



การพัฒนาระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

A DEVELOPMENT OF AN ECG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE



วัน เดือน ปี.....-1 ค.ศ 2541.....
เลขทะเบียน.....0.3.8.3.9.0.....
เลขเรียกหนังสือ.....T.294.10.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038390

การพัฒนาระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านตู้สายโทรศัพท์

A DEVELOPMENT OF AN ECG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2539 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

โดย

1. นายอนุวัฒน์ พลอยกระโทก
2. นายจักรพันธ์ ยอดสุข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

A DEVELOPMENT OF ECG MONITORING SYSTEM VIA TELEPHONE LINE

นายอนุวัฒน์ พลอยกระโทก 37013227

นายจักรพันธ์ ยอดสุข 37013236

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



(ดร.กิตติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

นายอนุวัฒน์ พลอยกระโทก

นายจักรพันธ์ ยอดสุข

ดร.กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจ เป็นสัญญาณที่มีความสำคัญทางการแพทย์มากอีกคลื่นหนึ่ง เพราะแพทย์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติของหัวใจของผู้ป่วยที่เกิดขึ้นโดยการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้ เนื่องจากในความเป็นจริง อาการของโรคหัวใจมักจะเป็นๆหายๆ กล่าวคือในขณะที่ผู้ป่วยเกิดอาการของโรค และเดินทางไปพบแพทย์ จากธรรมชาติของโรคหัวใจที่กล่าวมาและสภาพการจราจรที่ติดขัดในปัจจุบัน อาการอาจจะหายไปในขณะที่ผู้ป่วยกำลังเดินทาง ทำให้ไม่แพทย์ไม่สามารถวินิจฉัยสภาพหัวใจของผู้ป่วยในขณะที่กำลังมีอาการได้ ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยผ่านทางคู่สายโทรศัพท์ และประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการแสดงผลและจัดเก็บสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ใช้การ์ดแปลงสัญญาณ ADDA-12 A/D เพื่อแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้สามารถแสดงผลโดยคอมพิวเตอร์ได้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญาโท	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาของโครงการ	2
บทที่ 2 ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	3
2.1 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	3
2.2 อิเล็กทรอนิกส์	5
บทที่ 3 ระบบการรับส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์	8
3.1 วงจรทางด้านภาคส่ง	8
3.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน	8
3.1.2 วงจรลดทอนความถี่ 50 Hz	10
3.1.3 วงจรยกระดับแรงดันอ้างอิง	11
3.1.4 วงจรมอดูเลชันทางความถี่	11
3.2 วงจรโทรศัพท์	13
3.2.1 วงจร Hook Switch	16
3.2.2 วงจร Speech Network	17
3.2.3 วงจรสร้างสัญญาณ DTMF และชุด Memory	17
3.2.4 วงจรควบคุมการเรียกโทรศัพท์อัตโนมัติ	18
3.2.5 วงจรตรวจสอบสัญญาณสายไม่ว่าง	18
3.3 วงจรทางด้านภาครับ	20
3.3.1 วงจร Telephone Interface	21
3.3.2 วงจร Ringing Counter	22

3.3.3	วงจร FM Demodulator	23
3.3.4	วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	24
3.4	โปรแกรมควบคุมการทำงาน	25
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	27
4.1	การทดลองวงจรทางด้านภาคส่ง	27
4.1.1	วงจร Instrumentation Amplifier	26
4.1.2	วงจร 50-Hz Notch Filter	29
4.1.3	วงจร FM Modulator	30
4.2	การทดลองวงจรทางด้านภาครับ	31
4.2.1	วงจร Telephone Interface	31
4.2.2	วงจร FM Demodulator	32
4.3	การทดลองรับสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์	33
บทที่ 5	สรุปผลและวิจารณ์โครงการ	38
5.1	คุณสมบัติโดยรวมของโครงการ	38
5.2	แนวทางการประยุกต์ใช้โครงการ	38
5.3	แนวทางการพัฒนาโครงการ	38
ภาคผนวก		40
ก.	การใช้งานโครงการ	40
ข.	คู่มือการใช้งานการ์ด ADDA-12	43
ค.	การออกแบบวงจร FM Modulator และ Demodulator	48
ง.	การออกแบบวงจร Instrumentation Amplifier	52
จ.	การออกแบบวงจร 50-Hz Notch Filter	54
ฉ.	โปรแกรมแสดงผล	56
ช.	รวมวงจรที่ใช้ในโครงการ	85
ซ.	แผ่นข้อมูลไอซี 4046	88
ณ.	แผ่นข้อมูลไอซี OP-07	94
บรรณานุกรม		104
กิตติกรรมประกาศ		105

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	3
2.3 วงจร Basic Instrumentation Amplifier	5
2.4 อิเล็กโทรด	6
2.5 โครงสร้างภายในของอิเล็กโทรดชนิด Silver-silver chloride	6
2.6 ตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนร่างกายแบบ Standard limb leads	7
3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	8
3.2 วงจร Instrumentation Amplifier	9
3.3 วงจร 50-Hz Notch Filter	10
3.4 วงจร Level Shifter	11
3.5 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐาน FM Modulation	12
3.6 บล็อกไดอะแกรมภายในไอซี 4046	12
3.7 วงจร Frequency Modulator	13
3.8 บล็อกไดอะแกรมชุดเรียกเลขหมายโทรศัพท์อัตโนมัติ	14
3.9 วงจรผลิตความถี่ 480 kHz และวงจร Reset	15
3.10 รูปคลื่นวงจร Reset ที่จุดต่างๆ	15
3.11 วงจร Hook Switch	16
3.12 วงจร Speech Network	17
3.13 วงจร DTMF และ Memory	18
3.14 วงจรควบคุมโทรศัพท์	19
3.15 วงจรตรวจสอบและแสดงสัญญาณ Busy Tone	19
3.16 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ	20
3.17 วงจร Telephone Interface	21
3.18 วงจร Ringing Counter	23
3.19 วงจร FM Demodulator	24
3.20 วงจรขยายสัญญาณจากวงจร FM Demodulator	24
3.21 ไฟร์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมแสดงผล	26

4.1	กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Instrumentation Amplifier	34
4.2	กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร 50-Hz Notch Filter	35
4.3	กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Telephone Interface	36
4.4	รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอมอนิเตอร์	37
ก.1	หน้าจอเข้าสู่โปรแกรม	42
ก.1	การใช้งาน ไอซี 4046 เป็น FM Modulator	48
ก.2	การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจร VCO เมื่อความถี่ออฟเซตเป็นศูนย์	49
ก.3	การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจร VCO เมื่อความถี่ออฟเซตเท่ากับ f_{MIN}	49
ก.4	การใช้งาน ไอซี 4046 เป็น FM Demodulator	51
ง.1	วงจร Basic Instrumentation Amplifier	52
จ.1	กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Notch Filter	54
จ.2	วงจร Notch Filter	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญาพนธ์

ในปัจจุบัน สถิติการเสียชีวิตของมนุษย์ที่มีสาเหตุมาจากโรคหัวใจอยู่ในอันดับต้นๆ โรคหัวใจในระยะเริ่มต้นมักจะไม่มีแสดงอาการให้ผู้ป่วยเห็นได้อย่างชัดเจน แต่แพทย์สามารถทราบได้ว่าผู้ป่วยกำลังเกิดโรคหัวใจ โดยการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย และสืบเนื่องมาจากที่ในปัจจุบัน สภาวะเศรษฐกิจรัดตัว ทำให้ผู้คนมีเวลาพักผ่อนและออกกำลังกายไม่พอเพียง จึงเกิดโรคหัวใจได้ง่าย อาการของโรคหัวใจมักจะเป็นๆหายๆ ซึ่งอาจจะทำให้เมื่อผู้ป่วยเกิดอาการของโรคหัวใจและเดินทางไปพบแพทย์ อาการนั้นอาจจะหายไปในช่วงที่ผู้ป่วยกำลังเดินทาง และผู้ป่วยกลับสู่สภาพปกติ ทำให้แพทย์ไม่สามารถวิเคราะห์อาการได้ ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนาการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านโดยผ่านทางคู่สายโทรศัพท์ อันจะทำให้ผู้ป่วยสามารถส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจของตนเองมาให้แพทย์วิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องมาพบแพทย์ด้วยตัวเอง นอกจากนั้นคนปกติทั่วไปที่ไม่ได้เป็นโรคหัวใจ ก็สามารถส่งสัญญาณคลื่นหัวใจของตนเองมาให้แพทย์ตรวจวิเคราะห์ได้ เพื่อป้องกันอาการของโรคหัวใจที่อาจจะเกิดขึ้น

โครงการชุดนี้เป็นโครงการซึ่งได้พัฒนาต่อเนื่องจากโครงการชื่อ ระบบตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์ เมื่อปีการศึกษา 2538 เพื่อปรับปรุงระบบการรับส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้มีประสิทธิภาพและสะดวกมากยิ่งขึ้น การปรับปรุงในครั้งนี้ทำทั้งทางด้านภาคส่งและภาครับ ทางด้านภาคส่งหรือด้านตัวผู้ป่วยมีการจัดเก็บเลขหมายโทรศัพท์ของโรงพยาบาลไว้ในหน่วยความจำของโทรศัพท์ และเมื่อต้องการส่งคลื่นไฟฟ้าหัวใจก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่มพิเศษบนตัวเครื่อง ซึ่งการกดปุ่มพิเศษดังกล่าว เครื่องโทรศัพท์จะดำเนินการส่งสัญญาณให้โดยอัตโนมัติ ตั้งแต่การยกหูโทรศัพท์ การหมุนหมายเลข การส่งสัญญาณ และการวางหูโทรศัพท์ นอกจากนั้นยังสามารถแสดงให้เห็นทราบได้ว่าเลขหมายปลายทางว่างหรือไม่ ส่วนทางด้านภาครับหรือโรงพยาบาล มีส่วนรับโทรศัพท์อัตโนมัติซึ่งควบคุมด้วยโปรแกรมและมีโปรแกรมแสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจไปให้แพทย์วิเคราะห์ โดยที่ผู้ป่วยไม่ต้องเดินทางไปพบแพทย์ด้วยตัวเอง

2. ปรับปรุงระบบการรับส่งคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการรับสัญญาณและการแสดงสัญญาณ

3. เพื่อพัฒนาเทคนิคและวิธีการในการตรวจวินิจฉัยโรคหัวใจ
4. เพื่อประยุกต์การรับส่งสัญญาณใดๆ ผ่านทางคู่สายโทรศัพท์ และแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์

1.8 เนื้อหาของโครงการ

โครงการนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงองค์ประกอบของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และคุณสมบัติของอุปกรณ์ในระบบการตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวความคิดและการออกแบบสร้างระบบแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านทางคู่สายโทรศัพท์ ซึ่งจะอธิบายการทำงานของระบบในส่วนของฮาร์ดแวร์ ทั้งทางด้านภาคส่งและภาครับ รวมทั้งโปรแกรมควบคุมและแสดงผลสัญญาณ

บทที่ 4 เป็นการทดลองโครงการ ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ เช่นการตอบสนองความถี่ ความถี่ทำงานสูงสุดและต่ำสุดวงจรต่างๆที่ใช้ในโครงการ

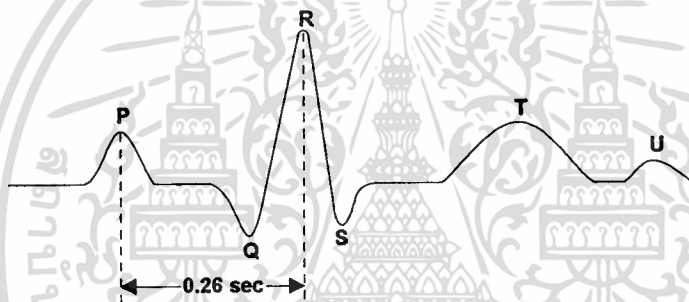
บทที่ 5 เป็นสรุปผลและวิจารณ์การทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงคุณสมบัติโดยรวมของโครงการ รวมทั้งแนวทางการประยุกต์ใช้งาน โครงการในด้านอื่นๆ และแนวทางการพัฒนาโครงการให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ภาคผนวก มีข้อมูลไอซีที่ใช้ในโครงการ แนวทางการออกแบบวงจรที่ใช้ในโครงการ การใช้งานการ์ดแปลงสัญญาณ ไฟล์ต้นแบบของโปรแกรมแสดงผลสัญญาณ คู่มือการใช้โปรแกรม และวงจรทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ

บทที่ 2

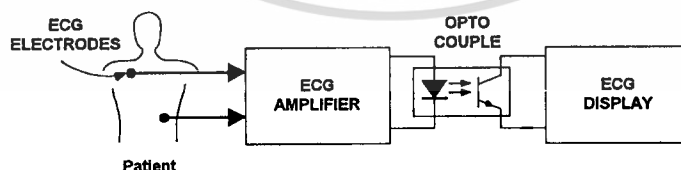
ระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram ; ECG หรือ EKG) เป็นศักดาที่ผลิตโดยกล้ามเนื้อหัวใจ สัญญาณ ECG ถูกผลิตขึ้นทุกๆครั้งที่หัวใจสูบฉีดโลหิต ส่วนประกอบของสัญญาณ ECG มีอยู่หลายส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.1 แต่ละส่วนประกอบเกิดขึ้นจากขั้นตอนการกระตุ้นต่างๆในหัวใจ สัญญาณนี้สามารถตรวจวัดได้ที่ทุกๆจุดบนผิวหนัง ส่วนประกอบที่ขนาดใหญ่ที่สุดในสัญญาณ ECG คือ QRS complex ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่หัวใจสูบฉีดโลหิตไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย



รูปที่ 2.1 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงดังรูปที่ 2.2 ระบบประกอบไปด้วยอิเล็กโทรด วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และอุปกรณ์แสดงผลสัญญาณ



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

2.1 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เป็นวงจรขยายที่มีความพิเศษกว่าวงจรขยายสัญญาณทั่วไป อยู่หลายประการ คุณสมบัติที่สำคัญๆของวงจรมีดังต่อไปนี้ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายสูง เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีขนาดเพียงประมาณ 1 mV มีความถี่อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 100 Hz ในการขยายสัญญาณจึงต้องใช้วงจรขยายที่มีอัตราขยายสูงมากตลอดช่วงความถี่ดังกล่าว เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความแรงมากพอ และแสดงผลได้โดยไม่มีเสียงรบกวน

CMRR สูง ค่า CMRR หรือ Common Mode Rejection Ratio เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายสัญญาณโหมดต่าง (differential mode) ต่ออัตราขยายสัญญาณโหมดร่วม (common mode) CMRR เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวงจรขยาย เนื่องจากจะบ่งบอกว่าวงจรขยายสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนโหมดร่วมได้ดีเพียงใด วงจรขยายที่มีค่า CMRR สูงกว่าจะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้มากกว่า วงจรขยายสัญญาณที่ดีจะต้องมีอัตราขยายสัญญาณโหมดต่างสูง และมีอัตราขยายสัญญาณโหมดร่วมต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการขยายซึ่งในกรณีนี้สัญญาณ ECG จะถูกป้อนเข้าไปที่อินพุตในลักษณะของสัญญาณโหมดต่าง สัญญาณรบกวนจากกระแสไฟสลับความถี่ 50 Hz จะเข้าไปที่อินพุตในลักษณะสัญญาณโหมดร่วม ดังนั้นถ้าวงจรมีค่า CMRR สูงก็ย่อมหมายความว่า จะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนออกไปได้มาก

ค่าความต้านทานอินพุต (Input Impedance) สูงมาก เนื่องจากในการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจนั้น ไม่ได้วัดที่หัวใจโดยตรง แต่จะใช้ขั้วอิเล็กโทรดติดที่ผิวหนังบริเวณ แขน ขา และทรวงอก จึงทำให้เกิดความต้านทานที่บริเวณผิวหนังสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรดและผิวหนัง ค่าความต้านทานมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.8 MΩ ดังนั้นวงจรขยายจึงต้องมีความต้านทานอินพุตสูงมากๆ เมื่อเทียบกับความต้านทานตรงบริเวณผิวหนังสัมผัส ทั้งนี้เพื่อป้องกันการลดทอนของสัญญาณ

มีการตอบสนองความถี่ที่ดี ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีความถี่อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 100 Hz ดังนั้นวงจรขยายจะต้องขยายสัญญาณในช่วงความถี่นี้ได้โดยที่สัญญาณไม่ถูกลดทอน วงจรขยายที่ใช้จึงต้องเป็นวงจรขยายสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำ

จากคุณสมบัติของวงจรขยายที่กล่าวมาข้างต้น วงจรที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentation Amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

จากวงจรพื้นฐานในรูป U_1 , U_2 และ U_3 เป็นออปแอมป์ที่มีภาคอินพุตเป็น FET ทำให้มีความต้านทานอินพุตสูงมาก โดยที่ U_1 และ U_2 เป็นบัฟเฟอร์ ในขณะที่ U_3 เป็นวงจรขยายความแตกต่างและช่วยลดทอนสัญญาณรบกวนโหมดร่วม การออกแบบวงจรนี้สามารถศึกษาได้จากภาคผนวกท้ายปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งมาตรฐานการติดอิเล็กโทรด (Standard Limb Leads)

การติดอิเล็กโทรดบนผิวหนังสามารถติดที่ตำแหน่งใดๆก็ได้ อย่างไรก็ตามที่ตำแหน่งต่างกัน สัญญาณที่วัดได้จะมีแอมพลิจูดและเฟสแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดตำแหน่งมาตรฐานการ

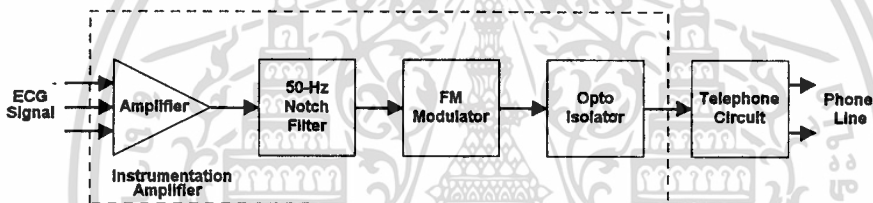
บทที่ 3

ระบบการรับส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์

ระบบการตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในโครงการนี้ ประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ทางด้านภาคส่งและภาครับ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 วงจรทางด้านภาคส่ง

ทางด้านภาคส่งประกอบไปด้วย วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ วงจรผสมสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ากับคลื่นพาห์ และวงจรโทรศัพท์อัตโนมัติ บล็อกโคเดแกรมของวงจรทางด้านภาคส่งแสดงดังรูปที่ 3.1 การทำงานโดยรวมของวงจรสามารถสรุปได้ดังนี้



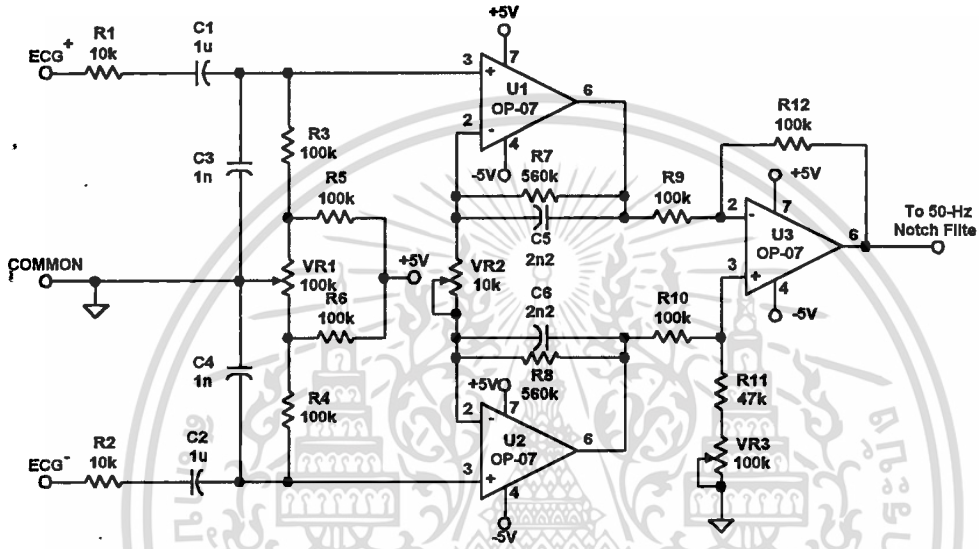
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เมื่อติดอิเล็กโทรดจำนวน 3 ชั้นบนผิวหนังบริเวณทรวงอก สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะถูกขยายโดยวงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifier) ต่อจากนั้นสัญญาณรบกวน 50 Hz ที่อาจจะหลงเหลือจากวงจรขยายอินสทรูเมนต์ จะถูกกำจัดอีกครั้งโดยวงจร 50-Hz Notch Filter สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะถูกนำมอดูเลตทางความถี่กับคลื่นพาห์โดยวงจร FM Modulator สัญญาณเอฟเอ็มถูกส่งผ่านออปโตไอโซเลเตอร์ไปยังวงจรโทรศัพท์เพื่อส่งสัญญาณไปยังคู่สายโทรศัพท์

3.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสทรูเมนต์ชั้น (Instrumentation Amplifier)

วงจร Instrumentation Amplifier แสดงดังรูปที่ 3.2 วงจรประกอบไปด้วย buffer amplifier U_1 และ U_2 ต่อร่วมกับวงจรขยายความแตกต่าง U_3 ด้วยคุณสมบัติของ buffer amplifier วงจรขยายความแตกต่างและการเลือกใช้อุปกรณ์ Bi-MOS เป็นตัวขยายสัญญาณ จึงทำให้วงจร Instrumentation amplifier มีความต้านทานอินพุตสูงมากและสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคร่วมได้ ตัวต้านทาน VR_2 ทำหน้าที่ปรับอัตราขยายรวมทั้งหมดของวงจร VR_3 ทำหน้าที่ชดเชยความไม่แม่นยำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(match) กันของตัวต้านทาน $R_9 - R_{12}$ เนื่องจากถ้าตัวต้านทานเหล่านี้ไม่แมตช์กัน วงจรจะไม่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนโหมคร่วมได้ คาปาซิเตอร์ C_5 และ C_6 ป้องกันการออสซิลเลทของ U_1 และ U_2 ที่ความถี่สูง ตัวต้านทาน VR_1 และ R_3 ถึง R_5 ทำหน้าที่ยกระดับแรงดันต่ำสุดของสัญญาณให้อยู่เหนือระดับศูนย์ การออกแบบวงจรนี้สามารถศึกษาได้จากภาคผนวกท้ายปริญญาโท



รูปที่ 3.2 วงจร Instrumentation Amplifier

จากแนวทางการออกแบบวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชันในภาคผนวก เมื่อปรับตัวต้านทาน VR_3 ให้ผลบวกของ R_{11} และ VR_3 เท่ากับ $100\text{ k}\Omega$ ในทางทฤษฎีจะได้อัตราขยายสัญญาณโหมคร่วมเท่ากับศูนย์และอัตราขยายสัญญาณโหมคร่งเท่ากับ

$$A_d = \frac{V_o}{(ECG^- - ECG^+)} = \frac{R_{12}}{VR_2 R_9} (VR_2 + Z_1 + Z_2) = \frac{VR_2 + Z_1 + Z_2}{VR_2}$$

โดยที่ Z_1 และ Z_2 เป็นความต้านทานรวมของ R_7 ขนานกับ C_5 และ R_8 ขนานกับ C_6 ตามลำดับ อัตราขยายสัญญาณจะมีค่าลดลงที่ความถี่สูง อันเนื่องมาจากค่าคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ของ C_5 และ C_6 มีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น แต่สามารถป้องกันการออสซิลเลทของออปแอมป์ U_1 และ U_2 ได้ วงจรนี้ใช้งานที่ช่วงความถี่ระหว่าง 0.2 ถึง 100 Hz ซึ่งเป็นช่วงสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ถ้าพิจารณาที่ความถี่สูงสุดคือ 100 Hz อัตราขยายสัญญาณของวงจรมีค่าเท่ากับ 64.13 เมื่อ VR_2 มีค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรลทอนความถี่ 50 Hz แบบ Notch (50 Hz Notch Filter)

ถึงแม้ว่าในวงจรขยายสัญญาณภาคแรกจะมีวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งมีคุณสมบัติลทอนสัญญาณรบกวนโหมคร่วมได้ แต่ก็ไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนจากไฟบ้าน 50 Hz ออกไปได้ วงจรกำจัดสัญญาณความถี่ 50 Hz นี้จะลทอนสัญญาณรบกวนดังกล่าว

วงจรประกอบไปด้วยวงจร Twin-T network ต่อร่วมกับออปแอมป์ U_{4A} และ U_{4B} ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ โดยที่วงจร Twin-T มีค่าความถี่คutoff สองความถี่คือความถี่คutoff ด้านต่ำและความถี่คutoff ด้านสูง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 50 Hz บัฟเฟอร์ U_{4A} และ U_{4B} ทำหน้าที่ป้องกันการโหลดของวงจรจากวงจรอื่น ความถี่ศูนย์กลางของวงจรถูกกำหนดด้วยตัวต้านทาน R₁₄ ถึง R₁₉ และคาปาซิเตอร์ C₇ ถึง C₁₀ จากแนวทางการออกแบบวงจรในภาคผนวก ความถี่ศูนย์กลางของวงจรคือ

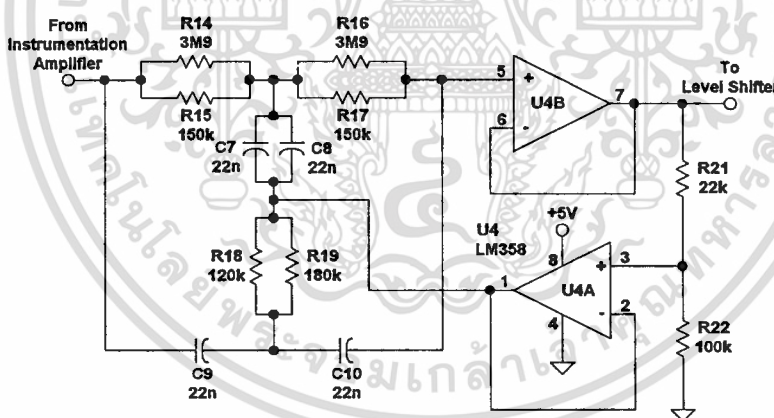
$$f_o = \frac{1}{2\pi(R_{14} // R_{15})C_9}$$

ซึ่งมีค่าประมาณ 50 Hz

ตัวต้านทาน R₂₁ และ R₂₂ ทำหน้าที่กำหนด Quality factor หรือค่า Q ของวงจร โดยที่ค่า Q นี้มีความสัมพันธ์กับความถี่ศูนย์กลาง f_o และแถบความถี่ (bandwidth ;BW) ของวงจรตามสมการ

$$Q = \frac{f_o}{BW}$$

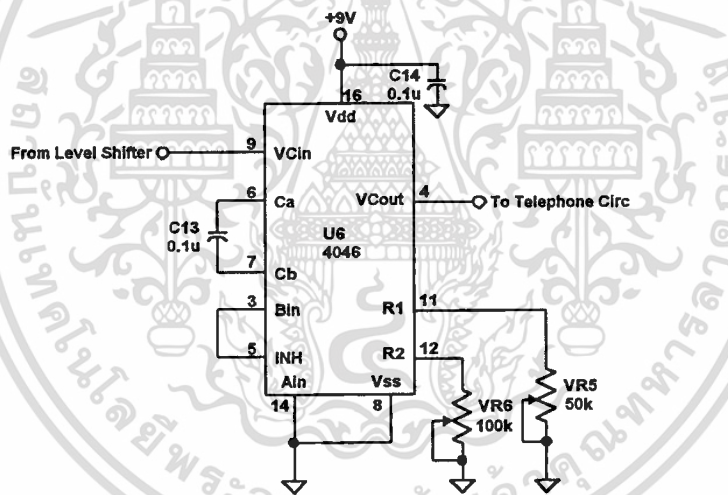
ถ้าค่า Q มีค่าสูงจะทำให้วงจรมีกราฟผลการตอบสนองความถี่ที่แหลมคมมาก อันจะทำให้วงจรสามารถกำจัดสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่ศูนย์กลางและความถี่ใกล้เคียงได้ดี



รูปที่ 3.3 วงจร 50- Hz Notch Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

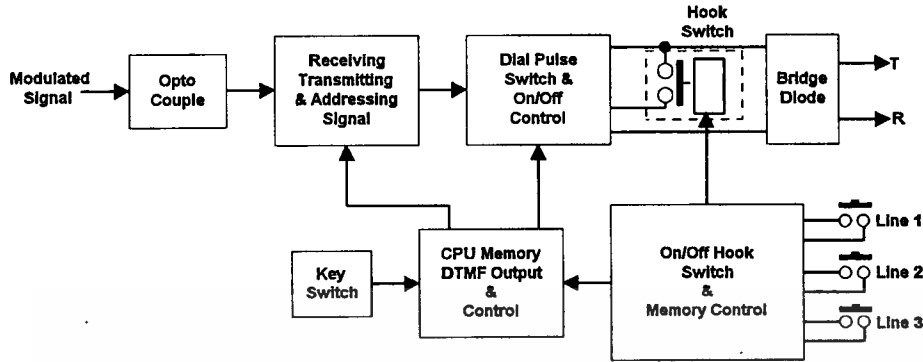
เมื่อนำไอซี 4046 มาต่อเป็นวงจร FM Modulator วงจรที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.7 คาปาซิเตอร์ C_{15} ค่า $0.1 \mu\text{F}$ และตัวต้านทานปรับค่าได้ VR_1 ค่า $50 \text{ k}\Omega$ และ VR_2 ค่า $100 \text{ k}\Omega$ เป็นตัวกำหนดความถี่ออฟเซ็ทและความถี่ศูนย์กลางของวงจรเพื่อมอดูเลตกับสัญญาณ ECG ส่งต่อไปยังวงจรโทรศัพท์ต่อไปโดยที่ความถี่ออฟเซ็ทเป็นความถี่ต่ำสุดที่วงจร VCO สามารถสวิงได้ และหากปล่อยขา 12 ของไอซี 4046 ลอยไว้วงจรจะมีความถี่ออฟเซ็ทเป็นศูนย์ ความถี่ศูนย์กลางก็คือความถี่ในสภาวะสงบของวงจร หรือเป็นความถี่เมื่อแรงดันควบคุม (แรงดันที่ขา 9) เท่ากับครึ่งหนึ่งของไฟเลี้ยง และเมื่อแรงดันที่ขา 9 เปลี่ยนแปลงไปก็จะทำให้ความถี่ของ VCO เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยที่ความถี่ต่ำสุดจะเท่ากับความถี่ออฟเซ็ท การกำหนดค่าของ C_{13} , VR_5 และ VR_6 จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟเลี้ยง ความถี่ออฟเซ็ท ความถี่ศูนย์กลางที่ต้องการ และสามารถศึกษาได้จากแผ่นข้อมูลของไอซี 4046 ในภาคผนวกท้ายปริญญาบัตร



รูปที่ 3.7 วงจร Frequency Modulation

3.2 วงจรโทรศัพท์

เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้ในการหมุนหมายเลข จึงออกแบบให้สามารถบันทึกเลขหมายโทรศัพท์เก็บไว้ในหน่วยความจำ และต้องการจะส่งสัญญาณก็เพียงแต่กดปุ่ม Line1, 2 หรือ 3 ซึ่งวงจรจะทำงานให้โดยอัตโนมัติ บล็อกไดอะแกรมของวงจรโทรศัพท์แสดงดังรูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของวงจรมีดังนี้



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมชุดเรียกเลขหมายโทรศัพท์อัตโนมัติ

1. Bridge Diode ทำหน้าที่ป้องกันการต่อคู่สายโทรศัพท์ผิดขั้ว
2. Hook Switch หรือชุดยกหูและวางหูโทรศัพท์
3. On/Off Control เป็นชุดไหลดคู่สายเพื่อทำการยกหูโทรศัพท์ ซึ่งทำให้ชุมสายโทรศัพท์ รับรู้การยกหูโทรศัพท์
4. Amp Receiving Transmitting and Address Signal Circuit หรือชุด speech network เป็นชุดที่ใช้ในการทำให้ชุดโทรศัพท์สามารถที่จะพูดสวนทางกันได้ ซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้วงจรสำเร็จรูปโดยใช้ไอซีเบอร์ IBA8215 (ของ National Semiconductor)
5. วงจร Memory, DTMF, Output and Control ใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ 1N9965 (ของ National semiconductor) ภายในประกอบไปด้วยชุดบันทึกเลขหมายโทรศัพท์ ชุดกำเนิดสัญญาณ DTMF และชุด Control
6. Keyboard switch เป็นสวิทช์กดเพื่อบันทึกเลขหมายโทรศัพท์
7. วงจร On/Off Hook Switch และ Memory Control วงจรจะรับรู้การกดหมายเลข เช่น กดสวิทช์ Line1 วงจรจะส่งสัญญาณไปควบคุมให้รีเลย์ทำการ Off Hook (ยกหู) และหลังจากที่ได้รับสัญญาณไดอัลโทน วงจรจะส่งสัญญาณไปให้ชุด Memory เพื่อให้ส่งสัญญาณ DTMF ที่บันทึกไว้ที่ Line1 ออกไปยังชุมสายโทรศัพท์

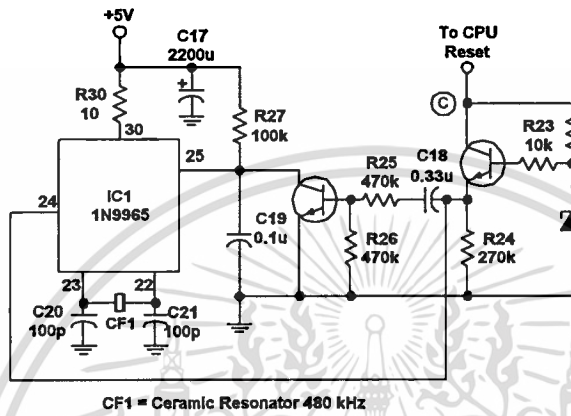
การใช้งานไอซี ในโครงการ

ในโครงการนี้ได้ใช้ไอซีชิพเบอร์ 1N9965 ภายในประกอบไปด้วยชุด Memory, DTMF และชุด Control ในการใช้งานนั้นจะต้องมีวงจรประกอบการใช้งาน 2 ส่วนคือ

1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ซึ่งในที่นี้ใช้ความถี่ 480 kHz

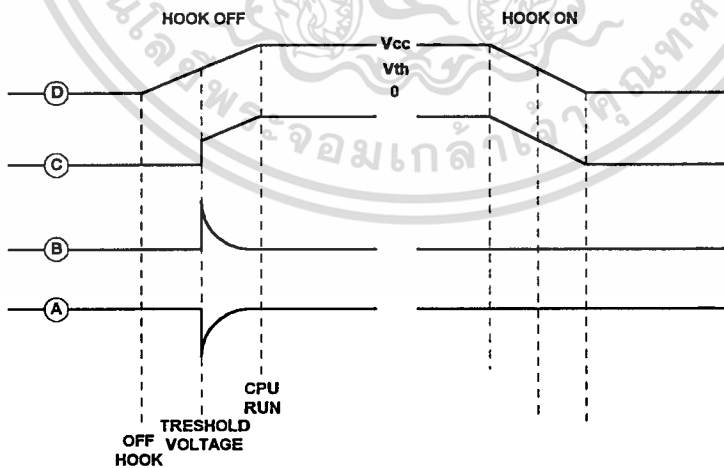
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจร Reset ทำหน้าที่ส่งสัญญาณรีเซ็ต (สัญญาณระดับ low) ให้ขา 24 ของซีพียู เมื่อวงจรอยู่ในสถานะ off hook เพื่อให้ซีพียูอยู่ในสภาวะเตรียมพร้อมจะทำงาน ซึ่งวงจรทั้งสองส่วนแสดงไว้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรผลิตความถี่ 480 kHz และวงจร RESET

จากรูป CF₁, C₃₅, C₃₆ เป็นวงจรผลิตความถี่ 480 kHz ให้แก่ CPU และอีกส่วนหนึ่งเป็นวงจร Reset ซึ่งการทำงานของวงจร สามารถอธิบายจากไดอะแกรมเวลาในรูปที่ 3.10 ได้ดังนี้



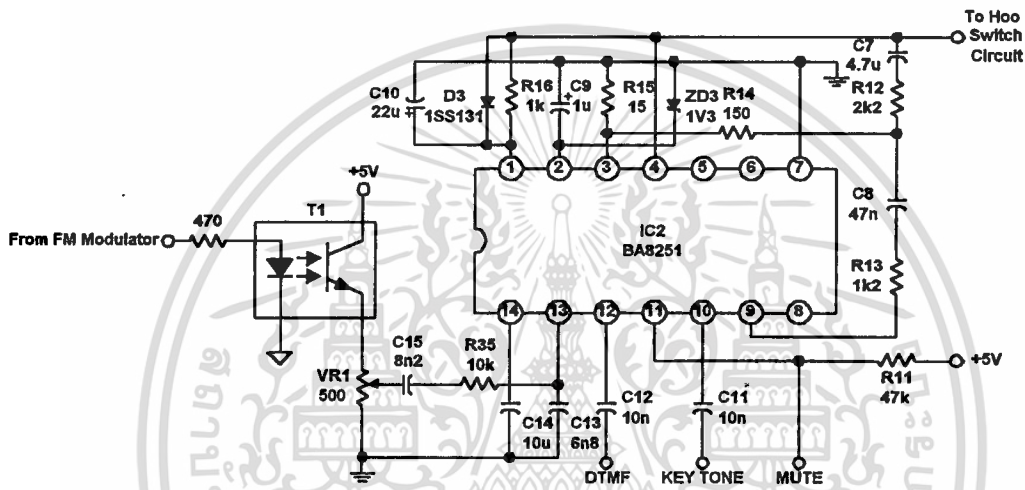
รูปที่ 3.10 รูปคลื่นของวงจร RESET ที่จุด A, B, C และ D ตามลำดับ

เมื่อกฎโทรศัพท์ วงจรจะอยู่ในสภาวะ Off Hook แรงดันที่จุด C จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงเออสารเป็นเออสารที่ส่งไปสำหรับการใช้งานเพื่อกระตุ้นที่จุด C นี้จะไม่ยอมลดให้ต่ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ระดับแรงดัน V_{th} จะทำให้ D₁₅ นำกระแส แล แรงดันนี้จะเป็นแรงดันไบอัสให้ Q₅ นำกระแสและ Q₆ ก็ไม่วารณมีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืทำงาน หลังจากทีวงจรถกหนุแล้ว วงจรโทรศัพทจะ ด้รับสัญญาณ ไดอัลโทนผ่านมาจาก D_1 ผ่าน Q_1 ต่อไปยัง R_9 เพื่อส่งต่อไปยังชุด speech network ต่อไป

3.2.2 วงจร Speech Network

เช่นเดียวกับในวงจรโทรศัพททั่วยไป วงจร speech network จะทำให้สามารถใช้โทรศัพทพูด ด้ตอบกัน ด้หรือเป็นทางผ่านของสัญญาณเสียง วงจรแสดงดังรูปที่ 3.12



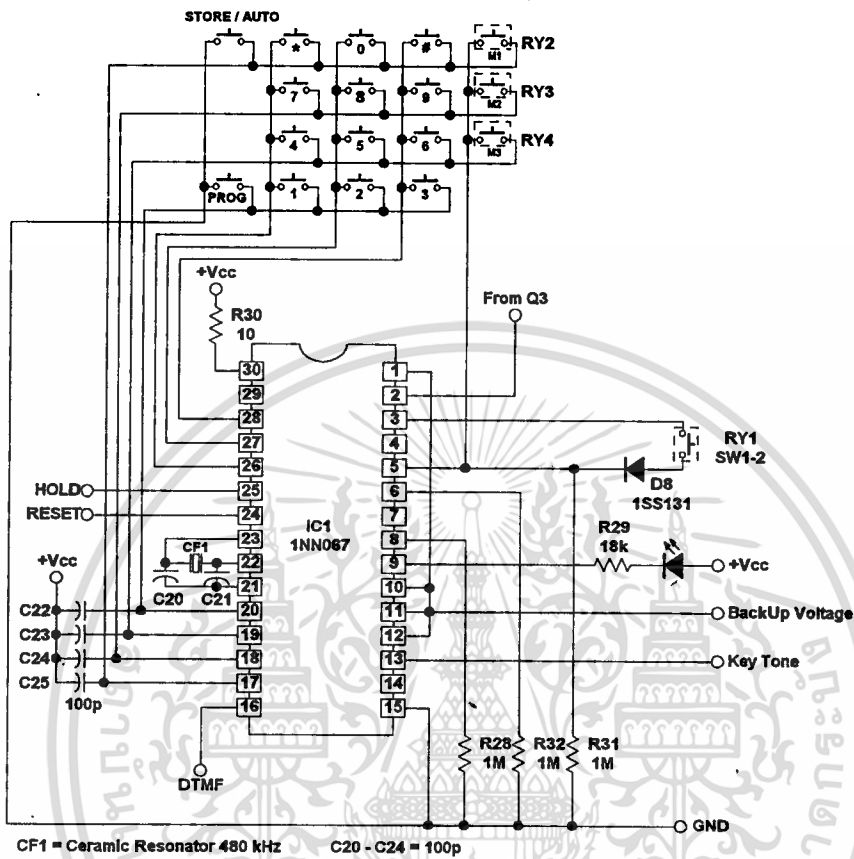
รูปที่ 3.12 วงจร Speech network

จากรูปสัญญาณไดอัลโทนจะผ่าน C_{17} , R_{19} , C_{18} , R_{20} ไปยังขา 9 ของ IC_2 สัญญาณ ECG ที่ ด้จากอปโตคัปเบิ้ล T_1 จะผ่าน C_{27} , R_{25} เข้าที่ขา 13 แล้วผลิตเข้าที่ชุดส่งไปยังชุมสายต่อไป หน้าที่ สำคัญอีกอย่างหนึ่งของ IC_2 ก็คือขยายสัญญาณ DTMF ซึ่งเป็นเลขหมายที่ด้ต้องการจะติดต่อด้วย โดย สัญญาณ DTMF ที่สร้างขึ้นมาจากซีพียูจะเข้าไปยังขา 12 ของ IC_2 และสัญญาณถูกขยายส่งออกที่ขา 4 ซึ่งจะถูกส่ง ไปยังชุมสายด้วยเช่นเดียวกัน

3.2.3 วงจรสร้างสัญญาณ DTMF และชุด Memory

วงจรสามารถบันทึกเลขหมายโทรศัพทที่ ด้ 3 เลขหมาย การทำงานเริ่มต้นจากชุดขกหนุ โทรศัพท RY_1 จะปิดวงจรและซีพียูพร้อมที่จะทำงาน โดยสัญญาณรีเซ็ตที่ขา 24 และ 25 เป็น low เมื่อวงจรพร้อมแล้วก็ทำการ โปรแกรมโดยมีขั้นตอนดังนี้ กดปุ่ม PROG กด M_1 (เมื่อด้ต้องการบันทึกที่ Line 1) กดเลขหมายที่ด้ต้องการจะบันทึก กด Store กด PROG อีกครั้งเป็นอันลันสุดการบันทึก หลังจากนั้นเมื่อด้ต้องการจะเรียกหมายเลขที่บันทึกไว้ ก็เพียงแต่ขกหนุแล้วกดที่ M_1 เครื่องจะทำการเรียก โดยอัตโนมัติ วงจรชุด memory และ DTMF แสดงไว้ดังรูปที่ 3.13

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งลัน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

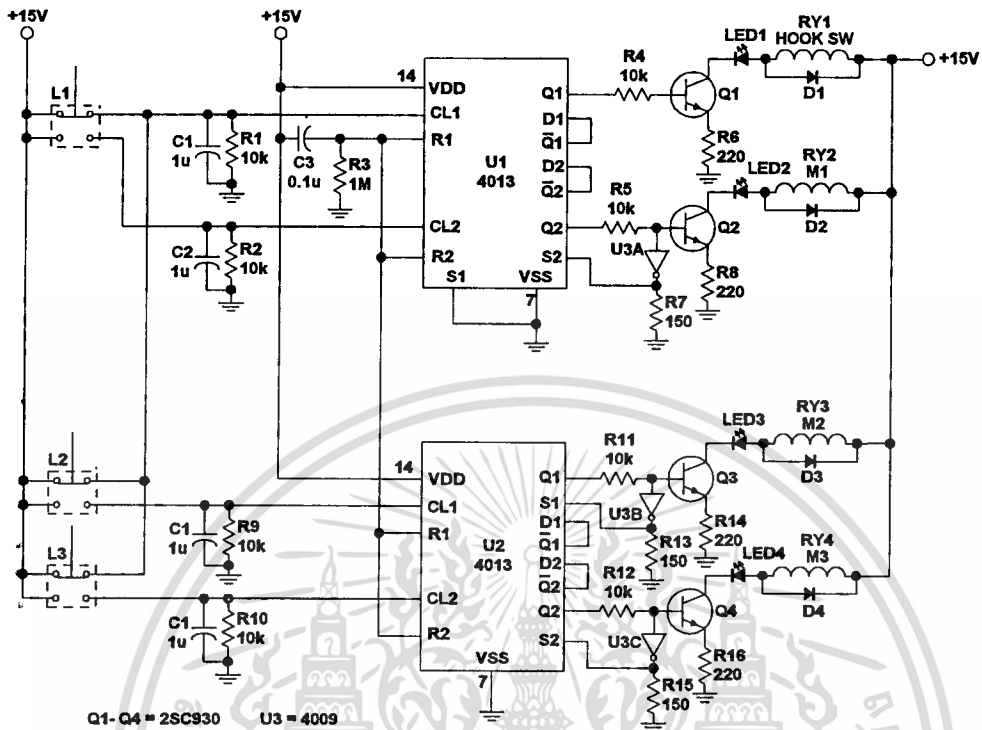


รูปที่ 3.13 วงจร DTMF และ Memory

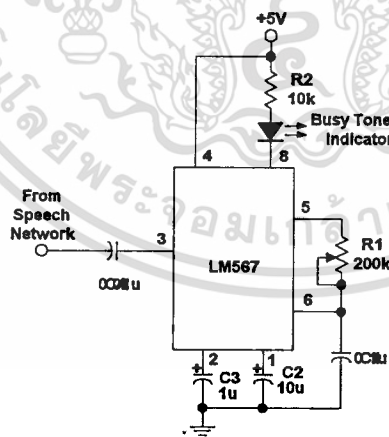
3.2.4 วงจรควบคุมการเรียกโทรศัพท์อัตโนมัติ

การทำงานของวงจรเริ่มจาก เมื่อกดสวิตช์ Line 1 (ในกรณีที่ต้องการเรียกที่ M1) จะได้สัญญาณเป็นพัลส์หนึ่งลูก สัญญาณนี้จะถูกส่งไปที่ CL_1 และ CL_2 ที่ CL_1 จะทำให้ขา 1 (Q_1 ของดีฟลิปฟล็อป) เป็น high ค้างไปจนกระทั่งมีพัลส์อีกหนึ่งลูกเข้ามา จากขาที่ขา 1 ของ IC₁ เป็น high จะทำให้ Q_1 ทำงานมีกระแสไหลผ่านรีเลย์ RY₁ จึงทำให้ hook switch มีสถานะเป็น off ในสถานะนี้เป็นการยกหูโทรศัพท์นั่นเอง ส่วน CL_2 ก็จะได้ 1 Pulse เช่นเดียวกันทำให้ Q_2 ทำงานในช่วงสั้นๆเนื่องจากจะมีสัญญาณกลับมาที่ขา 8 ทำให้ Q_2 คัทออฟ วงจรแสดงไว้ในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมทรานซิสต์



รูปที่ 3.15 วงจรตรวจสอบและแสดงสัญญาณ Busy Tone

3.2.5 วงจรตรวจสอบสัญญาณสายไม่ว่าง (Busy Tone Detector)

เนื่องจากสัญญาณสายไม่ว่างหรือ busy tone จากชุมสายโทรศัพท์ มีความถี่สองความถี่ผสมกัน คือ 480 และ 620 Hz ดังนั้นจึงใช้วงจรโทนดีโค้ดเคอร์เพื่อตรวจสอบสัญญาณความถี่ดังกล่าว และการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

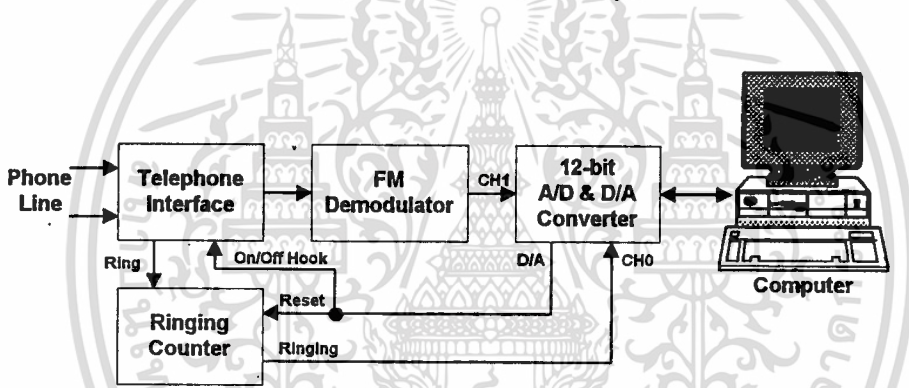
แสดงสถานะเลขหมายไม่ว่า จากวงจรในรูปที่ 3.15 ไอซี LM 567 จะทำหน้าที่เป็นโทนดีโค้ดเดอร์ ความถี่ทำงานถูกกำหนดด้วย C_1 และ R_1 ตามสมการ

$$f_o = \frac{1.1}{R_1 C_1}$$

โดยการปรับตัวต้านทาน R_1 เพื่อให้วงจรมีความถี่อ้างอิงเท่ากับ 620 Hz วงจรจะรับสัญญาณมาจากวงจร Speech Network เมื่อมีความถี่ 620 Hz เข้ามา จะทำให้เอาท์พุทขา 8 ของไอซี LM567 เปลี่ยนสถานะจาก high เป็น low หลอดไฟจะติดสว่างเป็นการแสดงว่าเลขหมายปลายทางไม่ว่า

3.8 วงจรทางด้านภาครับ

ในส่วนของทางด้านภาครับ มีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูป



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ

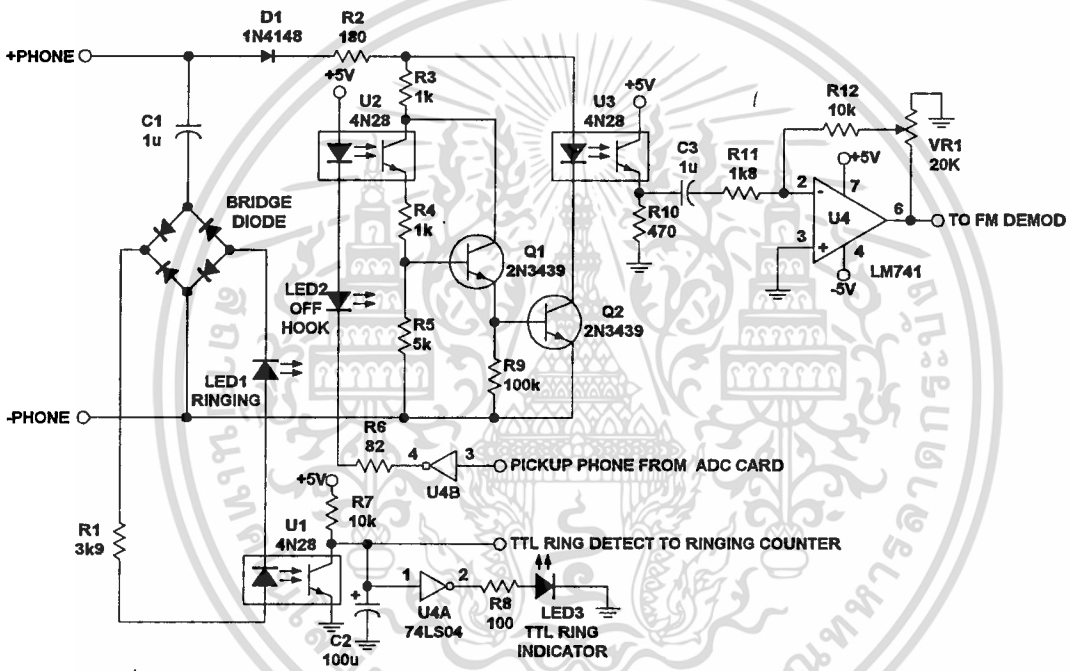
จากบล็อกไดอะแกรม เมื่อมีสัญญาณเรียก (ringing) เข้ามา วงจร Telephone Interface จะผลิตสัญญาณการเปลี่ยนสถานะจาก high เป็น low ป้อนให้แก่วงจร Ringing Detector ทุกๆ ครั้งที่มีสัญญาณเรียกดังขึ้น เมื่อสัญญาณเรียกครบจำนวนครั้งที่กำหนด เอาท์พุทของวงจร Ringing Counter จะเปลี่ยนสถานะจาก low เป็น high ส่งไปยังอินพุท CH_0 ของการ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรมควบคุมจะคอยตรวจสอบสัญญาณที่อินพุทนี้ เมื่อโปรแกรมตรวจพบ จะมีเสียงเตือนให้ผู้ควบคุมทราบ ผู้ควบคุมจะกดปุ่มใดๆบนคีย์บอร์ดเพื่อยกหูโทรศัพท์ ต่อจากนั้นการ์ดแปลงสัญญาณจะผลิตแรงดัน 5 โวลต์ออกทางช่อง D/A Out เพื่อยกหูโทรศัพท์และรีเซ็ตวงจร Ringing Counter

เมื่อวงจร Telephone Interface อยู่ในสถานะยกหูโทรศัพท์ สัญญาณที่เข้ามาตามคู่สายจะผ่านไปยังวงจร FM Demodulator ต่อจากนั้นวงจรจะแยกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจออกจากคลื่นพาห้ความถี่ 2 kHz และส่งไปยังอินพุทช่อง CH_1 ของการ์ดแปลงสัญญาณ โปรแกรมจะสั่งให้การ์ดแปลงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณทำการสุ่มสัญญาณ และนำออกแสดงบนจอมอนิเตอร์ต่อไป การยกเลิกการทำงานของโปรแกรมนั้น เมื่อผู้ควบคุมยกเลิกการทำงานของโปรแกรม การ์ดแปลงสัญญาณจะผลิตแรงดัน 0 โวลต์ส่งไปยังวงจร Telephone Interface เพื่อวางหูโทรศัพท์ต่อไป

3.3.1 วงจร Telephone interface

วงจรมีหน้าที่ควบคุมการยกและวางหูโทรศัพท์ และผลิตระดับแรงดัน low ส่งไปยังวงจร Ringing Counter เพื่อนับจำนวนครั้งของสัญญาณเรียก วงจรแสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจร Telephone Interface

มีการทำงานเป็นดังนี้ เมื่อมีสัญญาณเรียกเข้า (ringing) กระแสจะไหลผ่าน LED₁ และทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ภายใน U₁ นำกระแสเป็นการคายประจุของ C₂ ทำให้เอาต์พุตของ U_{4A} และขา 5 ของ U₁ เปลี่ยนสถานะจาก low เป็น high LED₃ ติดสว่างแสดงสถานะมีสัญญาณเรียกเข้า สัญญาณเรียกเข้าจะถูกส่งไปยังวงจรมับเสียงกริ่งโทรศัพท์ สัญญาณยกหูโทรศัพท์ที่มีแรงดัน 5 โวลต์ถูกส่งออกมาจากการ์ดแปลงสัญญาณทางช่อง D/A OUT และจะทำให้เอาต์พุตของไอซี U_{4B} กลายเป็น low ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q₁ และ Q₂ ทำงาน สัญญาณที่ส่งมาตามสายโทรศัพท์จะผ่านไอซี U₅ ซึ่งเป็นออปโตไอโซเลเตอร์และสัญญาณจะถูกขยายโดยไอซี U₂ ต่อจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังวงจรเฟรมเอ็มซีเอ็มเคเพื่อแยกสัญญาณ ECG ออกมาจากคลื่นพาห้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

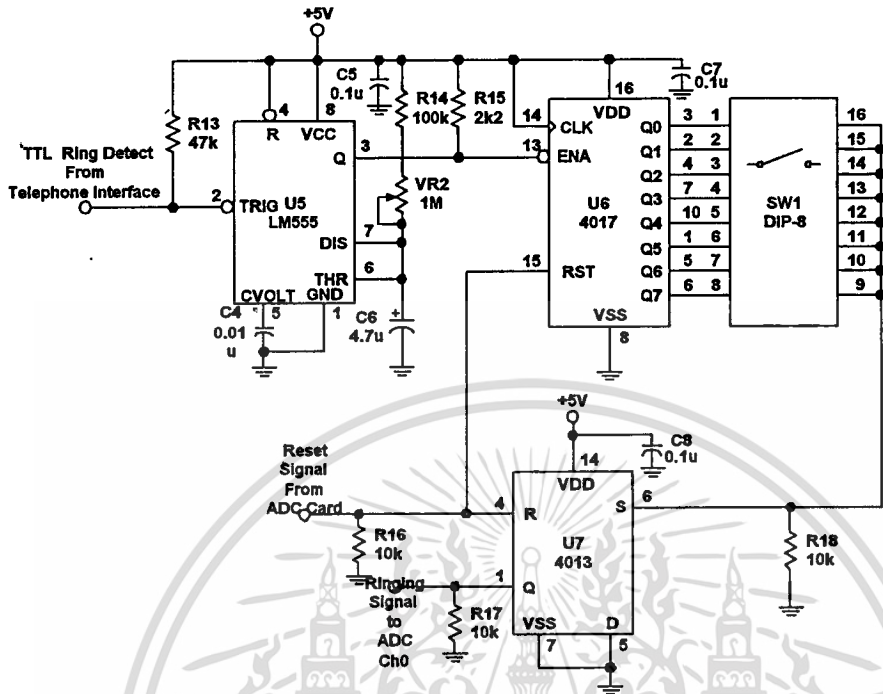
3.3.2 วงจร Ringing Counter

วงจรแสดงดังรูปที่ 3.18 วงจรจะทำหน้าที่นับจำนวนครั้งของสัญญาณเรียก (Ringing) และผลิตสัญญาณแรงดันประมาณ 5 โวลต์ส่งไปยังการ์ดแปลงสัญญาณภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ การทำงานของวงจรเป็นดังนี้

เมื่อมีสัญญาณเรียกจากชุมสายโทรศัพท์ ขา 5 ของ U_1 ในวงจร Telephone Interface จะกลายเป็น low ทำให้ไอซี U_7 ในวงจร Ringing Counter ถูกกระตุ้น เอ้าท์พุทของ U_7 จะกลายเป็น high เป็นระยะเวลาที่กำหนดโดย VR_2 , R_{16} และ C_{11} ซึ่งระยะเวลาการเป็น high ของเอ้าท์พุทของ U_7 นี้จะต้องให้นานกว่าช่วงเวลาของสัญญาณเรียก และต้องกลายเป็น low ก่อนที่จะมีสัญญาณเรียกครั้งต่อไป ไม่เช่นนั้นวงจรจะไม่สามารถดีเทคสัญญาณเรียกที่ต้องการได้ ซึ่งระยะเวลาของสัญญาณเรียกมีค่าประมาณ 400 ms และระยะห่างระหว่างสัญญาณเรียกแต่ละครั้งประมาณ 200 ms ดังนั้นจึงต้องตั้งระยะเวลาเป็น high ที่เอ้าท์พุทของ U_7 ให้มากกว่า 400 ms แต่ไม่เกิน 600 ms

เมื่อเอ้าท์พุทของ U_7 เปลี่ยนสถานะจาก high เป็น low จะทำให้ไอซี U_8 ถูกกระตุ้น เอ้าท์พุทต่อไปคือ Q_1 จะกลายเป็น high ในขณะที่เอ้าท์พุทอื่นๆที่เหลือจะเป็น low และเมื่อมีสัญญาณเรียกอีกครั้ง เอ้าท์พุทต่อไปคือ Q_2 จะกลายเป็น high และเอ้าท์พุทอื่นๆจะเป็น low เป็นเช่นนี้เรื่อยไป เอ้าท์พุทของ U_8 ถูกส่งไปยังขาอินพุท Set ของไอซี U_9 ทำให้เอ้าท์พุท Q ของ U_9 กลายเป็น high ส่งต่อไปยังการ์ดแปลงสัญญาณภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมควบคุมจะแจ้งเตือนให้ทราบ ผู้ควบคุมจะกดปุ่มใดๆบนคีย์บอร์ดซึ่งจะทำให้การ์ดแปลงสัญญาณส่งแรงดัน 5 โวลต์ออกมา ซึ่งแรงดันนี้จะถูกนำไปเป็นสัญญาณสัญญาณรีเซ็ตวงจร Ringing Counter และใช้เป็นสัญญาณเพื่อการยกหูโทรศัพท์ ในวงจร Telephone Interface อีกด้วย

การตั้งจำนวนครั้งของสัญญาณเรียกทำได้โดยการปรับที่สวิตช์ SW_1 การปรับสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งไว้ที่ตำแหน่ง ON จะทำให้เอ้าท์พุทของ U_8 ต่อกับอินพุทขา Set ของ U_9 ซึ่งต้องการสัญญาณที่เปลี่ยนสถานะจาก low เป็น high โดยที่เอ้าท์พุท Q_0 ของ U_8 เป็น low ในขณะที่ไม่มีสัญญาณเรียก เมื่อมีสัญญาณเรียกเข้ามา สัญญาณเรียกครั้งแรกจะทำให้เอ้าท์พุท Q_1 กลายเป็น high สัญญาณเรียกครั้งที่สองจะทำให้เอ้าท์พุท Q_2 กลายเป็น high สัญญาณเรียกครั้งที่สามจะทำให้เอ้าท์พุท Q_2 กลายเป็น high เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าสัญญาณเรียกจะหายไป หรือวงจรถูกรีเซ็ต เมื่อวงจรถูกรีเซ็ต เอ้าท์พุท Q_0 จะกลายเป็น high ในขณะที่เอ้าท์พุทอื่นๆจะเป็น low

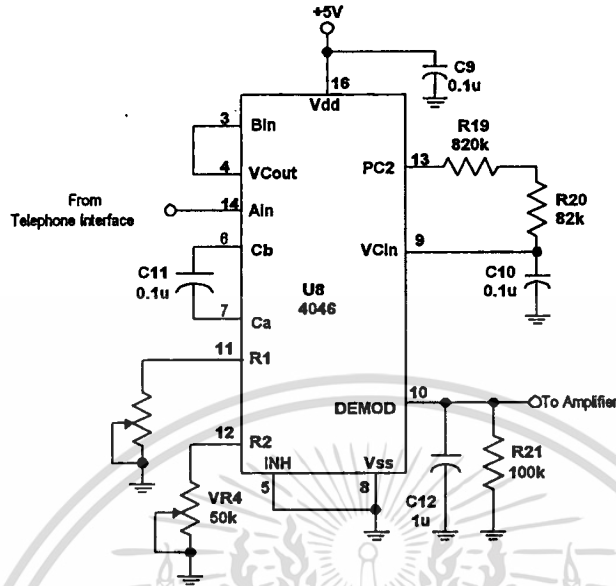


รูปที่ 3.18 วงจร Ringing Counter

3.3.3 วงจร FM Demodulator

วงจรเฟมดีมอดูเลเตอร์แสดงในรูปที่ 3.19 วงจรประกอบไปด้วยไอซีซีมอสเฟสล็อกคูลูปเบอร์ 4046 เข้าที่พุดที่ขา 10 คือสัญญาณที่วงจรสามารถล็อกได้ ซึ่งก่อนที่จะใช้งานวงจรมีได้นั้นจำเป็นต้องปรับแต่งความถี่เสียก่อนเพื่อให้วงจรสามารถล็อกอินพุตได้ การปรับแต่งเป็นดังนี้ เมื่อให้อินพุตที่ขา 14 เป็นศูนย์หรือต่อขา 14 ลงกราวด์ ป้อนแรงดัน V_{DD} หรือในวงจรมีก็คือแรงดัน 5V เข้าที่ขา 9 ซึ่งเป็นขา V_{Cin} ปรับตัวต้านทาน VR_4 ที่ขา 12 เพื่อตั้งความถี่ต่ำสุดที่วงจรสามารถล็อกได้ ซึ่งในที่นี้ก็คือความถี่ 1.8 kHz วัดความถี่ดังกล่าวได้ที่ขา 4 ซึ่งเป็นขา V_{Cout} ต่อจากนั้นป้อนแรงดันครึ่งหนึ่งของ V_{DD} หรือ แรงดัน 4.5 V เข้าที่ขา 9 เช่นเดิม ปรับตัวต้านทาน VR_3 ที่ขา 11 วัดความถี่ของสัญญาณที่ขา 4 จนได้ความถี่เท่ากับความถี่ศูนย์กลางนั่นคือความถี่ 2 kHz หลังจากนั้นป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา 14 ตามปกติ สัญญาณอินพุตที่ขา 14 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเข้าที่พุดของ VCO สัญญาณเข้าที่พุดมีให้เลือก 2 สัญญาณคือ ที่ขา 2 และขา 13 ในที่นี้จะเลือกสัญญาณที่ขา 13 เนื่องจากเหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่ขา 14 (สามารถศึกษาได้จากคู่มือของ 4046 ในภาคผนวกท้ายปริญญาโท) สัญญาณเข้าที่พุดจากวงจรเปรียบเทียบกับเฟสภายในไอซี 4046 จะถูกกรองให้เป็นไฟกระแสตรงโดยวงจร Low-Pass Filter ซึ่งประกอบไปด้วย R_{20} , R_{21} และ C_{16} เพื่อนำไปควบคุมการผลิตความถี่ของวงจร VCO เพื่อให้วงจรสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่อออนไลน์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



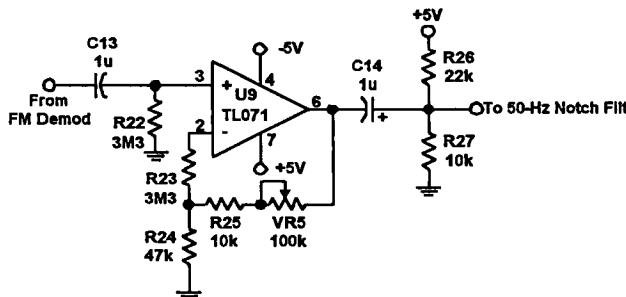
รูปที่ 3.19 วงจร FM Demodulator

สัญญาณที่ได้จากวงจร Low-Pass Filter เป็นสัญญาณที่วงจรคิมอดูเลทสามารถคิมอดได้ แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที เนื่องจากวงจร Low-Pass Filter อาจจะถูวงจรรภายนอกโหลดได้อันจะทำให้มีผลต่อคุณสมบัติของวงจรและมีผลต่อสัญญาณเข้าที่พุดที่ต้องการ การป้องกันวงจรรภายนอกโหลดวงจร Low-Pass Filter นั้นทำได้โดยการต่อบัฟเฟอร์คั้นระหว่างเข้าที่พุดของวงจร Low-Pass Filter กับโหลดภายนอก ซึ่งภายในไอซี 4046 มีบัฟเฟอร์อยู่แล้ว โดยเป็นวงจร Source Follower เข้าที่พุดหรือสัญญาณ ECG ที่ต้องการคือสัญญาณที่ขา 10 ซึ่งเป็นขา Demod Out ของ 4046

3.3.4 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากวงจร FM Demodulator มีขนาดเล็กมาก ซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงต้องขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเสียก่อน วงจรขยายแสดงดังรูปที่

3.20



รูปที่ 3.20 วงจรขยายสัญญาณจากวงจร FM Demodulator

จากวงจร ไอซี U₉ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงขึ้น โดยมีตัวต้านทาน R₂₃, R₂₄, R₂₅ และ VR₅ ทำหน้าที่กำหนดอัตราขยายลูปปิดของวงจร คาปาซิเตอร์ C₁₃ ทำหน้าที่กันไฟกระแสดรจากเอาต์พุตขา 10 ของวงจร FM Demodulator เพื่อป้องกันไม่ให้ไอซี U₉ ขยายจนอิ่มตัวเนื่องจากวงจรมีอัตราขยายที่สูงมาก ตัวต้านทาน R₂₆ และ R₂₇ คือเป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อยกระดับแรงดันต่ำที่สุดของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้อยู่เหนือระดับกราวด์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ได้เต็มรูปคลื่น คาปาซิเตอร์ C₁₄ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ระดับแรงดันไฟกระแสดรจากเอาต์พุตของ U₉ มาทำให้ระดับไฟกระแสดรอ้างอิงของวงจรแบ่งแรงดันเปลี่ยนแปลง

อัตราขยายสัญญาณของวงจรคือ

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{(R_{25} + VR_5)}{R_{24}}$$

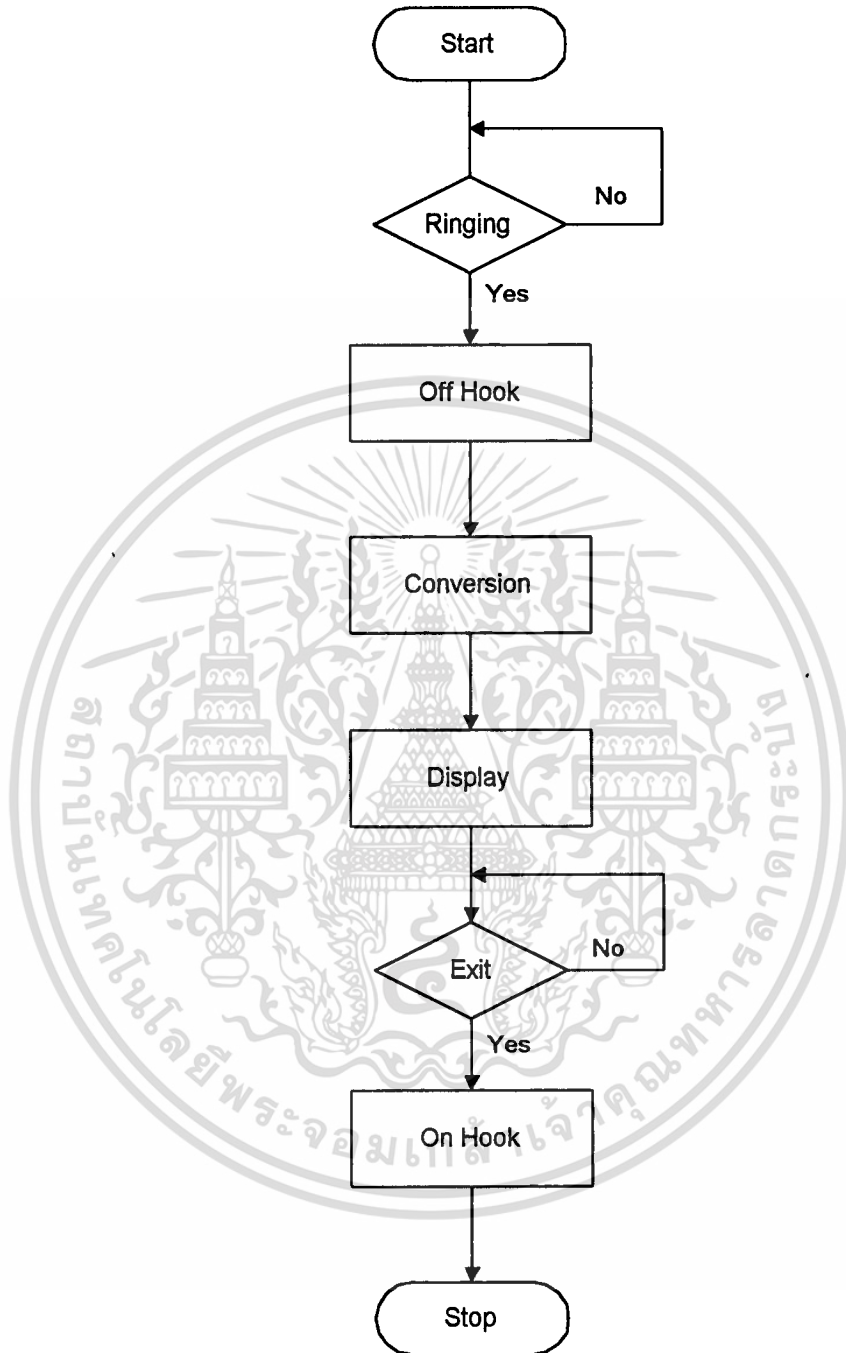
เมื่อ VR₅ มีค่าต่ำสุด (0 Ω) วงจรจะมีอัตราขยาย 3.13 เท่า และเมื่อ VR₅ มีค่าสูงสุด วงจรจะมีอัตราขยาย 24.4 เท่า แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรปรับอัตราขยายสัญญาณให้มีค่ามากเกินไป เนื่องจากสัญญาณจะถูกขลิบ

นอกจากวงจรต่างๆเหล่านี้แล้ว ควรจะใช้วงจร 50-Hz Notch Filter เป็นภาคสุดท้ายด้วย เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน 50 Hz จากไฟกระแสดร

3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

โปรแกรมควบคุมการทำงานเขียนขึ้นด้วยภาษาซี โดยใช้ TurboC version 2.0 เป็นคอมไพเลอร์ โปรแกรมจะทำหน้าที่ควบคุมการรับโทรศัพท์และนำสัญญาณ ECG ที่ตีพิมพ์ได้มาแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ ในส่วนของการควบคุมการรับโทรศัพท์นั้น โปรแกรมจะคอยตรวจสัญญาณอินพุตที่ช่อง 0 ของการ์ดแปลงสัญญาณ หากตรวจพบว่ามีสัญญาณที่ช่องดังกล่าวก็แสดงว่ามีสัญญาณเรียกเข้ามา โปรแกรมจะส่งเสียงแจ้งเตือนให้ทราบและให้ผู้ควบคุมกดปุ่มใดๆบนคีย์บอร์ดเพื่อทำการยกหูโทรศัพท์ ต่อจากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้การ์ดแปลงสัญญาณส่งแรงดันไฟกระแสดร 5 โวลต์ ออกทางช่อง D/A Out เพื่อทำการยกหูโทรศัพท์ หลังจากนั้นก็จะนำสัญญาณที่ช่อง 1 ซึ่งก็คือสัญญาณ ECG ออกแสดงผลที่จอมอนิเตอร์ และเมื่อต้องการยกเลิกการทำงานของโปรแกรมก็ทำได้โดยการกดปุ่ม F10 ต่อจากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้การ์ดแปลงสัญญาณส่งแรงดัน 0 โวลต์ออกทางช่อง D/A Out เพื่อทำการวางหูโทรศัพท์ การใช้งานโปรแกรมอย่างละเอียดรวมทั้งไฟล์ต้นแบบภาษาซีสามารถศึกษาได้จากภาคผนวก โปรแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงดังในรูปที่ 3.21 ไฟล์ต้นแบบภาษาซีของโปรแกรมทั้งหมดแสดงในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 โฟร์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดลองโครงการเพื่อหาคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ของวงจรต่างๆที่ใช้ในโครงการ และหาคุณสมบัติโดยรวมของโครงการ การทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกเป็นการทดลองวงจรทางด้านภาคส่ง และส่วนที่สองเป็นการทดลองทางด้านภาครับ

อุปกรณ์การทดลอง

1. วงจรที่ใช้ในโครงการ
2. ออสซิลโลสโคป ควรเป็นดิจิตอลออสซิลโลสโคป เพื่อให้การวัดความแตกต่างระหว่างสัญญาณ การวัดความถี่ การวัดแอมพลิจูด และการวัดอื่นๆทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกรูปคลื่นเพื่อนำกลับมาวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบในภายหลังได้ ในการทดลองนี้ใช้ Digitizing Oscilloscope ของ Tektronix รุ่น TDS 460A
3. มัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter ของ Fluke)
4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (HP 3312A Function Generator.)

4.1 การทดลองวงจรด้านภาคส่ง

ในการทดลองต่อไปนี้จะแยกวงจรทดลองเพื่อหาคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ของวงจร และในตอนท้ายจะทดลองทุกวงจรร่วมกันเพื่อหาคุณสมบัติโดยรวมของระบบ

4.1.1 วงจร Instrumentation Amplifier

การวัดผลตอบสนองความถี่

การทดลอง จากวงจร Instrumentation Amplifier ในรูปที่ 3.2 เนื่องจากในการใช้งานจริง วงจรนี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งมีช่วงสเปกตรัมความถี่ระหว่างประมาณ 0.2 ถึง 100 Hz ดังนั้นในการทดลองจึงใช้สัญญาณอินพุตความถี่ต่ำ นอกจากนั้นวงจรนี้สามารถปรับอัตราขยายได้ โดยปรับที่ตัวต้านทาน VR_2 ซึ่งถ้าปรับอัตราขยายสูงเกินไปจะทำให้รูปคลื่นเอาต์พุตถูกขลิบ จึงควรปรับอัตราขยายให้เหมาะสม การทดลองให้ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แอมพลิจูด 100 mV_{p-p} (คงที่ตลอดการทดลอง) ความถี่เริ่มต้นที่ 0.1 Hz ป้อนเข้าที่อินพุต +ECG และ -ECG ของวงจร ต่อจากนั้นใช้ออสซิลโลสโคป (ใช้โพรบ 10x) วัดที่เอาต์พุตขา 6 ของ U_3 บันทึกค่าแรงดันของสัญญาณเอาต์พุต ต่อจากนั้นปรับความถี่ของสัญญาณอินพุตตามตารางที่

4.1.1 วัดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่พุดของวงจร Instrumentation Amplifier แสดงในตาราง
ที่ 4.1 และกราฟการตอบสนองความถี่แสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ความถี่ (Hz)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	2
แอมป์ลิจูด (V_{pp})	4.46	4.32	4.26	4.20	4.15	4.04	4.00	4.00	3.92	3.92	3.87
อัตราขยาย (dB)	33.0	32.7	32.6	32.5	32.4	32.1	32.0	32.0	31.9	31.9	31.8
ความถี่ (Hz)	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
แอมป์ลิจูด (V_{pp})	3.87	3.87	3.82	3.80	3.80	3.76	3.76	3.74	3.70	3.70	3.68
อัตราขยาย (dB)	31.8	31.8	31.6	31.6	31.6	31.5	31.5	31.4	31.4	31.4	31.3
ความถี่ (Hz)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
แอมป์ลิจูด (V_{pp})	3.65	3.64	3.64	3.60	3.60	3.53	3.53	3.48	3.46	3.46	3.36
อัตราขยาย (dB)	31.2	31.2	31.2	31.1	31.1	31.0	31.0	30.8	30.8	30.8	30.5
ความถี่ (Hz)	85	90	95	100	150	200	250	300	350	400	450
แอมป์ลิจูด (V_{pp})	3.28	3.12	3.00	2.98	2.80	2.80	2.72	2.60	2.56	2.48	2.20
อัตราขยาย (dB)	30.3	29.9	29.5	29.5	28.9	28.9	28.7	28.3	28.2	27.9	26.8

หมายเหตุ อัตราการขยาย (gain) ในหน่วยเดซิเบล (dB) คำนวณหาได้จากสมการ

$$Gain(dB) = 20 \log \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

โดยที่ V_o เป็นแรงดันไฟฟ้าที่พุด และ V_i เป็นแรงดันอินพุต ซึ่งในที่นี้ $V_i = 100 \text{ mV}_{pp}$

การทดลองการวัดค่า CMRR

การทดลอง ใช้วงจร Instrumentation Amplifier ในรูปที่ 3.2 ในวงจรมีตัวต้านทาน VR_3 ที่ใช้สำหรับปรับค่า CMRR ตัวต้านทาน VR_1 และ VR_2 ไม่มีผลต่อค่า CMRR ของวงจร การทดลองให้ลัดอินพุต +ECG และ -ECG เข้าด้วยกัน ต่อจากนั้นป้อนสัญญาณอินพุต ให้มีแอมป์ลิจูดประมาณ 100 mV_{pp} และความถี่เท่าใดก็ได้ (ในที่นี้จะใช้ความถี่ 100 Hz) เข้าที่อินพุตของวงจร ปรับตัวต้านทาน VR_2 ให้มีค่าเท่ากับค่าที่ใช้ในการทดลองแรก ต่อจากนั้นปรับตัวต้านทาน VR_3 ให้มีค่าสูงสุดและต่ำสุด และวัดแรงดันไฟฟ้าที่พุดของวงจร คำนวณหาค่าอัตราการขยายสัญญาณของวงจร อัตราการขยายสัญญาณในกรณีนี้เป็นอัตราการขยายโหมคร่วม ต่อจากนั้นคำนวณหาค่า CMRR ของวงจรได้จากสมการ

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A_d และ A_{CM} เป็นอัตราขยายสัญญาณโหมคต่างและโหมคร่วมตามลำดับ และอัตราขยายทั้งสองจะต้องวัดที่ความถี่อินพุตเดียวกัน ซึ่งในที่นี้คือความถี่ 100 Hz

ผลการทดลอง ผลการทดลองการวัดค่า CMRR ของวงจรแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่า CMRR ที่ความถี่ 100 Hz $A_d = 29.8$ (V/V)

	VR_3 (100 k Ω)	
	Min	Max
V_o (mV _{pp})	54.4	39.2
$A_{CM} = V_o / V_{in}$ (V/V)	0.544	0.392
$A_{CM} = 20 \log(V_o / V_{in})$ (dB)	-5.29	-8.13
$CMRR = A_d / A_{CM}$	54.8	76.0

หมายเหตุ ค่าในตารางเป็นการทดลองหาค่าอัตราขยายโหมคร่วม A_{CM} และ CMRR เมื่อตัวต้านทาน VR_3 มีค่าสูงสุดและต่ำสุด แต่ในการใช้งานจริงค่าของ VR_3 ที่ใช้จะอยู่ระหว่างสองค่าดังกล่าว โดยสามารถปรับจนได้ค่า $V_o = 2.8$ mV_{pp} ดังนั้นจะได้ A_{CM} ที่ต่ำที่สุดคือ $A_{CM} = \frac{2.8}{100} = 0.028$ (V/V) หรือ -31.1 dB และดังนั้นจะได้ค่า CMRR สูงที่สุดของวงจรคือ $CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} = \frac{29.8}{0.028} = 1064.3$ หรือ 60.5 dB ที่ความถี่ 100 Hz

4.1.2 วงจร 50-Hz Notch Filter

การทดลอง ใช้วงจรในรูปที่ 3.3 และเนื่องคุณสมบัติของวงจรนี้ซึ่งจะต้องยอมให้ช่วงสเปกตรัมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านไป และจะต้องลดทอนสัญญาณรบกวนจากไฟกระเสถิลความถี่ 50 Hz ดังนั้นในการทดลองจึงต้องใช้ความถี่ช่วงความถี่ต่ำ การทดลองให้ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แอมพลิจูดขนาด 1 V_{pp} (คงที่ตลอดการทดลอง) และความถี่เป็นดังตารางที่ 4.2 วัดแอมพลิจูดของสัญญาณเข้าที่พุดที่ขา 7 ของ U_{4B} บันทึกผลในตาราง

ผลการทดลอง ผลการวัดสัญญาณเข้าที่พุดของวงจร 50-Hz Notch Filter เป็นดังตารางที่ 4.3 และกราฟผลการตอบสนองความถี่ของวงจรแสดงดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3

ความถี่ (Hz)	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	5	10	15	20	25	30
แรงดันเข้าที่พูด (V)	0.695	0.704	0.792	0.77	0.746	0.706	0.695	0.664	0.6	0.524	0.398	0.3
อัตราขยาย (dB)	-3.16	-3.049	-2.025	-2.27	-2.545	-3.024	-3.16	-3.557	-4.437	-5.613	-8.002	-0.523
ความถี่ (Hz)	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
แรงดันเข้าที่พูด (V)	0.248	0.24	0.192	0.176	0.132	0.12	0.116	0.092	0.06	0.064	0.068	0.104
อัตราขยาย (dB)	-12.11	-12.4	-14.33	-15.09	-17.59	-18.42	-18.71	-20.72	-24.44	-23.88	-23.35	-19.66
ความถี่ (Hz)	56	58	60	62	64	66	68	70	72	75	80	85
แรงดันเข้าที่พูด (V)	0.112	0.132	0.132	0.148	0.164	0.184	0.184	0.208	0.216	0.236	0.276	0.292
อัตราขยาย (dB)	-19.02	-17.59	-17.59	-16.59	-15.7	-14.7	-14.7	-13.64	-13.31	-12.54	-11.18	-10.69
ความถี่ (Hz)	90	95	100	110	120	130	140	150	200	300	400	500
แรงดันเข้าที่พูด (V)	0.328	0.356	0.372	0.416	0.456	0.492	0.516	0.616	0.68	0.692	0.736	0.766
อัตราขยาย (dB)	-9.683	-8.971	-8.589	-7.618	-6.821	-6.161	-5.747	-4.208	-3.35	-3.198	-2.662	-2.315
ความถี่ (Hz)	600	700	800	900	1k	2k	3k	4k	6k	8k	9k	10k
แรงดันเข้าที่พูด (V)	0.764	0.78	0.784	0.788	0.92	0.964	0.994	1	1	1	1	1
อัตราขยาย (dB)	-2.338	-2.158	-2.114	-2.069	-0.724	-0.318	-0.052	0	0	0	0	0

4.1.3 วงจร FM Modulator

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความถี่กลาง (Center Frequency ; f_c) สูงสุดและต่ำสุด หาความถี่ออฟเซต (Offset Frequency) หาการเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation) ของการมอดูเลตสัญญาณทางความถี่ (Frequency Modulation) ซึ่งการเบี่ยงเบนความถี่จะมีผลมากต่อการสร้างวงจรเพื่อคิมอดสัญญาณในภาครับต่อไป การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติดังกล่าวของวงจรเป็นดังนี้

ความถี่กลาง ใช้วงจร FM Modulator ในรูปที่ 3.3 ป้อนแรงดันครึ่งหนึ่งของไฟเลี้ยงหรือแรงดัน 4.5 โวลต์เข้าที่ขา 9 ใช้ฮอสซิลอสโคปวัดความถี่ของสัญญาณที่ขา 4 ปรับตัวต้านทาน VR_5 ที่ขา 11 ให้มีค่าสูงสุดและต่ำสุด บันทึกความถี่ของสัญญาณ

ความถี่ออฟเซต ต่อขา 9 ลงกราวด์ วัดสัญญาณที่ขา 4 ปรับตัวต้านทาน VR_6 ที่ขา 12 ให้มีค่าสูงสุดและต่ำสุด บันทึกค่าความถี่ของสัญญาณ

การเบี่ยงเบนความถี่จากความถี่กลาง การเบี่ยงเบนความถี่หมายถึง เมื่อป้อนสัญญาณที่ต้องการจะมอดูเลตไปยังวงจร เมื่อสัญญาณดังกล่าวมีแอมพลิจูดสูงสุดและต่ำสุด ความถี่ของวงจรจะมีค่าเท่าใดและแตกต่างกันไปจากความถี่กลางมากน้อยแค่ไหน ซึ่งการเบี่ยงเบนความถี่จะขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัญญาณที่ต้องการนำมาถอดเลท และความถี่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้คือความถี่ออฟเซต ดังนั้นก่อนทำการทดลองจึงต้องปรับความถี่กลางและความถี่ออฟเซตของวงจรถูกให้เท่ากับ 2 kHz และ 1.8 kHz ตามลำดับ และในการทดลองถ้าหากป้อนสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้าที่ขา 9 โดยตรงจะสังเกตการความถี่ได้ยากมาก เนื่องจากแรงดันเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ดังนั้นจึงใช้แรงดันไฟกระแสตรงแทนโดยป้อนแรงดันสูงสุดและต่ำสุดให้เท่ากับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ วัดความถี่ของสัญญาณแอมป์เอ็มที่ขา 4 บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง

VR5 (50 k Ω)		
	Min	Max
ความถี่กลาง (Hz)	1.9 k	4.5 k

VR6 (100 k Ω)		
	Min	Max
ความถี่ออฟเซต (Hz)	200	10 k

แรงดันที่ขา 9 (V)		
	Min	Max
ความถี่ (Hz)	1.8 k	2.23 k

4.2 การทดลองวงจรทางด้านภาครับ

4.2.1 วงจร Telephone Interface

เนื่องจากวงจรนี้มีส่วนที่ควบคุมการยกหู (Off Hook) และวางหู (On Hook) โทรศัพท์ ดังนั้นก่อนทำการทดลองจะต้องป้อนแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ เข้าที่ขา 5 ของไอซี U_{4B} เพื่อเป็นการยกหูโทรศัพท์ ในการใช้งานจริงวงจรจะรับสัญญาณความถี่ประมาณ 2 kHz มาจากวงจรภาคส่ง ดังนั้นในการทดลองเพื่อหาการตอบสนองความถี่ของวงจร จึงใช้สัญญาณความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่ 2 kHz การทดลองเป็นดังต่อไปนี้

การทดลอง ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์แอมพลิฟายด์ 1 V_{p-p} มีระดับดีซีออฟเซต 1 โวลต์ ความถี่เริ่มต้น 500 Hz ใช้ออสซิลอสโคปวัดสัญญาณที่ขา 6 ของ U₆ วัดขนาดของสัญญาณเข้าที่พูด บันทึกผลในตารางที่ 4.3 ต่อจากนั้นปรับความถี่เพิ่มขึ้นทีละ 100 Hz วัดขนาดของเข้าที่พูดและบันทึกผลในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ผลการวัดแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณเข้าที่พุดของวงจร Telephone Interface แสดงดังในตารางที่ 4.4 และกราฟการตอบสนองความถี่แสดงดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดแอมพลิจูดสัญญาณเข้าที่พุดของวงจร Telephone Interface

ความถี่ (Hz)	500	600	700	800	900	1k	1.1k	1.2k	1.3k	1.4k	1.5k
แอมพลิจูด (V)	3.65	3.65	3.65	3.65	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.55	3.55
อัตราขยาย (dB)	11.2	11.2	11.2	11.2	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.0	11.0
ความถี่ (Hz)	1.6k	1.7k	1.8k	1.8k	2k	2.1k	2.2k	2.3k	2.4k	2.5k	2.6k
แอมพลิจูด (V)	3.55	3.50	3.50	3.50	3.50	3.42	3.42	3.40	2.56	2.56	2.56
อัตราขยาย (dB)	11.0	10.9	10.9	10.9	10.9	10.7	10.7	10.6	8.2	8.2	8.2
ความถี่ (Hz)	2.7k	2.8k	2.9k	3k	3.5k	4k	5k	6k	8k	9k	10k
แอมพลิจูด (V)	2.48	2.48	2.40	2.40	2.20	1.25	0.94	0.82	0.54	0.48	0.40
อัตราขยาย (dB)	7.9	7.9	7.6	7.6	6.8	1.9	-0.5	-1.7	-5.4	-6.4	-8.0

4.2.2 วงจร FM Demodulator

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา Capture และ Lock Range ของวงจร คุณสมบัติของรูปฟิลเตอร์และรูปคลื่นเข้าที่พุด ก่อนที่จะทำการทดลองจะต้องปรับความถี่กลางของชุด VCO ภายในไอซี U₁ ให้เท่ากับ 2 kHz ก่อนและปรับความถี่ออฟเซตหรือความถี่ต่ำสุดที่วงจรเฟสล็อกสามารถล็อกได้ ซึ่งทำได้ดังนี้

การปรับความถี่กลาง ป้อนแรงดันครั้งหนึ่งของไฟเลี้ยงหรือแรงดัน 2.5 โวลต์เข้าที่ขา 9 ใช้ ออสซิลอสโคปวัดสัญญาณที่ขา 4 ปรับ VR₃ ให้อ่านความถี่ได้ 2 kHz และการปรับความถี่ออฟเซตให้ปลัดอินพุตขา 14 ออกก่อน ต่อจากนั้นต่อขา 9 ลงกราวด์ ใช้ ออสซิลอสโคปวัดสัญญาณที่ขา 4 ปรับ VR₄ ให้สัญญาณมีความถี่เท่ากับ 1.8 kHz ซึ่งก็เท่ากับความถี่ออฟเซตของวงจร FM Modulator ที่ภาคส่ง

การทดลอง

1. เพื่อที่จะหาช่วงความถี่ของความถี่กลาง ให้ปลั๊กอินพุตขา 14 ลอยไว้ ต่อขา 9 เข้ากับแรงดันกระแสตรง 2.5 V ใช้ ออสซิลอสโคปวัดสัญญาณที่ขา 4 ปรับ VR₃ ให้มีค่าสูงสุดและต่ำสุดบันทึกความถี่

ผลการทดลอง

	VR ₃ (100 kΩ)	
	Min	Max
ความถี่กลาง (Hz)	4.7 k	47.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อที่จะหาความถี่ต่ำสุดที่วงจรจะสามารถถือได้ ให้ต่อขา 9 ลงกราวด์ ใช้ออสซิลอสโคปวัดสัญญาณที่ขา 4 ปรับ VR₄ ให้มีค่าสูงสุดและต่ำสุด บันทึกความถี่

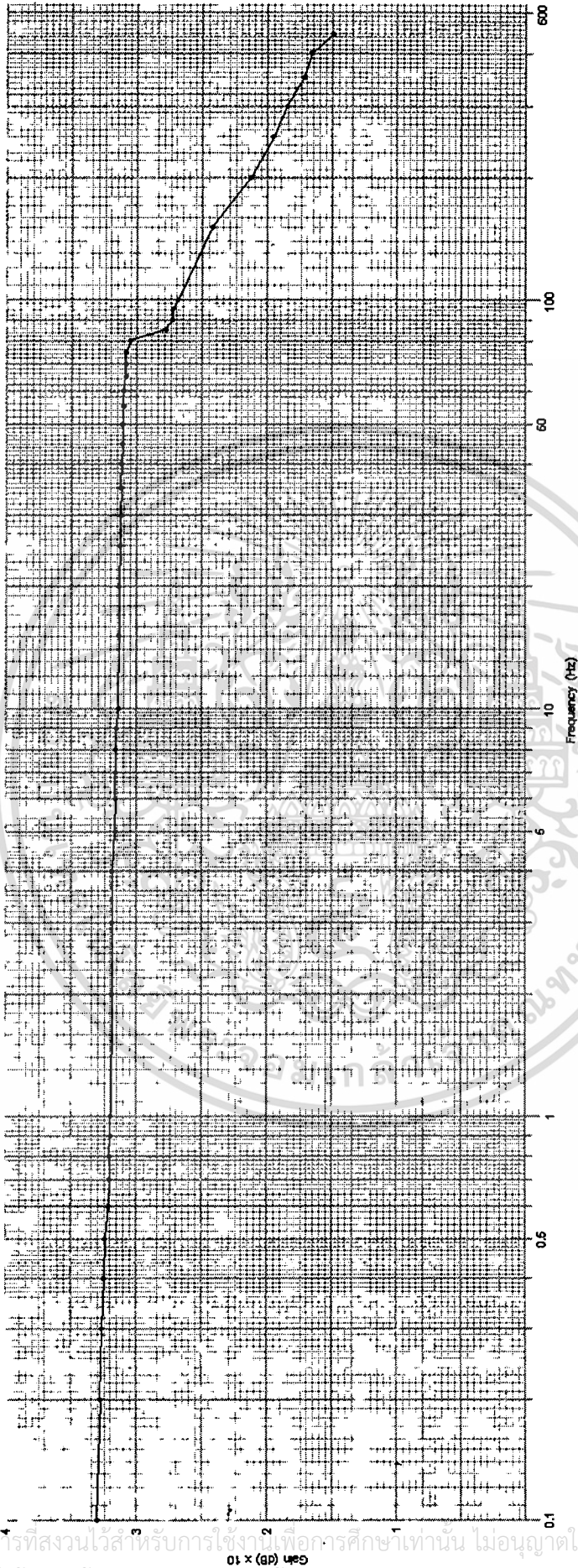
ผลการทดลอง

	VR ₄ (50 k Ω)	
	Min	Max
ความถี่ (Hz)	10.96 k	312.5

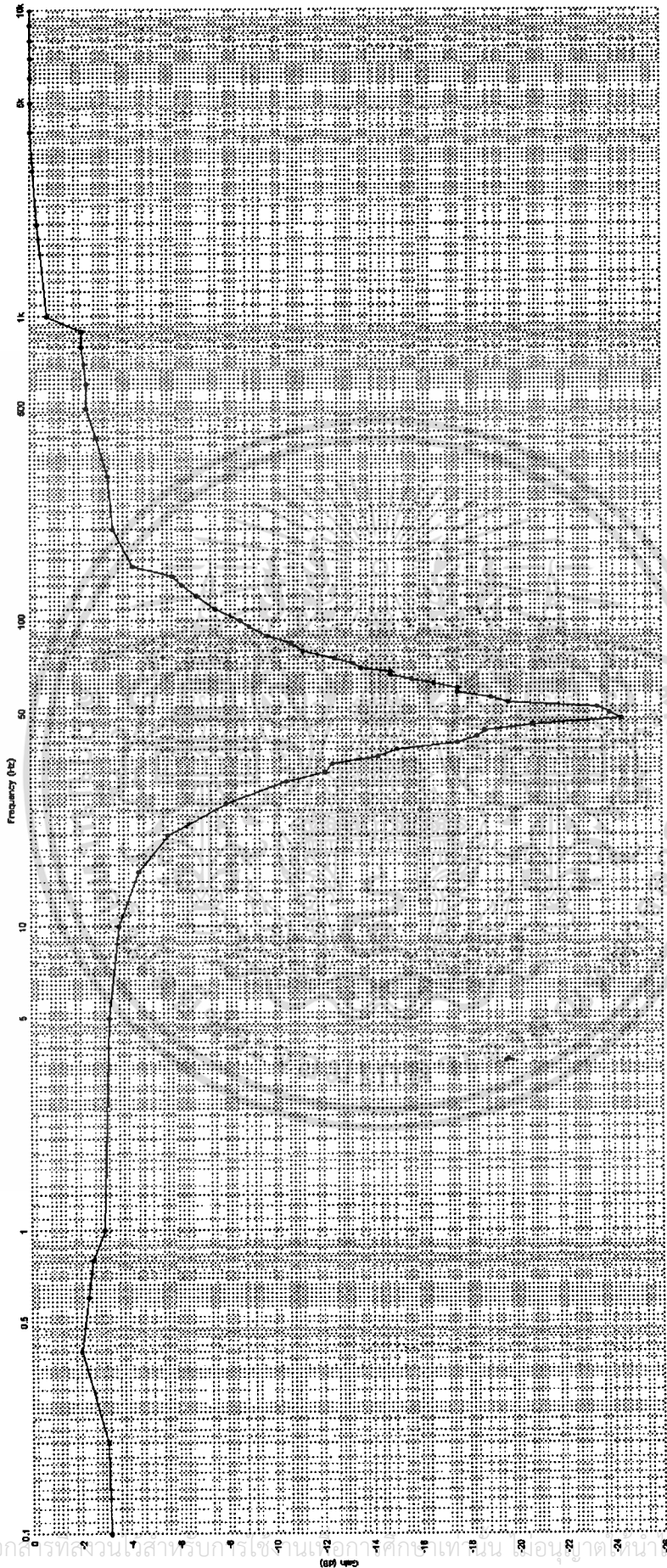
4.3 การทดลองรับสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์

การทดลอง ทำการป้อนสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้ากับวงจรทางด้านภาคส่ง ส่งสัญญาณผ่านคู่สายโทรศัพท์ รับสัญญาณ ต่อจากนั้นนำมาแสดงผลบนจอมอนิเตอร์

ผลการทดลอง รูปคลื่นที่ปรากฏบนจอมอนิเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.4

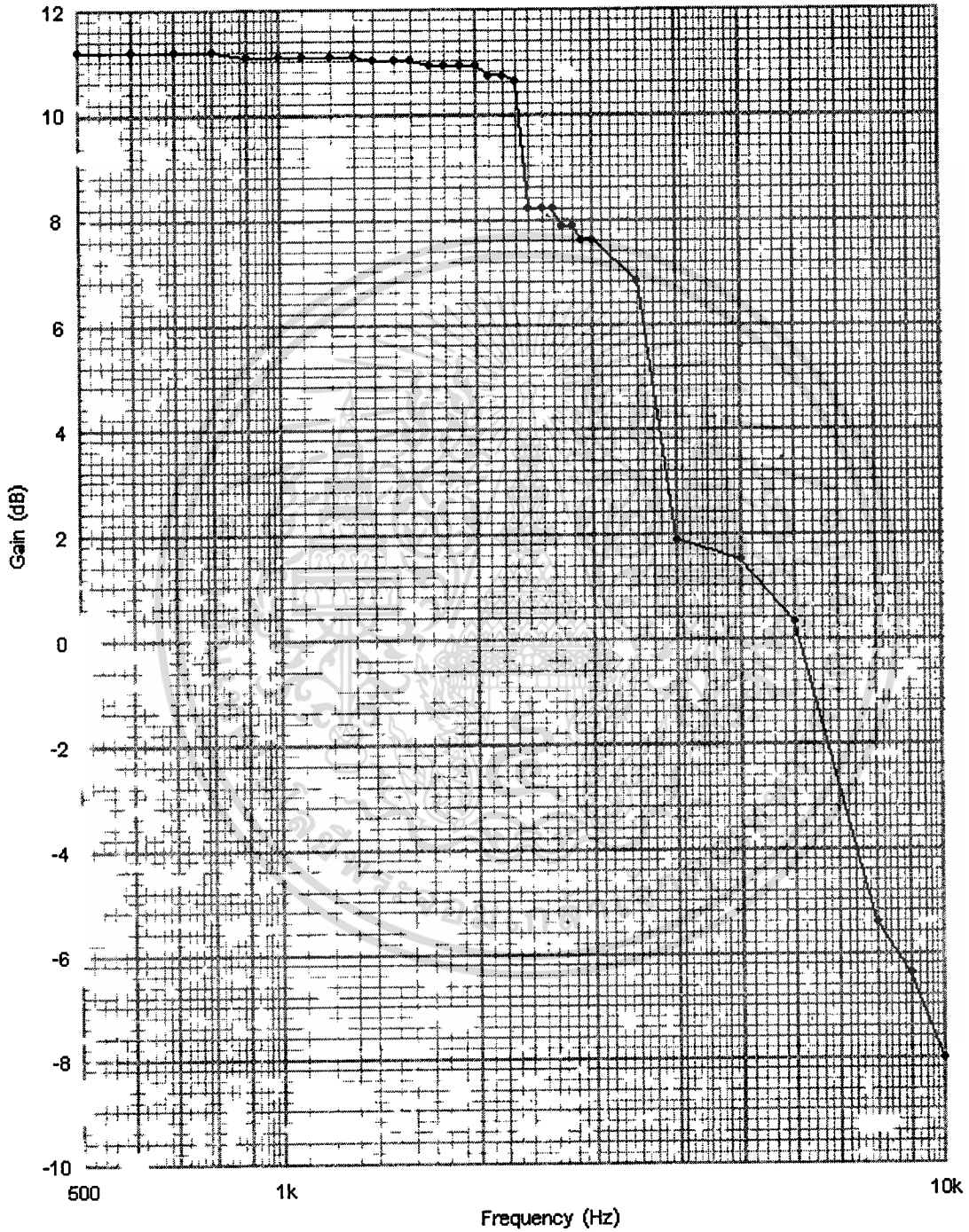


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.1 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Instrumentation Amplifier



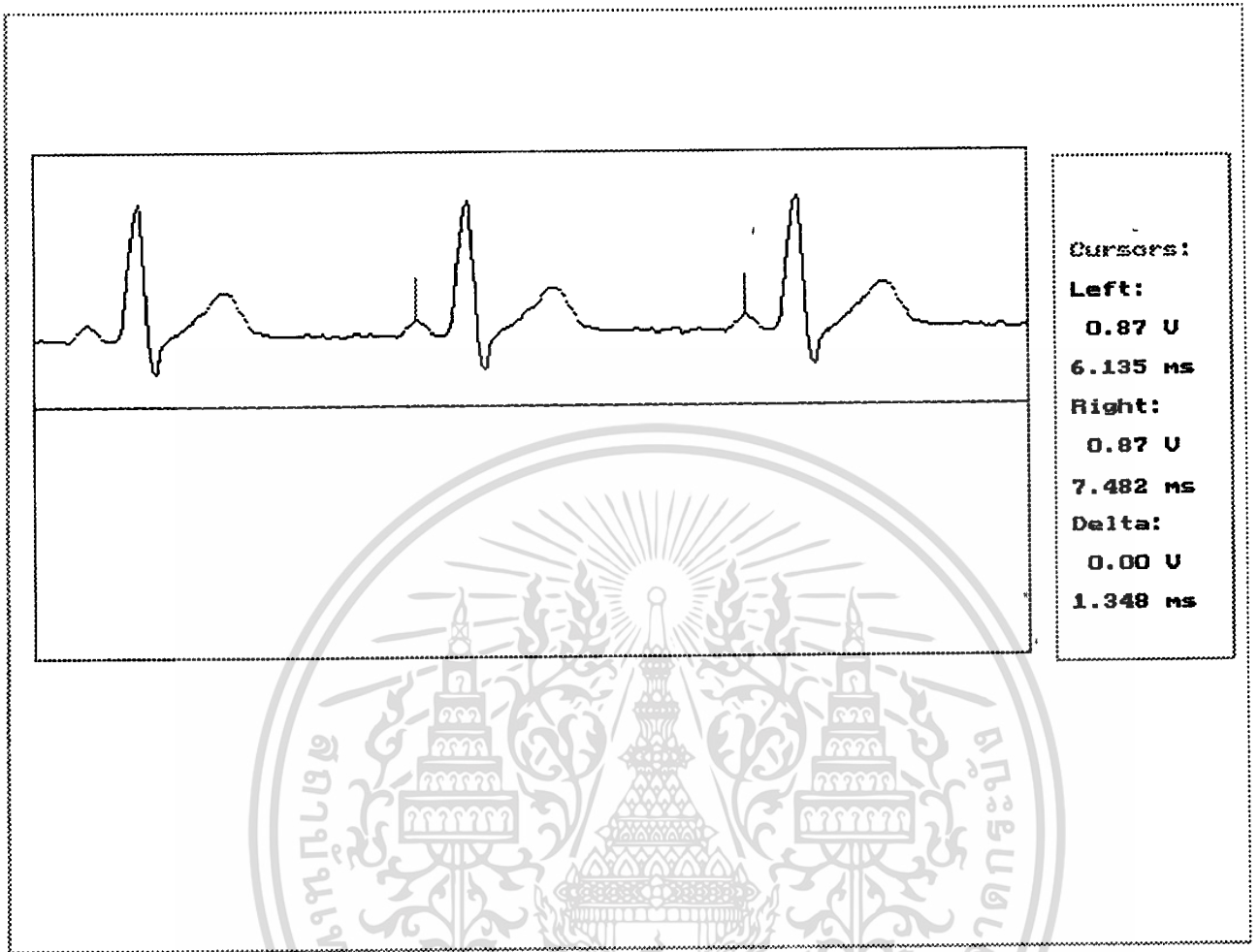
เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเฉพาะทางที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.2 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร 50-Hz Notch Filter



รูปที่ 4.3 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Telephone Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออภัยที่เห็นใจไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 คลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์โครงการ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลคุณสมบัติของโครงการ แนวทางการประยุกต์ใช้งานโครงการนอกเหนือไปจากการส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และแนวทางการพัฒนาโครงการ

5.1 คุณสมบัติโดยรวมของโครงการ

คุณสมบัติโดยรวมของโครงการ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วงจร Instrumentation Amplifier

อัตราขยายสัญญาณ : 29.5 dB @ 100 Hz

CMRR : 60.5 dB @ 100 Hz

ช่วงความถี่ใช้งาน : < 90 Hz

2. วงจร 50-Hz Notch Filter

ช่วงการลดทอนความถี่ : 30-95 Hz

3. วงจร Telephone Interface

ช่วงความถี่ใช้งาน : < 2 kHz

อัตราขยายสัญญาณ : 11 dB @ 2 kHz

4. ความถี่ทำงานของระบบ (หรือความถี่ของสัญญาณที่ต้องการส่งผ่านคู่สายโทรศัพท์) มีย่านความถี่ตั้งแต่ 10 Hz ถึง 1 kHz

2. การรี ยกเลขหมายที่ต้องการเป็นไปโดยอัตโนมัติ

3. การรับและวางหูโทรศัพท์เป็นไปโดยอัตโนมัติ

4. สามารถจัดเก็บและนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วยวิเคราะห์ในภายหลังได้

5. สามารถประยุกต์ใช้โครงการในการ ส่งสัญญาณใดๆผ่านคู่สายโทรศัพท์

5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้โครงการ

ถึงแม้ว่าโครงการนี้จะถูกออกแบบให้รับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากผู้ป่วย ขยายสัญญาณและส่งสัญญาณ ไปยังโรงพยาบาลก็ตาม แต่ก็สามารถใช้ส่งสัญญาณใดๆก็ได้ที่มีความถี่ไม่เกินแถบความถี่ทำงานของวงจร นั่นคือสัญญาณจะต้องมีความถี่ไม่เกิน 1 kHz

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการ

โครงการนี้มีจุดที่ต้องพัฒนาอยู่หลายจุดด้วยกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ควรจะเปลี่ยนวงจร Instrumentation Amplifier ใหม่เป็นไอซีสำเร็จรูป เช่น ไอซีเบอร์ LH0036C LH0037C ของบริษัท National Semiconductor หรือเบอร์อื่นๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติดีกว่าและวงจรมีขนาดเล็กกว่า
2. การมอดูเลตสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อส่งไปตามสายโทรศัพท์ โครงการนี้ใช้การมอดูเลตแบบ FM ซึ่งให้ผลพอใช้ได้ เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณทางด้านภาครับได้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปเล็กน้อย จึงควรเปลี่ยนวิธีการมอดูเลตใหม่ โดยอาจจะเป็นการมอดูเลตแบบคิจิตอล และส่งสัญญาณไปแบบ-FSK (Frequency-shifted keying) ซึ่งอาจจะให้ผลดีกว่านี้
3. ระบบโทรศัพท์อัตโนมัติ ควรเพิ่มเติมส่วนที่ให่วงจรทำการติดต่อกับเลขหมายต่อไปโดยอัตโนมัติเมื่อตรวจพบว่าเลขหมายก่อนหน้านั้นไม่ว่าง และเพิ่มจำนวนช่องการจัดเก็บเลขหมายให้มากขึ้น
4. เปลี่ยนระบบการส่งสัญญาณจากผ่านสายโทรศัพท์เป็นการส่งโดยใช้คลื่นวิทยุ เช่นส่งผ่านโทรศัพท์มือถือหรือวิทยุมือถือเป็นต้น เนื่องจากจะช่วยอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในกรณีที่ผู้ใช้ อยู่ห่างจากโทรศัพท์ชนิดมีสาย
5. ทางด้านส่วนรับสัญญาณ ควรจะเพิ่มส่วนการโต้ตอบกับผู้ป่วย โดยให้สามารถพูดโต้ตอบกับผู้ป่วย ให้คำแนะนำผู้ป่วยในขณะที่กำลังมีอาการของโรคหัวใจได้
6. เพิ่มส่วนที่ให้มีการเรียกเลขหมายซ้ำซ้อนได้ ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถรับและแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากผู้ป่วยมากกว่าหนึ่งพร้อมกันได้
7. โปรแกรมแสดงผลสัญญาณ ในโครงการนี้สามารถแสดงผลสัญญาณได้เพียงหนึ่งช่อง ดังนั้นจึงควรเพิ่มเติมให้สามารถแสดงผลสัญญาณได้มากกว่าหนึ่งช่องพร้อมๆกันได้

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานโครงการงาน

การนำโครงการงานนี้ไปใช้งาน จะต้องมีการใส่รหัสผ่าน 1 รหัสผ่าน อาจจะเป็นรหัสผ่านที่ใช้งานสำหรับการติดต่อทั่วไป หรือรหัสผ่านที่จัดไว้โดยเฉพาะ เมื่อนำโครงการงานไปต่อกับรหัสผ่าน จะไม่มีระบบการเรียกเข้าหรือโทรออกแต่อย่างใด ในการใช้งานผู้ใช้สามารถนำไปต่อพ่วงกับรหัสผ่านโทรศัพท์ได้โดยตรง ส่วนทางด้านภาครับ ซึ่งจะตั้งอยู่ที่สถานพยาบาลผู้ป่วยทางด้านโรคหัวใจจะต้องมีเลขหมายโทรศัพท์ด้วย ซึ่งขอแนะนำว่าจะต้องเป็นเลขหมายเฉพาะที่ให้บริการทางด้านนี้เท่านั้น เพื่อให้ผู้ป่วยสามารถติดต่อได้ตลอดเวลาที่ต้องการ นอกจากนั้นทางด้านรับจะต้องมีคอมพิวเตอร์อีก 1 เครื่อง เพื่อแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย และเก็บสัญญาณไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์ได้ในภายหลัง

ก.1 การใช้งานทางด้านภาคส่ง

หลังจากที่ติดตั้งโครงการงานเข้ากับรหัสผ่านเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้จะต้องทำการบันทึกเลขหมายโทรศัพท์ของสถานพยาบาลของตนเองเป็นผู้ใช้ โครงการงานสามารถเก็บเลขหมายได้สูงสุด 3 เลขหมาย และหากบันทึกเลขหมายเรียบร้อยแล้ว เมื่อผู้ใช้ต้องการหรือมีอาการของโรคหัวใจ ผู้ใช้จะต้องนำอิเล็กทรอนิกส์ที่บริเวณทรวงอกในตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นจึงกดปุ่ม LINE 1, LINE 2 หรือ LINE 3 ที่เลขหมายนั้นถูกบันทึกอยู่ เพียงหนึ่งครั้งก็สามารถติดต่อกับสถานพยาบาลที่ต้องการได้ โดยที่ไม่ต้องกดเลขหมายโทรศัพท์ทั้ง 7 ตัว อันจะทำให้สะดวกและช่วยประหยัดเวลาได้มาก

การบันทึกเลขหมาย การบันทึกเลขหมายโทรศัพท์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. โยกสวิตช์ PROG/NORM ไปที่ตำแหน่ง PROG
2. กดปุ่ม PROG
3. กดปุ่ม LINE 1 หรือ LINE 2 หรือ LINE 3 เพื่อเลือกช่องที่ต้องการบันทึก
4. กดเลขหมายที่ต้องการจะบันทึก (ไม่เกิน 9 หลัก)
5. กดปุ่ม STORE
6. กดปุ่ม PROG เพื่อสิ้นสุดการโปรแกรมเลขหมาย
7. โยกสวิตช์ PROG/NORM ไปที่ตำแหน่ง NORM เพื่อการใช้งานตามปกติ

เมื่อต้องการบันทึกเลขหมายที่ช่องอื่นๆที่ยังไม่ถูกใช้งาน ให้ทำตามขั้นตอนข้างต้นซ้ำอีกครั้ง และถ้าต้องการเปลี่ยนเลขหมายในช่องใดๆก็ตาม สามารถบันทึกทับหมายเลขเดิมได้เลย

หลอดไฟ STATUS เป็นหลอดไฟแสดงสถานะเลขหมายปลายทางไม่ว่าง เมื่อผู้ใช้กดปุ่มเรียกเลขหมายปลายทางแล้ว ปรากฏว่าเลขหมายปลายทางไม่ว่าง หลอดไฟ STATUS จะกระพริบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามจังหวะของสัญญาณ Busy Tone จากชุมสายโทรศัพท์ ในกรณีนี้ให้ผู้ใช้กดปุ่มในไลน์นั้นซ้ำอีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการวางหูโทรศัพท์ ต่อจากนั้นจึงกดปุ่ม LINE ปุ่มอื่นเพื่อเรียกเลขหมายต่อไป

หลอดไฟ IN USE เป็นหลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน โดยที่หลอดไฟนี้จะติดสว่างในขณะที่มีการส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจไปยังสถานพยาบาล และจะดับเมื่อผู้ใช้งานวางหูโทรศัพท์

การเลิกใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานต้องการยกเลิกการทำงาน ให้กดปุ่ม LINE ปุ่มเดิมที่ผู้ใช้ใช้เรียกเลขหมายนั้นซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เพื่อวางหูโทรศัพท์

ก.2 การใช้งานทางด้านภาครับ

ทางด้านภาครับมีอุปกรณ์ที่จำเป็นได้แก่ ชุดรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และไมโครคอมพิวเตอร์

การ์ดแปลงสัญญาณ ในโครงการนี้ใช้การ์ด ADDA-12 ซึ่งเป็นการ์ดแปลงสัญญาณขนาด 12 บิต รายละเอียดของการ์ดนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ในการใช้งานนั้นจะต้องเชื่อมต่อรับบนตัวการ์ดเพื่อเลือกแอดเดรสและชนิดของอินพุต โดยที่โครงการนี้ตั้งแอดเดรสไว้ที่หมายเลข 270H และอินพุตเป็นแบบ Single-ended โดยป้อนสัญญาณ Ringing และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากชุดรับสัญญาณเข้าที่ช่อง 0 และ 1 ตามลำดับ ผ่านทางขั้วต่อขนาด 25 ขาบนตัวการ์ดแปลงสัญญาณ และการติดตั้งการ์ด ให้เสียบตัวการ์ดลงบนสล๊อตแบบ ISA ที่วางอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์

เมื่อติดตั้งการ์ดแปลงสัญญาณลงในคอมพิวเตอร์เรียบร้อยแล้ว ให้ต่อสายจากตัวการ์ดไปยังชุดรับสัญญาณ วงจรต่างๆภายในชุดรับสัญญาณจะใช้แหล่งจ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟของคอมพิวเตอร์ ต่อจากนั้นจึงต่อชุดรับสัญญาณเข้ากับคู่สายโทรศัพท์

ก.3 การใช้งานโปรแกรม

ภายหลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการรันโปรแกรม หน้าจอแรกของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ ก.1 เมื่อโปรแกรมเริ่มต้นทำงาน มันจะคอยตรวจสอบสัญญาณ Ringing ที่ช่อง 0 หากพบโปรแกรมจะส่งเสียงเตือนให้ผู้ควบคุมทราบ ผู้ควบคุมจะทำการยกหูโทรศัพท์โดยการกดปุ่มใดๆบนคีย์บอร์ด ต่อจากนั้นโปรแกรมจะนำสัญญาณที่ช่อง 1 ซึ่งก็คือสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผู้ป่วยส่งมาแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ หน้าทีของปุ่มต่างๆเป็นดังนี้

ปุ่ม	หน้าที่
ปุ่มใดๆ	รับโทรศัพท์
1	เลือกเคอร์เซอร์ซ้าย
2	เลือกเคอร์เซอร์ขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Left Arrow	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย
Right Arrow	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา
Up Arrow	เลื่อนรูปคลื่นขึ้นบน
Down Arrow	เลื่อนรูปคลื่นลงล่าง
F1	แสดงหน้าที่ของปุ่มต่างๆ
F2	เก็บข้อมูลหน้าจอลงดิสก์
F3	เรียกข้อมูลจากดิสก์มาแสดงบนจอภาพ
F4	ตั้งอัตราการสุ่มสัญญาณ
F5	รอกอยสัญญาณเรียก
F6	วางหูโทรศัพท์
F7	สุ่มและนำสัญญาณมาแสดงผลอย่างต่อเนื่อง
F8	เรียกสัญญาณเดิมมาแสดงบนจอ
F10	ออกจากโปรแกรม
+	ขยายขนาดของรูปคลื่น
-	ลดขนาดของรูปคลื่น

WELCOME TO ECG MONITOR PROGRAM

Press any key to continue...

รูปที่ ก.1 หน้าจอเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานการ์ด ADDA-12 (PC ADDA-12 Card FPC-010 User's manual)

1. Introduction

The ADDA-12 card an analog-digital/digital-analog high performance data conversion card operation at a twelve-bit resolution for IBM PC and compatible system. The card operates with 16 single ended analog input or 8 differential analog input and 1 analog output.

2. Specifications

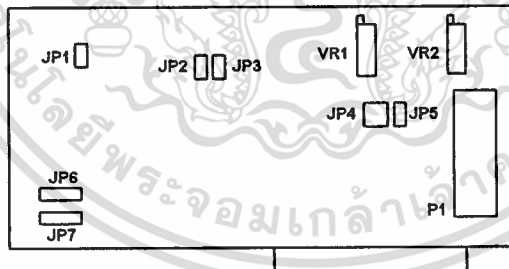
Digital to Analog:

- Output Channel :1
- Output Range : Bipolar +/- 9V
- Unipolar 0-9V
- Settling Time : 3us for 9V step
- Accuracy : 0.2%
- Resolution : 12 bits

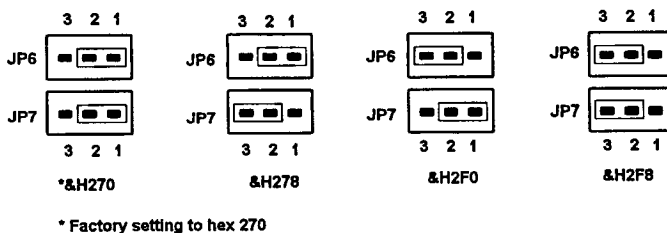
Analog to Digital:

- Input Channels : 16 single ended or 8 differential
- Input Ranges : Bipolar +/- 9V
- Unipolar 0-9V
- Conversion Time : 60us per channel
- Accuracy : +/- 0.3%
- Single ended input Impedance : > 10 MΩ
- Differential input impedance : 100 kΩ
- Resolution : 12 bit

3. The FPC-010 card diagram



4. Base Address Selection (JP6 and JP7)



5. Jumpers Setting

5.1 Analog output range

JP3 is used to select unipolar or bipolar for D/A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Unipolar



*Bipolar

5.2 Analog input range

a. JP2 is used to select unipolar or bipolar for A/D.

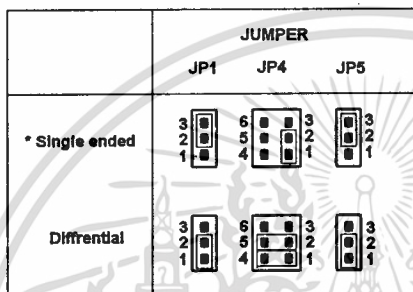


*Unipolar



Bipolar

b. JP1, JP4 and JP5 are used to select 16 single ended or 8 differential for A/D.



6. Potential Resistor (VR1)

This resistor (VR1) adjusts the A/D, D/A full scale reference voltage which is normal at 9VDC. To change the voltage, turn the screw at the top of the resistor until the desired voltage is attained.

7. Register & Format

The following are the registers which are addressable from the I/O port base address along with the location and usage of the registers.

- PORT+0 = output data (0-15) to select 16 single ended A/D channel or (0-7) to select 8 differential A/D channel
- PORT+1 = read A/D low 8-bit data
- PORT+2 = read A/D high 4-bit data (bits 0-3)
- PORT+3 = output zero (0) to clear A/D register
- PORT+4 = loop back seven times to start A/D high 6-bit conversion
- PORT+5 = loop back seven times to start A/D low 6-bit conversion
- PORT+6 = output D/A low 8-bit data
- PORT+7 = output D/A high 4-bit data (bits 0-3)

8. Analog to Digital Conversion Procedure

- a. output channel number to PORT+0
- b. initiate register using softswitch in PORT+3 to clear previous data
- c. start conversion using softswitch in PORT+4 and PORT+5 exactly seven times individually
- d. read data in PORT+2(bits 0-3) for high 4-bit data and PORT+1 for low 8-bit data

9. Digital to Analog Conversion Procedure

- a. output high 4-bit data to PORT+7
- b. output low 8-bit data to PORT+6

10. A/D Differential Input Per-amplifier Offset Adjustment

1. Short High and Low input of A/D channel 0 to GND.
2. Set jumper (JP1, 4, 5) for differential mode.

3. Unipolar:

- a. Set JP2 open (off) for unipolar mode.

- b. Run "BASICA DEMO5" program to get A/D data on the screen continuously.
- c. Adjust VR2 till A/D channel 0 data equal to Zero (0V)

4. Bipolar:

- a. Set JP2 close (on) for bipolar mode.
- b. Run "BASICA DEMO6" program to get A/D data on the screen continuously.
- c. Adjust VR2 till A/D channel 0 data equal to 2048 (0 V)

11. D-type Connector Pinout

16 Single ended		8 Differential	
PIN	NAME	PIN	NAME
1	A.GND	1	A.GND
2	D/A OUTPUT	2	D/A OUTPUT
3	5V	3	5V
4	A.GND	4	A.GND
5	A/D CH0	5	A/D CH0 High
6	A/D CH1	6	A/D CH1 High
7	A/D CH2	7	A/D CH2 High
8	A/D CH3	8	A/D CH3 High
9	A/D CH4	9	A/D CH4 High
10	A/D CH5	10	A/D CH5 High
11	A/D CH6	11	A/D CH6 High
12	A/D CH7	12	A/D CH7 High
13	12V	13	12V
14	A.GND	14	A.GND
15	-5V	15	-5V
16	A.GND	16	A.GND
17	A/D CH15	17	A/D CH7 Low
18	A/D CH14	18	A/D CH6 Low
19	A/D CH13	19	A/D CH5 Low
20	A/D CH12	20	A/D CH4 Low
21	A/D CH11	21	A/D CH3 Low
22	A/D CH10	22	A/D CH2 Low
23	A/D CH9	23	A/D CH1 Low
24	A/D CH8	24	A/D CH0 Low
25	-12V	25	-12V

12. D/A Programming Example

The following programming example, written in BASIC, show how to program D/A channel to generate a voltage of +5.0 volts.

a. Unipolar (demo1.bas)

```

10 PORT=&H270
20 V= 5.0
30 D=V/9*4095
40 LO%=D MOD 256
50 HI%=(D-LO%)/256
60 OUT PORT+6, LO%
70 OUT PORT+7, HI%
80 END

```

```

'Base address for factory setting
'Unipolar analog output 0V to 9V
'Convert value to voltage
'Calculate value of low byte
'Calculate value of high byte
'Write D/A channel low byte
'Write D/A channel high byte

```

b. Bipolar (demo2.bas)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

10 PORT=&H270 'Base address for factory setting
20 V= 5.0 +9 'Unipolar analog output -9V to +9V
30 D=V/18*4095 'Convert value to voltage
40 LO%=D MOD 256 'Calculate value of low byte
50 HI%=(D-LO%)/256 'Calculate value of high byte
60 OUT PORT+6, LO% 'Write D/A channel low byte
70 OUT PORT+7, HI% 'Write D/A channel high byte
80 END

```

13. A/D Programming Example

The following programming example, written in BASIC, is to sample all the a/d channel and print the results.

a. Unipolar (single ended) (demo3.bas)

```

10 PORT=&270H 'Base address for factory setting
20 CLS 'Clear screen
*30 FOR CH=0TO15
40 GOSUB 120
50 HI=INP(PORT+2) 'Read A/D high byte
60 LO=INP(PORT+1) 'Read A/D low byte
70 D=HI*256+LO 'Calculate value
75 'Unipolar 0V to 9V
80 V=(D/4095)*9 'Convert value to voltage
90 PRINT CH,D,V 'Print channel number, value and voltage
100 NEXT CH
105 END
110 ' --- A/D routine ---
120 OUT PORT+3,0 'Initiate register to clear previous data
130 OUT PORT+0,CH 'Select channel
140 ' Trigger A/D high byte and low byte converter
** 150 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+4): NEXT I
** 160 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+5): NEXT I
170 RETURN

```

* Note 1: While you use the differential mode, please change the line 30 to:
30 FOR CH=0 TO 7 (demo5.bas)

** Note2: In case if the implementing speed of the program for line 150,160 faster than the A/D conversion time (3us). We recommend you to add a delay in the line 150, 160. Please refer to the following sample:

```

150 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100: NEXT DL: A=INP(PORT+4): NEXT I
160 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100: NEXT DL: A=INP(PORT+5): NEXT I

```

b. Bipolar (single end) (demo4.bas)

```

10 PORT=&270H 'Base address for factory setting
20 CLS 'Clear screen
*30 FOR CH=0TO15
40 GOSUB 120
50 HI=INP(PORT+2) 'Read A/D high byte
60 LO=INP(PORT+1) 'Read A/D low byte
70 D=HI*256+LO 'Calculate value
75 'Unipolar -9V to +9V
80 V=(D/4095)*9 'Convert value to voltage
90 PRINT CH,D,V 'Print channel number, value and voltage
100 NEXT CH
105 END
110 ' --- A/D routine ---
120 OUT PORT+3,0 'Initiate register to clear previous data
130 OUT PORT+0,CH 'Select channel

```

```

140 ' Trigger A/D high byte and low byte converter
** 150 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+4): NEXT I
** 160 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+5): NEXT I
170 RETURN

```

* Note 1: While you use the differential mode, please change the line 30 to:
30 FOR CH=0 TO 7 (demo6.bas)

** Note2 : In case if the implementing speed of the program for line 150,160 faster than the A/D conversion time (3us). We recommend you to add a delay in the line 150, 160. Please refer to the following sample:

```

150 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100: NEXT DL: A=INP(PORT+4): NEXT I
160 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100: NEXT DL: A=INP(PORT+5): NEXT I

```



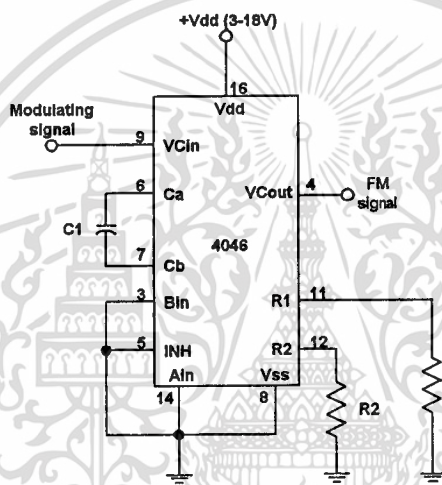
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การออกแบบวงจร Modulator และ Demodulator

ในโครงงานนี้เลือกอุปกรณ์ไอซี CMOS phase lock loop เบอร์ 4046 ทำหน้าที่เป็น FM modulator และ demodulator การออกแบบวงจรจะอ้างอิงกับคู่มือการใช้งานไอซีเบอร์นี้ในภาคผนวกเป็นหลัก

การออกแบบวงจร Modulator การใช้งาน 4046 เป็นวงจร FM Modulator แสดงดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การใช้งานไอซี 4046 เป็น FM Modulator

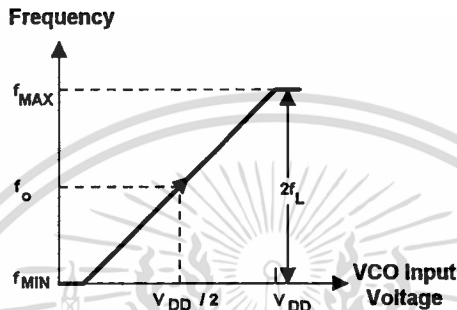
ในการออกแบบวงจร ความถี่ที่จะต้องพิจารณามีด้วยกันสองความถี่ ได้แก่ ความถี่ศูนย์กลางและความถี่ออฟเซต โดยที่ความถี่ศูนย์กลางเป็นความถี่ที่วงจร VCO ภายในตัวไอซีผลิตออกมาในขณะที่แรงดันอินพุตเท่ากับครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟ ความถี่นี้ถูกกำหนดโดยตัวต้านทาน R_1 ที่ต่อระหว่างขา 11 ของไอซีและกราวด์ คาปาซิเตอร์ C_1 ที่ต่อระหว่างขา 6 และ 7 และแหล่งจ่ายไฟของไอซี ความถี่ออฟเซตเป็นความถี่ที่วงจร VCO ผลิตออกมาเช่นเดียวกัน แต่จะผลิตในขณะที่แรงดันอินพุตเท่ากับศูนย์ ความถี่นี้ถูกกำหนดโดยตัวต้านทาน R_2 ระหว่างขา 12 และกราวด์ คาปาซิเตอร์ C_1 ระหว่างขา 6 และ 7 และแหล่งจ่ายไฟ ความถี่นี้เป็นความถี่ต่ำที่สุดของวงจร VCO จะผลิตได้เมื่อป้อนสัญญาณใช้งานจริง ในทางปฏิบัติความถี่ออฟเซตอาจจะมีค่าเป็นศูนย์ก็ได้ โดยการปล่อยขา 12 ลอยไว้

การออกแบบ ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดก่อนว่าจะใช้ความถี่ศูนย์กลางค่าเท่าใด จากแผ่นคู่มือไอซีเบอร์นี้ พบว่าความถี่สูงสุดที่ไอซีสามารถผลิตได้คือ 3MHz ที่แรงดันไฟเลี้ยง 10 โวลต์ เมื่อกำหนดความถี่ศูนย์กลางที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นจึงกำหนดว่าจะให้มีความถี่ออฟเซตหรือไม่ ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่าใด การคำนวณหาค่าอุปกรณ R และ C เพื่อให้วงจรผลิตความถี่ตามที่ ต้องการ สามารถสรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ไม่ต้องการความถี่ออฟเซต

การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจร VCO ในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ ก.2 การกำหนดค่าอุปกรณ R_1 และ C_1 เป็นดังนี้

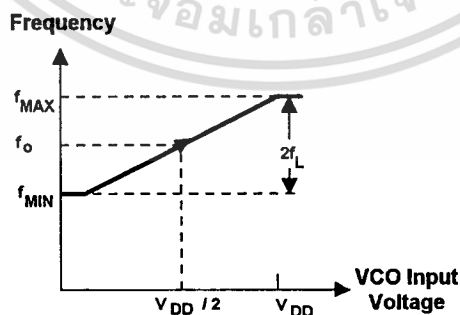


รูปที่ ก.2 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจร VCO เมื่อความถี่ออฟเซตเป็นศูนย์

กำหนดความถี่กลาง f_0 ต่อจากนั้นใช้ตารางที่ 5a ในคู่มือของไอซีกำหนดค่า R และ C ในกรณีนี้ให้ปล่อยขา 12 ลอยไว้ วงจรจะมีความถี่ออฟเซตเป็นศูนย์ นั่นคือเมื่อไม่มีแรงดันอินพุตที่ขา 9 วงจร VCO จะไม่ผลิตสัญญาณ

กรณีที่ 2 ต้องการให้มีความถี่ออฟเซต

การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจร VCO ในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ ก.3 และการคำนวณหาค่าอุปกรณ R_1, R_2 และ C_2 เพื่อให้ได้ความถี่ตรงตามที่ต้องการเป็นดังนี้



รูปที่ ก.3 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจร VCO เมื่อความถี่ออฟเซตเท่ากับ f_{MIN}

1. กำหนดความถี่กลาง f_0 และความถี่ f_L โดยที่ความถี่ f_L เป็น Lock range frequency ของวงจรหรือแถบความถี่ของวงจร VCO ในขณะที่มีการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปที่ขา 9 ในโครงงานนี้

กำหนดความถี่ f_0 ที่ 2 kHz และ $2f_L = 500$ Hz

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาความถี่ f_{MIN} จากสมการ $f_{MIN} = f_o - f_L$ ได้ $f_{MIN} = (2 - 0.25) \text{ kHz} = 1.75 \text{ kHz}$

3. ใช้ f_{MIN} และรูปที่ 5b ในแผ่นคู่มือของไอซี กำหนดค่า R_2 และ C_1 ซึ่งจากรูป 5b ที่แหล่งจ่ายไฟ 9 V เลือก $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$ จะได้ $R_2 \approx 10 \text{ k}\Omega$

4. คำนวณหาอัตราส่วน $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}}$ จากสมการ $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}} = \frac{f_o + f_L}{f_o - f_L}$ จะได้ $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}} = 1.3$

5. ใช้ $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}}$ และรูปที่ 5c ในแผ่นคู่มือของไอซี หาอัตราส่วนของ $\frac{R_2}{R_1}$ เพื่อคำนวณค่าของ R_1 จากรูปจะได้ $\frac{R_2}{R_1} \approx 0.2$ ดังนั้น $R_1 = \frac{R_2}{0.2} = 50 \text{ k}\Omega$

ในการใช้งานจริง จะมีค่าผิดพลาดของตัวอุปกรณ์ที่ทำให้ความถี่ออฟเซตและความถี่ศูนย์กลางไม่เท่ากับค่าที่ต้องการ เพื่อชดเชยค่าผิดพลาดดังกล่าวควรใช้ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 เป็นชนิดที่ปรับค่าได้

การออกแบบวงจร FM Demodulator

การใช้งาน 4046 เป็น FM Demodulator แสดงดังรูปที่ ก.4 การออกแบบวงจร FM Demodulator จะยุ่งยากกว่าการออกแบบวงจร Modulator เล็กน้อย กล่าวคือก่อนที่จะคำนวณค่า R และ C เพื่อกำหนดความถี่ของวงจร VCO จะต้องเลือกว่าจะใช้เอาต์พุตจากการเปรียบเทียบเฟสจากขา 2 หรือขา 13 ซึ่งเอาต์พุตจากทั้งสองขาเหมาะสมกับสัญญาณอินพุตแตกต่างกัน ซึ่งสามารถศึกษาความเหมาะสมได้จากแผ่นคู่มือของ 4046 ในภาคผนวกท้ายปริญญาบัตร ในที่นี้จะใช้เอาต์พุตจากขา 13 ต่อจากนั้นจึงคำนวณค่า R และ C เพื่อกำหนดความถี่ของวงจร VCO ต่อไป การคำนวณค่า R และ C ขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้มีความถี่ออฟเซตหรือไม่ เช่นเดียวกับในวงจร FM Modulator ในที่นี้ต้องการให้มีความถี่ออฟเซต การคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำหนดความถี่ f_{MIN} และ f_{MAX} ซึ่งควรจะต้องเท่ากับความถี่ f_{MIN} และ f_{MAX} ในวงจร FM Modulator ดังนั้น $f_{MIN} = 1.75 \text{ kHz}$ และ $f_{MAX} = 2.25 \text{ kHz}$

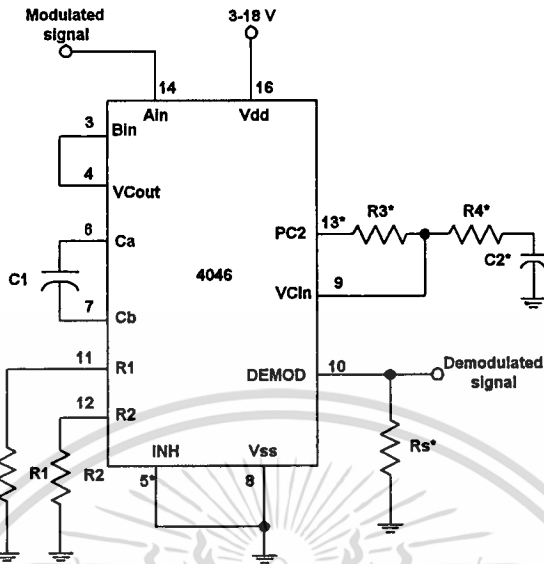
2. ใช้ความถี่ f_{MIN} และรูปที่ 5b ในแผ่นคู่มือของ 4046 หาค่าของ R_2 และ C_1 จากขั้นตอนนี้ได้กำหนดค่าของ $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$ และใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร 5 V จะได้ค่า $R_2 \approx 2 \text{ k}\Omega$

3. คำนวณหาอัตราส่วน $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}}$ จะได้ $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}} = 1.3$

4. ใช้อัตราส่วน $\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}} = 1.3$ และรูปที่ 5c หาอัตราส่วน $\frac{R_2}{R_1}$ เพื่อหา R_1 จะได้

$$\frac{R_2}{R_1} = 0.2 \text{ ดังนั้น } R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายละเอียดจากคู่มือไอซี

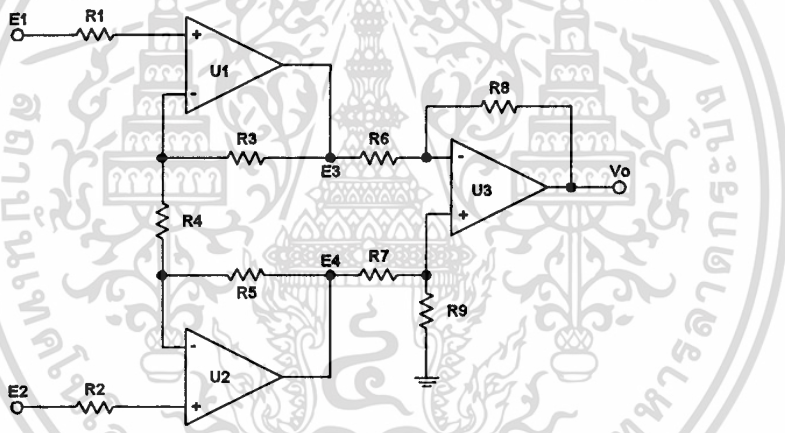
รูปที่ ค.4 การใช้งาน 4046 เป็น FM Demodulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การออกแบบวงจร Instrumentation amplifier

การออกแบบวงจรจะใช้วงจร Instrumentation amplifier พื้นฐานดังแสดงในรูปที่ ง.1 วงจรประกอบไปด้วยออปแอมป์ U_1, U_2 และ U_3 และตัวอุปกรณ์ต่อรวม โดยที่ U_1 และ U_2 ทำให้วงจรมีความต้านทานอินพุตสูงมาก และ U_3 ถูกต่อเป็นวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งช่วยทำให้วงจรมีค่า CMRR สูง ออปแอมป์ทั้งสามตัวควรจะเป็นชนิดที่มีวงจรอินพุตเป็น FET เนื่องจากมีความต้านทานอินพุตสูง



รูปที่ ง.1 วงจร Basic Instrumentation amplifier

การออกแบบวงจรจะแบ่งพิจารณาเป็นสองส่วนคือ ส่วนของ U_1, U_2 และตัวต้านทานที่เกี่ยวข้องได้แก่ R_1 ถึง R_5 และอีกส่วนหนึ่งคือ U_3 และตัวต้านทาน R_6 ถึง R_9

พิจารณาวงจร differential amplifier U_3 แรงดันเข้าที่พุด V_o ของวงจรเป็นคังสมการ

$$V_o = V_4 \frac{R_8}{R_6} \left(\frac{R_6 + R_9}{R_7 + R_8} \right) - V_3 \frac{R_9}{R_8} \quad (ง.1)$$

เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตแบบโหมคร่วม นั่นคือ $V_4 = V_3$ สามารถพิสูจน์ได้ว่าแรงดันเข้าที่พุด V_o จะเป็นศูนย์เมื่อ

$$R_6 R_8 = R_7 R_9 \quad (ง.2)$$

ตัวต้านทานทั้ง 4 ตัวนี้มีผลต่อค่า CMRR ของวงจร ถ้าผลคูณคังสมการ (ง.2) เป็นจริง วงจรจะมีค่า

อัตราขยายสัญญาณโหมคร่วมเท่ากับศูนย์ CMRR ของวงจรขยายใดๆเป็นคังสมการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{cm}} \quad (3.3)$$

โดยที่ A_d และ A_{cm} เป็นอัตราขยายสัญญาณโหมดต่างและโหมดร่วมตามลำดับ เมื่ออัตราขยายโหมดร่วมเป็นศูนย์ วงจรมีค่า CMRR เท่ากับอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติเป็นการยากมากที่สมการ (ง.2) จะเป็นจริง เนื่องจากตัวต้านทานมีค่าผิดพลาดแม้ว่าจะใช้ชนิดที่มีค่าผิดพลาดเพียง 1% ก็ตาม ดังนั้น วงจรที่ใช้กันทั่วไปจึงกำหนดให้ R_6, R_7, R_8 มีค่าเท่ากันและใช้ R_9 เป็นชนิดที่ปรับค่าได้เพื่อชดเชยค่าผิดพลาดของตัวต้านทาน เมื่อ R_6 และ R_8 มีค่าเท่ากันจึงทำให้วงจรขยายความแตกต่างนี้มีอัตราขยายเท่ากับ 1 การกำหนดอัตราขยายสัญญาณโดยรวมของวงจร Instrumentation amplifier จะถูกกำหนดโดยตัวต้านทานในวงจรของ U_1 และ U_2

ต่อไปพิจารณาารวมทั้งวงจร สมการแรงดันเอาต์พุต V_o คือ

$$V_o = E_2 \left[\frac{\left(1 + \frac{R_5}{R_3}\right)(R_6 + R_8)R_9}{(R_7 + R_9)R_6} + \frac{R_4 R_8}{R_3 R_6} \right] - E_1 \left[\frac{\frac{R_5}{R_3}(R_6 + R_8)R_9}{(R_7 + R_9)R_6} + \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{R_8}{R_6} \right]$$

เมื่อกำหนดให้ผลคูณ $R_6 R_8 = R_7 R_9$ ตามเงื่อนไขที่จะทำให้อัตราขยายสัญญาณโหมดร่วมเท่ากับศูนย์จะได้แรงดันเอาต์พุต V_o ของวงจรคือ

$$V_o = (E_2 - E_1) \frac{R_8}{R_6 R_3} (R_3 + R_4 + R_5)$$

ดังนั้น อัตราขยายสัญญาณโหมดต่าง (differential mode ; A_d) ของเป็นดังสมการ

$$A_d = \frac{V_o}{(E_2 - E_1)} = \frac{R_8}{R_6 R_3} (R_3 + R_4 + R_5)$$

ถ้าผลคูณ $R_6 R_8 \neq R_7 R_9$ สมการแรงดันเอาต์พุตจะเป็นดังสมการที่ (ง.1) และอัตราขยายสัญญาณโหมดร่วมเป็นดังสมการ

$$A_{cm} = \frac{R_9 R_6 - R_7 R_8}{R_6 (R_7 + R_9)}$$

การปรับอัตราขยายสัญญาณของวงจร ส่วนมากจะปรับที่ตัวต้านทาน R_4 และการปรับค่า CMRR จะปรับที่ตัวต้านทาน R_9 นอกจากนั้นเนื่องจากใช้อุปกรณ์ที่มีวงจรอินพุตเป็น FET ซึ่งมักจะออสซิลเลทที่ความถี่สูง จึงต้องมีการลดทอนอัตราขยายสัญญาณที่ความถี่สูง ซึ่งทำได้โดยการต่อคาปาซิเตอร์ค่าความจุต่ำๆ ครอบตัวต้านทานป้อนกลับของออปแอมป์ U_1 และ U_2 ดังแสดงในวงจรรูปที่ 3.2 ในบทที่ 3 เมื่อต่อคาปาซิเตอร์ครอบตัวต้านทาน R_3 และ R_5 การวิเคราะห์วงจรจะต้องแทนค่าความต้านทาน R_3 และ R_5 ในสมการด้วยอิมพีแดนซ์ Z_3 และ Z_5 ตามลำดับ โดยที่

$$Z_3 = \frac{R_3}{1 + 2\pi f R_3 C_{[R_3]}} \quad \text{และ} \quad Z_5 = \frac{R_5}{1 + 2\pi f R_5 C_{[R_5]}} \quad \text{เมื่อ } C_{[R_3]} \text{ และ } C_{[R_5]} \text{ เป็นคาปาซิเตอร์ที่ต่อ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

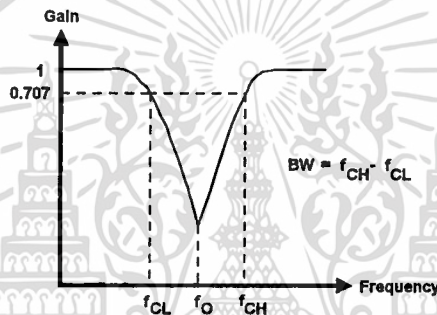
กร่อม R_3 และ R_5 ตามลำดับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การออกแบบวงจร 50-Hz Notch filter

วงจร Notch filter หรือ band-reject filter หรือ band-stop filter เป็นวงจรกรองความถี่อีกชนิดหนึ่ง วงจรจะกำจัดสัญญาณความถี่ใดความถี่หนึ่งหรือกำจัดเป็นช่วงความถี่ กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรแสดงดังรูปที่ จ.1



รูปที่ จ.1 กราฟการตอบสนองความถี่ของวงจร Notch filter

รูปแบบวงจรใช้งานแสดงดังรูปที่ จ.2 ชุดตัวต้านทาน R และคาปาซิเตอร์ C ประกอบกันเป็นวงจร twin-T network และออปแอมป์ A_1, A_2 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ วงจร twin-T network มีความถี่คutoff สองความถี่ซึ่งอยู่รอบๆความถี่ศูนย์กลางของวงจร Notch filter ตัวต้านทาน R_Q ทำหน้าที่กำหนดค่า quality factor หรือ Q ของวงจร ค่า Q เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของวงจรกรองความถี่ทุกๆวงจร เนื่องจากเป็นตัวแสดงความสามารถของวงจรกรองความถี่ว่าจะสามารถกำจัดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการได้ดีเพียงใด และสัญญาณส่วนที่ต้องการมีการสูญเสียไปมากเพียงใด หากเปรียบเทียบวงจรชนิดเดียวกันแต่มีค่า Q ไม่เท่ากัน วงจรที่มี Q สูงกว่าจะสามารถกำจัดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการออกได้มากกว่า และมีการสูญเสียของสัญญาณในส่วนที่ต้องการน้อยกว่า

ความถี่กลาง f_o ของวงจรเป็นดังสมการ

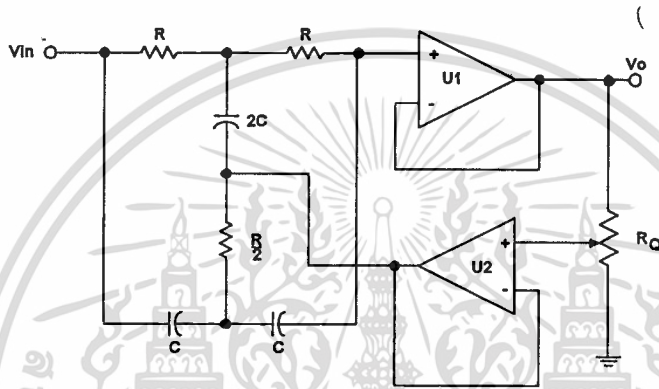
$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

และค่า Q มีความสัมพันธ์กับความถี่ศูนย์กลางและแถบความถี่ทำงาน (bandwidth; BW) ของวงจรดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{f_o}{BW}$$

ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้ ถ้าวงจรมีค่า Q สูง แถบความถี่ทำงานของวงจรจะแคบมาก ดังนั้นวงจรจะสามารถกำจัดสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่ศูนย์กลางจริงๆ และมีการสูญเสียสัญญาณความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ศูนย์กลางไปเพียงเล็กน้อย



รูปที่ จ.2 วงจร Notch Filter

การออกแบบกำหนดค่าอุปกรณ์ R และ C สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำหนดความถี่ศูนย์กลาง f_o ของวงจร ในที่นี้ต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ 50 Hz ดังนั้น $f_o = 50 \text{ Hz}$
2. กำหนดค่า R หรือ C ในที่นี้จะกำหนดค่า C ก่อนโดยใช้ $C = 22 \text{ nF}$
3. คำนวณหาค่า R จากสมการ จะได้ $R = \frac{1}{2\pi(22 \times 10^{-9})(50)} = 144.686 \text{ k}\Omega$
4. เลือกออปแอมป์ ควรใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุตเป็น FET เนื่องจากมีความต้านทานอินพุตสูง

ภาคผนวก ฉ

โปรแกรมแสดงผล

```
/* ECG Monitoring Program */
```

```
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<graphics.h>
#include<bios.h>
#include<string.h>
#include<dos.h>
#include<stdlib.h>
#include<ctype.h>
#include<io.h>

#define XOFF getmaxx()-624 /* 15 Large box display*/
#define YOFF getmaxy()-279 /* 200 */
#define BXOFF getmaxx()-389 /* 250 Small box display */
#define BYOFF getmaxy()-444 /* 35 */
#define XTLOC 40 /* 40 Text display location */
#define YTLOC 330 /* 330 */
#define LeftCursorColor EGA_LIGHTGRAY
#define RightCursorColor EGA_YELLOW
#define WaveformColor EGA_WHITE
#define ADCPort 0x270 /* ADC base address */
int CH; /* Select ADC input channel */
int lbx[6], lby[6]; /* Block border */
char StringBuffer[80]; /* Text buffer */
FILE *fp; /* Disk I/O */
int Gain = 1, slgain = 1; /* Keep track of cursor voltage */
int IntegralGain, BufferGain, DiffGain;
float T, dV, ms; /* Keep track of time base */
char ScanCode, Ascii; /* For check hitting key */
/* Sampling variable */
float fs=6.0;
int count = 16000, z, ix1, ix2, *ptr, *endpnt;
int HIGH,LOW;
int FileNotFound;
int Check;
```

```

float Offset=2.0, DCShift = 10;           /* DC shift */
int xtex = XTLOC, ytex = YTLOC;          /* Original position for text display */
int ytex1 = YTLOC+20, ydel = 20;
int CursorLeft = 150, CursorRight = 400; /* Cursor control */
int icur = 150, iinc = 1, SelectCursor = 0;
/* Store sampled data */
int db[512];                             /* Stores the original waveforms */
int sb[512];                             /* Stores the manipulated waveforms */
int pt[512];
int nt[512];                             /* For sampling ringing */
int rt[512];
int RingData;                            /* For detect ringing */
int Any=0;
int xnt, ynt, xm1, xm2, MaxValue;        /* Digital filter variables */
int xp1, xp2, ym1, yp1, yp2;
/* Functions */
int ADCInit(int);                        /* Initializes ADC card */
int GetADC(int);                         /* Get data from ADC card */
void ADCin(int,int);                     /* Starts conversion of ADC card */
int StartDisplay(void);                  /* Program start */
void ShowValue(void);                    /* Show current positions of cursor on waveform */
void Period(void);                       /* Send command for sampling */
void ClearCurrentShow(void);             /* Display */
void DrawLargeBox(void);                  /* Draws large box border */
void LargeBoxPlot(int,int,int,int);      /* Plots pixel on large box */
void Savelt(void);
int PhoneRinging(void);                  /* Detects telephone ringing */
void PickUpPhone(float);                 /* Generates analog voltage for pickup phone */
void RestoreWaveform(void);
void LargeBoxShow(int);                  /* Show waveform in large box */
void SwitchCursor(void);                 /* */
void ShiftToRight(void);                  /* Shifts selected cursor to right hand */
void ShiftToLeft(void);                  /* Shifts selected cursor to left hand */
void Curse(int,int);
void DrawBorder(void);                   /* Draws outer most border */
int GetNames(int);                       /* Draws block for enter */
void DrawBlock(int,int,int,int);         /* Creates blocks for general purpose */
void DeleteBlock(int,int,int,int);       /* Deletes blocks and error messages */
void ErrorMessage(int,int,int);          /* Displays error messages */

```

```

void Introduction(void);                /* Introduction to ecg program */
void DeleteOldArea(int,int,int);
void CreateCenterLine(void);
void ContinueSampling(int,int,int,int);
void LoadFile(void);
void EndOfProgram(void);
void SetSamplingRate(void);
int CreateSound(int);
void SignalIncomming(void);
int Warning(void);
void DisplayFrequency(void);
float CalculateDCShift(void);
void ShowFrequency(void);
void WaitingMessage(int);
void SaveFile(void);
void ReadKeyboard(void);
void PlotPixel(int);
void Help(void);
void FileStatus(void);

/* เริ่มต้นโปรแกรม */
main(void)
{
    int c, i, j, y, y1, y2, x;
    StartDisplay();
    PickupPhone(0);                    /* ส่งแรงดันออกไปรีเซ็ตวงจร Counter */
    Introduction();
    START:
    cleardevice();
    WaitingMessage(1);                 /* แสดงข้อความรอสัญญาณเรียก */
    ContinueSampling(0,1,0,50);        /* สุ่มสัญญาณเรียก */
    DrawBorder();
    DrawLargeBox();
    CreateCenterLine();
    setcolor(EGA_MAGENTA);
    while(1)
    {
        xtex = XTLOC;
        ytex = YTLOC;
        ytex1 = YTLOC+ydel;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T = (float) 1.0/fs;
ms = T*1000.0;
setcolor(EGA_LIGHTRED);
CreateCenterLine();
Curse(CursorLeft,LeftCursorColor);      /* แสดงเคอร์เซอร์ซ้าย */
Curse(CursorRight,RightCursorColor);     /* แสดงเคอร์เซอร์ขวา */
if(bioskey(1)!=0) getch();                /* ล้างข้อมูลในบัฟเฟอร์คีย์บอร์ด */
ReadKeyboard();                            /* อ่านคีย์บอร์ด */
switch(ScanCode){                         /* ตรวจสอบการกดปุ่มคีย์บอร์ด */
if(bioskey(1)!=0) getch();                /* ล้างข้อมูลในบัฟเฟอร์คีย์บอร์ด */
/* ปุ่มที่กดเป็นปุ่มที่ควบคุมเคอร์เซอร์ */
/* กดปุ่ม "2" เลือกเคอร์เซอร์ขวา */
case 0x03: /* เลข 2 */
    SelectCursor = 1;
    break;
/* กดปุ่ม "1" เลือกเคอร์เซอร์ซ้าย */
case 0x02: /* เลข 1 */
    SelectCursor =0;
    break;
/* กดปุ่ม ลูกศรขวา เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา */
case 0x4d:
    if(SelectCursor) {
        icur = CursorRight;
        ShiftToRight();
        CursorRight = icur;
    }
    else {
        icur = CursorLeft;
        ShiftToRight();
        CursorLeft = icur;
    }
    break;
/* กดปุ่มลูกศรซ้าย เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย */
case 0x4b:
    if(SelectCursor) {
        icur = CursorRight;
        ShiftToLeft();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        CursorRight = icur;
    }
    else {
        icur = CursorLeft;
        ShiftToLeft();
        CursorLeft = icur;
    }
    break;

/* กดปุ่มตัวเลข " 3 ถึง 0 " เปลี่ยนระยะการเลื่อนเคอร์เซอร์ */
case 0x04: /* เลข 3 */
    Offset=1.0;
    iinc=1;
    break;
case 0x05: /* เลข 4 */
    Offset=5.0;
    iinc=5;
    break;
case 0x06: /* เลข 5 */
    Offset=10.0;
    iinc=10;
    break;
case 0x07: /* เลข 6 */
    Offset=20.0;
    iinc=20;
    break;

case 0x08: /* เลข 7 */
    Offset=30.0;
    iinc=30;
    break;

case 0x09: /* เลข 8 */
    Offset=40.0;
    iinc=40;
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 0x0a: /* เลข 9 */
    Offset=50.0;
    iinc=50;
    break;

case 0x0b: /* เลข 0 */
    Offset=60.0;
    iinc=60;
    break;

/* กดปุ่มเลื่อนรูปคลื่นขึ้น */
case 0x48: /* ปุ่มลูกศรขึ้น */
    DCShift += Offset;
    if(bioskey(1)!=0) getch();
    DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
    for (i = 0; i <= 511; i++) {
        sb[i] = sb[i] + Offset;
        LargeBoxPlot(i,sb[i],WaveformColor,0);
    }
    break;

/* กดปุ่มเลื่อนรูปคลื่นลง */
case 0x50: /* ปุ่มลูกศรลง */
    DCShift -= Offset;
    DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
    for (i = 0; i <= 511; i++) {
        sb[i] = sb[i] - Offset;
        LargeBoxPlot(i,sb[i],WaveformColor,0);
    }
    break;

/* ดูหน้าที่ของปุ่มต่างๆ */
case 0x3b: /* กดปุ่ม F1 */
    Help();
    break;

/* อ่านข้อมูลที่เก็บในดิสก์ */
case 0x3c: /* ปุ่ม F2 */

```

```

LoadFile();
break;

/* เก็บข้อมูลลงดิสก์ */
case 0x3d: /* ปุ่ม F3 */
    SaveFile();
    break;

/* กำหนดเวลาหน่วงในการสุ่มสัญญาณ */
case 0x3e: /* ปุ่ม F4 */
    SetSamplingRate();
    break;

/* รอสัญญาณเรียกในขณะที่โปรแกรมทำงาน */
case 0x3f: /* ปุ่ม F5 */
    if(GetNames(7)==1) { /* แสดงข้อความเพื่อยืนยันว่าต้องการรอสัญญาณเรียก */
        PickUpPhone(0); /* วางหูโทรศัพท์สายที่กำลังติดต่อเพื่อรอสัญญาณเรียกต่อไป */
        goto START; /* เริ่มต้นโปรแกรมใหม่ */
    } else
        DrawBorder(); /* วาดกรอบ */
        DrawLargeBox(); /* วาดกรอบแสดงสัญญาณ */
        if(bioskey(1)!=0) getch(); /* ล้างข้อมูลในบัฟเฟอร์คีย์บอร์ด */
        break;

/* ยกหูโทรศัพท์ในขณะที่อยู่ในโปรแกรม */
case 0x40: /* ปุ่ม F6 */
    GetNames(6); /* คำนี้นั่น */
    break;

/* นำข้อมูลเดิมมาพล็อต */
case 0x42: /* ปุ่ม F8 */
    DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
    RestoreWaveform();
    break;

/* ขยายขนาดรูปคลื่น กดปุ่ม + แต่ละครั้งขนาดรูปคลื่นจะเพิ่มทีละสองเท่า */
case 0x4e: /* ปุ่ม + */
    for (i = 0; i <= 511; i++)
        sb[i] = sb[i] << 1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        slgain *= 1.0;
        LargeBoxShow(0);
        break;

/* ลดขนาดรูปคลื่น */
case 0x4a: /* ปุ่ม - */
    for(i=0;j<=511;i++)
        sb[i] = sb[i] >> 1;
    slgain *=1.0;
    LargeBoxShow(0);
    break;

/* ออกจากโปรแกรม */
case 0x44: /* ปุ่ม F10 */
    GetNames(4); /* ข้อความยืนยัน */
    break;

/* สุ่มสัญญาณใหม่ */
case 0x41: /* F7 */
    ShowValue();
    if(GetNames(8)==1){ /* คำยืนยัน */
        DCShift=0;
        DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
        ContinueSampling(1,1,2,50);
    }
    break;

default:
    break;
}

}

} /* จบโปรแกรม */

/* ฟังก์ชันต่างๆ */

/* เริ่มต้นโหมดกราฟิกส์ */
int StartDisplay(void)
{
    int gdriver = DETECT, gmode, error;
    initgraph(&gdriver, &gmode, "\tc\bgi");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

error = graphresult();
if(error != grOk)
    printf("Graphics error: %s\n",grapherrormsg(error));
    printf("Press any key to exit ");
    getch();
    exit(1);
}
DrawBorder();
return;
}

/* ส่งคำสั่งให้การวัดสัญญาณ */
void Period(void)
{
    DrawBorder();
    CreateCenterLine();
    setcolor(EGA_LIGHTRED);
    ADCin(1,1); /* Get data from ADC card ch1 */
    return;
}

/* อ่านข้อมูลที่การวัดได้ */
void ADCin(int ChannelSelect,int Function)
{
    int i;
    switch(Function){
    case 1: /* วัดสัญญาณทางช่อง 1 */
        for(;;){
            for(i = 0;i<=511;i++) {
                sb[i]=ADCInit(ChannelSelect); /* อ่านข้อมูลที่วัดได้ */
                db[i] = sb[i]; /* Save original waveform */
            }
            for(i=0;i<=511;i++){
                pt[i]=ADCInit(ChannelSelect);/* อ่านข้อมูลที่วัดได้*/
                rt[i]=pt[i]; /* เก็บข้อมูลดั้งเดิม */
            }
            ClearCurrentShow(); /* พลีตกราฟบนจอ */
            if(kbhit()) goto Exit; /* หากกดปุ่มใดๆ เป็นการยกเลิกการพลีต */
            for(i=0;i<=511;i++) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        sb[i]=0;
        pt[i]=0;
    }
    CreateCenterLine();          /* วาดเส้นอ้างอิง */
    if(kbhit()) goto Exit;
}
Exit:
Check=1;
break;

case 0: /* สุ่มสัญญาณเรียก */
    if(bioskey(1)!=0) getch();
    for(i=0;i<=511;i++){
        if(kbhit()) goto Out;
        nt[i]=ADCInIt(ChannelSelect);
    }
    Out:
    break;
}
return;
)

/* เริ่มต้นของการรีดแปลงสัญญาณ */
int ADCInIt(int ChannelSelect)
{
    int i, j, a, data;

    outportb(ADCPort+3, 0); /* ล้างข้อมูลเดิมในรีจิสเตอร์ของการรีดแปลงสัญญาณ */
    outportb(ADCPort+0, ChannelSelect); /* ส่งหมายเลขช่องที่จะสุ่มสัญญาณ */

    for(i=0; i<=fs; i++) { /* หน่วงเวลาก่อนที่จะสุ่มสัญญาณ */
        for(j=0; j<=count; j++) {
        }
        HIGH=inportb(ADCPort+4); /* สุ่มสัญญาณ 6 บิตด้านสูง */
    }

    for(i=0; i<=fs; i++) { /* หน่วงเวลาการสุ่มสัญญาณ */
        for(j=0; j<=count; j++) {
        }
        LOW=inportb(ADCPort+5); /* สุ่มสัญญาณ 6 บิตด้านต่ำ */
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    HIGH=inportb(ADCPort+2); /* อ่านข้อมูล 6 บิตด้านสูงจากรีจิสเตอร์ของการ์ดแปลงสัญญาณ */
    LOW=inportb(ADCPort+1); /* อ่านข้อมูล 6 บิตด้านต่ำจาก*/

    data=HIGH*256+LOW;      /* แปลงเป็นข้อมูลขนาด 12 บิต */
    return(data/32);
}

/* ตรวจสอบสัญญาณเรียก */
int PhoneRinging(void)
{
    int i;
    ADCin(0,0);
    for(i=0;i<=511;i++) {
        RingData += nt[i];
        RingData = RingData/10;
    }
    return(RingData);
}

/* ผลิตแรงดัน 5 โวลต์เพื่อยกหูโทรศัพท์และรีเซ็ตวงจรมับ */
void PickUpPhone(float v)
{
    int value, low, high;
    float volt = v;
    value = volt/6*4095;
    low = value % 256;
    high = value/256;
    outportb(ADCPort+6, low);
    outportb(ADCPort+7, high);
    return;
}

/* นำสัญญาณเดิมมาแสดงบนจอ */
void RestoreWaveform(void)
{
    int i;
    for (i = 0; i <= 511; i++){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        pt[i] = rt[i];
    }
    PlotPixel(0);
    if(bioskey(1)!=0) getch();
    return;
}

```

/* ลบภาพเดิมบนจอและแสดงรูปคลื่นใหม่ */

```

void ClearCurrentShow(void)
{
    int i;
    DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
    DrawLargeBox();
    CreateCenterLine();
    if(bioskey(1)!=0) getch();
    for (i = 0; i <= 511; i++) {
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i, sb[i],WaveformColor,0);
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i, sb[i],BLACK,10);
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i,pt[i],WaveformColor,0);
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i,pt[i],BLACK,10);
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i,sb[i],WaveformColor,0);
        if(kbhit()) goto Exit;
    }
    for(i=0;i<=511;i++) {
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i,sb[i],BLACK,10);
        if(kbhit()) goto Exit;
        LargeBoxPlot(i,pt[i],WaveformColor,0);
        if(kbhit()) goto Exit;
    }
    Exit:
    CreateCenterLine();
    PlotPixel(0);
    ShowValue();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        return;
    }

    /* วาดกรอบใหญ่เพื่อแสดงรูปคลื่น */
    void DrawLargeBox(void)
    {
        int i;
        int x[6], y[6];
        x[0] = XOFF-1;   x[1] = XOFF+512;
        x[2] = XOFF+512; x[3] = XOFF-1;
        x[4] = BXOFF-1;  x[5] = XOFF-1;
        y[0] = YOFF+129; y[1] = YOFF+129;
        y[2] = YOFF-129; y[3] = YOFF-129;
        y[4] = YOFF-129; y[5] = YOFF-129;
        setcolor(EGA_LIGHTGREEN);
        moveto(XOFF-1, YOFF-129);
        for (i = 0; i <= 3; i++) {
            lineto(x[i], y[i]);
        }
        return;
    }

    /* พล็อตจุดรูปคลื่นบนกรอบใหญ่ */
    void LargeBoxPlot(int x, int y, int LBPColor, int Delay)
    {
        setcolor(EGA_WHITE);
        if (x > -1 || x < 512) {
            if (y > -129 && y < 129)
                putpixel(x+XOFF, YOFF-y, LBPColor);
            delay(Delay);
        }
        return;
    }

    /* ส่งจุดในแนวแกน X และ Y เพื่อให้พล็อตรูปคลื่น */
    void LargeBoxShow(int Delay)
    {
        int i;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DrawBorder();
DrawLargeBox();
CreateCenterLine();
if(bioskey(1)!=0) getch();
for (i = 0; i <= 511; i++) {
    LargeBoxPlot(i, pt[i], WaveformColor,10);
    if(kbhit()) goto Exit;
}
if(bioskey(1)!=0) getch();
for(i=0;i<=511;i++) {
    LargeBoxPlot(i,pt[i],BLACK,10);
    if(kbhit()) goto Exit;
    LargeBoxPlot(i,pt[i],WaveformColor,10);
    if(kbhit()) goto Exit;
}
if(kbhit()) goto Exit;
}
Exit:
DrawBorder();
CreateCenterLine();
DrawLargeBox();
PlotPixel(0);
ShowValue();
return;
}

/* แสดงเคอร์เซอร์ซ้ายและขวา */
/* ตัวแปร ic เก็บตำแหน่งปัจจุบันของเคอร์เซอร์ ตัวแปร CursorColor เก็บสีของเคอร์เซอร์ */
void Curse(int ic,int CursorColor)
{
    int jy; /* เก็บความสูงของเคอร์เซอร์ */
    if(bioskey(1) !=0) getch();
    for(jy = 0; jy <= 20; jy++) {
        LargeBoxPlot(ic, pt[ic]+jy,CursorColor,0);
    }
    ShowValue();
    return;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* ส่งตำแหน่งเพื่อพล็อตรูปคลื่น */
void PlotPixel(int Delay)
{
    int i;
    DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
    for(i=0;i<=511;i++) LargeBoxPlot(i,pt[i],WaveformColor,Delay);
    return;
}

```

```

/* ฟังก์ชันทั้งสามต่อไปนี้จะเกี่ยวข้องกับเคอร์เซอร์ */

```

```

/* เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวามือ */

```

```

void ShiftToRight(void)
{
    PlotPixel(0);
    if(SelectCursor==0){
        Curser(icur,LeftCursorColor);
    } else Curser(icur,RightCursorColor);
    icur += iinc;
    if (icur > 511) icur = 511;
    PlotPixel(0);
    if(SelectCursor==0){
        Curser(icur,LeftCursorColor);
    } else Curser(icur,RightCursorColor);
    return;
}

```

```

/* เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้ายมือ */

```

```

void ShiftToLeft(void)
{
    PlotPixel(0);
    if(SelectCursor==0) {
        Curser(icur,LeftCursorColor);
    } else Curser(icur,RightCursorColor);
    icur -= iinc;
    if ( icur < 0) icur = 0;
    PlotPixel(0);
    if(SelectCursor==0) {
        Curser(icur,LeftCursorColor);
    } else Curser(icur,RightCursorColor);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        return;
    }

    /* ตรวจสอบตำแหน่งของเคอร์เซอร์ซ้ายและขวา */
    void SwitchCursor(void)
    {
        if (CursorLeft >= CursorRight) {
            ix1 = CursorRight;
            ix2 = CursorLeft;
        }
        else {
            ix1 = CursorLeft;
            ix2 = CursorRight;
        }
        return;
    }

    /* วาดกรอบนอกสุด */
    void DrawBorder(void)
    {
        setcolor(EGA_RED); /* border color */
        rectangle(0, 0, getmaxx(), getmaxy()); /* border boundaries */
        setviewport(0, 0, getmaxx(), getmaxy(), 1);
        return;
    }

    /* วาดกรอบเมนู */
    int GetNames(int x)
    {
        /* x-code for desired menu */
        int key;
        int x1 = 190, y1 = 354, x2 = 450, y2 = 424;
        DrawBlock(x1, y1, x2, y2);
        setcolor(EGA_WHITE);
        switch(x) {
            case 4: /* Program quit */
                outtextxy(x1+117, y1+4, "Quit");
                outtextxy(x1+68, y1+35, "Press y to quit");
                line(x1+117, y1+13, x1+146, y1+13);

```

```

setcolor(EGA_LIGHTRED);
outtextxy(x1+30, y1+60, "[Press any key to cancel]");
if(toupper(getch()) == 'Y') {
    PickUpPhone(0);
    closegraph();
    exit(0);
}
break;

```

case 6:

```

outtextxy(x1+115, y1+4, "Hook on");
line(x1+115, y1+13, x1+169, y1+13);
outtextxy(x1+30, y1+60, "[Press any key to cancel]");
setcolor(EGA_LIGHTRED);
outtextxy(x1+68, y1+35, "Press y to hook on");
if(bioskey(1)!=0) getch();
ReadKeyboard();
if(ScanCode==0x15) {
    PickUpPhone(0)
    goto Exit;
} else
break;

```

case 7:

```

outtextxy(x1+110, y1+4, "Waiting");
line(x1+110, y1+13, x1+164, y1+13);
outtextxy(x1+30, y1+60, "[Press any key to cancel]");
setcolor(EGA_LIGHTRED);
outtextxy(x1+50, y1+32, "Press Y to waiting for");
outtextxy(x1+60, y1+42, "incoming signal");
if(toupper(getch()) == 'Y') {
    return 1;
}
break;

```

case 8:

```

outtextxy(x1+100, y1+4, "Resampling");
line(x1+100, y1+13, x1+179, y1+13);
outtextxy(x1+30, y1+60, "[Press any key to cancel]");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        setcolor(EGA_LIGHTRED);
        outtextxy(x1+68, y1+35, "Are you sure ? ");
        if(toupper(getch()) == 'Y') {
            DeleteBlock(x1, y1, x2, y2);
            return 1;
        } else
            break;
    }
    Exit:
    DeleteBlock(x1, y1, x2, y2);
    return (0);
}

/* วาดกรอบเมนู */
void DrawBlock(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
    register int i;
    setcolor(EGA_DARKGRAY);
    rectangle(x1, y1, x2, y2);
    setcolor(EGA_LIGHTGRAY);
    rectangle(x1-2, y1-2, x2+2, y2+2);
    setfillstyle(SOLID_FILL, EGA_DARKGRAY);
    floodfill(x1+1, y1+1, EGA_DARKGRAY);
    setcolor(EGA_BLACK);
    rectangle(x1, y1, x2, y1+15);
    setfillstyle(SOLID_FILL, EGA_BLACK);
    floodfill(x1+1, y1+1, EGA_BLACK);
    for (i=0; i <=1; i++) {
        setcolor(EGA_WHITE);
        setlinestyle(SOLID_LINE, 0, 2);
        moveto(x1-1, y2+1);
        lineto(x1-1, y1-1);
        lineto(x2, y1-1);
    }
    setlinestyle(SOLID_LINE, 0, 1);
    return;
}
}

```

```
void DeleteBlock(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
    setcolor(EGA_BLACK);
    bar3d(x1-4, y1-4, x2+4, y2+4, 0, 0);
    return;
}
```

/ แสดงค่าที่ตำแหน่งปัจจุบันของเคอร์เซอร์ */*

```
void ShowValue(void)
{
    int xtex = 550;
    int ytex = 80;
    T = (float)1.0/fs;
    ms=T*1000;
    dV = 18.5/(256.0*Gain*slgain);
    setcolor(EGA_LIGHTGRAY);
    rectangle(xtex-9, ytex-5, xtex+82, ytex+253);
    setfillstyle(EMPTY_FILL, EGA_DARKGRAY);
    floodfill(xtex-7, ytex+2, EGA_LIGHTGRAY);
    ytex += 2*ydel;
    setcolor(EGA_LIGHTRED);
    outtextxy(xtex,ytex,"Cursors: ");
    ytex += ydel;
    setcolor(EGA_YELLOW);
    outtextxy(xtex,ytex,"Left: ");
    ytex += ydel;
    sprintf(StringBuffer, "%5.02f V",sb[CursorLeft]*dV);
    setcolor(EGA_WHITE);
    outtextxy(xtex,ytex,StringBuffer);
    ytex += ydel;
    sprintf(StringBuffer, "%5.03f ms",CursorLeft*ms/4700.0);
    outtextxy(xtex,ytex,StringBuffer);
    setcolor(EGA_YELLOW);
    ytex += ydel;
    outtextxy(xtex,ytex,"Right:");
    ytex += ydel;
    setcolor(EGA_WHITE);
    sprintf(StringBuffer, "%5.02f V", sb[CursorRight]*dV);
    outtextxy(xtex, ytex, StringBuffer);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    ytex += ydel;
    sprintf(StringBuffer, "%5.03f ms",CursorRight*ms/4700.0);
    outtextxy(xtex, ytex, StringBuffer);

    ytex += ydel;
    setcolor(EGA_YELLOW);
    outtextxy(xtex, ytex, "Delta:");
    ytex += ydel;
    setcolor(EGA_WHITE);
    sprintf(StringBuffer, "%5.02f V", (sb[CursorRight]-sb[CursorLeft])*dV);
    outtextxy(xtex, ytex, StringBuffer);
    ytex += ydel;
    sprintf(StringBuffer, "%5.03f ms", (float)(CursorRight-CursorLeft)*ms/4700.0);
    outtextxy(xtex, ytex, StringBuffer);
    return;
}

/* หน้าจอแนะนำโปรแกรม */
void Introduction(void)
{
    int x = getmaxx(), y = getmaxy();
    cleardevice();
    setcolor(EGA_LIGHTMAGENTA);
    rectangle(x-510, y-400, x-100, y-100);
    setfillstyle(SOLID_FILL, EGA_DARKGRAY);
    floodfill(x-300, y-350, EGA_LIGHTMAGENTA);
    setcolor(EGA_LIGHTRED);
    settextstyle(TRIPLEX_FONT, HORIZ_DIR, 2);
    outtextxy(x-490, y-270, "WELCOME TO ECG MONITOR PROGRAM");
    settextstyle(DEFAULT_FONT, HORIZ_DIR, 1);
    for(;;) {
        if(bioskey(1)!=0){
            getch();
            getch();
        }
        setcolor(EGA_WHITE);
        outtextxy(x-400, y-130, "Press any key to continue...");
        delay(500);
        setcolor(EGA_DARKGRAY);
        outtextxy(x-400, y-130, "Press any key to continue...");
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        delay(300);
        if(kbhit()) break;
    }

    return;
}

/* ลบรูปคลื่นในกรอบใหญ่ */
void DeleteOldArea(int v1, int v2, int v3)
{
    setfillstyle(SOLID_FILL,EGA_BLACK);
    floodfill(v1,v2,v3);

    return;
}

/* วาดเส้นกลางกรอบใหญ่ */
void CreateCenterLine(void)
{
    int r1=XOFF-1;
    int r2=YOFF+130;
    int r3=YOFF-130;
    int r4=XOFF+512;
    setcolor(EGA_LIGHTRED);
    setlinestyle(DOTTED_LINE,0,1);
    moveto(r1,(r2+r3)/2);
    lineto(r4,(r2+r3)/2);
    setlinestyle(SOLID_LINE,0,1);

    return;
}

/* สุ่มสัญญาณอย่างต่อเนื่อง */
void ContinueSampling(int Function,int Select1,int Select2, int Delay)
{
    ShowValue();
    switch(Function) {
    case 1:
        if(Select1==0) goto Exit;
        if(bioskey(1)!=0) getch();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(;;) {
    Period();
    if(bioskey(1)!=0) goto Exit;
    if(Select2==0) ContinueSampling(1,1,0,0);
}
break;

```

case 0:

```

if(bioskey(1)!=0) getch();
if(Select2==1) goto Exit;
Again:
WaitingMessage(1);
for(;;) {
    if(kbhit()){
        WaitingMessage(0);
        DrawBorder();
        DrawLargeBox();
        ContinueSampling(1,1,2,50);
        goto Exit;
    }
    PhoneRinging();
    if(RingData>5) {
        WaitingMessage(0);
        Warning();
        DrawBorder();
        DrawLargeBox();
        ContinueSampling(1,1,2,50);
        break;
    }
    else goto Again;
}
break;
}
Exit:
return;
}

```

/* จบโปรแกรม */

void EndOfProgram(void)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    closegraph();
    textcolor(LIGHTRED);
    cprintf("\nElectrocardiogram Monitoring Program");
    printf("\n");
    textcolor(YELLOW);
    cprintf("\nAdvisor");
    textcolor(WHITE);
    cprintf(" Dr.Kittiphol Chitsakul");
    textcolor(YELLOW);
    cprintf("\nProgram Design");
    textcolor(WHITE);
    cprintf(" Mr.Anuwat Ploykratok 37013227");
    cprintf("\n      Mr.Chakaphan Yodsuk 37013236");
    cprintf("\n      Biomedical Electronics Laboratory KMITL");
    textcolor(LIGHTGREEN);
    cprintf("\nEnd of program!\n");
    return;
}

/* กำหนดเสียง */
int CreateSound(int Frequency)
{
    do {
        sound(Frequency);
        delay(50);
        nosound();
        delay(100);
    } while(Any==1);
    return 0;
}

/* แสดงข้อความเตือน */
int Warning(void)
{
    int X1=190,Y1=354;
    for(;;) {
        if(bioskey(1)!=0) getch();

```

Again: DrawBlock(X1,Y1,X1+260,Y1+70);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(EGA_WHITE);
outtextxy(X1+100, Y1+4, "Warning");
line(X1+100, Y1+13, X1+155, Y1+13);
outtextxy(X1+20, Y1+60, "Press any key to continue...");
setcolor(EGA_LIGHTRED);
outtextxy(X1+60, Y1+35, "SIGNAL INCOMMING");
CreateSound(3000);
nosound();
if(kbhit()){
Any=0;
DeleteBlock(X1,Y1,X1+260,Y1+70);
goto Exit;
}
goto Again;
}
Exit:
PickUpPhone(5);
return ;
}

/* แสดงข้อความรอคอยสัญญาณเรียก */
void WaitingMessage(int Status)
{
int maxx=getmaxx(),maxy=getmaxy();
switch(Status){
case 1:
setcolor(EGA_YELLOW);
break;
case 0:
setcolor(EGA_BLACK);
break;
}
cleardevice();
settextstyle(TRIPLEX_FONT,HORIZ_DIR,5);
outtextxy(maxx/2-100,maxy/2-50,"Waiting...");
settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);/* Restore default font */
return;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* โหลดข้อมูลจากดิสก์ */
void LoadFile(void)
{
    char chr;
    int length,i;
    closegraph();
    textcolor(WHITE);
    TryAgain: clrscr();
    textcolor(LIGHTGREENIBLINK);
    printf("Load File:\n");
    textcolor(WHITE);
    printf("\nPlease enter filename and directory, or ESC to cancel.");
    printf("\nEnter file name (.dat): ");
    textcolor(WHITE);
    ReadKeyboard();
    if(Ascii==0x1b) goto Exit;
    scanf("%s",StringBuffer);
    if(strlen(StringBuffer)>11) {
        clrscr();
        printf("\aFile name can't more than 8 characters !");
        delay(500);
        goto TryAgain;
    }
    strcat(StringBuffer, ".dat");
    if((fp = fopen(StringBuffer, "rb")) != NULL) {
        if((fread(sb,2, 512,fp)) == 512) {
            if((fclose(fp)) != -1) {
                }
            }
        }
    } else{
        clrscr();
        printf("\a");
        textcolor(WHITE);
        printf("\nCan't find file");
        textcolor(LIGHTRED);
        length=strlen(StringBuffer);
        for(i=0;i<length;i++) {
            StringBuffer[i]=toupper(StringBuffer[i]);
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    cprintf(" %s",StringBuffer);
    textcolor(WHITE);
    cprintf(", try again (Yes/No)? ");
    if(toupper(getch())=='Y') goto TryAgain;
    else goto Exit;
}
Exit: StartDisplay();
DrawBorder();
DrawLargeBox();
PlotPixel(0);
if(bioskey(1)!=0) getch();
return;
}

/* เก็บข้อมูลลงดิสก์ */
void SaveFile(void)
{
    char chr;
    int a;
    int length,i;
    closegraph();
    textcolor(WHITE);
    TryAgain: clrscr();
    textcolor(LIGHTGREENIBLINK);
    cprintf("Save File.\n");
    textcolor(WHITE);
    cprintf("\rPlease enter filename and directory, or ESC to cancel.");
    cprintf("\n\nEnter file name (.dat): ");
    textcolor(WHITE);
    ReadKeyboard();
    if(Ascii==0x1b) goto Exit; /* กดปุ่ม Esc เพื่อยกเลิก */
    scanf("%s",StringBuffer);
    if(strlen(StringBuffer)>11) { /* ตรวจสอบชื่อไฟล์ยาวเกิน 8 ตัวอักษรหรือไม่ */
        clrscr();
        printf("\aFile name can't more than 8 characters !");
        delay(500);
        goto TryAgain;
    }
    Exit: StartDisplay();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        DrawBorder();
        DrawLargeBox();
        PlotPixel(0);
        if(bioskey(1)!=0) getch();
        return;
    }

/* ตั้งการหน่วงก่อนการสุ่มแต่ละครั้ง */
void SetSamplingRate(void)
{
    closegraph();
    textcolor(WHITE);
    TryAgain: clrscr();
    textcolor(LIGHTGREENIBLINK);
    printf("Set sampling rate:\n");
    textcolor(WHITE);
    printf("\nPlease enter new sampling rate (1-30000), ESC to cancel.");
    printf("\nEnter sampling rate : ");
    textcolor(WHITE);
    ReadKeyboard();
    if(Ascii==0x1b) goto Exit; /* Esc to Cancel */
    gets(StringBuffer);
    sscanf(StringBuffer,"%d",&z);
    if(z>=1 && z<=30000) { /* ตรวจสอบค่าที่ยอมรับได้ */
        fs = z; /* กำหนดค่าให้แก่ตัวแปร fs */
        StartDisplay();
        DeleteOldArea(XOFF+95,YOFF-100,EGA_LIGHTGREEN);
        Period();
        return;
    }
    else {
        clrscr();
        printf("\n");
        textcolor(WHITE);
        printf("Sampling rate");
        textcolor(LIGHTRED);
        printf(" %s",StringBuffer);
        textcolor(WHITE);
        printf(" invalid, try again (Yes/No)? ");
        if(toupper(getch())=='Y') goto TryAgain;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else goto Exit;
}

Exit:
StartDisplay();
DrawBorder();
DrawLargeBox();
PlotPixel(0);
if(bioskey(1)!=0) getch();
return;
}

/* แสดงข้อความช่วยเหลือ */
void Help(void)
{
closegraph();
Again:
textcolor(BLACK);
clrscr();
if(bioskey(1)!=0) getch();
textbackground(BLUE);
textcolor(YELLOW);
printf("Help:");
textbackground(BLACK);
textcolor(WHITE);
printf("\n\n1");
printf("\n\n2");
printf("\n\n3-0");
printf("\n\nF1");
printf("\n\nF2");
printf("\n\nF3");
printf("\n\nF4");
printf("\n\nF5");
printf("\n\nF6");
printf("\n\nF7");
printf("\n\nF8");
printf("\n\nF10");
textcolor(LIGHTRED);
gotoxy(8,3); printf("Left cursor");
gotoxy(8,4); printf("Right cursor");

```

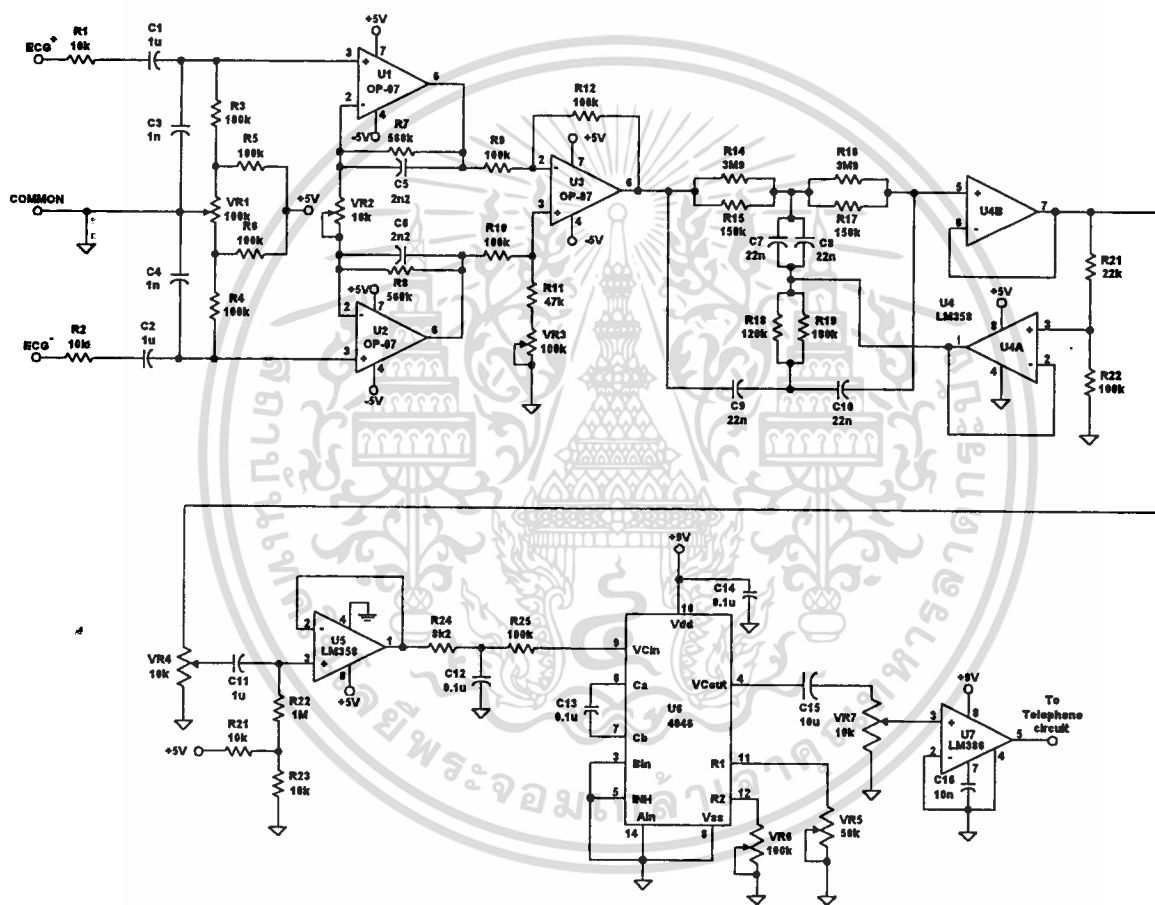
```

gotoxy(8,3);  printf("Left cursor");
gotoxy(8,4);  printf("Right cursor");
gotoxy(8,5);  printf("Change step");
gotoxy(8,6);  printf("Help");
gotoxy(8,7);  printf("Load file");
gotoxy(8,8);  printf("Seve file");
gotoxy(8,9);  printf("Sampling rate");
gotoxy(8,10); printf("Stanby");
gotoxy(8,11); printf("On Hook");
gotoxy(8,12); printf("Resampling");
gotoxy(8,13); printf("Restrore");
gotoxy(8,14); printf("Quit");
gotoxy(1,24);
textcolor(YELLOWBLINK);
printf("\nAny key to cacle");
getch();
StartDisplay();
DrawBorder();
DrawLargeBox();
PlotPixel(0);
if(bioskey(1)!=0) getch();
return;
}

/* อ่านรหัส Scan และ ASCII code ของปุ่มที่ถูกกด */
void ReadKeyboard(void)
{
    union REGS reg;
    reg.h.ah=0;
    int86(0x16,&reg,&reg);
    ScanCode=reg.h.ah;
    Ascii=reg.h.al;
}

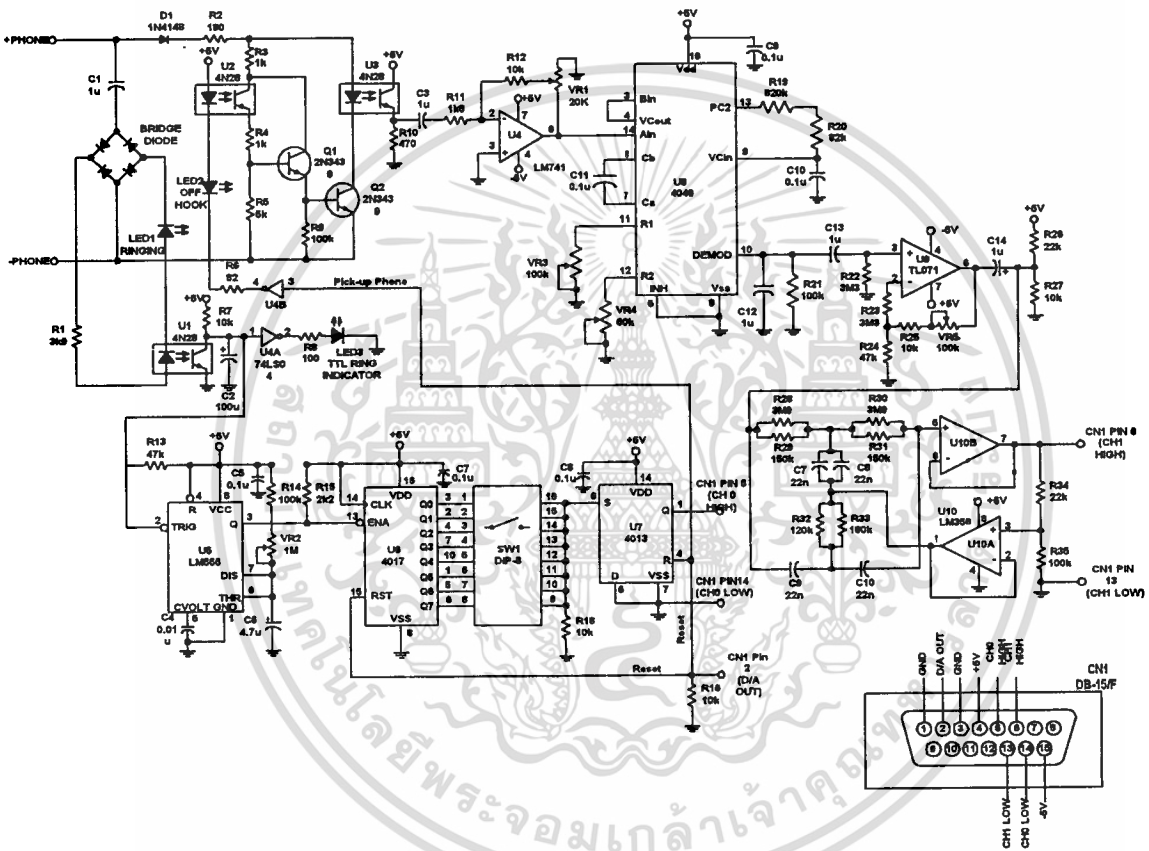
```

ภาคผนวก ข



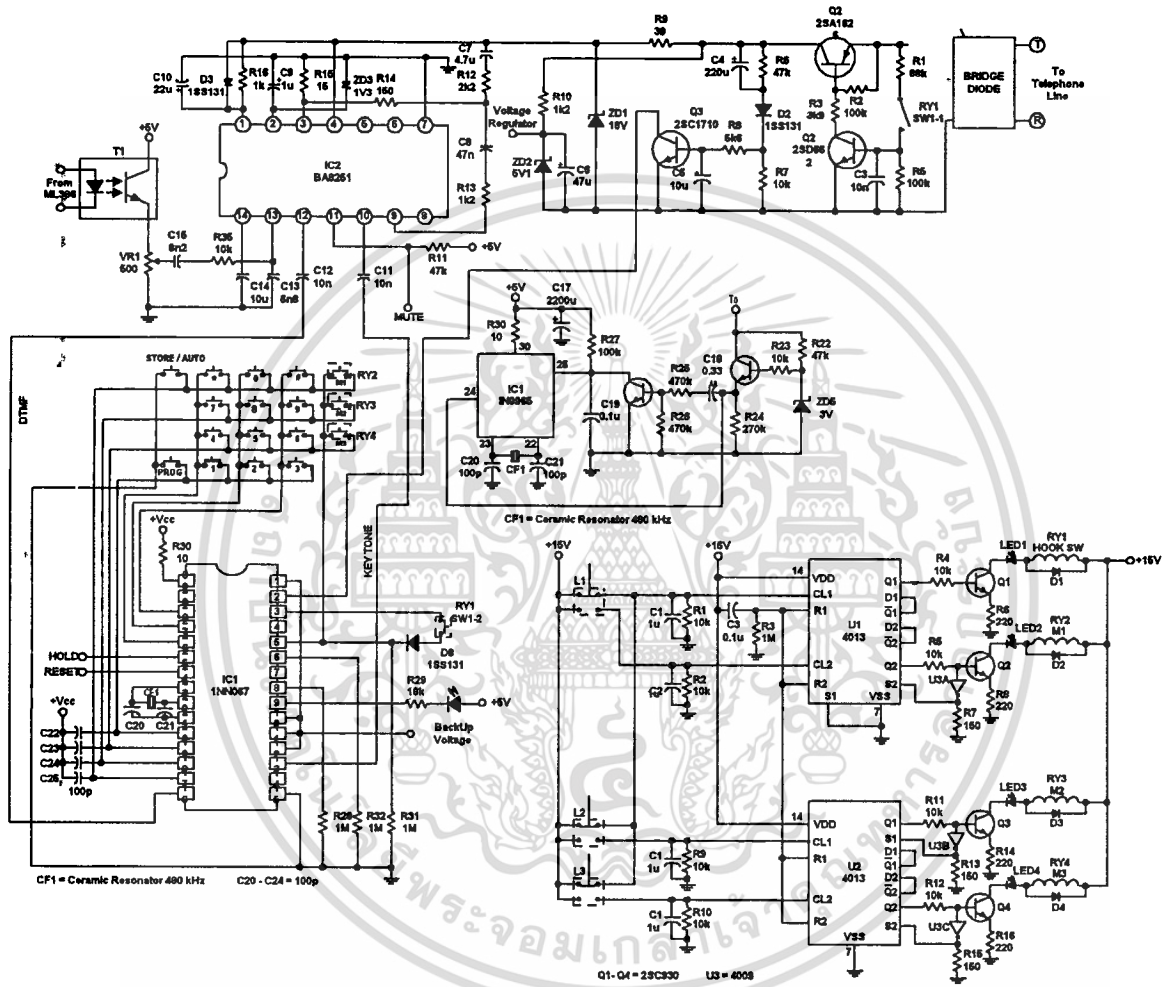
วงจรทางด้านภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN INFORMATION

This information is a guide for approximating the values of external components for the SCL4046B and SCL4446B in a Phase-Locked Loop system. The selected external components must be within the following ranges:

$R1, R2 \geq 2k\Omega, R3 \geq 10k\Omega$
 $C1 \geq 15pF$

In addition to the given design information refer to Figure 5 for R1, R2, and C1 component selections.

CHARACTERISTICS	USING PHASE COMPARATOR I		USING PHASE COMPARATOR II	
	VCO WITHOUT OFFSET $R2 = -$	VCO WITH OFFSET	VCO WITHOUT OFFSET $R2 = -$	VCO WITH OFFSET
VCO Frequency				
For No Signal Input	VCO in PLL system will adjust to center frequency, f_0		VCO in PLL system will adjust to lowest operating frequency, f_{min}	
Frequency Lock Range, $2f_L$	$2f_L = \text{MHz VCO frequency range}$ $2f_L = f_{max} - f_{min}$			
Frequency Capture Range, $2f_C$	$2f_C \approx \frac{1}{R3 C2}$		$f_C = f_L$	
Loop Filter Component Selection	<p>For $2f_C$, see Ref.</p>			
Phase Angle between Signal and Comparator	90° at center frequency (f_0), approximating C^0 and 180° at ends of lock range ($2f_L$)		Always 0° in lock	
Locks on Harmonics of Center Frequency	Yes		No	
Signal Input Noise Rejection	High		Low	
VCO Component Selection	<ul style="list-style-type: none"> - Given: f_0 - Use f_0 with Fig. 5a to determine R1 and C1 	<ul style="list-style-type: none"> - Given: f_0 and f_L - Calculate f_{min} from the equation $f_{min} = f_0 - f_L$ - Use f_{min} with Fig. 5b to determine R2 and C1 - Calculate $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ from the equation $\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{f_0 + f_L}{f_0 - f_L}$ - Use $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ with Fig. 5c to determine ratio R2/R1 to obtain R1 	<ul style="list-style-type: none"> - Given: f_{max} - Calculate f_0 from the equation $f_0 = \frac{f_{max}}{2}$ - Use f_0 with Fig. 5a to determine R1 and C1 	<ul style="list-style-type: none"> - Given: f_{min} & f_{max} - Use f_{min} with Fig. 5b to determine R2 and C1 - Calculate $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ - Use $\frac{f_{max}}{f_{min}}$ with Fig. 5c to determine ratio R2/R1 to obtain R1

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

PARAMETER	CONDITIONS	V _{DD}	+25°C			UNIT		
			Min.	Typ.	Max.			
VCO SECTION (Continued)								
TEMPERATURE-FREQUENCY STABILITY	No Offset	R ₂ = ∞	5	—	0.12-0.24	—	%°C	
			10	—	0.04-0.08	—		
			15	—	0.015-0.03	—		
	With Offset	R ₂ < 10X R ₁	5	—	0.08-0.12	—	%°C	
			10	—	0.05-0.1	—		
			15	—	0.03-0.06	—		
INPUT RESISTANCE (VCO _{IN})	R _{IN}	5, 10, 15	—	10 ⁴	—	MΩ		
OUTPUT DUTY CYCLE		All valid input combinations and voltages	—	50	—	%		
OUTPUT TRANSITION TIME	τ _{TLH} , τ _{THL}	C _L = 50pF	5	—	100	200	ns	
			10	—	50	100		
			15	—	40	80		
PHASE COMPARATORS								
INPUT RESISTANCE Signal Input	R _{IN}		5	1	3	—	MΩ	
			10	0.2	0.7	—		
			15	0.1	0.3	—		
Comparator Input	R _{IN}		5, 10, 15	—	10 ⁴	—	MΩ	
AC-COUPLED INPUT SENSITIVITY Signal Input	V _{IN}		5	—	200	400	mV	
			10	—	400	800		
			15	—	700	1400		
OUTPUT TRANSITION TIME	PCI, PCII Outputs	τ _{TLH} , τ _{THL}	C _L = 50pF	5	—	100	200	ns
				10	—	50	100	
				15	—	40	80	
	Phase Pulses Output	τ _{TLH} , τ _{THL}		5	—	130	260	ns
				10	—	85	130	
				15	—	50	100	
DEMODULATOR OUTPUT								
OFFSET VOLTAGE	VCO _{IN} - V _{OEM}	R _S > 50kΩ	5	—	1.4	2.2	V _{dc}	
			10	—	1.6	2.2		
			15	—	1.8	2.2		
LINEARITY		R _S > 50kΩ VCO _{IN} = 2.5±0.3V VCO _{IN} = 5.0±2.5V VCO _{IN} = 7.5±5.0V	5	—	0.1	—	%	
			10	—	0.6	—		
			15	—	0.8	—		
ZENER DIODE								
ZENER VOLTAGE	V _Z	I _Z = 50μA	—	6.3	7.0	7.7	V	
DYNAMIC RESISTANCE	R _Z	I _Z = 1mA	—	—	100	—	Ω	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

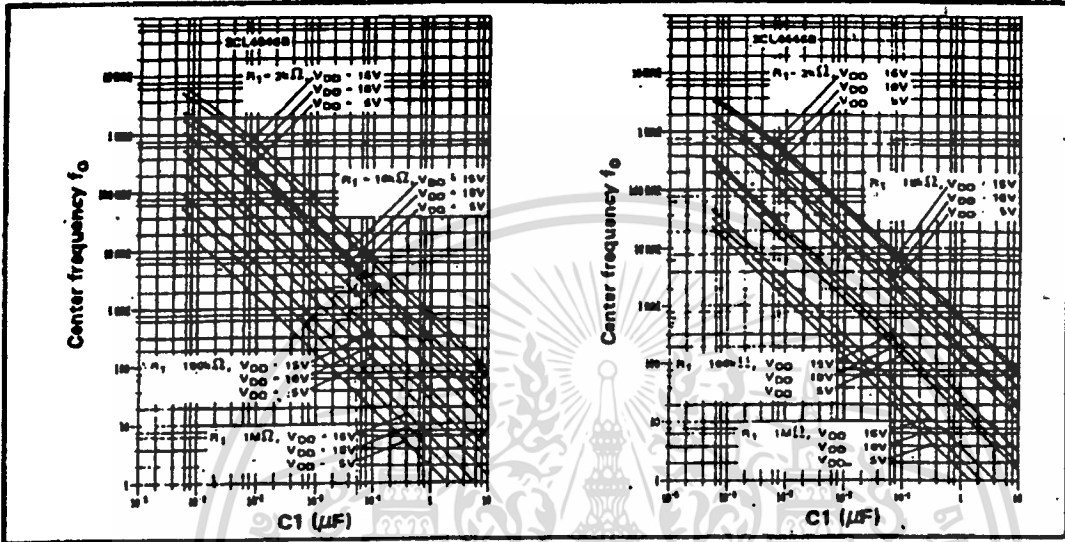


Fig. 5 (a) Typical center frequency (f₀) vs C1 (R₂ = ∞, V_{COIN} = $\frac{V_{DD}}{2}$, T_A = 25°C)

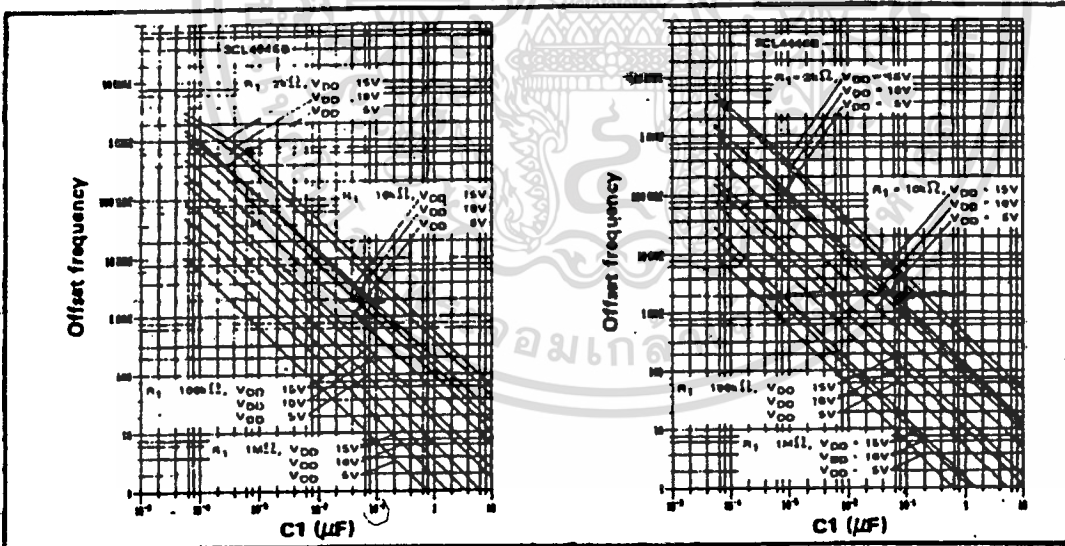


Fig. 5 (b) Typical frequency offset vs C1 (V_{COIN} = V_{SS}, T_A = 25°C)

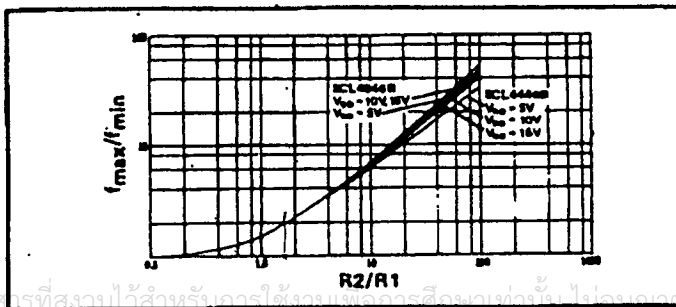


Fig. 5 (c) Typical f_{max}/f_{min} vs R₂/R₁

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในอาคารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

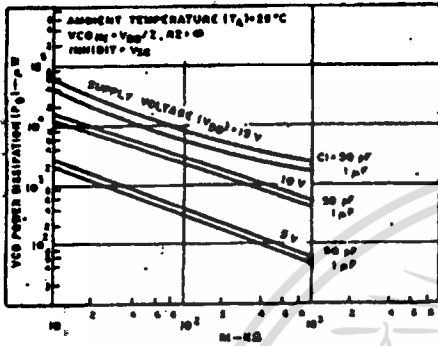


Fig. 6 (a) - Typical VCO power dissipation at center frequency vs R1:

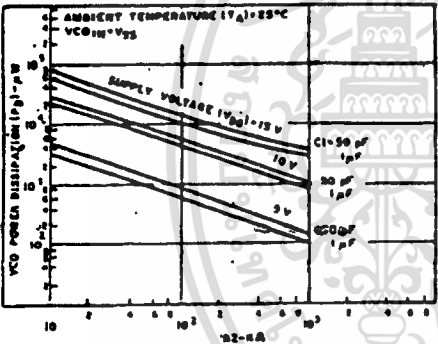


Fig. 6 (b) - Typical VCO power dissipation at f_{min} vs R2.

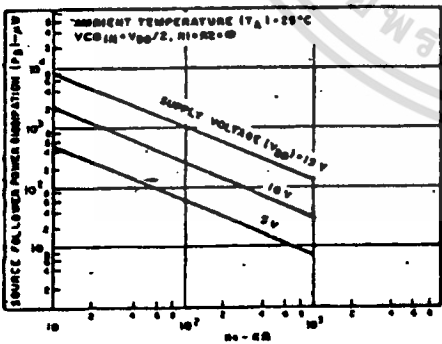


Fig. 6 (c) - Typical source follower power dissipation vs R5.

NOTE: To obtain approximate total power dissipation of PLL system for no-signal input

$$P_D (\text{Total}) = P_D (f_o) + P_D (f_{MIN}) + P_D (R_5) - \text{Phase Comparator I}$$

$$P_D (\text{Total}) = P_D (f_{MIN}) - \text{Phase Comparator II}$$

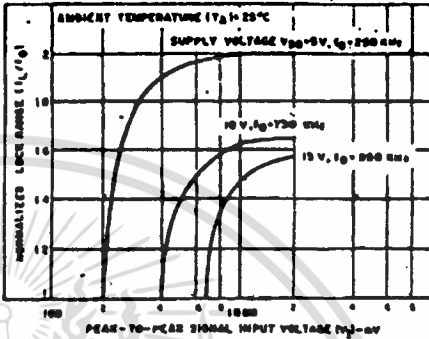


Fig. 7 - Typical lock range vs signal input amplitude

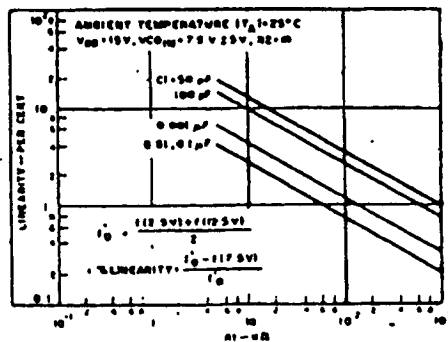
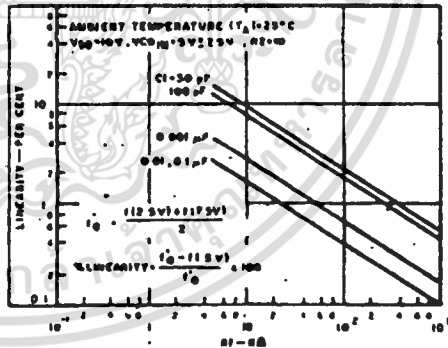


Fig. 8(a, b) - Typical VCO linearity vs R1 and C1

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ขอเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
 หมายเหตุ: วิศวกรที่สนใจ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-232-4000 หรือ e-mail: info@kmutt.ac.th

ภาคผนวก ฅ

แผ่นคู่มือไอซี OP-07

PRODUCT SPECIFICATIONS

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

Raytheon

**Instrumentation Grade
Operational Amplifier**

OP-07 Series

Features

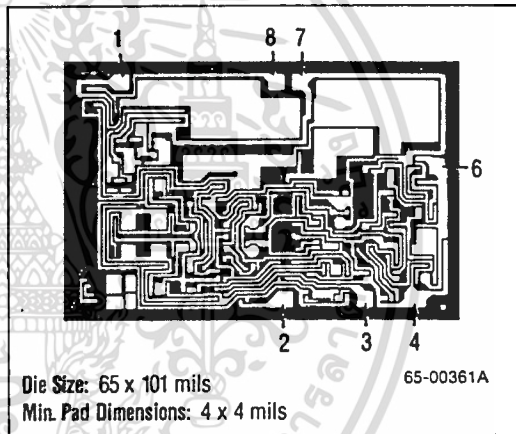
- Low noise 0.1Hz to 10Hz — $0.35\mu\text{V}_{\text{p-p}}$
- Ultra-low V_{OS} — $10\mu\text{V}$
- Ultra-low V_{OS} Drift — $0.2\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- Fits 725, 108A, 741, and AD510 sockets
- Long term stability — $0.2\mu\text{V}/\text{Month}$
- Low input bias current — $\pm 1\text{nA}$
- High CMRR — 126dB
- Wide input voltage range — $\pm 14\text{V}$

in the order of $\pm 1\text{nA}$ over the military temperature range. OP-07s are direct replacements for the 108A, 714, 725 and 5507. They can replace chopper stabilized amplifiers in many applications.

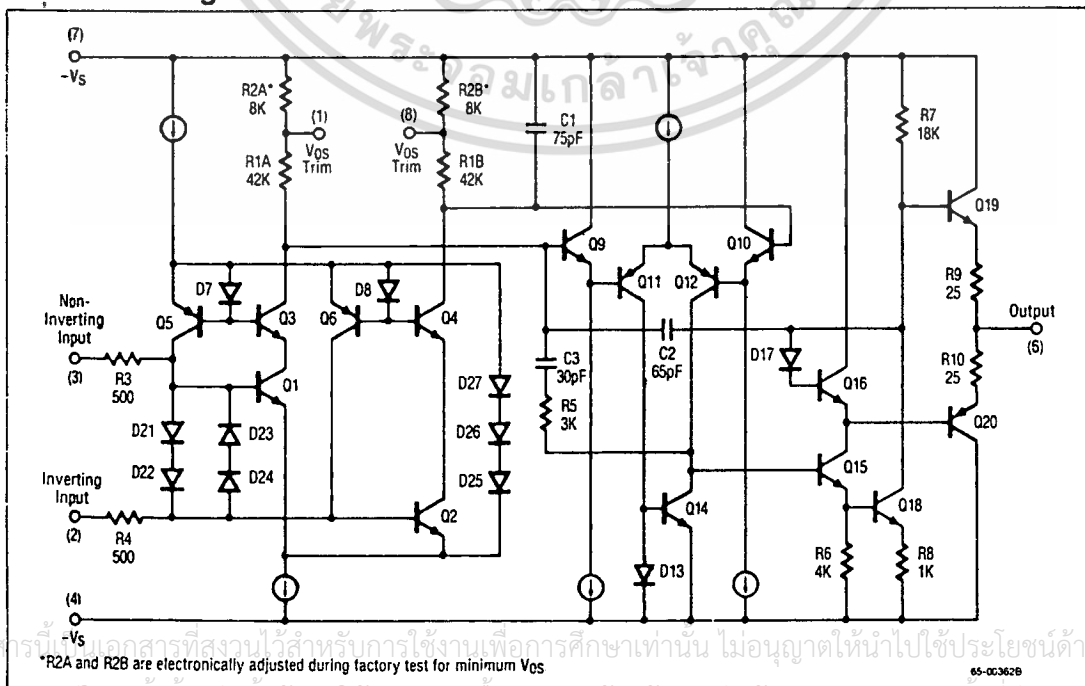
Description

The OP-07 amplifier series is designed for precision low level signal conditioning where ultra low V_{OS} and $T_C V_{\text{OS}}$ are required along with very low bias currents. Internal compensation eliminates the need for external components. Novel circuit design and tight process controls are used to obtain very low values of V_{OS} . V_{OS} is further reduced by a computer controlled digital nulling technique at test. Low frequency noise is minimized. Internal biasing techniques reduce external bias and offset currents to values

Mask Pattern



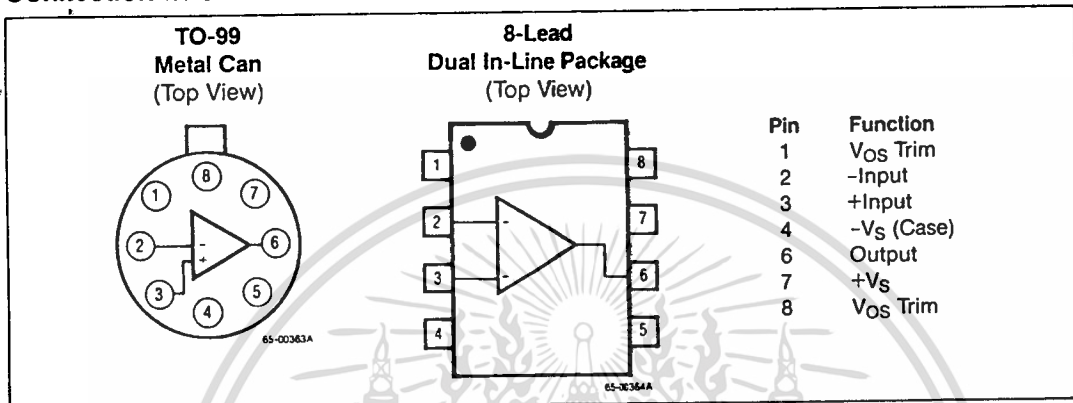
Schematic Diagram



Instrumentation Grade Operational Amplifier

OP-07 Series

Connection Information



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	-22V
Input Voltage ¹	-22V
Differential Input Voltage	30V
Internal Power Dissipation ²	500mW
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
OP-07A	-55°C to +125°C
OP-07E/C/D	0°C to -70°C
Lead Soldering Temperature (60 Sec)	+300°C

Notes: 1. For supply voltages less than $\pm 22V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

2. Maximum power dissipation vs. ambient temperature.

Thermal Characteristics

	8-Lead Ceramic DIP	8-Lead TO-99 Metal Can
Max. Junction Temp.	175°C	175°C
Max. P _D T _A < 50°C	833mW	658mW
Therm. Res. θ_{JC}	45°C/W	50°C/W
Therm. Res. θ_{JA}	150°C/W	190°C/W
For T _A > 50°C Derate at	8.33mW per °C	5.26mW per °C

Ordering Information

Part Number	Package	Operating Temperature Range
OP-07CT	TO-99	0°C to +70°C
OP-07DT	TO-99	0°C to +70°C
OP-07ET	TO-99	0°C to +70°C
OP-07CDE	Ceramic	0°C to +70°C
OP-07DDE	Ceramic	0°C to +70°C
OP-07EDE	Ceramic	0°C to +70°C
OP-07CNB	Plastic	0°C to +70°C
OP-07DNB	Plastic	0°C to +70°C
OP-07ENB	Plastic	0°C to +70°C
OP-07DE	Ceramic	-55°C to +125°C
OP-07DE/883B*	Ceramic	-55°C to +125°C
OP-07ADE	Ceramic	-55°C to +125°C
OP-07ADE/883B*	Ceramic	-55°C to +125°C
OP-07T	TO-99	-55°C to +125°C
OP-07T/883B*	TO-99	-55°C to +125°C
OP-07AT	TO-99	-55°C to +125°C
OP-07AT/883B*	TO-99	-55°C to +125°C

*MIL-STD-883, Level B Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrumentation Grade Operational Amplifier

OP-07 Series

Electrical Characteristics ($V_S = \pm 15V$ and $T_A = +25^\circ C$ unless otherwise noted)

Parameters	Test Conditions	OP-07A			OP-07			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ⁴			10	25		30	75	μV
Long Term Input Offset Voltage Stability ^{1 2}			0.2	1.0		0.2	1.0	$\mu V/Mo$
Input Offset Current			0.3	2.0		0.4	2.8	nA
Input Bias Current			± 0.7	± 2.0		± 1.0	± 3.0	nA
Input Noise Voltage ²	0.1Hz to 10Hz		0.35	0.6		0.35	0.6	μV_{p-p}
Input Noise Voltage Density ²	$f_0 = 10Hz$		10.3	18		10.3	18	$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
	$f_0 = 100Hz$		10	13		10	13	
	$f_0 = 1000Hz$		9.6	11		9.6	11	
Input Noise Current ²	0.1Hz to 10Hz		14	30		14	30	pA_{p-p}
Input Noise Current Density ²	$f_0 = 10Hz$		0.32	0.80		0.32	0.80	$\frac{pA}{\sqrt{Hz}}$
	$f_0 = 100Hz$		0.14	0.23		0.14	0.23	
	$f_0 = 1000Hz$		0.12	0.17		0.12	0.17	
Input Resistance (Diff. Mode) ³		30	80		20	60		M Ω
Input Resistance (Com. Mode)			200			200		G Ω
Input Voltage Range		± 13	± 14		± 13	± 14		V
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	110	126		110	126		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	100	110		100	110		dB
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_0 = \pm 10V$	300	500		200	500		V/mV
Large Signal Voltage Gain ³	$R_L \geq 500k\Omega$, $V_0 = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3V$	150	500		150	500		
Output Voltage Swing	$R_L \geq 10k\Omega$	± 12.5	± 13		± 12.5	± 13		V
	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12	± 12.8		± 12	± 12.8		
	$R_L \geq 1k\Omega$	± 10.5	± 12		± 10.5	± 12		
Slew Rate ²	$R_L \geq 2k\Omega$	0.1	0.17		0.1	0.17		V/ μS
Unity Gain Bandwidth ²	$A_{VCL} = +1.0$		0.5			0.5		MHz
Open Loop Output Resistance	$V_0 = 0$, $I_0 = 0$		60			60		Ω
Power Consumption	$V_S = \pm 15V$		75	120		75	120	mW
	$V_S = \pm 3V$		4.0	6.0		4.0	6.0	
Offset Adjustment Range	$R_p = 20k\Omega$		± 4.0			± 4.0		mV

- Notes: 1. Long Term Input Offset Voltage Stability refers to the average trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically $2.5\mu V$.
2. This parameter is tested on a sample basis only, and guaranteed to an LTPD of 10.
3. Guaranteed by design.
4. Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP-07 Series

Instrumentation Grade
Operational AmplifierElectrical Characteristics (Continued) ($V_S = \pm 15V$ and $T_A = +25^\circ C$ unless otherwise noted)

Parameters	Test Conditions	OP-07E			OP-07C			OP-07D			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ⁴			30	75		60	150		60	150	μV
Long Term Input Offset Voltage Stability ^{1,2}			0.3	1.5		0.4	2.0		0.5	3.0	$\mu V/Mo$
Input Offset Current			0.5	3.8		0.8	6.0		0.8	6.0	nA
Input Bias Current			± 1.2	± 4.0		± 1.8	± 7.0		± 2.0	± 12	nA
Input Noise Voltage ²	0.1Hz to 10Hz		0.35	0.6		0.38	0.65		0.38	0.65	μV_{p-p}
Input Noise Voltage Density ²	$f_0 = 10Hz$		10.3	18		10.5	20		10.5	20	$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
	$f_0 = 100Hz$		10	13		10.2	13.5		10.2	13.5	
	$f_0 = 1000Hz$		9.6	11		9.8	11.5		9.8	11.5	
Input Noise Current ²	0.1Hz to 10Hz		14	30		15	35		15	35	pA_{p-p}
Input Noise Current Density ²	$f_0 = 10Hz$		0.32	0.8		0.35	0.9		0.35	0.9	$\frac{pA}{\sqrt{Hz}}$
	$f_0 = 100Hz$		0.14	0.23		0.15	0.27		0.15	0.27	
	$f_0 = 1000Hz$		0.12	0.17		0.13	0.18		0.13	0.18	
Input Resistance (Diff. Mode) ³		15	50		8.0	33		7.0	31	$M\Omega$	
Input Resistance (Com. Mode)			160			120			120	$G\Omega$	
Input Voltage Range		± 13	± 14		± 13	± 14		± 13	± 14	V	
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123		100	120		94	110	dB	
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3.0V$ to $\pm 18V$	94	107		90	104		90	104	dB	
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_0 = \pm 10V$	200	500		120	400		120	400	V/mV	
Large Signal Voltage Gain ³	$R_L \geq 500\Omega$, $V_0 = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3.0V$	150	500		100	400					
Output Voltage Swing	$R_L \geq 10k\Omega$	± 12.5	± 13		± 12	± 13		± 12	± 13	V	
	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12	± 12.8		± 11.5	± 12.8		± 11.5	± 12.8		
	$R_L \geq 1k\Omega$	± 10.5	± 12			± 12					
Slew Rate ²	$R_L \geq 2k\Omega$	0.1	0.17		0.1	0.17		0.1	0.17	$V/\mu S$	
Unity Gain Bandwidth ²	$A_{VCL} = +1.0$		0.5			0.5			0.5	MHz	
Open Loop Output Resistance	$V_0 = 0$, $I_0 = 0$		60			60			60	Ω	
Power Consumption	$V_S = \pm 15V$		75	120		80	150		80	150	mW
	$V_{S_r} = \pm 3.0V$		4.0	6.0		4.0	8.0		4.0	8.0	
Offset Adjustment Range	$R_p = 20k\Omega$		± 4.0			± 4.0			± 4.0	mV	

(See footnotes on page 6-60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrumentation Grade Operational Amplifier

OP-07 Series

Electrical Characteristics (Continued) ($V_S = \pm 15V$ and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ unless otherwise noted)

Parameters	Test Conditions	OP-07A			OP-07			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ³			25	60		60	200	μV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim ²			0.2	0.6		0.3	1.3	$\mu V/^\circ C$
With External Trim ²	$R_p = 20k\Omega$		0.2	0.6		0.3	1.3	
Input Offset Current			0.8	4.0		1.2	5.6	nA
Average Input Offset Current Drift ¹			5.0	25		8.0	50	$pA/^\circ C$
Input Bias Current			± 1.0	± 4.0		± 2.0	± 6.0	nA
Average Input Bias Current Drift ¹			8.0	25		13	50	$pA/^\circ C$
Input Voltage Range		± 13	± 13.5		± 13	± 13.5		V
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123		106	123		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3.0V$ to $\pm 18V$	94	106		94	106		dB
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	200	400		150	400		V/mV
Output Voltage Swing	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12	± 12.6		± 12	± 12.6		V

- Notes:
1. This parameter is tested on a sample basis only, and guaranteed to an LTPD of 10.
 2. Guaranteed by design.
 3. Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

The information contained in this data sheet has been carefully compiled; however, it shall not by implication or otherwise become part of the terms and conditions of any subsequent sale. Raytheon's liability shall be determined solely by its standard terms and conditions of sale. No representation as to application or use or that the circuits are either licensed or free from patent infringement is intended or implied. Raytheon reserves the right to change the circuitry and other data at any time without notice and assumes no liability for inadvertent errors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP-07 Series

Instrumentation Grade
Operational Amplifier

Electrical Characteristics (Continued)
 $(V_S = \pm 15V$ and $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ unless otherwise noted)

Parameters	Test Conditions	OP-07E			OP-07C			OP-07D			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ³			45	130		85	250		85	250	μV
Average Input Offset Voltage Drift											$\mu V/^\circ C$
Without External Trim ²			0.3	1.3		0.5	1.8		0.7	2.5	
With External Trim ²	$R_p = 20k\Omega$		0.3	1.3		0.4	1.6		0.7	2.5	
Input Offset Current			0.9	5.3		1.6	8.0		1.6	8.0	nA
Average Input Offset Current Drift ¹			8.0	35		12	50		12	50	$\mu A/^\circ C$
Input Bias Current			± 1.5	± 5.5		± 2.2	± 9.0		± 3.0	± 14	nA
Average Input Bias Current Drift ¹			13	35		18	50		18	50	$\mu A/^\circ C$
Input Voltage Range		± 13	± 13.5		± 13	± 13.5		± 13	± 13.5		V
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	103	123		97	120		94	106		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3.0V$ to $\pm 15V$	90	104		86	100		86	100		dB
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	180	450		100	400		100	400		V/mV
Output Voltage Swing	$R_L = 2k\Omega$	± 12	± 12.6		± 11	± 12.6		± 11	± 12.6		V

- Notes:
1. This parameter is tested on a sample basis only, and guaranteed to an LTPD of 10.
 2. Guaranteed by design.
 3. Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrumentation Grade Operational Amplifier

OP-07 Series

Digital Nulling Technique

The digital nulling technique involves the zener diode nulling network of Figure 1. The zener diodes have relatively high breakdown voltages and never operate in the zener mode. The purpose of the zeners is to short out resistors R1, 2R1, 4R1, or 8R1 by forcing a high reverse current through the diode to metalize the junction. The input offset voltage can be adjusted by varying the collector resistor ratio. If the difference in the two collector resistors (R_C) is a small increment ΔR_C, V_{OS} can be written as:

$$V_{OS} = V_T \ln \frac{R_C + \Delta R_C}{R_C} = V_T \ln 1 + \frac{\Delta R_C}{R_C}$$

for ΔR_C/R_C ≪ 1.0 ln(1+ΔR_C/R_C) ≈ ΔR_C/R_C, thus:

$$V_{OS} \approx V_T \frac{\Delta R_C}{R_C}$$

For Figure 1 R₂ + R₃ ≫ 8R₁, thus

$$V_{OS} \approx -V_T \frac{R_1}{8R_1 + R_2 + R_3} (7 - B_3B_2B_1) \quad (B_0 = 1)$$

or:

$$V_{OS} \approx V_T \frac{R_1}{R_2 + R_3} (1 + B_3B_2B_1) \quad (B_0 = 0)$$

where B₃B₂B₁ is a binary number which corresponds to the state of zener diodes Z1, Z2 and Z3 as per Figure 1.

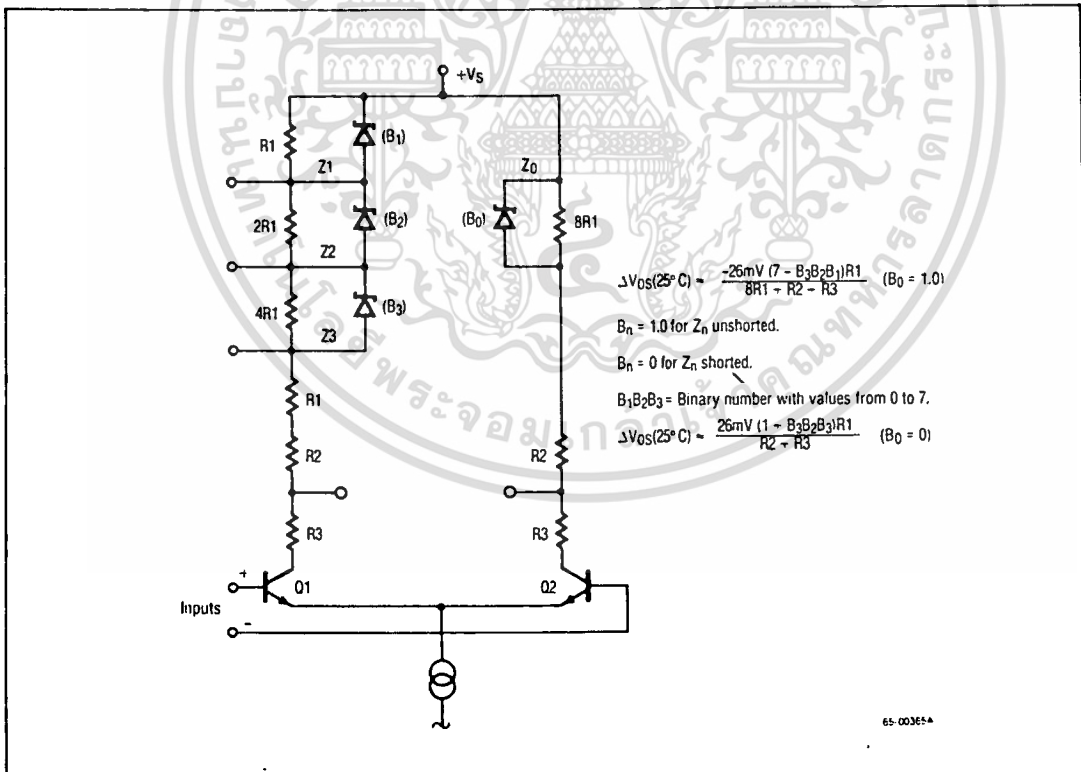


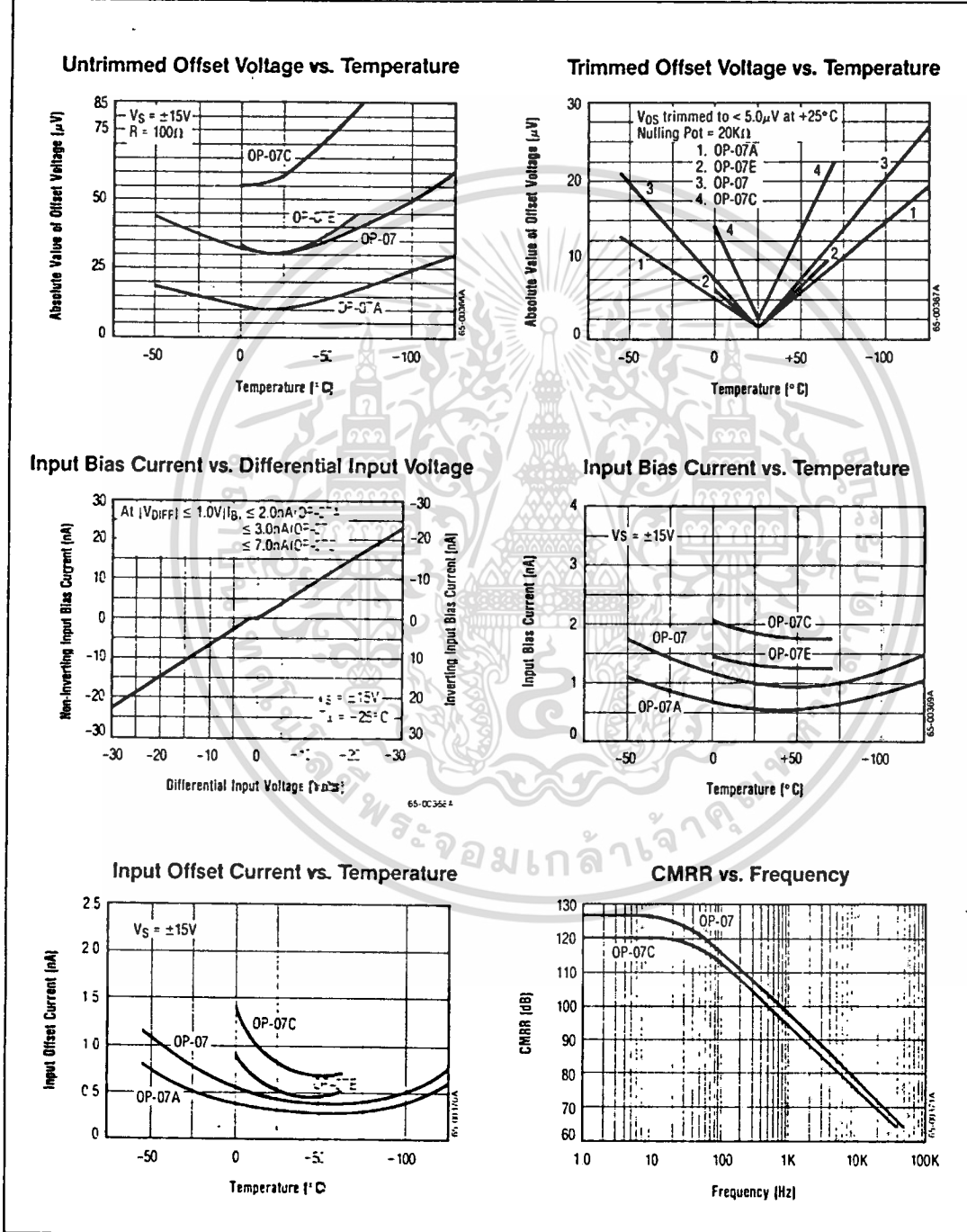
Figure 1. Digital Nulling Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP-07 Series

Instrumentation Grade
Operational Amplifier

Typical Performance Characteristics

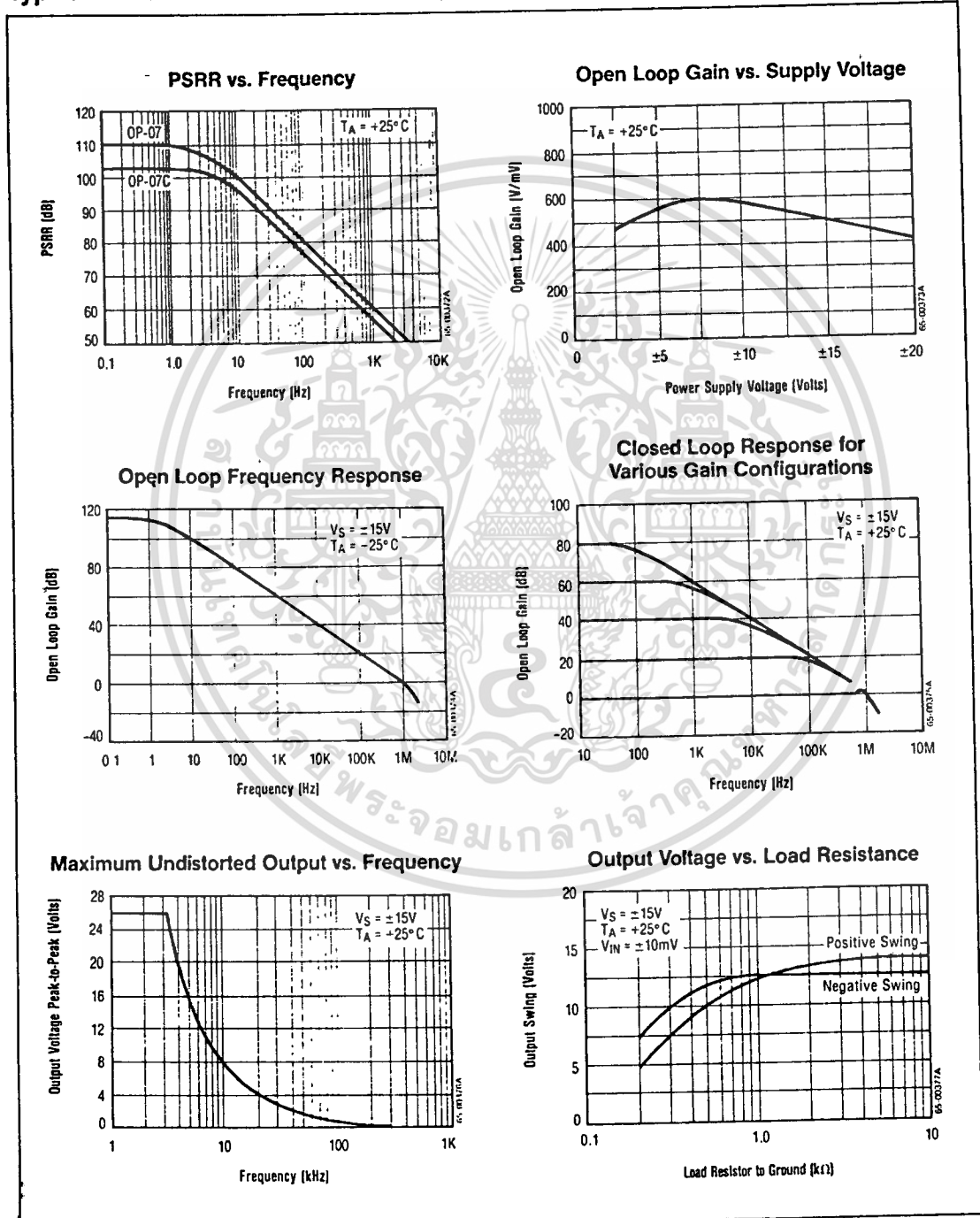


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrumentation Grade Operational Amplifier

OP-07 Series

Typical Performance Characteristics (Continued)

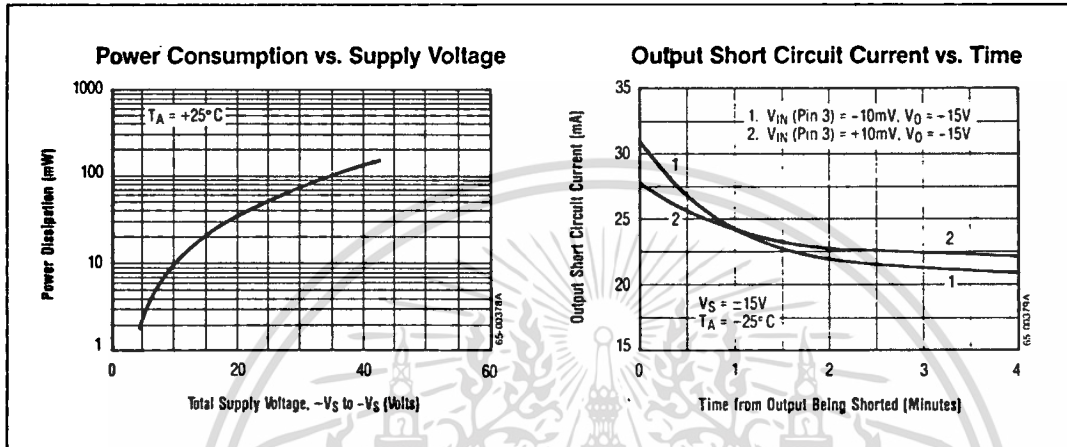


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

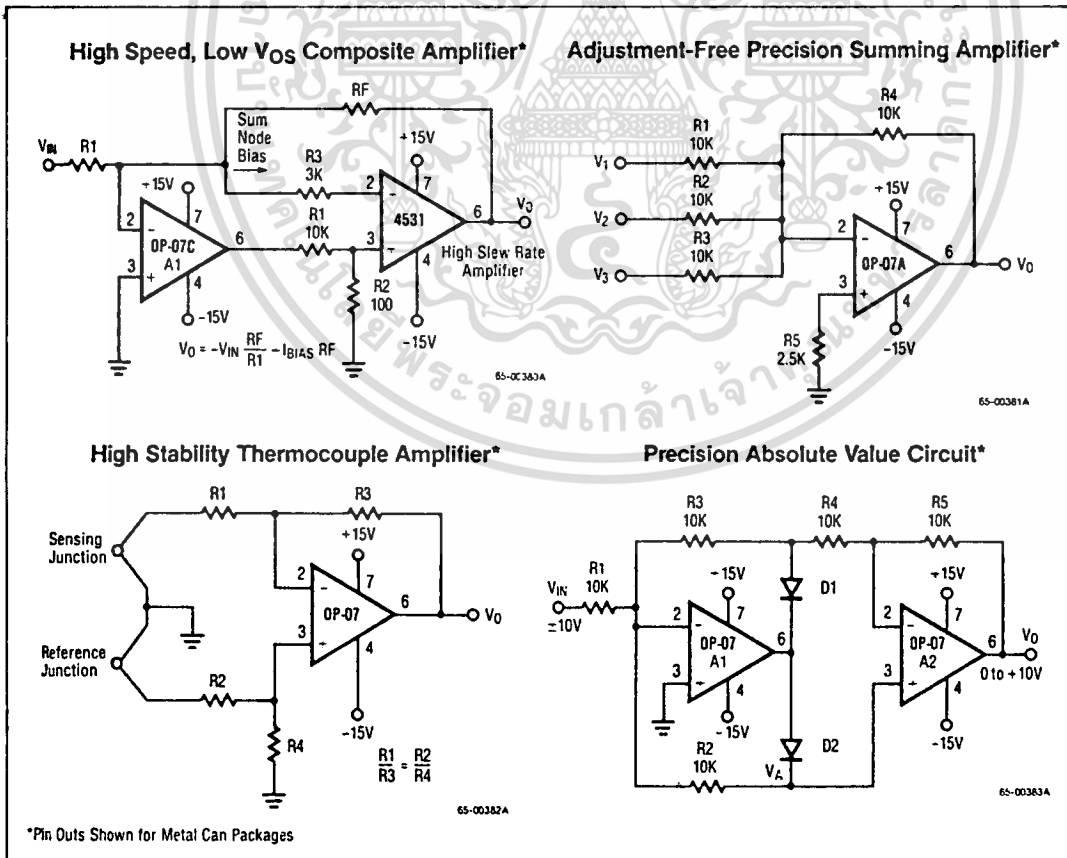
OP-07 Series

Instrumentation Grade Operational Amplifier

Typical Performance Characteristics (Continued)



Typical Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. บุรินทร์, โรจน์ชาญชัยกุล และอนุพงศ์ ทานุพันธ์สกุล " ระบบการตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านคู่สายโทรศัพท์" ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538
2. " PC ADDA-12 Card FPC-010 User's Manual ", Flytech Inc.,1995
3. " 4000 Series CMOS IC Data Book ", SE-AD Co.,Ltd., 2537



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ก็เนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์จากหลายๆท่าน อาทิ เช่น อาจารย์ กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้คำแนะนำในการจัดทำโครงการมาตลอด รวมทั้งอาจารย์ท่านอื่นๆ และเพื่อนนักศึกษา ผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบพระคุณทุกๆท่านมา ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้