

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบวงจรขยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

Computer Controlled ECG Amplifier



ปริญญาบัตรสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษาที่ 2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36887
วัน, เดือน, ปี..... ๒๙ ต.ค. ๒๕๔๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางจำหน่ายสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2542

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

Computer Controlled ECG Amplifier

ผู้จัดทำ จตุพร ไสมาศ (40013163)

จำเริญ สุทธิไพณณ์ชัย (40013165)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรขยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

จตุพร ไสบาล

จำเริญ สุกิจไพบูลย์ชัย

ผศ. พิชัย คูศิริวานิชกร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรขยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมโดยคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยสามารถควบคุมอัตราขยายได้อีก 4 ระดับ คือ 500 เท่า, 1000 เท่า, 2000 เท่า และ 2500 เท่า นอกจากนั้นยังสามารถเลือกใช้หรือไม่ใช้ วงจรกรองความถี่แบบกันไม่ให้ความถี่ผ่านช่วง 50 เฮิรท์ หลังจากนั้นจะแปลงสัญญาณคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ได้ให้เป็นข้อมูลแบบ ดิจิตอลขนาด 8 บิต โดยอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์เพื่อส่งไปแสดงผลบนหน้าจอของคอมพิวเตอร์ สำหรับโปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจรขยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมโดยคอมพิวเตอร์เขียนโดยโปรแกรม วิซวลเบสิก

Computer Controlled ECG Amplifier

Mr. Jatuporn Sanbal

Mr. Jumrean Sukitpiboonchai

Mr. Pichai Koosirivanitkorn (Advisor)

ABSTRACT

This report explains the desing a Computer Controlled ECG Ampifier by Serial port that can control system gain which has fixed the system gain at 1000 and is required or not required from 500 , 1000 , 2000 , 2500 gain . Other more we can decide to use or not use 50 Hz band reject. After that , ECG Signal is converted to 8 bit digital signal by a convertor to display on computer , The Visual Basic is written for the ECG Amplifier control program.

สารบัญ

บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	
สารบัญรูปภาพ	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์และแนวคิดโครงงาน	1
1.2 รายละเอียดของเนื้อหาในรายงาน	1
บทที่ 2 คลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	2
2.1 โครงสร้างและหน้าที่หัวใจ	2
2.2 ระบบการนำไฟฟ้าของหัวใจ	4
2.3 สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ	6
2.4 อิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรม	8
2.5 การตรวจวัดสัญญาณหัวใจ	11
2.6 การวิเคราะห์คลื่นหัวใจไฟฟ้า	12
บทที่ 3 การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจและปัญหาที่เกิดขึ้น	14
3.1 การกระจายของคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผิวหนัง	16
3.2 อิเล็กโทรด	17
3.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดคลื่นหัวใจ	18
3.3.1 ความเพี้ยนเนื่องจากความถี่	18
3.3.2 ความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวหรือคัทออฟ	19
3.3.3 กราฟคัลลูป	20
3.3.4 ความเพี้ยนเนื่องจากสัญญาณทางไฟฟ้ารบกวน	21
3.3.5 การแทรกสอดทางไฟฟ้า	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 โครงสร้างของ MCS- 51	
4.1 บทนำ	23
4.2 โครงสร้างภายในของ MCS-51	23
4.3 พอร์ตของ 8051	26
4.4 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory นอกชิพ	28
4.5 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ	29
4.6 การเชื่อมโยง MCS- 51	30
4.7 การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำ	31
4.8 การต่อ MCS- 51 เข้ากับหน่วยความจำแบบอีพรอมและแบบแรม	32
4.9 การเชื่อมต่อ 8255 กับ MCS-51	34
4.10 การใช้งานของพอร์ตอนุกรม	35
บทที่ 5 การใช้งาน Analog to digital	42
5.1 ทฤษฎีของ Date Acquisltion and conversion	42
5.2 ทฤษฎีของการ Sampling	43
5.3 Sample and hold และ Aperture error	45
5.4 Frequency folding and Allasing	46
5.5 Quantizing theory	48
5.6 รหัสตัวเลขสำหรับการเปลี่ยนข้อมูล	50
5.7 Analog to digital convertor (ADC)	51
บทที่ 6 ระบบของเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์	53
6.1 โครงสร้างโดยรวมของวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	53
6.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดสัญญาณหัวใจผ่านคอมพิวเตอร์	56
6.2.1 วงจรอินสตรูเมนเตชันแอมป์ฟลิฟายเออร์	56
6.2.2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ	59
6.2.3 วงจรมอดูเลเตอร์แบบขนาด (Amplitude modulator)	62
6.2.4 วงจรออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator)	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5	วงจรดีเทคเตอร์แบบ (AM detector)	67
6.2.6	วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	67
6.2.7	วงจรกรองความถี่แบบกั้นไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะช่วง	70
6.2.8	วงจรจ่ายระดับแรงดันคงที่ (DC Power Supply)	72
6.2.9	วงจรจ่ายแรงดันให้วงจรลอย (DC to DC Convertor)	72
6.2.10	วงจรเลือกอัตราขยายและปรับออฟเซต (Programmable and Offset)	76
6.2.11	วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	76
6.2.12	ไมโครคอนโทรลเลอร์	76
6.2.13	ไอซี MAX232	77
บทที่ 7	การทดลองและผลการทดลองคุณสมบัติของวงจรขยายคลื่นหัวใจไฟฟ้า	82
7.1	ทดสอบการทำงานวงจรอินสตรูเมนเตชันแอมพลิฟายเออร์	82
7.2	ทดสอบการทำงานวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ	86
7.3	ทดสอบการทำงานวงจรมอดูเลชันแบบ AM	86
7.4	ทดสอบการทำงานวงจรออฟโตไอโซเลชัน	87
7.5	ทดสอบการทำงานวงจรดีเทคเตอร์ AM	88
7.6	ทดสอบการทำงานวงจร Low Pass Filter	89
7.7	ทดสอบการทำงานวงจร Band Reject Filter	90
7.8	ทดสอบหาผลการตอบสนองความถี่ของภาคมอดูเลชันถึง วงจรถัด Band Reject Filter	93
7.9	ทดสอบความสามารถในการกระแสไฟของแหล่งจ่ายไฟ	95
7.10	ทดสอบการทำงานวงจร Programmable and Offset	96
7.11	ทดสอบการใช้งานของโปรแกรมแสดงผลที่ Computer	96
บทที่ 8	สรุปผลและวิจารณ์ผลโครงการ	100
	ภาคผนวก	
	เอกสารอ้างอิง	
	กิตติกรรมประกาศ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงห้องหัวใจทั้ง 4 ห้อง ลูกศรแสดงทิศการไหลของหัวใจ	3
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นทางการไหลของเลือด และระบบการนำไฟฟ้าในหัวใจ	3
รูปที่ 2.3 แสดงระบบนำเลือด การแลกเปลี่ยนอาหาร และของเสียระหว่าง เลือดกับเซลล์ในร่างกายซึ่งเกิดขึ้นที่ผนังเส้นเลือดฝอย	3
รูปที่ 2.4 แสดงการนำไฟฟ้าภายในหัวใจ	4
รูปที่ 2.5 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งพัลส์ไฟฟ้าจาก SA node ไปยังส่วนต่างๆของหัวใจ	5
รูปที่ 2.6 แสดงแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ เมื่อเกิดการปลดปล่อยประจุ	6
รูปที่ 2.7 แสดงผลจากการทำอิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรมของคนปกติ คลื่น P เกิดจาก หัวใจส่วนบนตามด้วยคลื่น QRS ซึ่งเกิดจากหัวใจส่วนล่างและค่อด้วยคลื่น T	8
รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้า บนผิวหนังมีลักษณะเหมือนเป็นอิเล็กทริกไดโพล	9
รูปที่ 2.9 แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจของคนปกติ	9
รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 12 ลีดมาตรฐาน	11
รูปที่ 3.1 แสดงศักดาไฟฟ้าทำงาน ในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ	14
รูปที่ 3.2 แสดงปฏิกิริยาเคมีที่รอยต่อผิวหนังกับอิเล็กโตรด	15
รูปที่ 3.3 แสดงผลของความถี่ที่รบกวนคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (a) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจของคนปกติ (b)แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจในกรณีมีความถี่ที่ความถี่สูง (c)แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจในกรณีมีความถี่ที่ความถี่ต่ำ	16
รูปที่ 3.4 แสดงความถี่ที่สภาวะอิมิตัวหรือคัทออฟ (a)แสดงรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ (b) แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ที่มีความถี่ที่สภาวะอิมิตัวในซีกบวก (c) แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ที่มีความถี่ที่สภาวะอิมิตัวในซีกลบ	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 (a)	แสดงตัวอย่างกราวด์ลูปที่เกิดระหว่างอิเล็กทรอนิกส์กับเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์	18
รูปที่ 3.5 (b)	แสดงตัวอย่างการแก้การเกิดกราวด์ลูปของวงจรทั้งสอง	18
รูปที่ 3.6	แสดงความถี่ที่เกิดจากสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดชั่วขณะ	19
รูปที่ 3.7(a)	แสดงสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า 50 เฮิรท์ที่เกิดขึ้นกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	20
รูปที่ 3.7 (b)	แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเมื่อผ่านวงจร Band Reject Filter	20
รูปที่ 4.1	บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	24
รูปที่ 4.2	ตำแหน่งต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำ	25
รูปที่ 4.3	การจัดวางขาของ 8051	26
รูปที่ 4.4	การต่อหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลภายนอกซีพ	28
รูปที่ 4.5	แสดงตำแหน่งบิตต่างๆในตำแหน่งแอดเดรส (20h-20Fh)	30
รูปที่ 4.6	การต่อ MCS-51 เข้ากับ EPROM และ ROM	33
รูปที่ 4.7	การเชื่อมต่อ 8255 กับ MCS-51	34
รูปที่ 4.8	รายละเอียดการเลือกโหมดการทำงาน	37
รูปที่ 5.1	ระบบควบคุมที่มีการประมวลข้อมูลแบบดิจิทัล	42
รูปที่ 5.2	แสดง error จากการวัดใน Aperture time	43
รูปที่ 5.3	การสุ่มสัญญาณ	45
รูปที่ 5.4 (ก)	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณอนาล็อกที่จะถูกสุ่ม	46
รูปที่ 5.4 (ข)	สเปกตรัมหลังจากการสุ่ม เกิด Frequency folding	46
รูปที่ 5.5	การเกิด Alias frequency จากการสุ่มด้วยความถี่ต่ำกว่า 2 เท่าของความถี่สัญญาณอินพุทรูปไซน์	47
รูปที่ 5.6	Transfer function ของ Quantize 3 บิต ตามทฤษฎี	48
รูปที่ 5.7	Transfer function ของ ADC 3บิตที่ใช้รหัสออฟเซตไบนารี	50
รูปที่ 5.8	บล็อกไดอะแกรมของ Successive Approximation ADC	51
รูปที่ 5.9	Timing Diagram ของ SAR	52
รูปที่ 6.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ	54
รูปที่ 6.2	แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	55
รูปที่ 6.3	แสดงวงจรขยายผลต่างอย่างง่าย	56
รูปที่ 6.4	แสดงรูปวงจรบัฟเฟอร์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.5	แสดงวงจรที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงจากร่างกาย	59
รูปที่ 6.6	แสดงวงจรอินสตรูเมนแอมป์	60
รูปที่ 6.7	แสดงวงจรปรับศูนย์	61
รูปที่ 6.8 (a)	AM Modulator	62
รูปที่ 6.8 (b)	Typical Output Signal Spectrum	62
รูปที่ 6.9	An OTA Used as an AM Modulator	63
รูปที่ 6.10	แสดงตัวอย่างอุปกรณ์แยกสัญญาณ	64
รูปที่ 6.11	วงจร AM modulator	65
รูปที่ 6.12	แสดงวงจรออปโต ไอโซเลเตอร์	66
รูปที่ 6.13	แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทอันดับที่สอง	67
รูปที่ 6.14	AM Detector	68
รูปที่ 6.15	แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำ	69
รูปที่ 6.16	แสดงวงจรบริดจ์ ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์	70
รูปที่ 6.17	แสดงวงจรลดทอนความถี่เป็นช่วง	73
รูปที่ 6.18	แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันคงที่	74
รูปที่ 6.19	DC To DC Convertor	75
รูปที่ 6.20	แสดงวงจร Programable and Offset	78
รูปที่ 6.21	แสดงวงจร ADC Convertor	79
รูปที่ 6.22	แสดงวงจร Microcontroller 89C51	80
รูปที่ 6.23	แสดงวงจร Optoisolator and MAX232	81
รูปที่ 7.1	สัญญาณหัวใจเมื่อผ่านวงจร Instrument Amplifier	85
รูปที่ 7.2	แสดงการทำงานของวงจรปรับศูนย์	86
รูปที่ 7.3	รูปสัญญาณเมื่อผ่านวงจร AM Modulator	87
รูปที่ 7.4	รูปสัญญาณเมื่อผ่านวงจร Opto Isolator	87
รูปที่ 7.5 (ก)	แสดงสัญญาณหัวใจเมื่อผ่านไดโอดดีเท็กเตอร์ 1N60	88
รูปที่ 7.5 (ข)	แสดงรูปสัญญาณเมื่อผ่านวงจรดีเท็กเตอร์	88
รูปที่ 7.6	แสดงกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่จำลองบนโปรแกรม P-Spice	91
รูปที่ 7.7	แสดงกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบกัน ไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะช่วงที่จำลองบนโปรแกรม P-Spice	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.8	แสดงรูปของสัญญาณหัวใจเมื่อผ่าน 50 HZ Band reject	93
รูปที่ 7.9	แสดงสัญญาณผ่านจุดต่างๆ (a) input ,(b) modulator o/p,(c) detector AM และ (d) i/pเปรียบเทียบ o/p	94
รูปที่ 7.10	แสดงการวัดโดยเลือก Gain 500	97
รูปที่ 7.11	แสดงการวัดโดยเลือก Gain 1000 (Gain Auto)	97
รูปที่ 7.12	แสดงการวัดโดยเลือก Gain 2000	98
รูปที่ 7.13	แสดงการวัดโดยเลือก Gain 2500	98
รูปที่ 7.14	แสดงการวัดโดยเลือกใช้ Band Reject Filter อย่างเดียว	99
รูปที่ 7.15	แสดงการวัดโดยเลือก ใช้ Low Pass Filter อย่างเดียว	99



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	แสดงช่วงเวลาต่างๆ ของคลื่น ไฟฟ้าหัวใจ	10
ตารางที่ 3.1	แสดงค่ามาตรฐานของเครื่องมือวัดทางการแพทย์	15
ตารางที่ 4.1	การถอดรหัส	32
ตารางที่ 4.2	การเชื่อมต่อการ	40
ตารางที่ 7.1	แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยายแบบคิฟเฟอเรนเชียลโหมด ที่ความถี่ต่างๆ	83
ตารางที่ 7.2	แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยายแบบคอมมอน โหมดที่ความถี่ต่างๆ	84
ตารางที่ 7.3	แสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรอินสตรูเมนแอมป์	85
ตารางที่ 7.4	แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยาย(dB) ของวงจร Low Pass Filter	89
ตารางที่ 7.5	แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยาย(dB) ของวงจร Band Reject Filter	90
ตารางที่ 7.6	แสดงผลตอบสนองความถี่	94
ตารางที่ 7.7	ตารางแสดงผลการจ่ายกระแสของวงจร Dc to dc convertor	95
ตารางที่ 7.8	แสดงผลการจ่ายกระแสของวง Dc supply	96
ตารางที่ 7.9	แสดงผลการทดลองของวงจร Programmable	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์และแนวคิดของโครงการ

เครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (electrocardiograph) เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับวัดและบันทึกลักษณะการทำงานทางไฟฟ้าหัวใจ คลื่นไฟฟ้าที่สร้างจากหัวใจเรียกว่า คลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (ELECTROCARDIOGRAM) หรือ ECG ลักษณะเด่นของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ คือ จะมีลักษณะสัมพันธ์กับการบีบตัว (systole) และคลายตัวของหัวใจ (diastole) ซึ่งจะสามารถนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้ ไปใช้ประกอบในการวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจได้

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความถี่ค่าประมาณ 0-200 Hz และขนาดของสัญญาณต่ำมากประมาณ 1 mV ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ECG Signal มีขนาดต่ำ ในการที่จะสามารถทำการแสดงรูปคลื่น ECG Signal ได้ถูกต้องเพื่อ นำไปวิเคราะห์ถึงความผิดปกติของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้นั้นต้องทำการขยายสัญญาณให้มีขนาดมากพอ และสัญญาณรบกวนต้องมีค่าน้อยที่สุดด้วย ดังนั้นจึงได้เกิดโครงการนี้ขึ้น

บทที่ 2

คลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของหัวใจ

หัวใจเปรียบเสมือนเครื่องสูบลมที่ทำด้วยกล้ามเนื้อทำหน้าที่สูบฉีดเลือดส่งไปเลี้ยงร่างกาย ดังแสดงดังรูปที่ 2.1 หัวใจรับเลือดจากเส้นเลือดดำทั่วร่างกาย ในตอนแรกเลือดจะเข้าไปในหัวใจห้องบนขวา (Right Atrium) ซึ่งเป็นห้องแรกของหัวใจที่มีทั้งหมด 4 ห้อง เลือดจากหัวใจห้องบนขวาจะไหลไปที่หัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle) ลิ้น ไตรคัสปิด (Tricuspid Valve) ในรูปที่ 2.2 จะช่วยป้องกันการไหลย้อนกลับของเลือดสู่หัวใจห้องบนขวา หลังจากเลือดออกจากหัวใจห้องล่างขวาจะเข้าสู่ปอด ปอดจะเพิ่มออกซิเจนในเลือดและขจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเข้ามาสะสมขณะเลือดไหลเวียนในร่างกายออกไป จากนั้นเลือดจะถูกส่งต่อไปยังหัวใจซีกซ้าย เลือดจากหัวใจห้องบนซ้ายจะผ่านลิ้น ไมทรัล (Mitral Valve) เข้าสู่หัวใจห้องล่างซ้ายหัวใจห้องล่างซ้ายจะสูบฉีดเลือดผ่านลิ้นเอออร์ติก (Aortic Valve) ออกไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย โดยออกจากเส้นเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของร่างกายที่มีชื่อเรียกทางการแพทย์ว่า เอออร์ตา (Aorta Artery)



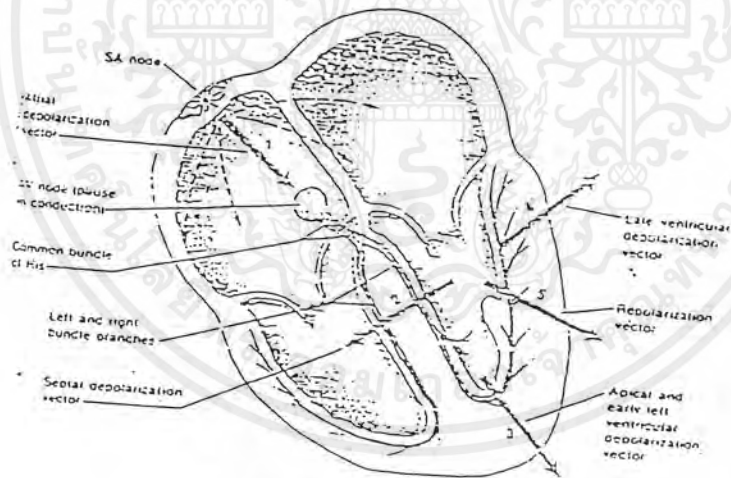
รูปที่ 2.1 แสดงห้องหัวใจทั้ง 4 ลูกศรแสดงทิศการไหลของหัวใจ

เส้นเลือดใหญ่จะแตกแยกเป็นแขนงของเส้นเลือดแดงที่มีขนาดเล็กลงแขนงของเส้นเลือดแดงเหล่านี้จะแตกย่อยต่อไปอีกเป็นเส้นเลือดแดงที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ในที่สุดจะเป็นเส้นเลือดฝอยเล็กๆ จำนวนมากมายเส้นเลือดฝอยเหล่านี้จะรวมกันกลายเป็นเส้นเลือดดำเล็กๆ หลายเส้นจากเส้นเลือดดำเล็กๆ จะรวมกันกลายเป็นเส้นเลือดดำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเส้นเลือดดำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการเต้นหัวใจจะพักให้เลือดจากร่างกายและปอดเข้าสู่หัวใจห้องบนของซีกขวาและซ้ายตามลำดับ พร้อมกันนั้นเลือดจะไหลลงสู่หัวใจห้องล่างจากนั้นหัวใจห้องบนจะบีบตัวเป็นการบังคับให้เลือดไหลลงสู่หัวใจส่วนล่างมากขึ้นและหยุดอยู่ในขณะนั้นชั่วคราวเพื่อให้เวลาให้เลือดไหลจากนั้นหัวใจส่วนล่างจะบีบตัวการหดตัวของหัวใจส่วนล่างจะเป็นการบังคับให้เลือดไหลจากหัวใจห้องล่างขวาและจากหัวใจห้องล่างขวาซีกซ้ายเข้าสู่ปอดและเข้าสู่ส่วนต่างๆของร่างกายตามลำดับ

2.2 ระบบการนำไฟฟ้าของหัวใจ

การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับกล้ามเนื้ออื่นๆ กล่าวคือจะถูกกระตุ้นด้วยศักย์ไฟฟ้าทำงาน แต่การกระตุ้นนี้ไม่ได้มาจากระบบประสาทส่วนกลางหรือสมองแต่เป็นการกระตุ้นต่อกล้ามเนื้อคือเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจที่เกิดขึ้นภายในตัวหัวใจเอง โดยประกอบด้วยกลุ่มเซลล์กลุ่มหนึ่งที่ทำหน้าที่ผลิตพัลส์ที่ทำหน้าที่คล้ายเซลล์ประสาท โดยระบบการนำไฟฟ้าจะนำพัลส์ไฟฟ้าไปกระตุ้นต่อเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ดังรูปที่ 2.4

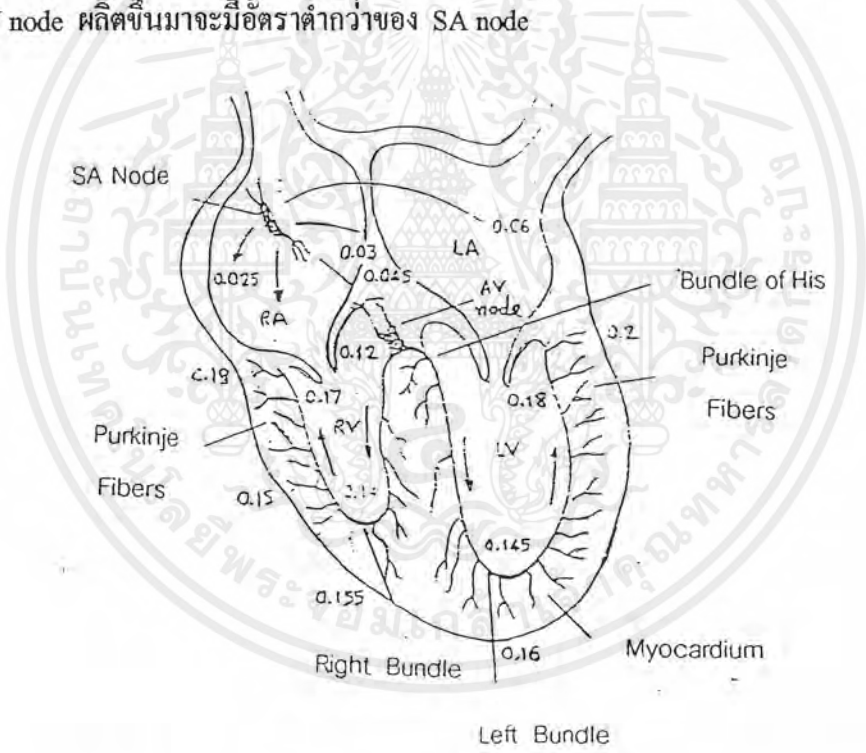


รูปที่ 2.4 แสดงการนำไฟฟ้าภายในหัวใจ

บริเวณผนังด้านในของหัวใจระหว่างหลอดเลือดหัวใจใหญ่ซูปพีเรียเวนาคาว่าและอินฟีเรียเวนาคาว่าจะมีเซลล์อยู่กลุ่มหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษ เซลล์กลุ่มนี้จะสร้างพัลส์ไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจซึ่งเซลล์กลุ่มนี้เรียกว่า SA node (Sinoatrial Node) หรือ ไชนัสโนด (Sinus Node) หรือเพสเมคเกอร์ (Pacemaker) โดยความถี่ของพัลส์ที่ SA node สร้างขึ้นจะมีอิทธิพลในการกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยปกติแล้วจะพบว่า ค่าของอัตราการเต้นของหัวใจ จะเท่ากับความถี่พัลส์ที่ SA node ที่ปล่อยออกมา พัลส์นี้จะแผ่กระจายออกจาก SA node แล้วผ่านหัวใจห้องบนทั้งซ้ายและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ผ่านการยินยอมจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวาไปสู่ AV node นี้จะอยู่ที่ผนังกันหัวใจทางด้านขวา ระหว่างห้องหัวใจบนขวาและห้องหัวใจล่างขวา พัลส์ไฟฟ้าที่ผ่านห้องบนจะทำให้หัวใจห้องบนหดตัวบีบโลหิตลงมายังห้องล่างเส้นทางการนำไฟฟ้า จาก SA node ไปสู่ AV node ดังรูป 2.4 ที่ AV node นี้ประกอบด้วยเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่หน่วงเวลาประมาณ 70 ms เพื่อให้การทำงานของหัวใจห้องบนและห้องล่างสัมพันธ์กันจาก AV node จะมีการนำไฟฟ้าในการนำพัลส์ไฟฟ้าไปสู่กล้ามเนื้อหัวใจส่วนบนคั่นออฟฮิส (Bundle of His) ซึ่งแยกออกเป็น 3 เส้นทางโดยจะเข้าไปสู่หัวใจห้องล่างซ้ายสองสาขาและห้องล่างขวาอีกหนึ่งสาขา แต่ละสาขาจะนำพัลส์ไฟฟ้าไปกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง โดยผ่านกล้ามเนื้อหัวใจในส่วนของเพอร์คินเจไฟเบอร์ (Purkinje Fibers) รูป 2.5 แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งพัลส์ใช้ในการส่งพัลส์ไฟฟ้าขึ้นมาเช่นเดียวกับที่ SA node แต่สำหรับคนปกติแล้วความถี่ของพัลส์ไฟฟ้าที่ AV node ผลัดขึ้นมาจะมีอัตราต่ำกว่าของ SA node

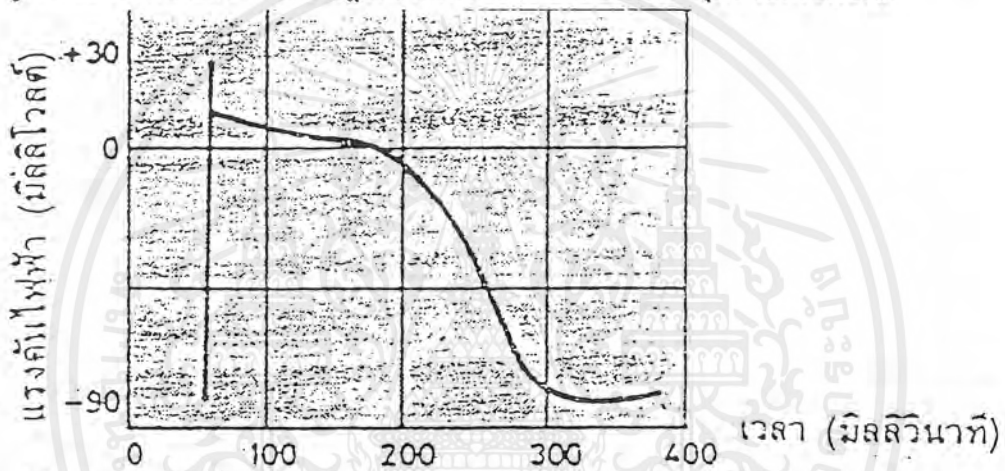


รูปที่ 2.5 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งพัลส์ไฟฟ้าจาก SA node ไปยังส่วนต่างๆของหัวใจ

AV node จะถูกกระตุ้นด้วยพัลส์จาก SA node ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าเท่ากับ ความถี่ของ SA node แต่เส้นทางการนำไฟฟ้าจาก SA node ไปสู่ AV node ผิดปกติหรือถูกสะกิด กั้น (AV Block) หัวใจก็จะเต้นด้วยพัลส์ที่ AV node สร้างขึ้นซึ่งจะมีค่าประมาณ 40-45 ครั้งต่อนาที

2.3 สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ

ตามปกติเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะมีแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์มีค่าเป็นลบมากกว่าแรงดันไฟฟ้าภายนอกเซลล์ประมาณ 90 มิลลิโวลต์ แสดงตามรูปที่ 2.6 แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง (resting potential) ถ้าศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งนี้มีค่าสูงกว่าขีดจำกัดค่าหนึ่งจะมีการแตกตัวของอนุภาคและประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการแตกตัวให้ประจุเกิดขึ้นศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะมีค่าประมาณ +30 มิลลิโวลต์และเซลล์กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลงหลังจากนั้นประมาณ 20 มิลลิวินาที ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะกลับ ไปมีค่าเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าขณะหยุดนิ่งและเซลล์จะอยู่ในลักษณะคลายตัว จนกว่าวัฏจักรจะเริ่มซ้ำ (เมื่อศักย์ไฟฟ้าหยุดนิ่งเพิ่มขึ้นอีก)



รูปที่ 2.6 แสดงแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ เมื่อเกิดการปลดปล่อยประจุ ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนมามีค่าเป็นบวกจากนั้นจึงตกลงไปเป็นศูนย์อยู่ประมาณ 200 มิลลิวินาที แล้วจึงมีค่าเป็นลบ

หัวใจส่วนบนมีการเกี่ยวพันทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเมื่อมีเซลล์หนึ่งเกิดการแตกตัวให้ประจุเซลล์ใกล้เคียงจะได้รับการกระตุ้นให้ปลดปล่อยประจุด้วยคลื่นของการปลดปล่อยประจุจะกระจายไปทั่วหัวใจส่วนบน ในที่สุดเซลล์ทุกเซลล์ในหัวใจส่วนบนจะมีการแตกตัวให้ประจุหัวใจส่วนบนจะหดตัว คลื่นของการปลดปล่อยประจุเกิดจากเซลล์จำนวนมากทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะวัดได้ โดยการใส่ขั้วไฟฟ้าวางบนผิวหนัง ค่าแรงดันที่วัดได้ด้วยวิธีนี้เรียกว่าอิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรม

ในการทำงานเดียวกันกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องหัวใจส่วนบน เซลล์ทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะมีความสัมพันธ์ทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในหัวใจส่วนล่างมีการแตกตัวของอนุภาคและให้ประจุไฟฟ้าออกมา (และการหดตัว) ในทุกๆเซลล์ของหัวใจส่วนล่าง

อย่างไรก็ตาม หัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างไม่ได้เชื่อมต่อกันโดยตรงบริเวณแนวเชื่อมต่อของทางไฟฟ้าของหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างเรียกว่า โหนดเอวี (AV node หรือ Atrio Ventricular node) การส่งผ่านสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่าง หัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างจะทำให้ทั้ง 2 ส่วน ได้รับสัญญาณช้ากว่ากัน 0.04 วินาทีการช้านี้ทำให้หัวใจส่วนบนที่เวลานี้คิดเลือดให้หัวใจส่วนล่าง การล่าช้าดังกล่าวยังเป็นตัวจำกัดจำนวนครั้งก่อนที่หัวใจบีบตัวตลอดจากหัวใจส่วนบนจนถึงหัวใจส่วนล่าง ในกรณีที่หัวใจส่วนบนมีการบีบรัดตัวเร็วเกินไป การจำกัดอัตราการบีบรัดตัวของหัวใจส่วนล่างเป็นการทำให้ชีวิตปลอดภัย ทั้งนี้เพราะการสูบฉีดเลือดของหัวใจส่วนล่างนี้เองที่ทำให้เลือดไหลไปสู่สมองและอวัยวะต่างๆ ได้มากที่สุด ถ้าการบีบตัวดังกล่าวเกิดขึ้นเร็วเกินไป การไหลของเลือดจะลดลงเนื่องจากไม่มีเวลามากพอที่จะใช้สูบเลือดเข้าสู่หัวใจส่วนล่างซึ่งเวลาดังกล่าวก็คือช่วงเวลาระหว่างการหด

กลับไปดูรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นแผนภาพวงจรควบคุมการปลดปล่อยประจุของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถ้าไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกทำให้เกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า เซลล์หัวใจจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงจากสภาพที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศักย์ไฟฟ้า ขณะหยุดนิ่งมีการแตกตัวของอนุภาคให้ประจุไฟฟ้าด้วยจำนวนครั้งก่อนที่ที่คงที่ เซลล์ที่มีการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วที่สุดจะเป็นเซลล์ที่นำซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุที่จุด โหนดเอวี สัญญาณการปลดปล่อยประจุจากเซลล์นำจะกระจายสู่เซลล์ต่างๆ ในหัวใจส่วนบนก่อน จากนั้น โหนดเอวีจะนำสัญญาณไฟฟ้า ไปยังเส้นใยนำไฟฟ้า ซึ่งจะนำไฟฟ้าเข้าสู่หัวใจส่วนบนก่อนที่ จะนำสัญญาณไฟฟ้า ไปยังเส้นใยนำไฟฟ้า ซึ่งจะนำไฟฟ้าสู่หัวใจส่วนล่างอย่างรวดเร็วการกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยประจุในหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะเกิดขึ้นพร้อมกันโดยเริ่มจากภายในออกสู่ผนังหัวใจภายนอก เซลล์ในหัวใจคอนบนมีแนวโน้มที่จะเกิดการปลดปล่อยประจุประมาณ 60 ถึง 100 ครั้งต่อวินาทีเซลล์ในแนวโหนดเอวีซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างหัวใจส่วนบนกับส่วนล่างมีแนวโน้มที่จะเกิดการปลดปล่อยประจุจะ 30 ครั้งต่อวินาที

ดังนั้นการหดตัวของหัวใจส่วนบนจะเกิดขึ้นก่อน ตามด้วยระยะเวลาที่ทั้งช่วงและการหดตัวของหัวใจส่วนล่างจากนั้นจะมีระยะหยุดพักก่อนที่จะมีการบีบตัวของหัวใจ หรือวัฏจักรการทำงานของหัวใจครั้งต่อไปจะเกิดขึ้น เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีการปลดปล่อยประจุและหดตัวเป็นลำดับ เป็นจังหวะ เป็นเวลา สัญญาณจากโหนดเอสเอจะเข้ามาแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุและหดตามอัตราที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้น โหนดเอวีจึงเป็นผู้นำในการทำงานของหัวใจ ถ้าโหนดเอวีไม่ทำงาน หรือสัญญาณที่ส่งมาถูกแนวโหนดเอวีที่เป็นโรคกักไว้ หัวใจส่วนล่างจะยังคงบีบรัดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะว่าเซลล์บางเซลล์ในหัวใจส่วนล่างสามารถที่จะปลดปล่อยประจุได้เองและทำตัวเป็นผู้นำในหัวใจส่วนล่าง อัตราการเต้นของหัวใจในลักษณะนี้จะช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ประมาณ 30 ครั้งต่อนาที) แต่จังหวะการเต้นของหัวใจเพื่อความอยู่รอดเช่นนี้มักจะเพียงพอที่จะทำให้ชีวิตรอดได้จนกว่าคนไข้จะได้รับการช่วยเหลือ

2.4 อิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรม (Electrocardiogram : ECG)

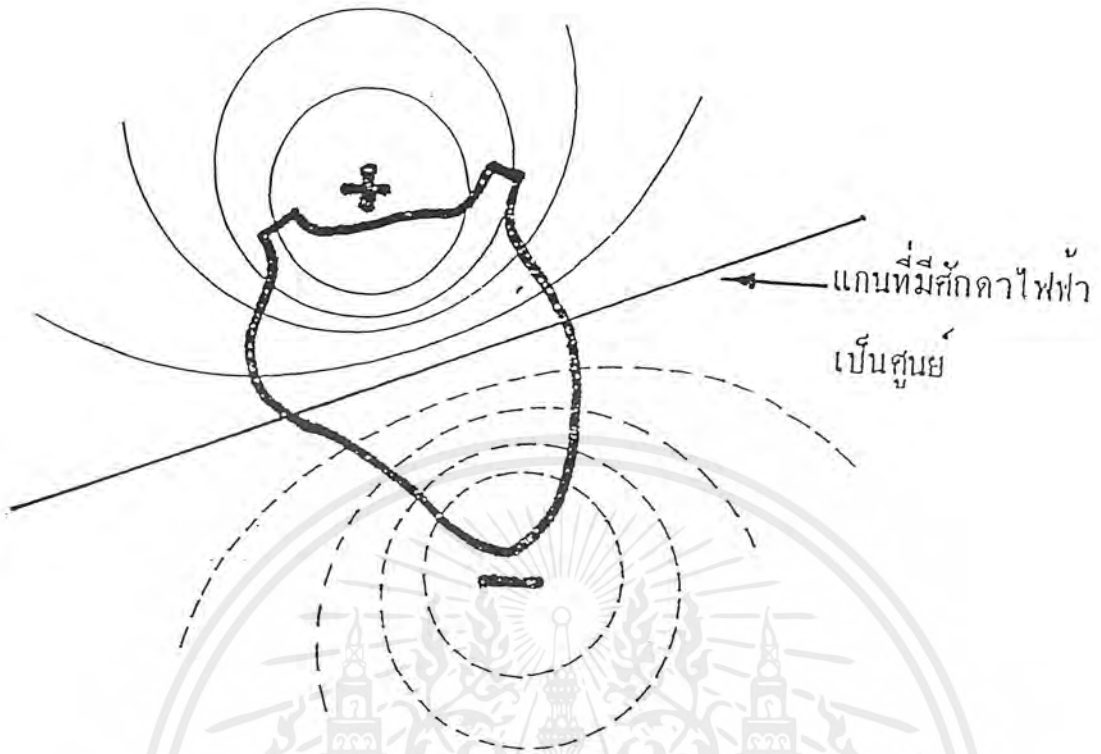
อิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรมเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จากการต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับบริเวณหน้าอกแขนขา ดังรูปที่ 2.7 แสดงภาพอิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรมสัญญาณที่ได้มีแอมพลิจูดประมาณ 1 มิลลิโวลต์ ดังนั้นจึงได้ขยายสัญญาณแบบที่มีความถี่ต่ำในการขยาย กระดาษบันทึกข้อมูลเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 25 มิลลิโวลต์ต่อวินาที สัญญาณนี้จะแสดงทวนจอออสซิลโลสโคปก็ได้



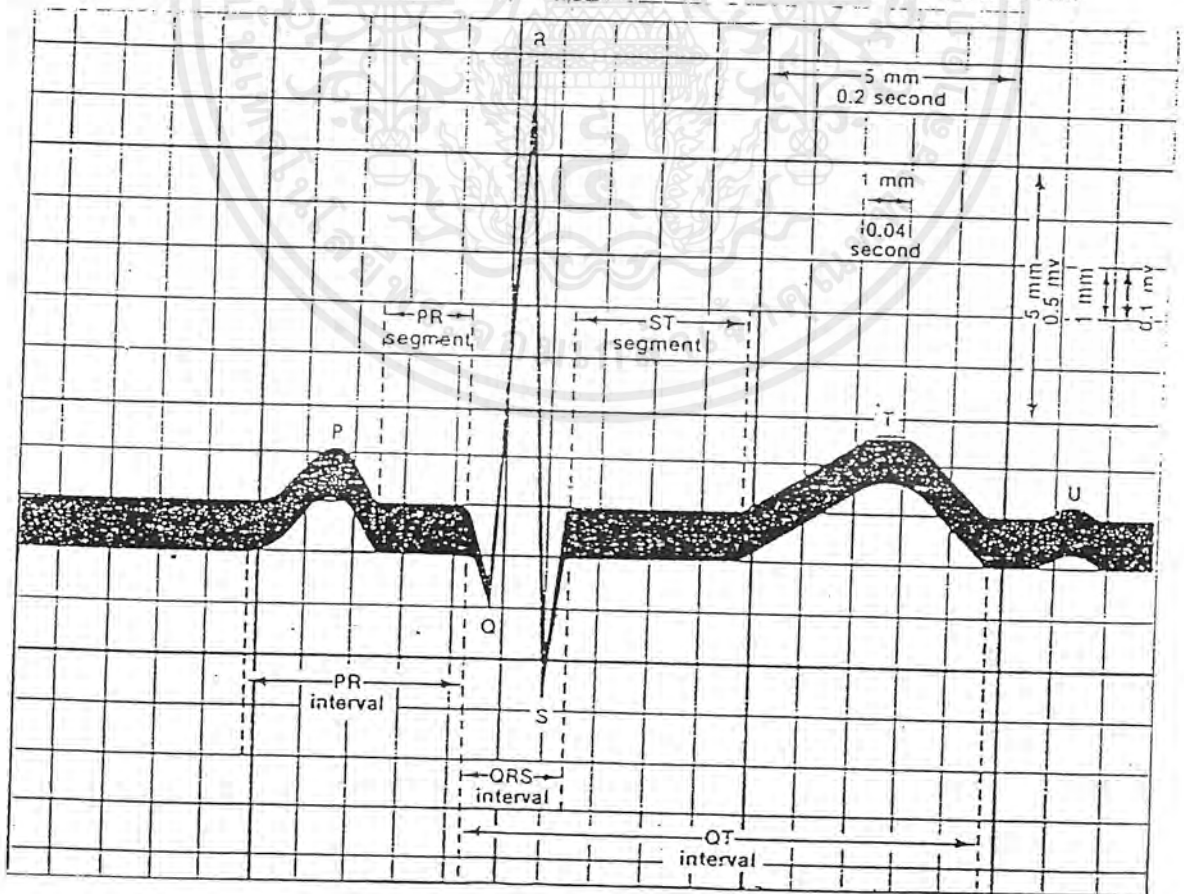
รูปที่ 2.7 แสดงผลจากการทำอิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรมของคนปกติ คลื่น P เกิดจากหัวใจส่วนบนตามด้วยคลื่น QRS ซึ่งเกิดจากหัวใจส่วนล่างและต่อด้วยคลื่น T

ในรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นวงจรการทำงานของหัวใจ คลื่น P เกิดจากการปลดปล่อยประจุของหัวใจส่วนบนคลื่น QRS เป็นผลจากการปลดปล่อยประจุในหัวใจส่วนล่าง คลื่นที่เกิดจากการคลายตัวของหัวใจส่วนบนจะซ่อนอยู่ในคลื่น QRS

การทำงานของกล้ามเนื้อเกิดจากการที่พัลส์ไฟฟ้ามากระตุ้นทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวและเกิดศักดาไฟฟ้าทำงานขึ้นด้วย ซึ่งกล้ามเนื้อหัวใจก็เป็นเช่นเดียวกันการเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงานและทำให้หัวใจเต้น การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะรวมตัวเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้าและเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักด์ไฟฟ้าภายนอกเนื้อเยื่อและบริเวณผิวหนังของร่างกายการไหลของกระแสจะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดการกระจายของศักดาไฟฟ้าที่ทำงานเท่านั้น ดังนั้นเราอาจพิจารณาได้ว่าหัวใจเป็นเสมือนแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งบรรจุอยู่ในก้อนตัวนำร่างกาย ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายออกจากขั้วบวกและลบไปตามส่วนต่างๆของร่างกาย เหมือนกับเป็นอิเล็กตริกไดโพล (Electric dipole) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนังมีลักษณะเสมือนเป็นอิเล็กทรอนิกส์โค โพล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.9 แสดงคลื่นไฟฟ้าของหัวใจคนปกติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของหัวใจย่อมมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างบริเวณทั้งสอง คล้ายมีขั้วไฟฟ้าต่างกัน 2 ขั้วเกิดขึ้น ขนาดและทิศทางของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองเปลี่ยนไปตามเวลาและจะเวียนมาเริ่มต้นในรูปตามเดิม โดย ECG แบ่งย่อยออกไปได้ 3 ส่วนคือ

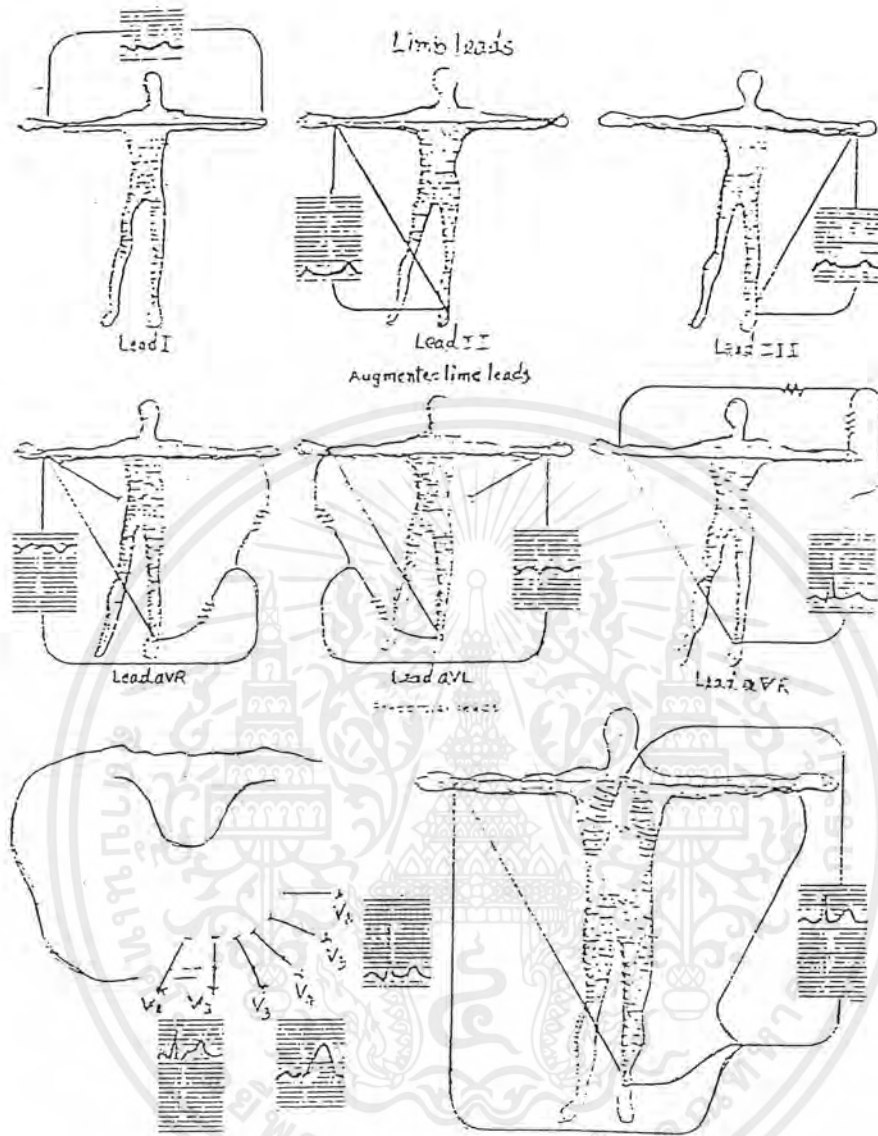
1. P wave : สัญญาณ P เกิดจากการทำงานของหัวใจห้องบน จะมีคาบเวลาประมาณ 80-120 มิลลิวินาที
2. QRS complex : สัญญาณรวม QRS เกิดจากการทำงานของหัวใจห้องล่าง จะมีคาบเวลาประมาณ 80-100 มิลลิวินาทีและสัญญาณ R จะมีขนาดสูงสุด เนื่องจากหัวใจห้องล่างจะบีบโลหิตส่งไปยังทุกส่วนของร่างกายผ่านผนังของหัวใจห้องล่างจึงมีความหนา มากกว่าส่วนอื่นๆ ถ้าทำการนำขั้วไฟฟ้าไปติดที่แขนขวาและแขนซ้ายหรือที่เรียกว่า ลีด 1 (Lead) การที่สัญญาณ R มีขนาดสูงสุดเป็นเพราะผลรวมของศักย์ไฟฟ้าทำงานของเซลล์เป็นจำนวนมาก
3. T wave : สัญญาณ T เกิดจากการคลายตัวของกล้ามเนื้อห้องล่างมีคาบเวลาประมาณ 200 มิลลิวินาทีและมีขนาดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของสัญญาณ R

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

ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงเวลาต่างๆ ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

หมายเหตุ* ช่วงเวลาของ PR * วัดได้จากเวลาของสัญญาณ P ถึงเวลาเริ่มของสัญญาณรวม QRS

Electromechanical dissociation : สภาวะที่คลื่นไฟฟ้าหัวใจดูปกติ แต่ไม่มีการสูบฉีดเลือด



รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 12 ลีดมาตรฐาน

2.5 การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้า

อิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรมเป็นวิธีการแรกของการตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าจากคนไข้ที่เป็นโรคเนื้อเยื่อหัวใจตายเนื่องจากเส้นเลือดอุดตัน หรือโรคหัวใจอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามอิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรมก็ไม่ได้บอกอะไรทั้งหมด ในบางครั้งอิเล็กโทรคาร์ดิโอแกรมที่เป็นปกติทั้งๆ ที่คนไข้กำลังมีปัญหาอย่างหนักการตรวจวัดการทำงานของหัวใจด้วยวิธีอื่นก็กระทำด้วย เครื่องมืออิเล็กทรอณิกส์มีบทบาทสำคัญมากในการตรวจวัดเหล่านี้ และจะได้นำมาลงในตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจเพื่อช่วยในการบำบัดรักษาคนไข้ การวัดค่าความดันเลือดในเส้นเลือดแดง ในเส้นเลือดดำใกล้หัวใจและในเส้นเลือดฝอยในปอด มักจะทำควบคู่ไปด้วย ทำให้ต้องมีความต้องการเครื่องมือวัดความดันที่สามารถเปลี่ยนค่าความดันที่วัดได้ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้โดยการวางเครื่องมือนี้ในตำแหน่งเหล่านั้นหรือวางในตำแหน่งที่สนใจจะวัดอย่างไรก็ตามบ่อยครั้งที่เคียวที่มีการใช้ท่อพลาสติกเล็กๆ บรรจุของเหลวให้ปลายข้างหนึ่งต่อกับเครื่องมือนี้ ปลายข้างที่เหลือต่อเข้ากับบริเวณที่ต้องวัดท่อของเหลวนี้จะส่งผ่านความดันให้กับเครื่องมือ

การทำงานจริงๆ ของหัวใจสามารถพิจารณาได้จากการวัดการทำงานของหัวใจคือ เลือดที่ถูกส่งออกจากหัวใจซึ่งวัดในหน่วยลิตรต่อนาที

2.6 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นการบันทึกสภาพการทำงานของหัวใจ ที่วัดได้บนผิวหนังของร่างกายด้วยเครื่องวัดและแสดงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ จึงถือได้ว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของร่างกาย (Physiological parameter) ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวินิจฉัยอาการ ความผิดปกติและประเมินสภาวะหัวใจเป็นอย่างดี

การวิเคราะห์และแปลผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประกอบการรักษาโรคต่างๆของผู้ป่วย โดยเฉพาะเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจจะทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจลงบนกระดาษกราฟซึ่งมีแกนนอนเป็นฐานเวลา (หน่วยเป็นวินาที) ส่วนแกนตั้งเป็นความสูงของคลื่น (หน่วยเป็นมิลลิโวลต์) แล้วอาศัยแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญในการแปลผลมาทำการอ่านและวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รูปคลื่นความสูงของคลื่น ระยะเวลาช่วงต่างๆ ระดับของเส้นสัญญาณเป็นต้น แล้วทำการสรุปรวบรวมวิเคราะห์ และคาดคะเนว่าผู้ป่วยมีสภาวะของหัวใจเป็นเช่นใด โดยอาจทำการวิเคราะห์ทั้ง 12 ไลตมาตรฐานดังรูปที่ 2.10 หรือเพียงลิตใดลิตหนึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถและความชำนาญในการวิเคราะห์ผลของผู้เชี่ยวชาญนั้น ข้อจำกัดของวิธีการแบบนี้อยู่ที่เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลเนื่องจากการกิจประจำวันของแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญทำให้การทราบผลที่วิเคราะห์ไม่ทันต่อการรักษาดูแลผู้ป่วย

ดังนั้นในปัจจุบันด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจแทนคน โดยการแปลงไฟฟ้าหัวใจให้อยู่ในรูปของข้อมูล

ดิจิทัลแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณไฟ

ฟ้าหัวใจที่เข้ามาเพื่อทำการแปรผลและรายงานผลให้ทราบ ซึ่งวิธีนี้เป็นการแก้ปัญหาเพียงบางส่วน
ของวิธีการวิเคราะห์ในแบบเดิม เช่น กรณีไม่มีแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญที่จะทำการวิเคราะห์ อีกทั้งวิธี
นี้ยังให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แม่นยำและถูกต้อง ทันท่วงทีต่อการรักษาอาการของผู้ป่วย

ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญที่เข้ามาช่วยลดภาระของบุคลากรหรือทดแทนการ
ขาดบุคลากร โดยที่การวิเคราะห์ยังคงความเชื่อถือได้อยู่การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจสามารถ
พิจารณาได้ 5 แบบคือ

1. อัตราการเต้นของหัวใจ (Rate)
 2. จังหวะการเต้นของหัวใจ (Rhythm)
 3. แนวแกนของหัวใจ (Axis)
 4. กล้ามเนื้อหัวใจพองโต (Hypertrophy)
 5. กล้ามเนื้อหัวใจตาย (Infarction)
- การวิเคราะห์ทั้ง 5 แบบนี้เป็นการพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหัวใจ



บทที่ 3

การวัดและมาตรฐานในการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

3.1 มาตรฐานต่างๆ ในการวัดความปลอดภัยในเครื่องมือวัดทางการแพทย์

ได้กำหนดค่ามาตรฐานต่าง ๆ รวมทั้งฟังก์ชัน(Function) ที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบความปลอดภัยของเครื่องมือวัดทางการแพทย์โดยกำหนดให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. แรงดันไฟหลัก (Main Voltage) คือการวัดค่าแรงดันที่จ่ายให้กับเครื่องมือวัดทางการแพทย์
2. ความต้านทานของฉนวน (Insulation Resistance) คือค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายไฟที่จ่ายไฟกระแสสลับกับสายดิน
3. ความต้านทานของสายดิน (Earth Resistance or Earth continuous) คือค่าความต้านทานระหว่างตัวกล่องเครื่องมือวัดทางการแพทย์กับสายดิน
4. การรั่วไหลของสายดิน (Earth Leakage) เป็นการวัดกระแสที่รั่วไหลจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านลงสายดิน
5. การรั่วไหลของตัวอย่างเครื่องมือวัดทางการแพทย์ (Chassis Leakage) เป็นการวัดกระแสรั่วไหลจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านลงตัวกล่องของเครื่องมือวัดทางการแพทย์
6. การรั่วไหลของวงจรคนไข้ (Patient Circuit Leakage) เป็นการวัดกระแสที่รั่วไหลจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านลงตัวกล่องของเครื่องมือวัดทางการแพทย์
7. การรั่วไหลของวงจรคนไข้ ขณะที่ไม่มี การต่อสายดิน (Patient Circuit Leakage Without Earth) คล้ายกับกรณี 6. ต่างกันที่กรณีนี้สายดินขาด
8. การตรวจสอบการแยกตัวของวงจรคนไข้ (Patient Circuit Isolation test) เป็นการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านจากวงจรคนไข้ลงสู่สายดิน เมื่อป้อนไฟกระแสสลับเข้าสู่วงจรคนไข้ สำหรับค่ามาตรฐานต่าง ๆ แสดงดังตาราง

MODE	TEST FUNCTION	LIMIT CLASS A	LIMIT CLASS B
1	MAIN VOLTAGE	210 - 250 V	210 - 250 V
2	INSULATION RESISTANCE (ที่ = 800 Vdc)	0 - 15 μ A	0 - 80 μ A
3	EARTH RESISTANCE (ที่ = 800 Vdc)	0 - 500 mV	0 - 500 Mv
4	EARTH LEAKAGE	0 - 50 μ A	0 - 100 μ A
5	CHASSIS LEAKAGE	0 - 10 μ A	0 - 10 μ A
6	PATIENT CIRCUIT LEAKAGE	0 - 10 μ A	0 - 10 μ A
7	PATIENT CIRCUIT LEAKAGE WITHOUT EARTH	0 - 10 μ A	0 - 100 μ A
8	PATIENT CIRCUIT ISOLATION	0 - 10 μ A	0 - 200 μ A

ตารางที่ 3.1 แสดงค่ามาตรฐานของเครื่องมือวัดทางการแพทย์

Limit Class A หมายถึง มาตรฐานของการรบกวนรบกวนต่างๆ ที่ยอมให้เกิดที่เครื่องมือวัดทางการแพทย์ ที่ถูกใช้งานบริเวณวิกฤตต่างๆ เช่น ห้องผ่าตัด , บริเวณ Intensive Care Monitoring Ward , ห้องปฏิบัติการทดลอง Cardiac Catheterization เป็นต้น

Limit Class B หมายถึง มาตรฐานของการรบกวนรบกวนต่างๆ ที่ยอมให้เกิดที่เครื่องมือวัดทางการแพทย์ ที่ถูกใช้งานบริเวณนอกเหนือจากที่กำหนดใน Limit Class A เช่น ห้องสำหรับตรวจคนไข้ นอก เป็นต้น

3.2 การกระจายของคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนผิวหนัง

การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อหัวใจทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงาน (Action potentials) และทำให้หัวใจเต้น การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ จะรวมกันเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า และเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกเนื้อเยื่อและที่บริเวณผิวหนังของร่างกายดูรูปที่ 3.1 การไหลของกระแสจะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดการกระจายของศักดาไฟฟ้าทำงานเท่านั้น

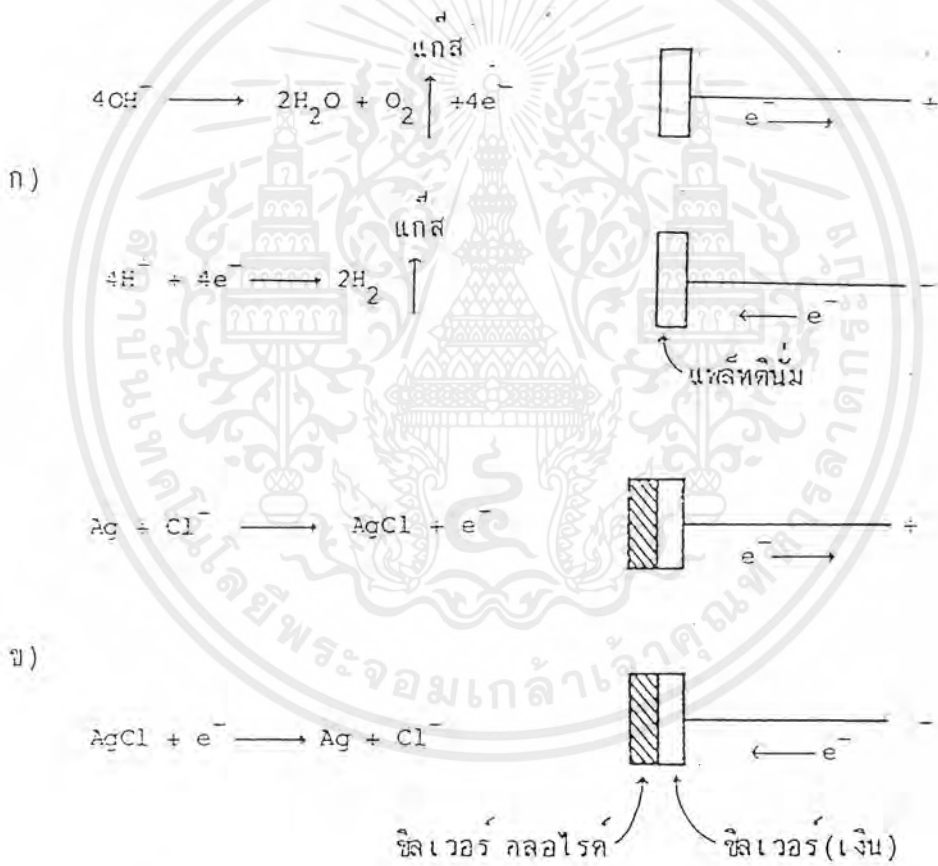


รูปที่ 3.1 แสดงศักดาไฟฟ้าในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ

ศักดาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ กระจายลงต่างโหนดตามออรแกนที่เข้าสู่บริเวณที่แรงๆ เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าจาก -70 มิลลิโวลต์ ในขณะที่เซลล์อยู่นิ่งเป็น +20 มิลลิโวลต์ การเคลื่อนที่ของไอออนเหล่านั้น รวมกันเป็นกระแสไฟฟ้าซึ่งไหลเป็นวงกลมผ่านความต้านทานของตัวกลางภายนอก ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อมและมีขั้วค้งแสดงในรูป บริเวณที่อยู่ด้านหน้าของการกระจายศักดาไฟฟ้าทำงานเป็นบวกเมื่อเทียบกับบริเวณที่อยู่ด้านหลัง

3.3 อิเล็กโทรด

การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้ได้ผลดีโดยไม่เกิดสัญญาณรบกวน เนื่องจากการไม่เสถียรทางไฟฟ้า ก็โดยการใช้อิเล็กโทรดชนิด ซิลเวอร์-ซิลเวอร์ คลอไรด์ (Silver-Silver chloride) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อิเล็กโทรดเหล่านี้สามารถทำขึ้นได้ง่าย โดยการเคลือบ ซิลเวอร์คลอไรด์ลงบนอิเล็กโทรดที่เป็นเงินบริสุทธิ์ ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเล็กโทรดชนิด ซิลเวอร์-ซิลเวอร์ คลอไรด์ ได้อย่างรวดเร็วมาก ซิลเวอร์ คลอไรด์ที่เคลือบบนอิเล็กโทรด ในขณะที่ใช้งานที่ขั้วหนึ่งจะบางลงส่วนอีกขั้วหนึ่งจะเคลือบหนาขึ้น ซึ่งจะไม่มีการเกิดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไม่มีสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าเกิดขึ้นที่รอยต่อของสารละลายกับอิเล็กโทรด



รูปที่ 3.2 แสดงปฏิกิริยาเคมีที่รอยต่อผิวหนังกับอิเล็กโทรด

- (ก) อิเล็กโทรดทำด้วยแพลทินัม (Platinum) ซึ่งเป็นโลหะเฉื่อย ทำให้เกิดฟองแก๊ส(O ที่ขั้วบวกและ H ที่ขั้วลบ) ที่มีความต้านทานสูง และเกิดโพลาไรเซชันที่รอยต่อ
- (ข) อิเล็กโทรดชนิด ซิลเวอร์-ซิลเวอร์ คลอไรด์ ซึ่งไวต่อปฏิกิริยาเคมีดังนั้น จึงไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น ความต้านทานที่รอยสัมผัสมีความต้านทานต่ำและไม่เกิดโพลาไรเซชันที่รอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 36887 หรือส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

มีตัวแปรหลายอย่างที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบและประยุกต์ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์ไอแกรม ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อวงจร

3.3.1 ความเพี้ยนเนื่องจากความถี่ (Frequency distortion)

อิเล็กทรอนิกส์ไอแกรมจะไม่พบผลตอบสนองความถี่ที่เป็นมาตรฐานแต่จะมีความเพี้ยนเนื่องจากความถี่นี้จะเกิดขึ้นบ่อยใน ECG ดังแสดงในรูป 3.3 ซึ่งแสดงลักษณะของความถี่ที่รบกวนในคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ-

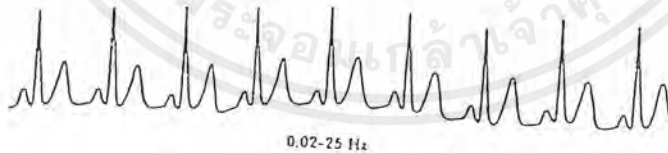
รูปที่ 3.3 (a) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจของคนปกติในช่วงความถี่ 0.02 - 150 Hz

รูปที่ 3.3 (b) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจซึ่งบันทึกไว้ในช่วงความถี่ 0.02 - 25 Hz ในกรณีนี้จะมีความเพี้ยนที่ความถี่สูง ทำให้องค์ประกอบของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ความถี่สูงกว่า 25 เฮิร์ตหายไปและมีการลดลงของแอมพลิจูดที่มุมของคลื่น QRS

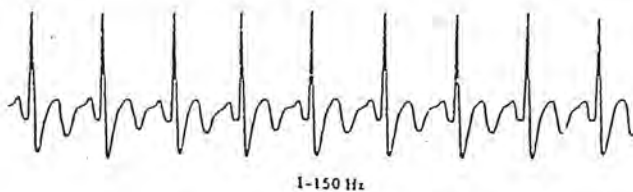
รูปที่ 3.3 (c) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกไว้ในช่วงความถี่ 1 - 150 Hz ซึ่งในกรณีนี้จะมีความเพี้ยนที่ความถี่ต่ำ ทำให้องค์ประกอบของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ความถี่ต่ำกว่า 1 เฮิร์ตหายไป



(a) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจของคนปกติ



(b) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจในกรณีมีความเพี้ยนที่ความถี่สูง



(c) แสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจในกรณีมีความเพี้ยนที่ความถี่ต่ำ

รูปที่ 3.3 แสดงผลของความถี่ที่รบกวนคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวหรือคัทออฟ (Saturation or cutoff distortion)

ค่าออฟเซตโวลเตจค่าสูงที่อิเล็กทรอนิกส์ หรือส่วนขยายที่ไม่เหมาะสมในอิเล็กทรอนิกส์ กราฟจะทำให้เกิดความเพี้ยนปรากฏในคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ดังรูปที่ 3.4 (a) ซึ่งแสดงรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะรูปคลื่นที่มีความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวในกรณีการรวมค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุท และส่วนขยายที่อิ่มตัว(ในด้านการเป็นซิงวอล)ทำให้แอมพลิจูดของคลื่น QRS หรือพีค (Peak) ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจถูกตัดออกไป เพราะเอาท์พุทของส่วนขยายไม่สามารถเกินค่าโวลเตจที่อิ่มตัว รูปที่ 3.4 (c) แสดงลักษณะรูปคลื่นที่มีความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวหรือคัทออฟที่แรงดันต่ำๆ โดยเป็นส่วนขยายที่อิ่มตัว (ในด้านการเป็นซีลป) ทำให้แอมพลิจูดของคลื่นหรือพีคของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจถูกตัดออกไปดังรูป



(a) แสดงรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ



(b) แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่มีความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวในซิงวอล



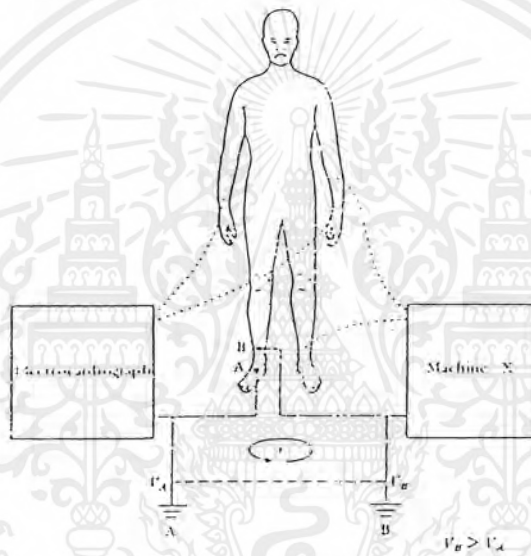
(c) แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่มีความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวในซีลป

รูปที่ 3.4 แสดงความเพี้ยนที่สภาวะอิ่มตัวหรือสภาวะคัทออฟ

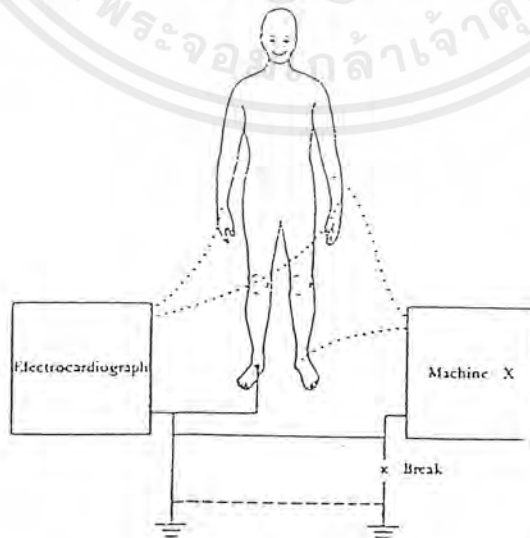
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 กราวด์ลูป (Ground Loop)

กราวด์ลูปเกิดจากการเดินสายภายในวงจรหรือการออกแบบลายวงจรไม่ดีทำให้ศักดาที่จุดกราวด์มีค่าศักดาไม่เท่ากัน ทำให้กระแสไหลจากกราวด์ของวงจรที่มีศักดาสูงกว่าไปยังกราวด์ของวงจรที่มีศักดาล่ากว่าดังแสดงในรูปที่ 3.5 (a) เป็นผลทำให้เกิดการรบกวนขึ้นภายในระบบซึ่งแก้ไขได้โดยการเดินสายภายในวงจรหรือการออกแบบลายวงจรซึ่งให้การกราวด์ของแต่ละวงจรไปรวมกันที่จุด ๆ เดียวกันกับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปที่ 3.5 (b) ทำให้ศักดาของกราวด์เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



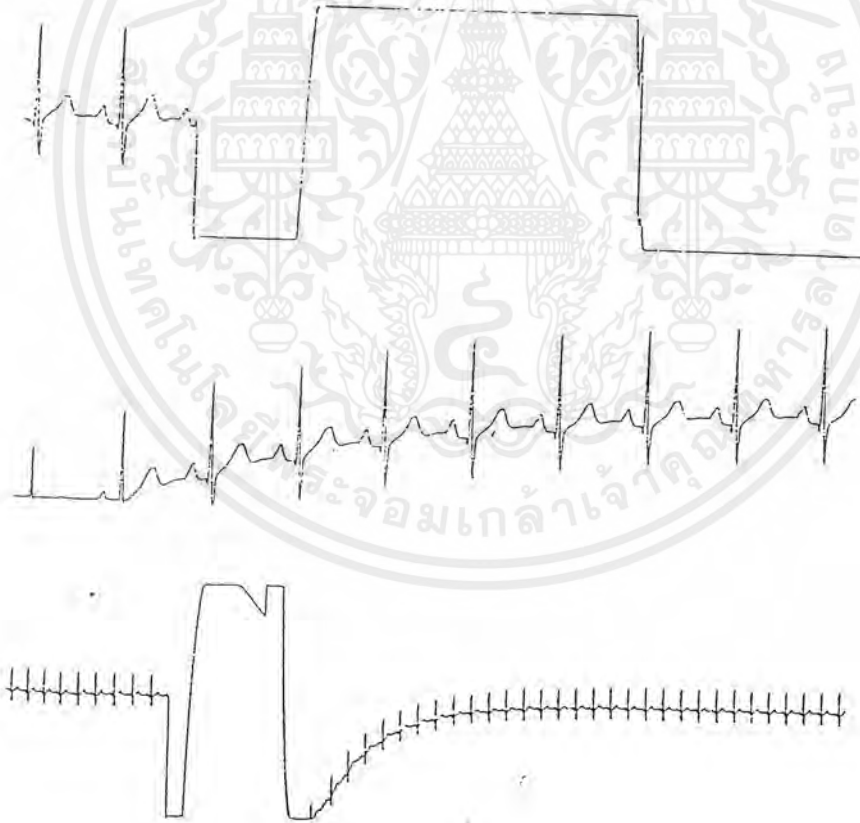
รูปที่ 3.5 (a) แสดงตัวอย่างกราวด์ลูปที่เกิดระหว่างอิเล็กโทรคาดีโอกราฟกับเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.5 (b) แสดงตัวอย่างการแก้การเกิดกราวด์ลูปของวงจรทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ความเห็นที่เกิดจากสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดชั่วขณะ (Artifact from Large electric transients)
 เมื่ออินพุทของวงจรมีสัญญาณไฟฟ้าที่แตกต่างมีสัญญาณทางไฟฟ้าฉับพลัน (Electric transient) เช่นเมื่อคนไข้ถูกแพทย์ทำการช็อคด้วยเครื่องกระตุ้นหัวใจทำให้ของวงจรมีสัญญาณที่แตกต่างเกิดสภาวะอิมพัลส์ขึ้นชั่วขณะหนึ่งซึ่งทำให้คาปาซิเตอร์คัปปลิง (Capacitor coupling) ที่มีค่ามาก (100 μ F เพื่อให้สัญญาณความถี่ต่ำถูกคัปปลิงไปได้) ถูกประจุจนเต็ม และเนื่องจากค่าอินพุทอิมพัลส์ของวงจรมีค่าก่อนข้างสูง ดังนั้นค่าอาร์ซีไทม์คอนสตัน (RC Time Constant) ทำให้ตัวคาปาซิเตอร์คัปปลิงทำการคายประจุ (discharge) ประจุออกทำให้เสียเวลานานพอสมควรโดยคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ได้มีลักษณะดังรูป 3.6 อาจแก้ไขโดยการปรับศูนย์อัตโนมัติซึ่งทำหน้าที่ลดค่าอาร์ซีไทม์คอนสตัน ให้ลดน้อยลงซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป



รูปที่ 3.6 แสดงความเห็นที่เกิดจากสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดชั่วขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การแทรกสอดจากสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้า 50 เฮิร์ต ที่มีอยู่ในร่างกายมนุษย์จะถูกขยายแบบ คอมมอนโหมด (Common mode) ทำให้ได้สัญญาณดังรูป 3.7 (a) ซึ่งถ้าหากวงจรส่วนขยายความแตกต่างมีค่าคอมมอนโหมดรีเจคชันเรซิโอ (Common-mode-rejection ratio : CMRR) ก็จะทำให้สัญญาณรบกวนมีขนาดเล็ก แต่ถ้าหากต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนนี้ให้เล็กลงไปอีก ก็สามารถกระทำได้ โดยนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจไปผ่านวงจรกรองความถี่แบบลดทอนความถี่แบบลดทอนความถี่ที่ 50 เฮิร์ต ก็จะทำให้สัญญาณรบกวนน้อยลงดังรูปที่ 3.7 (b)



รูปที่ 3.7 (a) แสดงสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า 50 เฮิร์ต ที่เกิดขึ้นกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



รูปที่ 3.7 (b) แสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่แถบผ่านที่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โครงสร้างของ MCS-51

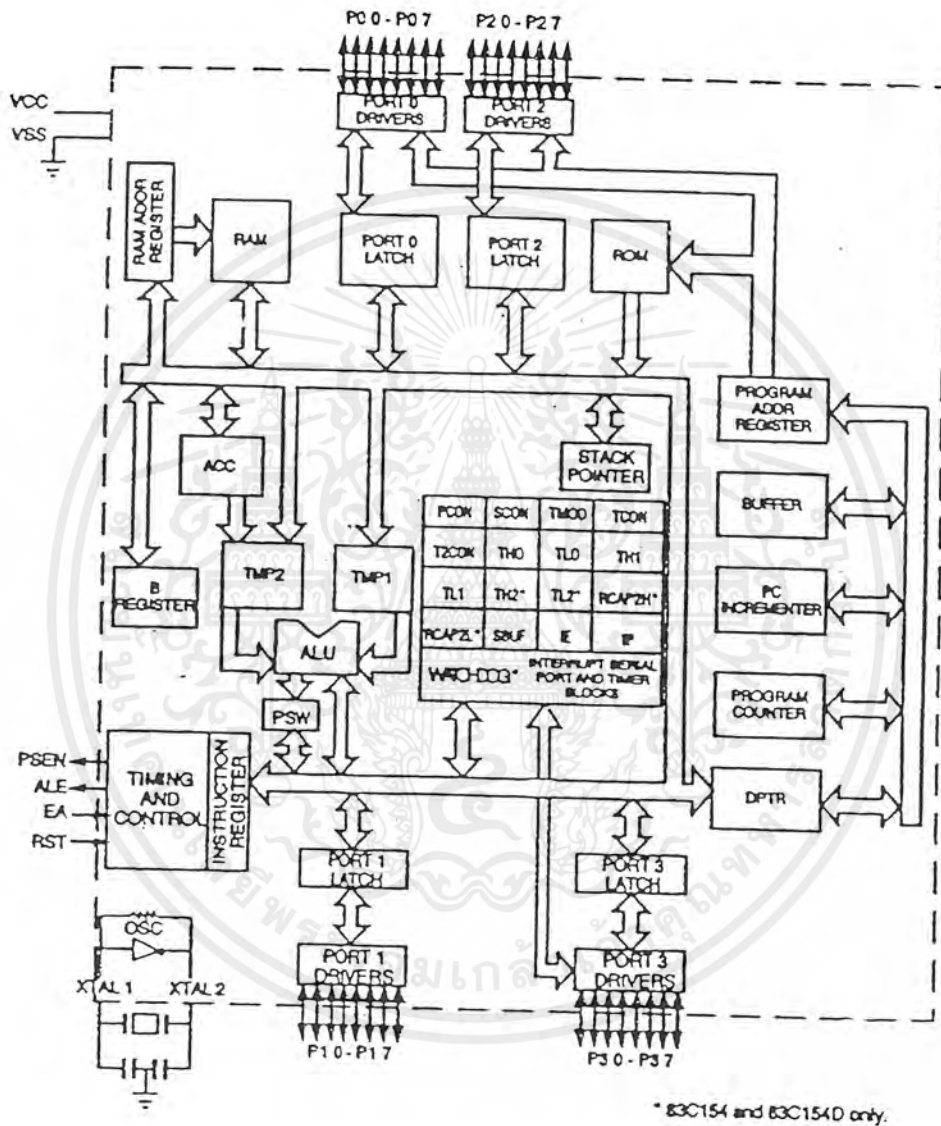
4.1 บทนำ

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

1. ต้องการแหล่งจ่ายไฟ + 5V ชุดเดียว
2. มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
3. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์
4. หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูล (Program Memory) และ Data Memory แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
5. คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 μ S เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 Mhz
6. มี Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด
7. รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์
8. มีพอร์ตสำหรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ต ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
9. มีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ COMPLEMENT ได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 1 บิต

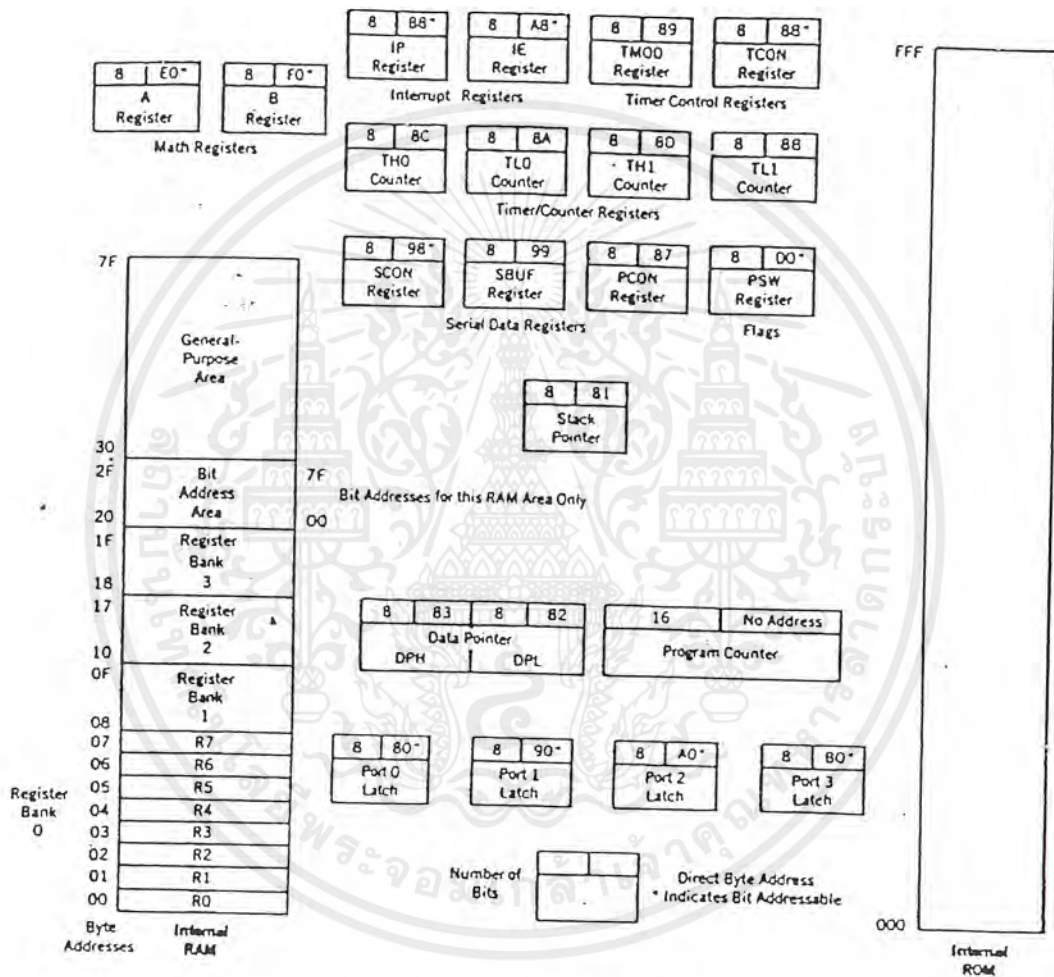
4.2 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับ เบอร์ 8051 ดังแสดงรูปที่ 4.1 และ 4.2



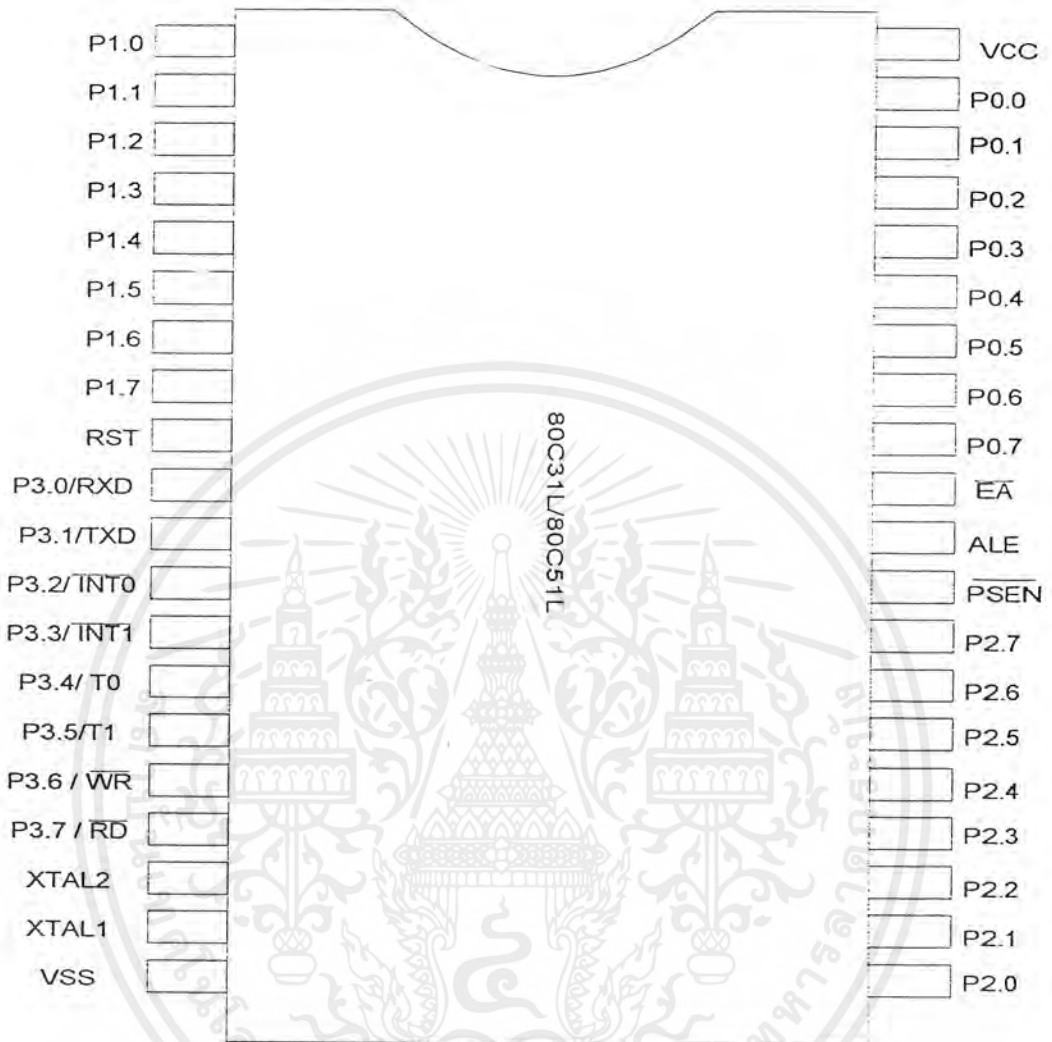
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การจัดวางขาของ 8051

4.3 พอร์ตของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- ไฟเลี้ยง (ขา 40) ต่อกับ +5V
- ไฟเลี้ยง (ขา 20) เป็นขา GND
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0-P0.7) ใช้งานได้ 2 หน้าทีคือ ส่งแอดเดรสและข้อมูลออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอก และอีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นพอร์ต อินพุตและเอาต์พุต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุตพอร์ตต้องส่งลอจิก 1 ไปยังพอร์ตนี้

- พอร์ต 1 (ขา 1 – 8) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 แต่จะ
ใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน (Internal pull Up Register)
- พอร์ต 2 (ขา 21-28)มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 โดย
มี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน พอร์ตนี้ทำงาน 2 หน้าที คือ
สามารถใช้เป็นพอร์ตสำหรับส่งแอดเดรส 8 บิตบน (A8-A15) และเป็นอินพุท,เอาต์พุทพอร์ตที่ใช้
งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ต ต้องส่งลอจิก 1 มาที่พอร์ตนี้ก่อน
- พอร์ต 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1
พอร์ตนี้ทำหน้าที่เป็นอินพุทและเอาพุทพอร์ต ถ้าจะให้พอร์ตนี้เป็นอินพุทพอร์ตก็ให้ส่งลอจิก 1 มา
ที่พอร์ตนี้ก่อนและอีกหน้าที่ หนึ่งคือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณ
ต่าง ๆ มีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/RXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.2/INT0 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3/INT1 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปในวงจร
Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวน ไชเคลของสัญญาณ T1 นี้หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้

P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังTimer/Counter 1 ซึ่งมี
การทำงานเหมือนกับ T0

P3.6/WR (External Data Memory Write strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยัง
หน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

P3.7/RD (External Data Memory Read strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจาก
หน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

- ALE (ขา 30)เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตซ์แอดเดรสไปตั่ว (A0-A7) ที่ส่ง
ออกมาจาก (พอร์ต 0) สัญญาณนี้จะแอดที่ฟทุก ๆ ครั้งใน 1 เมกซ์ชินไวกิล (1/16 ของสัญญาณ
นาฬิกา)

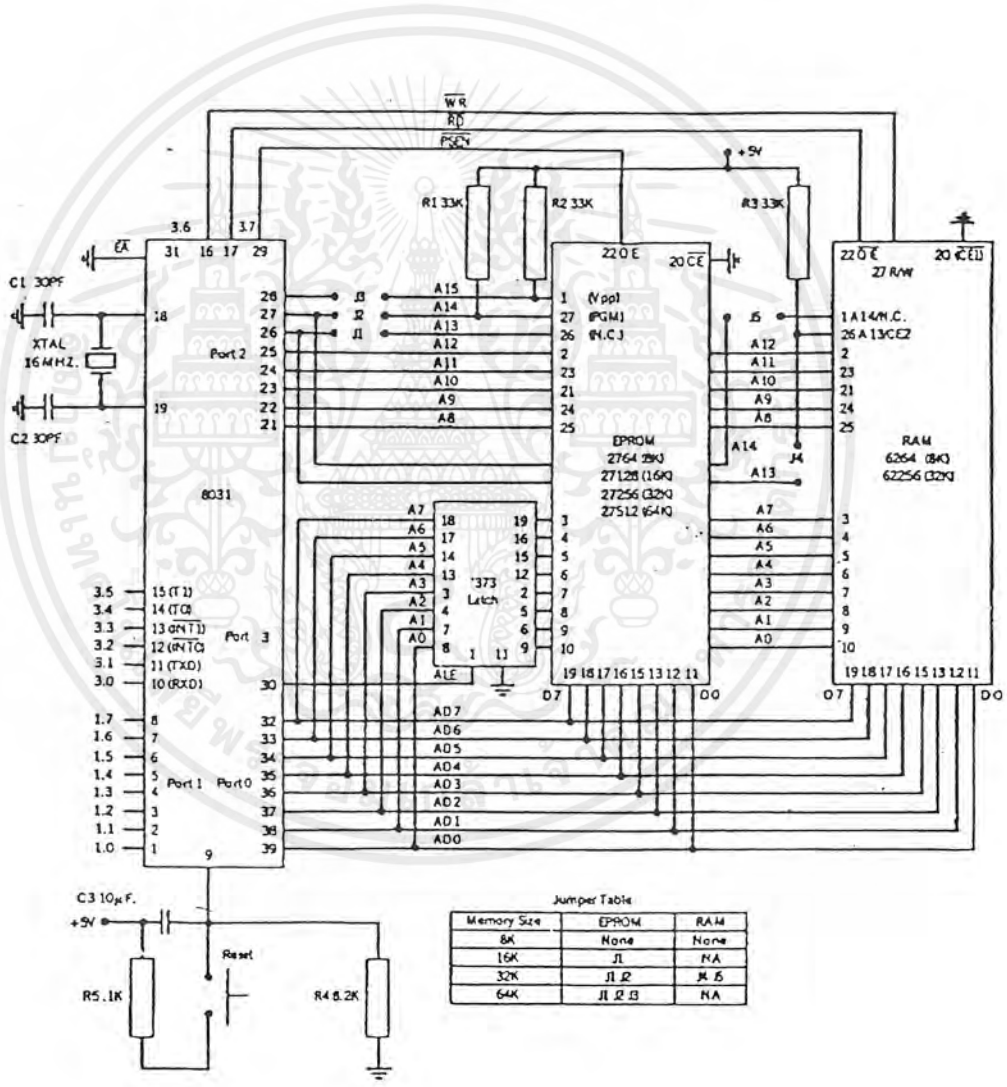
- PSEN (ขา 29) เป็นขาที่ส่งสโตรบสำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก
(หน่วยความจำประเภท ROM EPROM) สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้ง ในแต่ละเมกซ์ชินไวกิลแต่
ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณ นาฬิกาออกที่ขานี้

- EA (ขา 30)ถ้าป้อนลอจิก 0 เข้าที่ขานี้ ซีพียูจะอ่านค่าจาก Program Memory ภายนอกซิพ
เท่านั้น แต่ถ้าถูกป้อนด้วยลอจิก 1 ก็อ่านโปรแกรมภายในซิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RST (ขา 9) เป็นขารีเซ็ตซีพียู จะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก 1 เข้าที่ขานี้ นานอย่างน้อย 2 แมกซิมัซไคเคล เมื่อ ซีพียูถูกรีเซ็ตค่าต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ใด ๆ จะมีคำสั่งดังตารางที่ 4.1
- XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซซิลเลเตอร์
- XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นเอาต์พุตของวงจรรอสซซิลเลเตอร์

4.4 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory ภายนอกชิพ



รูปที่ 4.4 การต่อหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้กับ MCS-51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ Program Memory และ Data Memory Program Memory ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 ก็คือ ROM ขนาด 8 กิโลไบต์

Data Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลหน่วยความจำนี้ สามารถเขียนข้อมูลลงไป และ อ่านข้อมูลออกมาได้ ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในชิพมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ส่วนหน่วยความจำภายนอกชิพมี 64 กิโลไบต์

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Address Area) พื้นที่ 128 ไบต์ ดังกล่าวจะแบ่งเป็น 3 ส่วน

1. รีจิสเตอร์แบงก์ (Register Banks 0-3) ตั้งแต่ตำแหน่ง (00h-1Fh) จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ (0-3) โดยแบ่งเป็นแบงก์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์ ถ้าชิพทำงานอยู่ที่แบงก์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ตก็จะกลับมาทำงานที่แบงก์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทันที
2. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งเขียนอ่านเกี่ยวกับบิตได้ (Bit Addressable Area) พื้นที่ตั้งแต่แอดเดรส (20h-7Fh) จำนวน 16 ไบต์ หรือถ้านับเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิต ซึ่งตำแหน่งบิต 00,01,02,03,04,05,06,07 ก็คือตำแหน่งหน่วยความจำตำแหน่ง 20h ที่บิต 0,1,2,3,4,5,6,7, ตามลำดับดูรูป 2.16 เช่นถ้าต้องการเทบิต D0 ของตำแหน่ง 20h ก็จะต้องเขียนคำสั่งว่า SET 00h
3. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area) พื้นที่ตั้งแต่ (30h-7Fh) จะเขียนข้อมูลได้ที่ละ ไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้
 - ช่วง 78h-37h คือช่วง SCRATCH PAD AREA
 - ช่วง 28h-27h คือช่วง BIT ADDRESSABLE SEGMENT
 - ช่วง 18h-07h คือช่วง REGISTER BANK

RAM
 BYTE (MSB) (LSB)

7FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78
2FH	77	76	75	74	73	72	71	70
2EH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68
2DH	67	66	65	64	63	62	61	60
2CH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58
2BH	57	56	55	54	53	52	51	50
2AH	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48
29H	47	46	45	44	43	42	41	40
28H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38
27H	37	36	35	34	33	32	31	30
26H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28
25H	27	26	25	24	23	22	21	20
24H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18
23H	17	16	15	14	13	12	11	10
22H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08
21H	07	06	05	04	03	02	01	00

รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งบิตต่างๆในตำแหน่งแอดเดรส (20h-20Fh)

4.6 การเชื่อมโยง MCS-51 กับหน่วยความจำ

การจัดหน่วยความจำสำหรับ MCS-51 แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำข้อมูลความจะได้ 64 กิโลไบต์ เป็นหน่วยความจำประเภทอ่านและเขียนได้ (RAM) สัญญาจาก MCS-51 ที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำประเภทอ่านและเขียนได้ คือ RD และสัญญาที่ใช้ในการเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำคือ WR

หน่วยความจำประเภทอ่านและเขียนได้ Ran (Random access memory)

เป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและอ่านได้ ข้อมูลจะสูญหายทันทีที่ขาดไฟเลี้ยง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สแตติกแรม (static Ram) และ ไดนามิกแรม (Dynamic RAM)

สแตติกแรม (STATIC RAM)

เป็นหน่วยความจำชนิดหนึ่งที่ยากในการนำมาใช้งานแต่ราคาจะสูงเมื่อเทียบกับไดนามิกแรม Dynamic Ram ซึ่งคราถูกกว่าแต่ยุ่งยากขึ้น คือต้องทำการรีเฟรช (Refresh) หน่วยความจำตลอดเวลาเบอร์ที่นิยมกันมากคือเบอร์ TMS4016 หรือ 6116 ซึ่งมีขนาดความจุ 2K X 8

หน่วยความจำโปรแกรม

เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมเป็นหน่วยความจำที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว (ROM) สัญญาจาก MCS-51 ที่ใช้ในการอ่านหน่วยความจำนี้คือ PSEN หน่วยความจำประเภทรอม (ROM:Read Only Memory) เป็นหน่วยความจำแบบถาวร เมื่อขาดไฟเลี้ยงข้อมูลไม่สูญหาย เป็นหน่วยความจำชนิดอ่านข้อมูลได้อย่างเดียว

- หน่วยความจำประเภทอีพรอม (EPROM: Wrasable programmable Read-Only Memory) เป็นหน่วยความจำแบบถาวรชนิดหนึ่งซึ่งผู้ใช้นำมาโปรแกรมเองได้และสามารถใช้แสง UV ลบข้อมูลได้

4.7 การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำ

การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะว่าหน่วยความจำที่นำมาใช้มีขนาดเล็กกว่า 64 กิโลไบต์ ดังนั้นจึงต้องนำมาเรียงกันแล้วใช้วงจรถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำแยกเป็นแต่ละช่วง ถ้าใช้หน่วยความจำขนาด 4 กิโลไบต์ จำนวน 8 ตัว จะได้เท่ากับ 32 กิโลไบต์ ถ้าให้ตัวแรกที่แอดเดรส 8000H ตัวที่ 2 ก็จะมีที่แอดเดรส 9000H ดังรายละเอียดตารางที่ 4.1

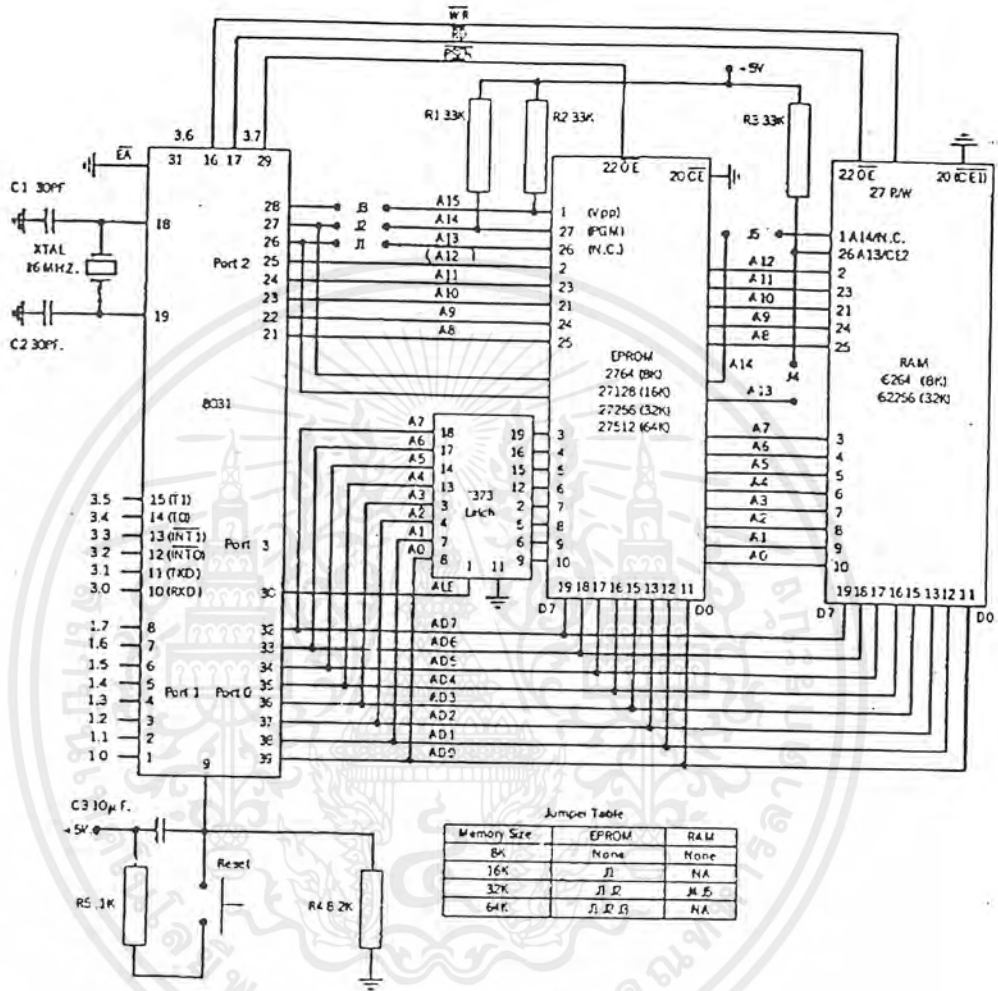
ตารางที่ 4.1 การถอดรหัส

EPROM ตัวที่	แอดเดรส	A ₁₅	A ₁₄	A ₁₃	A ₁₂	A ₁₁A ₀
1	8000-8FFF	1	0	0	0	X.....X
2	9000-AFFF	1	0	0	1	X.....X
3	A000-AFFF	1	0	1	0	X.....X
4	B000-BFFF	1	01	1	1	X.....X
5	C000-CFFF	1	1	0	0	X.....X
6	D000-DFFF	1	1	0	1	X.....X
7	E000-EFFF	1	1	1	0	X.....X
8	F000-FFFF	1	1	1	1	X.....X

การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำจะใช้ IC เบอร์ 74LS138 ถอดรหัส ซึ่งเป็นแบบ 3 to 8 Line Decode

4.8 การต่อ MCS-51 เข้ากับหน่วยความจำแบบอีพรอมและแบบแรม

การต่อใช้งานนี้เราอาจจะไม่ใช่ Decoder มาถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำก็ได้ ถ้าเราติดตั้งเพียงอย่างละ 1 ตัวเท่านั้น เพราะแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล ใช้แอดเดรสซ้อนกันอยู่ สัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำอีพรอม ก็คือ PSEN และสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแบบแรมก็คือ RD การเขียนข้อมูลลงแรม จะใช้ WR รายละเอียดดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การต่อ MCS-51 เข้ากับ EPROM และ ROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 การใช้งานของพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมเป็นการรับหรือส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตคราวละ 1 บิต เรียงลำดับเรื่อยไปจนสิ้นสุดการสื่อสารแบบนี้จะมีข้อแตกต่างจากการสื่อสารแบบขนานเป็นอย่างมากเนื่องจากข้อมูลมีการโอนย้ายมาพร้อมกัน จึงมีความจำเป็นต้องใช้ จำนวนเส้นสัญญาณมากขึ้นตามจำนวนบิตของข้อมูลด้วย ในขณะที่การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นต้องการเส้นสัญญาณเพียง 2-3 เส้นเท่านั้น ดังนั้นการสื่อสารแบบขนาน จึงไม่เหมาะสมในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นระยะทางไกล ๆ เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

ความเร็วของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

เนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการรับ/ส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตข้อมูล(Bit stream) ดังนั้นจึงต้องให้ความสนใจในการพิจารณาถึงเรื่องอัตราความเร็วในการรับ/ส่งบิตเหล่านี้เป็นลำดับแรก โดยทั่วไปมักจะระบุกันในหน่วยของจำนวนบิตข้อมูลภายในเวลา 1 วินาทีเรียกว่า อัตราบอดตามค่ามาตรฐานเหล่านี้ ได้แก่ 110, 150, 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 บอด ข้อมูล ทั้ง 8 บิต นี้หากว่าถูกส่งออกมาด้วยอัตรา 2400 บอด จะใช้เวลาในการส่งข้อมูล 1 บิต มีค่าเท่ากับ $1/2400$ หรือ $416 \mu s$ และเวลาในการส่งข้อมูลทั้ง 8 บิต มีค่าเท่ากับ (8×416) หรือ $3328 \mu s$

4.10.1 รูปแบบของการส่งข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารอนุกรมแบบ อะซิงโครนัส จะใช้การแปลงข้อมูลขนาดให้เป็นอนุกรมแล้วเพิ่มเติมบิตบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริงได้แก่

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit)

บิตเริ่มต้นมีหน้าที่สำหรับการบ่งบอกให้ทราบถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นก่อนบิตข้อมูล ตามปกติแล้วค่าของบิตเริ่มต้นจะเป็นระดับลอจิกต่ำ

2. บิตแสดงภาวะความเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)

บิตนี้มีหน้าที่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยทั่วไปมักเรียกว่า บิตพาริตี และจะนำพไปต่อท้ายบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของบิตที่เป็น 1 ซึ่งจะเป็นได้ 2 ลักษณะคือ พาริตีคู่ (Even Parity) หรือพาริตีคี่ (Odd Parity) ตัวอย่างเช่นระบบที่ติดต่อกัน โดยระบุว่าจะใช้พาริตีคี่ ทางด้านส่งจะนำค่าข้อมูลที่จะส่งมาพิจารณาหา จำนวนของบิตที่มีค่า 1 เป็นเลขจำนวนคี่อยู่แล้ว ค่าของพิตพาริตีจะมีค่าเป็น 0 แต่หากว่าจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 เป็นเลขจำนวนคี่ ค่าของบิตพาริตีคี่จะมีค่าเป็น 1 การพิจารณาทางด้านรับเป็นการตรวจสอบจำนวนบิตที่มีค่า 1 ของข้อมูลที่ได้รับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีถ้ามีค่าเป็นเลขจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานี้ถูกต้อง แต่หากไม่เป็นเลขจำนวนคู่แสดงว่าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น เป็นต้น

3. บิตสุดท้าย (Stop Bit)

บิตสุดท้ายเป็นบิตที่เพิ่มขึ้นเพื่อระบุถึงขอบเขตการสิ้นสุดของกลุ่มบิตข้อมูล บิตสุดท้ายนี้สามารถโปรแกรมบิตได้คือ 1 บิต, 1/2 บิต และ 2 บิต ดังนั้นในกรณีของการส่งข้อมูล 8 บิต หากข้อมูลถูกส่งออกไปด้วยอัตราเร็ว 2400 บอด เวลาโดยรวมในการส่งข้อมูล 1 ไบต์ จะมีค่าเป็น $(12 \times 416) \mu s$ หรือ 4.99 ms

4.10.2 การส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051

พอร์ตอนุกรมของ 8051 มีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน โดยทางด้านวงจรของตัวส่ง (Transmitter) ประกอบด้วยข้อมูลออกไปยัง พอร์ตอนุกรม ทางขาสัญญาณ TxD (พอร์ต 3.1) ส่วนวงจรรับ (Receiver) ประกอบด้วย SBUF เช่นเดียวกับสัญญาณข้อมูลอนุกรม ที่รับเข้ามาทางขาสัญญาณ RxD (พอร์ต 3.0)

พอร์ตอนุกรมของ 8051 สามารถโปรแกรมการทำงานได้หลายโหมดด้วยกัน โดยเลือกที่บิต SMO และ SMI ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ควบคุม SCON การทำงานทั้ง 4 โหมดของพอร์ตอนุกรมมีดังนี้

โหมด 0 : ใช้รับส่งข้อมูล 8 บิต โดยการส่งจะเลื่อนออกทีละบิต โดยส่งบิต D0 ออกไปก่อนทางขอ RxD และไม่มี การ ส่ง Start bit แต่จะส่ง Shift clock ทางขา TxD ความเร็ว 1/12 เท่าของ CPU CLOCK

โหมด 1 : ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) โดยส่งแบบ 10 บิต ข้อมูล 8 บิต 1 Start bit และ 1 stop bit และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตรา overflow ของ Timer 1

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

โหมด 3 : ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้อินพุตแบบ 11 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยควบคุมที่บิต SMOD และอัตราโอเวอร์

โพล์ของ Timer 1 นอกจากนี้โหมด 2 และ 3 ยังมีการดำเนินการอีกแบบหนึ่ง โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารข้อมูลแบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์ หลายตัวทำงานร่วมกันได้ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Multi processor Mode

Multi Processor mode : ในโหมดนี้เราจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 1 ตัว สำหรับเป็น Master และ อีก 0-256 ตัว เป็น Slave รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรมดังรายละเอียดดังรูปที่ 4.8

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

SMD,SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน

SM0	SM1	โหมด	การทำงาน
0	0	0	ทำงานเป็นรีจิสเตอร์อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลเท่ากับ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์
0	1	1	8 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดเองได้
1	0	2	9 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล = 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ขึ้นกับบิต SMD ใน PCON
1	1	3	9 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล กำหนดเองได้

รูปที่ 4.8 รายละเอียดการเลือกโหมดการทำงาน

SM2 บิตเลือกการทำงานแบบ

1 : เลือก Multiprocessor Mode ใช้ได้กับโหมด 2,3

2 : เลือก Single Processor Mode ใช้ได้กับทุกโหมด

(เมื่อเลือกการทำงานรับข้อมูลแบบ Multiprocessor Mode แล้วเมื่อ ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้ มีค่าเป็น 1 RI จะเซ็ททันที รายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป)

REN บิตควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล 1 : ให้รับข้อมูลได้
0 : ห้ามรับข้อมูลได้

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

RB8 (Receive bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะเก็บในบิตนี้ ข้อมูลบิตที่ 9 ก็คือค่า ในนั่นเอง

(ข้อมูลบิตที่ 9 คือค่า ใน TB8 และ RB8 นั่นเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TI บิต TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล 1 ไบต์
 RI บิต RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูลเสร็จ 1 ไบต์ (บิต RI, TI ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเคลียร์
 เอง)

4.10.3 การอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

เนื่องจากการส่งหรือรับข้อมูลอนุกรมจะส่งทีละไบต์ 8051 จึงได้กำหนดให้บิตหรือแฟล็กสถานะที่จัดรวมอยู่ในรีจิสเตอร์ SCON เช่น แฟล็ก ซึ่งจะมีค่าเป็น T1 เมื่อข้อมูลได้ทำการส่งออกไปภายนอกเสร็จสิ้นแล้ว และแฟล็ก RI ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เพื่อให้รู้ว่าได้รับข้อมูลผ่านเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม เสร็จแล้วเมื่อแฟล็ก RI, TI นี้มีค่าเป็น 1 จะมีผลทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์ขึ้น ดังนั้นภายในโปรแกรมรับหรือส่งข้อมูลจะต้องทำการตรวจสอบจากสถานะของแฟล็กเหล่านี้เองว่าเป็นการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูล (vector ของ TI, RI อยู่ที่ 0023H)

กระบวนการรับส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051

การส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของ 8051 จะเริ่มต้นขึ้นภายหลังเมื่อมีการเขียนข้อมูลลงใน SBUF ข้อมูลนี้จะถูกเคลื่อนทีละบิต และส่งสัญญาณออกไปภายนอกโดยอัตโนมัติ เมื่อข้อมูลเหล่านี้ได้ส่งออกครบถ้วนแล้วจะทำให้ค่าของแฟล็ก TI ให้เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะนี้ SBUF ว่างและพร้อมที่จะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปแล้ว ในกรณีที่ผู้ใช้เขียนข้อมูลใหม่ลงในรีจิสเตอร์ SBUF โดยไม่รอให้แฟล็ก TI มีค่าเป็น 1 ก่อนจะมีผลทำให้ข้อมูลที่ส่งไปผิดพลาดได้ สำหรับการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมจะต้องเริ่มต้น โดยการกำหนดเซ็ทค่าคั้งนี้ REN (Receiver Enable) ให้มีค่าเป็น 1 ก่อน หลังจากนั้นเมื่อมีข้อมูลภายนอกถูกส่งเข้ามายัง 8051 ทีละบิต จนครบ และเมื่อบิตสุดท้ายเคลื่อนเข้ามาเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลนั้นจะถูกย้ายมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ SBUF และแฟล็ก RI ก็จะมีค่าเป็น 1 (ถูกเซ็ท) หลังจากนั้นก็จะเกิดการอินเทอร์รัปต์ขึ้น

พอร์ตอนุกรม (โหมด 0)

การทำงานของพอร์ตอนุกรม (โหมด 0) เป็นการรับและส่งข้อมูลอนุกรมจำนวน 8 บิต โดยใช้เพียงขาสัญญาณ RxD เท่านั้น (ขานี้ใช้งาน 2 หน้าที่ ใช้ส่งและรับข้อมูล) ส่วนขาสัญญาณ TxD จะนำไปใช้เพื่อเป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการให้จังหวะ การเคลื่อนข้อมูลกับวงจร เลื่อนบิตภายนอก สำหรับอัตราความเร็วจะถูกกำหนดไว้คั้งที่ค่า 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากโหมดนี้ไม่มีการส่ง START BIT และ STOP BIT ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องส่งสัญญาณ SHIFT CLOCK ออกไปเพื่อใช้ Synchronize ระหว่างฝ่ายรับและฝ่ายส่ง โดยจะใช้ขา TxD ส่วนการรับ

ข้อมูลจะรับข้อมูลเข้าทางขา RxD และรับ Shift clock เข้าทางขา TxD ถ้าความถี่ออสซิลเลเตอร์มีค่าเท่ากับ 12 MHz ก็จะสามารถส่งได้ถึง 1 ล้านบิต ซึ่ง (โหมด 0) เป็นโหมดที่ส่ง ข้อมูลได้เร็วที่สุด

การรับส่งอนุกรม (โหมด 1) ส่งข้อมูล 8 บิต, 1 start bit, 1 stop bit

การทำงานในโหมด 1 เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมจำนวน 10 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 บิต ข้อมูลจำนวน 8 บิต และบิตสุดท้ายอีก 1 บิต ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยข้อมูลจะถูกส่งออกทาง TxD และรับเข้ามาทางขาสัญญาณ RxD ในส่วนของข้อมูล 8 บิต ที่ได้รับหรือทำการส่งออก จะเป็นบิตนัยสำคัญต่ำเป็นลำดับแรกส่งทางฝ่ายรับค่าของ stop bit จะส่งเข้ามาจัดเก็บไว้ในบิต RB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราการเร็วในการส่งข้อมูลของโหมด 1 นั้น สามารถกำหนดเลือกได้จาก Timer 1

ดังได้กล่าวแล้วว่าการส่งข้อมูลอนุกรม (โหมด 1) สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้โดยใช้ Timer 1 ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดอัตราการส่งข้อมูล และใช้แฟล็กที่เกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 โดยโปรแกรม Timer 1 ทำงานใน (โหมด 2) 8-bit automatic reload

$$\text{ความถี่อัตราบอดขึ้นกับ} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \text{อัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1}$$

$$\text{หรือ ความถี่อัตราบอด} = \left| \frac{2^{SMOD}}{32} \right| \times \left| \frac{f_{osc}}{12 \times (256 - TH1)} \right|$$

โดย SMOD เป็นค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ PCON (มีค่าเป็น 1 หรือ 0) ค่าภายในรีจิสเตอร์ TH1 ซึ่งเป็นค่าสำหรับโหลดซ้ำ

ตารางที่ 4.2

Baud Rate	Fosc	SMOD	TIMER C / T	MODE	RELOAD VALUE
(Mode 0) Max:1MHz	12MHz	X	X	X	X
(Mode 1) Max:375 KHz	12MHz	1	X	X	X
(Mode 2) Min:187.5 KHz	12MHz	0	X	X	X
Mode 1,3 :62.5 KHz	12MHz	1	0	2	FFH
19.2K	11.059MHz	1	0	2	FDH
9.6K	11.059MHz	0	0	2	FDH
4.8K	11.059MHz	0	0	2	FAH
2.4K	11.059MHz	0	0	2	F4H
1.2K	11.059MHz	0	0	2	F8H
137.5	11.059MHz	0	0	2	1DH
110	6MHz	0	0	2	72H
110	12MHz	0	0	1	FEEBH

การรับ/ส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 2

โหมดนี้ใช้ทั้งหมด 11 บิต โดยแบ่งเป็น Start bit , 9 stop bit และ stop bit โดยบิตที่ 9 ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเองได้ว่าจะส่งค่าอะไรออกไป โดยจะต้องนำไปใส่ไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ Scon ส่วนมากผู้ใช้นักจะนำบิตนี้มาใช้เป็น Parity bit โดยโหลดค่ามาจาก Parity flag ใน PSW ส่วนทางด้านรับบิตที่ 9 จะถูกนำมาเก็บไว้ใน RB8 อัตราความเร็วในการส่ง/รับข้อมูลขึ้นกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ CPU และค่า SMOD ซึ่งอยู่ในบิต 7 ใน PCON

$$\text{MODE 2 บอด RATES} = \frac{(2^{SMOD})f_{OSC}}{64}$$

ถ้า CPU RUN ที่ 12 MHz และ SMOD มีค่า 0 และ 1

$$\text{เมื่อ SMOD} = 0 \quad \text{จะได้} = 20(12)(106)/64 = 187500 \text{ บอด}$$

$$\text{เมื่อ SMOD} = 1 \quad \text{จะได้} = 21(12)(106)/64 = 357000 \text{ บอด}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลอนุกรมโหมด 3

เหมือนกับโหมด 2 ทุกอย่าง ยกเว้นความเร็วในการรับ/ส่งข้อมูลจะขึ้นกับอัตราโอเวอร์โพล์ของ Timer 1 หรือ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วดูได้จากตารางที่ 1 หรือการคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{MODE } 1, 3 = \frac{(2^{\text{SMOD}}) f_{\text{OSC}}}{(32)(12)[256 - \text{TH1}]} \quad \text{บอด}$$

$$\text{หรือ} = \frac{K (\text{OSC } \text{freq})}{(32)(12)[256 - \text{TH1}]} \quad \text{บอด}$$

ถ้า SMOD = 0 จะได้ K=1

SMOD = 1 จะได้ K=2

$$\text{TH1} = 256 - \frac{K (\text{OSC } \text{freq})}{384(\text{Boudrate})}$$

เมื่อต้องการหาค่า TH1 จะได้

$$\text{TH1} = 256 - \frac{K (\text{OSC } \text{freq})}{384(\text{Boudrate})}$$

เมื่อ SMOD = 0

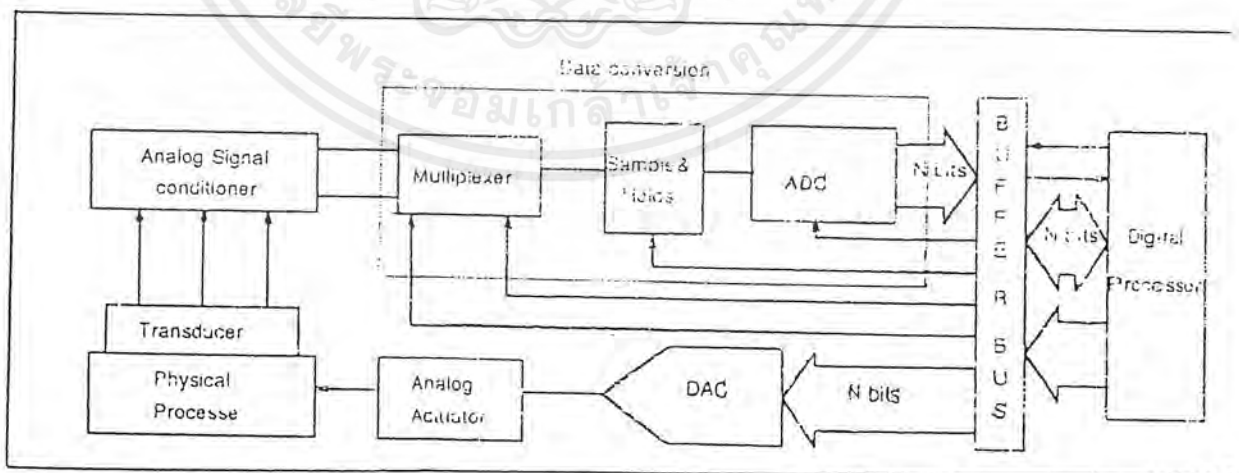
$$\begin{aligned} \text{ถ้าต้องการ 1200 บอด จะได้ TH1} &= 256 - \frac{1(\text{OSC } \text{freq})}{384(1200)} \\ &= 256 - \frac{11059000}{460800} \\ &= 232 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

5.1 ทฤษฎีของ Data Acquisition and Conversion

รูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่เราพบเห็นและคุ้นเคยในชีวิตประจำวันจะอยู่ในรูปของสัญญาณที่ต่อเนื่องเรียกว่าสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) ซึ่งแต่เดิมการนำเอาสัญญาณไฟฟ้างี้มาประมวล (Process) เพื่อให้มีรูปแบบที่เหมาะสมจะกระทำในแบบอนาล็อกนั่นเอง แต่เมื่อเทคนิคและอุปกรณ์การประมวลสัญญาณทางดิจิทัลได้รับการพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากพบว่าในรูปแบบของดิจิทัล การประมวล เก็บ สื่อสาร และการนำเสนอกระทำได้ง่ายและอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนรูปสัญญาณ (conversion) จึงได้มีความจำเป็นขึ้นมา ในรูปที่ 5.1 เป็นตัวอย่างแสดงระบบควบคุมที่ใช้การประมวลข้อมูลในระบบดิจิทัล ในระบบที่ยกมาเป็นตัวอย่างนี้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใด ๆ ก็ตาม (physical process) เช่น ความดัน อุณหภูมิ ฯลฯ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่อง (สัญญาณอนาล็อก) โดยทรานสดิวเซอร์ที่คุณสมบัติที่เหมาะสมกับรูปแบบทางกายภาพนั้น สัญญาณไฟฟ้านั้นถูกปรับให้อยู่ในรูปและขนาดที่เหมาะสมก่อนโดย Analog signal conditioner เช่น วงจรขยาย หรือ ฟิลเตอร์ เป็นต้น ADC จะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ตัวประมวลทางดิจิทัล (Digital processors) เช่นคอมพิวเตอร์ จะจัดการกับข้อมูลเพื่อนำเสนอหรือถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปแบบอนาล็อกโดย DAC เพื่อป้อนกลับไปควบคุม Physical Process.



รูปที่ 5.1 ระบบควบคุมที่มีการประมวลข้อมูลแบบดิจิทัล

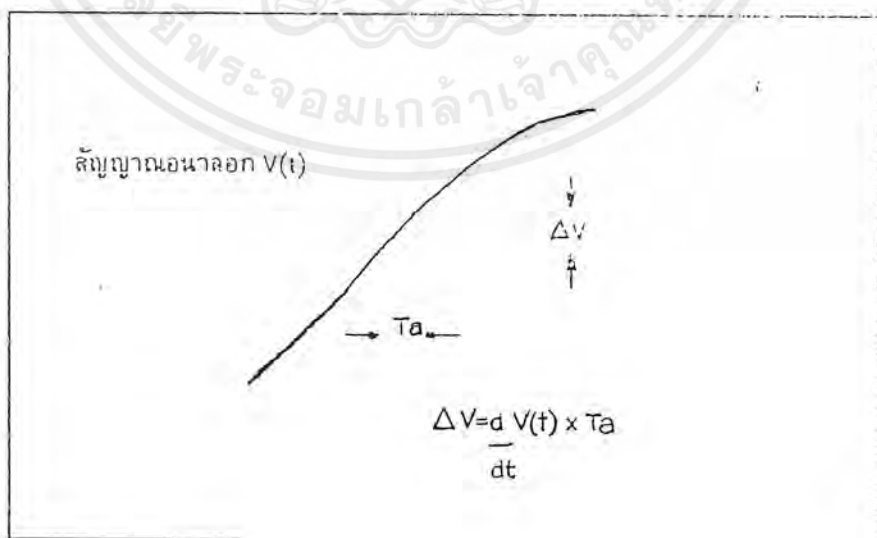
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบที่มีข้อมูลที่ต้องประมวลในเวลาเดียวกันหลาย ๆ ข้อมูล หาก ADC ทำงานได้เร็วพอจะไม่จำเป็นต้องใช้ ADC หลาย ๆ ตัวทำงานแยกกันสำหรับข้อมูลแต่ละชุด แต่จะใช้วิธีแบ่งเวลา (timesharing) โดยวิธี multiplexing (รูปที่ 5.1) วงจร sampling and hold (S/H) จะสุ่ม (sample) ขนาดของสัญญาณอนาลอกมาและเก็บ (hold) ไว้ชั่วขณะเพื่อรอให้ ADC รับไปเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลจนเรียบร้อยแล้วค่อยสุ่มสัญญาณใหม่ ทั้งนี้เพื่อที่ไม่จำเป็นต้องใช้ ADC ที่มีความเร็วสูงราคาแพง ข้อมูลดิจิทัลจะถูกส่งต่อไปยัง System bus และถูกประมวลโดย Processor ผลของการประมวลจะถูกส่งกลับออกมาเพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกโดย DAC เพื่อไปควบคุมกิจกรรมทางกายภาพของระบบผ่าน Analog actuator

5.2 ทฤษฎีการ Sampling

ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นรหัสดิจิทัลนั้น ADC ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจัดการ ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับหลาย ๆ แฟกเตอร์เช่น ความละเอียดของการเปลี่ยนสัญญาณ (จำนวนดิจิทัลบิต) เทคนิคของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ และความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ร่วมอื่น ๆ การกำหนดความเร็วของการแปลงสัญญาณนี้ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน เฉพาะอย่าง และความแม่นยำที่ต้องการ

ช่วงเวลาในการแปลงสัญญาณบางครั้งอาจเรียกว่า Aperture time ซึ่งความหมายโดยทั่วไปหมายถึงช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนขึ้นในการวัด และผลก็คือเกิดความผิดพลาด (error) ต่อค่าที่วัดได้



รูปที่ 5.2 แสดง error จากการวัดใน Aperture time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.2 สัญญาณอนาล็อก $V(t)$ มีอัตราการเปลี่ยนแปลง dv/dt ในช่วง Aperture time t_a ดังนั้นช่วงการเปลี่ยนแปลงอนาล็อกจะเท่ากับ V โดย

$$V = T_a \frac{dV(t)}{dt}$$

ดังนั้นหากเวลาที่ ADC ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณในช่วงเวลา T_a นี้รหัสดิจิทัลที่ได้อาจจะตรงกับขนาดของสัญญาณอนาล็อกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงเวลานี้และมันทำได้ง่ายและราคาถูกกว่าที่เกิดขึ้น ซึ่งแน่นอนว่าในบางครั้งเป็นไปได้ที่รหัสดิจิทัลจะตรงกับขนาดของสัญญาณอนาล็อกที่เกิดขึ้นเรียก error ที่เกิดขึ้นนี้ว่า Aperture time error.

ตัวอย่างในกรณีสัญญาณอินพุตเป็นรูปไซน์ อัตราการเปลี่ยนแปลงบนรูปคลื่นจะเกิดสูงที่สุดตรงบริเวณจุดตัดแกนเวลารอบ ๆ จุดศูนย์โวลต์ (Zero Crossing) และ Aperture time error ก็

$$V = T_a \frac{d}{dt} (A \sin \omega t) \Big|_{t=0} = T_a A \omega$$

และ error รวม (E) คิดจากอัตราส่วนของขนาดเต็มสเกล คือ

$$E = \frac{\Delta V}{2A} = \pi T_a$$

ดังนั้นหากต้องการเปลี่ยนสัญญาณเป็นรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล 10 บิต ซึ่งยอมให้ error ไม่เกินกว่า resolution (จะกล่าวถึงภายหลัง) คือ $1/2 \cdot 10$ LSB หรือ 0.001 ดังนั้นเวลา Aperture time จะต้องอยู่ในช่วง

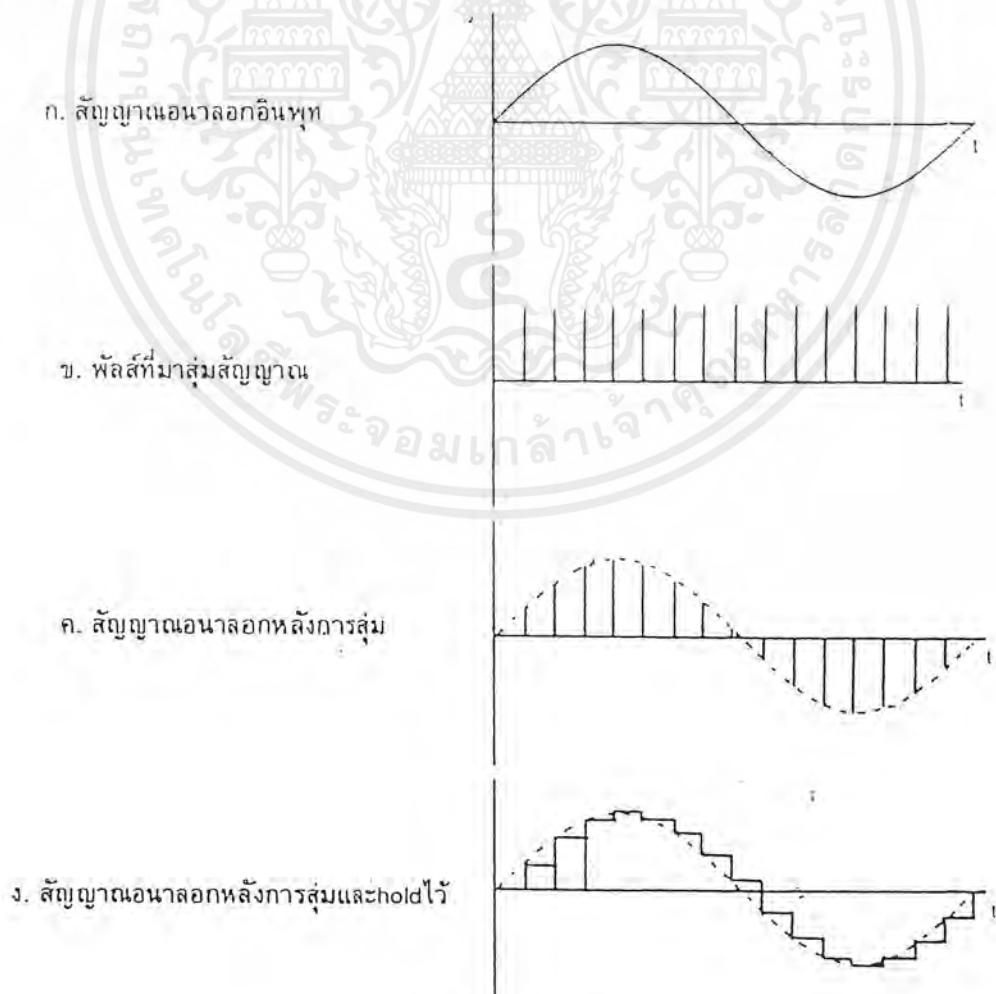
$$T_a = \frac{E}{\pi f} = \frac{0.001}{3.14 \times 10^3} = 320 \times 10^{-9}$$

จะเห็นว่าแม้สัญญาณ 1 กิโลเฮิร์ต จะไม่ใช่ความถี่สูงก็จริง แต่ ADC ที่ใช้ต้องการเวลาในการเปลี่ยนในเวลา 320 นาโนวินาที ให้เป็นรหัส 10 บิต วิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้ ADC ความเร็วสูงคือการใช้ Ssmplr and Hold ซึ่ง Sample and Hold ที่มี Aperture time น้อย ๆ นั้นทำได้ง่ายและราคาถูกกว่า

5.3 Sample and Hold และ Aperture error

วงจร Sample and Hold จะทำการสุ่ม (Sampling) สัญญาณอินพุต และนำสัญญาณที่สุ่มนั้นมาเก็บ (hold) ไว้ในช่วงเวลาหนึ่งได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้การประจุแรงดันนั้นไว้ในตัวเก็บประจุที่รั่วไหลต่ำ Aperture time ของ Sample & Hold คือเวลาดังแต่เริ่มสุ่มสัญญาณจนเก็บประจุค่าแรงดันจนถึงค่าสุ่มซึ่งสำหรับ Sample and Hold แล้ว Aperture time ขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ และ Switching time ของอุปกรณ์แอกทิฟ (จะกล่าวภายหลัง) ที่ใช้ในวงจร ซึ่งหาและสร้างได้ง่ายและราคาถูกกว่าการสร้าง ADC ความเร็วสูง

ในการสุ่มสัญญาณอนาลอกจะถูกสุ่มเป็นระยะ ๆ ดังที่ตามรูป 5.3 การสุ่มจะเป็นการตัดต่อสัญญาณอนาลอกในช่วงเวลาอันสั้นด้วยสวิทช์ที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ผลของการสุ่มสัญญาณด้วยความเร็วจะเสมือนกับการคูณขบวนสัญญาณพัลส์แคบ ๆ กับสัญญาณอนาลอกซึ่งจะได้เป็นสัญญาณที่มองดูแล้วระหว่างขบวนการพัลส์กับสัญญาณอนาลอก โดยเสมือนว่าสัญญาณอนาลอกจะขึ้นมาบนขบวนพัลส์ ดังแสดง ในรูปถ้าหาก สัญญาณอนาลอกที่ถูกสุ่มถูก Hold จนกว่าสัญญาณค่าใหม่ถูกกลุ่มเข้ามาซึ่งจะได้ลักษณะของเอาท์พุทที่ได้แสดงไว้ในรูป ง.

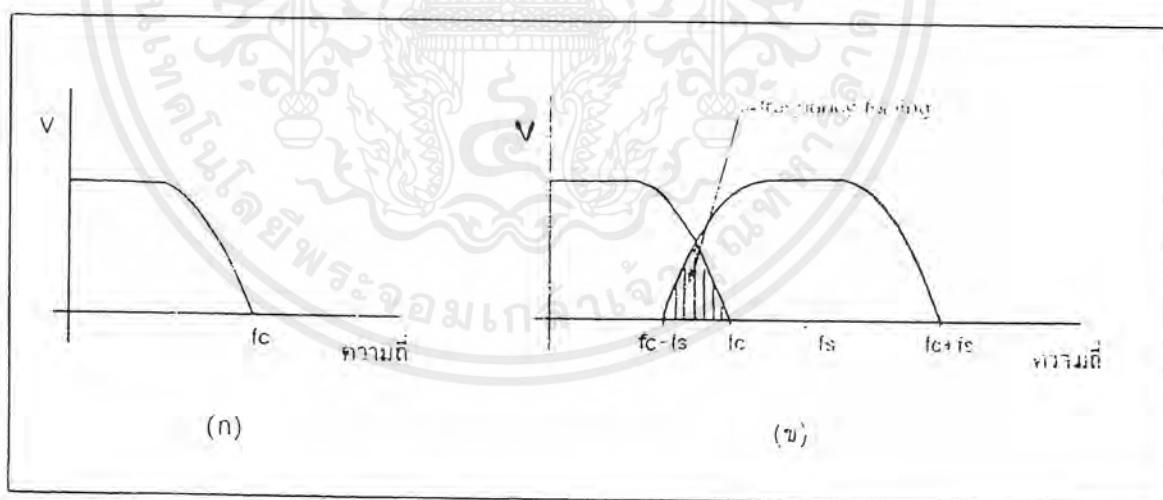


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.3 การสุ่มสัญญาณ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีปัญหาที่ว่าอัตราการสุ่มสัญญาณนั้นควรมีขนาดเท่าใด จึงจะไม่ทำให้ข้อมูลสูญหายไปเมื่อสัญญาณนั้นถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นเช่นเดิม คำตอบคือ ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณอนาลอกทฤษฎีของการสุ่มกล่าวไว้ว่า “ถ้าสัญญาณต่อเนื่องซึ่งมีความถี่และฮาร์โมนิกส์ไม่เกิน f_c ถูกสุ่มด้วยอัตราการสุ่มไม่น้อยกว่า $2f_c$ แล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนกลับมาได้อย่างเดิมโดยไม่สูญเสีย รายละเอียดหรือผิดเพี้ยนไป”

5.4 Frequency folding and Allasing

จากทฤษฎีของการสุ่มสามารถอธิบายด้วยลักษณะรูปสเปกตรัมสัญญาณในรูปที่ 5.4 รูป (ก) แสดงให้เห็นสเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกสุ่มซึ่งแบนด์วิดท์ไม่เกิน f_c ในขณะที่สัญญาณนี้จะถูกสุ่มด้วยความถี่ f_s ขบวนการมอดูเลชันจะทำให้สเปกตรัมของสัญญาณขยายกว้างออกจาก f_s เป็น $2f_s$ $3f_s$ ได้เป็นดังรูป 5.4 (ข) ถ้าความถี่ของสัญญาณสุ่ม f_s ไม่สูงพอหลังจากการสุ่มสเปกตรัมบางส่วนของ f_s จะหาซ้อนสเปกตรัมของสัญญาณที่เรียกว่า frequency Folding หากเป็นเช่นนี้ก็จะทำให้เกิดความเพี้ยนแก่สัญญาณอนาลอกจากการซ้อนกันของสเปกตรัมเมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับให้อยู่ในรูปเดิม



รูป 5.4 (ก) แสดงสเปกตรัมของสัญญาณอนาลอกที่จะถูกสุ่ม

รูป 5.4 (ข) สเปกตรัมหลังจากการสุ่ม เกิด Frequency folding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้าเลื่อนความถี่ของการสุ่มให้สูงขึ้นจน โอกาสการซ้อนของสเปกตรัมหมดไป ($f_s - f_c = f_c$) และการเปลี่ยนกลับของสัญญาณหลังจากถูกกลุ่มก็ยังคงเหมือนเดิมได้

จากที่กล่าวมาแสดงถึงการสนับสนุนทฤษฎีการสุ่มที่ว่าให้ $f_s > 2f_c$ นั่นก็คือการกำจัดการซ้อนกันของสเปกตรัมซึ่งทำได้สองวิธี วิธีหนึ่งด้วยการใช้อัตราการสุ่มที่สูงพอและ อีกวิธีหนึ่งคือ การทำการฟิลเตอร์ความถี่ของสัญญาณนาลอกก่อนการสุ่ม (Anti alias filters) เพื่อให้แบนด์วิดท์ไม่เกินไปกว่า $f_s/2$ ในทางปฏิบัติแล้วจะยังคงเกิด frequency folding ได้เสมอจากส่วน ฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณรวมทั้งสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนที่ยังคงอยู่แม้ว่าทำการฟิลเตอร์ก่อนหน้ามาแล้วก็ตามการกำจัดการซ้อนกันของสเปกตรัม ดังวิธีนี้ได้ผลอีกก็คือ พยายามให้การสุ่มสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็วที่สุด ซึ่งปกติจะสูงกว่าความถี่ต่ำสุดตามทฤษฎี Sampling คือ $2f_c$ เสมอ



รูปที่ 5.5 การเกิด Alias frequency จากการสุ่มด้วยความถี่ต่ำกว่า 2 เท่าของความถี่สัญญาณอินพุท
รูปชายนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการใช้อัตราการสุ่มที่ไม่เหมาะสมจะเกิดเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ เรียกว่า Alias Frequency เมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับมาเช่นเดิมหลังจากถูกสุ่มแล้วแสดงใน รูปที่ 5.5 จะเห็นว่าความถี่ alias อาจจะแตกต่างจากความถี่เดิมไปมาก

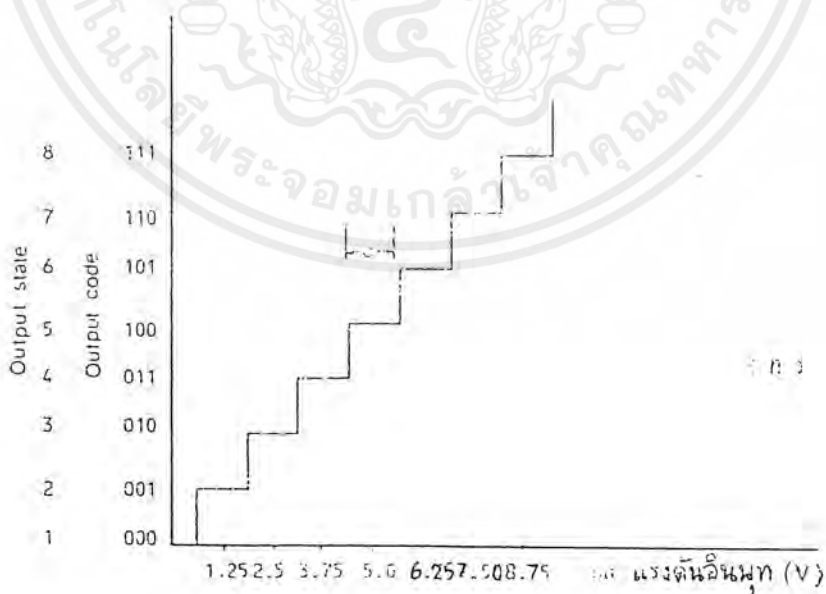
Anti alias filter จะช่วยลดสัญญาณในแถบความถี่ที่ทำให้เกิด alias frequency ในขณะที่ต้องไม่ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณในแบนด์ที่ใช้งานและไม่ลดความแม่นยำในการวัดโดยรวมอีกด้วย ในการใช้ Anti alias filter ปริมาณการจับความถี่สูงนั้นขึ้นอยู่กับ

- ความถี่สูงสุดที่สนใจ
- อัตราการสุ่ม และ
- ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ

ฟิลเตอร์ที่ใช้จึงอาจเป็น พาสซีฟฟิลเตอร์ แอกทีฟฟิลเตอร์ หรือ switched capacitor ฟิลเตอร์

5.5 Quantizing theory

Quantizing เป็นขบวนการที่เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ ที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete signal) หลังการสุ่ม โดยผ่านขบวนการ เข้ารหัส (Coding) จัดให้สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องนั้นอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการประมวลและเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับสัญญาณอนาลอก เช่น ในรูปของรหัสไบนารี (Binary) เป็นต้น หากนำเอาขนาดของสัญญาณอนาลอกและรหัสดิจิทัลที่ได้จากการ Quantize มาเขียนกราฟก็จะได้กราฟแสดง Quantize transfer function ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 Transfer function ของ Quantize 3 บิต ตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปกราฟแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กัน ระหว่างสัญญาณอนาลอกที่ขนาดอยู่ระหว่าง 0 ถึง +10 โวลต์ ถูก Quantize และ encode เป็นรหัสไบนารี (Binary) 3 บิตได้ 8 ระดับจาก 0000 ถึง 1111 เนื่องจากในระบบไบนารีรหัสดิจิทัลแต่ละค่าจะแทนขนาดของสัญญาณอนาลอกแต่ละค่าที่เป็นสัดส่วนกับค่าเต็มสเกลโดยค่าสูงสุดของรหัสดิจิทัลคือทุกบิตเป็น 1 จะเท่ากับสัญญาณอนาลอกเต็มสเกลคูณด้วย $(1-2^{-n})$ โดย n เป็นจำนวนบิตของรหัสดิจิทัล และรหัสดิจิทัลแต่บิตที่เป็น 1 จะเท่ากับขนาดเต็มสเกลของอนาลอกคูณกับค่า weighting ของรหัสชนิดนั้นหารด้วย 2^n ตัวอย่างเช่น ค่าเต็มสเกลของสัญญาณอนาลอกเป็น 10 โวลต์ รหัส 1011 จะแทนขนาดสัญญาณอนาลอกอินพุท

$$\begin{aligned} V_{\text{input}} &= \frac{R_s}{2^n} \{(1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0)\} \\ &= \frac{10}{2^4} \{(1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0)\} \end{aligned}$$

จุดสำคัญที่เกี่ยวข้องกราฟ transfer function ในรูปที่ 5.6 อันแรกได้แก่ ความละเอียด (resolution) ของ quantizer ซึ่งกำหนดได้จากจำนวนบิตของรหัสดิจิทัล หรือจากกราฟคือขนาดกว้างของ ชั้นระดับ (step) ทางแกนอนาลอกอินพุทว่าเป็นสัดส่วนเท่าใดระหว่าง ค่าเต็มสเกลอนาลอกกับค่า 2^n

จำนวนสถานะเอาต์พุทที่กำหนดได้จากจำนวนบิตคือเท่ากับ 2^n สถานะ ตัวอย่างกรณี ADC 8 บิต Quantizer จะให้เอาต์พุท 256 สถานะและ 12 บิตให้ 4096 สถานะต่อค่าเต็มสเกลของอนาลอก ในไดอะแกรมแสดงทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน จะเห็นจุดแบ่ง ระดับ (Decision point หรือ Theshold level) สัญญาณอนาลอกจะมีจำนวน $2^n - 1$ จุดอยู่ที่ 0.625, 1.875, 3.125, 4.375, 5.625, 6.875, และ 8.125 โวลต์ ระหว่างจุดดังกล่าวเป็นสัญญาณอนาลอกซึ่งแปลงเป็นรหัสดิจิทัล 1 สถานะ ดังนั้นค่าเหล่านี้จะต้องปรับให้ถูกต้องมากที่สุดเพื่อแปลงขนาดของอนาลอกให้ตรงกับค่าที่ทำการ Quantized แรงดันที่ 1.25, 2.50, 3.75, 5.0, 6.25, 7.2 และ 8.75 โวลต์ เป็นจุดกึ่งกลางในช่วงของสัญญาณอนาลอกที่แสดงสถานะเอาต์พุทดิจิทัลฟังก์ชันที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดนี้สามารถประมาณเป็นเส้นตรงได้ โดยการโยงเส้นตรงระหว่างจุดเริ่มและจุดปลาย ณ จุด

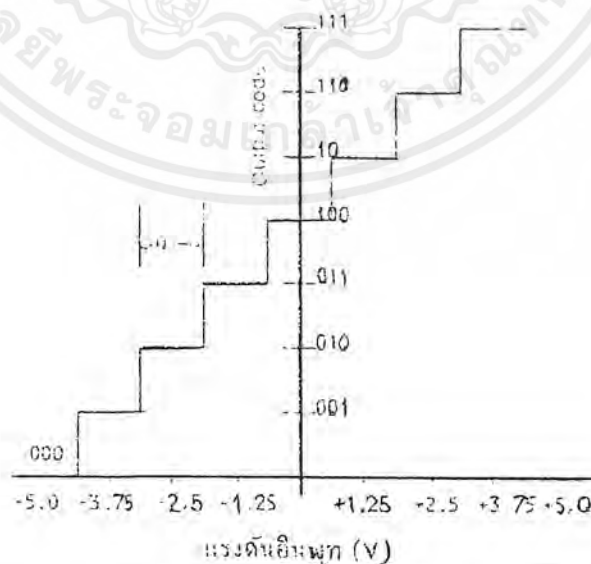
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กึ่งกลางของรหัสดิจิทัลสถานะสุดท้าย สังเกตว่าในทางทฤษฎีแล้วเส้นตรงนี้จะต้องผ่านจุดกึ่งกลางของทุกระดับดิจิทัล

5.6 รหัสตัวเลขสำหรับการเปลี่ยนข้อมูล

รหัสตัวเลขที่นิยมนำมาใช้ในระบบเปลี่ยนข้อมูลได้แก่รหัสไบนารีหรือที่เรียกว่า Straight binary โดยที่รหัสไบนารีสถานะสูงสุดจะแทนสัญญาณอนาล็อก FRS $(1-2^n)$ โวลต์ ตัวอย่างเช่น หากสัญญาณอนาล็อกเต็มสเกล (FRS) เท่ากับ 20 โวลต์ สำหรับ ADC ขนาด 12 บิต รหัส 1111 1111 1111 จะแทนสัญญาณอนาล็อกขนาด $20 (1-2^{-12})$ หรือ 19.9951171 โวลต์ นอกจากรหัสไบนารีธรรมดาดังกล่าวยังมีการใช้ระบบไบนารีแบบอื่น ๆ ในระบบการแปลงสัญญาณแก่ ออฟเซ็ทไบนารี, Two's complement, BCD ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีและความเหมาะสมต่างกัน ตัวอย่างเช่นระบบ BCD เหมาะสำหรับการแสดงตัวเป็นตัวเลขหน้าปัด หรือต่อเข้ากับดิจิทัลมิเตอร์รหัส Two's complement เหมาะสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ลอจิก และสำหรับระบบออฟเซ็ทไบนารีนั้นเหมาะสำหรับการแปลงสัญญาณอินพุตที่ทั้งช่วงบวกและลบ ในรูปที่ 5.7 แสดง transfer function ของ ADC 3 บิต ที่ใช้รหัสออฟเซ็ทไบนารี

นอกจากมาตรฐานของการใช้รหัสตัวเลขแล้วยังมีมาตรฐานของการเลือก ช่วงของขนาดแรงดันอินพุตสำหรับ ADC คือ หากเป็นสัญญาณช่วงบวกหรือลบอย่างเดียวจะใช้ 0–5 โวลต์ หรือ 0–10 โวลต์ แต่ถ้าเป็นช่วงลบจะใช้ 2.5 โวลต์, -5 โวลต์และ -10 โวลต์ เป็นมาตรฐาน

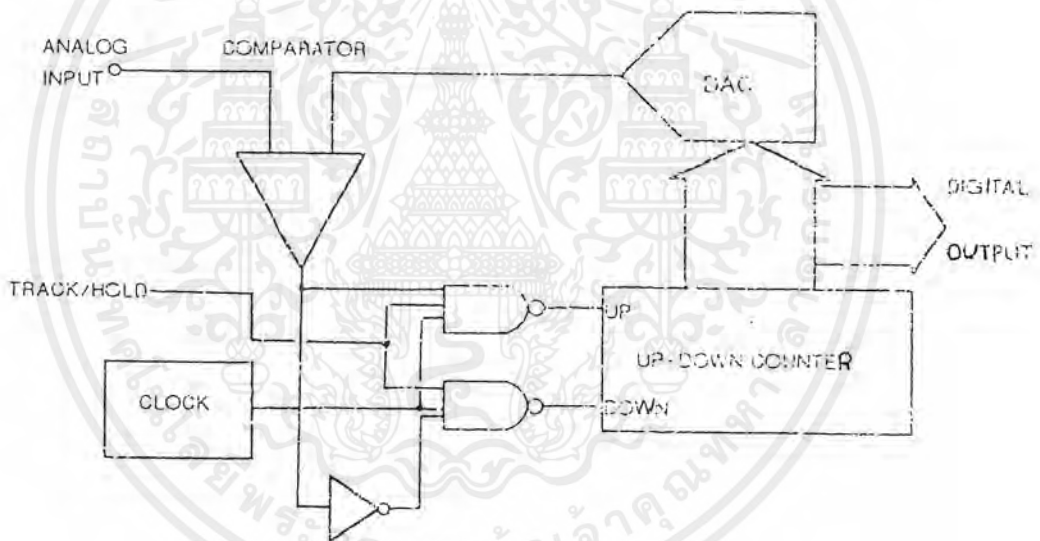


รูปที่ 5.7 Transfer function ของ ADC 3 บิตที่ใช้รหัสออฟเซ็ทไบนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 Analog to Digital Converter (ADC)

ลักษณะการจัดวงจร ADC มีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้เพียงไม่กี่แบบและส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของวงจรรวม ในที่นี้จะกล่าวถึงรูปแบบการจัดวงจร ADC ที่นำมาใช้งานเท่านั้น คือ แบบ Successive Approximation ADC ซึ่งวงจร ADC ชนิดนี้ได้รับความนิยมในงานประยุกต์ที่ต้องการความเร็วปานกลางถึงค่อนข้างสูง ลักษณะการจัดวงจรเป็นแบบการป้อนกลับ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5.8 แสดงฟังก์ชันต่างๆ ใน ADC ชนิดนี้ คอมพารเตอ์จะคอยเปรียบเทียบเอาต์พุตจาก DAC กับอนาลอกอินพุต V_{in} เอาต์พุตจะไปควบคุม Successive Approximation Register (SAR) ซึ่งเป็น ไอซี MSI (Midium Scale Integrated Circuit) ที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อทำหน้าที่นี้เฉพาะ

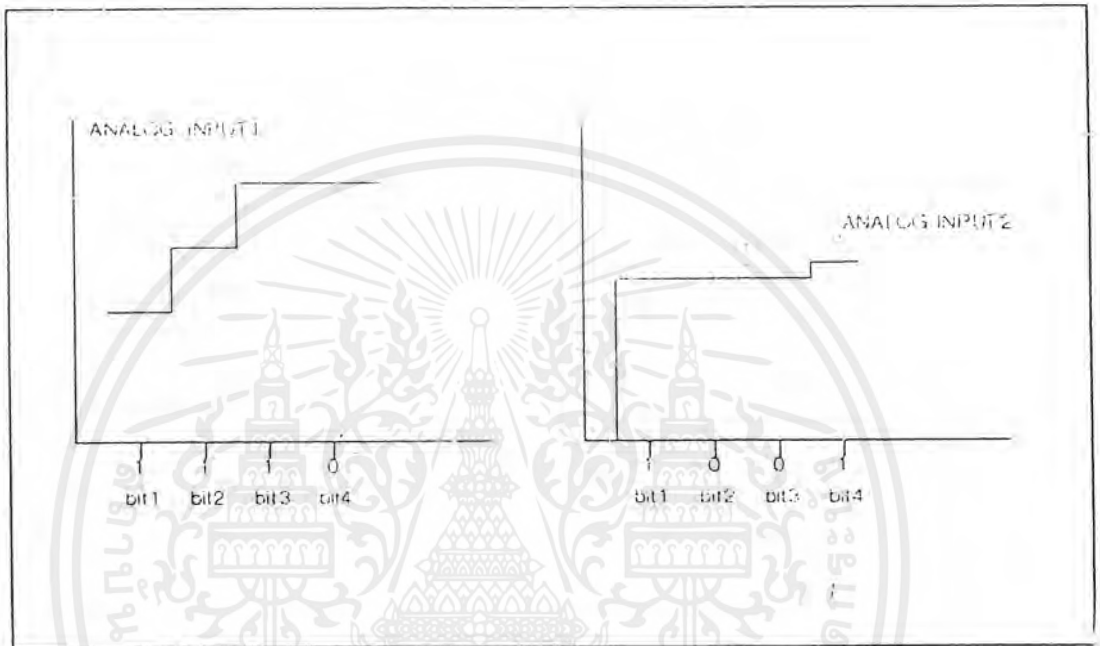


รูปที่ 5.8 บล็อกไดอะแกรมของ Successive Approximation ADC

ในรูปที่ 5.9 แสดงไทม์ไดอะแกรมของ ADC ที่มีระดับอนาลอก 1 และ 2 ที่ระดับ 1 เมื่อ Clock เข้าไป 1 ลูก จะทำให้ MSB (Most Significant Bit) หรือ (บิต 4) เป็น 1 ทุกบิตที่อื่นยังคงเป็นศูนย์ DAC จะเปลี่ยนเอาต์พุตของ SAR เป็นอนาลอกเปรียบเทียบสัญญาณอนาลอกอิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุท ถ้าผลการเปรียบเทียบที่คอมพารเตอ์รบอกว่ำน้อยกว่า อินพุทยังคงเป็น 1 หากผลรวมของสอง บิทหรือบิทหลังมากกว่า ก็จะทำให้บิทนั้นเป็น 0 แต่ถ้าน้อยกว่าให้คง 1 ไว้ แล้วทดสอบบิทถัด ไปตามกรรมวิธีดังกล่าวจนครบทุกบิท หรือรอจนกว่าเอาท์พุทจะต่างจาก V_{in} ไม่นเกิน 1 LSB ใน ตัวอย่างแสดงการทำงานเมื่อ V_{in} ลดต่ำลงมาอีกระดับหนึ่งด้วยเช่นกัน



รูปที่ 5.9 Timing Diagram ของ SAR

มีข้อจำกัดประการหนึ่งสำหรับการ Conversion คือ สัญญาณอนาลอกอินพุท จะต้องคงที่ ในช่วงเวลาที่ทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ โดยเปลี่ยนได้ไม่เกิน $1/2$ LSB ในช่วงสุดท้ายของการ เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุท จะออกมาขนานกันทุกบิท แต่บางแบบจะให้เอาท์พุทออกมาใน ลักษณะอนุกรม

วงจร ADC แบบนี้สามารถทำงานได้สองโหมด คือ โหมดที่ทำงานโดยอิสระ (Free Run) และโหมดที่ร่อดำสั่งจากภายนอก (Start Converter) ที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณ (n+1) ถูกของพัลส์ Clock ลูกแรกจะใช้ในการรีเซ็ตรีจิสเตอร์ภายใน

สุดท้ายคุณภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของ ADC ในระบบเป็นอย่างยิ่ง

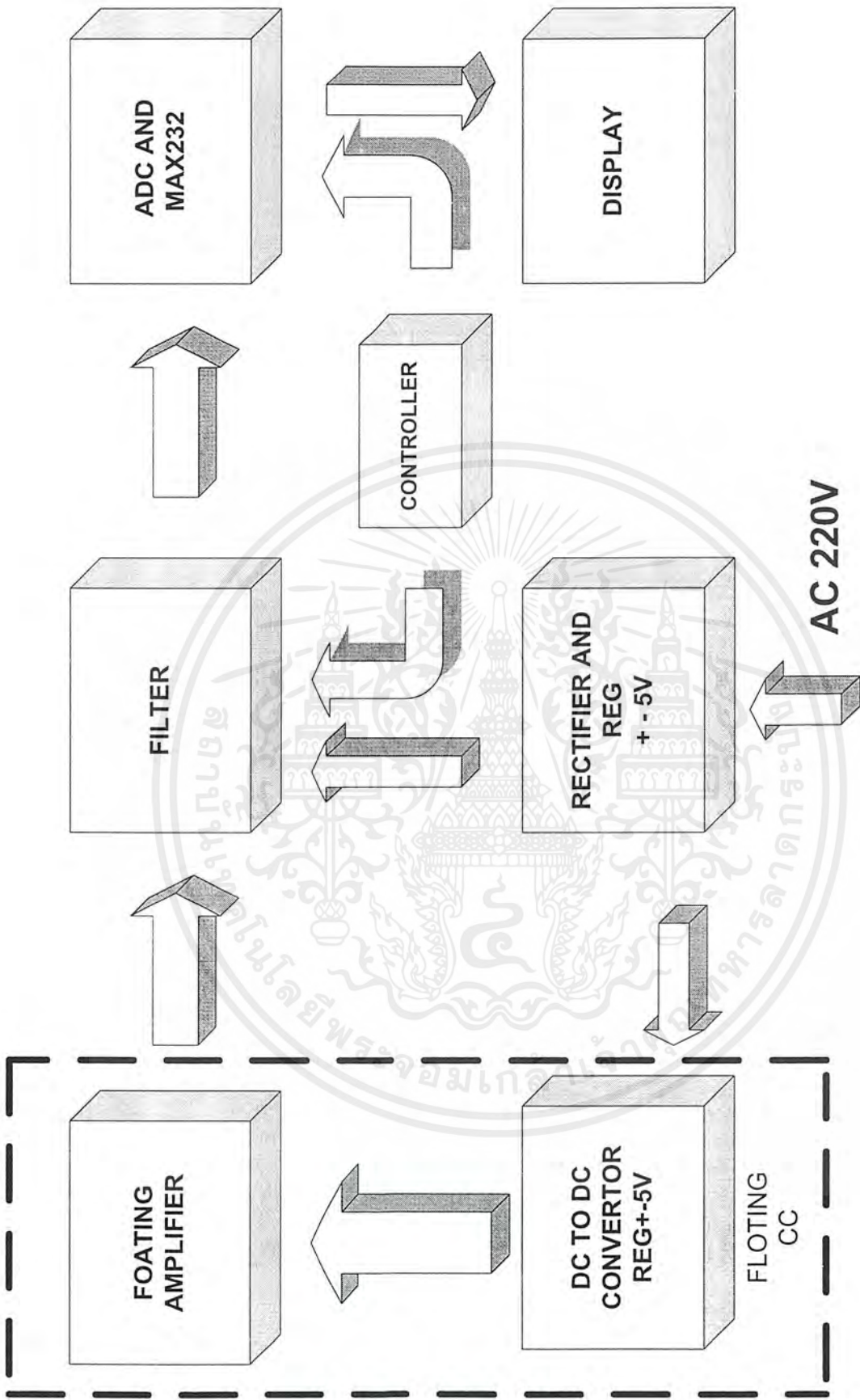
บทที่ 6

ระบบของวงจรขยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

6.1 โครงสร้างโดยรวมของวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

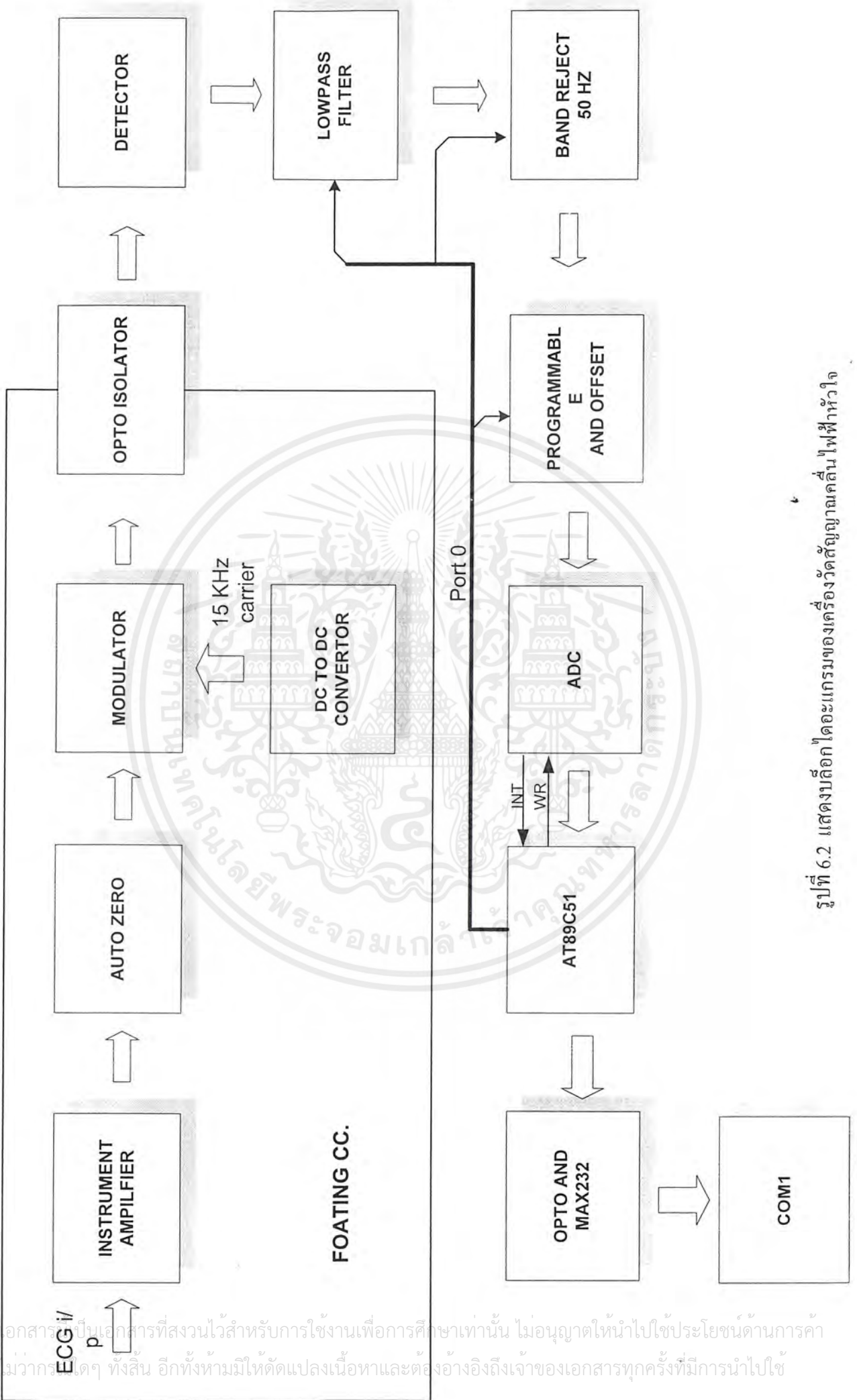
เครื่องวัดสัญญาณหัวใจผ่านทางคอมพิวเตอร์นั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่สองส่วนซึ่งเป็นการใช้งานทางด้านอุปกรณ์ (Hardware) ร่วมกับ งานทางด้านโปรแกรม (Software) สำหรับรายละเอียดของส่วนประกอบด้านอุปกรณ์นั้นจะกล่าวรายละเอียดในบทนี้ ส่วนรายละเอียดด้านโปรแกรมจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

จาก บล็อกไดอะแกรมดังรูป 6.1 เป็นส่วนประกอบหลักของระบบทางด้านอุปกรณ์ (Hardware) ของเครื่องวัดสัญญาณหัวใจ ซึ่งประกอบด้วยวงจร floating amplifier ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลื่นหัวใจในส่วนแรก สัญญาณที่ได้ี้จะมีขนาดสูงขึ้นในส่วนของแหล่งจ่ายพลังงานให้จะแยกจากแหล่งจ่ายไฟของระบบโดยใช้ วงจร DC TO DC CONVERTOR สัญญาณที่ผ่านการขยายมาแล้วจะคงยังมีสัญญาณรบกวนอยู่ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนลงโดยผ่านเข้าวงจรกรอง สัญญาณ (filter) สัญญาณที่ผ่านการกรองสัญญาณมาแล้วเป็นสัญญาณที่สามารถ นำไปแสดงผลได้ ในที่นี้ใช้แสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีชุดติดต่อ (Interface circuit) และยังต้องมีชุดควบคุมการติดต่อกันระหว่างส่วนแสดงผล และส่วนในการวัด



รูปที่ 6.1 แสดงบล็อกโคอะแกรมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่ากรใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

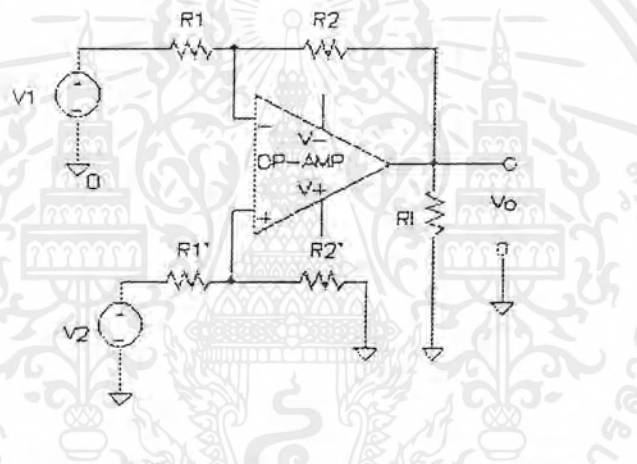
6.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดสัญญาณหัวใจผ่านทางคอมพิวเตอร์

6.2.1 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ฟลายเออร์

วงจรพื้นฐานที่ใช้สำหรับประกอบเป็นส่วนวงจรรขยายสัญญาณของเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ มีดังนี้

วงจรรขยายสัญญาณผลต่าง (Differential Amplifier)

วงจรรขยายผลต่าง เป็นวงจรพื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นวงจรรขยายที่มีประสิทธิภาพในการวัดสัญญาณที่ต้องการความแน่นอนสูงและมีเสถียรภาพดี วงจรรขยายสัญญาณอย่างง่าย แสดงได้ดังรูปที่ 6.3 คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรรขยายชนิดนี้ คือ สามารถรับและขยายสัญญาณที่มีระดับค่าซึ่งปรากฏในระบบที่มีสัญญาณรบกวนสูงได้



รูปที่ 6.3 แสดงวงจรรขยายผลต่างอย่างง่าย

พิจารณารูปที่ 6.3 การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีซูเปอร์โพสิชัน ซึ่ง

$$V_{out} = \left[V_2 \left(\frac{R'_2}{R'_2 + R'_1} \right) \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \right] - V_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

จะได้สัดส่วนที่เอาต์พุทของวงจรรขยายผลต่าง ได้ดังนี้

$$R'_2 = R_2$$

ถ้ากำหนดให้

$$R'_1 = R_1$$

$$V_{out} = V_2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

จากสมการจะเห็นว่า V_{out} ของวงจรขยายผลต่างมีค่าขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างศักดาต้านขาเข้าทั้งสอง และอัตราขยายของวงจรสามารถกำหนดอัตราส่วนระหว่าง R_1 และ R_2

การทำงานของวงจรขยายผลต่างในอุดมคตินั้น เมื่อป้อนสัญญาณที่เหมือนกันทางขาเข้า สัญญาณทางด้านขาออกจะเท่ากับศูนย์ ($V_{out} = 0$ เมื่อ $V_1 = V_2$) เราเรียกการทำงานของวงจรในลักษณะนี้ว่าเป็นการทำงานแบบคอมมอน โหมด (Common Mode) สำหรับวงจรที่ใช้งานจริงนั้น จะมีผลตอบสนองทางด้านขาออกเกิดขึ้น เมื่อป้อนสัญญาณขาเข้าในแบบคอมมอน โหมด ดังสมการ

$$V_{ocm} = A_{cm} * V_{icm}$$

ดังได้กล่าวมานั้น ความสามารถของวงจรขยายผลต่างในการกำจัดสัญญาณแบบคอมมอน โหมด และทำการขยายสัญญาณผลต่างแบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมด (Differential Mode) จะกำหนดโดยค่า common mode rejection ratio (CMRR) โดยคำนวณค่าในหน่วยเดซิเบลได้ดังสมการ

$$CMRR = 20 \log [A_{DM}/A_{CM}]$$

A_{DM} : กำลังขยายของวงจรแบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมด

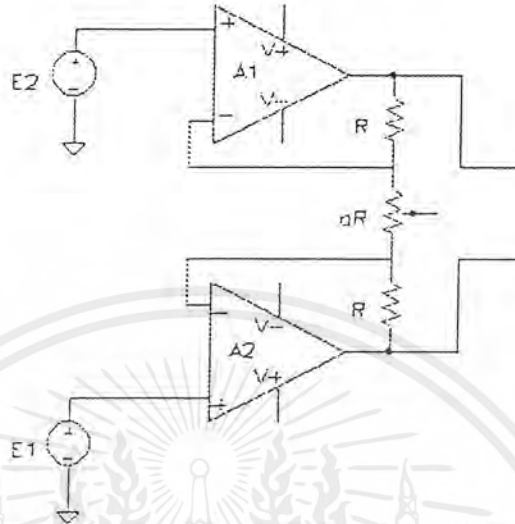
A_{CM} : กำลังขยายของวงจรแบบคอมมอน โหมด

สำหรับการออกแบบจะต้องออกแบบให้วงจรมีค่า CMRR สูงที่สุดเท่าที่ทำได้ ซึ่งออปแอมป์โดยทั่วไปไม่มีค่าสูงอยู่แล้ว เช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 มีค่าประมาณ 90 dB ส่วนเบอร์อื่นๆมีค่าเฉลี่ยของ CMRR > 110 dB เป็นต้น

วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer Circuit)

วงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรที่ใช้ในการปรับปรุงวงจรขยายผลต่างให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยคุณสมบัติที่สำคัญของวงจรบัฟเฟอร์ คือ มีความต้านทานขาเข้าสูง ซึ่งเมื่อนำไปประกอบในส่วนหน้าของวงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะทำให้สัญญาณที่วัดได้มีการสูญเสียที่รบกวนสัมผัสระหว่างผิวหนังกับขั้วไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรดที่ใช้วัดมีค่าน้อย นอกจากนี้วงจรบัฟเฟอร์ยังทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีค่าเพื่อขึ้นในระดับหนึ่ง ก่อนที่จะส่งไปขยายในส่วนต่อไป โดยมีข้อจำกัด คือ อัตราขยายไม่ควรมีมากเกินไป เพราะถ้ามี ออฟเซ็ท (offset) อาจจะทำให้สัญญาณทางออกมีค่าสูงหรือต่ำกว่าระดับอ้างอิงของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับออปแอมป์ได้ (โดยทั่วไปให้มีค่า

เป็นศูนย์) และเป็นผลให้วงจรไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจรบัฟเฟอร์ แสดงได้ดังรูป 6.4



รูป 6.4 แสดงรูปวงจบบัฟเฟอร์

พิจารณารูปที่ 6.4 ค่าอัตราขยายของวงจบบัฟเฟอร์ที่ใช้ในวงจรอินสตรูเมนแอมป์ สามารถหาได้โดยสมการ ดังนี้

$$V_{out} = I (aR + 2R)$$

$$V_{out} = \left[\frac{E_1 - E_2}{aR} \right] (aR + 2R)$$

$$V_{out} = [E_1 - E_2] \left(1 + \frac{2}{a} \right)$$

เพราะฉะนั้นอัตราขยายได้

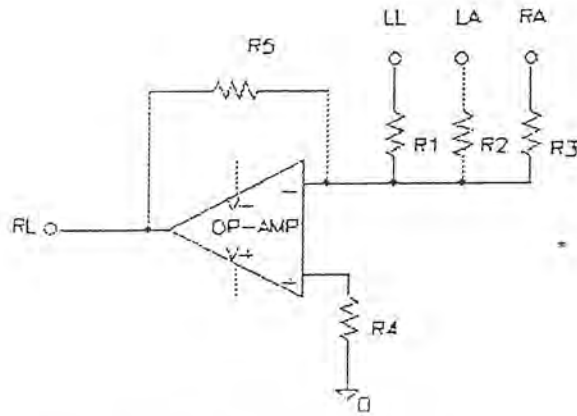
$$\text{gain} = \frac{V_{out}}{E_1 - E_2} = \left(1 + \frac{2}{a} \right)$$

วงจรที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงจากร่างกาย (RL Driven)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เป็นจุดสัญญาณอ้างอิงแทนจุดอ้างอิง (ground) ของวงจรเนื่องจากจุดอ้างอิงของวงจรต่ออยู่โดยตรงกับแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟตรง ดังนั้นถ้าหากมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลก็อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ป่วยได้ จุดที่ใช้วัดสัญญาณอ้างอิงจากร่างกายจึงต้องแยกออกจากแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟตรงของวงจร

ลักษณะของวงจรเป็นวงจรรวมสัญญาณ สัญญาณเข้าของวงจรมาจากสัญญาณออกของวงจบบัฟเฟอร์ซึ่งวัดสัญญาณจากส่วนอื่นของร่างกาย สัญญาณออกของวงจรรวมสัญญาณนี้จึงนำมาใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดจุดอ้างอิงในการวัดสัญญาณจากร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปจะวัดจากบริเวณขาข้างขวา (Right Leg : RL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แสดงวงจรที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงจากร่างกาย

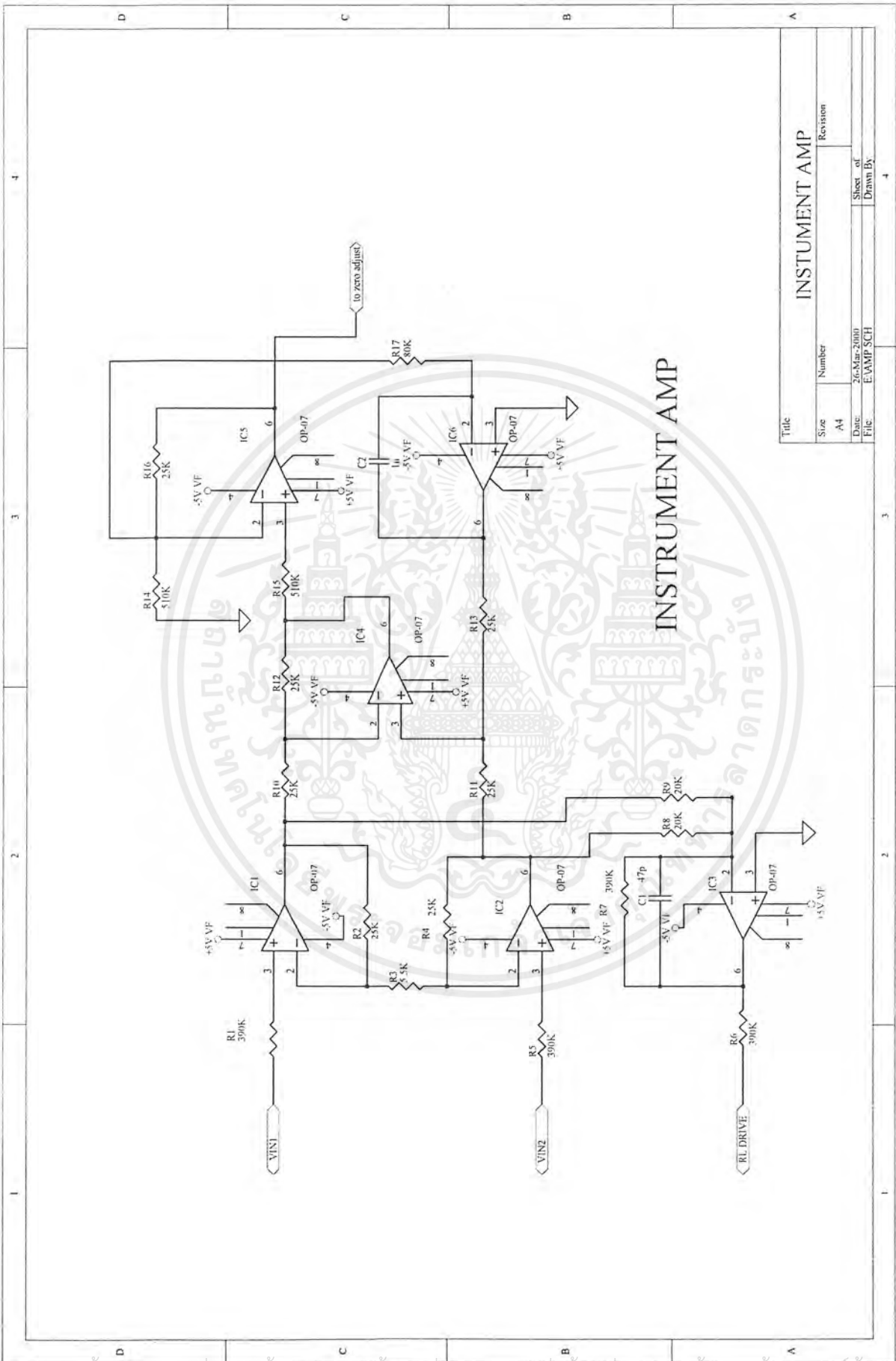
วงจรอินสตรูเมนต์เซ็นแอมพลิฟายเออร์

เป็นวงจรที่พัฒนามาจากวงจรขยายผลต่างเป็นหัวใจสำคัญ โดยใช้ร่วมกับวงจรบัฟเฟอร์ และวงจร RL Drive ประกอบกันเป็นวงจรที่สามารถวัดสัญญาณหัวใจ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.6 โดยส่วนของวงจรบัฟเฟอร์ มีคุณสมบัติตามคุณสมบัติของวงจรบัฟเฟอร์ แล้วยังมีอัตราการขยายสัญญาณ เป็น 10 เท่า ส่งมาวงจรขยายผลต่างที่มีอัตราการขยายอีก 1 เท่า วงจรนี้จะขยายเฉพาะสัญญาณที่ต่างเฟสกันเท่านั้น ส่วนสัญญาณที่ เฟสเหมือนกันจะไม่ทำการขยาย แล้วส่งต่อไปที่วงจรขยายสัญญาณ แบบ ไม่กลับเฟสมีอัตราการขยายอีก 50 เท่า ดังนั้นอัตราการขยายวงจรนี้จะมีค่า 500 เท่า ส่วนวงจรกราวด์เสมือนจะทำหน้าที่เป็นกราวด์ของสัญญาณแทนจุดอ้างอิงของวงจรเพื่อป้องกันกระแสรั่วไหลซึ่งอาจทำอันตรายต่อร่างกายได้ วงจรส่วนท้ายเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ผลิตความถี่พิดแบคกลับเพื่อช่วยปรับค่าออฟเซ็ทของสัญญาณ

6.2.2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Adjust)

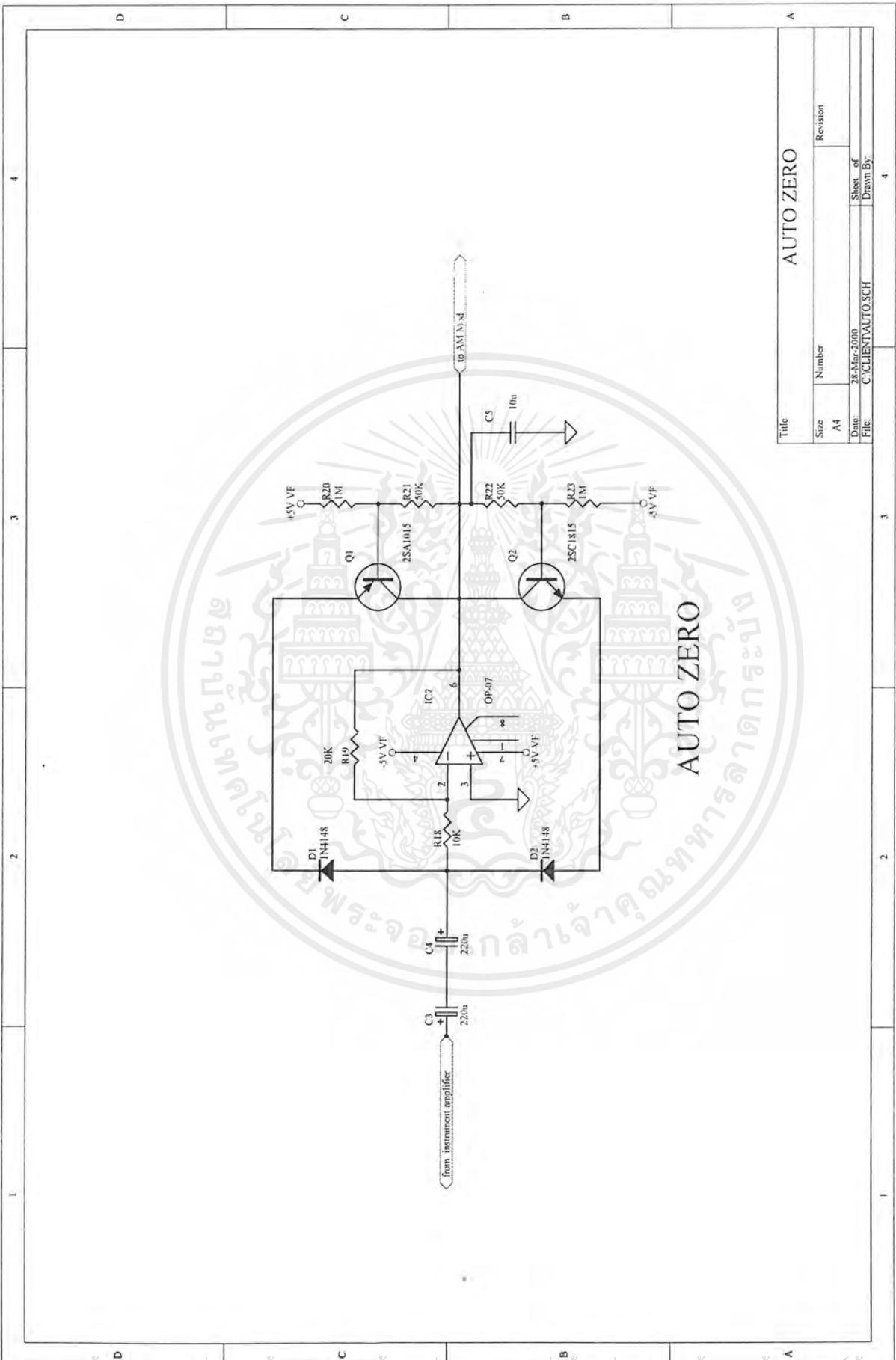
สัญญาณหัวใจนั้นมักมีปัญหาในเรื่องของแรงดันออฟเซ็ท (Offset voltage) เมื่อมีการรบกวนทางด้านอินพุท เช่น อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์จะเกิดแรงดันที่มี offset ขนาดเล็ก เข้าสู่วงจรขยาย ๆ ทำการขยายแรงดันนี้ด้วย เป็นผลให้สัญญาณที่ได้ลดยออกจากตำแหน่งเดิมออกไปสู่ตำแหน่งใหม่ และไม่สามารถกลับมาตำแหน่งเดิมได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำการแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มวงจรปรับศูนย์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการลดค่าอาร์ซีคอนสแตนต์ (RC time constant) ของวงจรภาคถัดไปกับค่าตัวเก็บประจุลึกลับที่มีค่ามากเนื่องจากต้องการให้ความถี่ต่ำผ่าน

วงจรปรับศูนย์นั้นแสดงดังรูป 6.7 หลักการทำงาน เมื่อในสภาวะสัญญาณปกติ ค่า RC time constant จะมีค่าระหว่างค่าเท่ากับ $R \cdot C$ แต่เมื่อเกิดแรงดันขึ้นประมาณแรงดันตกคร่อมไดโอด



Title		Revision	
Size	Number	Sheet of	Revision
A4		26	
Date	Drawn By	File	Drawn By
	E-VAMP SCH		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.6 แสดงวงจรอนาสตรูเมนแอมป์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		Revision	
Size	Number		
A4			
Date:	28-Mar-2000	Sheet of	4
File:	C:\CLIENT\AUTO.SCH	Drawn By:	

AUTO ZERO

AUTO ZERO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบไปใช้เฉพาะและต้องรักษาดูแลรักษาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

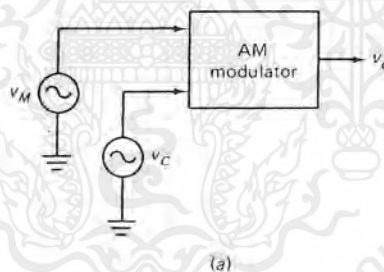
รูปที่ 6.7 แสดงวงจรปรับศูนย์

กลับแรงดันที่ตกคร่อม VBE ของทรานซิสเตอร์ จะเปรียบเสมือนว่า ทรานซิสเตอร์เป็นทางผ่านของสัญญาณลงกราวด์ ค่า RC time constant มีค่าน้อยลงมากทำให้สัญญาณกลับลงมาสู่จุดเดิมเร็วขึ้น ส่วนออปแอมป์ ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณ 2 เท่า แบบ กลับเฟส ซึ่งสัญญาณผ่านจุดนี้มีขนาด 1000 เท่า (500×2)

6.2.3 วงจรมอดูเลเตอร์แบบขนาด (Amplitude modulator)

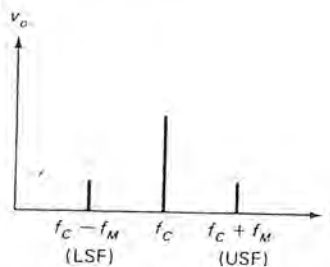
สัญญาณหัวใจที่ผ่านวงจรปรับสัญญาณมาแล้วเป็นสัญญาณที่สามารถนำไปใช้งานได้ระดับหนึ่งแต่อาจเกิดความไม่เสถียรของสัญญาณ เกิดขึ้นได้อันเนื่องมาจากปัญหาหลายสาเหตุวิธีแก้ปัญหาก็คือ จะทำการฝากสัญญาณ ไปกลับความถี่ที่สูงกว่าแล้วจึงทำการแยกสัญญาณออกกลับมาจากหลังนั้นก็คือวิธีการมอดูเลชันนั่นเองในที่นี้เลือกวิธีการ มอดูเลท แบบขนาดซึ่งมีข้อดีคือ วิธีการออกแบง่ายและทำการคืนสัญญาณก็สะดวกกว่าวิธีการแบบอื่น

การมอดูเลทแบบต่าง ๆ นั้นมีส่วนประกอบของสองความถี่ คือความถี่พาหะ (Carrier signal) ซึ่งมีความถี่ที่สูงและความถี่ของข้อมูล (Modulation signal) มีความถี่ต่ำกว่า การมอดูเลททางขนาดแสดงได้ดังรูป 6.8 (a)



รูปที่ 6.8 (a) AM Modulator

Modulating signal ถูกแทนด้วย V_m และ Carrier signal ถูกแทนด้วย V_c เมื่อทำการมอดูเลททางขนาดแล้วจะได้ส่วนประกอบทางความถี่อยู่ 3 ความถี่ คือ ความถี่พาหะ, ความถี่ผลบวก และความถี่ผลต่าง ตามสเปคตัมดังรูป 6.8 (b)



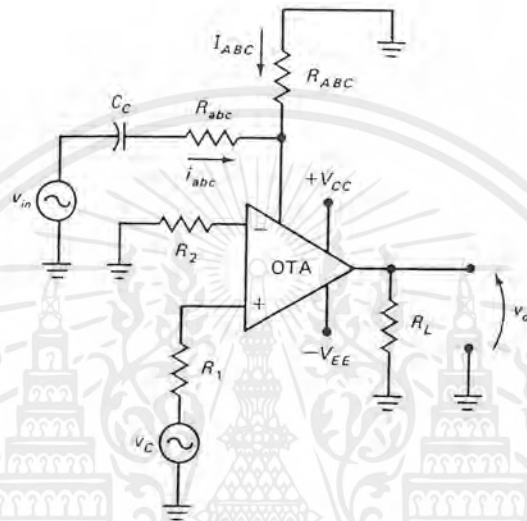
(b)

รูปที่ 6.8 (b) Typical Output Signal Spectrum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีส่วนประกอบทางความถี่สูงกว่าความถี่พาหะเรียกว่า ความถี่ผลบวก (Upper side band) และส่วนประกอบของความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่พาหะเรียกว่าความถี่ผลต่างและจะมีตัวชี้เปอร์เซ็นต์การมอดคูเลทเรียกว่า Modulation index ซึ่งมีค่า $(V_A - V_B) / (V_A + V_B)$ ในการใช้งานนั้นค่านี้ควรมีค่าไม่เกิน 1 จึงไม่ให้เกิดการ Over mod สัญญาณจึงไม่เกิดการสูญหาย

วงจรที่ใช้ในการออกแบบนั้นใช้ไอซี OTA เบอร์ LM3080 ซึ่งวงจรนั้น แสดงดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 An OTA Used as an AM Modulator

โดยให้สัญญาณเป็นดังนี้

$$v_M = V_M \sin \omega_m t$$

$$v_C = V_C \sin \omega_c t$$

ในสถานะสงบนั้นค่า หรือ ไม่มีสัญญาณ Transconductance (g_m) ถูกกำหนดโดยค่า R_{ABC} ซึ่งค่า $g_{mQ} = KI_{ABC}$ แต่หากเมื่อมีสัญญาณเข้ามาแล้วค่า g_m จะมี อยู่สองค่ารวมกันอันเนื่องมาจาก ค่าอินพุตและค่า dc จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้น

เมื่อยัง ไม่มีสัญญาณ

$$g_{mQ} = KI_{ABC}$$

เมื่อมีสัญญาณ Input

$$g_m = KI_{ABC} + Ki_{abc}$$

ดังนั้นจะได้

$$g_m = g_{mQ} + Ki_{abc}$$

ซึ่งค่าของ

$$i_{abc} = v_M / R_{abc}$$

และค่า

$$i_{abc} = (V_M \sin \omega_m t) / R_{abc}$$

ดังนั้น

$$g_m = g_{mQ} + (KV_M \sin \omega_m t) / R_{abc}$$

และค่า

$$v_o = (V_C \sin \omega_c t R_1) (g_{mQ} + (KV_M \sin \omega_m t) / R_{abc})$$

จะได้ค่าดังนี้

$$v_o = (V_C \sin \omega_c t R_1) (g_{mQ}) + (V_C \sin \omega_c t R_1 KV_M \sin \omega_m t) / R_{abc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$\sin x \sin y = \frac{1}{2} (\cos(x-y) - \cos(x+y))$$

ให้

$$x = \omega_c t \quad \text{และ} \quad y = \omega_m t$$

$$v_o = V_c \sin \omega_c t R_1 (g_{mQ}) + (1/2 V_c K V_{M1} R_1 ((\cos(\omega_c t - \omega_m t) - \cos(\omega_c t + \omega_m t)))$$

สมการของวงจร

$$v_o = V_c \sin \omega_c t R_1 g_{mQ} + V_c K V_{M1} R_1 / (2 R_{abc}) \cos(\omega_c - \omega_m)t - V_c K V_{M1} R_1 / (2 R_{abc}) \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

ดังนั้นจากสมการจะได้ค่า

$$M = V_{SF} / V_{OC}$$

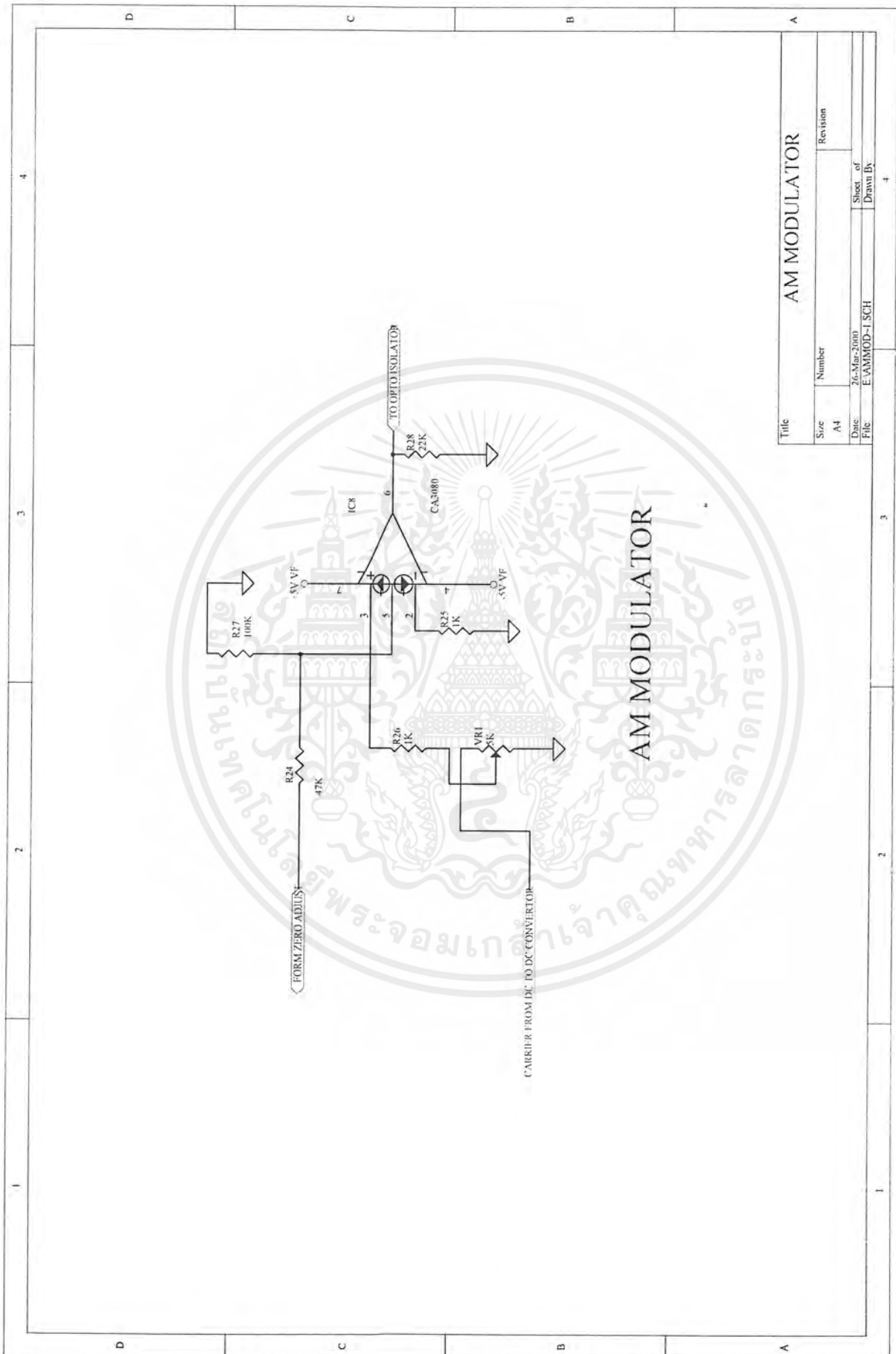
6.2.4 วงจรออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator)

วงจรแยกสัญญาณซึ่งประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสง (infrared LED) และทรานซิสเตอร์รับแสง (Silicon photo transistor) เป็นการส่งสัญญาณเพียงช่องทางเดียวข้ามช่องว่าง ดังนั้นส่วนสัญญาณออกจึงไม่มีผลกระทบกับวงจรทางขาเข้า ตัวอย่างของอุปกรณ์แยกสัญญาณที่นิยมใช้กัน ตัวแสดงดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์แยกสัญญาณ

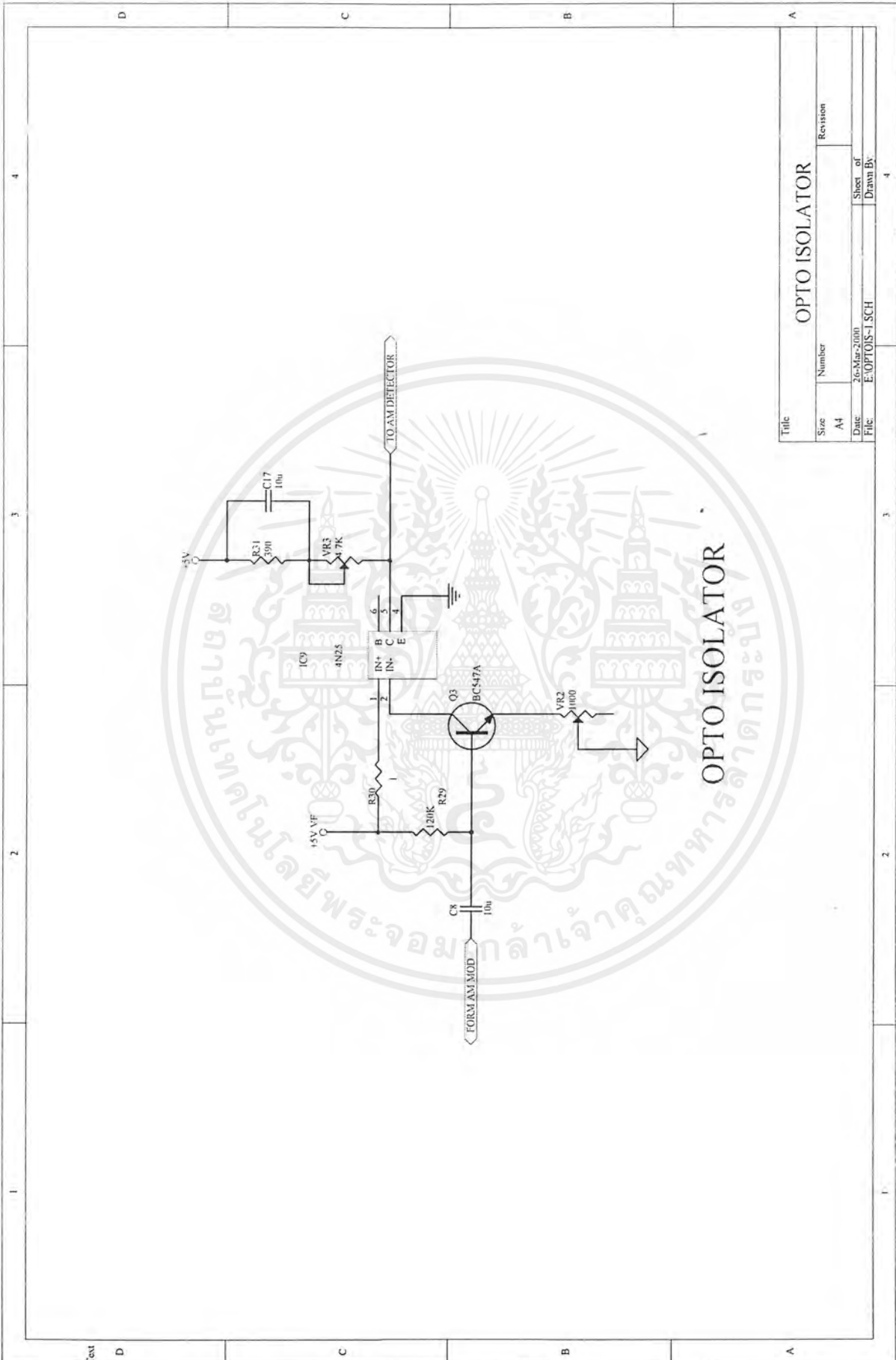
พิจารณารูป 6.12 เป็นวงจรออปโตไอโซเลเตอร์ แยกกราวด์ระหว่างคอมพิวเตอรืกับตู้ปวย เพื่อไม่ให้มีกระแสไฟฟ้ารั่วจากคอมพิวเตอรืไหลเข้าสู่ร่างกายตู้ปวย จะมีการไบอัสเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ขับ Opto isolator ได้เพื่อให้สัญญาณ ไปปรากฏอีกข้างหนึ่งซึ่งแยกกันทางสัญญาณ



Title		AM MODULATOR	
Size	Number	Revision	
A4			
Date	26-Mar-2000	Sheet of	
File	E:\AMMOD-1.SCH	Drawn By	
		4	

AM MODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.11 วงจร AM modulator
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		OPTO ISOLATOR	
Size	Number	Revision	
A4			
Date	26-Mar-2000	Sheet of	
File	E:OPTOIS-1.SCH	Drawn By	

OPTO ISOLATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชางานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.12 แสดงวงจรอปโตไอโซเลเตอร์
 ไม่ว่าจะผิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

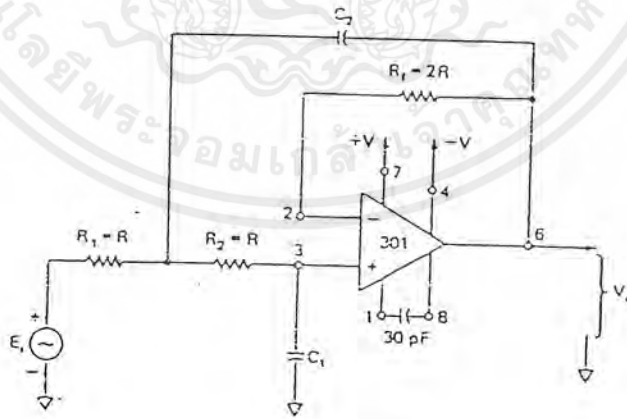
6.2.5 วงจรดีเทกเตอร์แบบ AM(AM detector)

สัญญาณที่ผ่านจากวงจร Opto isolator นั้นเป็นสัญญาณที่ได้จากการ มอดคูเลทจากวงจร มอดคูเลททางขนาดของวงจรถัดหน้านี้ สัญญาณที่ผ่านมายังเป็นสัญญาณแบบ AM signal อยู่ ดังนั้นจำเป็นต้องนำสัญญาณกลับมาเช่นเดิม โดยผ่านวงจรดีเทกเตอร์แบบ AM ในการดีเทกเตอร์มีหลายวิธีแต่วิธีที่สะดวกที่สุดคือแบบ ใช้ไดโอดดีเทกเตอร์และไดโอดที่ใช้นี้จะต้องมีแรงดันตกคร่อมตัวมันค่าที่เรียกว่าไดโอดแบบจุดสัมผัส (Point contact) หรือเรียกตามภาษาชาวบ้านเรียกไดโอด หนองแมว ส่วนมากทำมาจากสารเจอร์มันเนียม เบอร์ที่นิยมใช้คือ เบอร์ IN 60 ,0A70 เป็นต้น

จากรูปที่ 6.14 แสดงวงจรDiod detector หลักการคือสัญญาณแบบ AM singnal ที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบ ผ่านเข้ามาจะถูกไดโอดตัดยอดคลื่นออกทางซีกลบหลังจากตัดออกแล้วจะเหลือสัญญาณทางซีกบวกที่อยู่ความถี่พาหะ ความถี่พาหะนั้นจะถูกขจัดออกโดยค่า R และ C ที่เหมาะสม เหลือ เฉพาะสัญญาณเดิมที่ผ่านการขยายมาส่วน ออปแอมป์เป็นวงจรถ่ายให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้น

6.2.6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

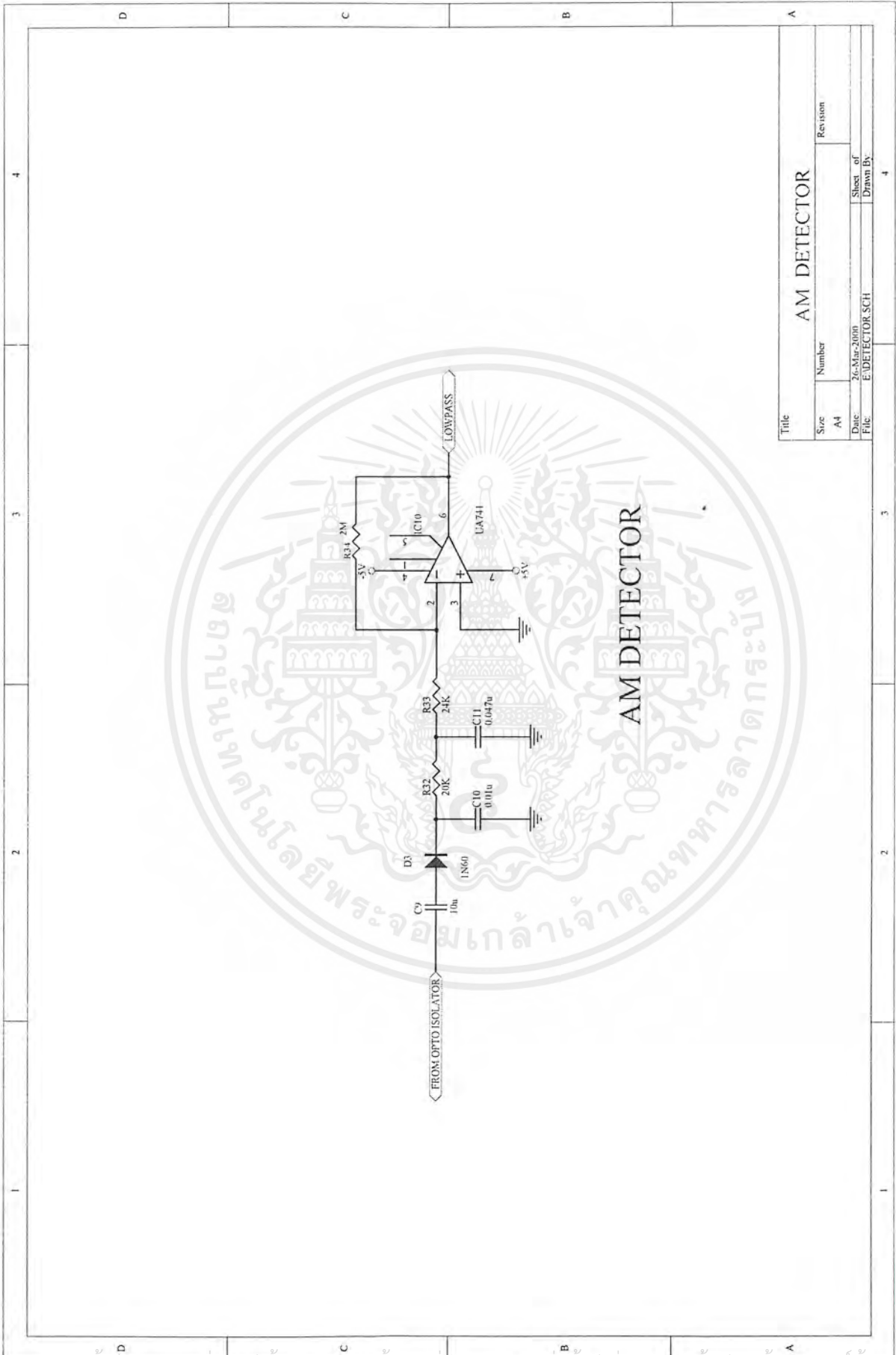
เนื่องจากคลื่นสัญญาณ ไฟฟ้าหัวใจมีองค์ประกอบของสัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0-200 เฮิรตซ์ ดังนั้นจึงควรมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ที่สูงกว่าย่านความถี่นี้ออกไป ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ วงจรกรองความถี่ต่ำที่ใช้เป็นแบบบัตเตอร์เวิร์ทอันดับ 2 ดังแสดงในรูป 6.13



รูป 6.13 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ทอันดับที่สอง

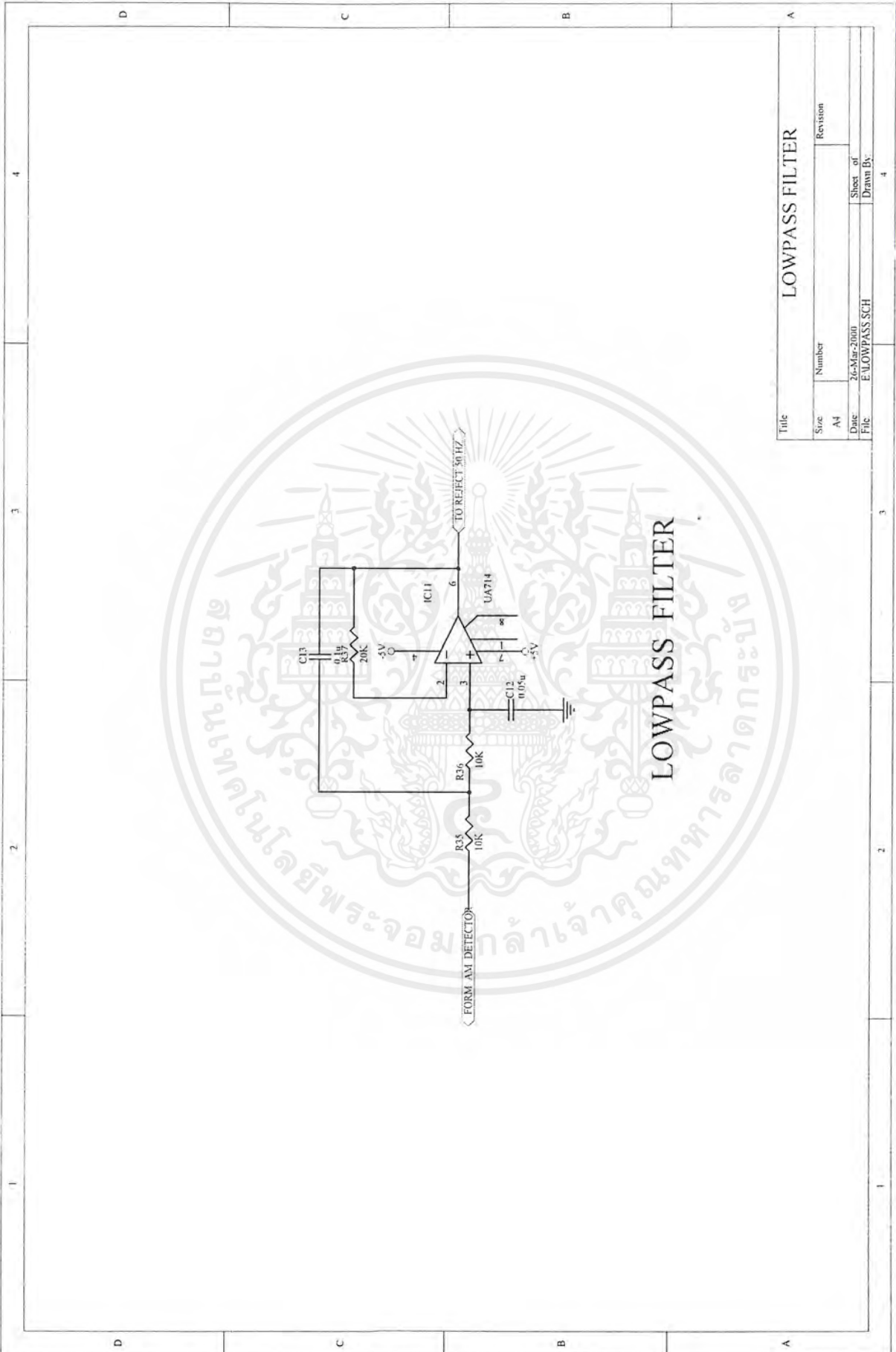
พิจารณารูป 4.9 เป็นวงจรบัตเตอร์เวิร์ทอันดับที่สองที่ให้ความชันเท่ากับ -40 เดซิเบลต่อดีเซค ออปแอมป์ที่ใช้ในวงจรมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า สำหรับ Rf ต่อเพื่อลดผลจากออฟเซตของตัวออปแอมป์ วงจรมีลักษณะเป็นวงจรตามแรงดัน คือ แรงดันที่ขาเข้ามีค่าเท่ากับขาออกดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		AM DETECTOR	
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	26-Mar-2000	Sheet of	
File:	E:DETECTOR.SCH	Drawn By:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.14 AM Detector
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		LOWPASS FILTER	
Size	Number	Revision	
A1			
Date	26-Mar-2008	Sheet of	
File	E:\LOWPASS.SCH	Drawn By	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
รูปที่ 6.15 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นแรงดันตกคร่อม $C1$ มีค่าเท่ากับ V_o เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดให้ $R1 = R2 = R$ ซึ่งสามารถออกแบบวงจรให้มีจุดคัทออฟดังนี้

1. กำหนดค่าความถี่คัทออฟที่ต้องการ
2. เลือกค่า $C1$ ที่จะใช้
3. เลือกค่า $C2$ ให้มีค่าเท่ากับ $2C1$
4. คำนวณค่า R จากสมการ

$$R1 = 0.707 / \omega C1$$

5. เลือก Rf ให้มีค่าเท่ากับ $2R$

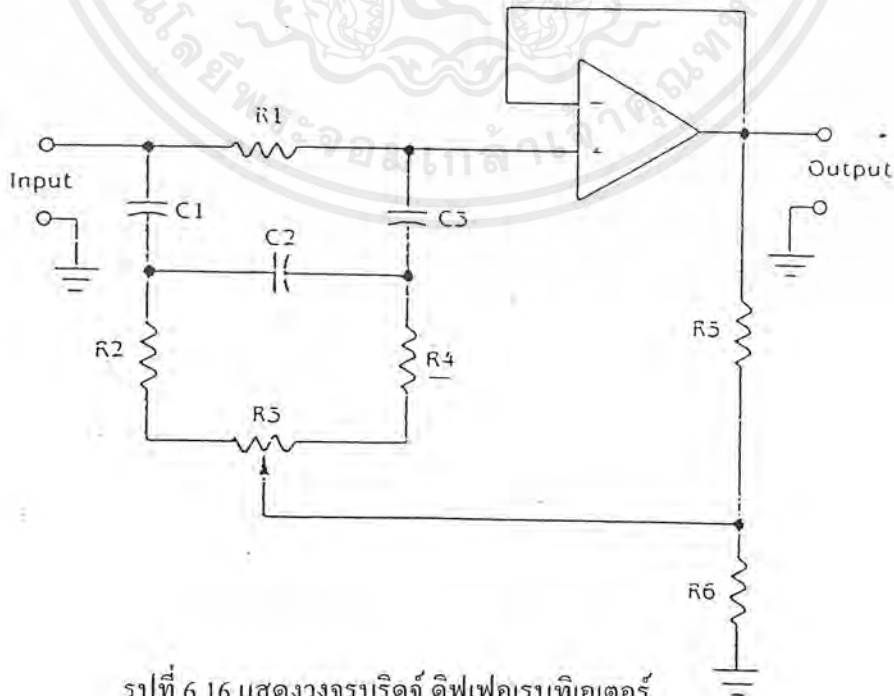
รูป 6.15 เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้งานจริง โดยเลือกค่า R และ C ที่มีขายในท้องตลาดและต้องการจุดคัทออฟ เท่ากับ 200 เฮิรตซ์ ด้วยเราเลือกใช้ค่า $R1 = 10$ กิโลโอห์มและ $C1 = 0.05$ ไมโครฟารัด ซึ่งจุดคัทออฟคำนวณได้ดังสมการ

$$f = 0.707 / (2 * 3.14 * 10000 * 0.00000005)$$

$$= 225 \text{ เฮิรตซ์}$$

6.2.7 วงจรกรองความถี่แบบกันไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะช่วง (Band Reject Filter)

เป็นวงจรลดทอนความถี่เป็นช่วง ซึ่งในคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่สัญญาณความถี่ 50 เฮิรตซ์จะถูกลดทอนออกไปเพราะเป็นสัญญาณรบกวนที่คับปลิ่งจากสายไฟบ้าน วงจรที่ใช้เป็นแบบบริดจ์ ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ (Bridge Differentiator) ซึ่งแสดงดังรูป 6.16



รูปที่ 6.16 แสดงวงจรบริดจ์ ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูป 6.16 เป็นวงจรที่ง่ายต่อการออกแบบ คือ สามารถปรับความถี่กลางโดยมีความต้านทานแบบปรับค่าได้ ทำให้สามารถปรับช่วงแบนวิธด์แต่ค่า Q ไม่เปลี่ยนแปลง ในการหาความถี่ศูนย์กลาง (F_c) หาได้จากสมการ

$$F_c = 1/2\pi C\sqrt{3R_aR_b}$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

$$R_1 = 6(R_2 + R_3 + R_4)$$

เมื่อ

$$R_a = R_2 + R_{3a}$$

$$R_b = R_4 + R_{3b}$$

โดยที่

$$R_3 = R_{3a} + R_{3b}$$

ในที่นี้ต้องการความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 50 เฮิร์ต และจะกำหนด $C = 0.047$ ไมโครฟารัด $R_2 = 4.7$ กิโลโอห์ม $R_4 = 75$ กิโลโอห์ม และความต้านทานปรับค่าได้ $R_3 = 20$ กิโลโอห์ม ดังนั้น

$$R_1 = 6(R_2 + R_3 + R_4)$$

$$R_1 = 6(4700 + 20000 + 75000)$$

$$= 598200 \text{ โอห์ม}$$

$$R_5 = 68 \text{ โอห์ม}$$

$$R_6 = 2200 \text{ โอห์ม}$$

เมื่อแทนค่าลงสมการจะได้ความถี่ศูนย์กลางอยู่ในช่วงดังนี้ คือ

ปรับ $R_{3a} = 0$ โอห์ม $R_{3b} = 20$ กิโลโอห์ม

จะได้

$$R_a = 4700 + 0$$

$$= 4700 \text{ โอห์ม}$$

$$R_b = 75000 + 20000$$

$$= 95000 \text{ โอห์ม}$$

ดังนั้นจะได้ความถี่ศูนย์กลาง คือ

$$F_c = 1/2\pi C\sqrt{3R_aR_b}$$

$$= 1/2\pi \cdot 0.000000047 \sqrt{3 \cdot 4700 \cdot 95000}$$

$$= 92.52 \text{ เฮิร์ต}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับ $R_{3a} = 20$ กิโลโอห์ม $R_{3b} = 0$ โอห์ม

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad R_a &= 4700 + 20000 \\ &= 24700 \text{ โอห์ม} \\ R_b &= 75000 + 0 \\ &= 75000 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความถี่ศูนย์กลาง คือ

$$\begin{aligned} F_c &= 1/2\pi C \sqrt{3R_a R_b} \\ &= 1/2\pi 0.000000047 \sqrt{3 * 24700 * 75000} \\ &= 45.42 \text{ เฮิรต์} \end{aligned}$$

จากการออกแบบข้างต้นจะได้ความถี่ศูนย์กลางในช่วง 45.42 เฮิรต์ถึง 92.52 เฮิรต์ ดังนั้นถ้าต้องการความถี่ศูนย์กลาง 50 เฮิรต์ จึงปรับ $R_{3a} = 20$ กิโลโอห์ม โดยที่ค่า Q คงที่ประมาณ 4.16 ซึ่งวงจรที่ออกแบบเป็นดังรูป 6.17

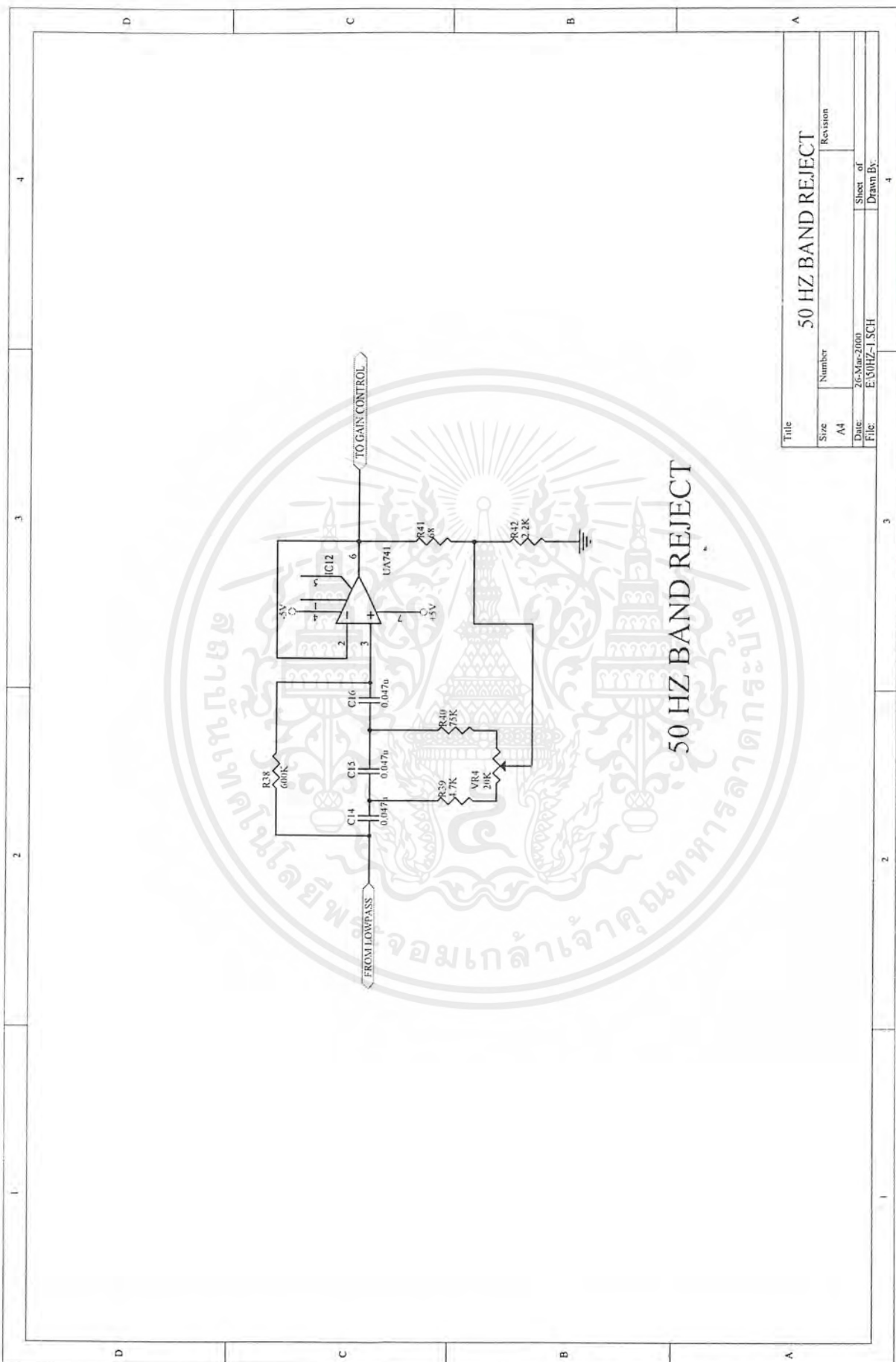
6.2.8 วงจรจ่ายระดับแรงดันคงที่ (DC POWER SUPPLY)

เป็นวงจรที่จ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ +5V ที่วงจรต้องการทุกส่วนยกเว้นวงจรภาค Floating amplifier วงจรนี้ใช้ Step down แปลงแรงดันลดลงมาแล้วทำการ Rectifier โดย Diode d1-d4 แบบ bridge ได้รูปคลื่นเป็นแบบ full wave ผ่าน ตัวเก็บประจุเป็นแรงดันไฟตรงแล้วรักษาระดับแรงดันโดยใช้ 7805 และ 7905 รักษาระดับไฟ +5V และ -5V ตามลำดับ แสดงได้ดังรูป 6.18

6.2.9 วงจรจ่ายแรงดันให้วงจรลอย (DC TO DC CONVERTOR)

วงจรที่ติดต่อกับร่างกายของคน โดยตรงนั้นจำเป็นต้องมีการป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของผู้ถูกวัด วิธีที่ป้องกันอันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายไฟนี้มีอยู่ 2 วิธีคือใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ หรือ ใช้แหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ของแหล่งจ่ายมีความถี่ของแหล่งจ่ายมีค่าสูงกว่าความถี่ไฟบ้านให้มากกว่า

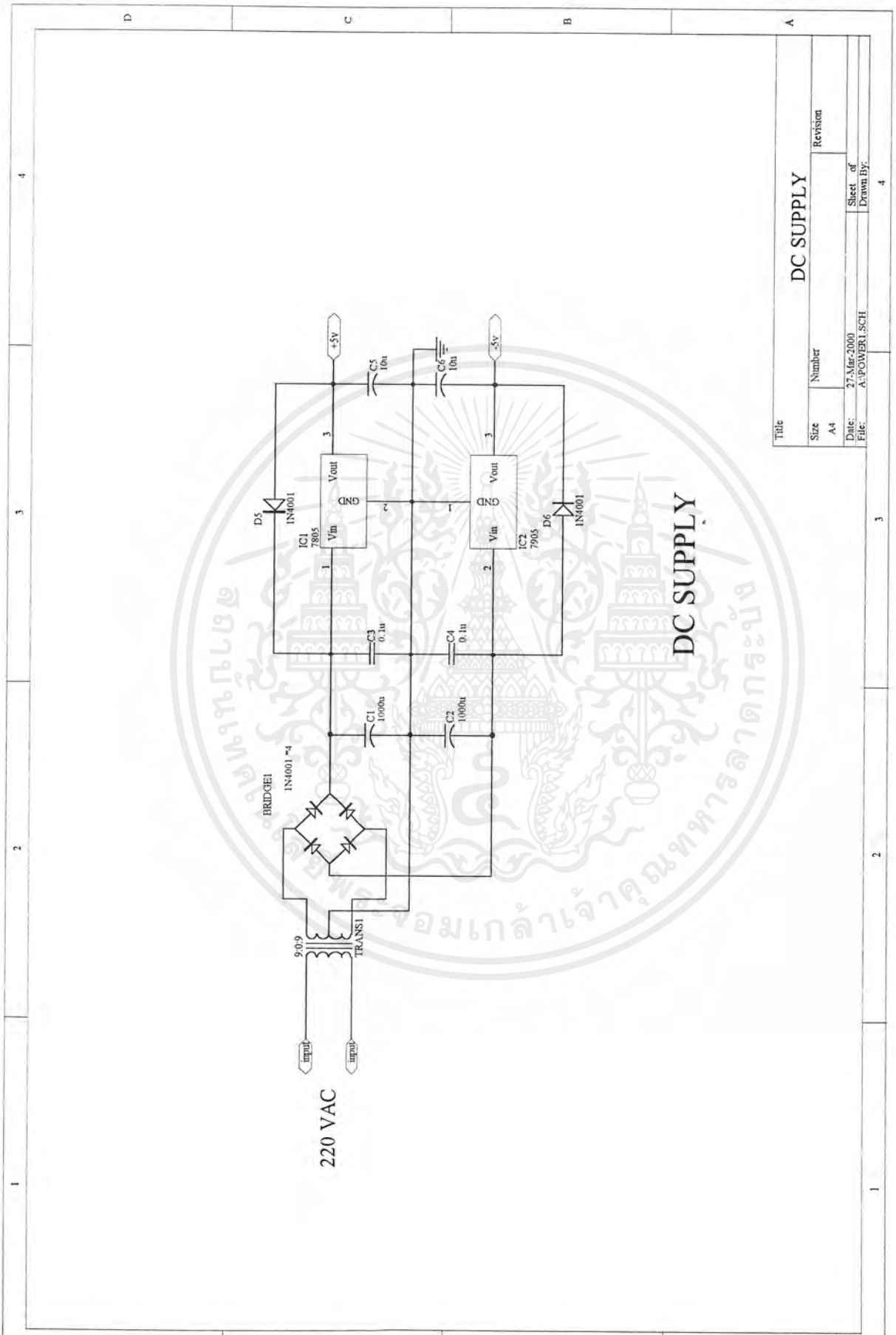
เลือกการออกแบบแหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ไฟบ้านมาก โดยมีวงจรดังรูปที่ จะใช้ ไอซี 555 ผลิตความถี่ตามค่า RC ที่ออกแบบไว้ซึ่งมีค่าความถี่ประมาณ 15 KHZ ซึ่งสูงกว่าความถี่ 50 HZ มาก ส่งเข้าทรานซิสเตอร์ ต่อแบบ คอมพลีเมนทาลี ขั้ว หม้อแปลงความถี่สูงออกแยกกราวด์ออกจากกัน โดยใช้หม้อแปลงแล้วทำการ Regulator โดยใช้ 7805 และ 7905 ได้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ +5 V และ -5 V ใช้ในการจ่ายให้กับวงจรลอย



Title		50 HZ BAND REJECT	
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	26-Mar-2008	Sheet of	
File:	E:\50HZ-1 SCH	Drawn By:	

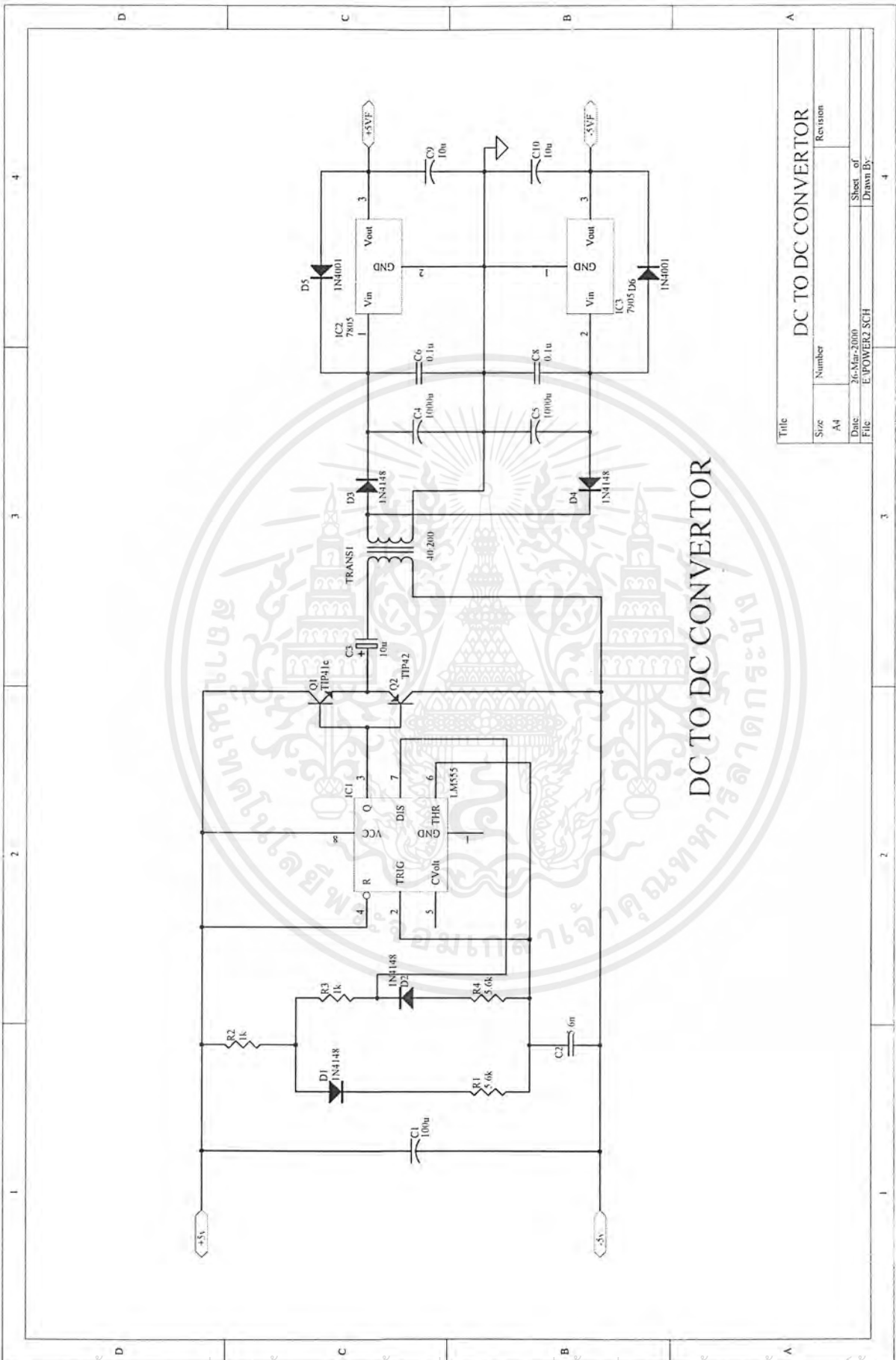
50 HZ BAND REJECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้คนควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.17 แสดงวงจรลัดทอนความถี่เป็นขวง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		DC SUPPLY	
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	27-Mar-2000	Sheet of	
File:	A:POWER1.SCH	Drawn By:	

DC SUPPLY



Title		DC TO DC CONVERTOR	
Size	Number	Revision	
A4			
Date	26-Mar-2000	Sheet of	
File	E:POWER2.SCH	Drawn By:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.19 DC To DC Converter
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.10 วงจรเลือกอัตราการขยายและวงจรปรับแรงดันออฟเซต (Programable and Offset)

สัญญาณจากวงจรอินสตรูเมนแอมป์ ที่มีอัตราการขยายคงที่เท่ากับ 1000 เท่า นั้น นำมาขยายโดยวงจรเลือกอัตราการขยายนี้ ซึ่งสามารถเลือกอัตราการขยายร่วมกับ วงจรอินสตรูเมนแอมป์แล้วจะได้อัตราการขยายทั้งหมดเป็น 500 , 1000 , 2000 , 2500 เท่า ซึ่งสามารถคอนโทรลโดย Port 0 ของ 89C51 ผ่าน Analog Switch สัญญาณดังกล่าวจะนำไปผ่านการออฟเซต โดยวงจขยายอินเวอร์ตติ้งแอมป์ อัตราการขยายเท่ากับ 1 โดยแรงดันอ้างอิง (Vref) ซึ่งเป็นค่าออฟเซตสามารถกำหนดได้ที่ VR ที่ต่อกับขาบวกของ Op-Amp เพื่อที่สัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่มีค่าแรงดันทั้งบวกและลบ เลื่อนระดับแรงดันไปเป็นบวกเท่านั้น ก่อนที่จะนำสัญญาณผ่าน ADC Converter เนื่องจาก IC ADC ไม่สามารถทำงานกับระดับแรงดันที่เป็นลบได้ ซึ่งจะทำให้ IC ADC เสียหายได้ จึงนำสัญญาณที่ระดับออฟเซตแล้วไปเปรียบเทียบกับ แรงดันอ้างอิง 0 โวลต์ ซึ่งถ้าสัญญาณเอาต์พุตสูงกว่า 0 โวลต์ Analog Switch จะทำงาน (ON) และถ้าสัญญาณต่ำกว่า 0 โวลต์ Analog Switch จะไม่ทำงาน (OFF) ทำให้สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรออฟเซต ผ่านไปยัง ADC Converter ไม่ได้ แสดงดังรูปที่ 6.20

6.2.11 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC Converter)

โดย IC ที่ใช้เป็นเบอร์ ADC 0804 ซึ่งมีขนาด 8 บิต และ Conversion Time ประมาณ 100 μ S Clock ของ ADC ผลิตจาก R (10k) และ C (150pF) โดยต่อกับขา 4 และ 19 ดังรูปที่ 6.21 โดยความถี่ที่ได้ หาได้จาก $1/RC$ ซึ่งจะได้ประมาณ 0.6 MHz ในการทำงาน จะมีสัญญาณ WR จาก 89C51 ส่งมา ADC0804 จะทำการแปลงสัญญาณหัวใจไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล 8 บิต และส่งสัญญาณ INT ไปให้ 89C51 เพื่อให้ 89C51 ทำการอ่านข้อมูลนี้ทาง Port 1 และ 89C51 ก็จะเริ่มส่งสัญญาณ WR ให้ ADC ทำงานอ่านอีกครั้ง

6.2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 (Microcontroller 89C51)

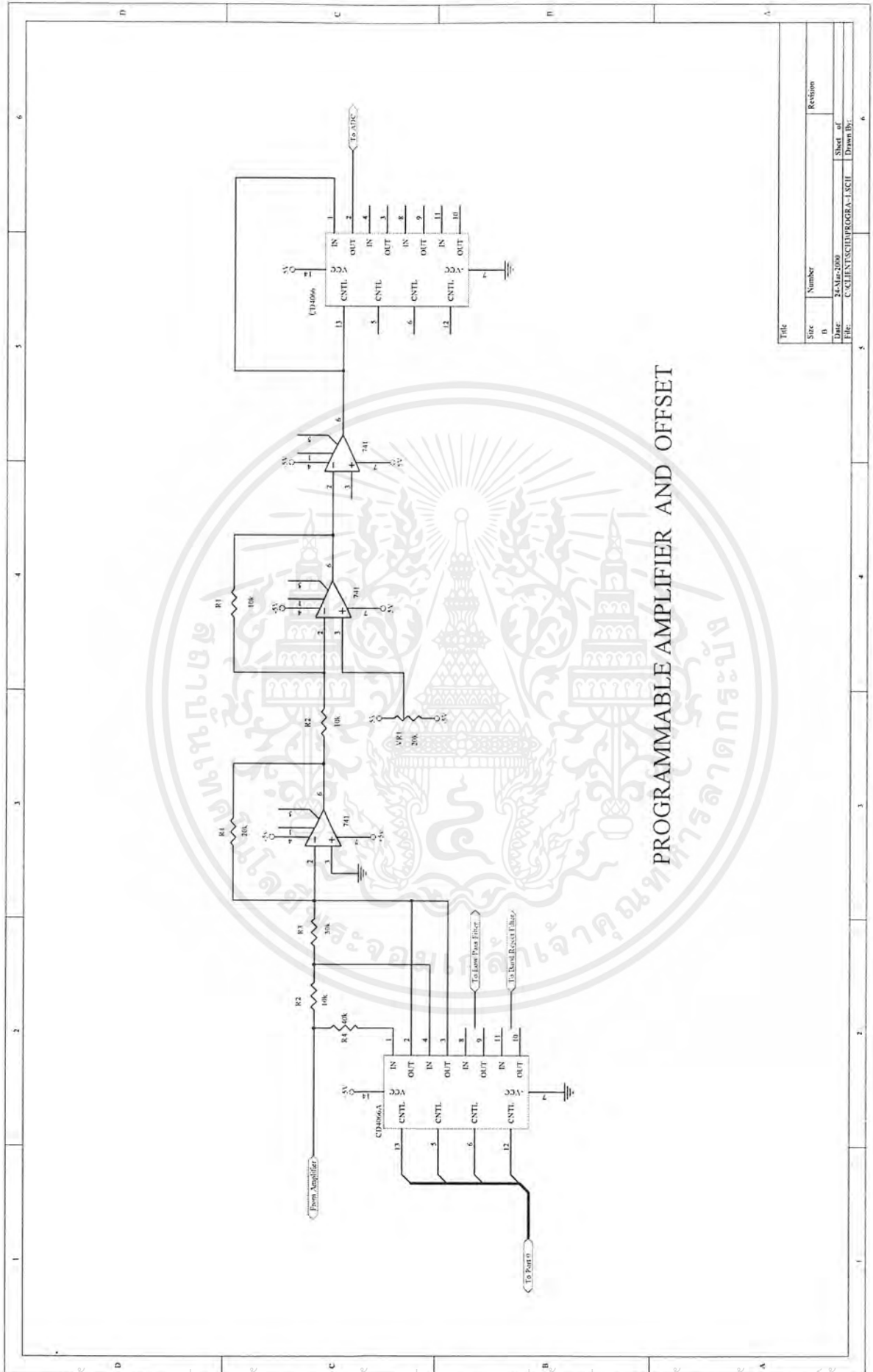
วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกใช้ IC AT89C51 ซึ่งเป็นเทคโนโลยี C-MOS มี Program Memory อยู่ 4 kByte และมี วงจร Oscillator ภายใน โดยในการใช้งานเลือกค่า Crystol 11.059 MHz ที่ขา RST ต่อ R-Pull down กับ C ไปยังไฟเลี้ยง ซึ่งถ้าขา RST มีสถานะเป็น High 2 Machine Cycle แล้วจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รีเซ็ตตัวเองและเริ่มทำงาน ที่ Port 0 ต่อ R-Pull Up ด้วย R-pack 10 k Ω เนื่องจากไม่มี R-Pull Up ภายใน ซึ่งเราจะนำ Port นี้ไปควบคุมการเลือกอัตราการขยาย และ Filter ขา RXD และ TXD เป็นขาที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม WR และ INT0 ใช้ควบคุมการทำงานของ ADC แสดงดังรูปที่ 6.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.13 ไอซี MAX232 (MAX232)

ในการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ด้วย มาตรฐาน RS232C จะต้องปรับระดับแรงดันให้มีค่า -3 ถึง -15 และ +3 ถึง +15 V ซึ่งระดับแรงดันของข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีค่า 0 และ 5 V จะปรับระดับแรงดันโดย IC MAX232 แสดงดังรูปที่ 6.23

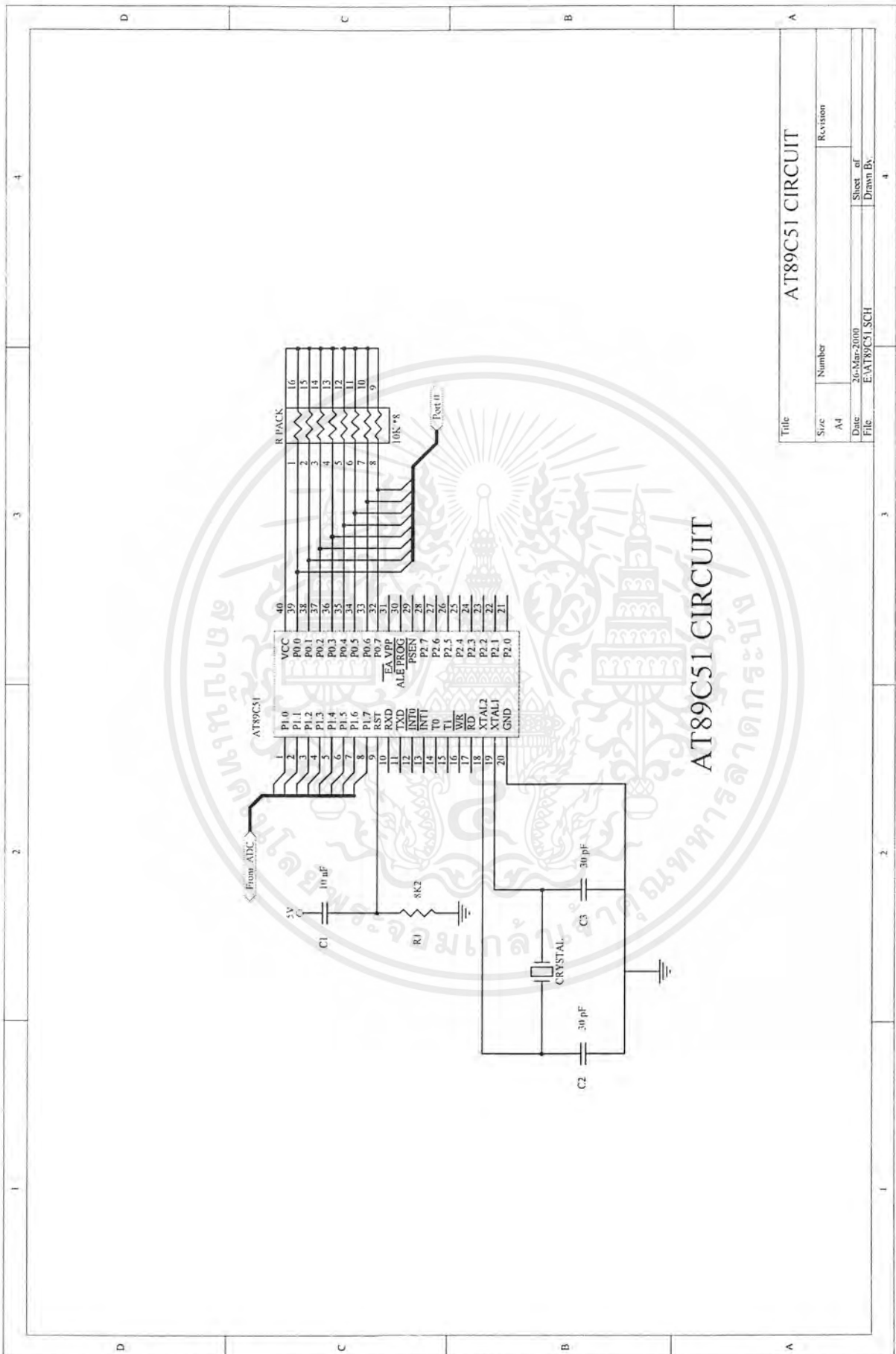




PROGRAMMABLE AMPLIFIER AND OFFSET

Title	
Size	Number
0	Revisions
Date:	24-Mar-2000
File:	C:\CLIENTS\CD\PROGRA-1\SCII
	Sheet of
	Drawn By:

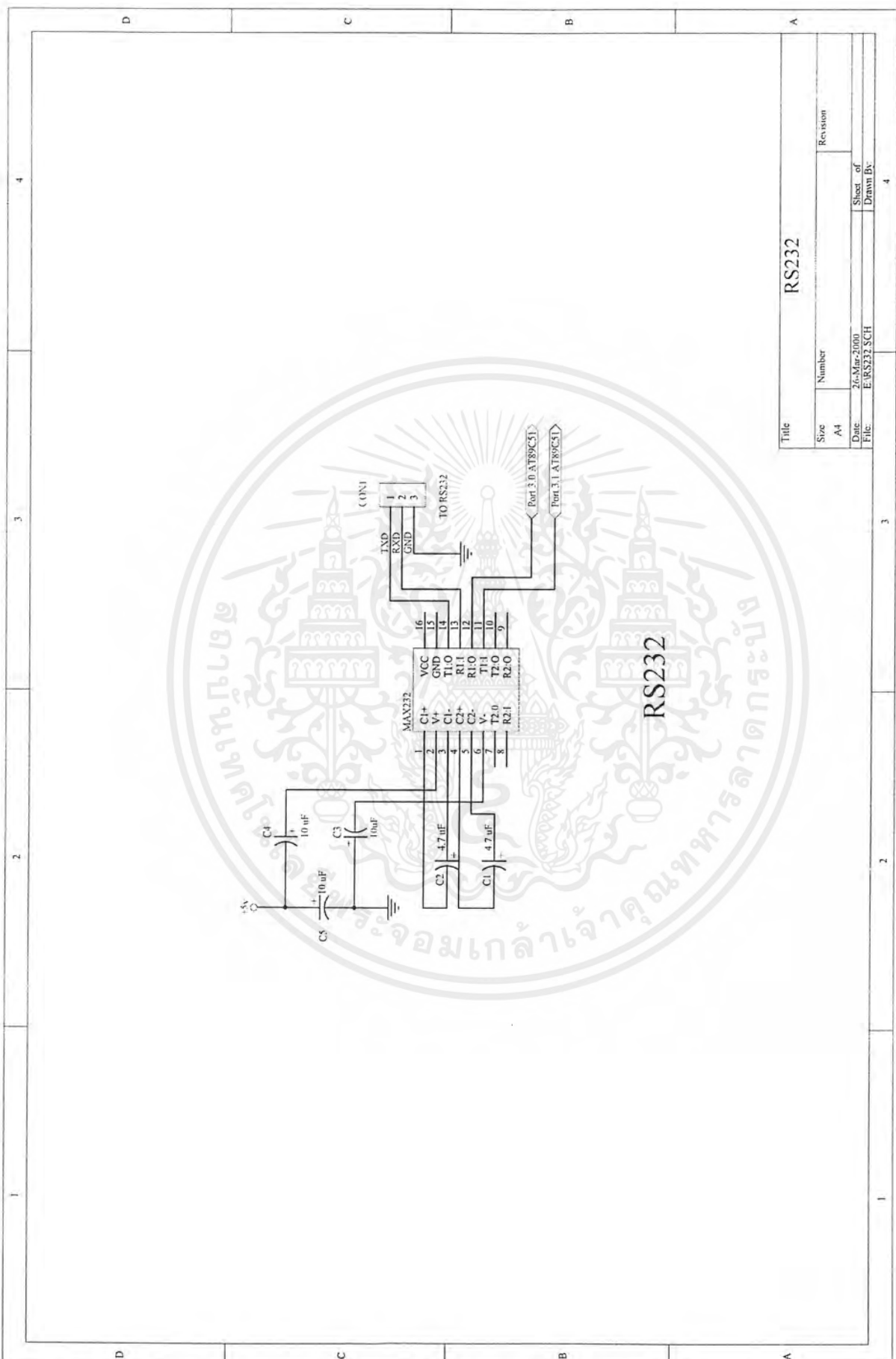
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 6.20 แสดงวงจร Programable and Offset
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



AT89C51 CIRCUIT

Title		AT89C51 CIRCUIT	
Size	Number	Revision	
A4			
Date	26-Mar-2009	Sheet of	
File	E:\AT89C51_SCH	Drawing	B1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 6.22 แสดงวงจร Microcontroller 89C51
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		RS232	
Size	Number	Revision	
A4			
Date:	26-Mar-2000	Sheet of	
File:	E:RS232.SCH	Drawn By:	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชาใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 6.23 แสดงวงจร MAX232
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

คุณสมบัติของวงจรขยายคลื่นหัวใจไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติในแต่ละส่วนของวงจรขยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ โดยทำการทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวงจรเหล่านั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

7.1 ทดสอบการทำงานของวงจรอินสตรูเมนเตชันแอมป์ฟลายเออร์

ทดลองโดยหาค่าคอมมอนโมดรีเจกชันเรโซ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนของวงจรอินสตรูเมนเตชันแอมป์ฟลายเออร์ โดยที่

$$CMRR = 10 \log (A_d / A_c)$$

โดย

A_d : อัตราขยายของวงจรแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

A_c : อัตราขยายของวงจรแบบคอมมอนโหมด

7.1.1 ขั้นตอนการทดลองหาอัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

1. นำขาอินพุตลบของวงจรอินสตรูเมนเตชันแอมป์ ต่อลงกราวด์
2. ป้อนสัญญาณไซน์ (sine wave) ขนาด 5 mVp-p ที่ความถี่ต่างๆ ดังตารางที่ 7.1 เข้าที่ขาอินพุตบวกของวงจรอินสตรูเมนเตชันแอมป์
3. วัดขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินสตรูเมนเตชันแอมป์ แล้วบันทึกลงในตารางที่ 5.1 พร้อมคำนวณหาอัตราขยาย
4. จากอัตราขยายที่คำนวณได้แต่ละความถี่ในตาราง 7.1 นำมาหาอัตราขยายเฉลี่ย

ความถี่ (เฮิร์ต)	แรงดันเอาต์พุต (Vp-p)	อัตราขยาย (Ad)
1	2.5	500
20	2.5	500
40	2.5	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60	2.5	500
80	2.5	500
100	2.5	500
120	2.5	500
140	2.5	500
160	2.5	500
180	2.5	500
200	2.5	500

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลโหมดที่ความถี่ต่างๆ

อัตราขยายเฉลี่ย แบบดิฟเฟอเรนเชียล โหมด (Ad) = 500

7.1.2 ขั้นตอนการทดลองหาอัตราขยายแบบคอมมอน โหมด

1. นำขาอินพุตบวกและอินพุตลบต่อเข้าด้วยกัน
2. ป้อนคลื่นไซน์ขนาด 3 Vp-p ที่ความถี่ต่างๆดังตารางที่ 7.2 เข้าที่ขาอินพุตทั้งสองของวงจรอินสตรูเมนต์เซ็นแอมป์
3. วัดขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินสตรูเมนต์เซ็นแอมป์ แล้วบันทึกลงในตารางที่ 5.2 พร้อมคำนวณหาอัตราขยาย
4. จากอัตราขยายที่คำนวณได้แต่ละความถี่ในตารางที่ 7.2 นำมาหาอัตราขยายเฉลี่ย

ความถี่ (เฮิรต์)	แรงดันเอาต์พุต (Vp-p)	อัตราขยาย (Ad)
1	1.0	0.333
20	1.1	0.366
40	1.1	0.366
60	1.1	0.366
80	1.1	0.366
100	1.08	0.360
120	1.08	0.360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

140	1.08	0.360
160	1.08	0.360
180	1.08	0.360
200	1.08	0.360

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยายแบบคอมมอน โหมดที่ความถี่ต่างๆ

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายเฉลี่ยแบบ Common Mode (Ac)} &= 0.359 \\ \text{ค่า Common Mode Rejection Ratio (CMRR)} &= 20 \log (A_d / A_c) \\ &= 20 \log (500 / 0359) \\ &= 62.877 \text{ dB} \end{aligned}$$

7.1.3 ขั้นตอนการทดลองการตอบสนองทางความถี่ของวงจรอินสตรูเมนต์ชันแอมป์รีฟลายเออร์

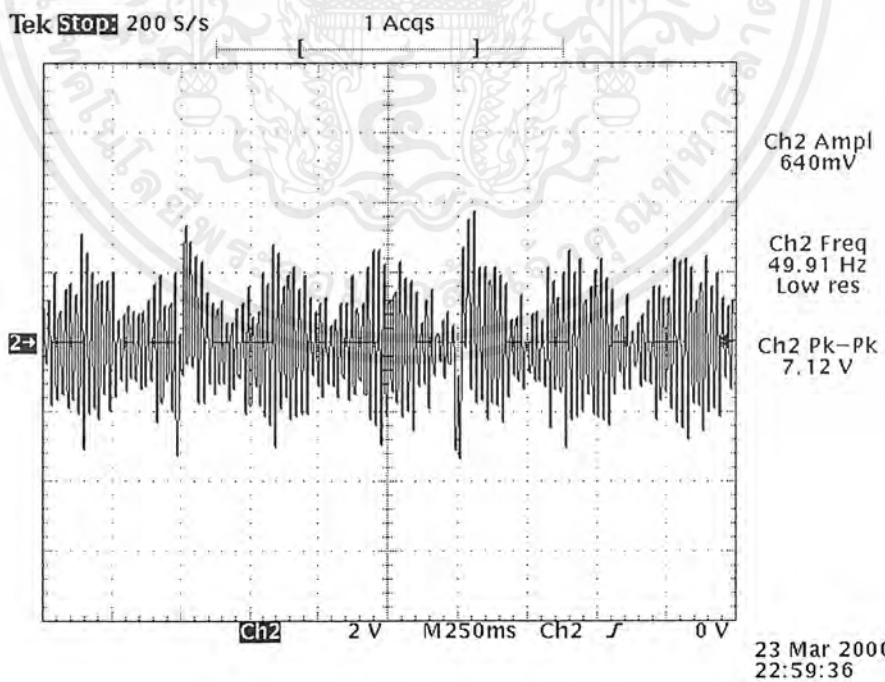
1. นำขาอินพุตของวงจรอินสตรูเมนต์ชันแอมป์ ต่อลงกราวด์
2. ป้อนสัญญาณไซน์ (sine wave) ขนาด 5 mVp-p ที่ความถี่ต่างๆ ดังตารางที่ 7.3 เข้าที่ขาอินพุตบวกของวงจรอินสตรูเมนต์ชันแอมป์
3. วัดขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร และบันทึกผลลงในตารางที่ 7.3 พร้อมกำหนดหาอัตราขยาย (dB)
4. จากอัตราขยายที่คำนวณได้แต่ละความถี่ในตารางที่ 7.3 นำมาพล็อตกราฟในเซมิ ล็อกได้ดังรูปที่ 5.1

ความถี่ (เฮิรต์)	Vo (Vp-p)	Vo/Vin	20 log Vo/vin (dB)
10	2.5	500	53.979
100	2.5	500	53.979
200	2.5	500	53.979
300	2.5	500	53.979
400	2.5	500	53.979
500	2.5	500	53.979
600	2.5	500	53.979
700	2.5	500	53.979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

800	2.5	500	53.979
900	2.5	500	53.979
1000	2.5	500	53.979
2000	2.5	500	53.979
3000	2.45	490	53.803
4000	2.4	480	53.624
5000	2.3	460	53.255
6000	2.2	440	52.869
7000	2.1	420	52.464
8000	2	400	52.041
9000	1.9	380	51.59
10000	1.75	350	50.88

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรอินสตรูเมนแอมป์ และสัญญาณหัวใจเมื่อผ่านวงจร Instrument amplifier แสดงได้ดังรูปที่ 7.1

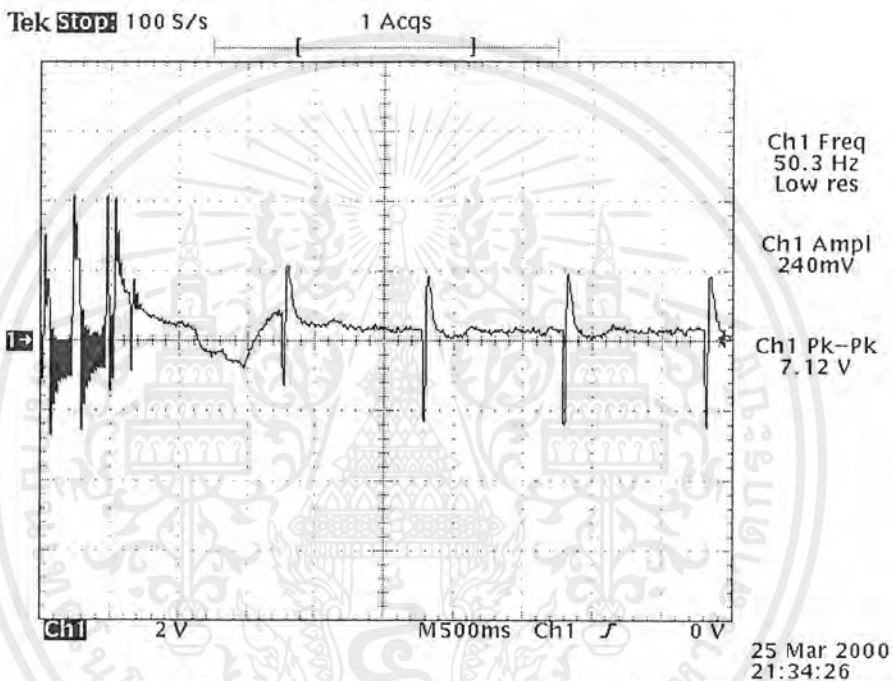


รูปที่ 7.1 สัญญาณหัวใจเมื่อผ่านวงจร Instrument Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ทดสอบการทำงานวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ

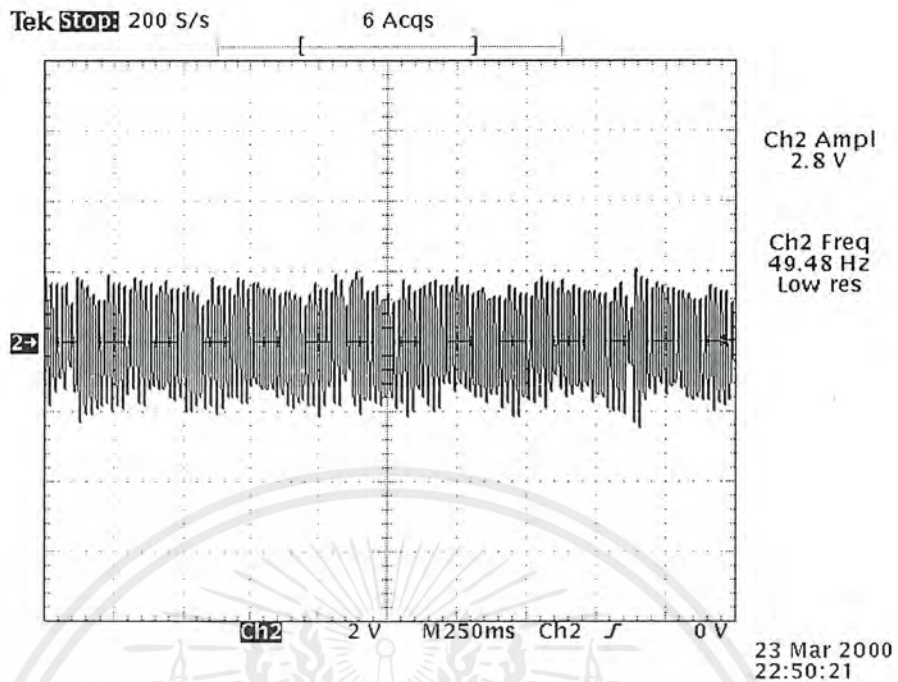
ทำการทดสอบโดยป้อนสัญญาณคลื่นหัวใจจำลอง ให้กับวงจร แล้วทำการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุต จากนั้นทำการดึงสายออกจากขั้วอินพุตหนึ่งแล้วทำการต่อคืนอย่างรวดเร็ว แล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้นจะปรากฏว่ารูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตลดยเหนือระดับแรงดันอ้างอิงแล้ว กลับลงมาสู่สภาวะเดิมอย่างรวดเร็วเปรียบเสมือนเกิดการรบกวนของอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้น รูปร่างลักษณะดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แสดงการทำงานของวงจรปรับศูนย์

7.3 ทดสอบการทำงานวงจรมอดูเลเตอร์แบบAM

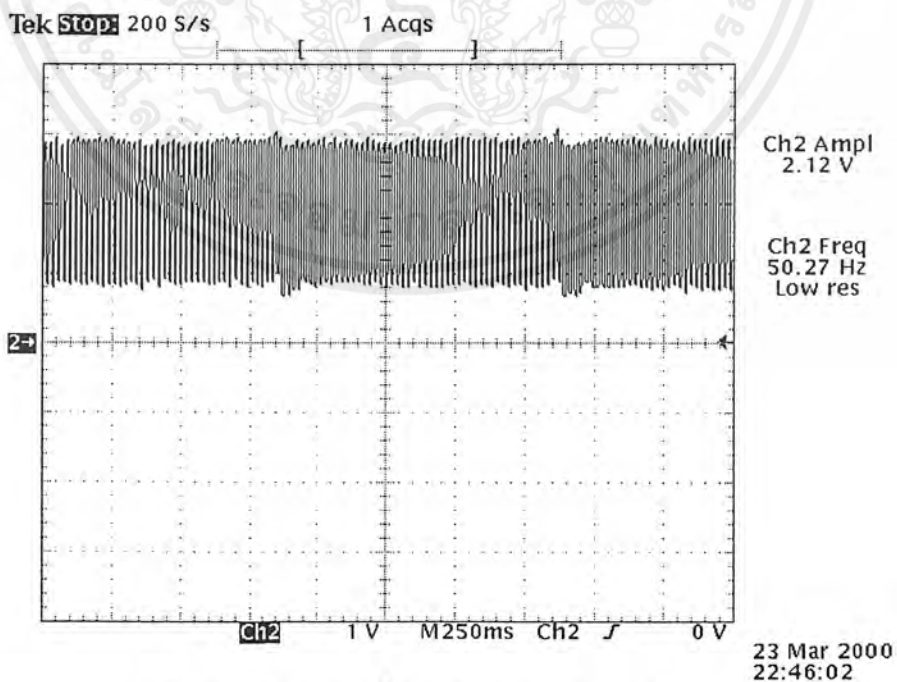
วงจร AM มอดูเลเตอร์นั้นจะใช้ OTA เบอร์ LM 3080 มอดูเลตสัญญาณของอินพุตและสัญญาณพาหะที่ได้จากการสวิตซ์ของ วงจรแหล่งจ่ายไฟของวงจรลดย(Dc to dc convertor) ซึ่งการปรับแต่งวงจรมานั้นจะทำการปรับแต่งที่ขนาดของสัญญาณพาหะที่ความต้านทานปรับค่าได้ (VR1) เพื่อเกิดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่เหมาะสมไม่ให้เกิดการสูญหายของสัญญาณลักษณะของรูปคลื่นเมื่อผ่านวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 รูปสัญญาณเมื่อผ่านวงจร AM Modulator

7.4 ทดสอบการทำงานวงจร Optoisolator

วงจร Opto Isolator นั้นเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแยกทั้งระบบ ไฟเลี้ยงและสัญญาณของวงจรทั้งสองส่วนออกจากกัน โดยใช้แสงเป็นตัวส่งผ่านเพื่อความปลอดภัยของผู้วัดสัญญาณเมื่อผ่านวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 7.4

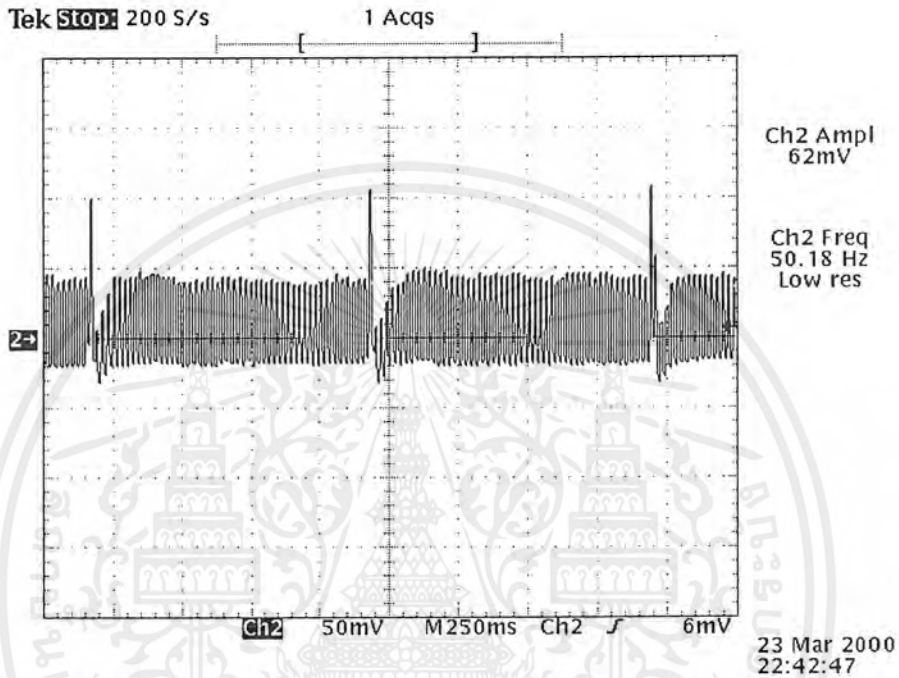


รูปที่ 7.4 รูปสัญญาณเมื่อผ่านวงจร Opto Isolator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

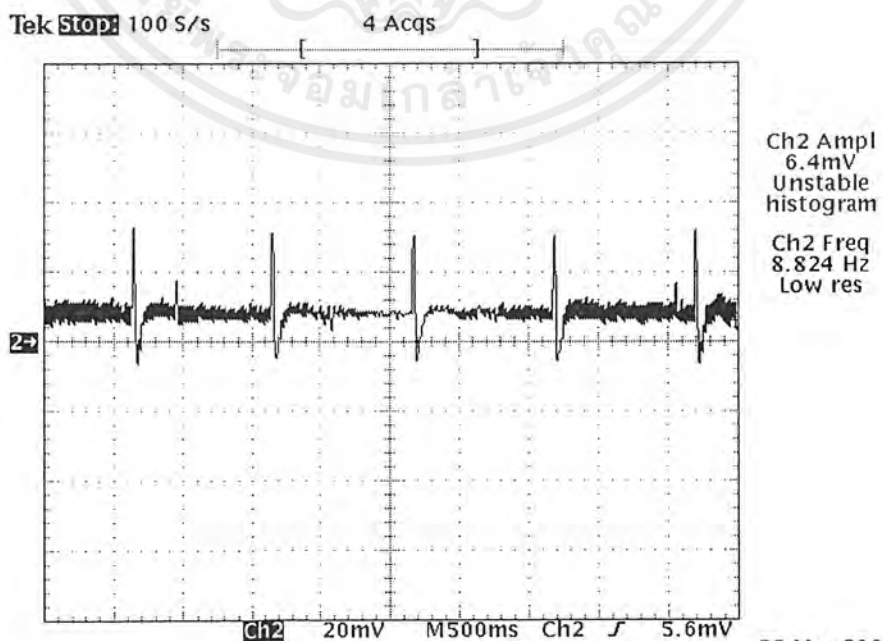
7.5 ทดสอบการทำงานวงจร Detector AM

วงจร Detector AM นั้นเป็นการคืนสัญญาณที่ได้โดยใช้ ไดโอดในการตัดสัญญาณเป็นแบบเป็นแบบครึ่งคลื่นหลังจากนั้นจึงใช้ RC Filter ในการกำจัดสัญญาณพาหะรูปสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 7.5 (ก) และ 7.5 (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 7.5 (ก) แสดงสัญญาณหัวใจเมื่อผ่าน ไดโอดดีเทกเตอร์ 1N60

รูปที่ 7.5 (ข) แสดงรูปสัญญาณเมื่อผ่านวงจรดีเทกเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6 ทดสอบการทำงานวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ทำการทดสอบโดยหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร ซึ่งวงจรที่เลือกใช้เป็นวงจรแบบ บัตเตอร์เวิร์ทอันดับสอง ตามทฤษฎีผลตอบสนองจะมีความชันเท่ากับ -40 เดซิเบลต่อดีเคด หรือ -12 เดซิเบลต่ออ็อกเตท (dB / octave) เนื่องจากเลือกอุปกรณ์ (ตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุ) ที่สามารถหาได้ง่าย ซึ่งความถี่คัทออฟที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 225 เฮิรท์ ในการทดสอบคุณสมบัติของวงจรที่ใช้งานจริงโดยนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม P-Spice

7.6.1 ขั้นตอนการทดสอบผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

1. ป้อนสัญญาณรูปไซน์ขนาด 500 mVp-p เข้าที่อินพุทของวงจร กรองความถี่ต่ำผ่าน โดยใช้ความถี่ต่าง ๆ ตามตารางที่ 7.4
2. วัดขนาดสัญญาณเอาต์พุทที่ได้และคำนวณอัตราขยายบันทึกลงในตารางที่ 7.4
3. ทำการวาดรูปวงจรถงในโปรแกรม P-Spice ----> simulation ----> run probe เพื่อพล็อตกราฟดังรูป 7.6
4. ทำการหาความถี่คัทออฟที่ความถี่ 200 เฮิรท์

ความถี่ (เฮิรท์)	เอาต์พุท (mVp-p)	20 log Vo/Vin (dB)
20	500	0
40	470	-0.537
60	450	-0.915
80	430	-1.31
100	420	-1.51
120	420	-1.51
140	410	-1.72
160	395	-2.04
180	380	-2.38
200	360	-2.85
220	350	-3.09
240	350	-3.09
260	340	-3.35
280	325	-3.741
300	310	-4.152
400	275	-5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500	220	-7.13
-----	-----	-------

ตารางที่ 7.4 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยาย (dB) ของวงจร Low Pass Filter

จากตารางที่ 7.4 ที่ความถี่ 200 เฮิรท์

$$\text{Loss (dB)} = 20 \log (360 / 500) = -2.85 \text{ dB}$$

7.7 วงจรกรองความถี่แบบกั้นไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะช่วง

ทดสอบโดยหาผลการตอบสนองทางความถี่ต่างๆ โดยวงจรนี้มีความถี่ศูนย์กลางที่ 50 เฮิรท์ ซึ่งนำผลที่ได้จากการทดลองจริง ไปเปรียบเทียบกับผลจากโปรแกรม P-Spice โดยมีการทดลองดังนี้
ขั้นตอนการทดสอบผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบกั้นไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะ

ป้อนสัญญาณรูปไซน์ขนาด 500 mVp-p เข้าที่อินพุตของวงจร โดยใช้ความถี่ต่างๆ ตามตารางที่ 7.5

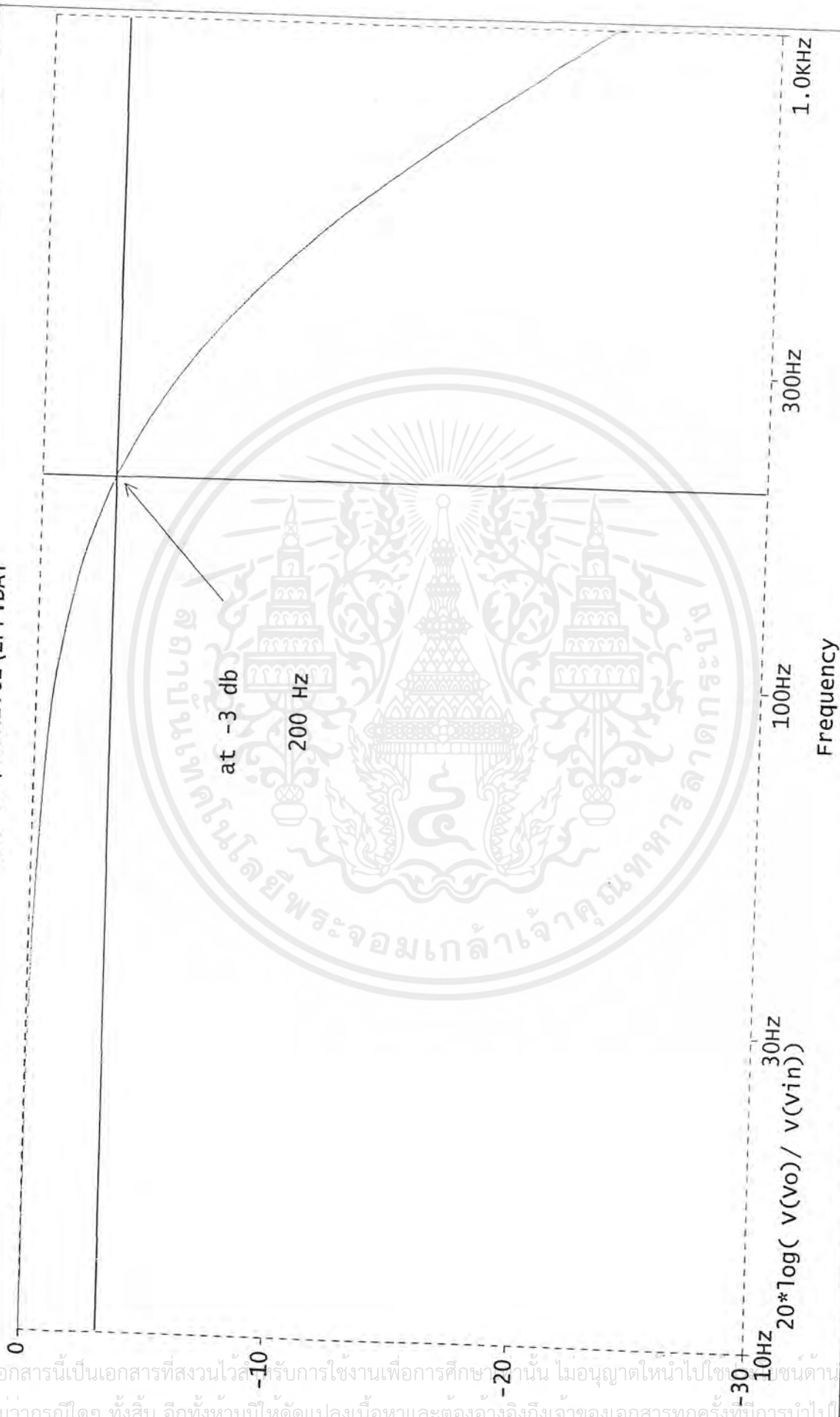
1. วัดขนาดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้และ คำนวณอัตราขยายบันทึกลงในตารางที่ 7.5
2. วาดรูปวงจรลงในโปรแกรม P-Spice ----> simulation ----> run probe เพื่อ พล็อตกราฟดังรูป 7.8
3. ทำการหาความถี่ศูนย์กลาง

ความถี่ (เฮิรท์)	เอาต์พุต (mVp-p)	20 log Vo/Vin (dB)
10	500	0
20	500	0
30	500	0
40	430	-1.31
50	220	-7.13
60	380	-2.38
70	390	-2.15
80	400	-1.93
100	450	-0.72
200	480	-0.35
300	500	0
1000	500	0

ตารางที่ 7.5 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและอัตราขยาย (dB) ของวงจร Band Reject Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(A) C:\MSIMEV62\LPF.DAT



A1:(200.277,-3.0519) A2:(10.000,-8.8782m) DIFF(A):(190.277,-3.0430)

Date: October 02, 1999

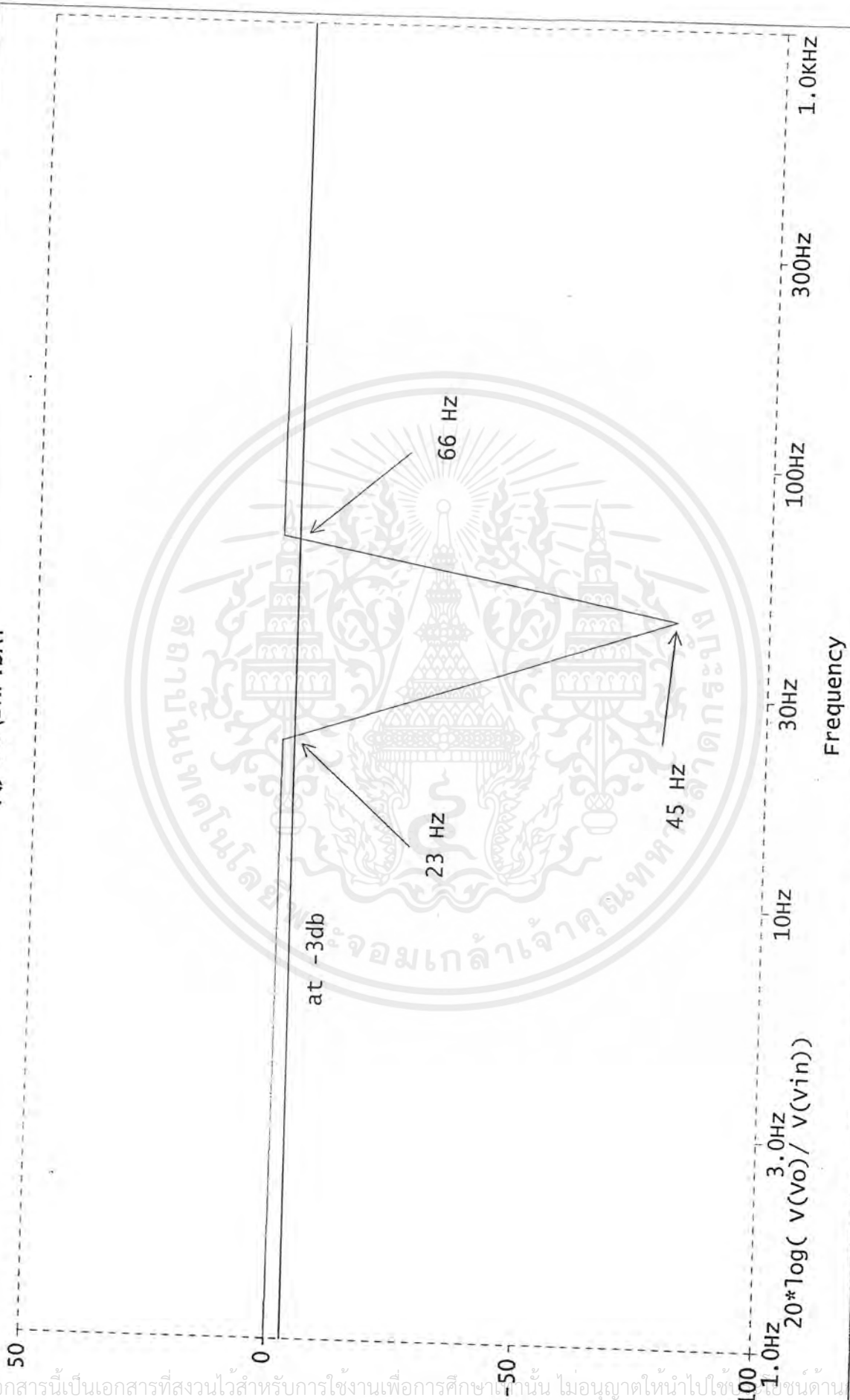
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำโดยไม่
 ได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

Date/Time run: 10/03/99 14:46:42

* A:\BRF.sch

Temperature: 27.0

(Q) A:\BRF.DAT



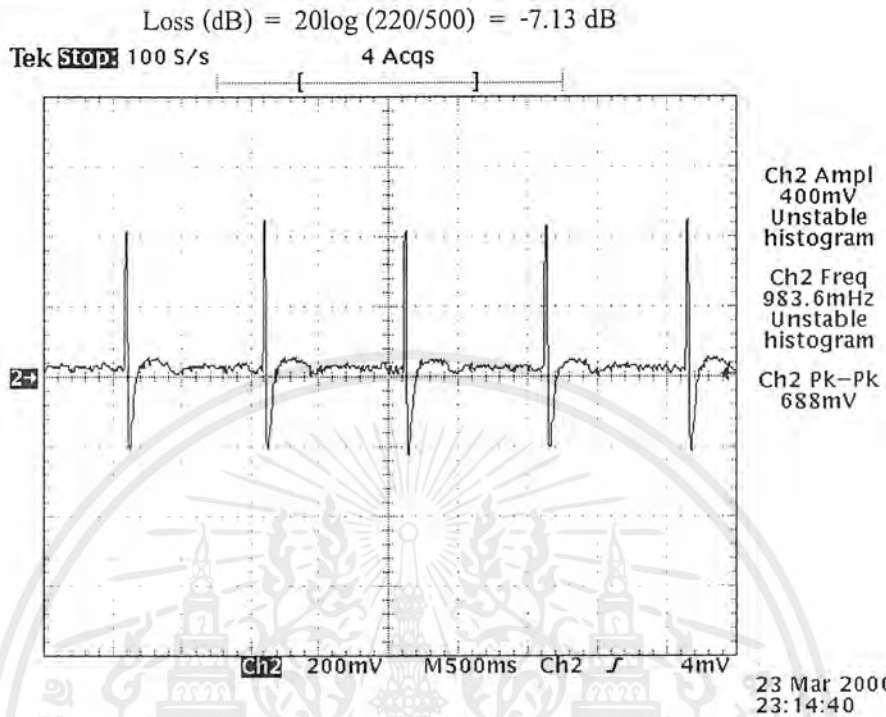
Q1:(23.582,-3.1496) Q2:(65.793,-4.5814) DIFF(Q):(-42.211,1.4317)
 Date: October 03, 1999

รูปที่ 7.7 แสดงกราฟการตอบสนองความถี่ของวงจรความถี่แบบกันไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะ
 ช่วงที่จำลองบนโปรแกรม P-Spice

Time: 14:51:57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ในวาทกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

จากตารางที่ 7.5 ที่ความถี่ 50 เฮิรท์



รูปที่ 7.8 แสดงรูปของสัญญาณหัวใจเมื่อผ่าน 50 HZ Band reject

7.8 ทดสอบหาผลตอบสนองความถี่ของภาคมอดคูเลเตอร์ถึงวงจรถักความถี่ 50 HZ

ขั้นตอนการทดลอง

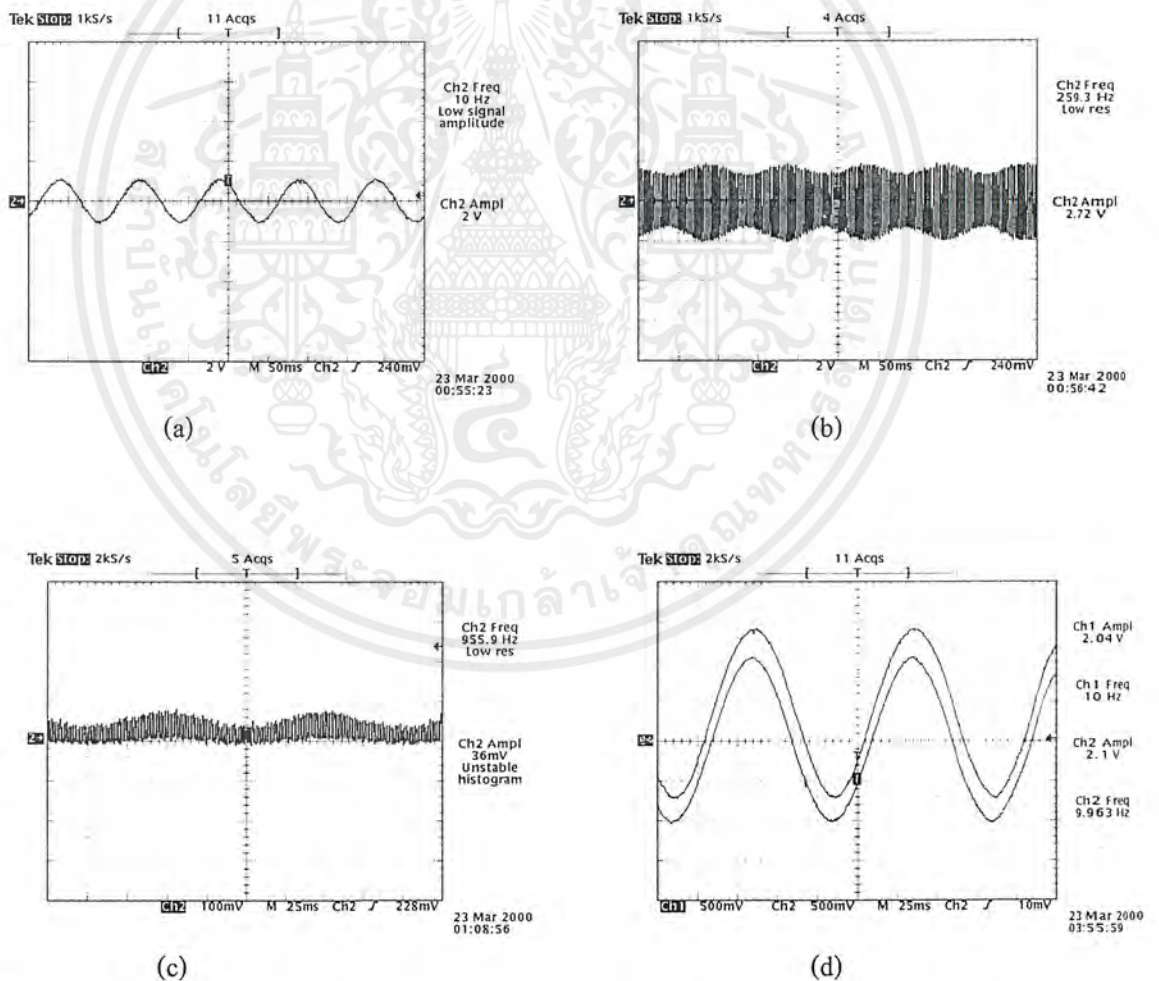
1. ป้อนสัญญาณอินพุทขนาด 2 vp-p เข้าที่ขา 5 ของ LM 3080 เพื่อเป็นสัญญาณมอดคูเลตติ้ง (Modulating signal)
2. ทำการปรับสัญญาณพาหะที่ได้จาก Dc to dc convertor โดยใช้ VR1 ให้ได้สัญญาณที่เหมาะสม โดยที่ O/P สัญญาณไม่เกิดการ Overmod
3. ปรับค่ากระแสไบอัสของ ทรานซิสเตอร์โดยปรับ VR2 ในภาค Opto isolator ให้ได้กระแสไบอัสตามที่ออกแบบไว้ในที่นี้ตั้งกระแส IC ไว้ที่ 10 mA
4. วัดสัญญาณที่จุดต่างๆบันทึกไว้
5. วัดสัญญาณ O/P ที่วงจรถักความถี่ 50 HZ บันทึก ไว้ในตารางที่ 7.6

ความถี่ (HZ)	เอาต์พุท (Vp-p)	$20 \log V_o/V_i$ (db)
10	2.08	0.34
20	2.1	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30	2	0
40	2	0
50	500 m	-32.04
60	1.9	-0.44
70	1.8	-0.91
80	1.75	-1.16
90	1.6	-1.93
100	1.6	-1.93

ตารางที่ 7.6 แสดงผลตอบสนองความถี่



รูปที่ 7.9 แสดงสัญญาณผ่านจุดต่างๆ (a) input ,(b) modulator o/p,(c) detector AM และ (d) i/p เปรียบเทียบ o/p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.9 การทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟของแหล่งจ่ายไฟ

การทดสอบนี้จะสามารถบอกให้รู้ได้ว่าแหล่งจ่ายสามารถกระแสไฟได้เพียงพอสำหรับการใช้งานหรือไม่ ทดสอบโดยนำค่าความต้านทานค่าต่ำมาทดสอบ โดยต่อคร่อมที่แรงดันทางออกแล้วทำการวัดแรงดันตกคร่อมแล้วคำนวณหากระแส ตามตารางที่ 7.6 และ 7.7

ทดสอบการจ่ายกระแสของของแหล่งจ่ายไฟลอย (Dc to dc convertor)

RL(Ohm)	-VF (volts)	IF (mA)	+VF (volts)	IF (mA)
100	5.09	50.9	5.1	51
91	5.08	55.8	5.09	56
82	5.08	61.9	5.09	62
68	5.08	74.7	5.08	74
56	5.07	90.5	5.08	90.7
47	5.07	107.8	5.08	108
43	5.07	117.9	5.08	118.1
39	5.07	130	5.07	130
33	5.04	152.7	5	151.5
30	4.97	165.6	4.74	158
24	4.29	178.7	4.03	167.9

ตารางที่ 7.7 ตารางแสดงผลการจ่ายกระแสของวงจร Dc to dc convertor

การทดสอบความสามารถจ่ายไฟของวงจรแหล่งจ่ายไฟหลัก (Dc supply)

RL (Ohm)	+V (volts)	IF (mA)	-V (volts)	IF(mA)
100	5.14	54.15	5.11	51.1
91	5.12	56.2	5.1	56
82	5.11	62.3	5.1	62.2
68	5.11	75.1	5.1	75
56	5.1	91	5.1	91
47	5.09	108.3	5.1	108.5
43	5.08	118.13	5.09	118.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39	5.08	130.25	5.09	130.5
33	5.07	153.6	5.09	154.2
30	5.06	168.6	5.09	169.6
24	5.04	210	5.08	211.6

ตารางที่ 7.8 แสดงผลการจ่ายกระแสของวง Dc supply

7.10 ทดสอบการทำงานวงจร Programmable and Offset

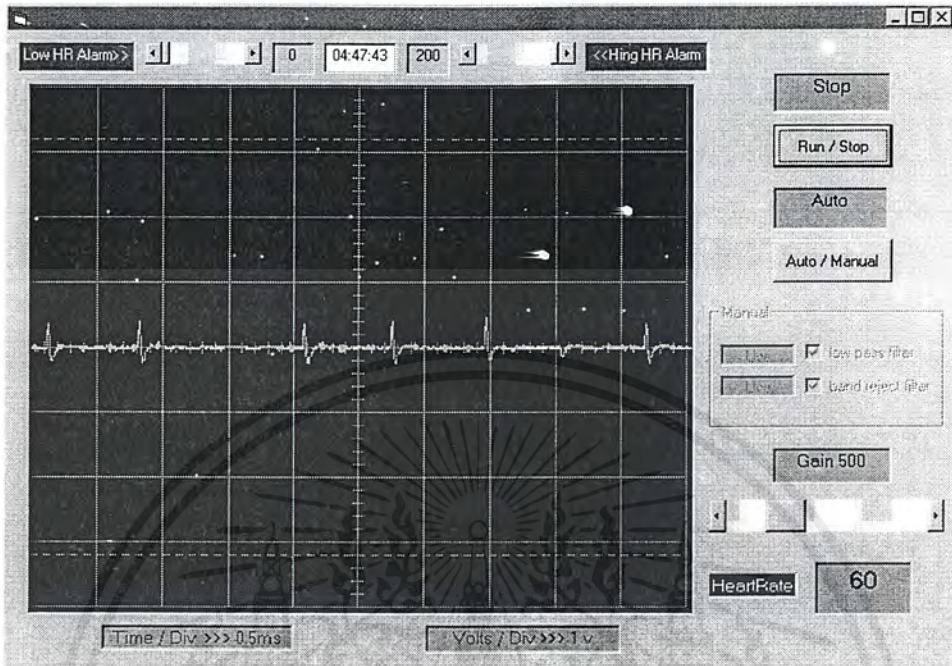
ในส่วนวงจร Programmable สามารถเปลี่ยนอัตราขยายได้ 4 ระดับ คือ 0.5 , 1 , 2 และ 2.5 เท่า ซึ่งควบคุมโดยข้อมูลจำนวน 2 บิต (P0.0 , P0.1) จาก IC 89C51 ผ่าน Analog Switch ทดสอบโดยป้อนแรงดันอินพุต 1 โวลต์ และทำการวัดแรงดันเอาต์พุตโดยเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ P0.0 และ P0.1 ดังแสดงในตารางที่ 7.8 และในส่วนวงจร Offset ใช้ระดับแรงดันออฟเซตที่ 2.5 โวลต์

P0.0	P0.1	Vin (v)	Vout (v)	Gain =Vo/Vin
Low	Low	1	0.5	0.5
Low	High	1	1	1
High	Low	1	2	2
High	High	1	2.5	2.5

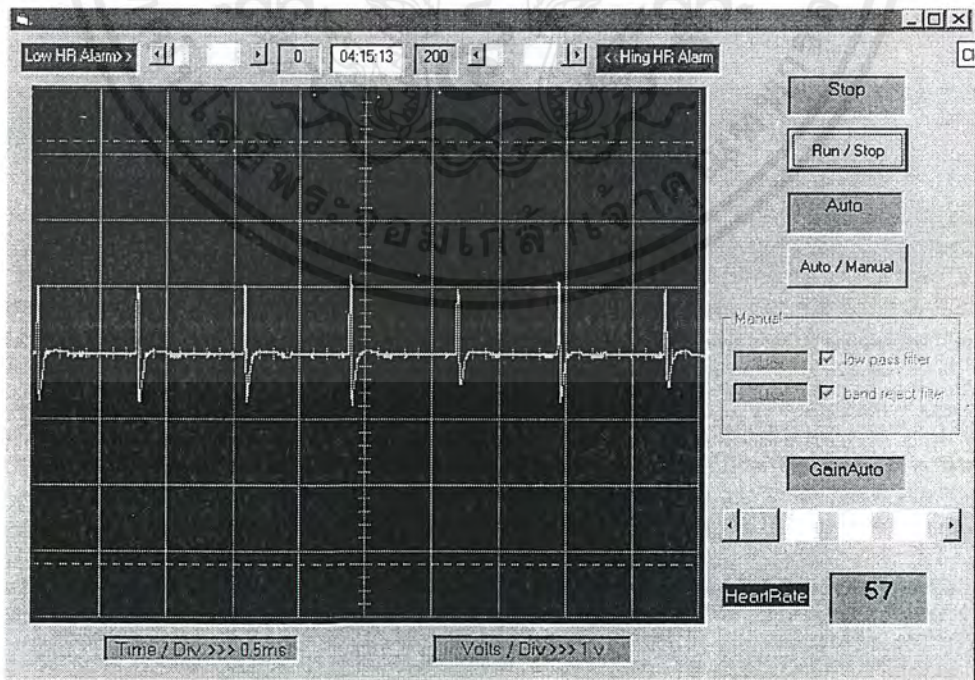
ตารางที่ 7.9 แสดงผลการทดลองของวงจร Programmable

7.11 ทดสอบการใช้งานของโปรแกรมแสดงผลที่ Computer

ทำการทดสอบโดยนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากเครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจำลอง (ECG Simulator) และวัดสัญญาณโดยให้แสดงผลที่คอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม และควบคุมการทำงาน เปลี่ยนระดับของอัตราขยายต่างๆ เลือกใช้และไม่ใช้ Low Pass Filter และ Band Reject Filter ซึ่งการทำงานแสดงดังรูปต่อไปนี้

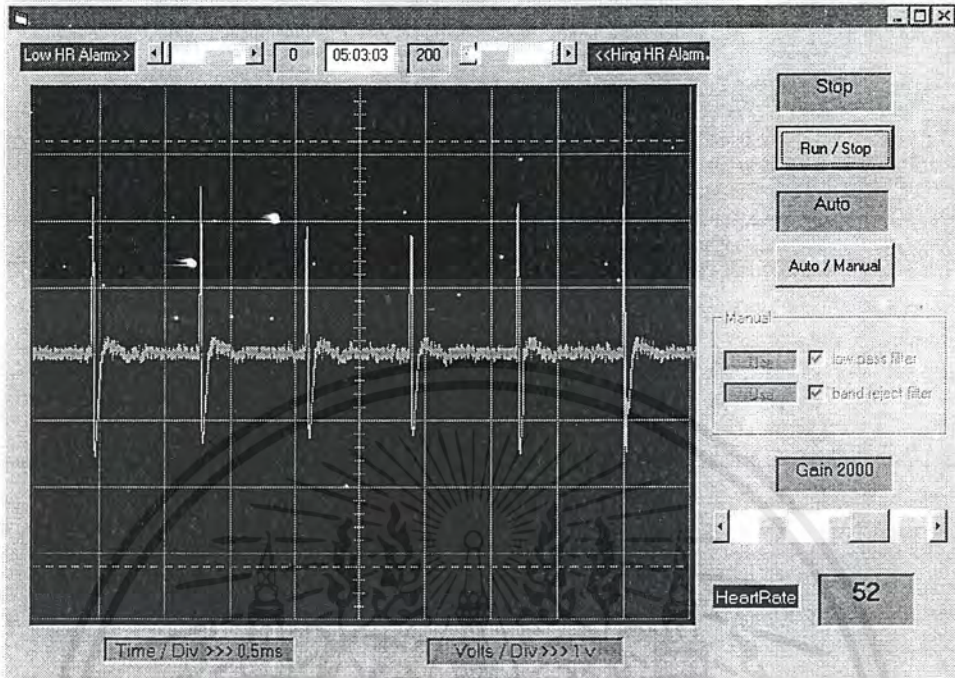


รูปที่ 7.10 แสดงการวัดโดยเลือก Gain 500

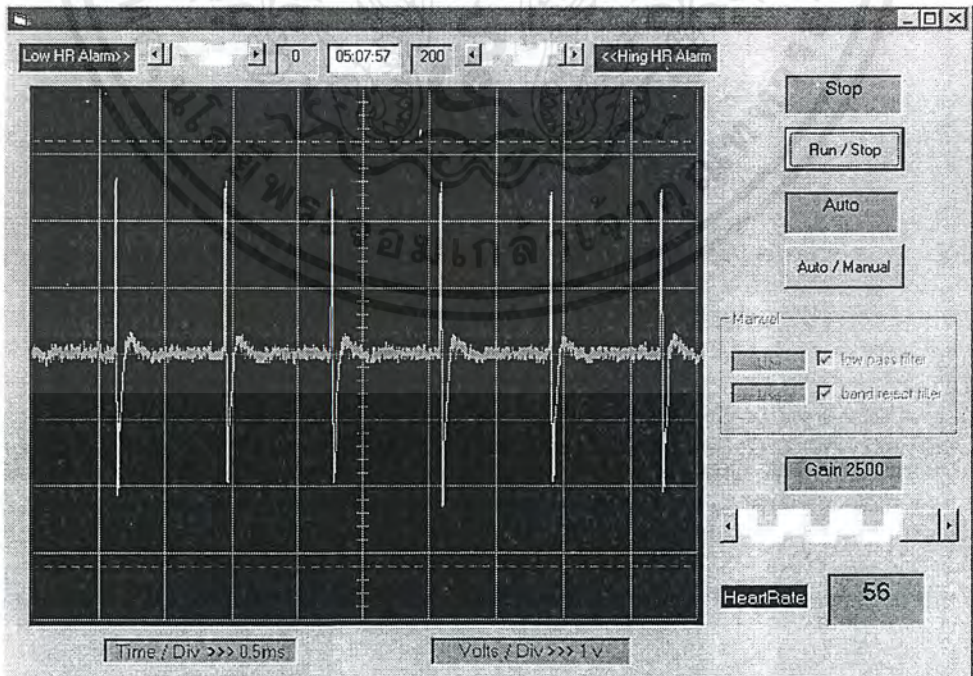


รูปที่ 7.11 แสดงการวัดโดยเลือก Gain 1000 (Gain Auto)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

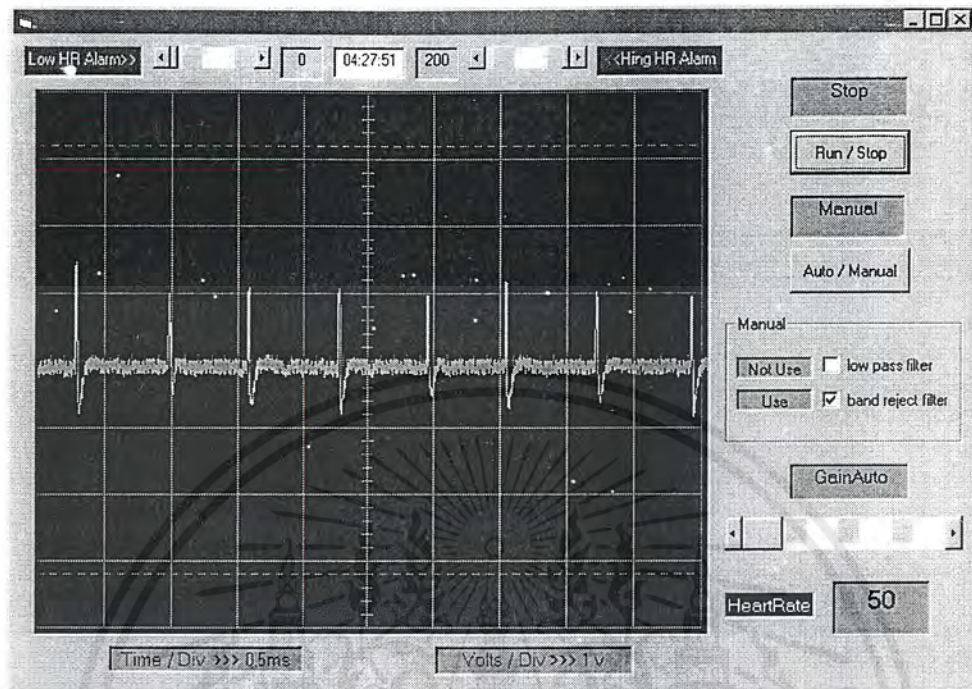


รูปที่ 7.12 แสดงการวัดโดยเลือก Gain 2000

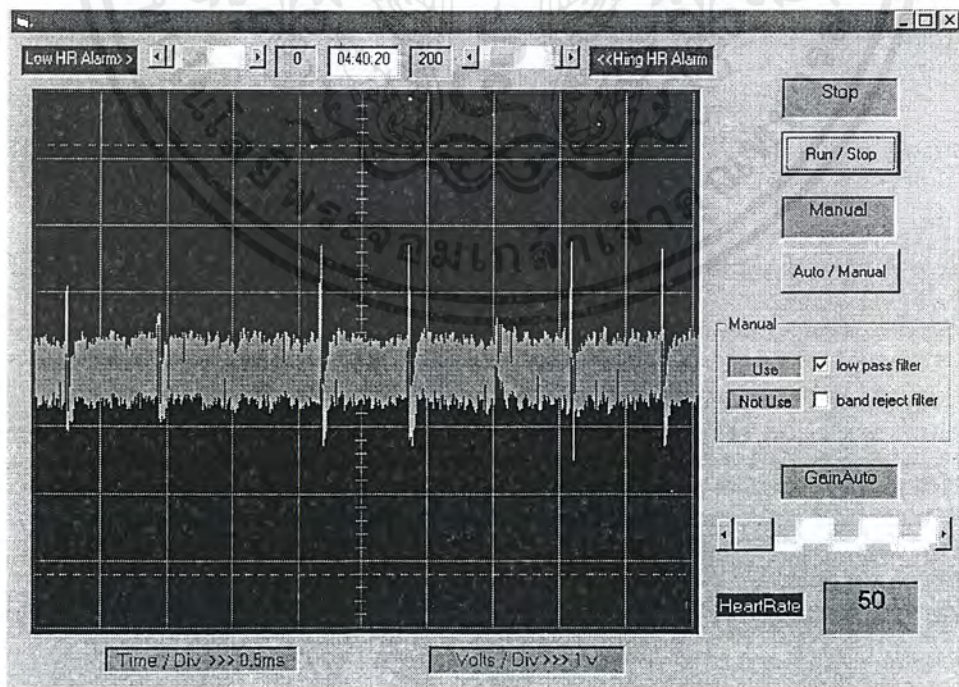


รูปที่ 7.13 แสดงการวัดโดยเลือก Gain 2500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.14 แสดงการวัดโดยเลือกใช้ Band Reject Filter อย่างเดียว



รูปที่ 7.15 แสดงการวัดโดยเลือก ใช้ Low Pass Filter อย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลและวิจารณ์ผลโครงการ

เครื่องวัดสัญญาณคลื่นหัวใจในโครงการนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการออกแบบวงจรขยายที่ให้ประสิทธิภาพในการใช้งาน ได้ดีคือขนาดของสัญญาณต้องมีความแรงพอที่จะใช้ประโยชน์ได้และสัญญาณรบกวนต้องต่ำด้วยดังนั้นจึงเลือกวงจรขยายแบบ instrument amplifier ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ differential amplifier มีคุณสมบัติที่สามารถลดสัญญาณที่มีลักษณะเดียวกันนั้นก็คือสัญญาณรบกวนให้ลดลงได้ และจะสามารถขยายสัญญาณที่มีความแตกต่างให้มีขนาดแรงขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทดลองเรื่อง วงจร Instrument amplifier แต่ในการปฏิบัติจริงนั้น ไม่เพียงแต่การออกแบบวงจรต้องใช้งานได้ดี การออกแบบระบบและการออกแบบลายวงจรก็มีส่วนสำคัญในการลดสัญญาณรบกวนรวมถึงการชิลสายสัญญาณต้องมีการคำนึงถึงความสำคัญในข้อนี้ด้วยเพราะสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ได้อยู่เสมอ แต่ในส่วนของโครงการนี้จะยังสังเกตเห็นสัญญาณรบกวนปะปนกับสัญญาณคลื่นหัวใจอยู่

ในส่วนของการแสดงผลนั้นจะเป็นการนำสัญญาณที่ได้จากส่วนของเครื่องวัดทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปแสดงผลโดยเขียนขึ้น โดยภาษาวิซวลเบสิคจากการใช้งานจะเห็นว่าสามารถส่งผ่านเข้าไปแสดงผลได้และสามารถควบคุม ได้ดีระดับหนึ่ง แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนจากคอมพิวเตอร์มารบกวนวงจรด้านวัดสัญญาณ ทำให้เกิดเป็นสัญญาณรบกวนปรากฏที่ภาคแสดงผลด้วย

ดังนั้นสัญญาณรบกวนนั้นจะเป็นปัญหาหลักสำหรับโครงการนี้ ดังนั้นต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก

กิตติกรรมประกาศ

การสร้างโครงการเรื่องเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์นั้น จะสำเร็จไปไม่ได้ถ้าขาดปัจจัยต่างๆในการปฏิบัติงานทั้งทางด้านรูปธรรมและนามธรรม ที่สำคัญอย่างยิ่งคือ การได้รับคำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษาคือ อาจารย์ พิชัย คูศิริวานิชกร อาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาตลอดจนกำลังใจจาก พ่อ ,แม่ ,น้อง และเพื่อนๆ ทางผู้จัดทำขอขอบคุณท่านมีพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

.....
(จตุพร ไสบาล)

.....
(จำริญ สุกิจไพบูลย์)

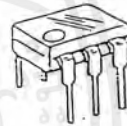
6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

These devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Convenient Plastic Dual-in-Line Package
- Most Economical Optoisolator
- High Input-Output Isolation Guaranteed — 7500 Volts Peak
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- UL Recognized. File Number E54915
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.

4N25
4N25A
4N26
4N27
4N28

6-PIN DIP
OPTOISOLATORS
TRANSISTOR OUTPUT



CASE 730A-02
PLASTIC

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

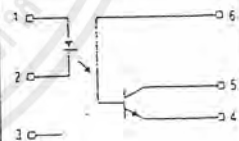
Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C
OUTPUT TRANSISTOR			
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		3.94	mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	-55 to +100	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_{sol}	360	°C

(1) Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.
For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

SCHEMATIC



1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. CASE



4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.15	1.5	Volts
		—	1.3	—	
		—	1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	18	—	pF
OUTPUT TRANSISTOR					
Collector-Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{CEO}	—	1	50	nA
		—	1	100	
($V_{CE} = 10\text{ V}, T_A = 100^\circ\text{C}$)	I_{CEO}	—	1	—	μA
Collector-Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)	I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)	$V_{(BR)ICEO}$	30	45	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)ICBO}$	70	100	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)IECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}, V_{CE} = 5\text{ V}$)	h_{FE}	—	500	—	—
Collector-Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}, V_{CE} = 0$)	C_{CE}	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}, V_{CB} = 0$)	C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}, V_{EB} = 0$)	C_{EB}	—	9	—	pF
COUPLED					
Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}, V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_C	2	7	—	mA
		1	5	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}, I_F = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time ($I_F = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$)	t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn-Off Time ($I_F = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$)	t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$)	t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}, V_{CC} = 10\text{ V}, R_L = 100\text{ }\Omega$)	t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}, t = 1\text{ sec}$)	V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$)	R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C_{ISO}	—	0.2	—	pF



TYPICAL CHARACTERISTICS

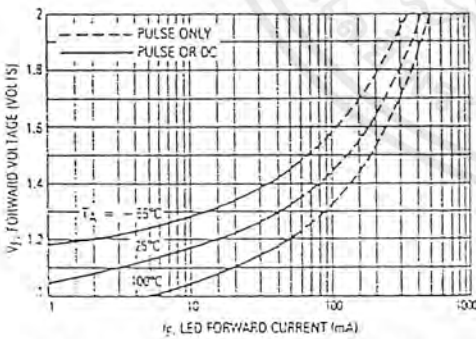


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

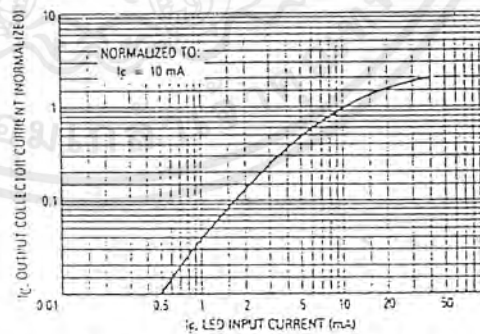


Figure 2. Output Current versus Input Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

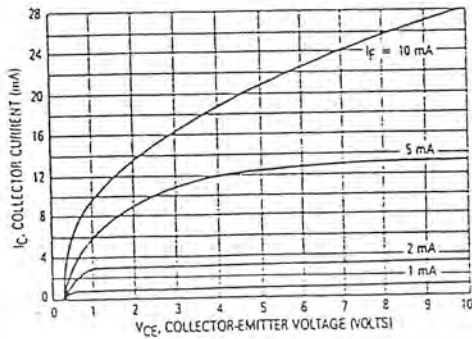


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

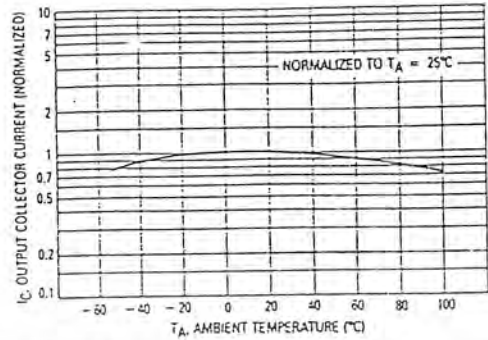


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

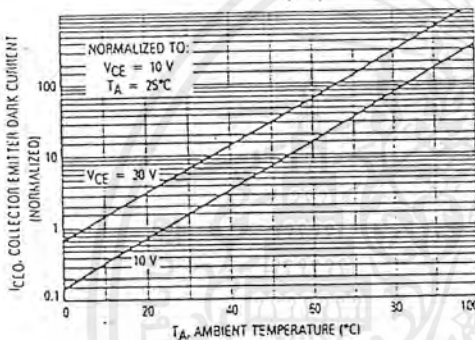


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

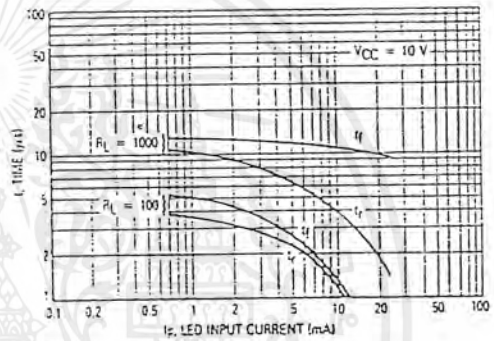


Figure 6. Rise and Fall Times

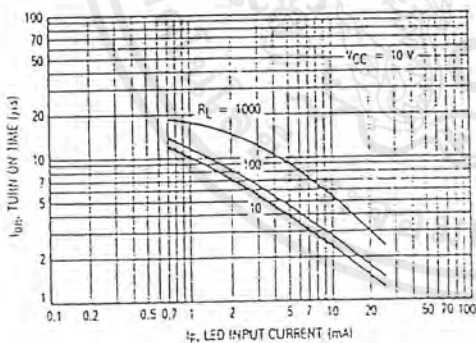


Figure 7. Turn-On Switching Times

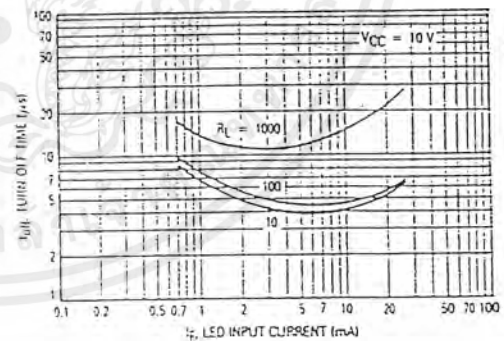


Figure 8. Turn-Off Switching Times



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

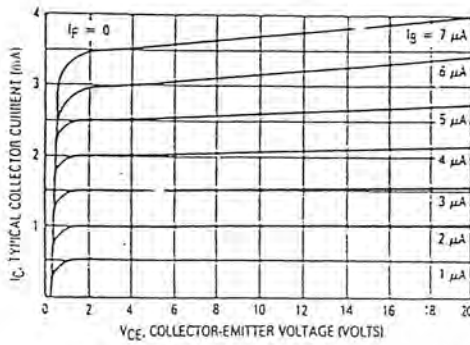


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

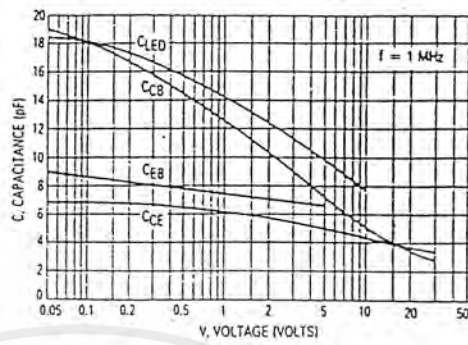


Figure 10. Capacitances versus Voltage

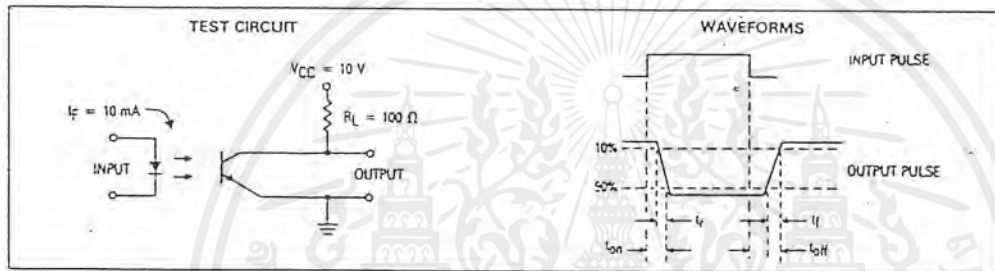
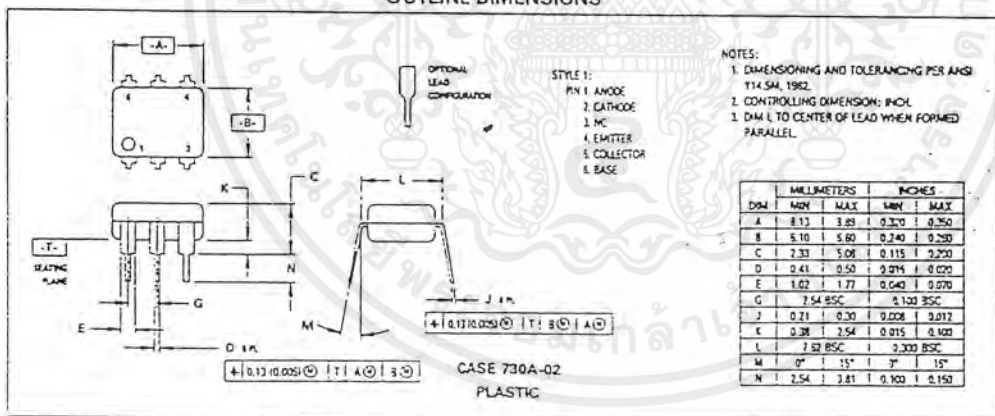


Figure 11. Switching Times



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- Ten Times More Gain Than Other OP-07 Devices
-- (3.0M min)
- Ultra-Low Offset Voltage: $10\mu\text{V}$
- Ultra-Low Offset Voltage Drift: $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Ultra-Stable vs. Time: $0.2\mu\text{V}/\text{month}$
- Ultra-Low Noise: $0.35\mu\text{V p-p}$
- No External Components Required
- Monolithic Construction
- High Common Mode Input Range: $\pm 14.0\text{V}$
- Wide Power Supply Voltage Range: $\pm 3\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$
- Fits 725, 108A/308A, 741 Sockets



PRODUCT DESCRIPTION

The AD OP-07 is an improved version of the industry-standard OP-07 precision operational amplifier. A guaranteed minimum open-loop voltage gain of 3,000,000 (AD OP-07A) represents an order of magnitude improvement over older designs; this affords increased accuracy in high closed loop gain applications. Input offset voltages as low as $10\mu\text{V}$, bias currents of 0.7nA , internal compensation and device protection eliminate the need for external components and adjustments. An input offset voltage temperature coefficient of $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ and long-term stability of $0.2\mu\text{V}/\text{month}$ eliminate recalibration or loss of initial accuracy.

A true differential operational amplifier, the AD OP-07 has a high common mode input voltage range ($\pm 14\text{V}$) high common mode rejection ratio (up to 126dB) and high differential input impedance ($50\text{M}\Omega$); these features combine to assure high accuracy in noninverting configurations. Such applications include instrumentation amplifiers, where the increased open-loop gain maintains high linearity at high closed-loop gains.

The AD OP-07 is available in five performance grades. The AD OP-07E, AD OP-07C and AD OP-07D are specified for operation over the 0 to -70°C temperature range, while the AD OP-07A and AD OP-07 are specified for -55°C to -125°C operation. Full processing to the requirements of MIL-STD-883, Class B, is available on the AD OP-07 and AD OP-07A. All devices are packaged in TO-99 hermetically-sealed metal cans.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. Increased open-loop voltage gain (3.0 million, min) results in better accuracy and linearity in high closed-loop gain applications.
2. Ultra-low offset voltage and offset voltage drift, combined with low input bias currents, allow the AD OP-07 to maintain high accuracy over the entire operating temperature range.
3. Internal frequency compensation, ultra-low input offset voltage and full device protection eliminate the need for additional components. This reduces circuit size and complexity and increases reliability.
4. High input impedances, large common mode input voltage range and high common mode rejection ratio make the AD OP-07 ideal for noninverting and differential instrumentation applications.
5. Monolithic construction along with advanced circuit design and processing techniques result in low cost.
6. The input offset voltage is trimmed at the wafer stage. Unmounted chips are available for hybrid circuit applications.

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

Route 1 Industrial Park; P.O. Box 280; Norwood, Mass. 02062
 Tel: 617/329-4700 TWX: 710/394-6577
 West Coast Mid-West Texas
 714/842-1717 312/894-3300 214/231-5094

*Courtesy of Analog Devices Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

($T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

MODEL PARAMETER	SYMBOL	AD OP-07EH			AD OP-07CH			AD OP-07DH		
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX
OPEN LOOP GAIN	A_{VO}	2,000	5,000		1,200	4,000		1,200	4,000	
		1,800	4,500		1,000	4,000		1,000	4,000	
		300	1,000		300	1,000		300	1,000	
OUTPUT CHARACTERISTICS										
Maximum Output Swing	V_{OM}	± 12.5	± 13.0		± 12.0	± 13.0		± 12.0	± 13.0	
		± 12.0	± 12.8		± 11.5	± 12.8		± 11.5	± 12.8	
		± 10.5	± 12.0		± 12.0	± 12.0		± 12.0	± 12.0	
Open-Loop Output Resistance	R_O		60			60			60	
FREQUENCY RESPONSE										
Closed Loop Bandwidth	BW		0.6			0.6			0.6	
Slew Rate	SR		0.17			0.17			0.17	
INPUT OFFSET VOLTAGE										
Initial	V_{OS}		30	75		60	150		60	150
Adjustment Range			45	130		85	250		85	250
Average Drift			± 4			± 4			± 4	
No External Trim	TCV_{OS}		0.3	1.3			(Note 3)			(Note 3)
			0.3	1.3		0.5	1.8		0.7	2.5
With External Trim	TCV_{OSN}		0.3	1.3		0.4	1.6		0.7	2.5
						(Note 3)	(Note 3)		(Note 3)	(Note 3)
Long Term Stability	V_{OS}/Time		0.3	1.5		0.4	2.0		0.5	3.0
INPUT OFFSET CURRENT										
Initial	I_{OS}		0.5	3.8		0.8	6.0		0.8	6.0
Average Drift	TCI_{OS}		0.9	5.3		1.6	8.0		1.6	8.0
			8	35		12	50		12	50
			(Note 3)			(Note 3)			(Note 3)	
INPUT BIAS CURRENT										
Initial	I_B		± 1.2	± 4.0		± 1.8	± 7.0		± 2.0	± 12
Average Drift	TCI_B		± 1.5	± 5.5		± 2.2	± 9.0		± 3.0	± 14
			13	35		18	50		18	50
			(Note 3)			(Note 3)			(Note 3)	
INPUT RESISTANCE										
Differential	R_{IN}	15	50	8	33	7	31			
Common Mode	$R_{IN CM}$		160		120		120			
INPUT NOISE										
Voltage	ϵ_n p-p		0.35	0.6		0.38	0.65		0.38	0.65
			10.3	18.0		10.5	20.0		10.5	20.0
Voltage Density	ϵ_n		10.0	13.0		10.2	13.5		10.2	13.5
			9.6	11.0		9.8	11.5		9.8	11.5
Current	i_n p-p		14	30		15	35		15	35
			0.32	0.80		0.35	0.90		0.35	0.90
Current Density	i_n		0.14	0.23		0.15	0.27		0.15	0.27
			0.12	0.17		0.13	0.18		0.13	0.18
INPUT VOLTAGE RANGE										
Common Mode	CMVR	± 13.0	± 14.0		± 13.0	± 14.0		± 13.0	± 14.0	
		± 13.0	± 13.5		± 13.0	± 13.5		± 13.0	± 13.5	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	106	123		100	120		94	110	
		103	123		97	120		94	106	
POWER SUPPLY										
Current (Quiescent)	I_Q		3.0	4.0		3.5	5.0		3.5	5.0
Power Consumption	P_D		90	120		105	150		105	150
			6.0	8.4		6.0	8.4		6.0	8.4
Rejection Ratio	PSRR	94	107		90	104		90	104	
		90	104		86	100		86	100	
OPERATING TEMPERATURE RANGE										
	T_{min}, T_{max}	0		-70	0		-70	0		-70
PRICES										
(1-24)			\$14.65			\$10.15			\$ 7.35	
(25-99)			\$11.70			\$ 8.10			\$ 5.85	
(100+)			\$ 9.75			\$ 6.50			\$ 4.55	

NOTES:

- Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power. Additionally, AD OP-07A offset voltage is measured five minutes after power supply application at 25°C , -55°C and $+125^\circ\text{C}$.
- Long Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V_{OS} vs Time over extended periods of time and is extrapolated from high temperature test data. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically $2.5\mu\text{V}$. Parameter is not 100% tested; 90% of units meet this specification.
- Parameter is not 100% tested; 90% of units meet this specification.
- The AD OP-07A and AD OP-07 are available fully processed to MIL-STD-883, Class B. Order AD OP-07-AH-883B or AD OP-07-H-883B. Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD OP-07AH (AD OP-07-AH-883B) ⁴			AD OP-07H (AD OP-07-H-883B) ⁴			TEST CONDITIONS	UNITS
MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
3,000	5,000		2,000	5,000		$R_L > 2k\Omega, V_O = \pm 10V$	V/mV
2,000	4,000		1,500	4,000		$R_L > 2k\Omega, V_O = \pm 10V, T_{min}$ to T_{max}	V/mV
300	1,000		300	1,000		$R_L > 500\Omega, V_O = \pm 0.5V, V_S = \pm 3V$	V/mV
± 12.5	± 13.0		± 12.5	± 13.0		$R_L > 10k\Omega$	V
± 12.0	± 12.8		± 12.0	± 12.8		$R_L > 2k\Omega$	V
± 10.5	± 12.0		± 10.5	± 12.0		$R_L > 1k\Omega$	V
± 12.0	± 12.6		± 12.0	± 12.6		$R_L > 2k\Omega, T_{min}$ to T_{max}	V
	60			60		$V_O = 0, I_O = 0$	Ω
	0.6			0.6		$A_{VCL} = +1.0$	MHz
	0.17			0.17		$R_L > 2k$	V/ μ s
10	25		30	75		Note 1	μ V
25	60		60	200		Note 1, T_{min} to T_{max}	μ V
± 4			± 4			$R_p = 20k\Omega$	mV
0.2	0.6		0.3	1.3		T_{min} to T_{max}	μ V/ $^{\circ}$ C
0.2	0.6		0.3	1.3		$R_p = 20k\Omega, T_{min}$ to T_{max}	μ V/ $^{\circ}$ C
0.2	1.0		0.2	1.0		Note 2	μ V/Month
0.3	2.0		0.4	2.8			nA
0.8	4.0		1.2	5.6		T_{min} to T_{max}	nA
5	25		8	50		T_{min} to T_{max}	pA/ $^{\circ}$ C
± 0.7	± 2.0		± 1.0	± 3.0			nA
± 1.0	± 4.0		± 2.0	± 6.0		T_{min} to T_{max}	nA
8	25		13	50		T_{min} to T_{max}	pA/ $^{\circ}$ C
30	80		20	60			M Ω
	200			200			G Ω
0.35	0.6		0.35	0.6		0.1Hz to 10Hz, Note 3	μ V p-p
10.3	18.0		10.3	18.0		$f_O = 10Hz$, Note 3	nV/ \sqrt{Hz}
10.0	13.0		10.0	13.0		$f_O = 100Hz$, Note 3	nV/ \sqrt{Hz}
9.6	11.0		9.6	11.0		$f_O = 1kHz$, Note 3	nV/ \sqrt{Hz}
14	30		14	30		0.1Hz to 10Hz, Note 3	pA p-p
0.32	0.80		0.32	0.80		$f_O = 10Hz$, Note 3	pA/ \sqrt{Hz}
0.14	0.23		0.14	0.23		$f_O = 100Hz$, Note 3	pA/ \sqrt{Hz}
0.12	0.17		0.12	0.17		$f_O = 1kHz$, Note 3	pA/ \sqrt{Hz}
± 13.0	± 14.0		± 13.0	± 14.0			V
± 13.0	± 13.5		± 13.0	± 13.5		T_{min} to T_{max}	V
110	126		110	126		$V_{CM} = \pm CMVR$	dB
106	123		106	123		$V_{CM} = \pm CMVR, T_{min}$ to T_{max}	dB
	3.0	4.0		3.0	4.0	$V_S = \pm 15V$	mA
	90	120		90	120	$V_S = \pm 15V$	mW
	6.0	8.4		6.0	8.4	$V_S = \pm 3V$	mW
100	110		100	110		$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	dB
94	106		94	106		$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V, T_{min}$ to T_{max}	dB
-55		-125	-55		-125		$^{\circ}$ C
	568.00 (573.00)			529.75 (534.75)			
	555.00 (559.50)			524.00 (528.50)			
	545.00 (549.00)			519.50 (523.50)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	±22V
Internal Power Dissipation (Note 1)	500mW
Differential Input Voltage	±30V
Output Voltage (Note 2)	±22V
Output Short Circuit Duration	Indefinite

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
OP-07A, OP-07	-55°C to +125°C
OP-07E, OP-07C, OP-07D	0 to +70°C
Lead Temperature Range (Soldering, 60sec)	300°C

NOTES:

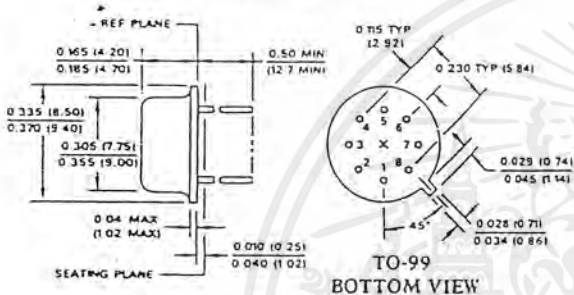
Note 1: Maximum package power dissipation vs. ambient temperature.

Package Type	Maximum Ambient Temperature for Rating	Derate Above Maximum Ambient Temperature
TO-99 (H)	80°C	7.1mW/°C

Note 2: For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

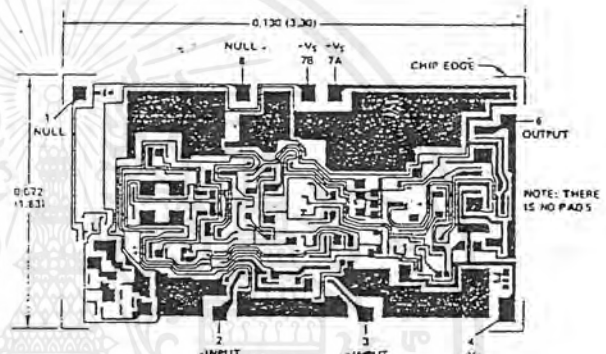
OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

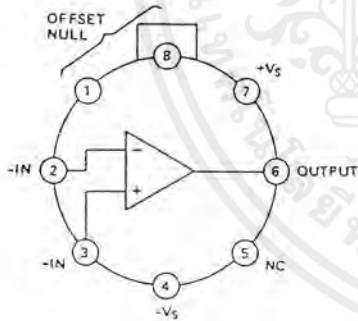


CHIP DIMENSIONS AND BONDING DIAGRAM

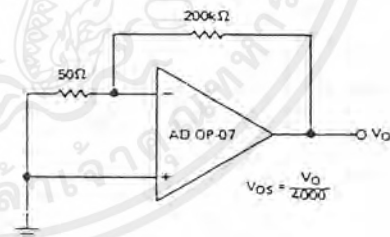
Dimensions shown in inches and (mm).



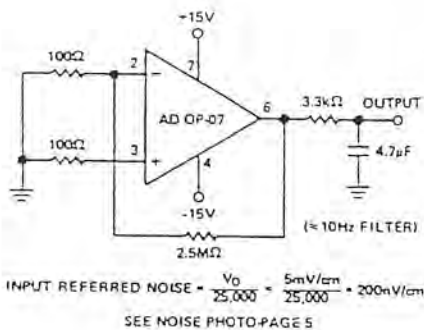
PIN CONFIGURATION TOP VIEW



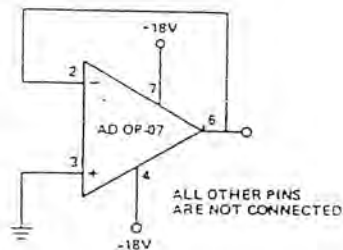
The AD OP-07 is available in wafer-trimmed chip form for precision hybrids. Consult the factory directly for details.



Offset Voltage Test Circuit



Low Frequency Noise Test Circuit



Burn-In Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้