกนของลำอิเล็กตรอน



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของ EGA/VGA

5.8 ฟังก์ชันที่ใช้ในภาวะกราฟฟิกในภาษา C (graphics mode )

จากที่กล่าวไว้ข้างต้น คือ ในการที่เราจะเรียกใช้ในภาวะกราฟฟิก เราจะต้อง # include เพิ่มข้อมูล graphic.h เสียก่อนจึงจะสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันเหล่านั้นได้ และในการที่จะเข้าสู่ภาวะกราฟฟิกจะต้องทำดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.6.1 เรียกใช้ฟังก์ชัน `initgraph( )`

`initgraph( )` เป็นฟังก์ชันที่ใช้เพื่อที่จะเข้าสู่ภาวะกราฟฟิก โดยฟังก์ชันนี้จะทำหน้าที่โหลดแฟ้มข้อมูลที่เป็น `graphics driver` ที่อยู่ในดิสก์มาเก็บไว้ในหน่วยความจำรูปแบบ

```
initgraph ( *driver,*mode,*path);
```

`driver` เป็นตำแหน่งของตัวแปรจำนวนเต็มที่ทำหน้าที่กำหนดชนิดของแฟ้มข้อมูลที่เป็น `graphics driver` การกำหนดชนิดของแฟ้มข้อมูลนี้สามารถกำหนดเป็นชื่อแมคโครหรือว่าค่าคงที่ได้

`mode` เป็นการกำหนดขนาดของความละเอียดในการแสดงผลแต่ละ `graphics driver` ซึ่งสามารถกำหนดเป็นชื่อแมคโครหรือค่าคงที่ได้

`path` คือการกำหนดเส้นทางเพื่อค้นหาแฟ้มข้อมูล `graphics driver` โดยเขียนอยู่ในเครื่องหมายคำพูด ถ้าไม่กำหนดถือว่าแฟ้มข้อมูล `graphics driver` นั้นอยู่ที่ `working directory`

ในโครงการนี้เราใช้กราฟฟิก `driver` ของ `EGAVGA.BGI` โดยให้มีความละเอียด `640*480` จุด โดยการเขียนโปรแกรมในการเรียกใช้ ฟังก์ชัน `initgraph` มีดังนี้

```
int gdriver=DETECT,gmode,errocde;
initgraph(&gdriver,&gmode,"");
```

### 5.6.2 ฟังก์ชัน `closegraph( ),restoremode( )`

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ยกเลิกกราฟฟิก กลับไปสู่ภาวะข้อความรูปแบบ

```
closegraph( );
```

หรือ

```
restoremode( );
```

### 5.6.3 ฟังก์ชัน `line`

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวาดรูปเส้นตรง โดยจะต้องกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายของเส้นรูปแบบ

`line(startx,starty,endx,endy);`

`startx,starty` เป็นจุดเริ่มต้นของเส้น

`endx,endy` เป็นจุดท้ายของเส้น

#### 5.6.4 ฟังก์ชัน `rectangle ( )`

เป็นฟังก์ชันที่ใช้สร้างรูปสี่เหลี่ยม

รูปแบบ

`rectangle( left,top,right,bottom );`

`left ,top` เป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นของมุมซ้ายด้านบนของรูปสี่เหลี่ยม โดย `left` เป็นตำแหน่งคอลัมน์ `top` เป็นตำแหน่งแถว

`right,bottom` เป็นการกำหนดจุดสุดท้ายของมุมขวาด้านล่างบนของรูปสี่เหลี่ยม โดย `right` เป็นตำแหน่งคอลัมน์ `bottom` เป็นตำแหน่งแถว

เราได้กล่าวถึงฟังก์ชันที่จำเป็นสำหรับโครงการนี้ไปแล้วในข้อ 5.6 ตอนต่อไปนี้จะเสนอถึงโปรแกรมในการแสดงผลที่คณะผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ในการแสดงผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

## โปรแกรมที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดนี้คือ

```

#include<dos.h>
#include<conio.h>
#include<stdio.h>
#include<graphics.h>
void Display(int a,unsigned int b);
void Display_ECG(int a,unsigned int b);
void Block(int Xtop,int Ytop,int Xdown,int Ydown,int Cwid,
int iCleft,int iCcenter,int iCright);
void TheMask(void);
void main()
{
    int gdriver=DETECT,gmode;
    unsigned char far *mem,lsb,msb;
    unsigned int A1;
    unsigned long int i,off,seg;
    int P[8][7],D[8][4];
    int PORT= 0x2E0; /* PA-MA12(-H) port address */
    int BS=0x8;
    int BA=0x0000;
    int BL=128; /*A/D buffer address and length*/
    int con,T1,T2,mux,AP,AM,AL,DL,L,chr,ch;
    short int s,LLSB,LMS

/* 8 bit DMA port address -----*/
    P[0][0]=0x87 ; P[1][0]=0x83 ; P[3][0]=0x82; /* DMA page register address*/
    P[0][1]=0x00 ; P[1][1]=0x02 ; P[3][1]=0x06; /* DMA current address register*/
    P[0][2]=0x01 ; P[1][2]=0x03 ; P[3][2]=0x07; /* DMA word counter register */

```

```

P[0][3]=0x08 ; P[1][3]=0x08 ; P[3][3]=0x08; /* Byte-transfer DMA status
register */

P[0][4]=0x0A ; P[1][4]=0x0A ; P[3][4]=0x0A; /* Byte-transfer DMA mask
register */

P[0][5]=0x0B ; P[1][5]=0x0B ; P[3][5]=0x0B; /* Byte-transfer DMA mode
register */

P[0][6]=0x0C ; P[1][6]=0x0C ; P[3][6]=0x0C; /* Byte-transfer DMA clear
flip-flop register */

/* 8 bit DMA commands ----- */
D[0][0]=0x44 ; D[1][0]=0x45 ; D[3][0]=0x47; /* DMA mode command */
D[0][1]=0x00 ; D[1][1]=0x01 ; D[3][1]=0x03; /* DMA enable command */
D[0][2]=0x04 ; D[1][2]=0x05 ; D[3][2]=0x07; /* DMA disable command */
D[0][3]=0x01 ; D[1][3]=0x02 ; D[3][3]=0x08; /* DMA complete status */

/* 16 bit DMA port address ----- */
P[5][0]=0x8B ; P[6][0]=0x89 ; P[7][0]=0x8A; /* DMA page register address */
P[5][1]=0xC4 ; P[6][1]=0xC8 ; P[7][1]=0xCC; /* DMA current address
register*/

P[5][2]=0xC6 ; P[6][2]=0xCA ; P[7][2]=0xCE; /* DMA word counter
register */

P[5][3]=0xD0 ; P[6][3]=0xD0 ; P[7][3]=0xD0; /* Word-transfer DMA status
register */

P[5][4]=0xD4 ; P[6][4]=0xD4 ; P[7][4]=0xD4; /* Word-transfer DMA mask
register */

P[5][5]=0xD6 ; P[6][5]=0xD6 ; P[7][5]=0xD6; /* Word-transfer DMA mode
register */

```

```
P[5][6]=0xD8 ; P[6][6]=0xD8 ; P[7][6]=0xD8; /* Word-transfer DMA clear
flip-flop register */
```

```
/* 16 bit DMA commands ----- */
```

```
D[5][0]=0x45 ; D[6][0]=0x46 ; D[7][0]=0x47; /* DMA mode command */
D[5][1]=0x01 ; D[6][1]=0x02 ; D[7][1]=0x03; /* DMA enable command */
D[5][2]=0x05 ; D[6][2]=0x06 ; D[7][2]=0x07; /* DMA disable command */
D[5][3]=0x02 ; D[6][3]=0x04 ; D[7][3]=0x08; /* DMA complete status */
```

```
/*Select DMA channel -----*/
```

```
// printf(" PA-MA12 DAM Transfer sample program \n");
// printf ("Select DMA channel : \n");
// printf (" 8 bit (Byte transfer) DMA channel : 0, 1 amd 3\n");
// printf (" 16 bit (Word transfer) DMA channel : 5, 6 amd 7 : ");
// scanf("%d",&ch);
// printf("\n");
ch=7;
```

```
/*Determine memory location -----*/
```

```
// printf ("Select memory location for DMA transfer : \n");
// printf (" 6:60000H 7:70000H 8:80000H : ");
// scanf("%d",&chr);
// printf("\n");
chr=8;
BS=(int)(chr);
```

```
/* Determine conversion frequency -----*/
```

```
// printf ("Select Conversion frequency : \n" );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//      printf (" 1:100KHz  2:50KHz  3:10KHz  4:1KHz  5:100Hz  6:10Hz  7:1Hz
8:0.5Hz  :");
//      scanf("%d",&con);
//      printf("\n");
con=3;
if (con==1){
    T2=4  ; T1=10  ; /* 100KHz */ }
if (con==2){
    T2=4  ; T1=20  ; /* 50KHz */ }
if (con==3){
    T2=4  ; T1=100 ; /* 10KHz */ }
if (con==4){
    T2=4  ; T1=1000 ; /* 1KHz */ }
if (con==5){
    T2=40 ; T1=1000 ; /* 100Hz */ }
if (con==6){
    T2=40 ; T1=10000 ; /* 10Hz */ }
if (con==7){
    T2=400 ; T1=10000 ; /* 1Hz */ }
if (con==8){
    T2=800 ; T1=10000 ; /* 0.5Hz */ }
mux=3;
mux=(mux*16+mux);
initgraph(&gdriver,&gmode,"");

/* Disable DMA transfer first -----*/
outp(PORT+3,0);          /* (1-1) Disable A/D DMA request*/
outp(P[ch][4],D[ch][2]); /* (1-2) Disable DMA transfer */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* Define the A/D channel MUX -----*/
    outp(PORT+2,mux);          /* (2) Convert channel 0 to channel 7*/

/*Initial 8254 Timer -----*/
    outp(PORT+15,0xB4);       /* (3-1) 8254 Counter 2 Mode */
    outp(PORT+14,(T2%256));   /* (3-2) 8254 Counter 2 LSB */
    outp(PORT+14,(int)(T2/256)); /* (3-3) 8254 Counter 2 MSB */
    outp(PORT+15,0x74);       /*(3-4) 8254 Counter 1 Mode */
    outp(PORT+13,(T1 % 256));  /*(3-5) 8254 Counter 1 LSB */
    outp(PORT+13,(int)(T1/256)); /*(3-6) 8254 Counter 1 MSB */

/*Initial DMA controller -----*/
    if (ch>3)
    {
        /*Calculate 8 bit memory address */
        AP=BS;                /*Page register  A19-A16 */
        AM=(int)(BA/256);     /*Base address MSB A15-A08 */
        AL=BA % 256;         /*Base address LSB A07-A00 */
        DL=BL-1 ;
    }
    /*Calculate number of 16 bit DMA transfer*/
    if (ch<4)
    {
        /*Calculate 16 bit memory address */
        AP=BS;                /*Page register  A23-A16 A16 doesn't care*/
        AM=(BS % 2)*128+(int)(BA/512);/*Base address MSB A16-A09 */
        AL=BA % 512;          /*Base address LSB A08-A01 */
        DL=BL*2-1;
    }
    /*Calculate number of 8 bit DMA transfer*/
    outp(P[ch][6],0);        /*(4-1) Clear DMA F-F */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outp( P[ch][1],AL);      /*(4-2) DMA address A00-A07 or A01-A08*/
outp( P[ch][1],AM);      /*(4-3) DMA address A08-A15 or A09-A16*/
outp( P[ch][0],AP);      /*(4-4) DMA address A16-A19 or A17-A23*/
outp( P[ch][2],0x3D);    /*(5-1) DMA word W00-W07*/
outp( P[ch][2],0x01);    /*(5-2) DMA word W08-W15*/
outp( P[ch][5],D[ch][0]); /*(6) Write DMA mode */
TheMask();
do
{
    outp( P[ch][4],D[ch][1]); /*(7) Enable DMA */

/*Enable PA-MA12 DMA transfer and 8254 Timer Trigger -----*/
    outp(PORT+3,0x0C);      /*(8) Enable PM-MA12 DMA */

- /*Check conversion status -----*/
do
{
    s= inp(P[ch][3]) & D[ch][3]; /*(R-1) Read DMA status */
    outp(P[ch][6],0);           /*(R-2) Clear DMA F-F */
    LLSB=inp(P[ch][2]);         /*(R-3) Read current word LSB */
    LMSB=inp(P[ch][2]);         /*(R-4) Read current word MSB */
    L=LMSB*256+LLSB+1 ;
    if (LLSB==255)
    {
        if (LMSB==255)
        {
            L=0 ;
        }
    }
}

```

```

    }

// printf( "Remaining DMA Transfer : %d ",L );
    } while (s==0);

/*Disable DMA transfer first -----*/
    outp(PORT+3,0);          /*(S-1) Disable A/D command */
    outp(P[ch][4],D[ch][2]); /*(S-2) Disable DMA transfer */
    mem=(unsigned char far *)MK_FP(0x8000,0x0000);
    for (i=37;i<313;i++)
    {
        lsb=*mem;
        msb=*(mem+1);
        A1 =((msb*16)+(lsb/16))/12; /* save data to buffer*/
        Display(i,A1);
        mem=mem+2;
    }
}while(!kbhit());
closegraph();
}

void Display(int a,unsigned int b)
{
    setcolor(9);
    if(a==37) moveto(a*2,b);
    line(a*2,80,a*2,350);
    line(a*2+1,80,a*2+1,350);
    setcolor(15);
    lineto(a*2,350-b);
}

```

```

}
void Display_ECG(int a,unsigned int b)
{
/*   setcolor(CYAN);
      line(a*2,0,a*2,450);
      line(a*2+1,0,a*2+1,450); */
  if(a==0)
  {
    moveto(a*2,b+100);
    return;
  }
  setcolor(WHITE);
  lineto(a*2,b+100);
  /*if(a==319)
  {
    moveto(1,b+100);
  }; */
}
void TheMask(void)
{
  Block(20,10,getmaxx(),getmaxy()-10,2,15,7,8);
  Block(70,50,getmaxx()-10,getmaxy()-50,2,8,9,15);

  setcolor(15);
  settxtstyle(2,0,5);
  outtextxy(80,360,"DMA Transferred A/D conversion");
  outtextxy(80,380,"DMA Channel : 7 Word transfer");
  outtextxy(80,400,"Conversion frequency : 10Khz");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(12);
outtextxy(80,20,"Electronic Engineer King Mongkut's Ladkrabang.");
}

```

```

void Block(int Xtop,int Ytop,int Xdown,int Ydown,int Cwid,
           int iCleft,int iCcenter,int iCright)

```

```

{
int Up[14];
int Dn[14];

Up[0]=Xtop ; Up[1]=Ydown ;
Up[2]=Xtop-Cwid ; Up[3]=Ydown+Cwid ;
Up[4]=Xtop-Cwid ; Up[5]=Ytop-Cwid ;
Up[6]=Xdown+Cwid ; Up[7]=Ytop-Cwid ;
Up[8]=Xdown ; Up[9]=Ytop ;
Up[10]=Xtop ; Up[11]=Ytop ;
Up[12]=Xtop ; Up[13]=Ydown ;
Dn[0]=Xdown ; Dn[1]=Ytop ;
Dn[2]=Xdown+Cwid ; Dn[3]=Ytop-Cwid ;
Dn[4]=Xdown+Cwid ; Dn[5]=Ydown+Cwid ;
Dn[6]=Xtop-Cwid ; Dn[7]=Ydown+Cwid ;
Dn[8]=Xtop ; Dn[9]=Ydown ;
Dn[10]=Xdown ; Dn[11]=Ydown ;
Dn[12]=Xdown ; Dn[13]=Ytop ;

setcolor(iCcenter);
setfillstyle(1,iCcenter);
bar(Xtop,Ytop,Xdown,Ydown);

```

```

setcolor(iCleft);
setfillstyle(1,iCleft);
fillpoly(7,Up);

setcolor(iCright);
setfillstyle(1,iCright);
fillpoly(7,Dn);
}
/* 8 bit DMA port address ----- */
P[0][0]=0x87 ; P[1][0]=0x83 ; P[3][0]=0x82; /* DMA page register address
*/
P[0][1]=0x00 ; P[1][1]=0x02 ; P[3][1]=0x06; /* DMA current address register
*/
P[0][2]=0x01 ; P[1][2]=0x03 ; P[3][2]=0x07; /* DMA word counter register
*/
P[0][3]=0x08 ; P[1][3]=0x08 ; P[3][3]=0x08; /* Byte-transfer DMA status
register */
P[0][4]=0x0A ; P[1][4]=0x0A ; P[3][4]=0x0A; /* Byte-transfer DMA mask
register */
P[0][5]=0x0B ; P[1][5]=0x0B ; P[3][5]=0x0B; /* Byte-transfer DMA mode
register */
P[0][6]=0x0C ; P[1][6]=0x0C ; P[3][6]=0x0C; /* Byte-transfer DMA clear
flip-flop register */

/* 8 bit DMA commands ----- */
D[0][0]=0x44 ; D[1][0]=0x45 ; D[3][0]=0x47; /* DMA mode command */
D[0][1]=0x00 ; D[1][1]=0x01 ; D[3][1]=0x03; /* DMA enable command */
D[0][2]=0x04 ; D[1][2]=0x05 ; D[3][2]=0x07; /* DMA disable command */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

D[0][3]=0x01 ; D[1][3]=0x02 ; D[3][3]=0x08; /* DMA complete status */

/* 16 bit DMA port address ----- */
P[5][0]=0x8B ; P[6][0]=0x89 ; P[7][0]=0x8A; /* DMA page register address */
P[5][1]=0xC4 ; P[6][1]=0xC8 ; P[7][1]=0xCC; /* DMA current address register
*/

P[5][2]=0xC6 ; P[6][2]=0xCA ; P[7][2]=0xCE; /* DMA word counter register */
P[5][3]=0xD0 ; P[6][3]=0xD0 ; P[7][3]=0xD0; /* Word-transfer DMA status
register */

P[5][4]=0xD4 ; P[6][4]=0xD4 ; P[7][4]=0xD4; /* Word-transfer DMA mask
register */

P[5][5]=0xD6 ; P[6][5]=0xD6 ; P[7][5]=0xD6; /* Word-transfer DMA mode
register */

P[5][6]=0xD8 ; P[6][6]=0xD8 ; P[7][6]=0xD8; /* Word-transfer DMA clear
flip-flop register */

/* 16 bit DMA commands ----- */
D[5][0]=0x45 ; D[6][0]=0x46 ; D[7][0]=0x47; /* DMA mode command */
D[5][1]=0x01 ; D[6][1]=0x02 ; D[7][1]=0x03; /* DMA enable command */
D[5][2]=0x05 ; D[6][2]=0x06 ; D[7][2]=0x07; /* DMA disable command */
D[5][3]=0x02 ; D[6][3]=0x04 ; D[7][3]=0x08; /* DMA complete status */

ch=7;
chr=8;
BS=(int)(chr);
con=3;
if (con==1){
    T2=4 ; T1=10 ; /* 100KHz */
}
if (con==2){

```

```

    T2=4 ; T1=20 ; /* 50KHz */
if (con==3){
    T2=4 ; T1=100 ; /* 10KHz */
if (con==4){
    T2=4 ; T1=1000 ; /* 1KHz */
if (con==5){
    T2=40 ; T1=1000 ; /* 100Hz */
if (con==6){
    T2=40 ; T1=10000 ; /* 10Hz */
if (con==7){
    T2=400 ; T1=10000 ; /* 1Hz */
if (con==8){
    T2=800 ; T1=10000 ; /* 0.5Hz */

/*Select conversion channels -----*/
mux=3;
mux=(mux*16+mux);
initgraph(&gdriver,&gmode,"");

/* Disable DMA transfer first -----*/
outp(PORT+3,0); /* (1-1) Disable A/D DMA request*/
outp(P[ch][4],D[ch][2]); /* (1-2) Disable DMA transfer */

/* Define the A/D channel MUX -----*/
outp(PORT+2,mux); /* (2) Convert channel 0 to channel 7*/

/*Initial 8254 Timer -----*/
outp(PORT+15,0xB4); /* (3-1) 8254 Counter 2 Mode */

```

```

outp(PORT+14,(T2%256)); /* (3-2) 8254 Counter 2 LSB */
outp(PORT+14,(int)(T2/256)); /* (3-3) 8254 Counter 2 MSB */
outp(PORT+15,0x74); /*(3-4) 8254 Counter 1 Mode */
outp(PORT+13,(T1 % 256)); /*(3-5) 8254 Counter 1 LSB */
outp(PORT+13,(int)(T1/256)); /*(3-6) 8254 Counter 1 MSB */

/*Initial DMA controller -----*/
if (ch>3)
{
    /*Calculate 8 bit memory address */
    AP=BS; /*Page register A19-A16 */
    AM=(int)(BA/256); /*Base address MSB A15-A08 */
    AL=BA % 256; /*Base address LSB A07-A00 */
    DL=BL-1 ;
}

/*Calculate number of 16 bit DMA transfer*/
if (ch<4)
{
    /*Calculate 16 bit memory address */
    AP=BS; /*Page register A23-A16 A16 doesn't care*/
    AM=(BS % 2)*128+(int)(BA/512);/*Base address MSB A16-A09 */
    AL=BA % 512; /*Base address LSB A08-A01 */
    DL=BL*2-1;
}

/*Calculate number of 8 bit DMA transfer*/
outp(P[ch][6],0); /*(4-1) Clear DMA F-F */
outp( P[ch][1],AL); /*(4-2) DMA address A00-A07 or A01-A08*/
outp( P[ch][1],AM); /*(4-3) DMA address A08-A15 or A09-A16*/

```

```

outp( P[ch][0],AP);          /*(4-4) DMA address A16-A19 or A17-A23*/
outp( P[ch][2],0x3D);        /*(5-1) DMA word W00-W07*/
outp( P[ch][2],0x01);        /*(5-2) DMA word W08-W15*/
outp( P[ch][5],D[ch][0]);    /*(6) Write DMA mode */
TheMask();
do
{
    outp( P[ch][4],D[ch][1]); /*(7) Enable DMA */

    /*Enable PA-MA12 DMA transfer and 8254 Timer Trigger -----*/
    outp(PORT+3,0x0C);        /*(8) Enable PM-MA12 DMA */

    /*Check conversion status-----*/
    do
    {
        s= inp(P[ch][3]) & D[ch][3]; /*(R-1) Read DMA status */
        outp(P[ch][6],0);          /*(R-2) Clear DMA F-F */
        LLSB=inp(P[ch][2]);        /*(R-3) Read current word LSB */
        LMSB=inp(P[ch][2]);        /*(R-4) Read current word MSB */
        L=LMSB*256+LLSB+1 ;
        if (LLSB==255)
        {
            if (LMSB==255)
            {
                L=0 ;
            }
        }
    }

    // printf( "Remaining DMA Transfer : %d ",L );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    } while (s==0);

    /*Disable DMA transfer first -----*/
    outp(PORT+3,0);          /*(S-1) Disable A/D command */
    outp(P[ch][4],D[ch][2]); /*(S-2) Disable DMA transfer */
    mem=(unsigned char far *)MK_FP(0x8000,0x0000);
    for. (i=37;i<313;i++)
    {
        lsb=*mem;
        msb=*(mem+1);
        A1 =((msb*16)+(lsb/16))/12; /* save data to buffer*/
        Display(i,A1);
        mem=mem+2;
    }
    while(!kbhit());
    closegraph();
}

void Display(int a,unsigned int b)
{
    setcolor(9);
    if(a==37) moveto(a*2,b);
    line(a*2,80,a*2,350);
    line(a*2+1,80,a*2+1,350);
    setcolor(15);
    lineto(a*2,350-b);
}

void Display_ECG(int a,unsigned int b)
{

```

```

/*  setcolor(CYAN);
    line(a*2,0,a*2,450);
    line(a*2+1,0,a*2+1,450); */
if(a==0)
{
    moveto(a*2,b+100);
    return;
}
setcolor(WHITE);
lineto(a*2,b+100);
/*  if(a==319)
    {
        moveto(1,b+100);
    }; */
}
void TheMask(void)
{
    Block(20,10,getmaxx(),getmaxy()-10,2,15,7,8);
    Block(70,50,getmaxx()-10,getmaxy()-50,2,8,9,15);
    setcolor(15);
    settextstyle(2,0,5);
    outtextxy(80,360,"DMA Transferred A/D conversion");
    outtextxy(80,380,"DMA Channel : 7 Word transfer");
    outtextxy(80,400,"Conversion frequency : 10Khz");
    setcolor(12);
    outtextxy(80,20,"Electronic Engineer King Mongkut's Ladkrabang.");
}
void Block(int Xtop,int Ytop,int Xdown,int Ydown,int Cwid,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    int iCleft,int iCcenter,int iCright)
{
    int Up[14];
    int Dn[14];

    Up[0]=Xtop    ;    Up[1]=Ydown    ;
    Up[2]=Xtop-Cwid ;    Up[3]=Ydown+Cwid ;
    Up[4]=Xtop-Cwid ;    Up[5]=Ytop-Cwid ;
    Up[6]=Xdown+Cwid ;    Up[7]=Ytop-Cwid ;
    Up[8]=Xdown    ;    Up[9]=Ytop    ;
    Up[10]=Xtop    ;    Up[11]=Ytop    ;
    Up[12]=Xtop    ;    Up[13]=Ydown    ;
    Dn[0]=Xdown    ;    Dn[1]=Ytop    ;
    Dn[2]=Xdown+Cwid ;    Dn[3]=Ytop-Cwid ;
    Dn[4]=Xdown+Cwid ;    Dn[5]=Ydown+Cwid ;
    Dn[6]=Xtop-Cwid ;    Dn[7]=Ydown+Cwid ;
    Dn[8]=Xtop    ;    Dn[9]=Ydown    ;
    Dn[10]=Xdown    ;    Dn[11]=Ydown    ;
    Dn[12]=Xdown    ;    Dn[13]=Ytop    ;

    setcolor(iCcenter);
    setfillstyle(1,iCcenter);
    bar(Xtop,Ytop,Xdown,Ydown);

    setcolor(iCleft);
    setfillstyle(1,iCleft);
    fillpoly(7,Up);

    setcolor(iCright);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setfillstyle(1,iCright);
```

```
fillpoly(7,Dn);
```

```
}
```

```
|
```

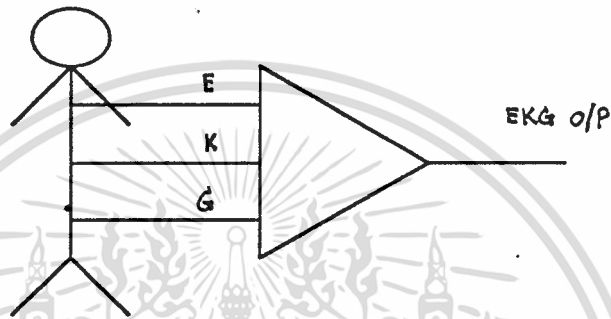


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

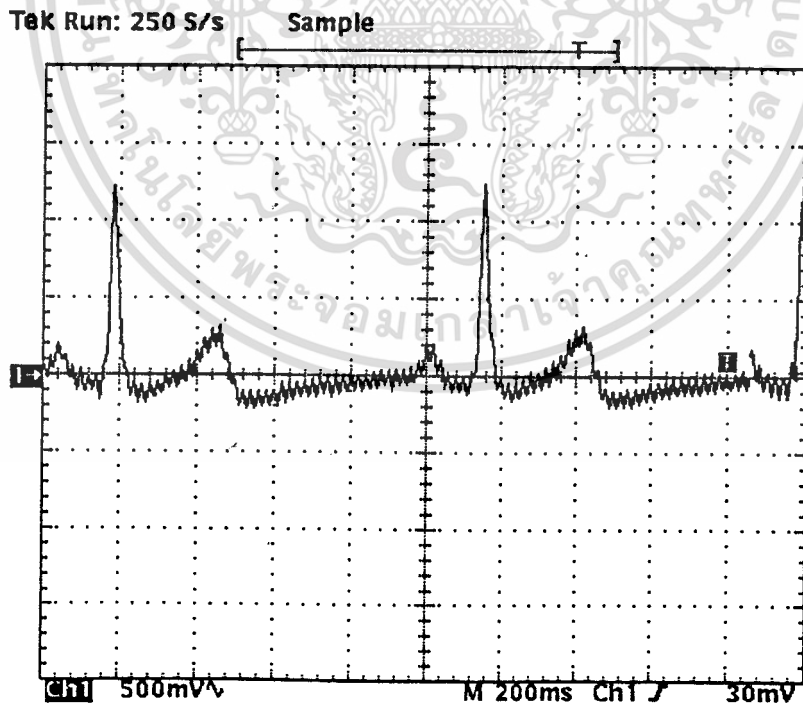
## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อนำเอาอิเล็กโทรด (Electrode) มาวัดจากร่างกายผ่าน  
เข้าวงจรอินสตรูเมนต์ แอมป์ไรไฟด์ (Instrumentation Amplifier) เพื่อวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



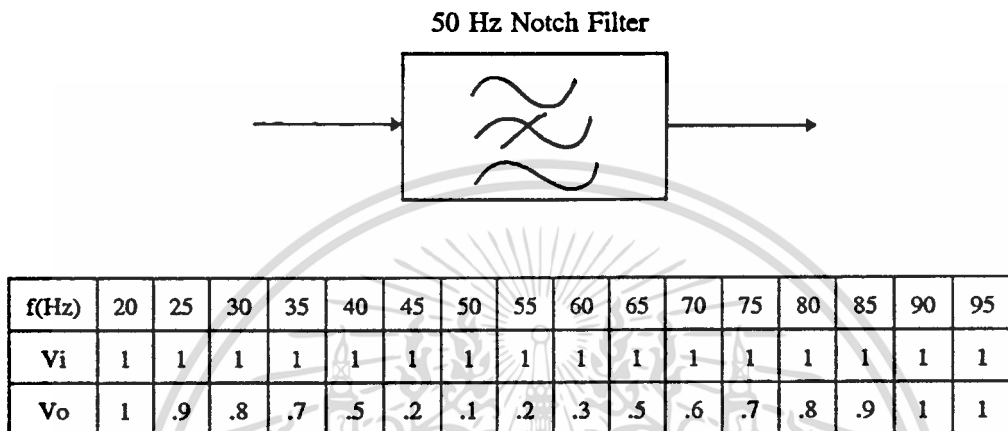
จากวงจรมีอัตราขยาย 600 เท่าและผลการทดลองแสดงได้ดังกราฟข้างล่าง



รูปที่ 6.1 กราฟ EKG

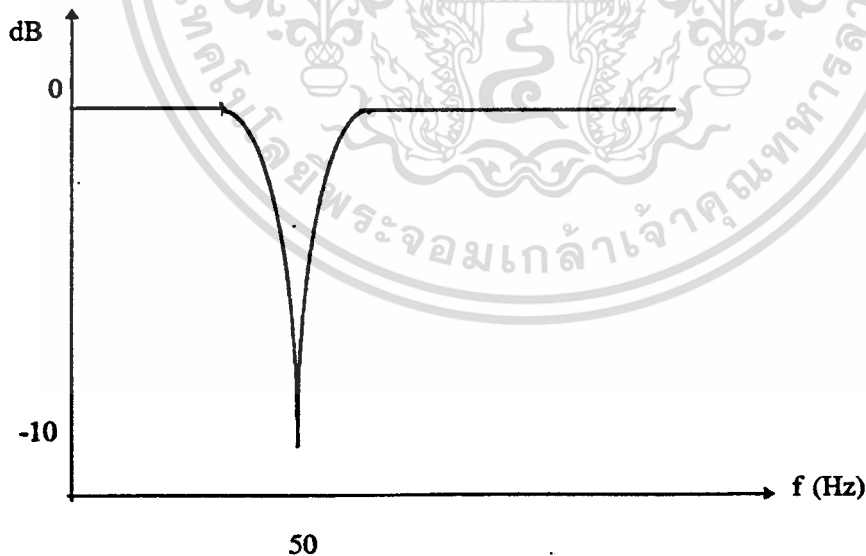
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรอินสตรูเมนต์ แอมป์ไรฟ (Instrumentation Amplifier) นั้นสัญญาณที่ออกมา นั้นยังคงมีสัญญาณรบกวนจากไฟบ้าน 50 Hz ออกมาด้วยดังนั้นจึงต้องทำการผ่านวงจร Band Reject เพื่อตัด 50 Hz ทิ้งไป



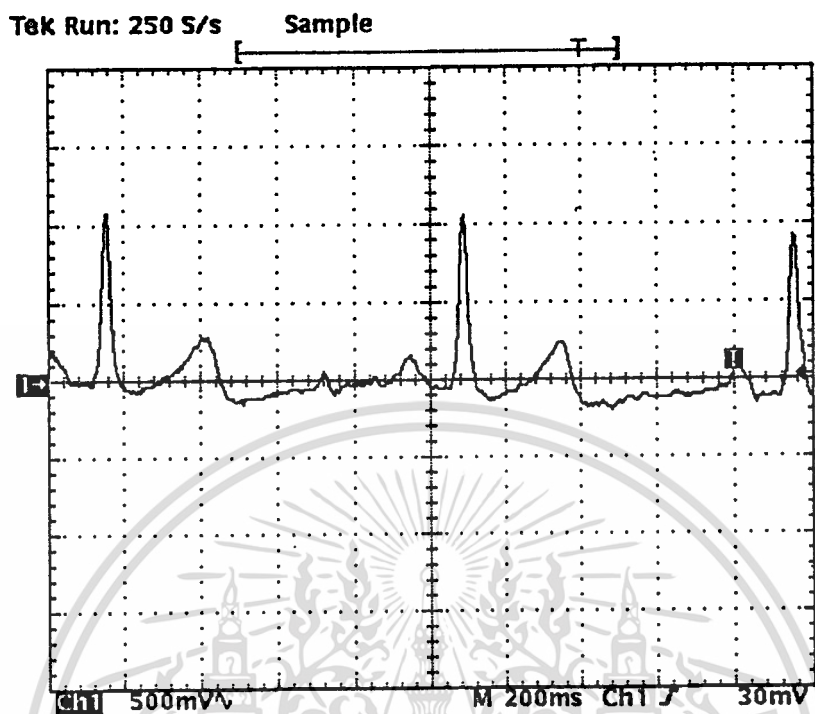
ตารางที่ 6.1

$$\text{Gain} = 10 \text{ Log } V_o/V_i \text{ dB}$$



รูปที่ 6.2 สัญญาณ 50 Hz Notch Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



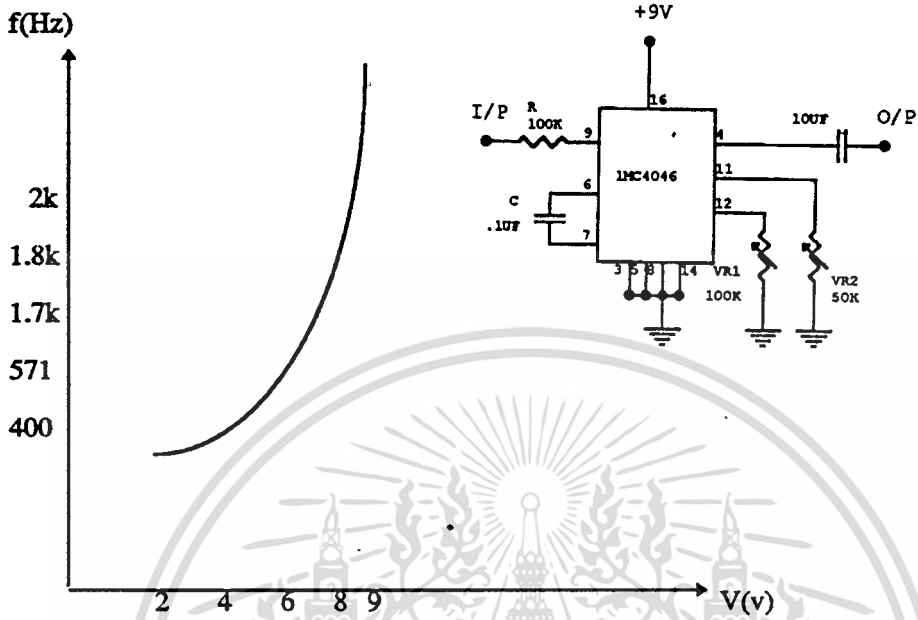
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงคลื่น EKG ที่ผ่านการ Filter แล้ว

ในส่วนของวงจรภาค Modulation ซึ่งได้ใช้ IC เบอร์ MC14046 ภายใน MC14046 มีส่วนที่สำคัญอยู่สองส่วน ก็คือ Phase comparater & Voltage Control Oscillater (VCO) VCO เป็นวงจร Osillater ซึ่ง Output Signal มีความถี่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ Input Voltage ดังนั้นเมื่อเราให้สัญญาณที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา สัญญาณ Output จะมีความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณ Input นั่นคือการผสมคลื่นแบบ Frequency Modulation

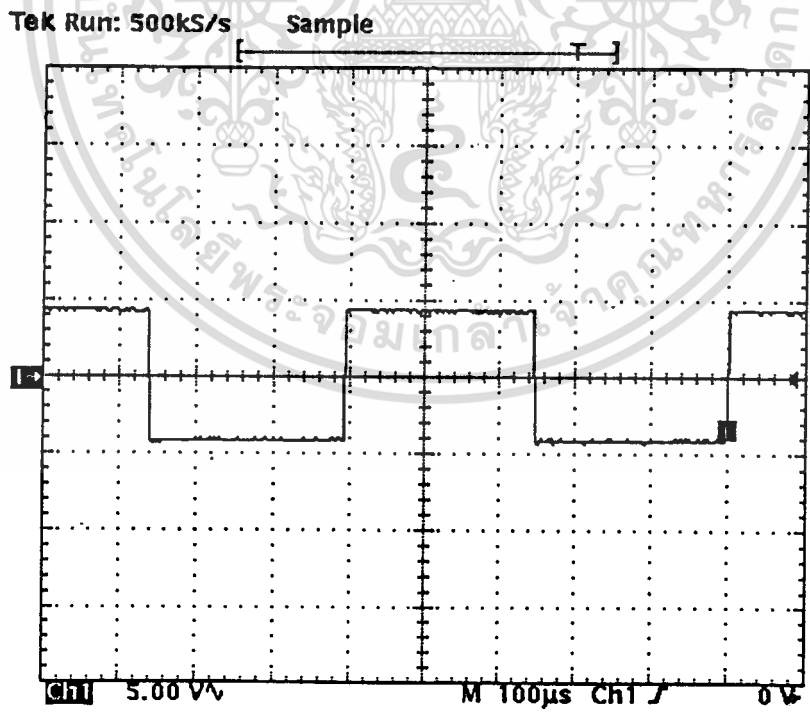
f(Hz)	400	571	1.7k	1.85k	2k
V(v)	2	4	6	8	9

ตาราง 6.2 การเปลี่ยนแปลงของความถี่โดยการปรับVoltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



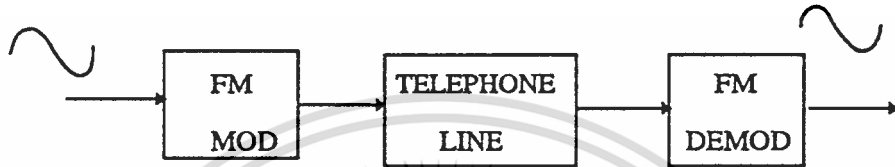
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความถี่โดยการปรับ Voltage



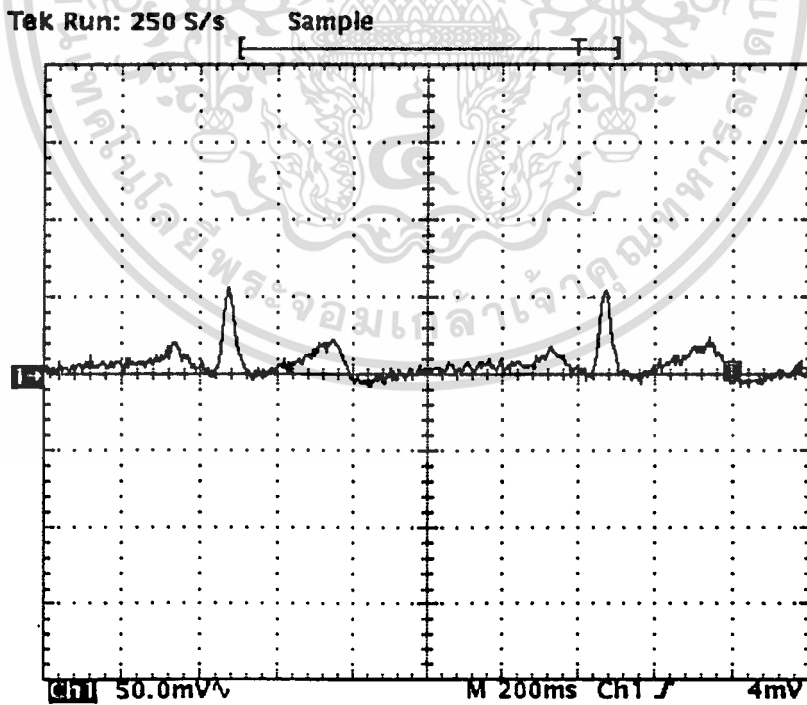
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการมอดดูเลขขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการรับสัญญาณที่ผ่านมาจากคู่สายโทรศัพท์นั้นผู้จัดทำได้ทำการทดลอง โดยใช้สัญญาณ Sin 200 Hz ารมอดคูเลชั่นและคิมอดคูเลชั่นเอาสัญญาณ Sin 200 Hz ก็นกับ มา



โดยในการทำงานมอดคูเลชั่น ด้วยความถี่ 2 KHz และเมื่อทำการวัดด้วยสัญญาณ EKG ก็ได้ผลในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 6.6 กราฟ EKG ที่ผ่านคู่สายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ทำการทดลองมาเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง คือเราสามารถนำสัญญาณที่เป็น analog เข้ามาทำการ วิเคราะห์หรือประมวลผลของสัญญาณแบบ digital โดยใช้ computer เป็นตัวประมวลผล แสดงว่าการ Interface การ์ด PA-MA12(-H) กับ computer เป็นไปด้วยดี โดยโครงการนี้เราได้ใช้การ transfer ข้อมูลแบบ DMA ภาพที่ปรากฏบนจอภาพเราไม่สามารถทำให้มันเป็น Real-time ได้จริง ๆ ดังนั้นถ้าเราใช้ค่าการ Sampling (Sampling Rate) ที่ต่ำ ๆ และสัญญาณ ที่เข้ามาในการ์ดมีค่าสูง ๆ จะเกิด error ขึ้นที่ข้อมูลทำการ Sampling จะเกิดการผิดพลาดดังนั้นเราจะต้องทำการปรับปรุงการทำงานของโปรแกรม เพื่อให้มีการแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกต้องคณะผู้จัดทำจะเสนอทางแก้ไขดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงทางด้าน Hardware การปรับปรุงควรให้มีการ ออกแบบวงจรใน ส่วนของการ Modulation และ Demodulation ให้มีความแน่นอนและในส่วนของการ Audio Couple ที่เหมาะสมมากกว่านี้ รวมไปถึงการ set ค่า configuring ของการ์ดให้ถูกต้องและเลือกการ transfer ที่เหมาะสม เช่นการเลือก DMA channel การเลือกช่องทางการ conversion ที่ถูกต้อง การเลือก IRQ ที่ว่าง set address ของการ์ดการเลือกใช้การ transfer ข้อมูลแบบ word หรือ byte ฯลฯ เราจะต้อง set ค่าต่าง ๆ นี้อย่างรอบครอบและเลือกวิธีที่ถูกต้องที่สุด

2. การปรับปรุงทางด้าน Software ทำการปรับปรุงทางการเขียนโปรแกรมที่รวดเร็วไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน รวมถึงการแสดงผลบนจอภาพที่มีความรวดเร็วซึ่งจะทำให้การแสดงผลบนจอภาพมีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

### กิตติกรรมประกาศ

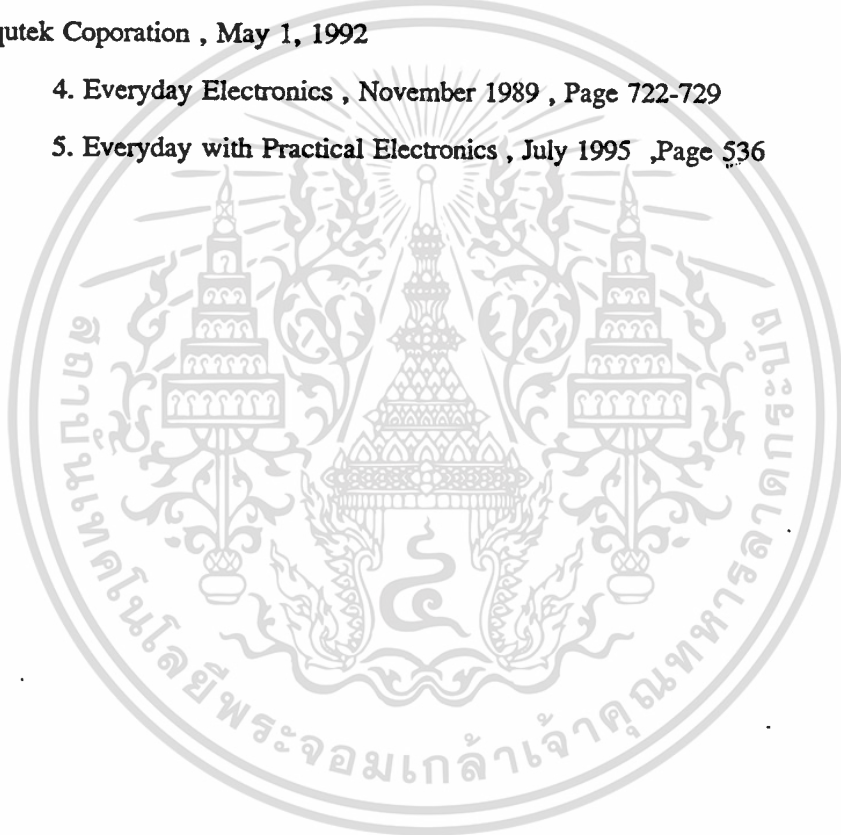
ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณต่าง ๆ คณะผู้จัดทำจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน อันได้แก่ อาจารย์ ดร.กิตติพล ชิตตกุล อาจารย์ที่ปรึกษา, อาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่ให้คำแนะนำ, รุ่นพี่ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ, เพื่อนซึ่งให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้ได้รับความช่วยเหลือจากท่านเหล่านี้มาด้วยดี.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บรรณานุกรม

1. การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ บันทึกข้อมูลและแสดงผล โดย นาย ชาญวุฒิ มีคาระ  
เศรษฐ์ และนาย วัฒนพงศ์ สุวรรณธรรมา ปริญญาณิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม, ธันวา ศีรประมง, มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีมหานคร, พิมพ์ครั้งที่สี่ พ.ศ. 2538
3. PA-MA12(-H) DMA Transferred Multifunction Card Instruction Manual ,  
Acqutek Coporation , May 1, 1992
4. Everyday Electronics , November 1989 , Page 722-729
5. Everyday with Practical Electronics , July 1995 ,Page 536





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**MOTOROLA**

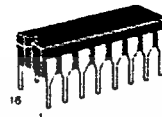
**MC14046B**

**PHASE LOCKED LOOP**

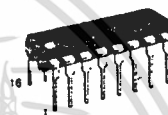
The MC14046B phase locked loop contains two phase comparators, a voltage-controlled oscillator (VCO), source follower, and zener diode. The comparators have two common signal inputs,  $PCA_{in}$  and  $PCB_{in}$ . Input  $PCA_{in}$  can be used directly coupled to large voltage signals, or indirectly coupled (with a series capacitor) to small voltage signals. The self-bias circuit adjusts small voltage signals in the linear region of the amplifier. Phase comparator 1 (an exclusive OR gate) provides a digital error signal  $PC1_{out}$ , and maintains  $90^\circ$  phase shift at the center frequency between  $PCA_{in}$  and  $PCB_{in}$  signals (both at 50% duty cycle). Phase comparator 2 (with leading edge sensing logic) provides digital error signals,  $PC2_{out}$  and  $LD$ , and maintains a  $0^\circ$  phase shift between  $PCA_{in}$  and  $PCB_{in}$  signals (duty cycle is immaterial). The linear VCO produces an output signal  $VCO_{out}$  whose frequency is determined by the voltage of input  $VCO_{in}$  and the capacitor and resistors connected to pins  $C1A$ ,  $C1B$ ,  $R1$ , and  $R2$ . The source-follower output  $SF_{out}$  with an external resistor is used where the  $VCO_{in}$  signal is needed but no loading can be tolerated. The inhibit input  $Inh$ , when high, disables the VCO and source follower to minimize standby power consumption. The zener diode can be used to assist in power supply regulation.

Applications include FM and FSK modulation and demodulation, frequency synthesis and multiplication, frequency discrimination, tone decoding, data synchronization and conditioning, voltage-to-frequency conversion and motor speed control.

- Buffered Outputs Compatible with MHTL and Low-Power TTL
- Diode Protection on All Inputs
- Supply Voltage Range = 3.0 to 18 V
- Pin-for-Pin Replacement for CD4046B
- Phase Comparator 1 is an Exclusive Or Gate and is Duty Cycle Limited
- Phase Comparator 2 switches on Rising Edges and is not Duty Cycle Limited



L SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 620



P SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 548

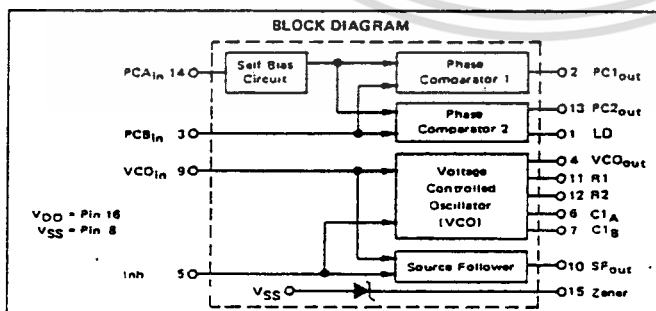


DW SUFFIX  
SOIC  
CASE 751G

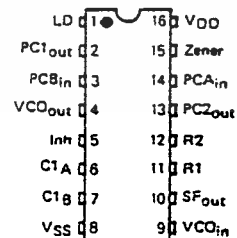
**ORDERING INFORMATION**

MC14XXXBCP Plastic  
 MC14XXXBCL Ceramic  
 MC14XXXBDW SOIC

$T_A = -55^\circ$  to  $125^\circ\text{C}$  for all packages.



**PIN ASSIGNMENT**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14046B

## MAXIMUM RATINGS\* (Voltages referenced to V<sub>SS</sub>)

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V <sub>DD</sub>	-0.5 to +18	Vdc
Input Voltage, All Inputs	V <sub>in</sub>	-0.5 to V <sub>DD</sub> +0.5	Vdc
DC Input Current, per Pin	I <sub>in</sub>	±10	mAdc
Power Dissipation, per Package†	P <sub>D</sub>	500	mW
Operating Temperature Range	T <sub>A</sub>	-55 to +125	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +150	°C

\*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

†Temperature Derating: Plastic "P" and "D" Packages: -7.0 mW/°C From 65°C To 125°C

Ceramic "L" Packages: -12 mW/°C From 100°C To 125°C

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V<sub>SS</sub>)

Characteristic	Symbol	V <sub>DD</sub> Vdc	-55°C		25°C			125°C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max		
Output Voltage V <sub>in</sub> = V <sub>DD</sub> or 0	VOL	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc	
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
V <sub>in</sub> = 0 or V <sub>DD</sub>	VOH	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc	
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—		
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—		
Input Voltage # (V <sub>O</sub> = 4.5 or 0.5 Vdc) (V <sub>O</sub> = 9.0 or 1.0 Vdc) (V <sub>O</sub> = 13.5 or 1.5 Vdc)	"0" Level	V <sub>IL</sub>	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	Vdc
			10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0	
			15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0	
	"1" Level	V <sub>IH</sub>	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	Vdc
			10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
			15	11	—	11	8.25	—	11	—	
Output Drive Current (V <sub>OH</sub> = 2.5 Vdc) (V <sub>OH</sub> = 4.6 Vdc) (V <sub>OH</sub> = 9.5 Vdc) (V <sub>OH</sub> = 13.5 Vdc)	Source	I <sub>OH</sub>	5.0	-1.2	—	-1.0	-1.7	—	-0.7	—	mAdc
			10	-0.25	—	-0.2	-0.36	—	-0.14	—	
			15	-0.62	—	-0.5	-0.9	—	-0.35	—	
	Sink	I <sub>OL</sub>	5.0	0.64	—	0.51	0.88	—	0.36	—	mAdc
			10	1.6	—	1.3	2.25	—	0.9	—	
			15	4.2	—	3.4	8.8	—	2.4	—	
Input Current	I <sub>in</sub>	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μAdc	
Input Capacitance	C <sub>in</sub>	—	—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package) I <sub>in</sub> = PCA <sub>in</sub> = V <sub>DD</sub> , Zener = VCO <sub>in</sub> = 0 V, PCB <sub>in</sub> = V <sub>DD</sub> or 0 V, I <sub>out</sub> = 0 μA	I <sub>DD</sub>	5.0	—	5.0	—	0.005	5.0	—	150	μAdc	
		10	—	10	—	0.010	10	—	300		
		15	—	20	—	0.015	20	—	600		
Total Supply Current† (I <sub>in</sub> = "0", f <sub>O</sub> = 10 kHz, C <sub>L</sub> = 50 pF, R <sub>1</sub> = 1.0 MΩ, R <sub>2</sub> = ∞, R <sub>SF</sub> = ∞, and 50% Duty Cycle)	I <sub>T</sub>	5.0	I <sub>T</sub> = (1.46 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>						μAdc		
		10	I <sub>T</sub> = (2.91 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>								
		15	I <sub>T</sub> = (4.37 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>								

#Noise immunity specified for worst-case input combination.

Noise Margin for both "1" and "0" level = 1.0 Vdc min (α V<sub>DD</sub> = 5.0 Vdc)

2.0 Vdc min (α V<sub>DD</sub> = 10 Vdc)

2.5 Vdc min (α V<sub>DD</sub> = 15 Vdc)

†To Calculate Total Current in General:

$$I_T = 2.2 \times V_{DD} \left( \frac{V_{COin} - 1.65}{R_1} - \frac{V_{DD} - 1.35}{R_2} \right)^{3/4} + 1.6 \times \left( \frac{V_{COin} - 1.65}{R_{SF}} \right)^{3/4} + 1 \times 10^{-3} (C_L + 9) V_{DD} f +$$

$$1 \times 10^{-1} V_{DD}^2 \left( \frac{100\% \text{ Duty Cycle of PCA}_{in}}{100} \right) + I_Q \quad \text{where: } I_T \text{ in } \mu\text{A, } C_L \text{ in pF, } V_{COin}, V_{DD} \text{ in Vdc, } f \text{ in kHz, and } R_1, R_2, R_{SF} \text{ in M}\Omega, C_L \text{ on VCO}_{out}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MC14046B

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS\* ( $C_L = 50$ pF, $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristic	Symbol	VDD Vdc	Minimum	Typical	Maximum	Units
			Device		Device	
Output Rise Time $t_{rLH} = (3.0 \text{ ns/pF}) C_L + 30 \text{ ns}$ $t_{rLH} = (1.5 \text{ ns/pF}) C_L + 15 \text{ ns}$ $t_{rLH} = (1.1 \text{ ns/pF}) C_L + 10 \text{ ns}$	$t_{rLH}$	5.0 10 15	— — —	180 90 65	350 150 110	ns
Output Fall Time $t_{fHL} = (1.5 \text{ ns/pF}) C_L + 25 \text{ ns}$ $t_{fHL} = (0.75 \text{ ns/pF}) C_L + 12.5 \text{ ns}$ $t_{fHL} = (0.55 \text{ ns/pF}) C_L + 9.5 \text{ ns}$	$t_{fHL}$	5.0 10 15	— — —	100 50 37	175 75 55	ns

### PHASE COMPARATORS 1 and 2

Input Resistance — $PCA_{in}$	$R_{in}$	5.0	1.0	2.0	—	M $\Omega$
		10	0.2	0.4	—	
		15	0.1	0.2	—	
— $PCB_{in}$	$R_{in}$	15	150	1500	—	M $\Omega$
Minimum Input Sensitivity AC Coupled — $PCA_{in}$ C series = 1000 pF, $I = 50$ kHz	$V_{in}$	5.0 10 15	— — —	200 400 700	300 600 1050	mV p-p
DC Coupled — $PCA_{in}$ , $PCB_{in}$	—	5 to 15	See Noise Immunity			

### VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR (VCO)

Maximum Frequency ( $VCO_{in} = V_{DD}$ , $C_1 = 50$ pF $R_1 = 5.0$ k $\Omega$ , and $R_2 = \infty$ )	$f_{max}$	5.0 10 15	0.5 1.0 1.4	0.7 1.4 1.9	— — —	MHz
Temperature — Frequency Stability ( $R_2 = \infty$ )	—	5.0 10 15	— — —	0.12 0.04 0.015	— — —	%/°C
Linearity ( $R_2 = \infty$ ) ( $VCO_{in} = 2.5$ V $\pm$ 0.3 V, $R_1 > 10$ k $\Omega$ ) ( $VCO_{in} = 5.0$ V $\pm$ 2.5 V, $R_1 > 400$ k $\Omega$ ) ( $VCO_{in} = 7.5$ V $\pm$ 5.0 V, $R_1 \geq 1000$ k $\Omega$ )	—	5.0 10 15	— — —	1.0 1.0 1.0	— — —	%
Output Duty Cycle	—	5 to 15	—	50	—	%
Input Resistance — $VCO_{in}$	$R_{in}$	15	150	1500	—	M $\Omega$

### SOURCE-FOLLOWER

Offset Voltage ( $VCO_{in}$ minus $SF_{out}$ , $R_{SF} > 500$ k $\Omega$ )	—	5.0 10 15	— — —	1.65 1.65 1.65	2.2 2.2 2.2	V
Linearity ( $VCO_{in} = 2.5$ V $\pm$ 0.3 V, $R_{SF} > 50$ k $\Omega$ ) ( $VCO_{in} = 5.0$ V $\pm$ 2.5 V, $R_{SF} > 50$ k $\Omega$ ) ( $VCO_{in} = 7.5$ V $\pm$ 5.0 V, $R_{SF} > 50$ k $\Omega$ )	—	5.0 10 15	— — —	0.1 0.6 0.8	— — —	%

### ZENER DIODE

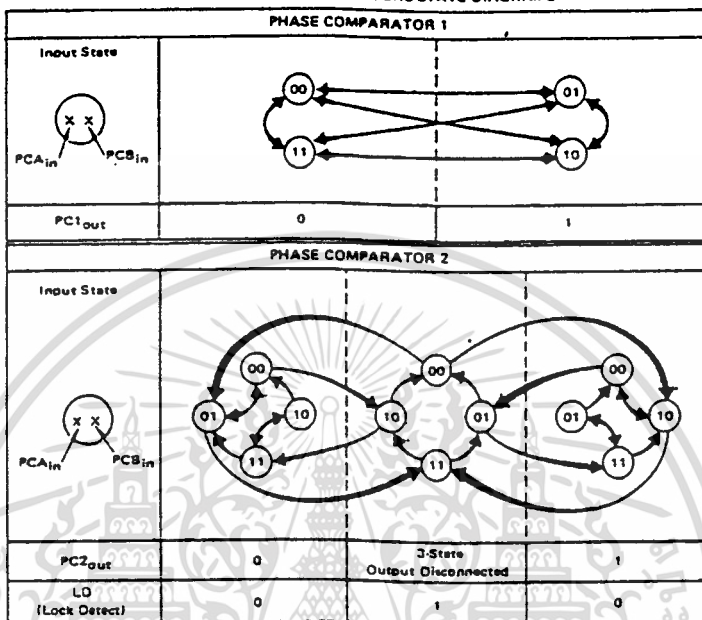
Zener Voltage ( $I_z = 50$ $\mu$ A)	$V_Z$	—	6.7	7.0	7.3	V
Dynamic Resistance ( $I_z = 1.0$ mA)	$R_Z$	—	—	100	—	$\Omega$

\*The formula given is for the typical characteristics only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14046B

FIGURE 1 - PHASE COMPARATORS STATE DIAGRAMS



Refer to Waveforms in Figure 3.

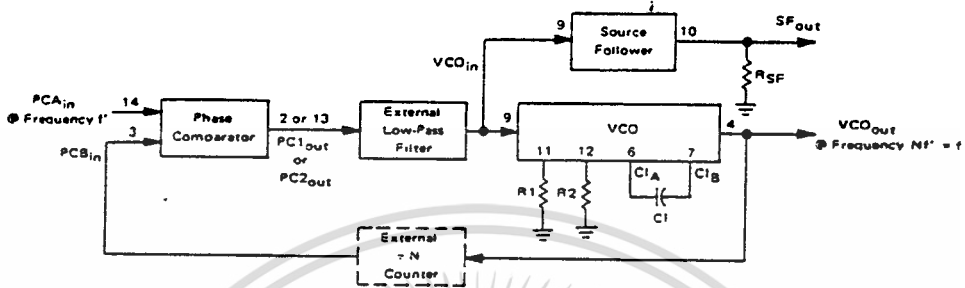
FIGURE 2 - DESIGN INFORMATION

Characteristic	Using Phase Comparator 1	Using Phase Comparator 2
No signal on input PCA <sub>in</sub> .	VCO in PLL system adjusts to center frequency (f <sub>0</sub> ).	VCO in PLL system adjusts to minimum frequency (f <sub>min</sub> ).
Phase angle between PCA <sub>in</sub> and PCB <sub>in</sub> .	90° at center frequency (f <sub>0</sub> ), approaching 0° and 180° at ends of lock range (2f <sub>L</sub> ).	Always 0° in lock (positive rising edges).
Locks on harmonics of center frequency.	Yes	No
Signal input noise rejection.	High	Low
Lock frequency range (2f <sub>L</sub> ).	The frequency range of the input signal on which the loop will stay locked if it was initially in lock. 2f <sub>L</sub> = full VCO frequency range = f <sub>max</sub> - f <sub>min</sub> .	
Capture frequency range (2f <sub>C</sub> ).	The frequency range of the input signal on which the loop will lock if it was initially out of lock.	
	Depends on low-pass filter characteristics (see Figure 3). f <sub>C</sub> < f <sub>L</sub>	f <sub>C</sub> = f <sub>L</sub>
Center frequency (f <sub>0</sub> ).	The frequency of VCO <sub>out</sub> , when VCO <sub>in</sub> = 1/2 VDD	
VCO output frequency (f).	$f_{min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32 \text{ pF})} \quad (\text{VCO input} = V_{SS})$ $f_{max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32 \text{ pF})} + f_{min} \quad (\text{VCO input} = V_{DD})$ <p>Where: 10K &lt; R<sub>1</sub> &lt; 1M 10K &lt; R<sub>2</sub> &lt; 1M 100pF &lt; C<sub>1</sub> &lt; .01 μF</p>	
<p>Note: These equations are intended to be a design guide. Since calculated component values may be in error by as much as a factor of 4, laboratory experimentation may be required for fixed designs. Part to part frequency variation with identical passive components is typically less than ±20%.</p>		

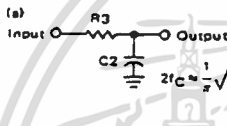
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14046B

FIGURE 3 - GENERAL PHASE-LOCKED LOOP CONNECTIONS AND WAVEFORMS



### Typical Low-Pass Filters



Typically:

$$R_4 C_2 = \frac{6N}{f_{max}} - \frac{N}{2\pi\Delta f}$$

$$(R_3 + 3,000\Omega) C_2 = \frac{100N\Delta f}{f_{max}^2} - R_4 C_2$$

$$\Delta f = f_{max} - f_{min}$$

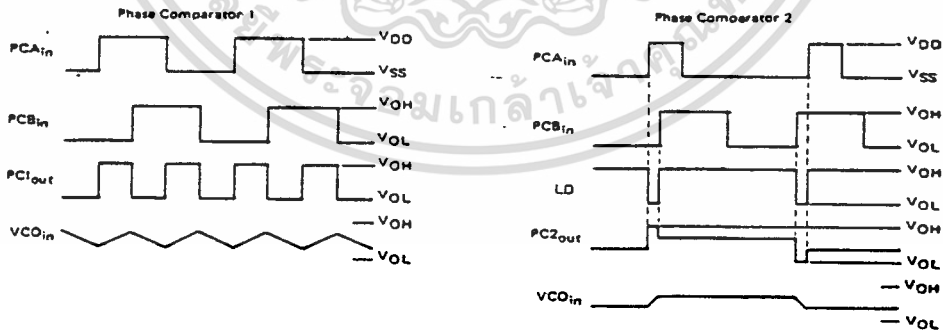
Note: Sometimes R3 is split into two series resistors each R3/2. A capacitor C<sub>C</sub> is then placed from the midpoint to ground. The value for C<sub>C</sub> should be such that the corner frequency of this network does not significantly affect ω<sub>n</sub>. In Figure 8, the ratio of R3 to R4 sets the damping, R4 ≈ (0.1)(R3) for optimum results.

### LOW-PASS FILTER

Definitions: N = Total division ratio in feedback loop  
 $K_0 = V_{DD}/\pi$  for Phase Comparator 1  
 $K_0 = V_{DD}/4\pi$  for Phase Comparator 2  
 $KVCO = \frac{2\pi\Delta f VCO}{V_{DD}-2V}$   
 for a typical design  $\omega_n \approx \frac{2\pi f_r}{10}$  (at phase detector input)  
 $\zeta \approx 0.707$

Filter A	Filter B
$\omega_n = \frac{K_0 KVCO}{NR_3 C_2}$	$\omega_n = \frac{K_0 KVCO}{NC_2(R_3+R_4)}$
$\zeta = \frac{N\omega_n}{2K_0 KVCO}$	$\zeta = 0.5\omega_n(R_3 C_2 + \frac{N}{K_0 KVCO})$
$F(s) = \frac{1}{R_3 C_2 s + 1}$	$F(s) = \frac{R_3 C_2 s + 1}{S(R_3 C_2 + R_4 C_2) + 1}$

### Waveforms



Note: for further information, see:

- (1) F. Gardner, "Phase-Lock Techniques", John Wiley and Son, New York, 1966.
- (2) G. S. Moschytz, "Miniature RC Filters Using Phase-Locked Loop", BSTJ, May, 1965.
- (3) Garth Nash, "Phase-Lock Loop Design Fundamentals", AN-535, Motorola Inc.
- (4) A. B. Przedpejski, "Phase-Locked Loop Design Articles", AR254, reprinted by Motorola Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**National Semiconductor**

**Industrial/Automotive/Functional Blocks/Telecommunications**

## LM567/LM567C Tone Decoder

### General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

### Features

- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability
- Bandwidth adjustable from 0 to 14%

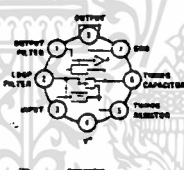
- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

### Applications

- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

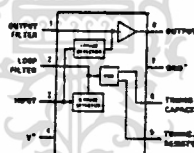
### Schematic and Connection Diagrams

Metal Can Package

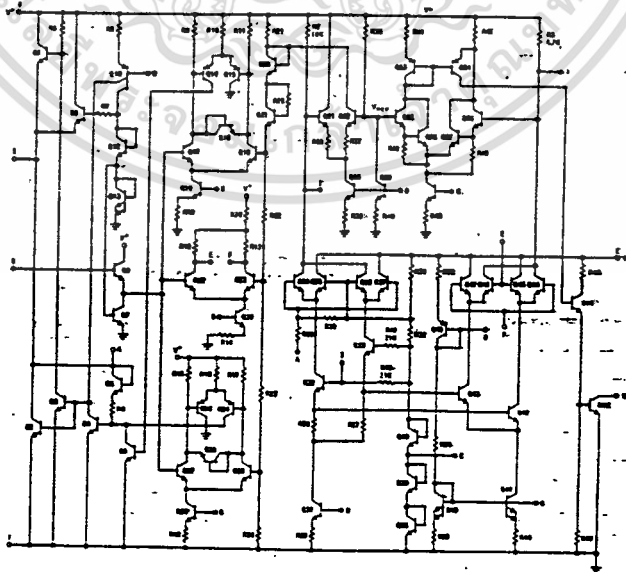


Order Number LM567H or LM567CH  
See NS Package H08C.

Dual-In-Line Package



Order Number LM567CN  
See NS Package N08B.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage Pin	10V
Power Dissipation (Note 1)	300 mW
$V_S$	15V
$V_I$	-10V
$V_O$	$V_S + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

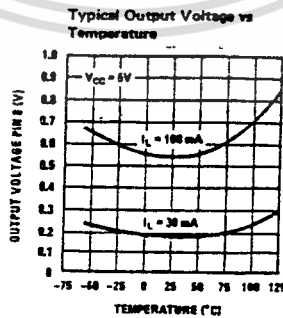
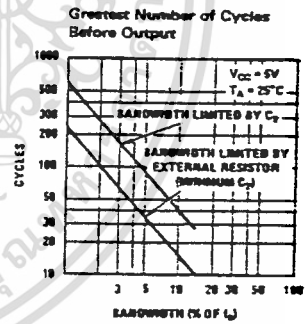
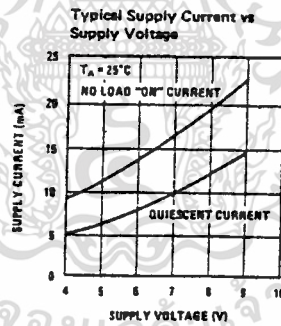
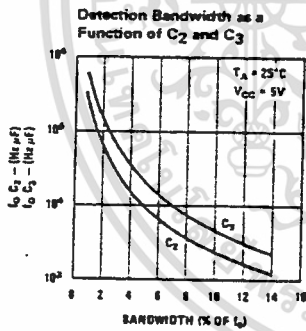
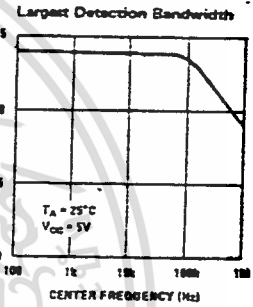
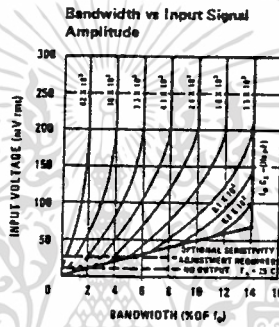
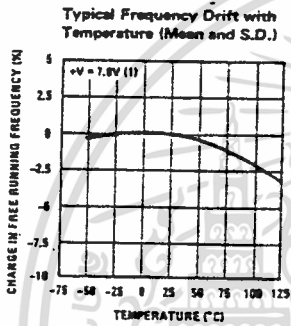
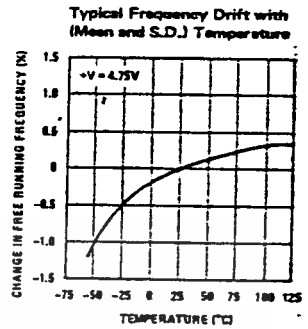
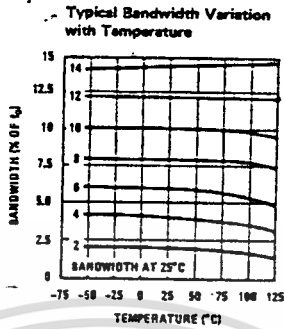
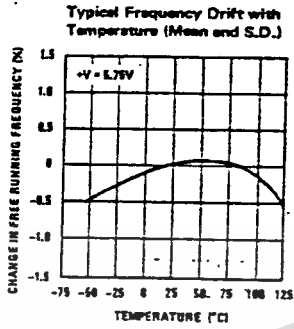
## Electrical Characteristics (AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_C = 5V$ )

PARAMETERS	CONDITIONS	LM567			LM567C/LM567CN			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current	$R_L = 20k$							
Quiescent			6	8		7	10	mA
Power Supply Current	$R_L = 20k$							
Activated			11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20	22	15	20	25	k $\Omega$
Smallest Detectable Input Voltage	$I_C = 100 \text{ mA}$ , $f_i = f_o$		20	25		20	25	mV/rms
Largest No Output Input Voltage	$I_C = 100 \text{ mA}$ , $f_i = f_o$	10	15		10	15		mV/rms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	$f_o = 140 \text{ kHz}$		-6			-6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of $f_o$
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of $f_o$
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			$\pm 0.1$	0.25		$\pm 0.1$	0.5	%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75V - 6.75V		$\pm 1$	$\pm 2$		$\pm 1$	$\pm 5$	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability	$0 < T_A < 70$		$35 \pm 60$			$35 \pm 60$		ppm/°C
	$-55 < T_A < +125$		$35 \pm 140$			$35 \pm 140$		ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V - 6.75V		0.5	1.0		0.4	2.0	%V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			$f_o/20$			$f_o/20$		
Output Leakage Current	$V_S = 15V$		0.01	25		0.01	25	$\mu\text{A}$
Output Saturation Voltage	$e_i = 25 \text{ mV}$ $I_B = 30 \text{ mA}$ $e_i = 25 \text{ mV}$ $I_B = 100 \text{ mA}$		0.2	0.4		0.2	0.4	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

Note 1: The maximum junction temperature of the LM567 is 150°C, while that of the LM567C and LM567CN is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 187°C/W, junction to ambient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

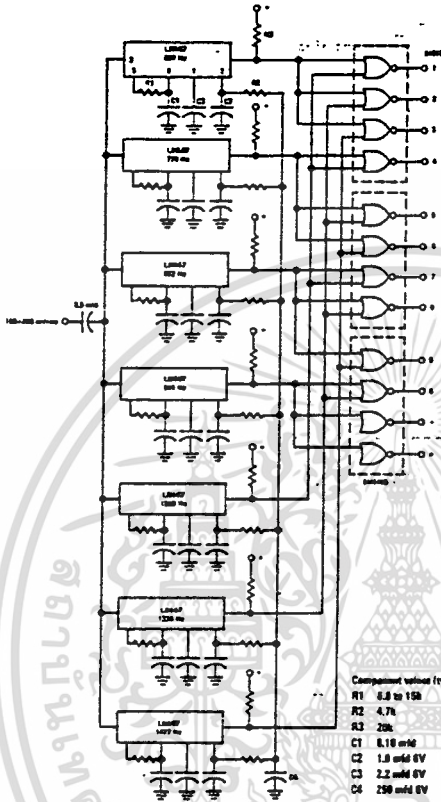
# Typical Performance Characteristics



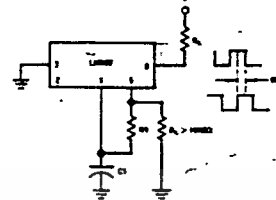
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications

### Touch-Tone Decoder

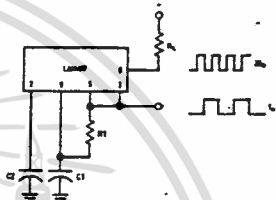


### Oscillator with Quadrature Output

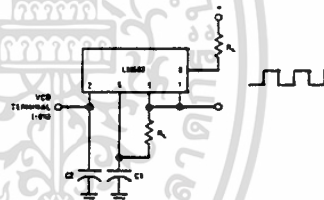


Connect pin 3 to 2.5V to invert output.

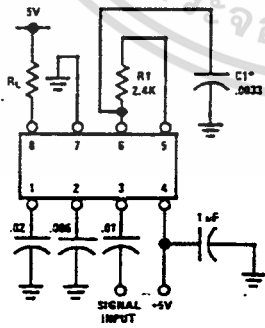
### Oscillator with Double Frequency Output



### Precision Oscillator Drive 100 mA Loads



## AC Test Circuit



$f_0 = 100 \text{ kHz} \pm 5\%$

\*Note: Adjust for  $f_0 = 100 \text{ kHz}$ .

## Applications Information

The center frequency of the tone decoder is equal to the free running frequency of the VCO. This is given by

$$f_0 \cong \frac{1}{R_1 C_1}$$

The bandwidth of the filter may be found from the approximation

$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_1}{f_0 C_2}} \text{ in \% of } f_0$$

Where:

$V_1$  = Input voltage (volts rms),  $V_1 \leq 200 \text{ mV}$

$C_2$  = Capacitance at Pin 2 ( $\mu\text{F}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier

### General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value up to 200.

The inputs are ground referenced while the output is automatically biased to one half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

### Features

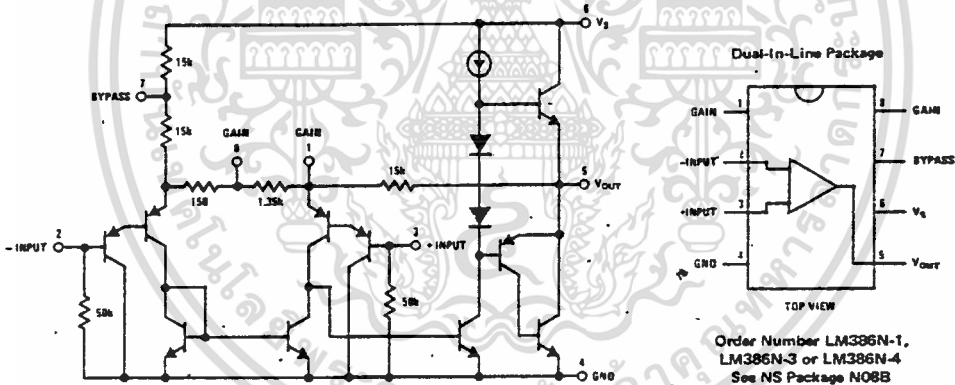
- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain 4 mA

- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion
- Eight pin dual-in-line package

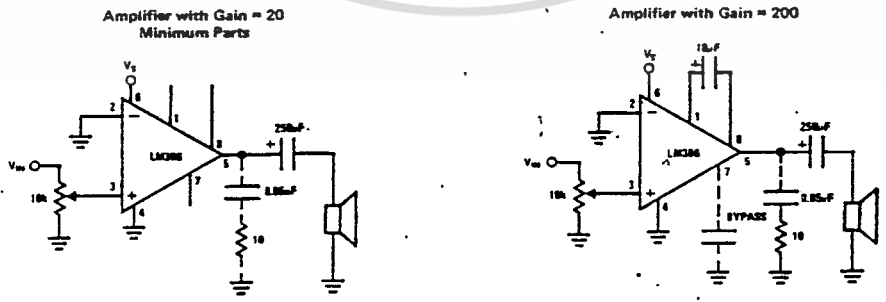
### Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

### Equivalent Schematic and Connection Diagrams



### Typical Applications





## Operational Amplifiers/Buffers

### LM158/LM258/LM358, LM158A/LM258A/LM358A, LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

#### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5 V<sub>DC</sub> power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15 V<sub>DC</sub> power supplies.

#### Unique Characteristics

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

#### Advantages

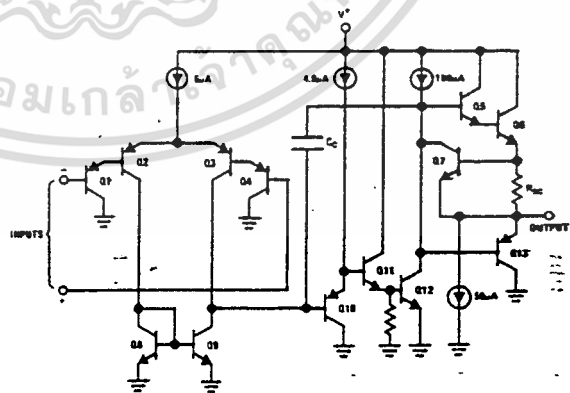
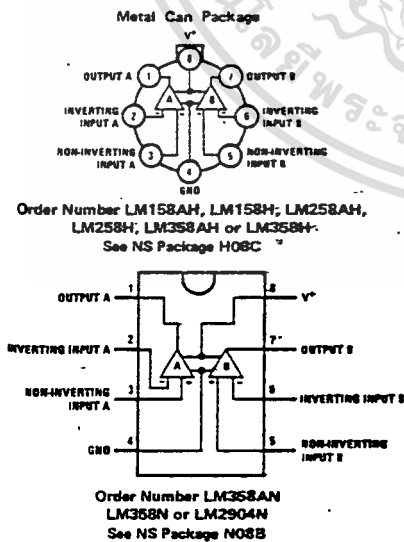
- Eliminates need for dual supplies
- Two internally compensated op amps in a single package

- Allows directly sensing near GND and V<sub>OUT</sub> also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual operational amplifier

#### Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply 3 V<sub>DC</sub> to 30 V<sub>DC</sub>
  - or dual supplies ±1.5 V<sub>DC</sub> to ±15 V<sub>DC</sub>
- Very low supply current drain (500 μA) — essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V<sub>DC</sub>)
- Low input biasing current 45 nA<sub>DC</sub> (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV<sub>DC</sub> and offset current 5 nA<sub>DC</sub>
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V<sub>DC</sub> to V<sup>+</sup> - 1.5 V<sub>DC</sub>

#### Connection Diagrams (Top Views) Schematic Diagram (Each Amplifier)

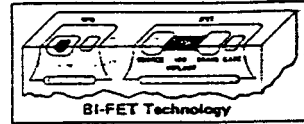


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Operational Amplifiers/Buffers

## LF155/LF156/LF157 Series Monolithic JFET Input Operational Amplifiers



- LF155, LF155A, LF255, LF355, LF355A, LF355B low supply current
- LF156, LF156A, LF256, LF356, LF356A, LF356B wide band
- LF157, LF157A, LF257, LF357, LF357A, LF357B wide band decompensated ( $A_{V_{MIN}} = 5$ )

### General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents, low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

### Common Features

(LF155A, LF156A, LF157A)

- Low input bias current 30 pA
- Low Input Offset Current 3 pA
- High input impedance  $10^{12} \Omega$
- Low input offset voltage 1 mV
- Low input offset voltage temperature drift  $3 \mu V/^{\circ}C$
- Low input noise current  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio 100 dB
- Large dc voltage gain 106 dB

### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (10,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

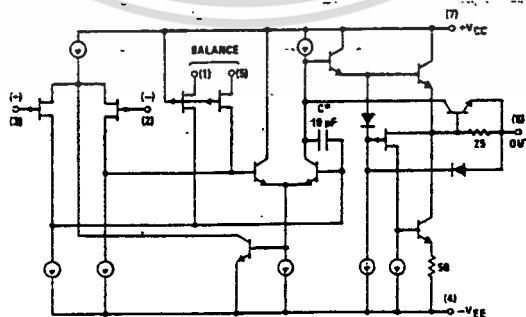
### Uncommon Features

	LF155A	LF156A	LF157A ( $A_V = 5$ )*	UNITS
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu s$
■ Fast slew rate	5	12	50	$V/\mu s$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$nV/\sqrt{\text{Hz}}$

### Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers
- Logarithmic amplifiers

### Simplified Schematic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้