

เครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์
(ELECTROCARDIOGRAM MONITOR)



โดย

นาย สมภพ สร้อยอำภา

นาย สยาม พุ่มฉวีสกุล

นาย โสภณ ศุภเทวีกิจเจริญ

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 46295
วัน, เดือน, ปี 21 ต.ค. 2546

b.....
i.....

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

611989156

เครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์
(ELECTROCARDIOGRAM MONITOR)

โดย

นาย สมภพ สร้อยอำภา 42015199

นาย สยาม พุ่มมณีสกุล 42015200

นาย โสภณ สุขเทวีกิจเจริญ 42015202

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์
(ELECTROCARDIOGRAM MONITOR)

ผู้จัดทำ

1. นาย สมภพ ศรีอัยอำภา 42015199
2. นาย สยาม พุ่มมณีสกุล 42015200
3. นาย โสภณ ศุภเทวีภิขเจริญ 42015202


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์

นาย สมภพ สร้อยอำภา

นาย สยาม พุ่มมณีสกุล

นาย โสภณ สุขเทวีกิจเจริญ

อ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องแสดงการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์ โดยการนำความรู้เกี่ยวกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจมาใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเริ่มศึกษาและทำการทดลองวงจรภาคต่างๆ เพื่อที่จะสามารถนำมาสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและจอคอมพิวเตอร์ได้

ELECTROCARDIOGRAM MONITOR

Sompob Soiampa

Siam Pukmaneesakul

Sophon Supataweekitjaroen

Polasart Lertprasert Advisor

2001

Abstract

This report describes the design and construction of electrocardiogram monitor using oscilloscope and computer . This system consists of ECG amplifier , processing unit MCS-51 microcontroller. The goal of this work is to electrocardiogram signals displayed on an oscilloscope and computer screen.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากขาดบุคคลที่สำคัญคงต่อไปนี้ คือ บิดามารดาที่เป็นกำลังใจในด้านการศึกษามาโดยตลอด อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำโครงการชิ้นนี้ เพื่อนทุกคนที่สละเวลาอันน้อยนิดเพื่อให้คำปรึกษาจนทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จมาได้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	3
2.1 สัญญาณจากร่างกายและการวัด	3
2.2 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	7
2.3 ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ	8
2.4 ความปลอดภัยของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้า	9
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	13
3.1 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป และจอคอมพิวเตอร์	13
3.2 การออกแบบและการสร้างภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	13
3.2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	13
3.2.2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ	16
3.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ	17
3.2.4 วงจรมอดูเลตและวงจรส่งผ่านทางแสง	19
3.2.5 วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง	20
3.2.6 วงจรดีมอดูเลเตอร์	21
3.2.7 วงจรแยกคลื่น QRS	22
3.2.8 วงจรตรวจจับขอกคลื่น	23
3.2.9 วงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า	23

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 การออกแบบและการสร้างภาคประมวลผล	24
3.3.1 วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	24
3.3.2 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์	27
3.3.3 วงจรเชื่อมต่อไอซี 8255 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.3.4 การอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์	33
3.3.5 วงจรสร้างสัญญาณเสียงอัตรารวดเร็ว	34
3.3.6 วงจรสร้างสัญญาณอินพุทให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.3.7 วงจรแสดงผลอัตรารวดเร็วของหัวใจ	35
3.3.8 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก	36
บทที่ 4 การออกแบบซอฟต์แวร์แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและอัตรารวดเร็ว แสดงผลบนเซเวนเซ็กเมนต์	39
4.1 การออกแบบซอฟต์แวร์แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	39
4.1.1 หลักการทำงานของโปรแกรมแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	39
4.1.2 การทำงานของโปรแกรมแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	40
4.1.3 ผลการทำงานของโปรแกรมแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป	43
4.2 การออกแบบซอฟต์แวร์นับอัตรารวดเร็วแสดงผลบนเซเวนเซ็กเมนต์	45
4.2.1 การทำงานของการนับคลื่นหัวใจ	45
4.2.2 ผลการทำงานของโปรแกรมนับอัตรารวดเร็วของหัวใจ	49
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	50
5.1 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	50
5.2 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	51
5.3 การทดสอบทำงานวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ	53
5.4 การทดสอบการทำงานวงจร Optoisolator	54
5.5 การทดสอบการทำงาน Pulse-Width Modulator	55
5.6 ผลการทดลองแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอคอมพิวเตอร์	56
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	57

สารบัญภาพ

ลำดับภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนังมีลักษณะเหมือนอิเล็กทรอนิกส์ไดโพล	3
รูปที่ 2.2 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นไฟฟ้าจาก SA node ไปยังส่วนต่าง ๆ ของหัวใจ	4
รูปที่ 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติวัดด้วย Lead I	6
รูปที่ 2.4 ศักดาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ	7
รูปที่ 2.5 กราฟของกระแสและความถี่ซึ่งผู้ป่วยชายประมาณครึ่งหนึ่งของผู้ที่ทำการทดลอง	11
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอ ออสซิลโลสโคปและจอกอมพิวเตอร์	13
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของภาคขยายคลื่นหัวใจ	14
รูปที่ 3.3 วงจรขยายความแตกต่าง	15
รูปที่ 3.4 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ	16
รูปที่ 3.5 แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ส่งผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่ามากเมื่ออิเล็กทรอนิกส์ทรานสดูกรบกวน	17
รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่ต่ำ Low Pass Notch Filter	18
รูปที่ 3.7 วงจร Pulse Width Modulator	19
รูปที่ 3.8 แสดงการเปลี่ยนความกว้างของพัลส์	20
รูปที่ 3.9 วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง	21
รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟฟิลเตอร์	21
รูปที่ 3.11 วงจรแยกคลื่น QRS	22
รูปที่ 3.12 วงจรตรวจจับยอดคลื่น	23
รูปที่ 3.13 วงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า	23
รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของภาคประมวล	24
รูปที่ 3.15 การทดสอบไอซี ADC 0804	26
รูปที่ 3.16 แสดงการจัดตำแหน่งภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์	30
รูปที่ 3.17 แสดงขาต่าง ๆ ของไอซีเบอร์ 8255	31
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างรหัสควบคุมโหมด 0	32
รูปที่ 3.19 วงจรเชื่อมต่อ 8255 กับไมโครคอนโทรลเลอร์	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ลำดับภาพ	หน้า
รูปที่ 3.20 ไอซี MAX232 กับวงจรแยกกราวด์	34
รูปที่ 3.21 โมโนสเตเบิลสร้างเสียงอัตรการเดินของหัวใจ	34
รูปที่ 3.22 D flipflop สร้าง logic ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์	35
รูปที่ 3.23 ความคุมการแสดงผล SEVEN SEGMENT	35
รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรมของ DAC	36
รูปที่ 3.25 วงจร DAC แบบ R-2R ladder ขนาด 4 บิต	37
รูปที่ 3.26 แสดงการต่อวงจรไอซีเบอร์ DAC-08	38
รูปที่ 4.1 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออสซิโลสโคป และอัตรการเดินบนเซนเซอร์เช็กแมนต์	39
รูปที่ 4.2 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม memory	40
รูปที่ 4.3 ผลการทำงานของวงจรมมโมรีที่แสดงผลบนจอออสซิโลสโคป	44
รูปที่ 4.4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมนับอัตรการเดินหัวใจ	45
รูปที่ 4.5 ผลการนับเมื่อเทียบกับอัตรการเดินที่วัดจริง	49
รูปที่ 5.1 วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	50
รูปที่ 5.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก	51
รูปที่ 5.3 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ	52
รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเมื่อผ่านวงจร Instrument Amplifier โดยใช้ไอซีจี ซิมมูลเตเตอร์	53
รูปที่ 5.5 รูปสัญญาณหัวใจเมื่อผ่านวงจร Auto zero โดยใช้ไอซีจี ซิมมูลเตเตอร์	53
รูปที่ 5.6 รูปสัญญาณที่ผ่าน Opto Isolator	54
รูปที่ 5.7 วงจร Pulse Width Modulator คลื่นรูปสี่เหลี่ยม	55
รูปที่ 5.8 วงจร Pulse Width Modulator คลื่นรูปสามเหลี่ยม	55
รูปที่ 5.9 รูปสัญญาณขณะยังไม่ได้ป้อนสัญญาณในการแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์	56
รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณในการแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันอัตราการเสียชีวิตของมนุษย์มีปริมาณที่ลดลงมาก เมื่อเทียบกับในอดีตอันเนื่องมาจากวิวัฒนาการทางการแพทย์ที่เจริญก้าวหน้าขึ้น โดยการนำเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาช่วยเสริมประสิทธิภาพในการรักษาพยาบาลคนไข้ด้วยอาการเจ็บป่วยจากโรคร้ายต่างๆได้ แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นจึงมีคนไทยพยายามคิดค้นและประดิษฐ์อุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์ขึ้นเอง เพื่อให้ราคาถูกลงและทัดเทียมกับการนำเข้ามาจากต่างประเทศ

เครื่องแสดงผลการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ เป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้ในการวินิจฉัยอาการป่วยของคนไข้ได้ ซึ่งช่วยให้ทราบอาการป่วยของคนไข้ได้เร็วขึ้น เพื่อที่จะสามารถรักษาได้ทันต่ออาการป่วยนั้น โดยปัจจุบันได้มีคนไทยได้สร้างขึ้นแล้ว ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้คิดสร้างเครื่องแสดงผลการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์

1.ศึกษาลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อที่จะแสดงผลออกทางจอออสซิลโลสโคป และ แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม

2. ออกแบบ และ สร้างเครื่องแสดงผลการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจออกทางจอออสซิลโลสโคป และ แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

3.สามารถนำไปพัฒนาต่อในอนาคตได้
ซึ่งรายงานฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญคือ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การทำงานของหัวใจระบบการนำไฟฟ้าของหัวใจ สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ คลื่นไฟฟ้าหัวใจ การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้า การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

บทที่ 3 เป็นการออกแบบและการสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและ แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งการทำงานออกเป็นดังนี้ ภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier) ภาคประมวลผล (Processing Unit) ภาคเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D converter) ภาคเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A converter) และภาคอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบซอฟต์แวร์แสดงผลบนจอออสซิสโตสโคป และ แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยอธิบายหลักการทำงานและผลการทำงานของโปรแกรม และการออกแบบซอฟต์แวร์การนับอัตราการเต้นแสดงผลบนเซเวนเซกเมนต์ โดยแบ่งเป็นการทำงานและผลการทำงานของโปรแกรมการนับอัตราการเต้นของหัวใจ

บทที่ 5 เป็นการทดลองและผลการทดลองแต่ละภาค รวมทั้งการใช้งานโดยรวมของโครงการที่เสร็จสมบูรณ์

บทที่ 6 เป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองพร้อมทั้งปัญหา และ อุปสรรคในการดำเนินงาน

บทที่ 2

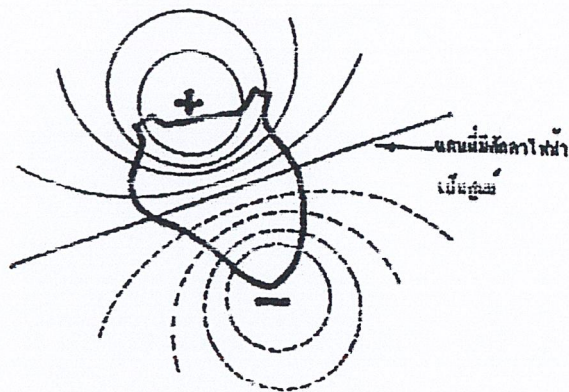
ทฤษฎีคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในบทนี้เป็นการศึกษาความเป็นมาของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยส่วนของคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะกล่าวถึงการทำงานของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การนำไฟฟ้าภายในและลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บรรจุได้ ตลอดจนแนวทางในการพิจารณา และวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

2.1 สัญญาณจากร่างกายและการวัด

2.1.1 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram)

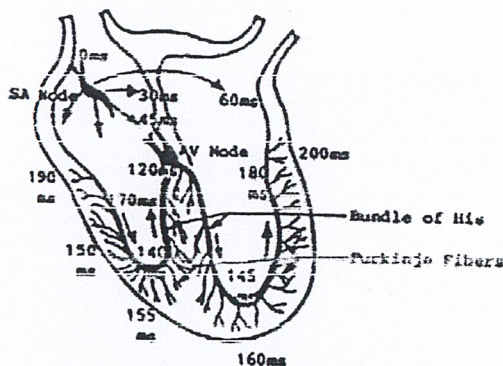
สัญญาณไฟฟ้าหัวใจเกิดจากการทำงานของหัวใจ ซึ่งมีเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้ออยู่ พิจารณาหัวใจ เป็นเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งบรรจุอยู่ภายในก้อนตัวนำคือร่างกาย ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะกระจายออกจากขั้วบวกไปตามส่วนต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวหนังของร่างกายได้ ศักดาไฟฟ้าจากหัวใจที่วัดได้ระหว่างจุดต่าง ๆ จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางตำแหน่งที่วัดกระทำต่อแกนหัวใจ ศักดาไฟฟ้าที่วัดได้นี้เรียกว่า สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) หรือ ECG



รูปที่ 2.1 แสดงการกระจายของศักดาไฟฟ้าหัวใจบนผิวหนัง มีลักษณะเหมือนอิเล็กทริกไดโพล

พิจารณาคำแทนที่จะวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจกับทิศทางของกระแสคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อที่จะให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านเข้าไปที่อิเล็กโทรด ของเครื่องมือชนิดนี้ได้ดังนี้ ถ้าวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจโดยใช้อิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์ (Bipolar electrode) โดยกำหนดเป็นขั้วบวกหรือขั้วลบ ถ้าทิศทางของกระแสที่ไหล บนผิวหนัง มีทิศทางพุ่งเข้าสู่ขั้วบวกของอิเล็กโทรด จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ มีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนขึ้น แต่ถ้ากระแสที่ไหลบนผิวหนังมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วบวกและพุ่งเข้าสู่ขั้วลบ จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบน

ลงล่าง ถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวหนังมีทิศทางทำมุมกับแนวของอิเล็กโทรด ทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ มีค่าของสัญญาณเบี่ยงเบนน้อยลง และถ้าทิศทางของกระแสที่ไหลบนผิวหนังทำมุมฉากกับแนวอิเล็กโทรด จะทำให้ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ที่ไม่มีค่าเบี่ยงเบนปรากฏ แสดงทิศทางได้ดังรูป 2.2



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

พิจารณาการเกิดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจได้ดังรูปที่ 2.2 เริ่มจาก SA Node (Sinoatrial node) มีตำแหน่งอยู่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องบนขวา SA Node นี้เป็นเสมือนวงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้า ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คือ จะกำเนิดคลื่นไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับผู้ใหญ่ที่พักผ่อนจะให้อัตราประมาณ 70 ครั้งต่อนาที คลื่นไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจาก SA node จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสิ่งเร้าภายนอก เช่นถ้ามีการตกใจ SA node ก็จะให้อัตราของคลื่นสัญญาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นต้น คลื่นไฟฟ้าที่เกิดจาก SA node นี้จะกระจายผ่านเส้นประสาทของหัวใจจากส่วนบนลงไปยังส่วนล่าง เมื่อคลื่นไฟฟ้ากระจายออกรอบๆ SA node ผ่านกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนก็จะทำให้เกิดการบีบตัวของหัวใจส่วนบน และคลื่นไฟฟ้าจะส่งมาที่ AV node (Atrioventricular node) แล้วส่งผ่านไปตาม Bundle of His Purkinje Fibers และในที่สุดมาถึงกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทำให้หัวใจห้องล่างบีบตัว ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นจาก SA Node ถึง AV node เรียกว่า Atrioventricular conduction time โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.12-0.22 วินาที

เมื่อ SA node อยู่ที่บริเวณสูงสุดทางขวาของหัวใจ การกระตุ้นหัวใจห้องบนของ SA node จึงกระจายลงสู่ข้างล่างและบางส่วนกระจายไปทางซ้าย หัวใจห้องบนมีโครงสร้างของผนังที่บางกว่าและมีมวลของกล้ามเนื้อน้อยกว่า จึงทำให้การกระจายทางไฟฟ้าที่เกิดจากดีโพลาไรเซชันของมัน ปรากฏเพียงเล็กน้อย ทิศทางการกระจายทางไฟฟ้า ของกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนทั้งหมดจะพุ่งลงล่างเฉียงไปทางซ้าย โดยปกติจะมีทิศทางเข้าสู่ขั้วบวกของอิเล็กโทรดทั้ง Lead I และ aVF

แต่ปริมาณทางไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้รับจะมีการเบี่ยงเบนขึ้นบนเพียงเล็กน้อยซึ่งได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น P (P wave)

ต่อมาเมื่อคลื่นของรีโพลาริเซชันมาถึง AV node จะมีการหน่วงเวลา ระหว่างช่วงเวลานี้ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า จากหัวใจห้องบนเคลื่อนผ่าน AV node ช้ามาก และจากนั้นจะเข้าสู่ระบบ สื่อนำของหัวใจห้องล่าง (Ventricular conduction system) ได้แก่ Common bundle of His และ Bundles branches ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของ Common bundle of His มีขนาดเล็กจึงมา สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าได้

เมื่อคลื่นไฟฟ้าของรีโพลาริเซชันของหัวใจห้องล่างเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อที่เป็นผนังร่วมของ หัวใจ ห้องซ้ายและขวาซึ่งอยู่ภายในหัวใจ ทิศทางของไฟฟ้ามีทิศจากซ้ายไปขวาและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเทียบรีโพลาริเซชัน ที่เกิดจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนที่เป็นผนังอิสระด้านนอก จากการวัด คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิวหนังปรากฏว่าที่ Lead I คลื่นไฟฟ้ามีการเบี่ยงเบนลงล่างเล็กน้อยได้รูปคลื่น ไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น Q (Q Wave) ส่วนที่ Lead aVF มีการเบี่ยงเบนขึ้นเล็กน้อย

จากนั้นรีโพลาริเซชันจะกระจายไปตามระบบสื่อนำของหัวใจ และในที่สุดก็ถึงกล้ามเนื้อ หัวใจที่เป็นผนังอิสระทั้งห้องซ้ายและขวา โดยทั่วไปรีโพลาริเซชันของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง ทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน หัวใจห้องล่างซ้ายซึ่งมีมวลมากกว่า จึงมีการกระทำทางไฟฟ้าจึงมี ทิศทางลงล่างเฉียงไปทางซ้าย และเนื่องจากกล้ามเนื้อ หัวใจส่วนนี้มีมวลมากกว่าทำให้ได้รับคลื่นไฟฟ้า เบี่ยงเบนขึ้นบน ได้มากทั้งใน Lead I และ aVF ได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น R (R Wave)

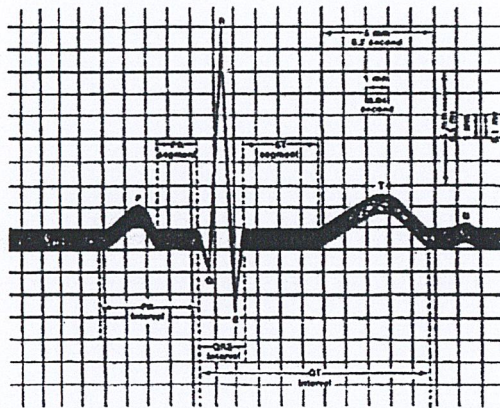
รีโพลาริเซชันยังคงผ่านต่อไปในส่วนที่เหลือของหัวใจห้องล่างทั้งสองข้างบริเวณสุดท้าย ที่มีปฏิกริยาก็คือ ตำแหน่งสูงสุดของผนังหัวใจอิสระห้องล่างซ้ายหรือบริเวณที่โลหิตไหลจากหัวใจ ห้องล่างขวา ในช่วงเวลานี้การกระจายทางไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทางตรงข้ามกับเท้า ดังนั้นที่ Lead aVF คลื่นไฟฟ้าที่ได้จะเบี่ยงเบนลงล่าง ได้รูปคลื่นไฟฟ้าที่เรียกว่าคลื่น S (S Wave)

หลังจากหัวใจห้องล่างทั้งหมดเกิดรีโพลาริเซชันไปแล้ว จะมีการเกิดรีโพลาริเซชัน (Repolarization) ดังนั้นคลื่นไฟฟ้า หัวใจในช่วง ST จึงมีค่าศักดาไฟฟ้าเป็นลบ เนื่องจากกล้ามเนื้อ หัวใจห้องค้ำล่างซ้ายมีมวลมากกว่ากล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างขวา และกล้ามเนื้อหัวใจห้องบน จึงมี อิทธิพลต่อทิศทางไฟฟ้าที่เกิดจากรีโพลาริเซชัน ในหัวใจปกติจึงมีทิศทางไปทางซ้ายเยื้องลงล่าง ในทิศทางเดียวกับมวลกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้าย รีโพลาริเซชันของหัวใจห้องล่างทำให้ได้รูป คลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น T (T Wave)

หลังจากสิ้นสุดรีโพลาริเซชันก็จะไม่มีการกระทำทางไฟฟ้าเกิดขึ้นอยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง จะ ทำให้ไม่ได้รับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจเบี่ยงเบน ศักดาไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จนกระทั่งมีค่าไฟฟ้ารูปใหม่

เกิดขึ้นที่ SA Node ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า ของหัวใจก็จะเกิดขึ้นตามลำดับได้เป็นคลื่น P-QRS-T อีก

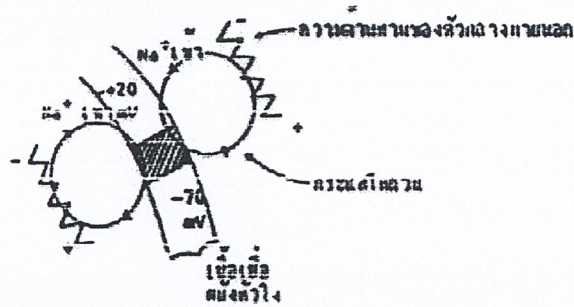
สรุปได้ว่า เมื่อวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยติดอิเล็กโทรดที่ แขน ขว แขนซ้าย และ ทำตาม Lead I คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 แต่ส่วนของคลื่นจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษร และจะสัมพันธ์กับการทำงาน ในช่วงต่าง ๆ ของหัวใจใน 1 รอบ การทำงาน เช่น คลื่น P เกิดการดีโพลาไรเซชัน ของหัวใจห้องบนทให้หัวใจห้องบนบีบตัว โดยทั่วไปในคนที่หัวใจปกติ ความสูงของคลื่น R จะมีค่าประมาณ 1 mV ความสูงของคลื่น T ประมาณ 1 ใน 3 ของความสูงของคลื่น R



รูปที่ 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ วัดด้วย Lead I

2.1.2 การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

การเคลื่อนที่ของอิออนภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อหัวใจ ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงาน (Action potential) และทำให้หัวใจเต้น การเคลื่อนที่ของอิออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะรวมตัวเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า และเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักดาไฟฟ้าภายนอกเนื้อเยื่อและที่บริเวณผิวหนังของร่างกาย การไหลของกระแสที่เกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดการกระจายของศักดาไฟฟ้าที่ทำงานเท่านั้น เช่น ในช่วงของคลื่น QRS หรือ ในระหว่างที่เซลล์กลับคืนสู่สภาพอยู่นิ่ง เช่น ในช่วงคลื่น T



รูปที่ 2.4 ศักคาไฟฟ้าที่ทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจ

จากรูปที่ 2.4 ศักคาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจกระจายลงล่าง โซเดียมไอออนเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่แรงๆ เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักคาไฟฟ้าจาก -70 mV ในขณะที่เซลล์อยู่นิ่งเป็น 20 mV การเคลื่อนที่ของไอออนเหล่านี้รวมกันเป็นกระแสไฟฟ้าไหลเป็นทางวงกลมผ่านความต้านทานของตัวกลางภายนอก ทำให้เกิดศักคาไฟฟ้าตกคร่อม และมีขั้วดังรูป บริเวณที่อยู่ด้านหน้าของการกระจายศักคาไฟฟ้าทำงานจะเป็นบวก เมื่อเทียบกับบริเวณที่อยู่ด้านหลัง

การกระจายศักคาไฟฟ้าของคลื่น R บนผิวหนังของร่างกาย เรารู้จักศักคาไฟฟ้าเหล่านี้บนผิวหนังของร่างกาย โดยการติดอิเล็กโทรดบนผิวหนังทำการขยายศักคาไฟฟ้าแล้วแสดงผลออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ การเคลื่อนย้ายอิเล็กโทรดไปยังตำแหน่งต่างๆบนร่างกาย จะมีผลทำให้ขนาดของศักคาไฟฟ้าที่วัดเปลี่ยนแปลง หรือสัญญาณอาจจะกลับหัวกันได้ ด้วยเหตุนี้เองการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจจึงต้องกำหนดตำแหน่งบนร่างกายให้เหมาะสม

2.2 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นการบันทึกสภาพการทำงานของหัวใจ ที่วัดได้บนผิวหนังของร่างกายด้วยเครื่องวัดและแสดงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) จึงถือได้ว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นพารามิเตอร์ของร่างกาย (Physiological parameter) ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวินิจฉัยอาการความผิดปกติและสภาวะของหัวใจได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์และแปรผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประกอบการรักษาโรคต่างๆของผู้ป่วย โดยเฉพาะเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจจะทำการบันทึกลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งมีแกนนอนเป็นฐานเวลา (หน่วยเป็นวินาที) ส่วนแกนตั้งเป็นความสูงของคลื่น (หน่วยเป็นมิลลิโวลต์) แล้วอาศัยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญแปลผลออกมาทำการอ่านและวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รูปคลื่นความสูงของคลื่น ระยะเวลาในช่วงต่างๆ ระดับของเส้นสันนิษฐานเป็นต้นแล้วทำการสรุปผลของผู้เชี่ยวชาญนั้น

และคาดคะเนว่าผู้ป่วยมีสภาวะของหัวใจเป็นเช่นใด โดยอาจทำการวิเคราะห์ทั้ง 12 ลีด มาตรฐาน หรือเพียงลีดหนึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถและความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญนั้น ข้อจำกัดของวิธีแบบนี้ อยู่ที่เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลเนื่องจากการกิจประจำของแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทำให้การทราบผลที่วิเคราะห์ไม่ทันต่อการรักษาผู้ป่วยคั้งนั้นในปัจจุบันด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถนำคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการวิเคราะห์คลื่นหัวใจไฟฟ้าแทนคน โดยการแปลงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัลแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เข้ามา เพื่อทำการแปลผลและรายงานผลให้ทราบ ซึ่งวิธีนี้เป็นการแก้ปัญหาบางส่วนของวิธีการวิเคราะห์ในแบบเดิมได้ เช่น กรณีไม่มีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญมีการกิจไม่สามารถทำการวิเคราะห์ผลได้ทั้งยังให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แม่นยำและถูกต้องทันต่อการรักษาอาการของผู้ป่วย คั้งนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญที่เข้ามาช่วยลดภาระของบุคลากรหรือการขาดบุคลากร โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังคงความเชื่อถือได้

2.3 ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจ (Arrhythmia)

จังหวะการเต้น (Rhythm) เป็นคุณสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของหัวใจที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานของหัวใจอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา ซึ่งคุณสมบัตินี้เองที่แสดงถึงความผิดปกติของหัวใจ โดยสามารถทราบได้จากการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ จังหวะการเต้นของไฟฟ้าหัวใจปกติเป็นไปอย่างสม่ำเสมอแน่นอนตามความถี่ของ SAnode ที่กระตุ้นเซลล์ของหัวใจ เพราะว่าทุกๆส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจและระบบนำไฟฟ้าทำงานอย่างปกติ แต่เมื่อบางส่วนของหัวใจเกิดการกระตุ้นที่ผิดปกติขึ้นมา ในบางสถานการณ์ก็จะทำให้จังหวะการเต้นผิดแปลกไปจากจังหวะปกติ ซึ่งผลของความผิดปกตินี้ก็จะสะท้อนออกมาทางคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้เห็นได้ ความผิดปกติของจังหวะการเต้นมีศัพท์ทางการแพทย์เรียกว่า Arrhythmia หมายถึงความผิดปกติของจังหวะ (Abnormal rhythm)

ความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจอาจจะแบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ทำให้สามารถจำแนกลักษณะอาการและเข้าใจกลไกของความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ง่าย และรวดเร็วขึ้นดังต่อไปนี้

1. Varying Rhythm เป็นลักษณะความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจกลุ่มหนึ่ง ซึ่งมีลำดับสัญญาณคือ P-QRS-T เป็นปกติธรรมดา แต่จังหวะการเต้น (คือช่วงเวลาระหว่างสัญญาณ P-QRS-T ในแต่ละรอบ) นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไม่สม่ำเสมอ ความผิดปกติทั้งขนาดและรูปร่าง แต่ช่วงเวลาระหว่างแต่ละรอบของสัญญาณเหล่านี้จะไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผิดปกติไปจากธรรมดา

2.Extra Beats and Skips เป็นลักษณะความผิดปกติของจังหวะการเต้นของหัวใจกลุ่มหนึ่งที่สามารถจำแนกลักษณะความผิดปกตินั้นด้วยสายตาได้โดยง่าย ศัพท์คำว่า Extra Beats หมายถึงสัญญาณหัวใจที่เกิดขึ้นก่อนกำหนดที่คาดไว้ส่วนคำศัพท์คำว่า Skips หมายถึงสัญญาณหัวใจที่ขาดหายไปจากเวลาที่คาดว่าจะพบสัญญาณนี้ทำให้เกิดพื้นที่ของ baseline ที่ว่างไว้ การจำแนกความผิดปกติในลักษณะนี้ สามารถสังเกตความแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้าหัวใจปกติได้จากสัญญาณรวม QRS และช่วงเวลาสัญญาณไฟฟ้าหัวใจลูกหนึ่ง ไปอีกลูกหนึ่ง(Pause)

3.Rapid Rhythm เป็นลักษณะความผิดปกติที่มีสาเหตุมาจากการมีอัตราการเต้นของหัวใจเร็วมาก โดยมีรูปร่างและลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจอาจจะผิดปกติหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับบริเวณที่เกิดความผิดปกตินั้น ซึ่งมีลักษณะความผิดปกติประเภทนี้ความแตกต่างกันในเรื่องของรูปร่างของสัญญาณ เนื่องจากบริเวณที่เกิดความผิดปกติต่างกัน แต่ข้อสังเกตหลักอยู่ที่การมีอัตราการเต้นของหัวใจเร็ว

4.Heart Block เป็นการปิดกั้นการนำไฟฟ้าภายในหัวใจที่จะเกิดการปิดกั้นของสัญญาณกระตุ้น ได้มีด้วยกัน 3 บริเวณ คือ SA node, AV node และ Bundle Branch

2.4 ความปลอดภัยของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้า

ในการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์มาใช้ร่วมกับผู้ป่วยนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ อันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่จะมีต่อผู้ป่วย เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายในปริมาณที่ทำให้กล้ามเนื้อ ในส่วนที่กระแสไหลผ่านมีอาการเกร็งจนไม่สามารถควบคุมได้ และสิ่งที่สำคัญก็คือ ถ้ากล้ามเนื้อในส่วนที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นกล้ามเนื้อหัวใจ ก็จะทำให้หัวใจหยุดเต้นและตายได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงอันตรายที่มีต่อผู้ป่วย และวิธีที่จะป้องกันอันตรายดังกล่าว

2.4.1 อันตรายจากกระแสไฟฟ้า

อาการช็อกที่จะเกิดกับผู้ป่วยเนื่องจากกระแสไฟฟ้านั้น จะแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ มาโครช็อก(Macroshock) เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลเข้าร่างกายผ่านผิวหนังซึ่งมีความต้านทานสูง อีกแบบหนึ่งคือ ไมโครช็อก (Microshock) เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกล้ามเนื้อโดยตรง โดยไม่ได้ผ่านผิวหนังจึงทำให้ทางเดินกระแสไฟฟ้ามีค่าความต้านทานต่ำ

กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดมาโครช็อกมีค่ามากกว่ากระแสที่ทำให้เกิด ไมโครช็อกหลายเท่า ได้เคยมีผู้ที่ทำการทดลองเกี่ยวกับกระแสที่ทำให้เกิดมาโครช็อก โดยผู้ทำการทดลองถืออิเล็กโทรดสองอัน โดยถือมือละอัน แล้วปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 60 Hz ให้ไหลผ่านร่างกายค่าต่าง ๆ กัน โดยเริ่มปรับค่าตั้งแต่ศูนย์ขึ้นไปเรื่อย ๆ ปรากฏว่าจะเกิดอาการต่าง ๆ ของผู้ทดลองที่ค่า

ของกระแสต่าง ๆ กัน เริ่มจากศูนย์ขึ้นไปจนถึงค่าหนึ่งจะเริ่มมีความรู้สึกต่อกระแสไฟฟ้า ค่าของกระแสที่ระดับนี้เรียกว่า Perception level จากการทดลองกับผู้ใหญ่ชาย ประมาณ 50% ของผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกที่กระแสประมาณ 1 mA ส่วนผู้ใหญ่หญิงจะเริ่มรู้สึกในระดับที่เริ่มรู้สึกเปลี่ยนค่าไปด้วย โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นมากกว่า 100 Hz

เมื่อเพิ่มกระแสให้มากกว่าระดับที่เริ่มรู้สึกจนถึงค่าประมาณ 10-20 mA จะเริ่มรู้สึกชาที่มือหรือร่างกาย และกล้ามเนื้อที่มือจะมีอาการเกร็งตลอดเวลา จนทำให้บางคนไม่สามารถควบคุมมือให้ปล่อยขีล็กโตรดได้ กราฟรูปที่ 2.5 เป็นผลทดลองกับผู้ใหญ่ชายได้เป็นค่ากระแสที่ความถี่ 60 Hz ซึ่ง 50% ของผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อได้สังเกตว่าต้องใช้กระแสมากขึ้น ถ้าลดความถี่ให้ต่ำลง หรือเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น

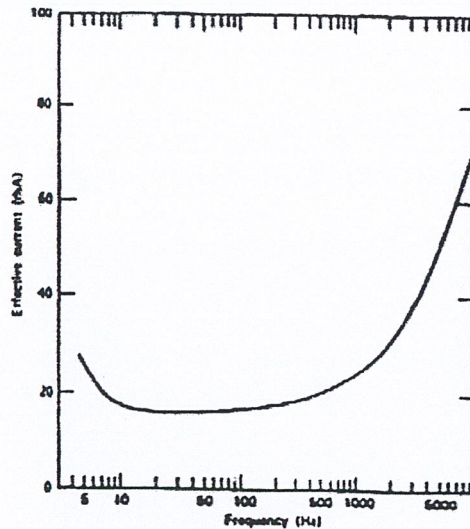
เมื่อเพิ่มกระแสขึ้นไปอีกจนถึง 100 mA ผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกปวดและบางคนถึงกับสิ้นสติค่ากระแสระดับนี้ถ้าไหลผ่านหัวใจก็เพียงพอที่จะทำให้เกิด Ventricular fibrillation (หัวใจห้องล่างเต้นเร็วเบา และไม่เป็นจังหวะ) ระดับของกระแสที่ทำให้เกิด fibrillation จะมีค่าต่ำลงถ้าให้กระแสไหลผ่านหัวใจนานขึ้น ในการทดลองกับแกะปรากฏว่าการใช้กระแส 1000 mA เป็นเวลานาน 3 วินาที ทั้งคู่ต่างก็ทำให้เกิด fibrillation

สำหรับความถี่ 60 Hz ค่ากระแสสูงสุดที่ยังไม่ทำให้เกิด fibrillation กับมนุษย์มีค่าประมาณ $116/t$ mA เมื่อ t คือช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายเป็นเวลาวินาที ตัวอย่างเช่น ถ้าปล่อยกระแสผ่าน 1 วินาที ค่ากระแสสูงสุดที่ยังปลอดภัยคือ 116 mA ถ้าปล่อยนาน 4 วินาที ค่ากระแสสูงสุดที่ปลอดภัยคือ 58 mA

ต่อไปถ้าเพิ่มกระแสจนถึง 6 A หรือมากกว่านี้จะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจเกร็ง ซึ่งจะมีอาการคล้ายกับการเกร็งที่มือ จนไม่สามารถปล่อยมือออกจากขีล็กโตรดได้ ถ้าเพิ่มกระแสขึ้นไปเรื่อยๆ อาจทำให้การหายใจเป็นอัมพาตชั่วคราว และผิวหนังอาจเกิดการไหม้อย่างรุนแรง ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงกดของขีล็กโตรดต่อผิวหนัง และการสัมผัสกับขีล็กโตรด

ในกรณีของไมโครช็อก กระแสไม่ได้ไหลผ่านผิวหนังซึ่งมีความต้านทานสูง บ่อยครั้งที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้าตามเส้นโลหิตแดงใหญ่สู่หัวใจโดยตรง จะเห็นว่า Ventricular fibrillation สามารถเกิดจากไมโครช็อกได้ง่าย เนื่องจากระดับต่ำกว่ากรณีของมาโครชอกมาก ในการทดลองกับสุนัขพบว่า ถ้าป้อนกระแสเพียง 17 μ A เข้าหัวใจโดยตรงจะสามารถทำให้เกิด Ventricular fibrillation ได้ จากผลอันนี้นำมาประเมินกับมนุษย์ได้ว่าค่ากระแสที่ทำให้เกิด Ventricular fibrillation เมื่อป้อนโดยตรงมีค่าประมาณ 30 μ A

จากการทดลองเหล่านี้ใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่ 60 Hz แต่ผลที่เกิดต่อร่างกายก็ใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่ 50 Hz ดังในกราฟรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟของกระแสและความถี่ ซึ่งผู้ป่วยชายประมาณครึ่งหนึ่งของผู้ที่ทำการทดลอง ไม่สามารถควบคุมมือให้ปล่อยอิเล็กโทรดได้

ไมโครช็อกมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากเนื่องจากปัจจุบันในห้องบำบัดผู้ป่วยพิเศษมีการใช้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาก ในบรรดาผู้ป่วยต่างๆ มีหลายคนที่จะต้องใช้หลอดสวน (Cathode) เข้าไปตามเส้นโลหิตเพื่อบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจหรือเพื่อฉีดสีในการฉายรังสี หรือเพื่อใช้วัดแรงดันโลหิต ผู้ป่วยในห้องพิเศษบางคนต้องใช้เครื่องมือควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ (pace maker) โดยให้หลอดสวนเข้าไปตามเส้นโลหิตจนสัมผัสกับกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อกระตุ้นหัวใจโดยตรง ในกรณีการทำงานของหัวใจล้มเหลว หลอดสวนบางชนิดประกอบด้วยเส้นลวดหรือของเหลวที่นำกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงเกิดทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำไปยังหัวใจ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเป็นไปได้ในการเกิดไมโครช็อก

อันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากช่องเสียบไฟชำรุด หรือสายไฟที่ชนวนชำรุด หรือขั้วต่อสายไฟแตกมักจะค้นพบปัญหาได้ง่าย แต่อันตรายที่พบยากอาจจะเกิดในสายจ่ายไฟของเครื่องมือ สายไฟมักจะถูกละเลยจากการดูแลรักษา สายประเภทนี้อาจจะถูกดึงออกมาจากผนังห้องหรือ ล้อเลื่อนสำหรับวางเครื่องมือหรือเตียง แล้วพาดไปตามพื้น มีหลายครั้งที่เส้นลวดตัวนำภายในชำรุด สายไฟที่ทันสมัยจะมีเส้นลวดตัวนำภายใน 3 เส้นเป็นเส้นที่มีกระแสไฟฟ้า 2 เส้น และอีกเส้นหนึ่งเป็นสายดิน (Ground) ถ้าสายที่มีกระแสไฟฟ้าเส้นหนึ่งขาดเครื่องมือก็จะไม่ทำงาน และถ้าสายทั้งสองสัมผัสกันหรือลัดวงจร จะทำให้ฟิวส์ ขาดทั้งสองกรณีสังเกตได้ง่าย แต่ถ้าสายดินขาดจะไม่สามารถรู้ได้เลยและเครื่องมือก็ยังทำงานปกติ จึงทำให้เกิดอันตรายกับผู้ป่วยที่ใช้อิเล็กโทรดภายในร่างกาย

อันตรายจากกระแสไฟฟ้า อาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุหนึ่งคือ ระบบไฟฟ้าของโรงพยาบาลยังไม่มีสายดิน และเมื่อเครื่องมือที่มีปลั๊กเสียบแบบ 3 ขา เจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลอาจจะตัดขาที่ 3 (สายดิน) ออก หรือมีจะนั้นก็ใช้วิธีแปลงที่เสียบ บางที่สายดินอาจจะต่อไม่ตีพอส และเมื่อมีเครื่องมือมากขึ้นก็จะต้องทำจุดต่อสายดินเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะอยู่กระจายในบริเวณต่างๆ เมื่อต้องใช้เครื่องมือ 2 เครื่องมือพร้อมกันกับผู้ป่วยคนเดียวกัน โดยที่เครื่องมือทั้งสองต่อกับจุดดินคนละจุด โอกาสที่จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดดินทั้งสองมีมาก และถ้าหากเครื่องหนึ่งต่ออยู่กับอิเล็กโทรดภายในร่างกาย กระแสรั่วก็สามารถไหลผ่านผู้ป่วยจากจุดดินจุดหนึ่งไปลงที่จุดดินอีกจุดหนึ่งได้ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ป่วย

2.4.2 การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า

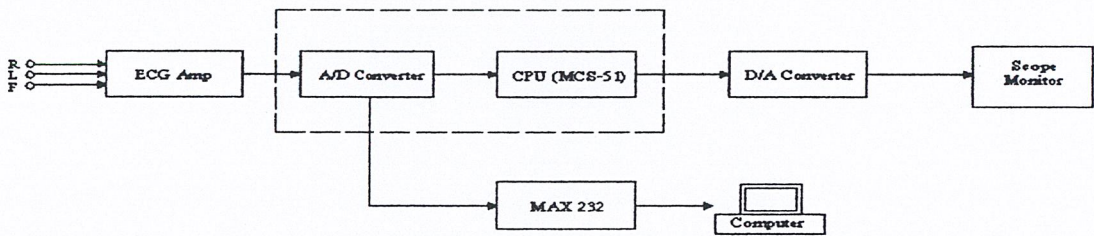
การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล ทำได้โดยการตรวจสอบและซ่อมแซมอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดอย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามอันตรายจากกระแสไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นได้หลายทางแม้ว่าจะไม่มีการชำรุดของอุปกรณ์เครื่องใช้ ร่างกายของคนเรามีความรู้สึกต่อไฟฟ้ากระแสตรงน้อยกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz และเนื่องจากที่ความถี่ $f = 0$ (ไฟฟ้ากระแสตรง) ดังนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจึงไม่ทำให้เกิดกระแสรั่ว อันเนื่องมาจากการค่าความจุของการเก็บประจุระหว่างสายไฟ (stray capacitance) อันตรายจากกระแสไฟฟ้าอาจลดลงได้อีกทางหนึ่งโดยการให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานโดยได้รับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่มีความถี่สูงกว่า 50 Hz มากๆ ซึ่งหัวใจมีความไวต่อการเกิด Ventricular fibrillation น้อยมาก การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า อาจทำได้โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำงานด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟเข้าไปใหม่ได้ Rechargeable Battery แต่ในกรณีของเครื่องมือที่ต้องทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น เครื่องมอนิเตอร์หัวใจที่ใช้ในห้องบำบัดผู้ป่วยพิเศษ จึงไม่เหมาะที่จะใช้แบตเตอรี่ ในกรณีนี้จะใช้วิธีเปลี่ยนความถี่ของแหล่งจ่ายไฟให้สูงกว่า 50 Hz มากๆ

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

3.1 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป และ จอคอมพิวเตอร์

ในการสร้าง โครงงานเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป และจอคอมพิวเตอร์ เราได้ใช้ความรู้เรื่องวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และไมโครโปรเซสเซอร์มาทำการออกแบบ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปแสดงดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป และจอคอมพิวเตอร์

ซึ่งเราสามารถออกแบบและสร้างในแต่ละส่วนได้ดังนี้

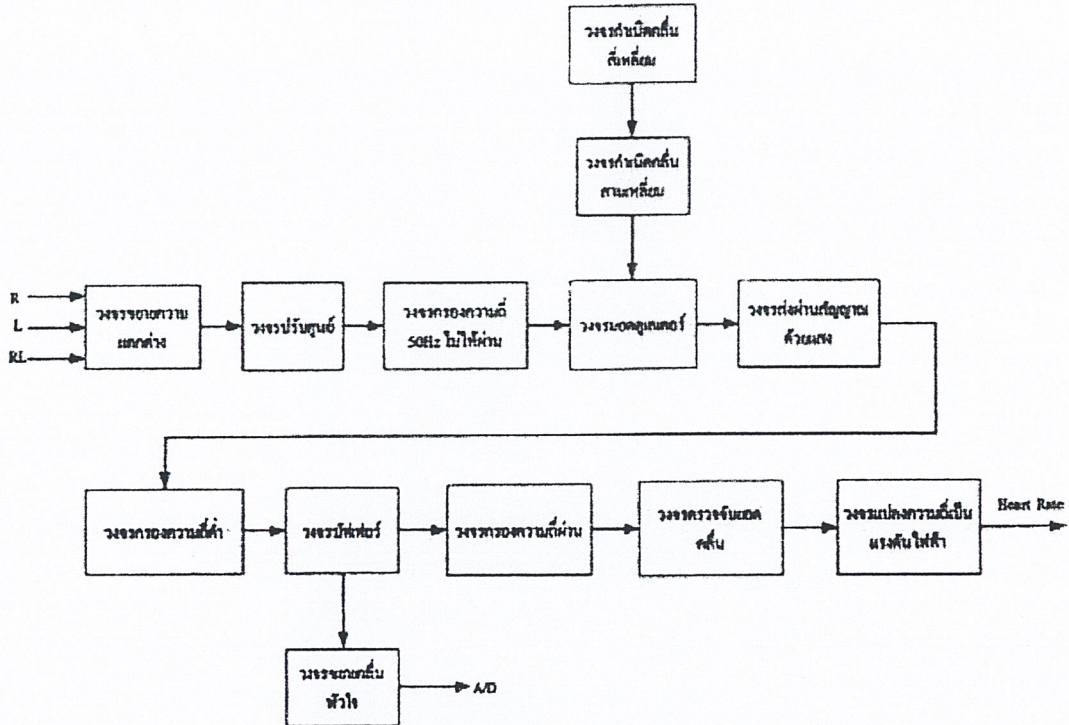
3.2 การออกแบบและการสร้างภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amplifier)

3.2.1 ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Instrument Amp)

วงจรขยายความแตกต่าง(Differential Amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นวงจรแรกท ขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีขนาดของสัญญาณน้อยมากเพียงประมาณ 1mv โดยการรับสัญญาณจาก อิเล็กโทรดที่ติดบนผิวหนัง ซึ่งมีค่าความต้านทานสูง และมีสัญญาณรบกวนจากไฟฟ้าบ้านกระแส สลับความถี่ 50 Hz ปนมาด้วย ดังนั้นวงจรขยายที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. อินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานของผิวหนังเพื่อป้องกันการเสี ยสมดุลของวงจรและการบั่นทอนสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่อินพุต การเสี ยสมดุลของวงจรจะมีผลเสี ยค่อ วงจรขยาย คือ สัญญาณรบกวนที่เข้ามาในลักษณะสัญญาณคอมมอนโหมด (Common

Mode Signal) ไม่สามารถกำจัดออกไปได้ และยังทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ท ซึ่งจะถูกขยายให้มีค่ามากขึ้นที่เอาต์พุต ถ้าศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ทมีค่ามากจะทำให้วงจรขยายอิมิตัวมีศักดาไฟฟ้าเอาต์พุตอยู่ที่ค่าเกือบเท่ากับศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายด้านใดด้านหนึ่ง (บวกหรือลบ) และวงจรไม่สามารถทำงานได้



รูปที่ 3.2 บล็อกโคเอะแกรมของภาคขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ข. ค่า CMRR (Common Mode Rejection Ratio) สูงกว่า CMRR เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวงจรขยายความแตกต่างที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ คุณสมบัติอันนี้ก็คือ การมีอัตราขยายของสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมด (Differential Mode Signal) สูงและมีอัตราขยายของสัญญาณคอมมอน โหมดต่ำทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการขยาย(ECG) จะเข้าไปที่อินพุตในลักษณะสัญญาณคอมมอนโหมด

วงจรขยายความแตกต่างที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.3 ประกอบด้วยออปแอมป์ 3 ตัว สำหรับออปแอมป์ตัวที่ 4 เป็นวงจรป้อนกลับแบบลบ เพื่อใช้กราวด์ หรือ RL Driver ทำหน้าที่ลดศักดาไฟฟ้าคอมมอนโหมดซึ่งเกิดขึ้นได้ระหว่างร่างกายผู้ป่วยกับกราวด์ของวงจรลอย

จากวงจรในรูปที่ 3.3 U1 และ U2 เป็นวงจรขยายบัพเฟอร์ ซึ่งจะมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมากประมาณ 60 MΩ โดยใช้โอปแอมป์เบอร์ OP-07 ซึ่งมีแรงดันอินพุทออฟเซ็ทประมาณ 30 μV อัตราขยายศักดาไฟฟ้า (Voltage Gain) ของวงจรบัพเฟอร์

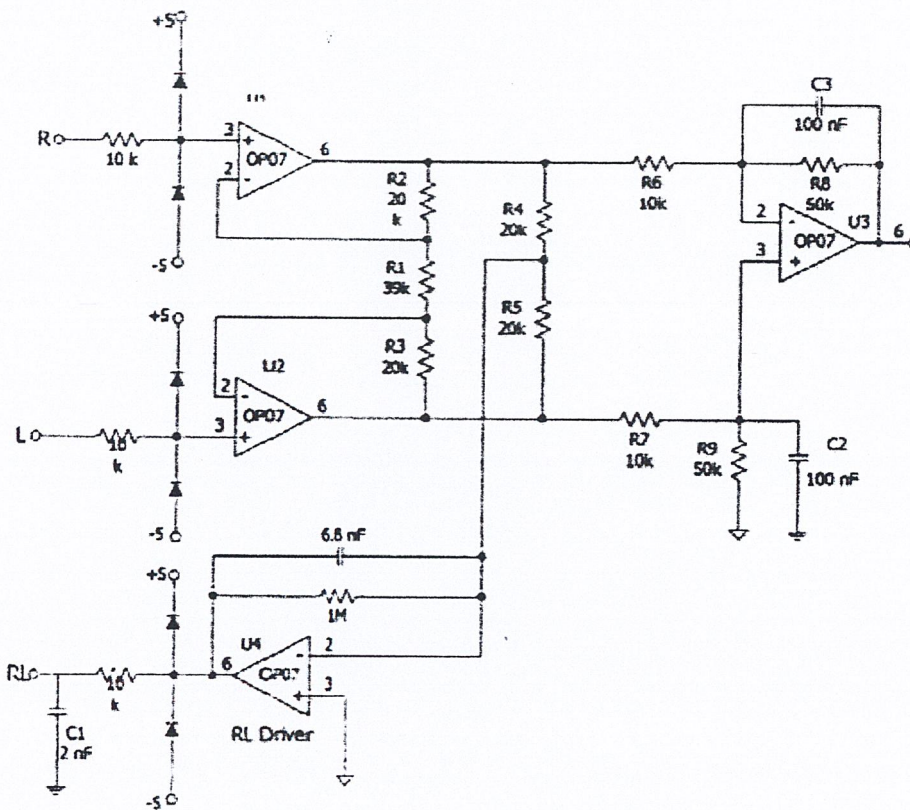
$$Av1 = 1 + 2(R2)/R1 = 1 + 2(20k)/39k = 2.02 \text{ เท่า}$$

U3 เป็นวงจรขยายความแตกต่างโดยที่ค่า R6 = R7 และ R8 = R9 มีอัตราขยายศักดาไฟฟ้าเท่ากับ

$$Av1 = R8/R6 \text{ หรือ } R9/R7 = 50k/10k = 5 \text{ เท่า}$$

ดังนั้นอัตราขยายไฟฟ้าทั้งหมดของวงจรขยายความแตกต่างเท่ากับ

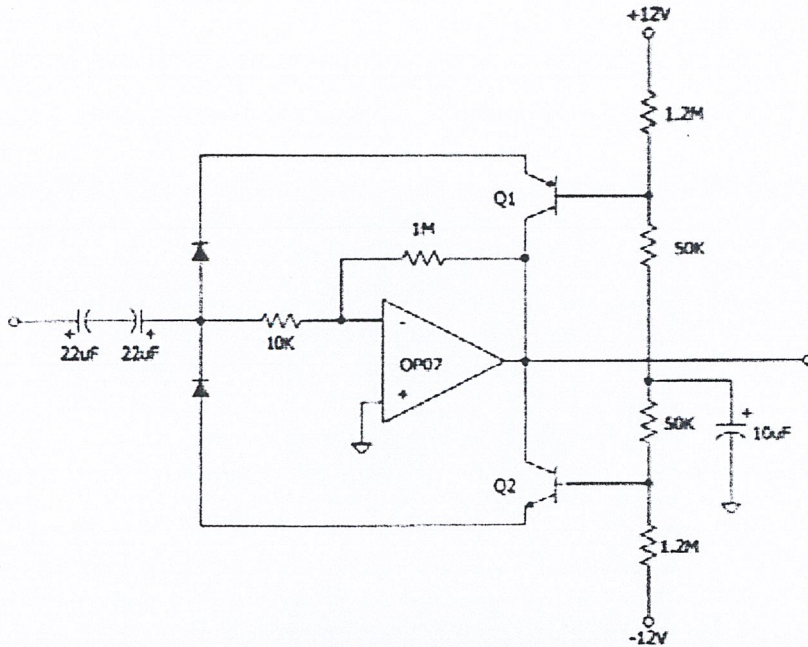
$$Avt = Av1 * Av2 = 2.02 * 5 = 10.1 \text{ เท่า}$$



รูปที่ 3.3 วงจรขยายความแตกต่าง

วงจรขยายในภาคแรกๆ ไม่ควรให้มีอัตราขยายมากเกินไป เพราะว่าถ้าเกิดมีเอาต์พุตลอยขึ้น ไปหรือต่ำลงจากระดับศูนย์ ซึ่งบางครั้งอาจอิมิตัวอยู่ที่ค่าใกล้กับศักดาของแหล่งจ่ายไฟทำให้วงจรไม่สามารถทำงานได้

3.2.2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Autozero circuit)



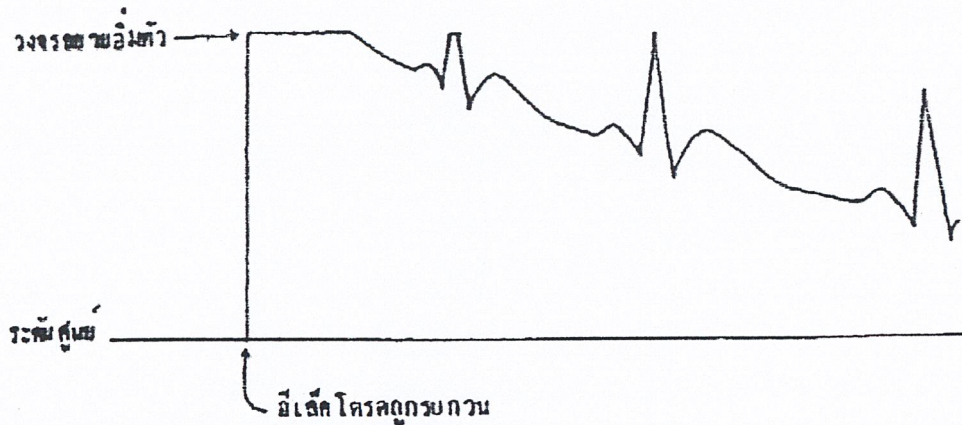
รูปที่ 3.4 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ

เมื่อสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านวงจรขยายความแตกต่าง มักจะมีศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ทถูกขยายมาด้วย ศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ทนี้เป็นศักดาไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถแยกออกคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้ โดยการส่งผ่านสัญญาณทางตัวเก็บประจุ แต่เนื่องจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีความถี่ต่ำอยู่ในช่วง 0.05-200Hz ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้อง มี ค่ามากเพื่อให้สัญญาณในช่วงความถี่ต่ำในช่วงดังกล่าว ผ่านไปได้ แต่เกิดปัญหาคือ ถ้ามีการรบกวนที่ถี่เล็ก โตรค เช่นเมื่อผู้ป่วยขยับตัวจะทำให้ค่าความต้านทานที่รอยสัมผัสของอิเล็กโตรด กับ ผิวหนังเปลี่ยนแปลงและวงจรเสียมดุลย์เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ทที่เอาต์พุทของวงจรขยายความแตกต่างคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ที่ผ่านตัวเก็บประจุจะลอยออกห่างจากระดับศูนย์ และกลับเข้ามาจากระดับศูนย์ซ้ำมาก เนื่องจากค่าคาบเวลาของ (time constant) ของตัวเก็บประจุกับความต้านทานอินพุทของวงจรเกินไปมีค่ามากดังรูป 3.5

หลักการของวงจรปรับศูนย์ คือ จะช่วยลดค่าคาบเวลาของ (time constant) ให้น้อยลงเมื่อเกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ทถึงระดับที่กำหนดไว้ ดังรูป 3.4 ในขณะที่ยังไม่เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ท ค่าคาบเวลาของที่จะเท่ากับผลคูณของ C_1 กับ R_{21} และเมื่อเกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซ็ท ประมาณ 1.2 V หรือ -1.2 V (เท่ากับศักดาไฟฟ้าตกรวมไดโอด D1 หรือ D2 กับ ขา EB ของทรานซิสเตอร์ Q1 หรือ Q2 ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนทางผ่านสัญญาณลงกราวด์ทำให้ค่า

คาบเวลาคงที่มีค่าลดลงหรือเหลือเท่าผล $C1$ กับค่าความต้านทานภายในของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีค่าน้อยมากส่วน U_6 เป็นวงจรขยายกลับเฟส (inverting Amp) มีอัตราขยายไฟฟ้าเท่ากับ

$$A_v = 1M / 10 K = 100 \text{ เท่า}$$



รูปที่ 3.5 แสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ส่งผ่านตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก เมื่ออีเล็กโทรลิตรูดรบกวน

3.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Notch filter)

ถึงแม้ว่าวงจรขยายในภาคแรกจะเป็นวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ก็ตาม แต่ถ้าเกิดความไม่สมดุลย์ของวงจรขึ้นมา สัญญาณรบกวนซึ่งส่วนใหญ่เป็นความถี่ 50 Hz ถ้าเราใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass filter) แบบธรรมดาที่ยอมให้ความถี่ต่ำกว่า 50 Hz ผ่านไปได้ ก็จะทำให้สัญญาณไฟฟ้าหัวใจส่วนที่มีความถี่สูงกว่า 50 Hz ถูกกำจัดออกไป ดังนั้นเราจึงต้องใช้วงจรความถี่ต่ำผ่านแบบ Low Pass Notch filter ซึ่งจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงและต่ำกว่า 50 Hz ผ่านไปได้ ส่วนสัญญาณรบกวน 50 Hz จะถูกกำจัดออกไป
วงจรแสดงดังรูปที่ 3.6

พิจารณาจากรูปที่ 3.6 เป็นวงจรที่ง่ายต่อการออกแบบ ก็สามารถปรับความถี่กลางได้โดยมีความต้านทานแบบปรับค่าได้ทำให้สามารถปรับช่วงแบนวิธค์แต่ค่า Q ไม่เปลี่ยนแปลงในการหาความถี่ศูนย์กลาง (F_c) ได้จากสมการ

$$F_c = 1/2\pi C 3R_a R_b$$

$$C1 = C2 = C3$$

$$R1 = 6(R2+R3+R4)$$

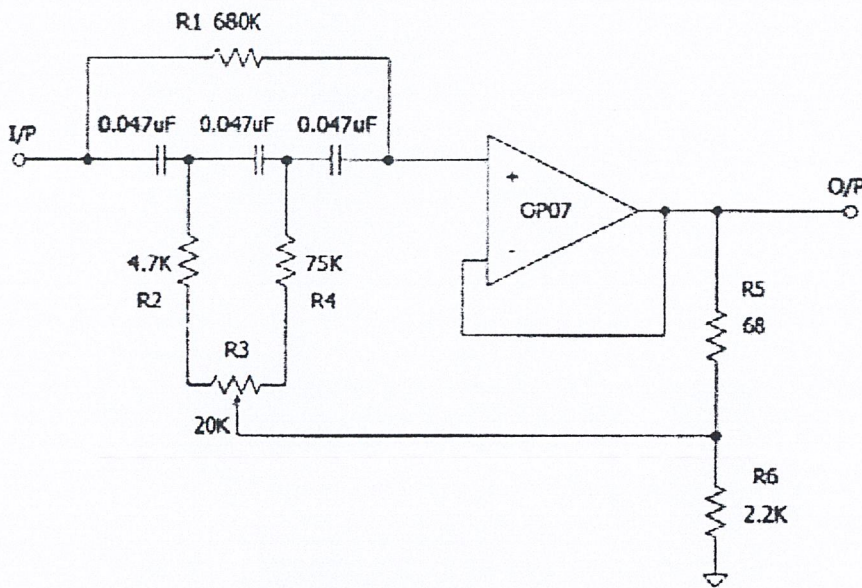
เมื่อ

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

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

โดยที่

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



รูปที่ 3.6 วงจรกรองความถี่ต่ำ Low Pass Notch filter

ในที่นี้ต้องการความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 50 Hz จะกำหนด $C = 0.047 \mu\text{F}$, $R_2 = 4.7\text{k}\Omega$, $R_4 = 75 \text{k}\Omega$ และความต้านทานปรับค่าได้ $R_3 = 20 \text{k}\Omega$ คั้งนั้น

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

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

$$= 598200 \Omega$$

$$R_5 = 68 \Omega$$

$$R_6 = 2200 \Omega$$

เมื่อแทนค่าลงสมการจะได้ความถี่ศูนย์กลางอยู่ในช่วงดังนี้ คือ

ปรับ $R_{3a} = 0 \Omega$, $R_{3b} = 20 \text{k}\Omega$

จะได้

$$R_a = 4700 + 0$$

$$\begin{aligned} R_b &= 75000 + 20000 \\ &= 95000 \Omega \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความถี่ศูนย์กลางคือ

$$\begin{aligned} F_c &= 1/2\pi C (3R_a R_b)^{0.5} \\ &= 1/2\pi 0.000000047 (3 \cdot 4700 \cdot 95000)^{0.5} \\ &= 92.52 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ปรับ $R_{3a} = 20 \text{ k}\Omega$ $R_{3b} = 0 \Omega$

จะได้

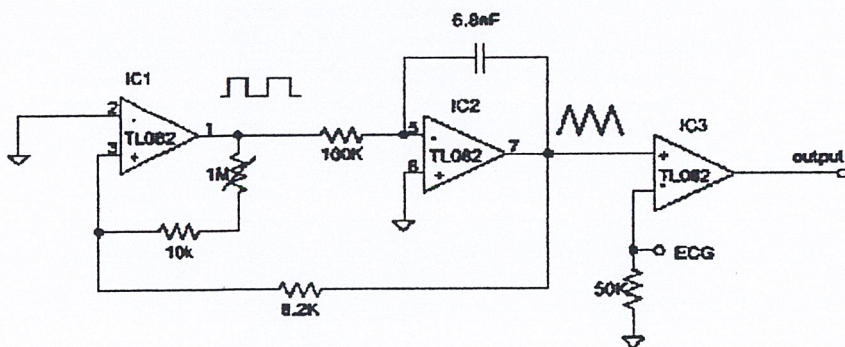
$$\begin{aligned} R_a &= 4700 + 20000 \\ &= 24700 \Omega \\ R_b &= 75000 + 0 \\ &= 75000 \Omega \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความถี่ศูนย์กลางคือ

$$\begin{aligned} F_c &= 1/2\pi C (3R_a R_b)^{0.5} \\ &= 1/2\pi 0.000000047 (3 \cdot 24700 \cdot 75000)^{0.5} \\ &= 45.42 \text{ Hz} \end{aligned}$$

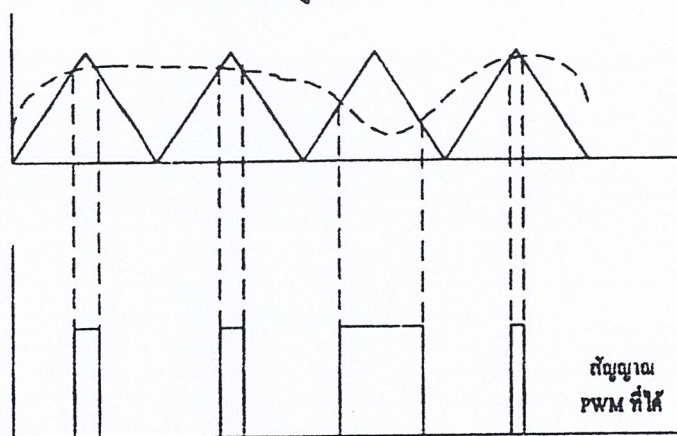
จากการออกแบบข้างต้นจะได้ความถี่ศูนย์กลางในช่วง 45.52- 95.52 Hz ดังนั้นถ้าต้องการความถี่ศูนย์กลาง 50 Hz จึงปรับ $R_{3a} = 20 \text{ k}\Omega$ โดยที่ค่า Q คงที่ประมาณ 4.16 ซึ่งวงจรที่ออกแบบเป็นดังรูป 3.6

3.2.4 วงจรมอดคูเลตและวงจรถ่วงผ่านคลื่นทางแสง



รูปที่ 3.7 วงจร Pulse width Modulator

จากรูปที่ 3.7 IC₁ และ IC₂ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Signal) ความถี่ 3 MHz เพื่อเป็นสัญญาณเปรียบเทียบ (Reference Signal) เข้าที่ขาอินพุทไม่กลับเฟส (Non Inverting input) ของ IC₃ ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) โดยสัญญาณที่ออกจากวงจรองความถี่ต่ำ จะถูกนำเข้าไปที่ขาอินพุทกลับเฟส (Inverting Input) ของ IC₃ สัญญาณที่เอาต์พุทของ IC₃ จะมีลักษณะที่ขาอินพุทไม่กลับเฟส ดังแสดง ได้ดังรูปที่ 3.8

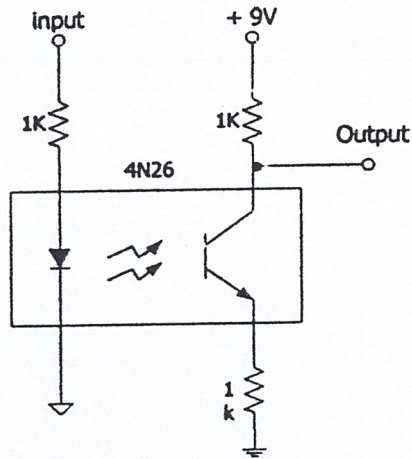


รูปที่ 3.8 แสดงการเปลี่ยนความกว้างพัลส์

3.2.5 วงจรส่งผ่านสัญญาณค้ำยแสง (Isolator)

เมื่อกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการไม่ให้ผ่านไปได้แล้ว ก็ผ่านมาที่วงจรส่งสัญญาณทางแสง เพื่อทำการแยกจุดคั่นระหว่างวงจรส่วนหน้าที่สัมผัสร่างกายกับวงจรถัดไป เพื่อป้องกันกระแสรั่วไหลจากเครื่องไปทำอันตรายต่อคนไข้ได้ จากวงจรในรูป ความต้านทาน R_1 ทำหน้าที่เปลี่ยนศักดาไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า เพื่อป้องกันกับตัวสัญญาณแสงซึ่งเป็นไดโอดความต้านทาน R_2 และ VR จะเป็นตัวป้องกันกระแสไบอัสให้กับตัวส่ง การตั้งไบอัสทำได้โดยการปรับตัวความต้านทาน เปลี่ยนค่าได้ VR จนกระทั่งศักดาไฟฟ้าที่คอลเล็กเตอร์ของตัวรับสัญญาณแสงมีค่าประมาณ $\frac{1}{2}$ ของศักดาไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ + V

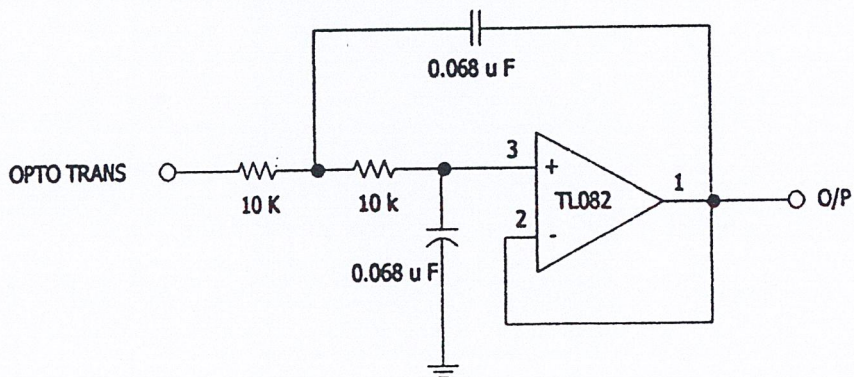
การไบอัสดังกล่าวเป็นการไบอัสให้ตัวส่งสัญญาณแสงซึ่งเป็นไดโอด ทำงานอยู่ในช่วงลิเนียร์ ซึ่งการปรับกระแสไบอัสให้อยู่ในช่วงลิเนียร์นี้กระทำได้ยากและตัวส่งสัญญาณแสงแต่ละตัวก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป เราจึงทำการปรับปรุง ไบอัสทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตัวส่งสัญญาณ (แม้ว่าตัวส่งสัญญาณจะเป็นเบอร์เดียวกันก็ตาม) และอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์ของวงจรถัดไปด้วย



รูปที่ 3.9 วงจรส่งผ่านสัญญาณด้วยแสง

ดังนั้นเราจึงแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการมอดคูเลตสัญญาณก่อนจะส่งผ่านไปยังตัวส่งสัญญาณแสง โดยเราจะใช้วงจรพัลส์ – วิดซ์ มอดคูเลเตอร์ (Pulse-Width Modulator) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

3.2.6 วงจรดีมอดคูเลเตอร์ (Demodulator)

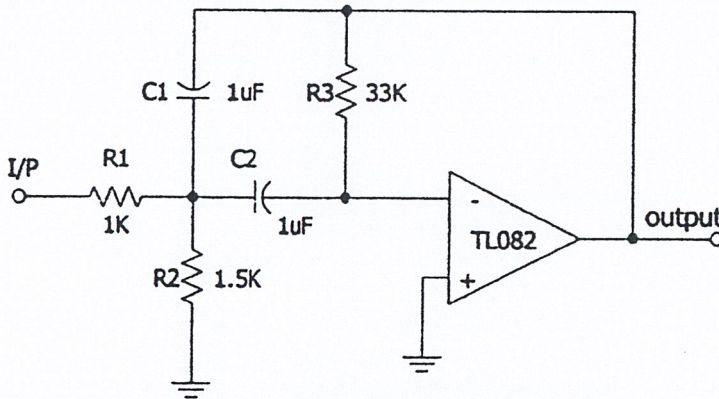


รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟฟิลเตอร์

หลังจากตัวรับสัญญาณแสงซึ่งเป็นสัญญาณพัลซ์แล้วจะต้องแปลงสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามเดิม โดยการใช้วงจรดีมอดคูเลเตอร์ ซึ่งวงจรที่ทำหน้าที่ดังกล่าว คือ

วงจรกรองความถี่ต่ำที่ขอมให้ความถี่ในช่วงความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านได้ ดังรูปที่ 3.10

3.2.7 วงจรแยกคลื่น QRS (QRS Discriminator)



รูปที่ 3.11 วงจรแยกคลื่น QRS

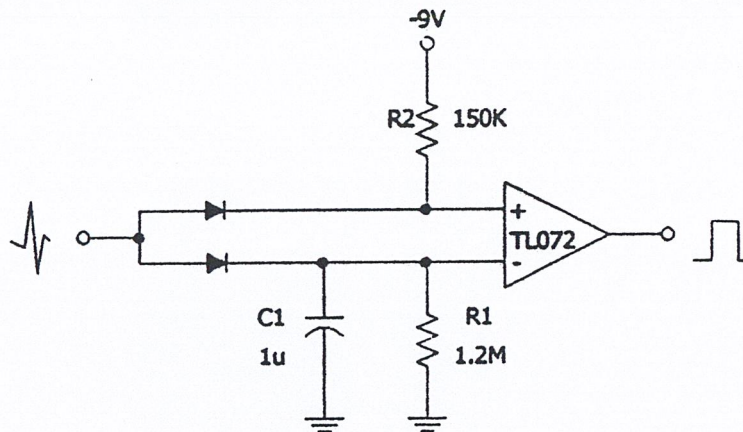
ในการหาค่าอัตราการเต้นของหัวใจ เมื่อหัวใจทำงาน 1 รอบจะต้องมีพัลส์ 1 ลูกส่งเข้าไปในวงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า เพื่อแสดงผลต่อไป โดยวงจรนี้เป็นวงจรกรองช่วงความถี่ผ่าน (bandpass filter) เนื่องจากคลื่น QRS มีความถี่ประมาณ 17 Hz และคลื่น T ได้ตั้งวงจรในรูปที่ 3.11 ซึ่งมีความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) f_r คือ

$$\begin{aligned} f_r &= \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3}} \\ &= \frac{1}{2\pi (1\mu)} \sqrt{\frac{1K + 1.5K}{1K \cdot 1.5K \cdot 33K}} \\ &= 35.76 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \pi f_r R_3 C \\ &= \pi (35.76) (33K) (1\mu) \\ &= 3.707 \end{aligned}$$

$$AV = \left(-\frac{R_3}{2R_1}\right) = -\left(\frac{-33K}{2(1K)}\right) = 16.5 \text{ เท่า}$$

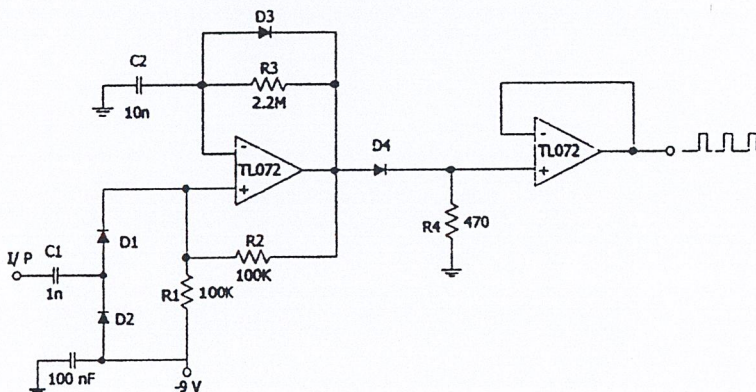
3.2.8 วงจรตรวจจับยอดคลื่น (Peak Detector)



รูปที่ 3.12 วงจรตรวจจับยอดคลื่น

เป็นวงจรสร้างพัลส์จากการตรวจจับยอดคลื่น QRS ดังวงจรในรูปที่ 3.12 C1 ทำหน้าที่เก็บค่าศักดาไฟฟ้าของยอดคลื่น QRS และจะคายประจุไฟฟ้าผ่าน R1 อย่างช้า ๆ R2 ทำให้ขาบวก (Non Inverting) ของ U14 เป็นลบ ในขณะที่ไม่มีคลื่น QRS ป้อนเข้ามา U14 เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) และให้เอาท์พุทออกมาเป็นพัลส์

3.2.9 วงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า (frequency to voltage converter)

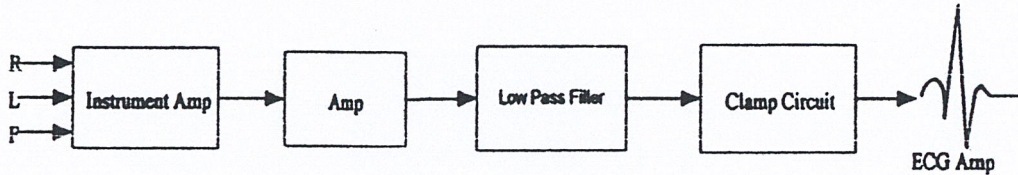


รูปที่ 3.13 วงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า

วงจรที่ใช้ในการแปลงค่าความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.13 ประกอบด้วยโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Monostable multivibrator) ซึ่งทำให้พัลส์มีความกว้างคงที่ วงจรบัฟเฟอร์ (buffer) ทำให้อาณาเขตของพัลส์มีค่าคงที่ 5V

3.3 การออกแบบและการสร้างภาคประมวลผล (Processing Unit)

จากบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปเราจะพบว่าหัวใจของโครงการงานชิ้นนี้ก็คือภาคประมวลผล ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 โดยในเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ซึ่งในที่นี้ใช้งานร่วมกับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ดังในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของภาคประมวลผล

3.3.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

โดยทั่วไปแล้ว A/D Converter จะถูกแบ่งเป็นชนิดที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นเลขฐานเลขฐานสิบ และเลขฐานสอง converter ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบ มักจะใช้เป็นดิจิตอลโวลต์มิเตอร์และถูกใช้ใน digital panel meter และ DMM คอนเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสองจะมีเอาต์พุตตั้งแต่ 4 ถึง 16 เอาต์พุต ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสอง จะเป็นอุปกรณ์อินพุตชนิดหนึ่ง ในระบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นเลขฐานในการควบคุม (microprocessor-based) เรียกว่า A/D converter แบบ μ -type

ผลที่ได้จากการทำงานของ เป็นเลขฐานสอง เอาต์พุตที่ออกมาจึงเป็นเลขแบบหลายบิต สำหรับแบบที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นเลขฐานสิบ (ใช้ใน DMM) ผลที่ได้เป็นตัวเลขฐานสิบ (เช่น $3\frac{1}{2}$ หรือ $4\frac{1}{2}$) โดยทั่วไปแล้ว A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสองจะมีจำนวนบิตเป็น 4,6,8,10,12,14 และ 16 บิต อาจมีการ error เกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย เนื่องจากการใช้ discrete binary step เพื่อแทนสัญญาณอนาล็อกที่มีความต่อเนื่องกันเรียกว่า quantizing error

A/D converter ขนาด 16 บิต มีความถูกต้องละเอียดแม่นยำมากกว่าแบบ 4 บิต เพราะว่ามีแบ่งอินพุตหรืออ้างอิงโวลต์แดงเป็น discrete step ที่เล็กกว่า ตัวอย่างเช่น แต่ละ step ใน A/D converter แบบ 4 บิต จะต้องเป็นหนึ่งในสิบห้า ($2^4 - 1 = 15$) ของอินพุตโวลต์แดง ผลที่ออกมาคือ 6.7% ($1/15 \cdot 100 = 6.7$ เปอร์เซ็นต์)

อย่างไรก็ตามในกรณีของ A/D converter แบบ 8 บิต ควรจะมี discrete step เป็นจำนวน 255 ($2^8 - 1 = 255$) ซึ่งจะเท่ากับ 0.39 เปอร์เซ็นต์ ($1/255 = 100 = 0.39$ เปอร์เซ็นต์) ซึ่ง A/D converter แบบ 8 บิต มีความละเอียดแม่นยำมากกว่าชนิด 4 บิต

ผลจากการทำงานของ A/D converter อาจมีข้อผิดพลาดทางตัวเลขอันเนื่องมาจาก discrete step ที่เอาต์พุตของไอซี ซึ่ง A/D converter ทุกตัวมีความผิดพลาดอันนี้อยู่

นอกจากนี้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน A/D converter อีกอย่างหนึ่งก็คือ analog component เช่นวงจรเปรียบเทียบและความผิดพลาดอื่น ๆ อันเนื่องมาจากโครงข่ายวงจรของตัวต้านทาน ความละเอียดของ A/D converter เรียกว่า accuracy ของ ไอซี A/D converter

ค่า accuracy ของไอซี A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสองมีช่องกว้างจาก $\pm \frac{1}{2}$ LSB ถึง $+2$ LSB ส่วน accuracy ของ A/D converter แบบที่ให้เอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบ จะมีช่องกว้างตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.05 เปอร์เซ็นต์

Conversion time เป็นรายละเอียดเฉพาะของ A/D converter อันหนึ่งที่สำคัญซึ่งเป็นเวลาที่ A/D converter ใช้ในการให้ไอซี เปลี่ยนค่าอนาล็อกทางอินพุต ให้เป็นข้อมูลเอาต์พุตเลขฐานสอง (หรือเลขฐานสิบ) โดยทั่วไปแล้ว conversion time ของ A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบมักอยู่ในช่วง 200 ถึง 400 ms ส่วน A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสองมักมีค่า conversion time อยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 100,000 us

ลักษณะเฉพาะอื่น ๆ โดยทั่วไปนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วของ A/D converter คือค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟมักมีค่าประมาณ +5 อย่างไรก็ตาม A/D converter บางตัวก็ทำงานที่ค่าโวลเตจ +5V ถึง +15V

ระดับแรงดันทางเอาต์พุตเป็นทั้งแบบ TTL, CMOS, หรือ tristate (สามสถานะ) ช่วงกว้างของอินพุตโวลเตจมักเป็น 5 Volt ค่าการสูญเสียกำลังสูงสุดของ A/D converter มักมีค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 3000 mW

A/D converter เบอร์ ADC 0804 ถูกออกแบบมาให้สามารถเชื่อมต่อเข้าโดยตรงได้กับ ไมโครโปรเซสเซอร์หลายๆ เบอร์เช่น Z80, 8085, 8080

บางขาของไอซี ADC 0804 อาจเหมือนกับขาของไมโครโปรเซสเซอร์ที่เราใช้งานกันทั่วไปเช่น ADC 0804 ใช้ชื่อว่า INTR WR และ RD ซึ่งคล้ายกับขา INTR, WR และ RD ในไมโครโปรเซสเซอร์ 8052 ไอซี ADC 0804 สามารถเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิตที่นิยมใช้กันทั่วไปชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น 6800 และ 6502

ขา CS control input ใช้สำหรับรับสัญญาณ (chip select) จากวงจรพอร์ทคำสั่งแอดเดรส ไมโครโปรเซสเซอร์

3.3.2 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller interfacing)

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นเราสามารถที่จะนำมาออกแบบวงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์สิ่งที่เราต้องทราบในเรื่องนี้คือสถาปัตยกรรมเบื้องต้นและการใช้งานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เสียก่อน

3.3.2.1 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ลักษณะทั่วไปของ MCS-51 จะประกอบด้วย

- 1.สร้างโดยใช้ HMOS และ DMOS เทคโนโลยีและการทำงานด้วย แหล่งจ่ายไฟขนาด 5 V เพียงแหล่งเดียว
- 2.CPU มีขนาด 8 bit
- 3.มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรมานาฬิกาบนชิป
- 4.ชุดแบงก์ (bank) รีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 ตัว
- 5.มีตัวจับเวลา / นับเวลา ขนาด 16 บิต 2 ชุด และสำหรับเบอร์ 8030,8052 มี 3 ชุด
- 6.มีพอร์ต I/O แบบขนาน 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็นเส้นแต่เหลือ 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น ใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
- 7.พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่มีความเร็วสูง
- 8.หนึ่งไซเคิลคำสั่งจะใช้เวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการไคริสตอล 12 เมกกะเฮิร์ต
- 9.แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
- 10.แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
- 11.สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง
- 12.มีซอร์ฟแฟลคสำหรับผู้ใช้ที่กำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
- 13.โครงสร้างอินเตอร์รัพท์ทำได้ 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง สำหรับ 8032 / 8052 พร้อมด้วยการจัดไพรออริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ
- 14.ตัวโปรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้สำหรับการใช้งานควบคุม
- 15.มีคำสั่งคูณและหารทางฮาร์ดแวร์ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
- 16.ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ใช้ได้ทั้งแบบไบนารี (Binary) และเดซิมีอล (Decimal)
- 17.การใช้พื้นที่สแต็คสำหรับ โปรแกรมย่อยต่าง ๆ ทำได้กว้างขึ้น
- 18.ชุดคำสั่งของ MCS-51 จะมีชุดคำสั่งของ MCS-48 ตระกูล MCS-51 จะมีทั้งแบบ ROM ในตัว หรือไม่มี ROM หรือมี REROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน

3.3.2.2 การจัจัดขาลักษณะภายนอกของ MCS – 51

จากรูปที่ 3.16 แสดงการจัดขาลักษณะภายนอกของชิป MCS – 51ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1.ขา Vss (ขา 20) เป็นขาสำหรับต่อลงดิน

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

3.ขา PORT 0 (PO.0 – PO.7 ,ADO –AD7) (ขา 32 - 39)เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบOpen Drain Bi – directional สามารถที่จะรับโหลดที่ทีแอลได้ 8 ตัว การเขียนค่า “1” ไปที่พอร์ตนี้จะเป็นการปล่อย (Float) ขา ของพอร์ตนี้ทำให้มันทำงานเป็นอินพุท มีสถานะอิมพีแดนซ์สูง ในการพอร์ตนี้ให้บริการแบบไอโอพอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพล็กซ์ด้วยสัญญาณแอดเดรสไบต์ค่ากับบัสข้อมูลสำหรับการใช้งานในด้านหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูลอัพ พอร์ต 0 ยังใช้งานเป็นตัวส่งข้อมูลทางพอร์ตนี้ เมื่อใช้บริการทางด้านการตรวจสอบโปรแกรม ROM ภายในและการโปรแกรมตัว EPROM ภายใน ถ้าใช้งานภายในลักษณะนี้ การพูลอัพภายนอกจะต้องมีค่าด้วยค่า 10 กิโลโอห์ม

4.ขา PORT 1 (P1.0 - P1.7) (ขา 1 - 8) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พร้อมด้วยการพูลอัพภายใน ถ้าเป็นพอร์ต เอาท์พุท บัฟเฟอร์สามารถขับโหลดที่แอสตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัว ,พอร์ต 1 เมื่อถูกเขียนค่า “1” ด้วยโปรแกรมมันจะมีสถานะสูงด้วยการพูลอัพภายใน การให้สถานะเช่นนี้จะเป็นการ Initial ใช้งานพอร์ตนี้ให้เป็นอินพุทขณะที่พอร์ต 1 เป็นอินพุทการให้สัญญาณลงค่าจะเป็นการจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน

5.ขา PORT 2 (P2.0 – P2.7) (ขา 21 – 27) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional ด้วยการพูลอัพภายในพอร์ต 2 ที่หน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาท์พุทสามารถจ่ายโหลดที่แอดเดรสตระกูลแอลเอสไอได้ 4 ตัว พอร์ตจะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิตด้วยการใช้งานแบบนี้ มันจะมีพูลอัพภายในที่ช่วยให้การส่งค่า “1” ได้รับความที่แน่นอน นอกจากการใช้งานสำหรับแอดเดรสอันดับสูงยังเป็นขาควบคุมในการตรวจสอบ และเขียนโปรแกรมเบอร์ 8751 และตรวจสอบโปรแกรมภายใน 8051

6.ขา PORT 3 (P3.0 – P3.7)(ขา 10-17) เป็นพอร์ตไอโอ 8 บิตแบบพูลอัพภายใน นอกจากทำหน้าที่สามารถรับโหลดที่มีแอลพวงตระกูล แอลเอสไอได้ 4 แล้วยังใช้งานเป็นพิเศษสำหรับตระกูล MCS –51 การที่จะทำงานต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการส่งค่า “1” ไปแลทซ์ไว้ก่อนที่ทำให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

7.ขา RST (ขา 19) ต้องคงสถานะค่าสูงเป็นเวลาประมาณ อย่างน้อย สองไมโครวินาที ระหว่าง ออสซิลเลเตอร์ทำงานขณะที่ต้องการรีเซ็ตทั้งระบบงาน โดยจะต่อรีจิสเตอร์พูลคาวน์ (8.2 กิโล โอห์ม)จากขา RST ไปลงดินและเพื่อให้ตัวปริเซท ได้อัตโนมัติขณะเปิดไฟจะใช้คาปาซิเตอร์ (10 ไมโครฟารัด) ต่อคร่อม ระหว่างขา RST กับขา Vcc

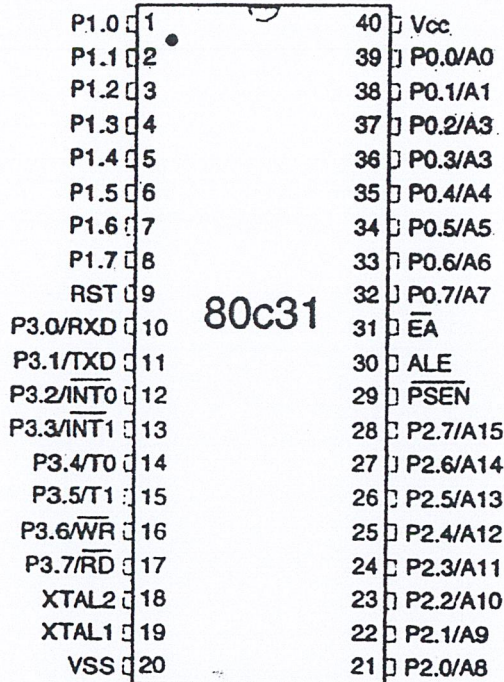
8.ขา ALE / PROG (ขา 30) เป็นแอดเดรสเลทซ์อื่นาเปิดด้วยการส่งพัลซ์ออกไปใช้สำหรับ เลทซ์ค่าแอดเดรสไบท์ต่ำจากพอร์ต 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายใน ALE จะ ถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาในอัตราความเร็วคงที่ ที่ $1/8$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีการเข้าถึงข้อมูล จากภายในคั้งนั้นจึงสามารถจะใช้สัญญาณนี้จะลดความถี่ช้าลง ไปเท่า หนึ่ง ระหว่างการทำงานแบบเข้าถึงของหน่วยความจำภายนอก , ขานี้ยังใช้เป็นสัญญาณพัลซ์เข้า สำหรับการควบคุมโปรแกรม EPROM ภายในชิป

9.PSEN (Program storage Enable) (ขา 29) เป็นสโตรปอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ ภายนอก เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมภายนอก ขา PSEN จะสร้างสโตรปต่ำสองครั้งภายในแต่ละ ไมโครวินาที สัญญาณจะมีสถานะสูงหรือพัลซ์ต่ำ ทั้งสองจะถูกจะหายไปเมื่อทำงานในช่วงการอ่านหรือ เขียนข้อมูล จากหน่วยความจำภายนอกและ PSEN จะไม่มีพัลซ์ส่งออกถ้าชิปทำงานด้วยโปรแกรม หน่วยความจำภายใน

10.EA / Vpp (ขา 31) มีสถานะสูงตัว CPU ในชิปจะทำงานตามโปรแกรมที่อยู่ใน หน่วยความจำภายใน (โดยที่โปรแกรมจะต้องไม่ยาวกว่า 4 Kbytes สำหรับเบอร์ 805AH และ 8 Kbytes สำหรับเบอร์ 8052AH) การทำให้ EA มีสถานะต่ำจะเป็นการควบคุมให้ CPU ทำงานตาม โปรแกรมหน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 Kbytes ในตัว 8031AH และ 8032AH ขา EA จะต้องต่อลงดินเช่นกัน

11.ขา XTAL1 (ขา 19) ใช้เป็นอินพุตเข้าสู่ออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert

12.ขา XTAL2 (ขา 18) ใช้เป็นเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ขยายแบบ Invert



รูปที่ 3.16 แสดงการจัดตำแหน่งขาภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

เมื่อเราได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างภายนอกและตำแหน่งของขาต่าง ๆ แล้วก็สามารถลอกแบบการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถหาได้จากคู่มือและตำราเกี่ยวกับเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ได้ที่สำคัญคือ

1. การต่อ ROM ในโครงการนี้เราจะใช้เป็น EPROM เบอร์ 2764 มีขนาด 64 kbytes ซึ่งได้ออกแบบการทำงานไว้ที่แอดเดรส 0000H - 1FFFH ซึ่งปกติแล้วจะทำหน้าที่เป็นมอนิเตอร์โปรแกรม (Monitor Program) ในการทดลองเบื้องต้นเราจะใช้อีพรอมอีมูลเลเตอร์ เป็นตัวเขียนโปรแกรมก่อนเพื่อง่ายต่อการแก้ไขโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่

2. การต่อ RAM ในโครงการนี้ใช้ RAM เบอร์ 6264 มีขนาด 64 Kbytes ซึ่งได้ออกแบบการทำงานไว้ที่แอดเดรส 2000H - 3FFFH ให้ทำหน้าที่พักข้อมูลในระหว่างการประมวลผล

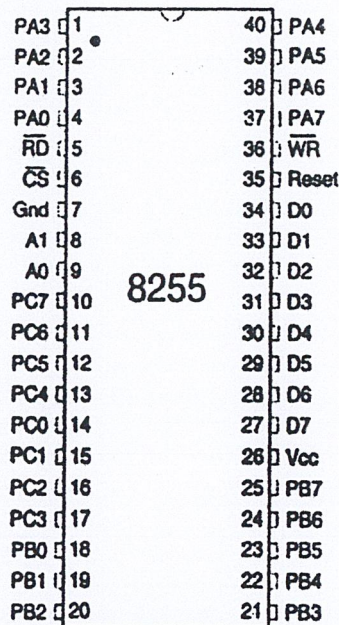
3. การต่อวงจรส่วนของเอ็ดซีซี คอนเวอร์เตอร์ โดยการเชื่อมต่อที่พอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และขาอินเทอร์รัพท์ถึงกันเพื่อทำการส่งและรับข้อมูลได้ถูกต้อง

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

5.การต่อสัญญาณอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น สัญญาณรีเซท วงจรกำเนิดความถี่ วงจรแยกสัญญาณข้อมูลและสัญญาณแอดเดรสออกจากกัน การรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม สามารถต่อได้ตามลักษณะข้อกำหนดของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051

3.3.3 วงจรเชื่อมต่อไอซี 8255 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (8255 Interfacing)

ไอซี 8255 เป็น IC PORT ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาใช้กับ 8080 แต่ก็สามารถนำมาใช้กับ MCS-51 ได้ง่ายคาย



รูปที่ 3.17 แสดงขาต่าง ๆ ของไอซีเบอร์ 8255

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

DO-D7 ต่อเข้ากับขา DATA BUS ของ CPU เพื่อใช้สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่าง PORT กับ CPU

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

RESET	เป็น "1" ใช้ CLEAR สถานะต่าง ๆ ของ 8255
PA0-PA7	เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต
PB0-PB7	เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต
PC0-PC7	เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต
RD	ในการอ่านข้อมูลที่พอร์ต 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก "0" พร้อมกับ CS
WR	ในการเขียนข้อมูลหรือโปรแกรมลงบน 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก "0" r พร้อมกับ CS
CS	เป็นขาเลือกให้ 8255 ทำงานมักจะต่อกับระบบ I/O Decoder

MODE การทำงานของ 8255

8255 การทำงานโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3 MODE คือ

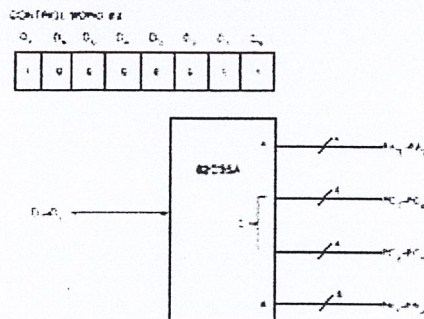
MODE 0 มีการทำงานแบบ Basic I/O ไม่มี Handshaking

MODE 1 ใช้พอร์ต A,B ในการรับส่งข้อมูล และใช้พอร์ต C ในการตรวจสอบสัญญาณ Handshaking

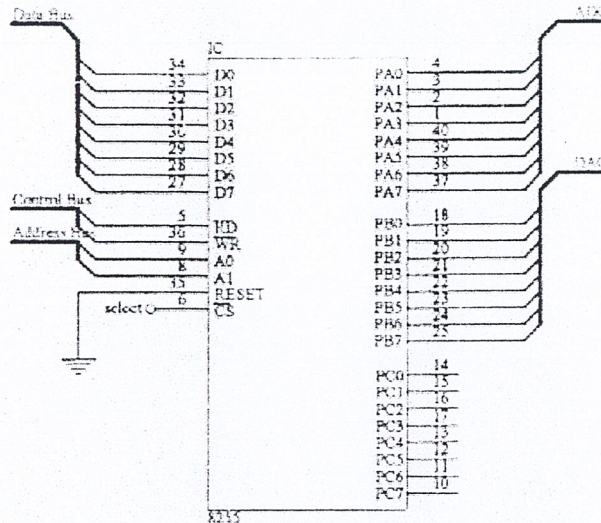
MODE 2 ใช้พอร์ต A ในการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทาง และใช้พอร์ต B ในการรับหรือส่งข้อมูล ส่วนพอร์ต C บิต 0,1,2 ใช้ในการส่งข้อมูล และบิต 4,5,6 เป็นสัญญาณ Handshaking

PORT ที่ใช้สำหรับCONTROL

การใช้ 8255 จะต้องส่งรหัสควบคุม (Control byte) เข้าไปยัง PORT ข้อมูลควบคุม (PORT สดท้ายใน 4 PORT คอที่ A1 กับ A0 เป็น 1 เช่น PORT 8003H) เพื่อควบคุมการทำงาน 8255 ว่าให้ทำงานใน MODE ไหนและให้แต่ละ PORT เป็น INPUT หรือ OUTPUT PORT



รูปที่ 3.18 ตัวอย่าง รหัสควบคุม โหมด 0



รูปที่ 3.19 วงจรเชื่อมต่อ 8255 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

จากวงจรการเชื่อมต่อข้างบนเราได้ออกแบบการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานไว้ดังนี้

-8000H เป็นพอร์ต A ใช้ในการรับข้อมูลคิจิตอลจากวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นคิจิตอล โดยต่อลักษณะการรับ – ส่ง ข้อมูลแบบขนาน

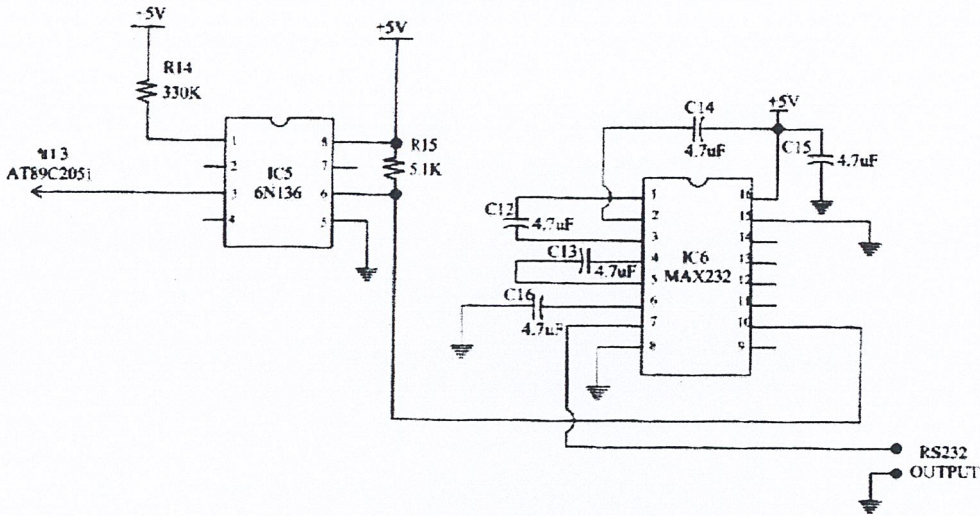
-8001H เป็นพอร์ต B ในที่นี้เรายังไม่ได้ใช้งานจึงปล่อยไว้เฉย ๆ

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

-8003H เป็นพอร์ตควบคุมเพื่อใช้ในการทำงานของพอร์ตต่าง ๆ พร้อมกับตั้งค่าโหมดการทำงานของ 8255 อีกด้วย จากการออกแบบการทำงานที่ผ่านมาจากของ 8255 เราจะใช้คำสั่งควบคุม (Control word) มีค่าเท่ากับ 91H

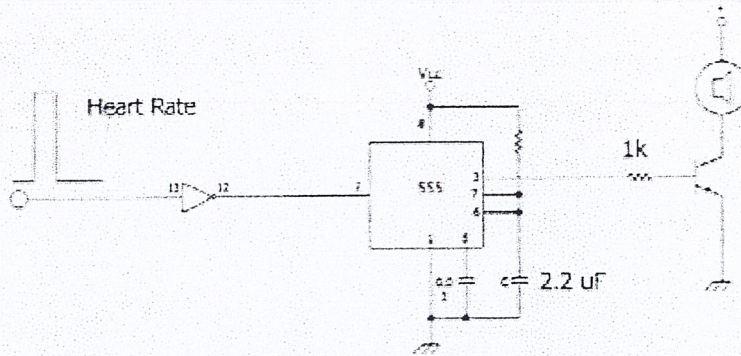
3.3.4 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์

ในการอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์นั้นเราได้ใช้ ไอซี MAX232 ในการรับส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งตามมาตรฐาน RS232 จะต้องปรับระดับแรงดันให้มีความ -3V ถึง -15V และ +3 ถึง 15V ซึ่งระดับแรงดันของข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีค่า 0-5V จะปรับระดับแรงดันโดย ไอซี MAX232 จากรูปเป็นการต่อใช้งาน MAX232 กับ ไอซี 6N136 ซึ่งใช้เป็นวงจรแยกกราวด์ ขา3 จะนำไปต่อกับ A189C2051



รูปที่ 3.20 ไอซี MAX232 กับวงจรแยกกราวด์

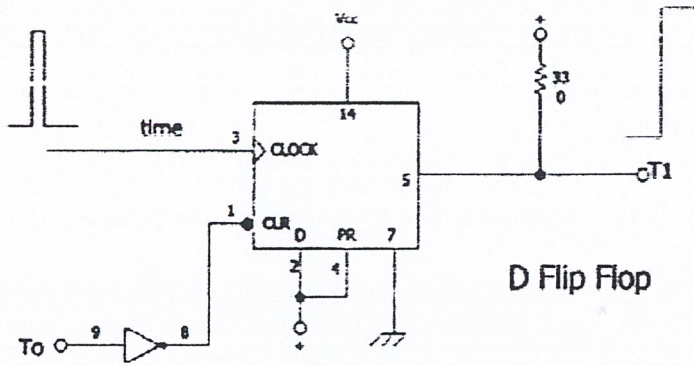
3.3.5 วงจรสร้างสัญญาณเสียงอัตราการเต้นหัวใจ



รูปที่ 3.21 โมโนสเตเบิลสร้างเสียงอัตราการเต้นหัวใจ

การสร้างสัญญาณเสียงจากคลื่นสัญญาณ Heart Rate ที่มาเป็นคลื่นพัลส์สั้น ๆ จะทำได้ โดยการใช้วงจร โมโนสเตเบิล ซึ่งสร้างโดย IC 555 timer โดยค่า C จะเป็นตัวกำหนด ความยาวพัลส์ เอาท์พุท ถ้าต้องการให้เสียงมีความชัดเจนต้องใช้ค่า C ที่เหมาะสมกับวงจร โดยหาได้จากตาราง ค่า RC จาก datasheet ของ IC 555 จากการทดลองค่าที่เหมาะสมให้เสียงชัดเจนไม่สั้นแล้วไม่ ยาวนานเกินไป คือค่า C 2.2 uF และ R 10 k

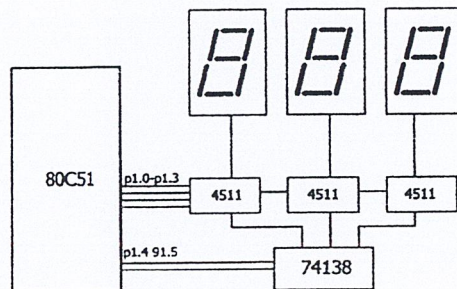
3.3.6 วงจรสร้างสัญญาณอินพุทให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.22 D flipflop สร้างลอจิกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

จากวงจรเพื่อสร้าง ลอจิกให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการเขียนโปรแกรมซึ่งปกติการรับสัญญาณพัลส์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้การทำเคาน์เตอร์หรืออินเตอร์รัพ แต่ก็สามารถใช้แบบการเช็ดลอจิกแล้วจะทำการส่ง Clear เพื่อให้ flipflop เกิดการ Clear ขึ้นมาแล้วรับสัญญาณ Heart rate ต่อไป

3.3.7 วงจรแสดงผลอัตราการเต้นหัวใจ



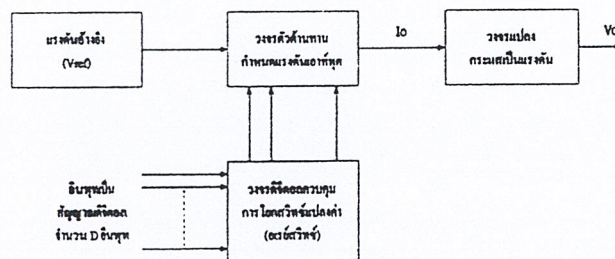
รูปที่ 3.23 ควบคุมการแสดงผล Seven's segment

วงจรแสดงผล Seven's segment ต่อเพื่อควบคุมให้ ค่าตัวเลขออกมาตามที่วงจรกำหนดไว้ ถึงแม้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำงานได้เพียงลำพังโดยไม่อาศัยวงจร BCD ก็แสดงผลได้แต่ ทำให้เปลืองเวลาในโปรแกรมที่จะนำมาแสดงผล วงจรนี้จึงตัดปัญหาการทำงานของโปรแกรมที่ซับซ้อนให้กระชับขึ้นด้วย โดยโปรแกรมการควบคุมการแสดงผลอัตราการเต้นสามารถเขียนให้สั้นขึ้นได้ การทำงานของวงจรจะใช้ IC 74138 เป็นตัวเลือกหลักของการแสดงแต่ละหลักจะมี IC 4511 ควบคุมซึ่งแปลงเลขจากรหัส BCD เป็น DECIMAL ได้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นเพียงผู้ให้ข้อมูลเท่านั้น

3.3.8 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (DAC)

วงจร DAC คือวงจรใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างวงจรดิจิทัลกับวงจรมอนาล็อก สัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ ตัวตรวจจับสัญญาณจะเป็นหน่วยเปลี่ยนกระบวนการทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ แรงดัน ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในรูปของแรงดัน กระแส แต่จะมีความยุ่งยากมากขึ้นหากต้องการเก็บสัญญาณอนาล็อกไว้ตลอดช่วงเวลานาน ๆ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหรือคำนวณในภายหลัง ตรงกันข้ามคอมพิวเตอร์สามารถทำงานดังกล่าวนี้ได้ดีกว่ามากด้วยสัญญาณดิจิทัล หากเมื่อใดต้องการที่จะนำผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ออกไปควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องมือจักรกลใด ๆ ที่ใช้สัญญาณอนาล็อก จำเป็นต้องมีวงจร DAC ต่อร่วมด้วยเสมอ

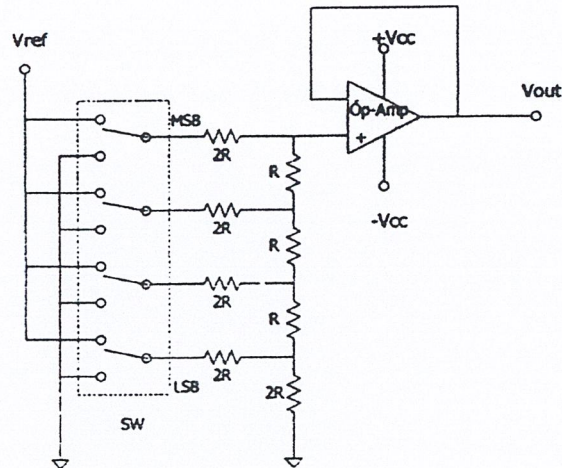
หลักการการทำงานของ DAC



รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรม DAC

หัวใจสำคัญของ DAC คืออरेย์สวิตช์ที่ควบคุมลอจิกจำนวน n ชุดเท่ากับจำนวน Binary bit อินพุตสวิตช์เหล่านี้จะตัดต่อแรงดันอ้างอิงขนาดหนึ่งกับวงจรตัวต้านทานตามรหัส Binary อินพุต และ Buffer amp จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสที่ได้เป็นแรงดันอนาล็อก ซึ่งแรงดันอนาล็อกที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับ Binary bit input

วงจร DAC R-2R แบบ ladder



$$V_o = (V_{ref} / 2^N) * (8S_4 + 4S_3 + 2S_2 + S_1)$$

เมื่อ S close = 1; S open = 0

รูปที่ 3.25 วงจร DAC แบบ R-2R ladder ขนาด 4 บิต

วงจร DAC ขนาด 8 บิต

วงจร DAC แบบ R-2R 8 บิต เปลี่ยนแปลงของสวิตช์ทางด้านอินพุตควบคุมโดยใช้วงจรลอจิก TTL CMOS หรืออื่น ๆ กระแสที่ไหลในแต่ละบิตที่ถูกควบคุมอาจไหลได้ 2 ทาง คือ ไหลลงกราวด์หรือไปยัง เอาต์พุต หลังจากนั้นก็ต้องวงจรออปแอมป์เพื่อให้กระแสเอาต์พุตเป็นบวกหรือเป็นลบหรือเป็นเอาต์พุตแบบคู่ มีบริษัทผู้ผลิตหลายรายผลิตไอซี DAC แบบนี้ออกมาจำหน่ายเบอร์ที่ใช้ทั่วไป เช่นเบอร์ DAC-08 เพื่อให้การต่อใช้งานง่าย และมีราคาถูกลง ดังแสดงในการต่อวงจรใช้งานเบื้องต้น ในรูปที่ 3.25 ไอซีเบอร์นี้ใช้ได้กับแรงดันไฟเลี้ยง 4.5 โวลต์ ถึง 18 โวลต์

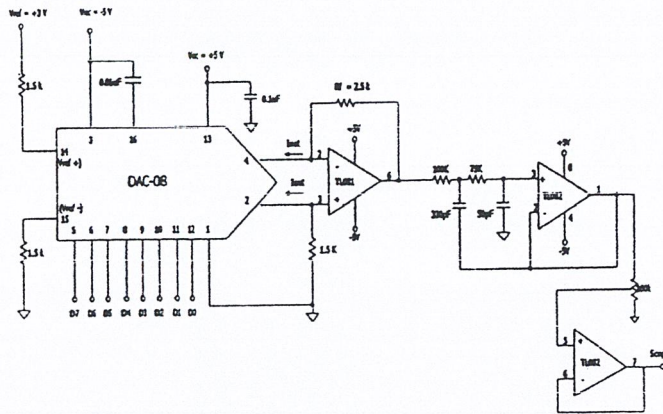
$$I_{ref} = V_{ref} / R_{ref}$$

DAC-08 ใช้ $I_{ref} = 2\text{mA}$ $V_{ref} = 3\text{V}$

$$R_{ref} = 3\text{V} / 2\text{mA} = 1.5 \text{ K}\Omega$$

$$R_f = V_{o_{MAX}} / I_{fs}$$

$$= 2.988 \text{ V} / 1.99 \text{ mA} = 1.499 \text{ K}\Omega \approx 1.5 \text{ K}\Omega$$



รูปที่ 3.26 แสดงการต่อวงจร ไอซีเบอร์ DAC-08

ความละเอียดของกระแส = $(V_{ref} / R_{ref}) * (1/2^n)$

I_{out} = ความละเอียดของกระแสคูณด้วยค่า D

I_{fs} = ความละเอียดของกระแสคูณด้วยค่า 255

D คือ ค่าเลขฐานสิบที่แปลงมาจากเลขฐานสองจากลอจิกอินพุต

I_{fs} คือ ค่ากระแสเต็มสเกลเมื่ออินพุตเป็น 11111111 = 255 = D

$$V_o = I_{out} * R_f$$

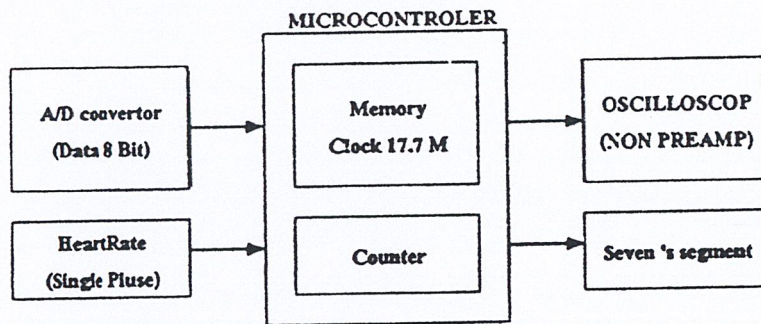
ตารางที่ 3.1 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

	รหัสดิจิทัลอินพุต								O/P(จำนวน)	
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	$I_{out}(mA)$	$V_o(V)$
ค่าต่อบิต	0	0	0	0	0	0	0	1	0.007813	0.011719
ค่าครึ่งสเกล	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1.5
ค่าเต็มสเกล	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992188	2.988

บทที่ 4

การออกแบบซอฟต์แวร์แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและอัตราการเต้น แสดงผลบนเซเวนเซ็กเมนต์

ในการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผล แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ เมมโมรีเพื่อส่งให้จอออสซิลโลสโคป และการประมวลผลการนับอัตราการเต้นหัวใจ ทั้งสองส่วนนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สองชุด เนื่องจากการทำงานของเมมโมรีของจอออสซิลโลสโคปนี้จำเป็นต้องใช้ความสูงเพื่อให้เกิดการแสดงผลที่ต่อเนื่อง และส่วนของการเคาน์เตอร์อัตราการเต้นนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกชุดหนึ่ง การทำงานของทั้งสองจึงแยกส่วนกันแสดงดังรูปที่ 4.1

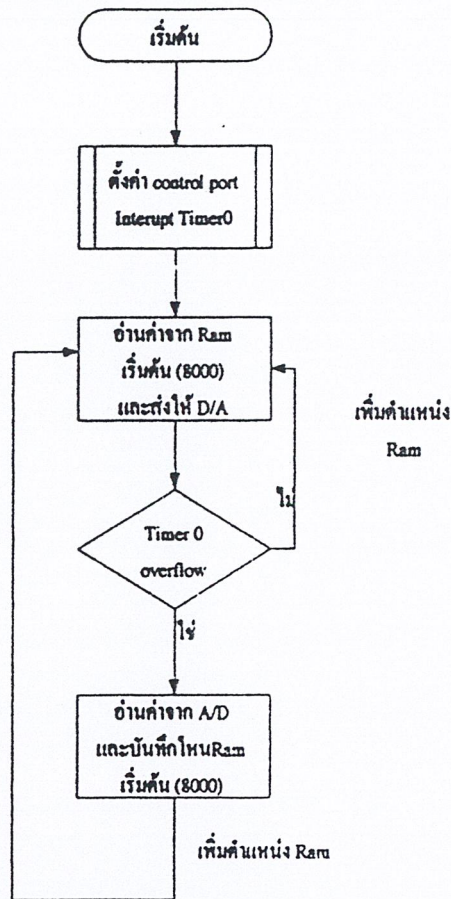


รูปที่ 4.1 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคปและอัตราการเต้นบนเซเวนเซ็กเมนต์

4.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ แสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

4.1.1 หลักการทำงานของโปรแกรมแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

หลักการทำงานของโปรแกรมจะใช้หลักการ การเปลี่ยนความถี่คือการเก็บข้อมูลความถี่ค่าแล้ว แสดงผลให้ความถี่สูงขึ้น หรือการแสดงผลข้อมูลซ้ำหลายครั้งให้เกิดความต่อเนื่องเหมือนสัญญาณมีความถี่สูงขึ้น ฮาร์ดแวร์ที่ใช้คือไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 คู่กับเมมโมรี 6264 เพื่อรองรับความต้องการของซอฟต์แวร์ เมมโมรีจำนวนพอเหมาะสำหรับความถี่ที่แสดงผลบนหน้าจอออสซิลโลสโคป คือ 512 แอดเดรส โดยกำหนดแอดเดรสเริ่มต้นที่ 8000H – 80FFH สามารถแสดงผลออกมาเป็นรูปคลื่นที่ชัดเจนได้ที่ Time /Div 1 msec



รูปที่ 4.2 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรม memory

4.1.2 การทำงานของโปรแกรมแสดงผลบนจอออสซิลโลสโคป

จะแบ่งเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนการเก็บข้อมูล และส่วนการส่งข้อมูล ในตอนเริ่มแรก โปรแกรมจะทำการตั้งค่าตำแหน่งเมมโมรีเริ่มต้น ตั้งค่าคอนโทรลพอร์ตของ 8255 และ อินเตอร์รัพทามเมอร์ 0 หลังจากตั้งค่าเริ่มต้นเรียบร้อยแล้วจะเริ่มทำการ การเก็บข้อมูลโดยใช้ interrupt Timer 0 เป็นช่วงเวลา (Sampling) เก็บข้อมูลจาก Port A ของ 8255 (Data 8 Bit จากวงจร A/D) เพื่อที่จะนำไปเก็บไว้ที่ memory ตำแหน่ง 8000H จนถึงตำแหน่ง 80FFH และทำการเก็บวนซ้ำไปเรื่อย ๆ ซึ่งในส่วนของการเก็บข้อมูลนี้จะไม่มีการคอนโทรลวงจร A/D เลข เนื่องจากออกแบบให้ A/D ทำงานแบบพึ่งตัวเองทำให้การแปลงข้อมูลเกิดขึ้นตลอดเวลาเป็นประโยชน์กับการทำงานของโปรแกรมอย่างมากเนื่องจากเราจะต้องการเก็บข้อมูลเร็วเท่าใดก็ได้ ไม่ต้องคอยตอบรับกับวงจร A/D ซึ่งความเร็วการเก็บข้อมูลอยู่ที่การควบคุมความซ้ำเร็วของ Interrupt timer ส่วนชุดโปรแกรมหลักคือ การส่งข้อมูล โดยทำการอ่านข้อมูลโดยจะทำการอ่านข้อมูล จากแอดเดรส


```

        Setb      IE.7                ;ea set
        Setb      IE.1                ;enable timer()
        Mov       Tmod,#00h
        Mov       TH0,#Th
        Mov       T10,#T1
        Setb      Tcon.4              ;set TR0
;*****Main*****
        Mov       dptr,#Ramlow        ;Read data from Ram
Mon     Movx      A,@dptr
        Push     Dph
        Push     Dpl
        Mov      Dptr,#PortB
        Movx     @dptr,A
        Pop      Dpl
        Pop      Dph
        Inc      Dptr
        Mov      A,dph
        Anl     A,#11111011b
        Mov     dph,A
        Sjmp    Mon
;*****interrupt*****
Save    Push     Ace                  ;Write data
        Push     Dph
        Push     Dpl
        Mov      dptr,#PortA
        Movx     A,@dptr
        Mov      Dph,R0
        Mov      Dph,R1
        Movx     @dptr,A
        Inc     dptr

```

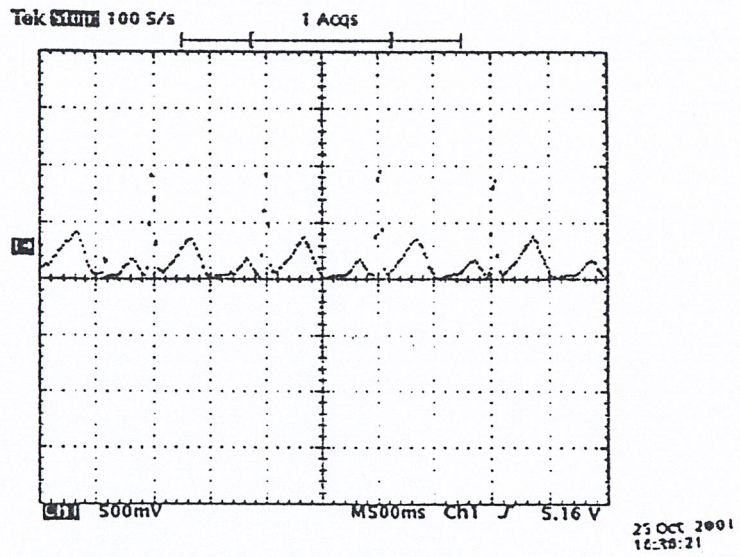
```

Mov      A,dph
Anl      A,#11111011b
Mov      R0,A
Mov      dph,R0
Clr      A
Movx     @dptr,A
Mov      R1,dpl
Mov      Th0,#Th
Mov      TL0,#T1
Pop      Dpl
Pop      Dph
Pop      Ace
RetI
End

```

4.1.3 ผลการทำงานของโปรแกรมแสดงผลบนจอออกซิลิโคน

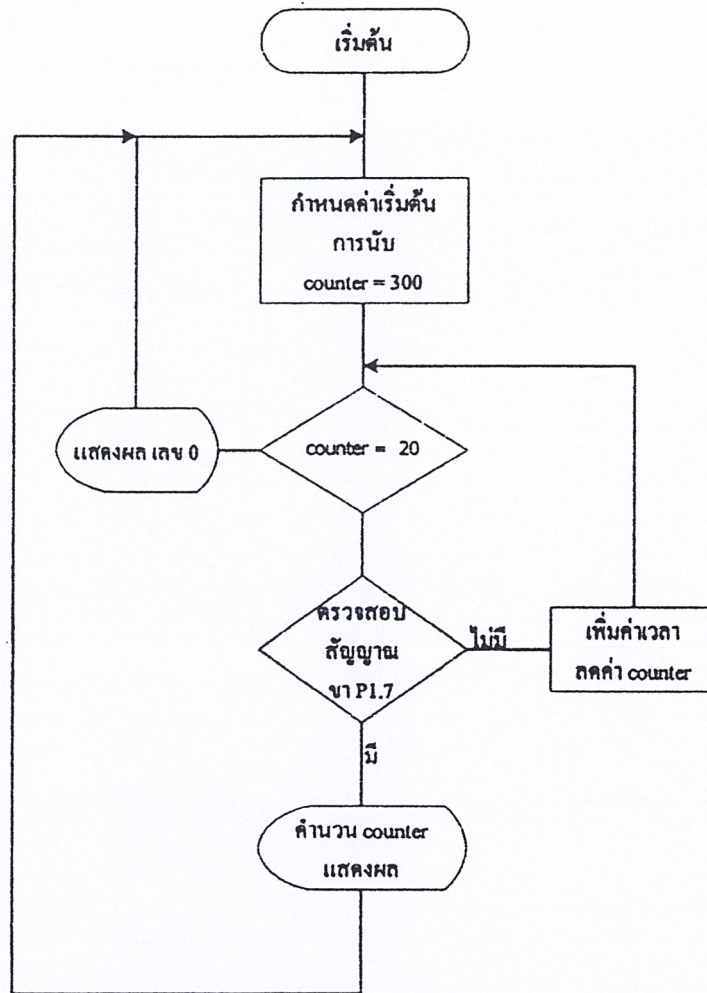
ผลการทำงานของโปรแกรมสามารถนำรูปคลื่นเพิ่มความถี่ได้จริง ตามรูปลักษณะรูปคลื่นที่ได้จะมีความต่อเนื่องไม่มากนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของโปรแกรมที่ใช้และความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ การแก้ไขให้รูปคลื่นมีความสมบูรณ์คือใช้วงจร Active Low Pass Filter เพียงแค่ 2 order ก็สามารถทำให้รูปคลื่นมีความต่อเนื่องสวยงามโดยดูได้จากการทดลองหัวข้อ 5.2 รูปที่ 5.7



รูปที่ 4.3 ผลการทำงานของโปรแกรมเมมโมรี่ที่แสดงบนจอออสซิลโลสโคป

4.2 การออกแบบซอฟต์แวร์นับอัตราการเต้นแสดงผลบนเซเวนเซ็กเมนต์

4.2.1 การทำงานของการนับคลื่นหัวใจ



รูปที่ 4.4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมการนับอัตราการเต้นหัวใจ

หลักการการทำงานของโปรแกรมการนับอัตราการเต้นหัวใจ จะตรวจสอบจากขา P1.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งต่อกับวงจรตีฟลิปฟล็อปที่ใช้ สัญญาณฮาร์ตเรทเป็นสัญญาณนาฬิกา หัวจร เมื่อมีอาร์เรทมาหนึ่งคาบ ฟลิปฟล็อปจะมีเอาต์พุตให้กับ ขา P1.7 เป็นลอจิก "1" โดยที่วงจรนับจะทำการเริ่มนับค่าเริ่มต้นและมีการเช็คสัญญาณตลอดเวลา เมื่อเช็คสัญญาณแล้วก็จะมีการลดค่าเคาน์เตอร์ทุกครั้งด้วย โปรแกรมจะมีทำงานจนกว่าจะมีเงื่อนไขที่ถูกต้อนั้นคือ P1.7 ต้องเป็นลอจิก "1" จะมีการคำนวณตัวเลขเคาน์เตอร์เป็น BCD CODE และส่งออกที่เซเวนเซ็กเมนต์ ที่ Port 1 ขา 0 - ขา 6 หลังจากนั้นจะเริ่มทำงานต้นใหม่หมด และจะมีเงื่อนไขที่เช็คขณะเคาน์เตอร์ได้ถูกลดค่าด้วย

นั่นคือ ถ้าคาน์เตอร์ลดค่าลง 20 เมื่อใดก็ตาม จะแสดงผลให้กับเซเวนเซ็กเมนต์เป็น 0 ทั้งนี้ โปรแกรมนับอัตราการเดินหัวใจมีดังนี้

```

Ram      Equ      8100h
          Org      0000h
          Sjmp     0030h
          Org      0030h

;*****
main:     Clr      T0          ;trick Clear
          SetB     T0          ;
          Clr      T0          ;
Check    Mov      C,T1        ;Start check
          Clr      A          ;
          Mov      Acc.0,C    ;
          Cjne     A,#01,check ;Ok to first Run

;*****
start:    Mov      dptr,#0200h
          Clr      T0          ;Trick clear
          SetB     T0          ;
          Clr      T0          ;
Load     lcall    Loaddata
          Mov      A,dph
          Cjne     A,#0Ah,Loo
          Mov      A,dpl
          Cjne     A,#0D0h,Loop
          Limp     zero
Loo:     Nop
          Nop
          Nop
Loop:    Mov      R3,43h
NO:      Mov      R4,44h

```

```

                Djnz      R4,$
                Mov       R4,44h
                Djnz      R4,$
                Djnz      R3,n0
                Mov       R0,40h
N1:            Nop
                Djnz      R0,n1
                Mov       R1,41h
                Djnz      R1,$
;*****
chk           Mov       C,T1           ;
                Clr      A             ;
                Mov      Acc.0,C       ;
                Cjne     A,#01,Load     ;Check to continuc
                Lcall    Pot
                Sjmp     Start
;*****
zero         Mov       dptr,#0Af0h
                Lcall    Loadd
                Lcall    Pot
                Ljmp     main
;*****Loaddata**
Loaddata :   clr      A
                Movc     A,@A+dptr
                Mov      44h,A         ;R4 < == 44h
                Inc     dptr
                Clr     A
                Movc     A,@4+dptr
                Mov      43h,A         :R3 < == 43h
                Inc     dptr

```

```

      Clr      A
      Movc    A,@A+dptr
      Mov     40h,A           ;R0 < == 40h
      Inc     dptr
      Clr     A
      Movc    A,@A+dptr
      Mov     41h,A           ;R1 < == 41h
      Inc     dptr
Load:  Clr     A
      Movc    A,@A+dptr
      Mov     20h,A
      Orl     A,#10h
      Mov     21h,A
      Inc     dptr
      Clr     A
      Move    A,@A+dptr
      Orl     A,#10h
      Mov     22h,A
      Clr     A
      Movc    A,@A+dptr
      Orl     A,#20h
      Mov     23h,A
      Inc     dptr
      Clr     A
      Movc    A,@A+dptr
      Orl     A,#20h
      Mov     24h,A
      Inc     dptr
      Clr     A
      Movc    A,@A+dptr

```

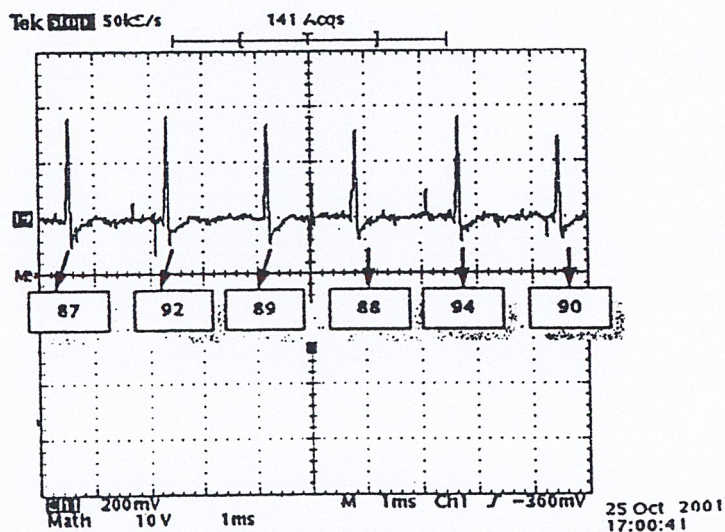
```

Orl      A,#20h
Mov      25h,A
Inc      dptr
Ret

Pot:     Mov      P1,#00h
         Mov      P1,20h
         Mov      P1,21h
         Mov      P1,22h
         Mov      P1,23h
         Mov      P1,24h
         Mov      P1,25h
         Mov      P1,26h
         Rct
         End

```

4.2.2 ผลการทำงานของโปรแกรมนับอัตราการเต้นหัวใจ



รูปที่ 4.5 ผลการนับเมื่อเทียบกับอัตราการเต้นที่วัดจริง

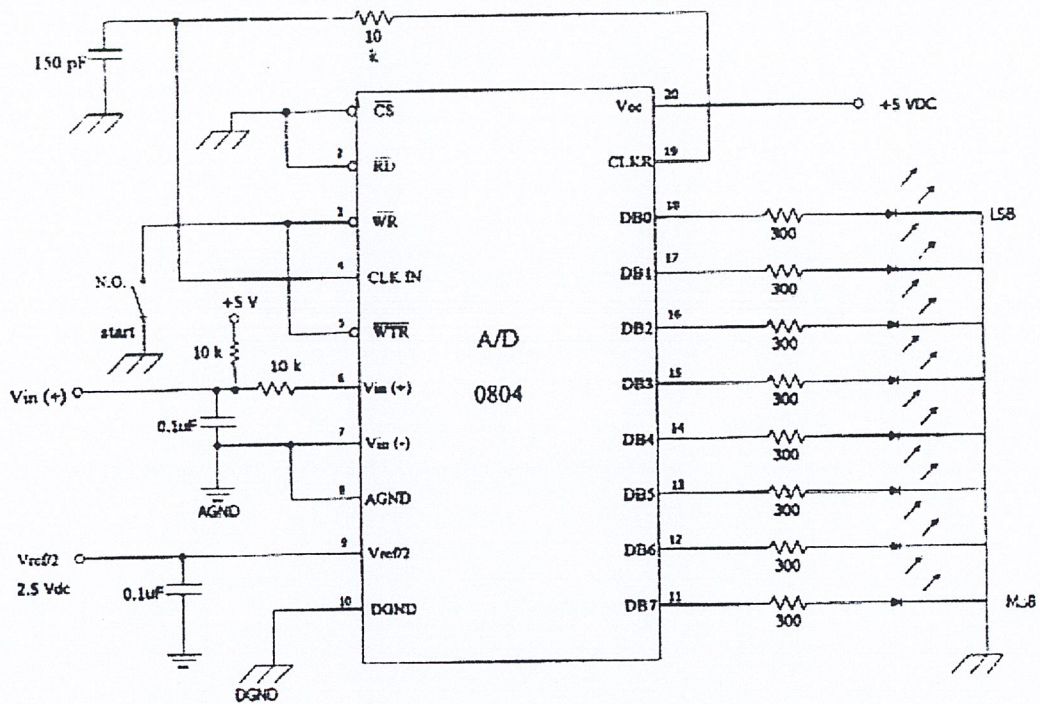
ผลที่ได้จากการคำนวณช่วงตัวช่วงทำให้ผลที่ได้ค่อนข้างไวและอาจจะไม่คงที่มากนัก ซึ่งการที่จะทำงานให้คงที่และมีเสถียรภาพจำเป็นต้องเพิ่มเติมการหน่วงเวลาและเฉลี่ยค่าอัตราการเต้นด้วย

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติแต่ละส่วนของวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยทำการทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของวงจรเหล่านั้น ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter)

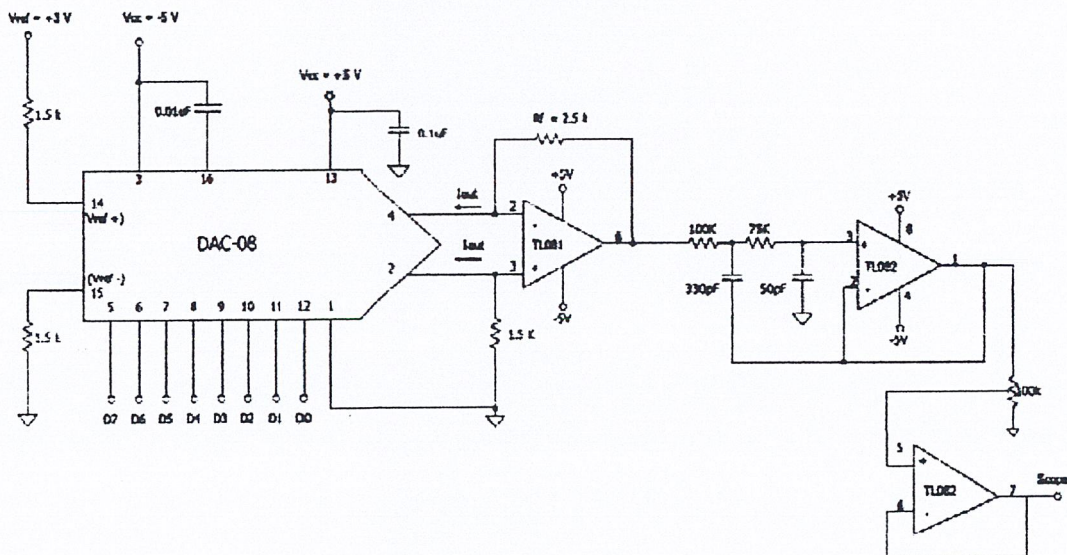


รูปที่ 5.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองวงจร ADC

แรงดันอนาล็อกอินพุท (โวลท์)	แรงดันดิจิตอลเอาต์พุท ที่วัดได้ (ฐานสิบ)	แรงดันดิจิตอลเอาต์พุท ที่คำนวณได้ (ฐานสิบ)	ค่าความผิดพลาด (% Error)
0	0	0	0
0.5	26	25	4
1	52.5	50	5
1.5	78	75	4
2	104	100	4
2.5	131	125	4.8
3	157	150	4.66
3.5	183	175	4.57
4	207	200	3.5
4.5	234	225	4
5	255	250	2

5.2 การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

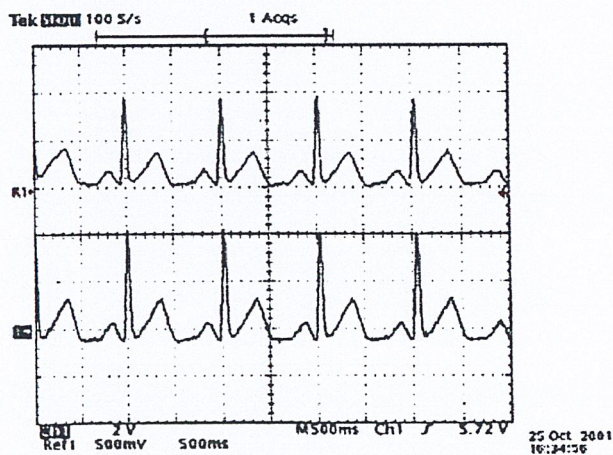


รูปที่ 5.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

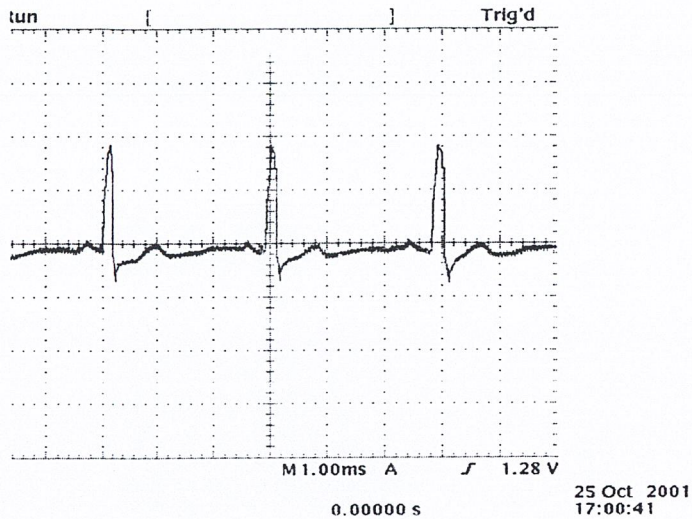
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบวงจร DAC – 08

I/P step	ดิจิตอลอินพุท								Vo		Error(%)
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	คำนวณ(mV)	วัด(mV)	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	13.67	13.2	3.44
3	0	0	0	0	0	0	1	0	27.34	26.4	3.43
4	0	0	0	0	0	0	1	1	41.01	40	2.46
5	0	0	0	0	0	1	0	0	54.68	52.8	3.44
6	0	0	0	0	0	1	0	1	68.36	67.2	1.69
7	0	0	0	0	0	1	1	0	82.03	80	2.47
8	0	0	0	0	0	1	1	1	95.7	93.6	2.19
9	0	0	0	0	1	0	0	0	109.375	107.4	1.8
10	0	0	0	0	1	0	0	1	123.05	119	3.29

ผลการทดลองวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



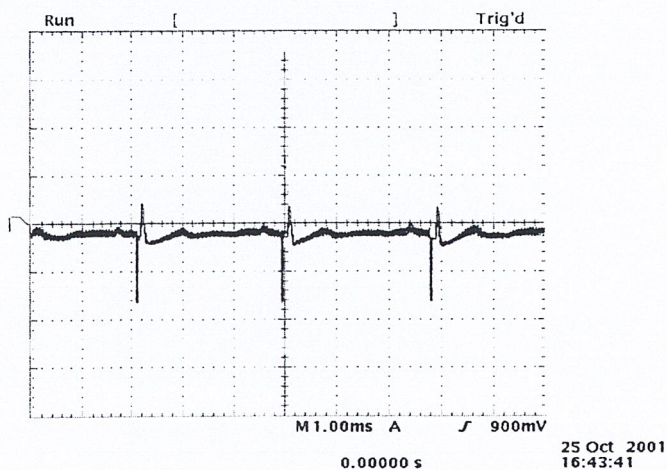
รูปที่ 5.3 สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ



รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเมื่อผ่านวงจร Instrument Amplifier
โดยใช้ซีจีสิมมูลเตอร์

5.3ทดสอบการทำงานวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ

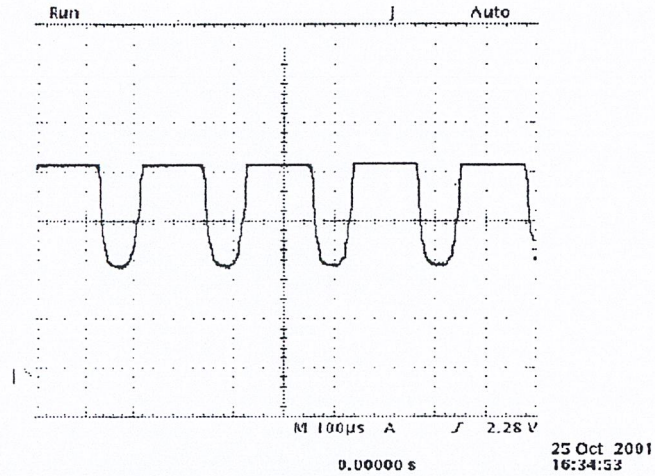
ทำการทดสอบโดยป้อนสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจำลองให้กับวงจร แล้วทำการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุต จากนั้นทำการดึงสายออกจากขั้วอินพุตแล้วทำการต่อคืนอย่างรวดเร็วแล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้นจะปรากฏว่ารูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตลดยเหนื่อระดับแรงดันอ้างอิงแล้วกลั้วลงมาสู่สภาวะเดิมอย่างรวดเร็วเปรียบเสมือนเกิดการรบกวนของอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้น



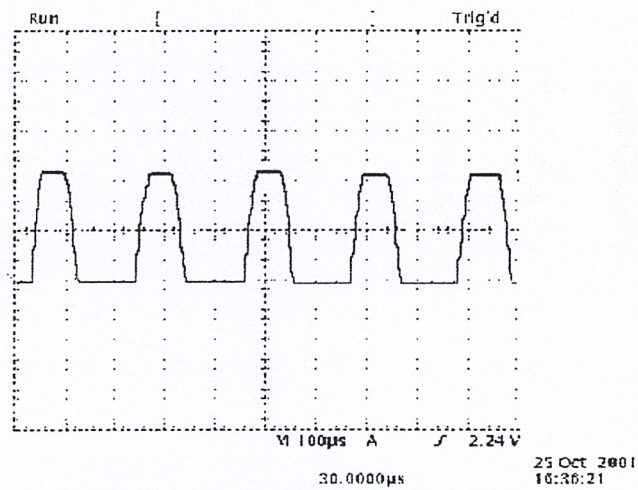
รูปที่ 5.5 รูปสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเมื่อผ่านวงจร Autozero โดยใช้ซีจีสิมมูลเตอร์

5.4 ทดสอบการทำงานวงจร Optoisolator

วงจร Opto Isolator นั้นเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณทั้งระบบ ไฟเลี้ยงและสัญญาณของวงจรทั้งสองส่วนออกจากกัน โดยใช้แสงเป็นตัวส่งผ่านเพื่อความปลอดภัยของผู้วัดสัญญาณเมื่อผ่านวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



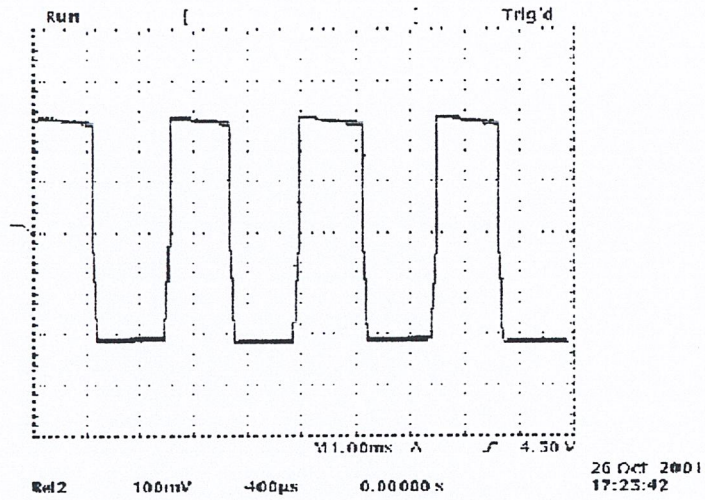
รูปที่ 5.6(ก) รูปสัญญาณก่อนผ่านวงจร Opto Isolator โดยใช้ไอจีซี ซีมิคอนดักเตอร์



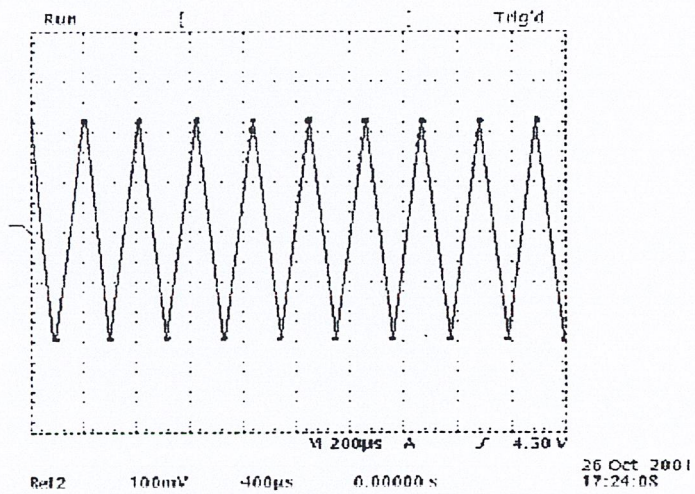
(ข) รูปสัญญาณเอาต์พุตวงจร Opto Isolator (วัดจากขา Collector) โดยใช้ไอจีซี ซีมิคอนดักเตอร์

5.5 วงจร Pulse-Width Modulator

รูปสัญญาณจากวงจรพัลส์



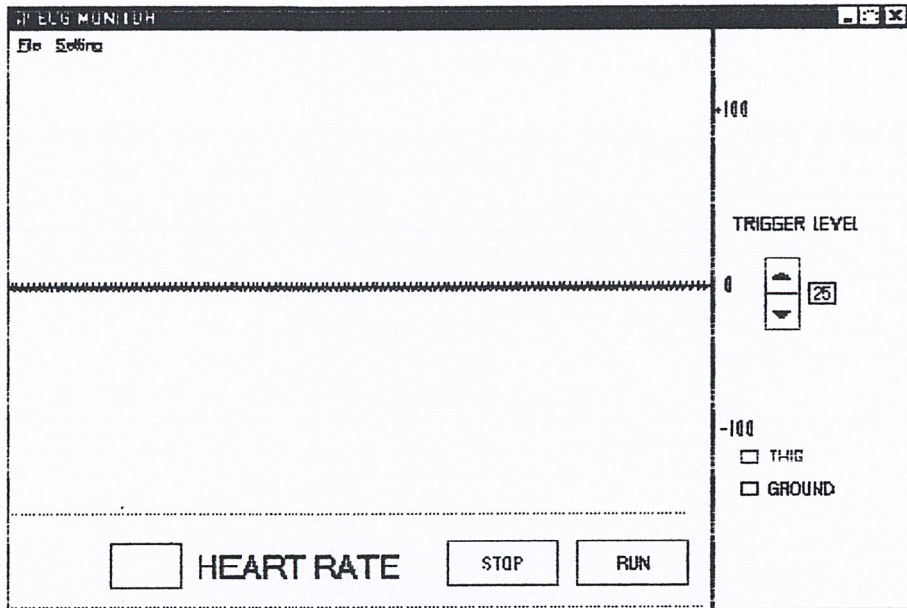
5.7(ก) รูปสัญญาณเอาต์พุตวงจรกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยม โดยใช้ อีจีซี ซิมูเลเตอร์



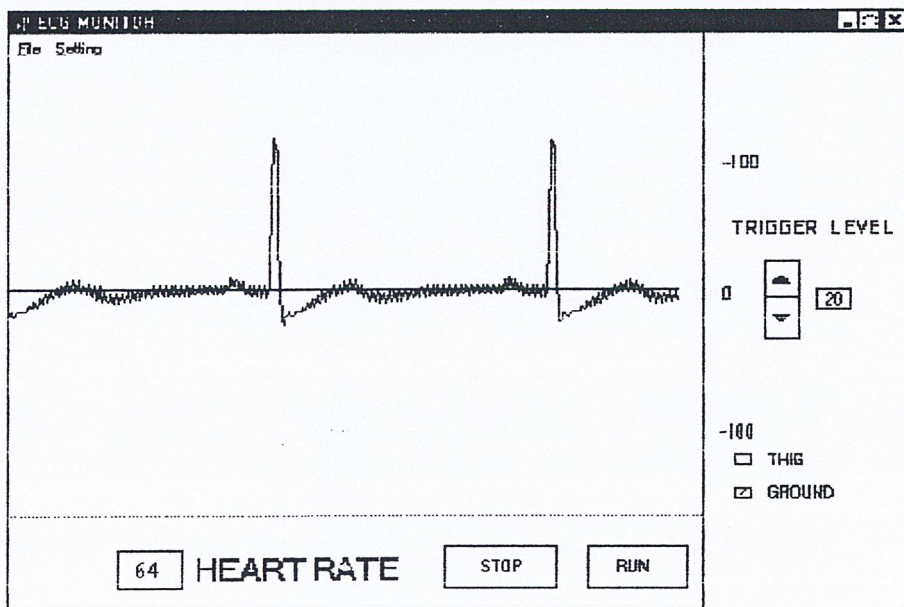
5.8 (ข) รูปสัญญาณเอาต์พุตวงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม โดยใช้ อีจีซี ซิมูเลเตอร์

5.6 ผลการทดลองแสดงคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอคอมพิวเตอร์

5.9 รูปสัญญาณขณะยังไม่ได้ป้อนสัญญาณในการแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์



5.10 รูปสัญญาณในการแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์



บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบไอซี ADC เบอร์ ADC0804 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุตอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือมีความผิดพลาดไม่เกิน 5% ส่วนการทดสอบไอซี DAC เบอร์ 0800 ซึ่งเป็นแบบ R-2R 8 บิต ค่าความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันดิจิตอลทางอินพุตอยู่ในช่วงไม่เกิน 5% ซึ่งถือว่ายอมรับได้

ทางด้านการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อเป็น memory ที่ใช้ใน ECG monitor จะใช้ Microcontroller 8031 ทำงาน ซึ่งมี port สามารถใช้งานได้เพียง port 1 เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงใช้ 8255 เป็นตัวขยาย port เพิ่มเติม โดยใช้ port A เป็นอินพุต ที่รับมาจาก A/D แล้ว port B เป็นเอาต์พุตให้ D/A ส่วน port C จะเก็บไว้ทำงานในส่วนควบคุมสถานะของเครื่องแสดงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

ปัญหาที่พบในการทำโครงการคือ สัญญาณรบกวนในส่วนวงจรขยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจยังมีอยู่จึงต้องหาวิธีกำจัดหรือลดทอนสัญญาณรบกวนให้หมดไป และเรื่องความละเอียดในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลมีน้อยเกินไป จึงควรใช้ไอซีที่มีความละเอียดกว่านี้ ในส่วน memory ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ โปรแกรมที่เขียนให้ 8031 ทำงาน ตอนแรกเริ่มได้ยึดหลักการแสดงผลแบบการเก็บผลแล้วแสดงผลให้ครบทุก address ของ memory แล้วจึงเก็บใหม่ เมื่อทดสอบแล้วไม่สามารถได้รูปคลื่นที่ชัดเจนเลย จึงเปลี่ยนแนวทางการเขียนโปรแกรมผล จากการเก็บกับแสดงผลได้ดีมาก และรูปคลื่นสามารถเห็นได้ชัดเจนแต่ต้องเปลี่ยน Clock ของวงจร ถึง 17.7 M มิฉะนั้นรูปที่ได้ จะไม่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนเพราะ Scale ความถี่ Time /div ของออสซิลโลสโคปไม่สามารถรับความถี่ที่ส่งไปได้

การทำงานของโปรแกรมเคาน์เตอร์ใช้วิธีการเพิ่มค่าวนรอบให้เกิดเวลาขึ้นช่วงหนึ่งแล้วเช็คค่าอัตราการเต้นหัวใจ ซึ่งแต่ละช่วงการนับจะเป็นลักษณะคลื่นต่อคลื่น ผลปรากฏว่าค่าที่ได้มีความไวมาก และบางครั้งหัวใจมีคลื่นมาเร็วกว่าปกติหรือช้ากว่าปกติทำให้ผลที่ออกไปสูงและต่ำกว่ามาก การแก้ปัญหาจำเป็นต้องมีการหน่วงการนับคลื่นให้กว้างขึ้น อาจทำในลักษณะคอยสัญญาณสองถึงสามสัญญาณโดยไม่สนใจคลื่นที่ผิดปกติเลย และการแก้ไขให้วงจรมีการนับที่ตีมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มการเฉลี่ยค่าอัตราการเต้นเข้าไปอีก อย่างไรก็ตามแม้ว่าปัญหาทางซอฟต์แวร์สามารถแก้ไขได้จริง แต่บางครั้งสัญญาณผิดปกตินั้นไม่ได้มาจากสัญญาณไฟฟ้าหัวใจแต่เกิดจาก Noise ที่เกิดขึ้นกับวงจร ECG AMP ทางผู้ทำโครงการใช้หม้อแปลงซึ่งใช้ไฟบ้าน 50Hz แทนการใช้ Battery

ตามมาตรฐานทั่วไป ถึงแม้จะวัดได้โดยไม่มีอันตรายแต่ Noise ที่เกิดขึ้นมีมากกว่า Battery แน่นอน จึงส่งผลกระทบต่อการนับคลื่นหัวใจตามไปด้วย

ลักษณะของสัญญาณที่ออสซิลโลสโคปจะมีการแสดงผลที่ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะ มีสัญญาณไฟสลับแทรกอยู่ยังต้องหาวิธีกำจัดสัญญาณไฟสลับนี้ออกไป แต่เมื่อแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์ปรากฏว่าสัญญาณที่ได้จะไม่มีสัญญาณไฟสลับแทรกอยู่เลย เป็นเพราะในการเขียนโปรแกรมแสดงผลนั้นเราได้ทำการ Sampling ข้อมูลสัญญาณหัวใจขึ้นมาซึ่งสัญญาณที่แสดงผลไม่ต่อเนื่อง ทำให้สัญญาณไฟสลับหายไป

ภาคผนวก

โปรแกรมการอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์

```
sda    equ    p1.0           ;scl line I2c
scl    equ    p1.1           ;sda line I2C
led    equ    p1.7

*****

org    00h
ljmp   start

org    0bh                   ;timer0 interrupt vector
ljmp   tim_nit

start:

lcall  delay
lcall  init
sjmp   $

tim_nit:

mov    th0,#0eeh            ;interrupt every 5 mS
mov    tl0,#0ah
inc    r5
mov    a,r5
cjne   a,#100,n_over
mov    r5,#0
cpl    led

n_over:
mov    a,'#'
lcall  send
lcall  ad_rd
push  acc
lcall  bin_asc
lcall  send
pop   acc
```

```

        swap    a
        lcall   bin_asc
        lcall   send
        reti

init:

        mov    r5,#0
        mov    scon,#52h
        mov    th1,#0fdh
        mov    pcon,#80h           ;19200 buad rate
        mov    tmod,#00100001b
        mov    th0,#0eeh
        mov    tl0,#0ah
        mov    ie,#10000010b
        setb   tr1
        setb   tr0
        ret

send:

        jnb    ti,$
        clr    ti
        mov    sbuf,a
        ret

ad_rd:

        push   00                 ;a = data
        setb   sda

a_rd:

        setb   scl
        acall  delay_1
        clr    scl
        acall  delay_1
        jnb    sda,a_rd           ;Bus busy
        setb   scl               ;Start pulse

```

```

    acall    delay_1
    clr     sda
    acall    dclay_1
    clr     scl
    acall    delay_1
    mov     a,#10010001b    ;Device address
    acall    rtc_pulse
    mov     r0,#8
    setb    sda
c_rd11:   mov     c,sda
    rlc     a
    setb    scl
    acall    delay_1
    clr     scl
    acall    delay_1
    djnz    r0,c_rd11
    setb    scl
    acall    delay_1
    clr     scl
    acall    delay 1
    pop     00
    ret

rtc_pulse:
    push   00
    mov    r0,#9
    setb   c
c_pulse:  rlc     a
    mov    sda,c
    setb   scl
    acall  delay_1

```

```

        clr     scl
        acall  delay_1
        djnz  r0,c_pulse
        pop   00
        ret

bin_asc:
        anl   a,#0fh
        inc  a
        movc a,@a+pc
        ret

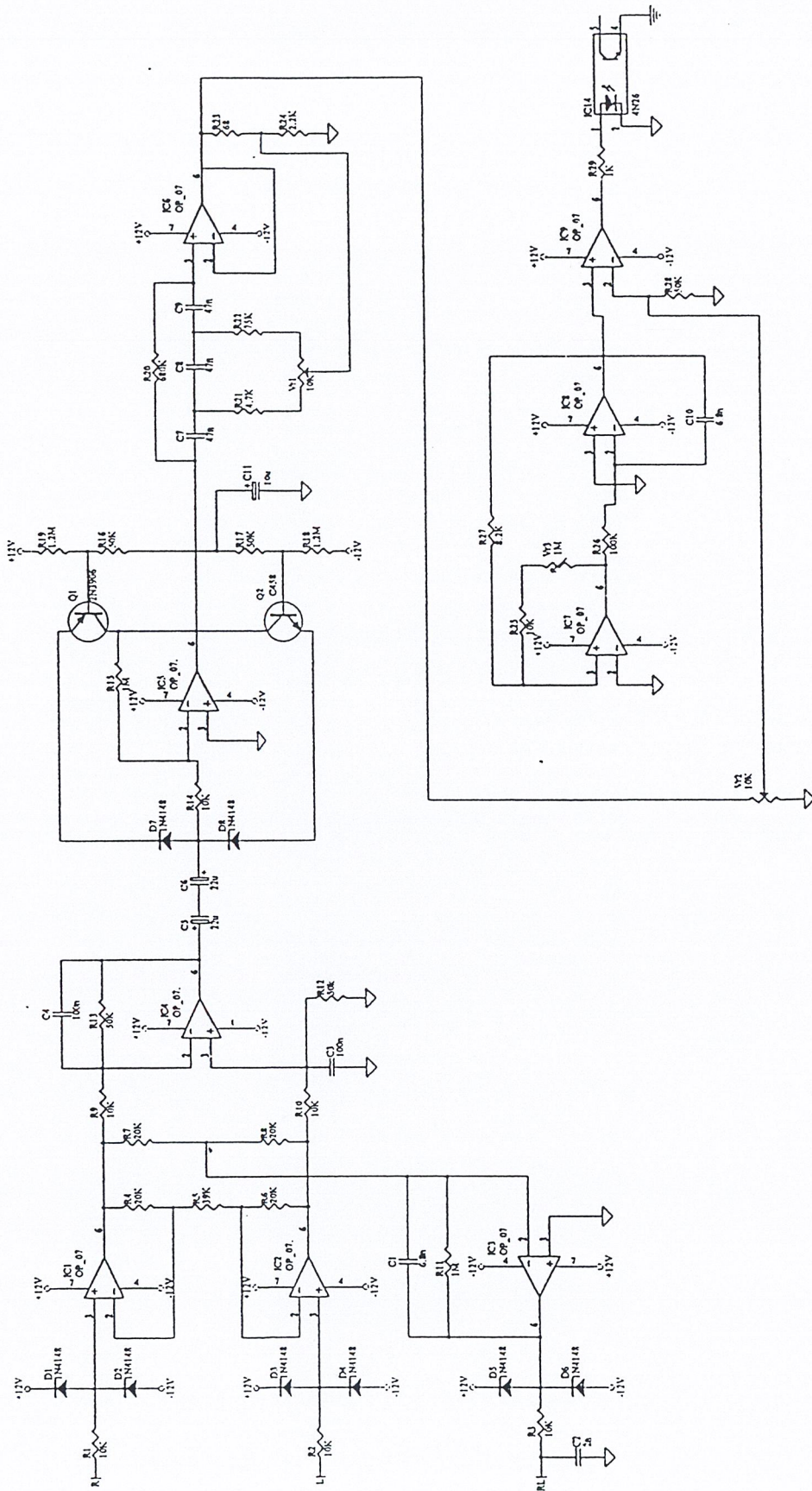
        db   '0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','A','B','C','D','E','F'

delay_1:    nop
           nop
           nop
           nop
           ret      ;5uS

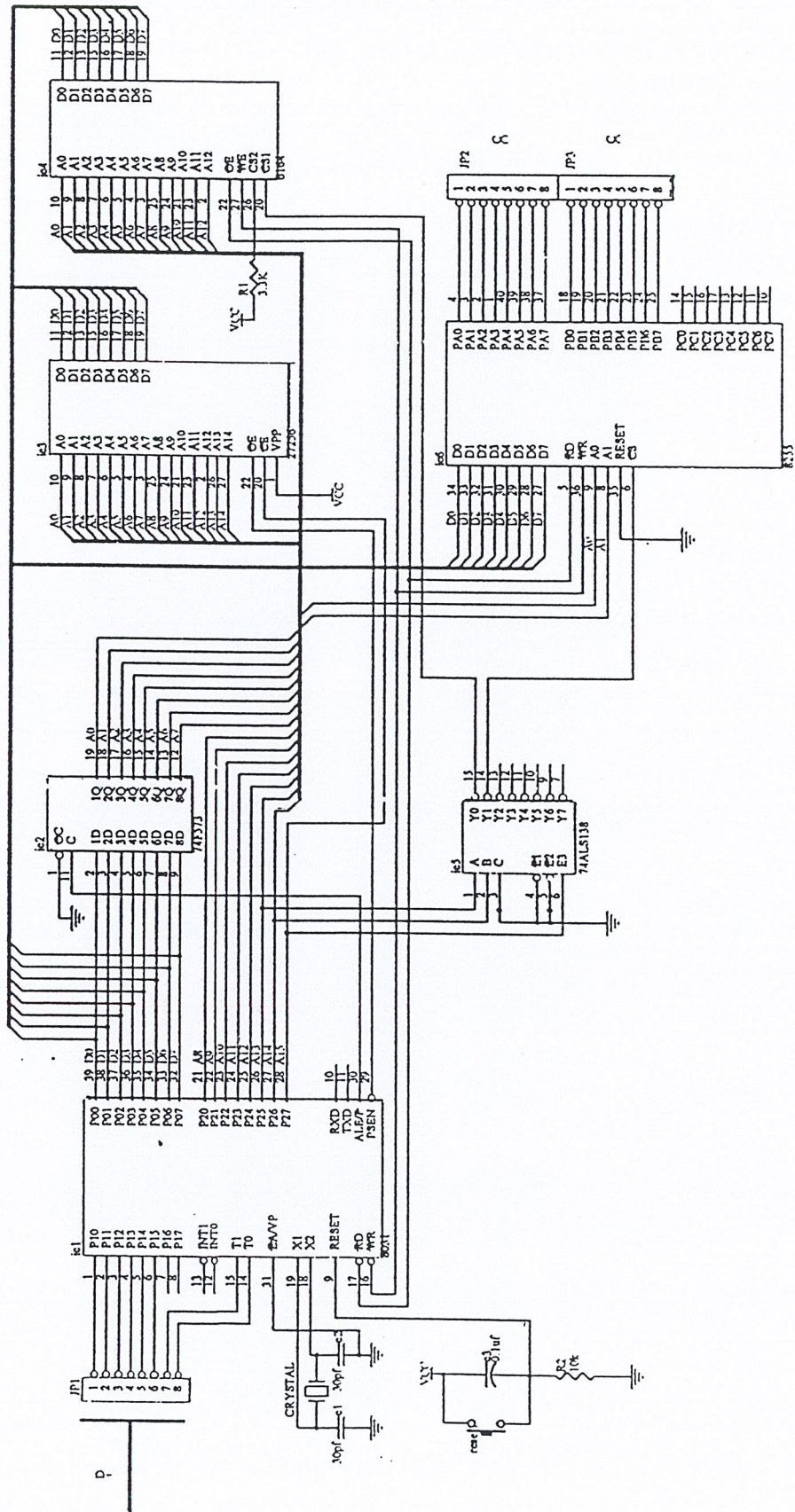
delay:
        mov   r7,#0
del_1:   mov   r6,#0
        djnz  r6,$
        djnz  r7,del_1
        ret

END

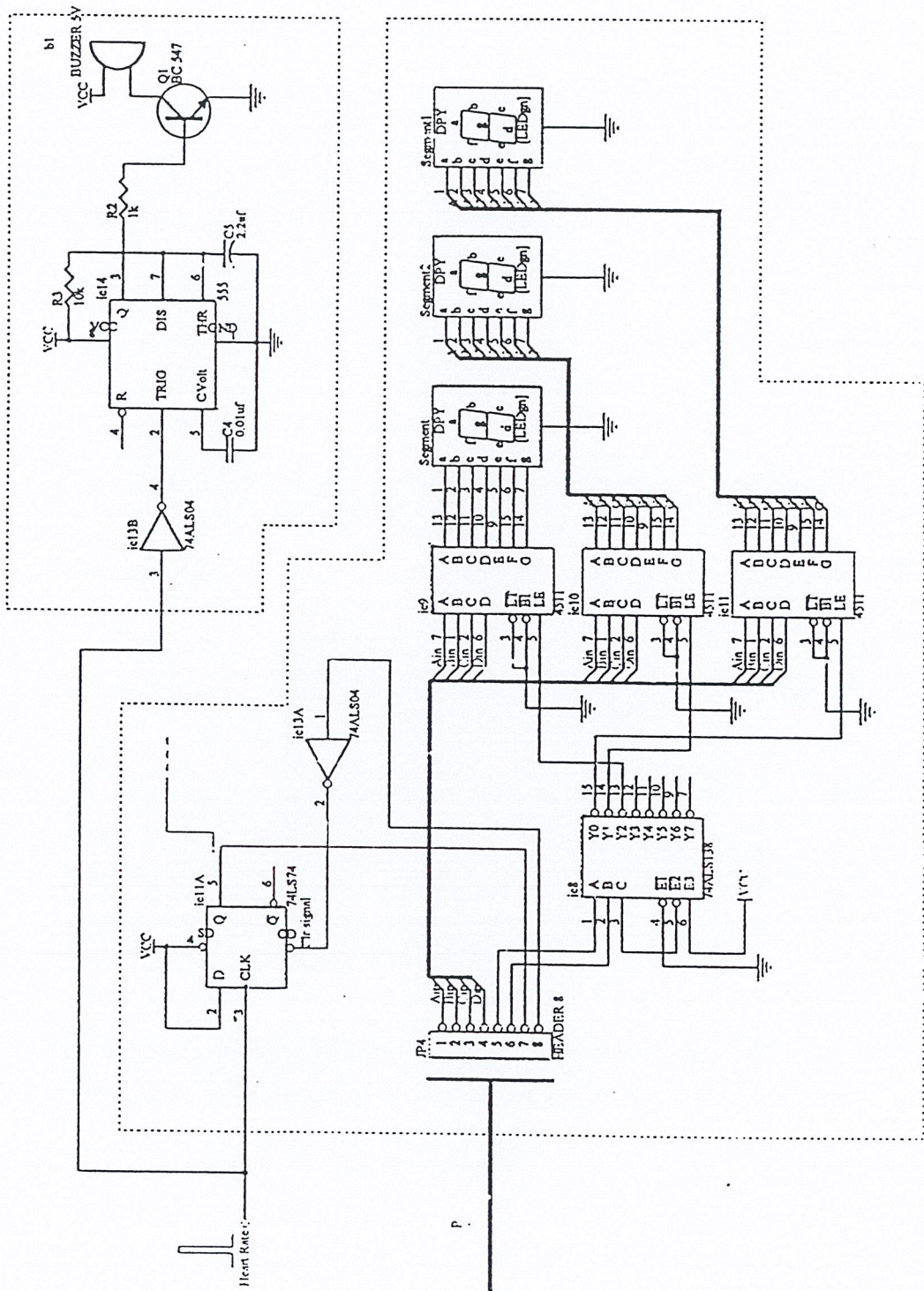
```



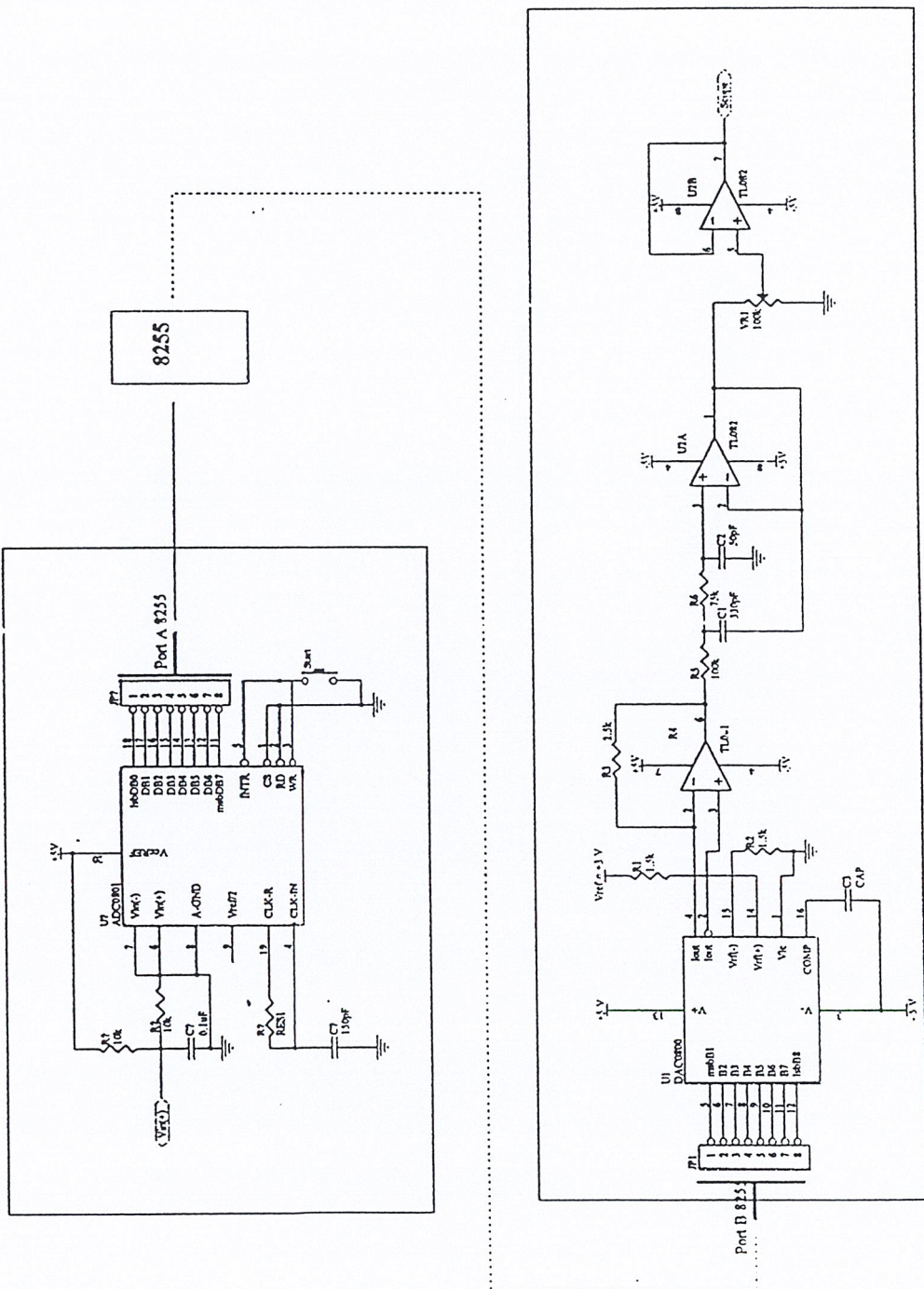
รูปที่ 1 วงจรภาคขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Amp) ส่วนหน้า



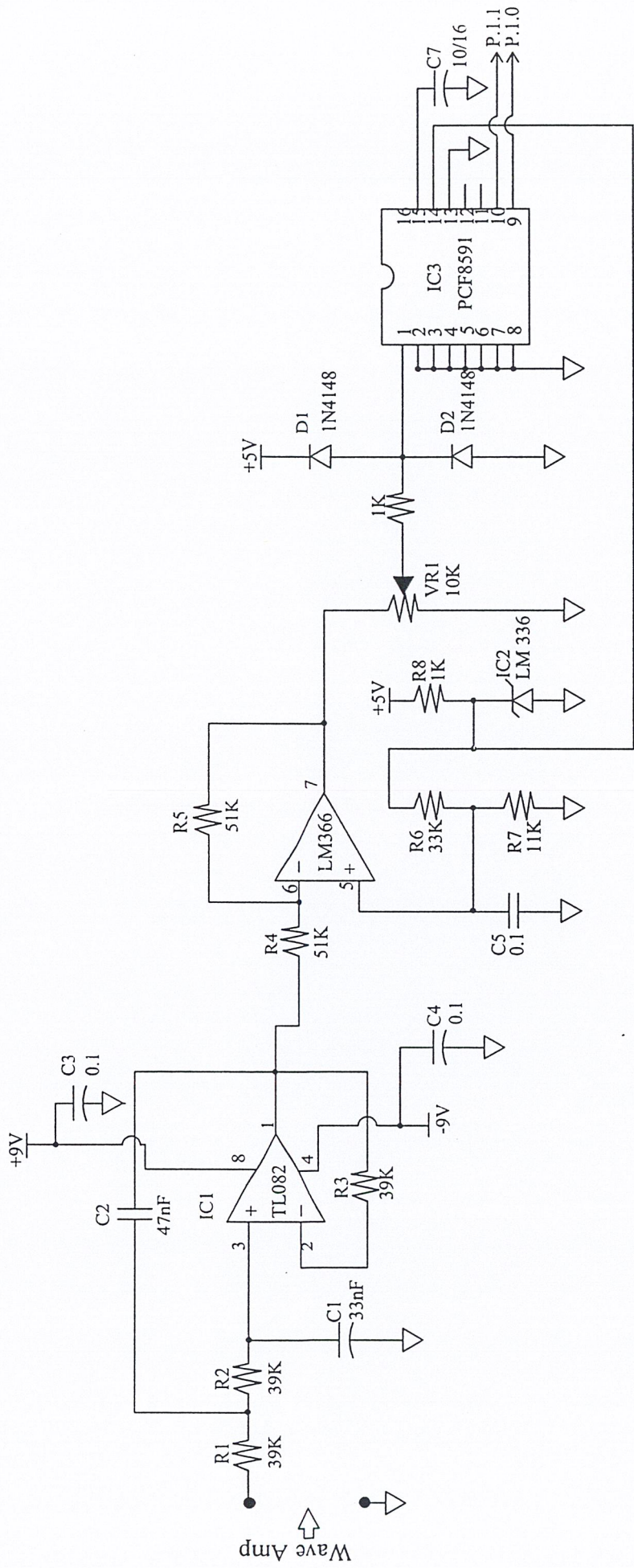
รูปที่ 3 วงจรภาคประมวลผล (Microcontroller Circuit)



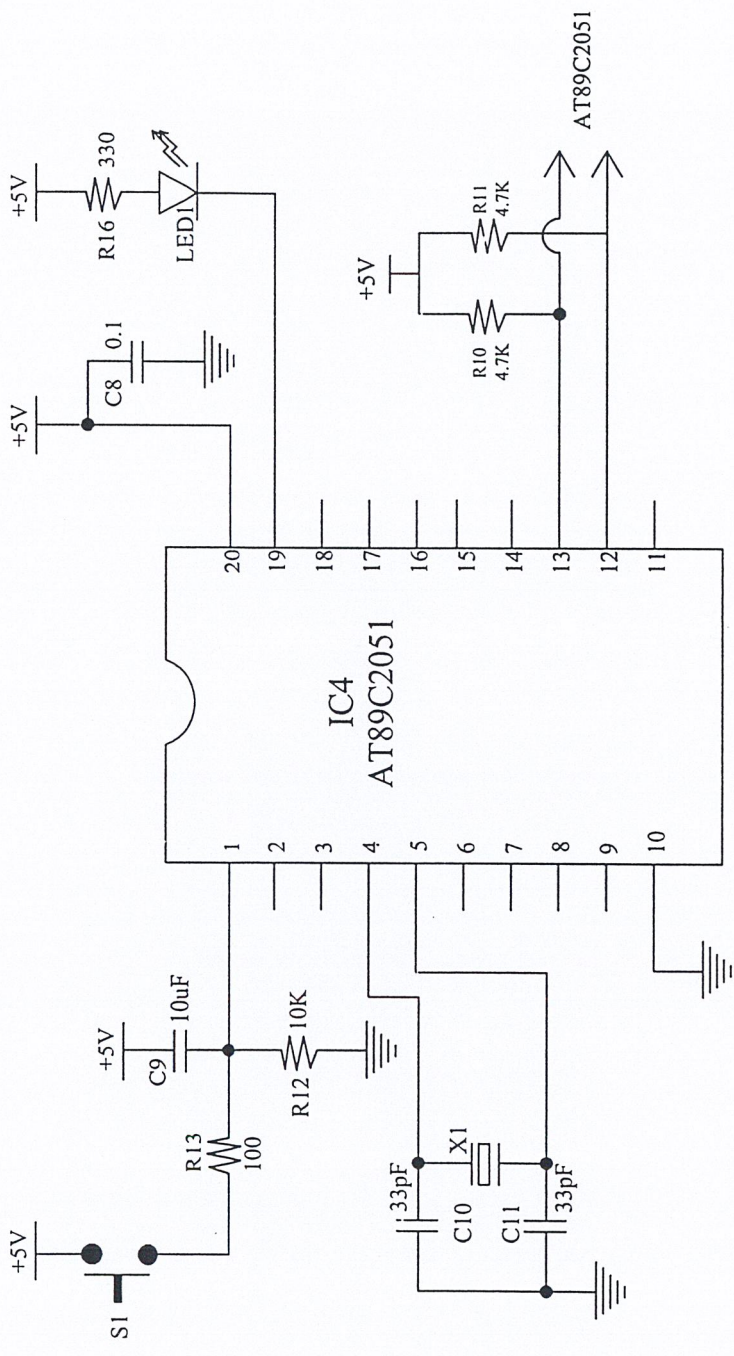
รูปที่ 4 วงจรสร้างเสียงจังหวะการเค้นหัวใจและวงจรการแสดงผลการเค้นของหัวใจ



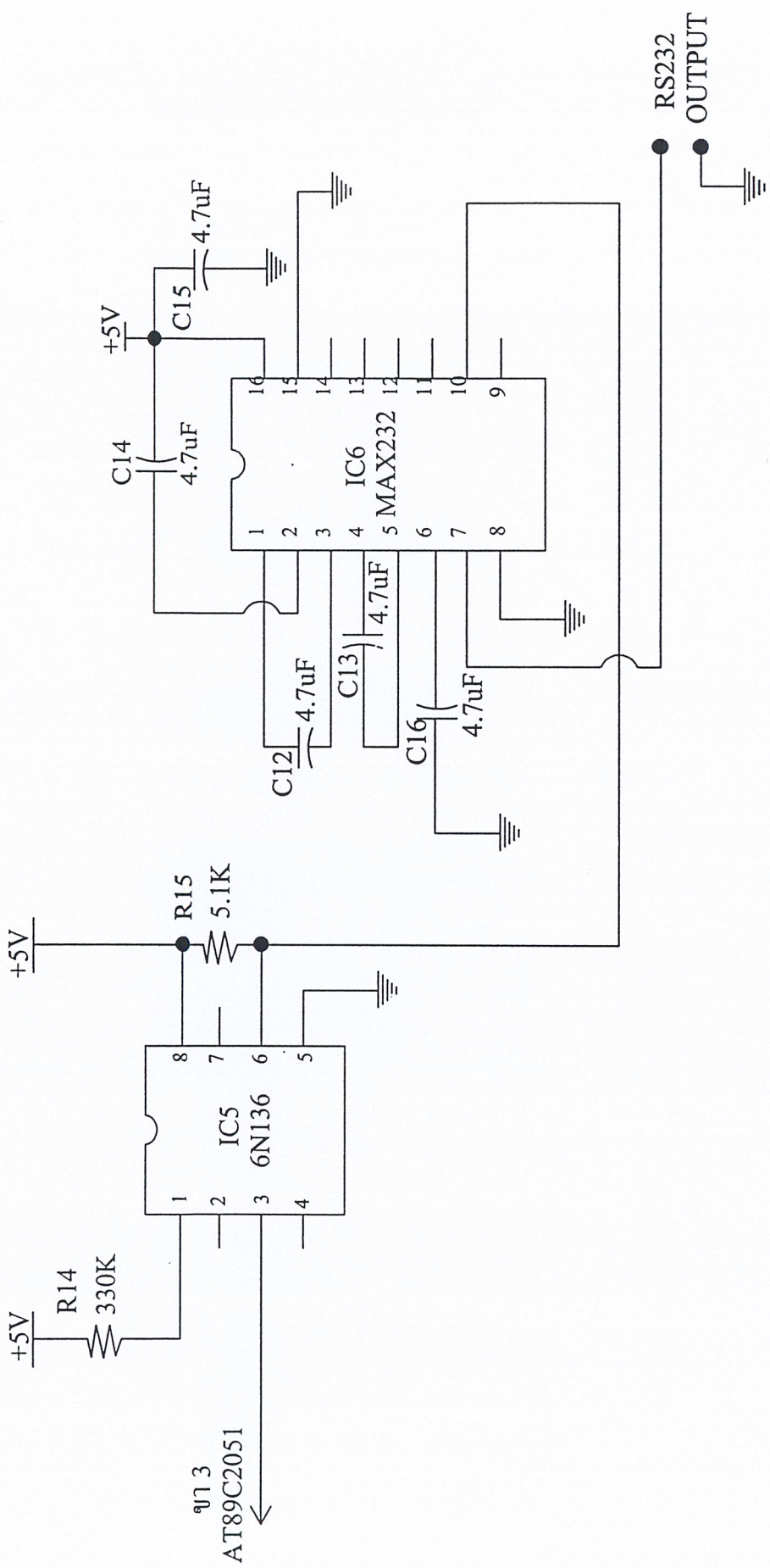
รูปที่ 5 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก



รูปที่ 6 วงจรยกระดับสัญญาณ



รูปที่ 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051



รูปที่ 8 วงจรอินเทอร์เฟซคอมพิวเตอร์

OP07

FEATURES

- Low V_{OS} $25\mu V$ Max
- Low V_{OS} Drift $0.6\mu V/^{\circ}C$ Max
- Ultra-Stable vs Time $1.0\mu V$ /Month Max
- Low Noise $0.6\mu V_{p-p}$ Max
- Wide Input Voltage Range $\pm 14V$
- Wide Supply Voltage Range $\pm 3V$ to $\pm 18V$
- Fits 725, 108A/308A, 741, AD510 Sockets
- $125^{\circ}C$ Temperature-Tested Dice

ORDERING INFORMATION †

$T_A = +25^{\circ}C$ V_{OS} MAX (μV)	PACKAGE				OPERATING TEMPERATURE RANGE
	CERDIP TO-99	PLASTIC 8-PIN	LCC 20-CONTACT	PLASTIC 8-PIN	
25	OP07AJ*	OP07AZ*	—	—	MIL
75	OP07EJ	OP07EZ	OP07EP	—	COM
75	OP07J*	OP07Z*	—	OP07RC/883	MIL
150	OP07CJ	OP07CZ	OP07CP	—	XIND
150	—	—	OP07CS††	—	XIND
150	OP07DJ	—	OP07DP	—	XIND

* For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for 883 data sheet.

† Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in CerDIP, plastic DIP, and TO-can packages.

†† For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

GENERAL DESCRIPTION

The OP-07 has very low input offset voltage ($25\mu V$ max for OP-07A) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current ($\pm 2nA$ for OP-07A) and high open-loop gain ($300V/mV$ for OP-07A). The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of $\pm 13V$ minimum combined with high CMRR of 110dB (OP-07A) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained

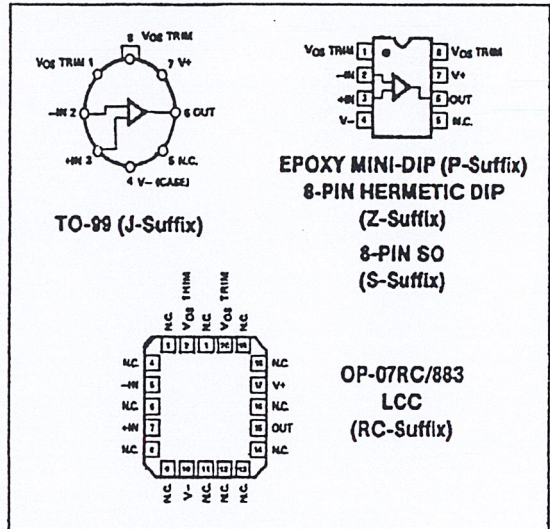
even at high closed-loop gains.

Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP-07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP-07 a new industry standard for instrumentation and military applications.

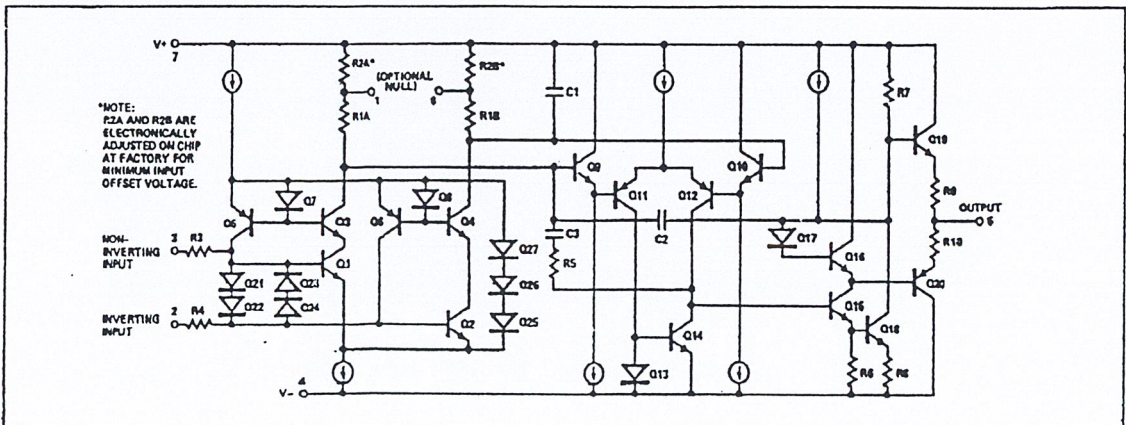
The OP-07 is available in five standard performance grades. The OP-07A and the OP-07 are specified for operation over the full military range of $-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$; the OP-07E is specified for operation over the $0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$ range, and OP-07C and D over the $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ temperature range.

The OP-07 is available in hermetically-sealed TO-99 metal can or ceramic 8-pin Mini-DIP, and in epoxy 8-pin Mini-DIP. It is a direct replacement for 725, 108A, and OP-05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. The OP-207, a dual OP-07, is available for applications requiring close matching of two OP-07 amplifiers. For improved specifications, see the OP-77/OP-177.

PIN CONNECTIONS



SIMPLIFIED SCHEMATIC



OP07

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Supply Voltage	±22V
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage (Note 2)	±22V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
J, RC and Z Packages	-65°C to +150°C
P Package	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
OP-07A, OP-07, OP-07RC	-55°C to +125°C
OP-07E	0°C to +70°C
OP-07C, OP-07D	-40°C to +85°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	+300°C
Junction Temperature (T _J)	+150°C

PACKAGE TYPE	θ _{JA} (Note 3)	θ _{JC}	UNITS
TO-99 (J)	150	18	°C/W
8-Pin Hermetic DIP (Z)	148	16	°C/W
8-Pin Plastic DIP (P)	103	43	°C/W
20-Contact LCC	98	38	°C/W
8-Pin SO (S)	158	43	°C/W

NOTES:

1. Absolute maximum ratings apply to both DICE and packaged parts, unless otherwise noted.
2. For supply voltages less than ±22V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. θ_{JA} is specified for worst case mounting conditions, i.e., θ_{JA} is specified for device in socket for TO, CerDIP, P-DIP, and LCC packages; θ_{JA} is specified for device soldered to printed circuit board for SO package.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at V_S = ±15V, T_A = 25°C, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07A			OP-07			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V _{OS}	(Note 1)	—	10	25	—	30	75	μV
Long-Term Input Offset Voltage Stability	ΔV _{OS} /Time	(Note 2)	—	0.2	1.0	—	0.2	1.0	μV/Mo
Input Offset Current	I _{OS}		—	0.3	2.0	—	0.4	2.8	nA
Input Bias Current	I _B		—	±0.7	±2.0	—	±1.0	±3.0	nA
Input Noise Voltage	e _{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.35	0.6	μV _{p-p}
Input Noise Voltage Density	e _n	f ₀ = 10Hz (Note 3)	—	10.3	18.0	—	10.3	18.0	nV/√Hz
		f ₀ = 100Hz (Note 3)	—	10.0	13.0	—	10.0	13.0	
		f ₀ = 1000Hz (Note 3)	—	9.6	11.0	—	9.6	11.0	
Input Noise Current	I _{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	14	30	pA _{p-p}
Input Noise Current Density	I _n	f ₀ = 10Hz (Note 3)	—	0.32	0.80	—	0.32	0.80	pA/√Hz
		f ₀ = 100Hz (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.14	0.23	
		f ₀ = 1000Hz (Note 3)	—	0.12	0.17	—	0.12	0.17	
Input Resistance — Differential-Mode	R _{IN}	(Note 4)	30	80	—	20	60	—	kΩ
Input Resistance — Common-Mode	R _{INCM}		—	200	—	—	200	—	GΩ
Input Voltage Range	IVR		±13	±14	—	±13	±14	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{CM} = ±13V	110	126	—	110	126	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = ±3V to ±18V	—	4	10	—	4	10	μV/V
Large-Signal Voltage Gain	A _{VO}	R _L ≥ 2kΩ, V _O = ±10V	300	500	—	200	500	—	V/mV
		R _L ≥ 500Ω, V _O = ±0.5V, V _S = ±3V (Note 4)	150	400	—	150	400	—	
Output Voltage Swing	V _O	R _L ≥ 10kΩ	±12.5	±13.0	—	±12.5	±13.0	—	V
		R _L ≥ 2kΩ	±12.0	±12.8	—	±12.0	±12.8	—	
		R _L ≥ 1kΩ	±10.5	±12.0	—	±10.5	±12.0	—	
Slew Rate	SR	R _L ≥ 2kΩ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	V/μs
Closed-Loop Bandwidth	BW	A _{VCL} = +1 (Note 3)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R _O	V _O = 0, I _O = 0	—	60	—	—	60	—	Ω
Power Consumption	P _d	V _S = ±15V, No Load	—	75	120	—	75	120	mW
		V _S = ±3V, No Load	—	4	6	—	4	6	
Offset Adjustment Range		R _P = 20kΩ	—	±4	—	—	±4	—	mV

NOTES:

1. OP-07A grade V_{OS} is measured approximately one minute after application of power. For all other grades V_{OS} is measured approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation.

Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically 2.5μV — refer to typical performance curves. Parameter is sample tested.

3. Sample tested.
4. Guaranteed by design.

OP07

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07E			OP-07C			OP-07D			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	30	75	—	60	150	—	60	150	μV
Long-Term V_{OS} Stability	V_{OS}/Time	(Note 2)	—	0.3	1.5	—	0.4	2.0	—	0.5	3.0	$\mu V/\text{Mo}$
Input Offset Current	I_{OS}		—	0.5	3.8	—	0.8	6.0	—	0.8	6.0	nA
Input Bias Current	I_B		—	± 1.2	± 4.0	—	± 1.8	± 7.0	—	± 2.0	± 12	nA
Input Noise Voltage	e_{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	0.35	0.6	—	0.38	0.65	—	0.38	0.65	μV_{p-p}
Input Noise Voltage Density	e_n	$f_O = 10\text{Hz}$	—	10.3	18.0	—	10.5	20.0	—	10.5	20.0	$nV/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_O = 100\text{Hz}$ (Note 3)	—	10.0	13.0	—	10.2	13.5	—	10.3	13.5	
		$f_O = 1000\text{Hz}$	—	9.6	11.0	—	9.8	11.5	—	9.8	11.5	
Input Noise Current	i_{np-p}	0.1Hz to 10Hz (Note 3)	—	14	30	—	15	35	—	15	35	pA_{p-p}
Input Noise Current Density	i_n	$f_O = 10\text{Hz}$	—	0.32	0.60	—	0.35	0.90	—	0.35	0.90	$pA/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_O = 100\text{Hz}$ (Note 3)	—	0.14	0.23	—	0.15	0.27	—	0.15	0.27	
		$f_O = 1000\text{Hz}$	—	0.12	0.17	—	0.13	0.18	—	0.13	0.18	
Input Resistance — Differential-Mode	R_{IN}	(Note 4)	15	50	—	8	33	—	7	31	—	M Ω
Input Resistance — Common-Mode	R_{INCM}		—	160	—	—	120	—	—	120	—	G Ω
Input Voltage Range	IVR		± 13	± 14	—	± 13	± 14	—	± 13	± 14	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	106	123	—	100	120	—	94	110	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	6	20	—	7	32	—	7	32	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$	200	500	—	120	400	—	120	400	—	V/mV
		$R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$ $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	150	400	—	100	400	—	—	400	—	
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 10k\Omega$	± 12.5	± 13.0	—	± 12.0	± 13.0	—	± 12.0	± 13.0	—	V
		$R_L \geq 2k\Omega$	± 12.0	± 12.8	—	± 11.5	± 12.8	—	± 11.5	± 12.8	—	
		$R_L \geq 1k\Omega$	± 10.5	± 12.0	—	—	± 12.0	—	—	± 12.0	—	
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	0.1	0.3	—	$V/\mu s$
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VCL} = +1$ (Note 5)	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	0.4	0.6	—	MHz
Open-Loop Output Resistance	R_O	$V_O = 0, I_O = 0$	—	60	—	—	60	—	—	60	—	Ω
Power Consumption	P_d	$V_S = \pm 15V$, No Load	—	75	120	—	80	150	—	80	150	mW
		$V_S = \pm 3V$, No Load	—	4	6	—	4	8	—	4	8	
Offset Adjustment Range		$R_p = 20k\Omega$	—	± 4	—	—	± 4	—	—	± 4	—	mV

NOTES:

- Input Offset Voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
- Long-Term Input Offset Voltage Stability refers to the averaged trend line of V_{OS} vs. Time over extended periods after the first 30 days of operation. Excluding the initial hour of operation, changes in V_{OS} during the first 30 operating days are typically $2.5\mu V$ — refer to typical performance curves. Parameter is sample tested.
- Sample tested.
- Guaranteed by design.
- Guaranteed but not tested.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ for OP-07E, and $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ for OP-07C/D, unless otherwise noted.

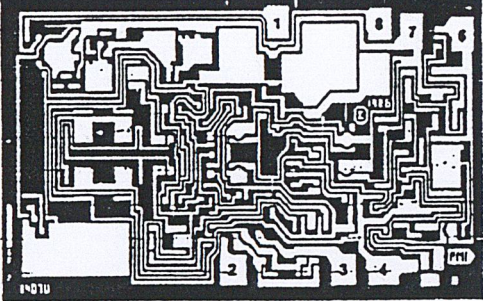
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07E			OP-07C			OP-07D			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	V_{OS}	(Note 1)	—	45	130	—	85	250	—	85	230	μV
Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	TCV_{OS}	(Note 3)	—	0.3	1.3	—	0.5	1.8	—	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
With External Trim	TCV_{OS1}	$R_F = 20k\Omega$ (Note 3)	—	0.3	1.3	—	0.4	1.8	—	0.7	2.5	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{OS}		—	0.9	5.3	—	1.6	8.0	—	1.6	8.0	nA
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}	(Note 2)	—	8	35	—	12	50	—	12	50	$\mu A/^\circ C$
Input Bias Current	I_B		—	± 1.5	± 5.5	—	± 2.2	± 9.0	—	± 3.0	± 14	nA
Average Input Bias Current Drift	TCI_B	(Note 2)	—	13	35	—	16	50	—	16	50	$\mu A/^\circ C$
Input Voltage Range	IVR		± 13.0	± 13.5	—	± 13.0	± 13.5	—	± 13.0	± 13.5	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	103	123	—	97	120	—	94	106	—	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	—	7	32	—	10	51	—	10	51	$\mu V/V$
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L \geq 2k\Omega$ $V_O = \pm 10V$	180	450	—	100	400	—	100	400	—	V/mV
Output Voltage Swing	V_O	$R_L \geq 2k\Omega$	± 12	± 12.6	—	± 11	± 12.6	—	± 11	± 12.6	—	V

NOTES:

1. Input offset voltage measurements are performed by automated test equipment approximately 0.5 seconds after application of power.
2. Sample tested.
3. Guaranteed by design.

OP07

DICE CHARACTERISTICS (125°C TESTED DICE AVAILABLE)



1. BALANCE
2. INVERTING INPUT
3. NONINVERTING INPUT
4. V-
6. OUTPUT
7. V+
8. BALANCE

DIE SIZE 0.100 × 0.055 inch, 5500 sq. mils
(2.54 × 1.40 mm, 3.56 sq. mm)

WAFER TEST LIMITS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ for OP-07N, OP-07G and OP-07GR devices; $T_A = 125^\circ C$ for OP-07NT and OP-07GT devices, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07NT LIMIT	OP-07N LIMIT	OP-07GT LIMIT	OP-07G LIMIT	OP-07GR LIMIT	UNITS
Input Offset Voltage	V_{OS}		140	40	210	80	150	μV MAX
Input Offset Current	I_{OS}		4.0	2.0	5.6	2.8	6.0	nA MAX
Input Bias Current	I_B		± 4	± 2	± 6	± 3	± 7	nA MAX
Input Resistance Differential-Mode	R_{IN}	(Note 2)	—	20	—	20	8	M Ω MIN
Input Voltage Range	IVR		± 13	± 13	± 13	± 13	± 13	V MIN
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$V_{CM} = \pm 13V$	100	110	100	110	100	dB MIN
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$	20	10	20	10	30	$\mu V/V$ MAX
Output Voltage Swing	V_O	$R_L = 10k\Omega$	—	± 12.5	—	± 12.0	± 12.0	V MIN
		$R_L = 2k\Omega$	± 12.0	± 12.0	± 12.0	± 11.5	± 11.5	
		$R_L = 1k\Omega$	—	± 10.5	—	± 10.5	—	
Large-Signal Voltage Gain	A_{VO}	$R_L = 2k\Omega$ $V_O = \pm 10V$	200	200	150	120	120	mV MIN
Differential Input Voltage			± 30	± 30	± 30	± 30	± 30	V MAX
Power Consumption	P_d	$V_{OUT} = 0V$	—	120	—	120	150	mW MAX

NOTES:

- For $25^\circ C$ characteristics of OP-07NT and OP-07GT, see OP-07N and OP-07G characteristics, respectively.
- Guaranteed by design.

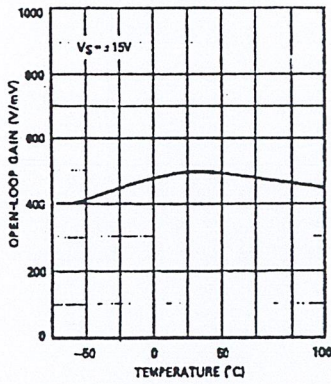
Electrical tests are performed at wafer probe to the limits shown. Due to variations in assembly methods and normal yield loss, yield after packaging is not guaranteed for standard product dice. Consult factory to negotiate specifications based on dice lot qualification through sample lot assembly and testing.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $V_S = \pm 15V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.

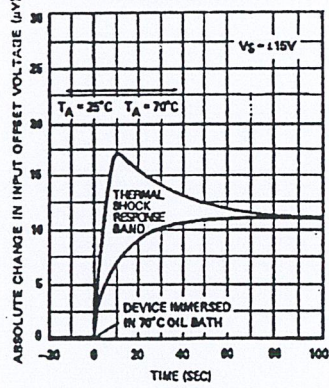
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	OP-07NT TYPICAL	OP-07N TYPICAL	OP-07GT TYPICAL	OP-07G TYPICAL	OP-07GR TYPICAL	UNITS
Average Input Offset Voltage Drift	TCV_{OS}	$R_B = 50\Omega$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	$\mu V/^\circ C$
Nullified Input Offset Voltage Drift	TCV_{OSn}	$R_B = 50\Omega$, $R_P = 20k\Omega$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.7	$\mu V/^\circ C$
Average Input Offset Current Drift	TCI_{OS}		5	5	8	8	12	$pA/^\circ C$
Slew Rate	SR	$R_L \geq 2k\Omega$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	$V/\mu s$
Closed-Loop Bandwidth	BW	$A_{VCL} = +1$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	MHz

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

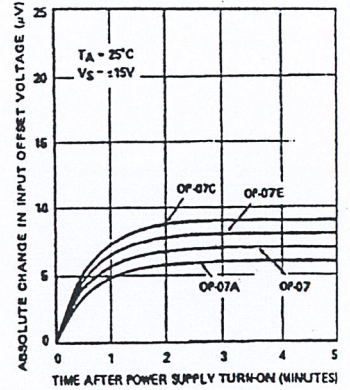
OPEN-LOOP GAIN vs TEMPERATURE



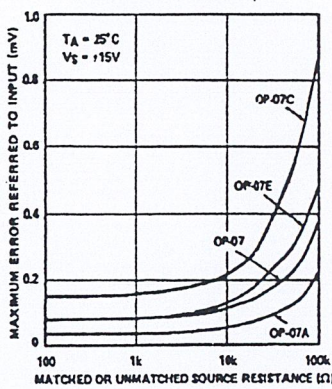
OFFSET VOLTAGE CHANGE DUE TO THERMAL SHOCK



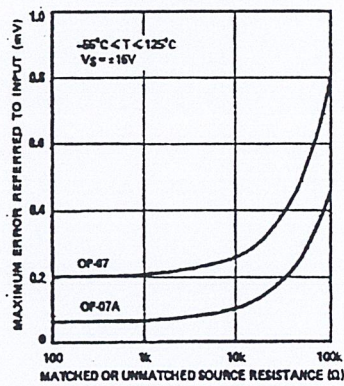
WARM-UP DRIFT



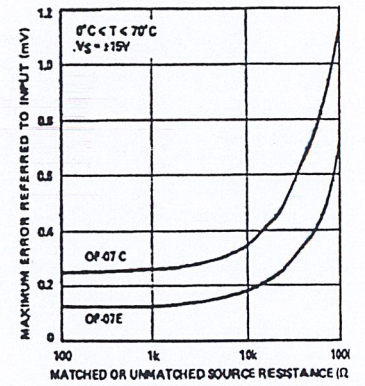
MAXIMUM ERROR vs SOURCE RESISTANCE



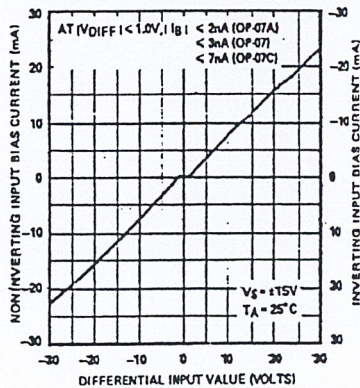
MAXIMUM ERROR vs SOURCE RESISTANCE



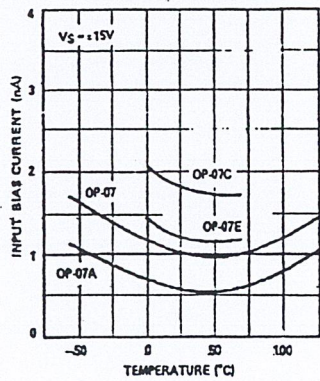
MAXIMUM ERROR vs SOURCE RESISTANCE



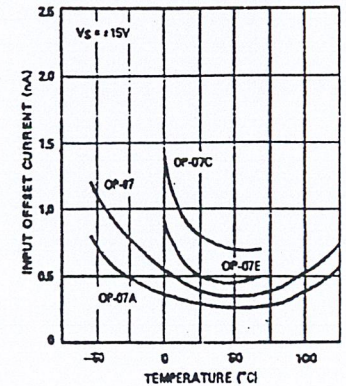
INPUT BIAS CURRENT vs DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE



INPUT BIAS CURRENT vs TEMPERATURE



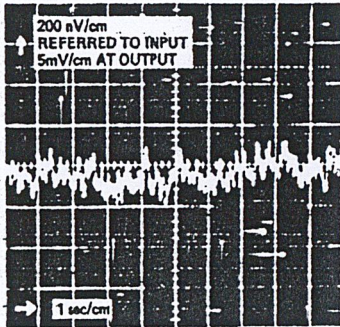
INPUT OFFSET CURRENT vs TEMPERATURE



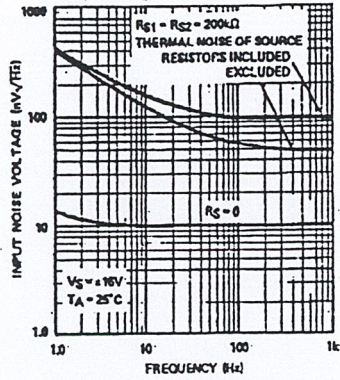
OP07

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

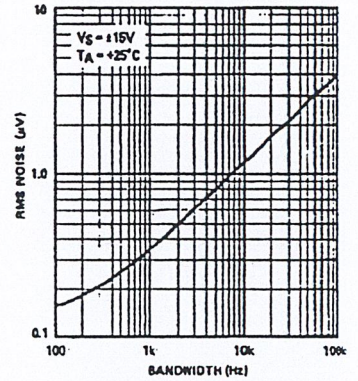
OP-07 LOW FREQUENCY NOISE



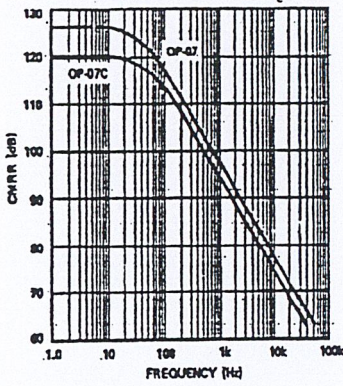
TOTAL INPUT NOISE VOLTAGE vs FREQUENCY



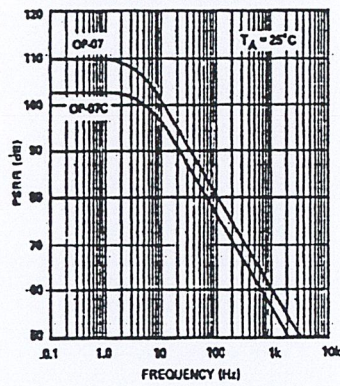
INPUT WIDEBAND NOISE vs BANDWIDTH (0.1Hz TO FREQUENCY INDICATED)



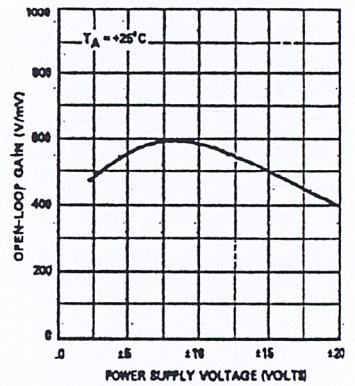
CMRR vs FREQUENCY



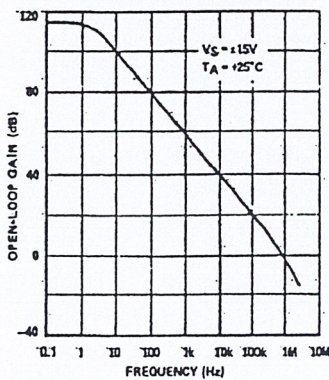
PSRR vs FREQUENCY



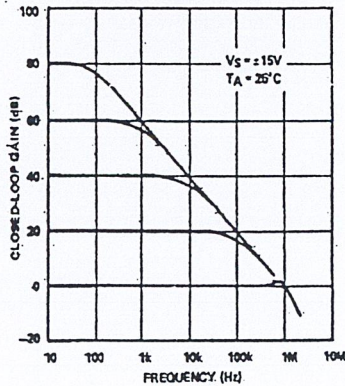
OPEN-LOOP GAIN vs POWER SUPPLY VOLTAGE



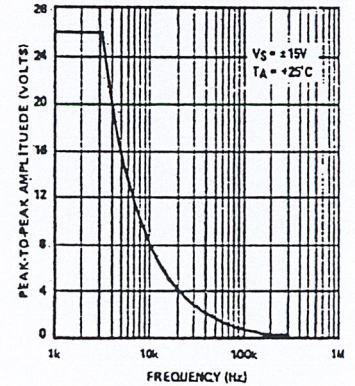
OPEN-LOOP FREQUENCY RESPONSE



CLOSED-LOOP RESPONSE FOR VARIOUS GAIN CONFIGURATIONS

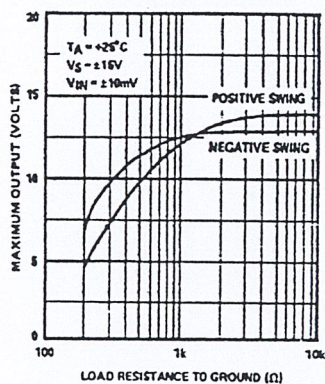


MAXIMUM OUTPUT SWING vs FREQUENCY

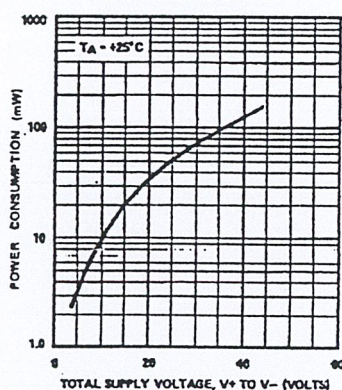


TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

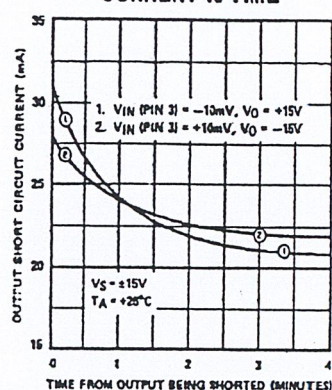
MAXIMUM OUTPUT VOLTAGE vs LOAD RESISTANCE



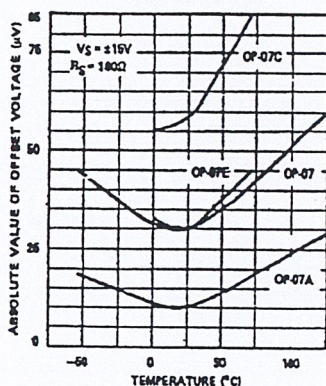
POWER CONSUMPTION vs POWER SUPPLY



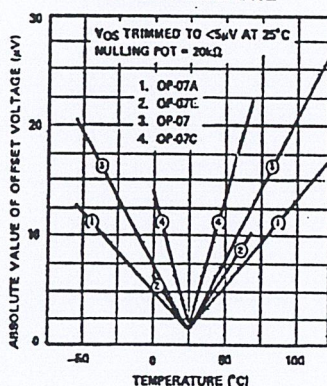
OUTPUT SHORT-CIRCUIT CURRENT vs TIME



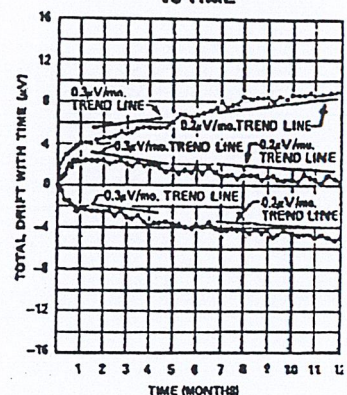
UNTRIMMED OFFSET VOLTAGE vs TEMPERATURE



TRIMMED OFFSET VOLTAGE vs TEMPERATURE

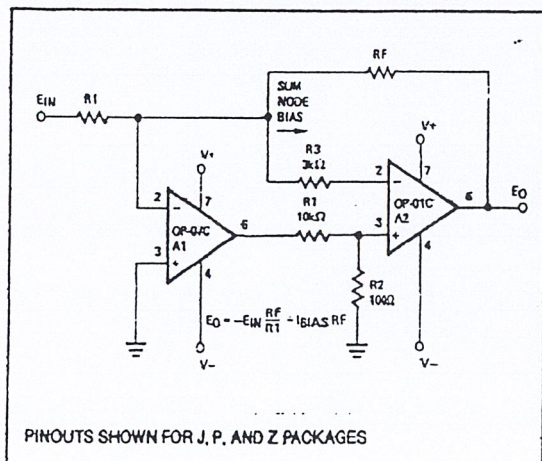


OFFSET VOLTAGE STABILITY vs TIME

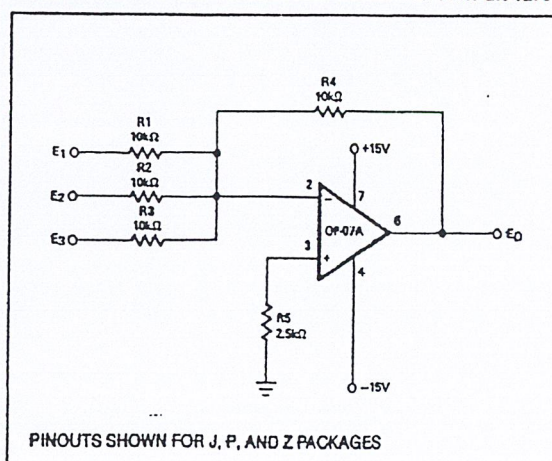


TYPICAL APPLICATIONS

HIGH SPEED, LOW V_{OS} COMPOSITE AMPLIFIER



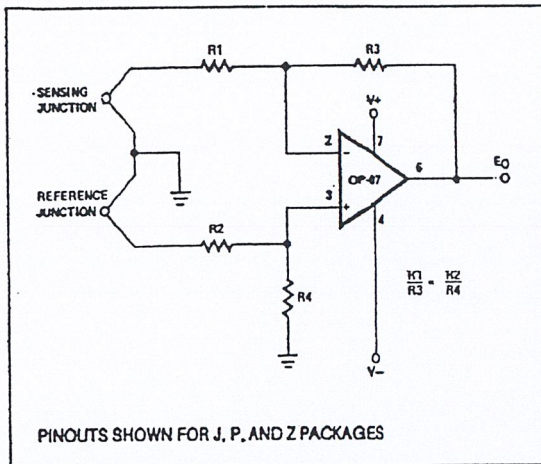
ADJUSTMENT-FREE PRECISION SUMMING AMPLIFIER



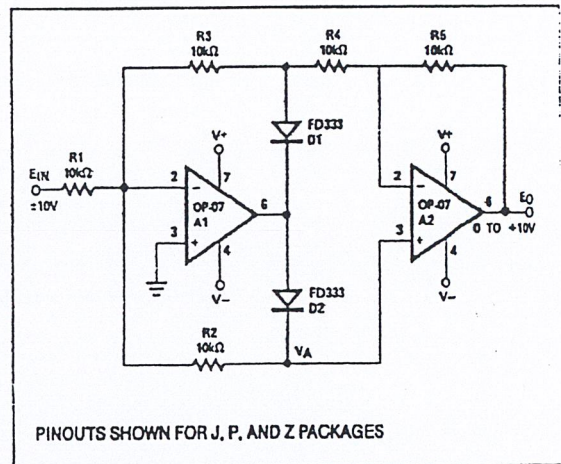
OP07

TYPICAL APPLICATIONS

HIGH-STABILITY THERMOCOUPLE AMPLIFIER



PRECISION ABSOLUTE-VALUE CIRCUIT



APPLICATIONS INFORMATION

OP-07 series units may be substituted directly into 725, 108A/308A* and OP-05 sockets with or without removal of external compensation or nulling components. Additionally, the OP-07 may be used in unnullified 741-type sockets. However, if conventional 741 nulling circuitry is in use, it should be modified or removed to enable proper OP-07 operation. OP-07 offset voltage may be nulled to zero through use of a potentiometer (see offset nulling circuit diagram).

The OP-07 provides stable operation with load capacitance of up to 500pF and $\pm 10V$ swings; larger capacitances should be decoupled with a 50 Ω decoupling resistor.

Stray thermoelectric voltages generated by dissimilar metals at the contacts to the input terminals can degrade drift performance. Therefore, best operation will be obtained when both input contacts are maintained at the same temperature, preferably close to the package temperature.

*TO-99 Package only

Features

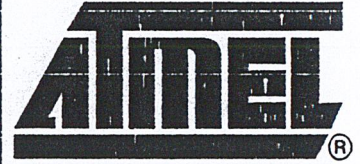
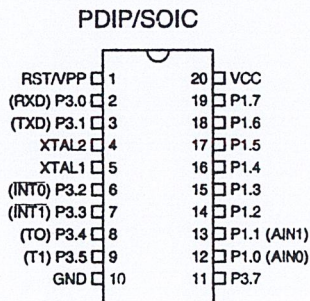
- Compatible with MCS-51™ Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Configuration



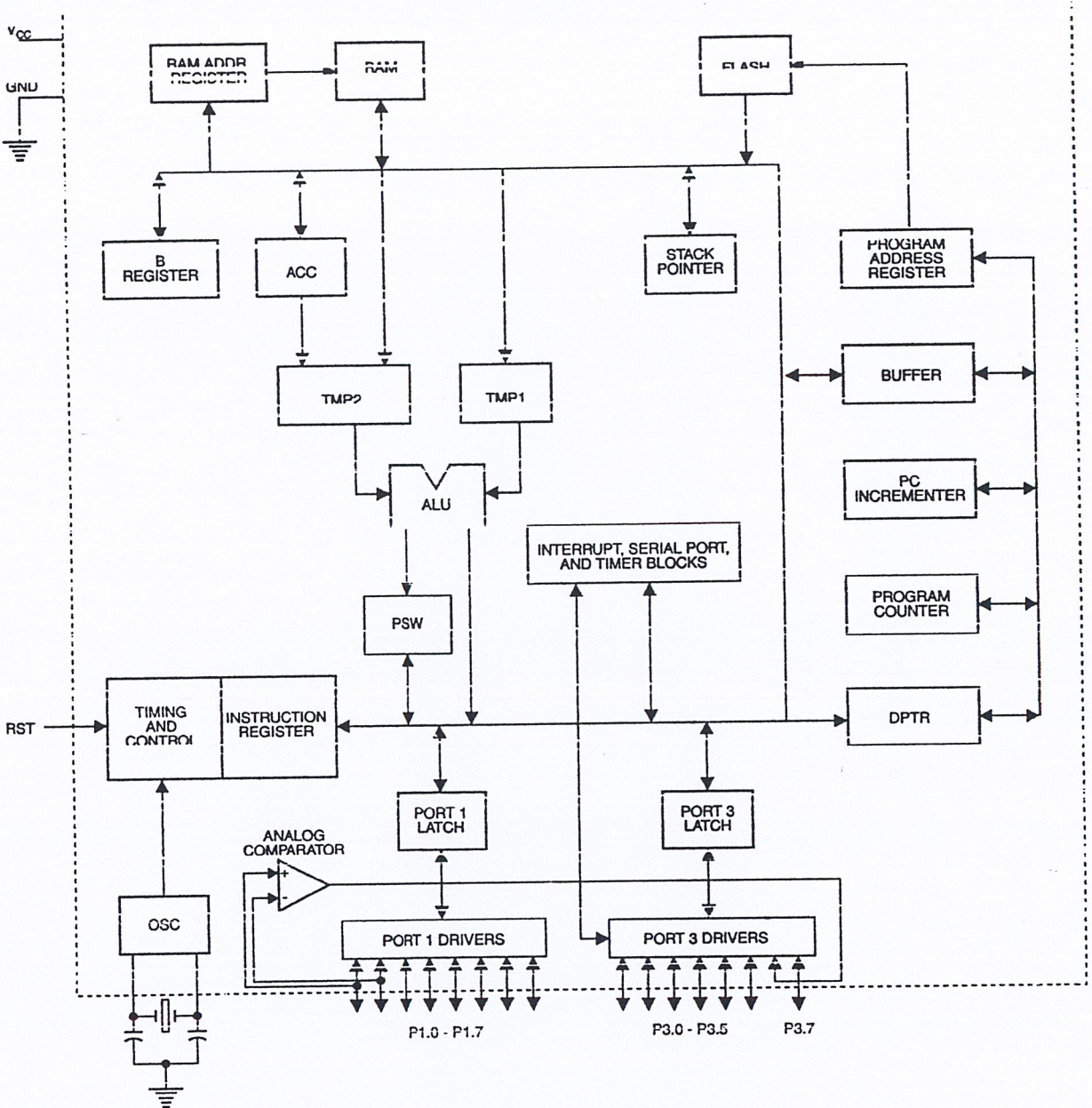
8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

AT89C2051

Rev. 0368E-02/00



Block Diagram



Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pullups. P1.0 and P1.1 require external pullups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bi-directional I/O pins with internal pullups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

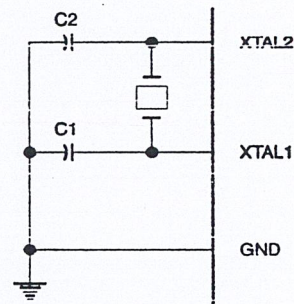
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

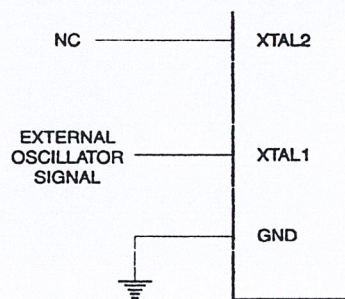
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration





Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return

random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XXX00000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0XX00000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TLO 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

1. Branching Instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

2. MOVX-related Instructions, Data Memory:

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features.
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled.

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power-down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.





Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
2. Set pin RST to "H"
Set pin P3.2 to "H"
3. Apply the appropriate combination of "H" or "L" logic levels to pins P3.3, P3.4, P3.5, P3.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.

To Program and Verify the Array:

4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic "H" level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 5 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:
set XTAL1 to "L"
set RST to "L"
Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features $\overline{\text{Data}}$ Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and

the next cycle may begin. $\overline{\text{Data}}$ Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{\text{BSY}}$ output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from "L" to "H".
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(001H) = 21H indicates 89C2051

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode		RST/VPP	P3.2/ $\overline{\text{PROG}}$	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ⁽¹⁾⁽³⁾		12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾		H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	12V		H	H	H	H
	Bit - 2	12V		H	H	L	L
Chip Erase		12V		H	L	L	L
Read Signature Byte		H	H	L	L	L	L

- Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL 1 pin.
 2. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.
 3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/ $\overline{\text{BSY}}$.

Figure 3. Programming the Flash Memory

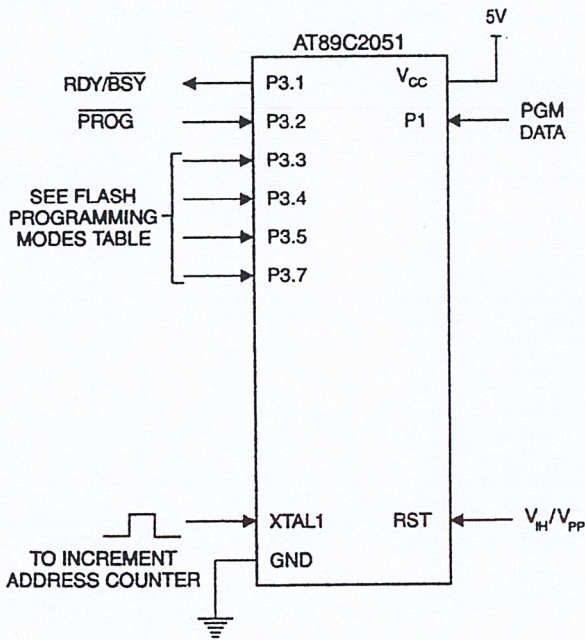
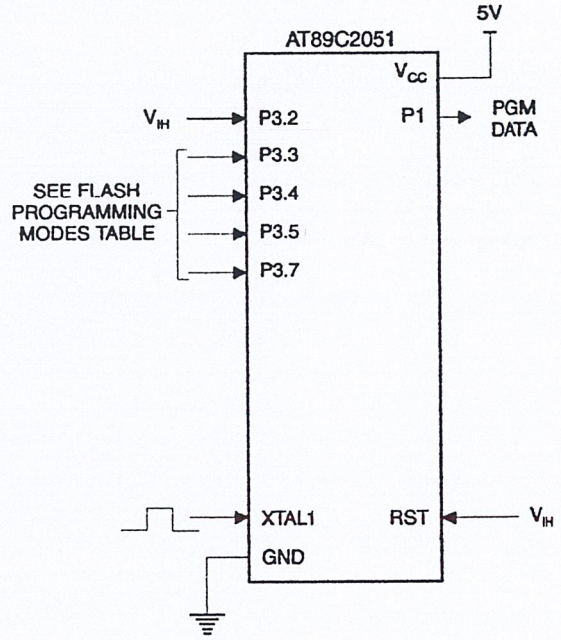


Figure 4. Verifying the Flash Memory



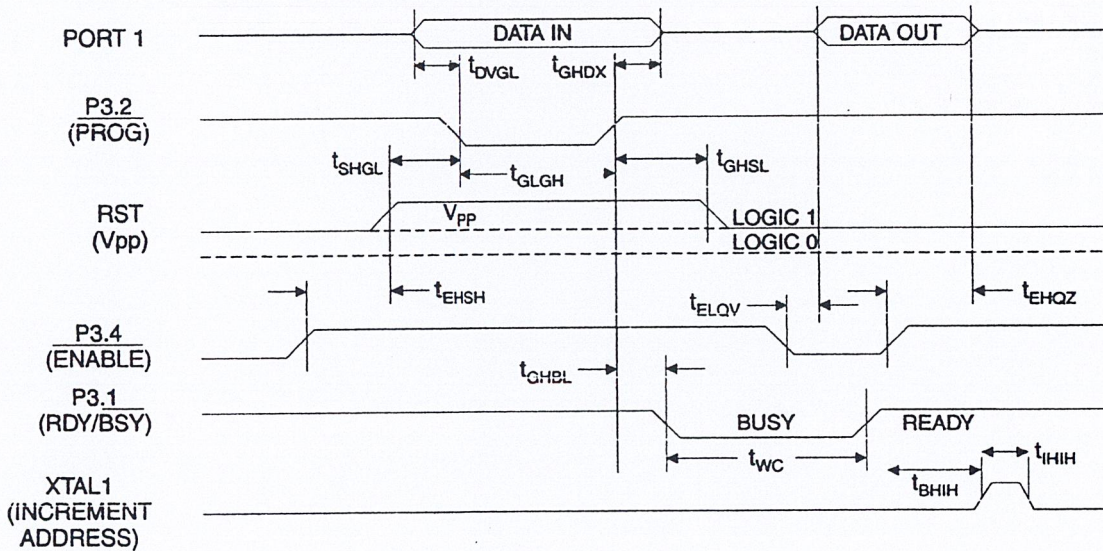
Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}	Programming Enable Current		250	μA
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{EHS}	P3.4 (ENABLE) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	ENABLE Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHQZ}	Data Float after ENABLE	0	1.0	μs
t_{GHBL}	PROG High to BUSY Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{BHH}	RDY/BSY to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{HIL}	Increment Clock High	200		ns

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current.....	25.0 mA

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

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.0\text{V}$ to 6.0V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 2.7\text{V}$		0.5	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-750	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	$0 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
V_{OS}	Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} - 5\text{V}$		20	mV
V_{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V_{CC}	V
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	K Ω
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		5/1	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		20	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OI} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA

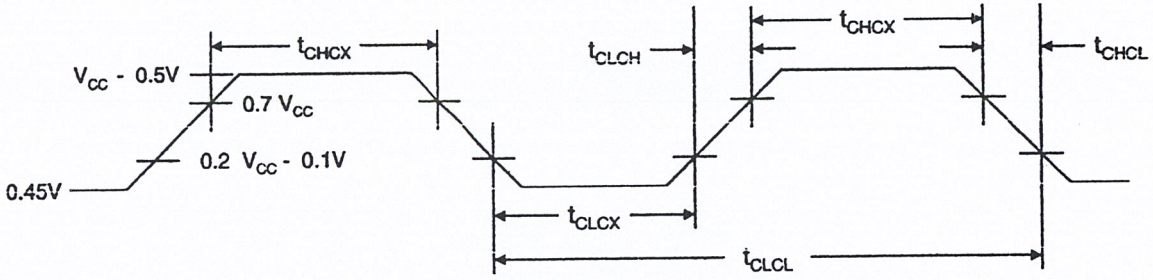
Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA

if I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

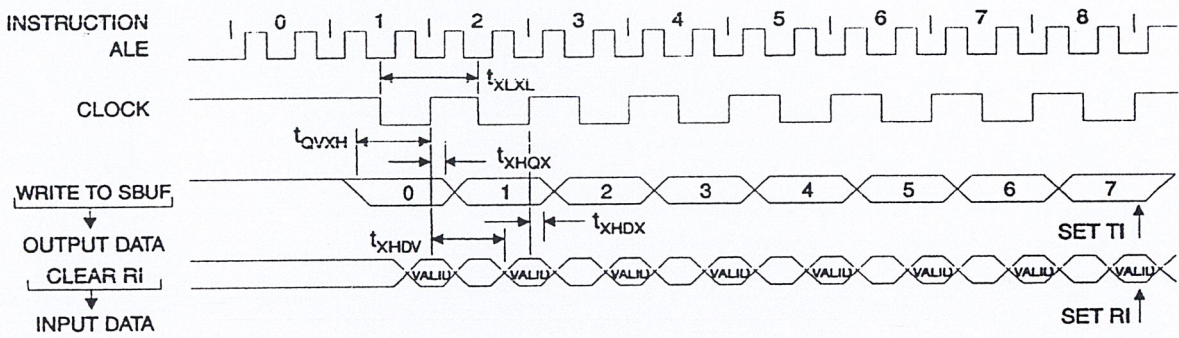
Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 6.0V$		$V_{CC} = 4.0V \text{ to } 6.0V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	30		15		ns
t_{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

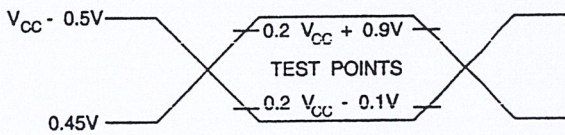
$V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

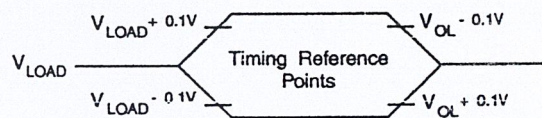


AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



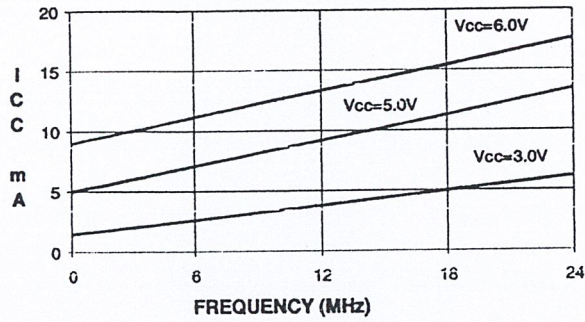
Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms⁽¹⁾

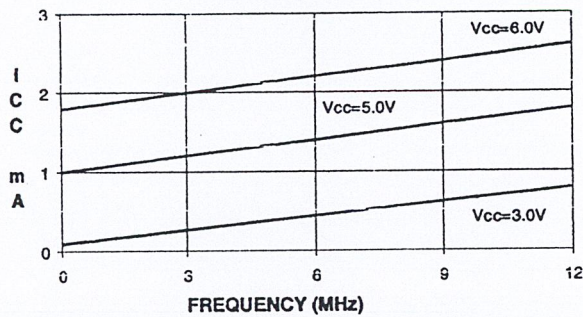


Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{CH} / V_{OL} level occurs.

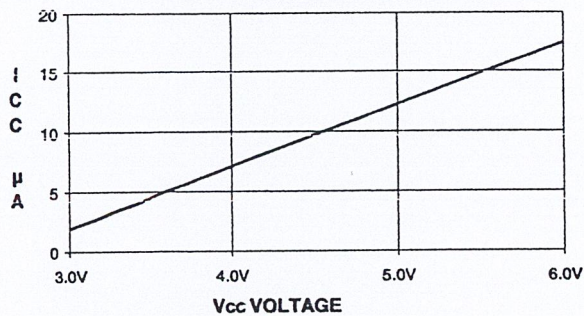
AT89C2051
TYPICAL I_{CC} - ACTIVE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL I_{CC} - IDLE (85°C)



AT89C2051
TYPICAL I_{CC} vs. VOLTAGE - POWER DOWN (85°C)



- Notes:
1. XTAL1 tied to GND for I_{CC} (power-down)
 2. P.1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND
 3. Lock bits programmed

Ordering Information

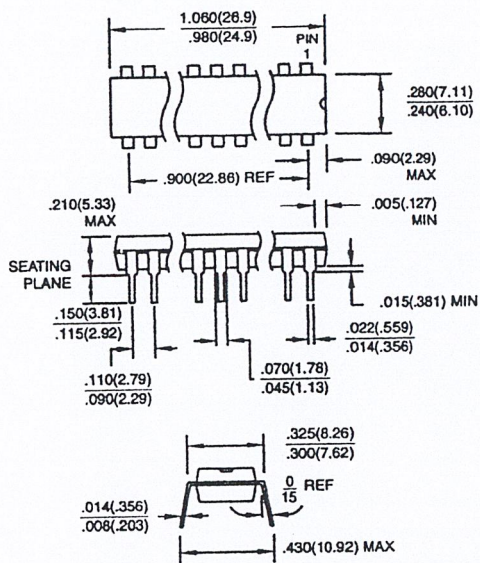
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12SC	20S	
		AT89C2051-12PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SI	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24SC	20S	
		AT89C2051-24PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SI	20S	

Package Type	
20P3	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)

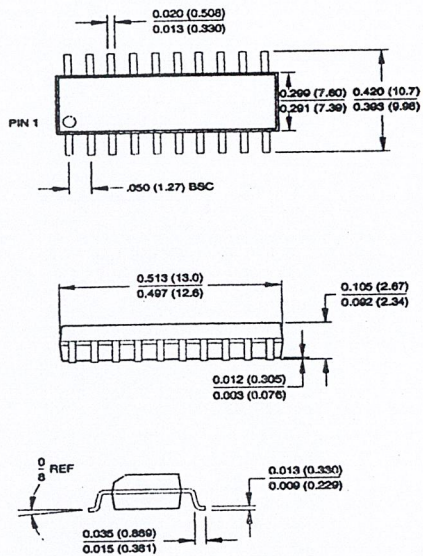


Packaging Information

20P3, 20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-001 AD



20S, 20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)





Atmel Headquarters

Corporate Headquarters

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe

Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs

1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand

North America:

1-(800) 292-8635

International:

1-(408) 441-0732

e-mail

literature@atmel.com

Web Site

<http://www.atmel.com>

BBS

1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0368E-02/00/XM