สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านเครือข่ายท้องถิ่น

Electrocardiogram (ECG) Monitoring via Local Area Network

โดย

นายตติยะ วิจิตรลักษณา

นายณิวัฒน์ น้อมนบ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 62038

วัน,เดือน,ปี 27 ก.ค. 2549

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านเครือข่ายท้องถิ่น

Electrocardiogram (ECG) Monitoring via Local Area Network

T062038

โดย

นายตติยะ วิจิตรลักษณา รหัส 45015280

นายณิวัฒน์ น้อมนบ รหัส 45015279

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านเครือข่ายท้องถิ่น

ELECTROCARDIOGRAM (ECG) MONITORING VIA LOCAL AREA NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นายตติยะ วิจิตรลักษณา
2. นายณิวัฒน์ น้อมนบ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจผ่านเครือข่ายท้องถิ่น

ELECTROCARDIOGRAM (ECG) MONITORING VIA LOCAL AREA NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นายตติยะ วิจิตรลักษณา
2. นายณิวัฒน์ น้อมนบ

โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจระยะไกลผ่านเครือข่ายท้องถิ่น

ณิวัฒน์ น้อมนบ
ตติยะ วิจิตรลักษณา

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แสดงเป็นการศึกษา ออกแบบ และ สร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยเพื่อใช้การแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้จากร่างกายซึ่งเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กและมีความถี่ต่ำมาแสดงผลบนจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrocardiogram (ECG) Monitoring via Local Area Network

Niwat Nomnob

Tatiya Vichitlaxsana

Adviser

Itthichai Arungsrisangchai

Abstract

This thesis presents the studying, designed and construction of Electrocardiogram (ECG) monitoring equipment, the ECG results which was monitoring from the human being bodies have low frequency and low amplitude ware shown on the screen of microcomputer, then can be transfer to another terminal via local area network (LAN).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	3
2.1 คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ	3
2.2 สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ	7
2.3 ความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	9
2.4 การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	10
2.5 อิเล็กโทรด	11
2.6 ความต้องการโดยเฉพาะของเครื่อง อี ซี จี	15
2.7 ปัญหาที่พบบ่อยในการออกแบบและใช้เครื่อง อี ซี จี	17
2.8 การป้องกันคลื่นไฟฟ้าช่วงสั้นที่มารบกวน	24
2.9 การลดคอมมอนโหมด และการรบกวนอื่นๆ	25
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	27
3.1 ภาควงจรขยาย(Instrument Amplifier)	27
3.2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ(Auto Zero Circuit)	31
3.3 วงจรกรองความถี่สูง(Low Pass Filter)	32
3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบไม่ให้ผ่านเฉพาะความถี่	37
3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	38
3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 (Microcontroller 89C51)	38
3.7 การใช้งาน Winsock Control	45
บทที่ 4 สถาปัตยกรรมเครือข่ายคอมพิวเตอร์	47
4.1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย	47
4.2 ตัวแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบโอ เอส ไอ (OSI Model)	51
4.3 หลักการโปรโตคอลของ TCP/IP	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 โปรโตคอล TCP 57
4.5 โปรโตคอล UDP 59
4.6 โปรโตคอล IP 60
4.7 โปรโตคอล ICMP 61
4.8 โปรโตคอล ARP 61
4.9 กลไกของโปรโตคอล IP 62
4.10 การเลือกเส้นทาง (Routing) 66
4.11วินซอต (WINSOCK) 67
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง 68
5.1 วงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์ 68
5.2 การทดลองวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Circuit) 71
5.3 การทดลองผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 72
5.4 การทดลองผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบไม่ผ่านเฉพาะช่วง 74
5.5 การทดสอบการทำงานของวงจรปรับแรงดันออฟเซต 76
5.6 การทดสอบการทำงานของวงจร A/D Converter 77
5.7 การทดสอบวงจรทั้งหมดและส่วนแสดงผล 79
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ผลของปริญญานิพนธ์ 81
ภาคผนวก 83
กิตติกรรมประกาศ 84
เอกสารอ้างอิง 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2-1 แสดงการกระจายกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ 3
รูปที่ 2-2 แสดงระบบสื่อนำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ 4
รูปที่ 2-3 แสดงภาพตัดขวางของส่วนประกอบที่สำคัญของหัวใจ 5
รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ของการทำงานของหัวใจกับการเกิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 7
รูปที่ 2-5 แสดงผลอิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรมของคนปกติ 9
รูปที่ 2-6 แสดงวิธีวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 2 แบบ 10
รูปที่ 2-7 แสดงโครงสร้างผิวหนังและวงจรสมมูลของผิวหนังที่อิเล็กโทรด 12
รูปที่ 2-8 แสดงคุณสมบัติอิเล็กโทรดที่เป็นเหล็กไร้สนิมที่อิมพีแดนซ์ขึ้นกับค่าความเก็บประจุและความเข้มของกระแสไฟฟ้า 13
รูปที่ 2-9 ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ 14
รูปที่ 2-10 อิเล็กโทรดรดแผ่นที่ทำด้วยโฟม (ชนิดใช้แล้วทิ้งเลย) สำหรับเครื่อง อี ซี จี ใช้ปิด ผิวหนังที่ติด แขน – ขา 14
รูปที่ 2-11 แสดงความผิดพลาดของรูปคลื่น อี ซี จี ซึ่งมีผลมาจากความผิดเพี้ยนของความถี่ 17
รูปที่ 2-11a แสดงคลื่น อี ซี จี ปกติ จากเครื่องมือ ซึ่งมีการตอบสนองความถี่กว้างกว่า 0.05-100 Hz 17
รูปที่ 2-11b แสดงคลื่น อี ซี จี ที่บันทึกได้ด้วยเครื่องที่มีการตอบสนองความถี่จาก 0.02-25 Hz 17
รูปที่ 2-11c แสดงคลื่น อี ซี จี จากต้นตอเดียวกัน แต่บันทึกด้วยเครื่องที่มีการตอบสนองความถี่ 1-150 Hz 17
รูปที่ 2-12 แสดงความผิดพลาดของคลื่น อี ซี จี ซึ่งมีผลจากการผิดเพี้ยนที่เกิดจากแอมปลิไฟเออร์ 18
รูปที่ 2-13a แสดงอันตรายที่เกิดจากวงจรสายดิน 19
รูปที่ 2-13 b แสดงอันตรายที่เกิดจากรอยต่อที่ขาด 20
รูปที่ 2-14 ผลของสิ่งรบกวนที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้าแรงสูงระยะสั้น 21
รูปที่ 2-15 การลดสัญญาณรบกวนโดยการพันสายเป็นเกลียว 23
รูปที่ 3-1 วงจร Instrumentation Amplifier. วงจร RL Driver และวงจร Clamping 29
รูปที่ 3-2 วงจรยกระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-3 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Circuit) 32
รูปที่ 3-4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 33
รูปที่ 3-5 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงที่ลำดับต่างๆ 33
รูปที่ 3-6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิทธ์ลำดับ 4 34
รูปที่ 3-7 กราฟแสดงการหาค่า K 35
รูปที่ 3-8 กราฟแสดงการหาค่า R โดยเลือกค่าอัตราการขยายเป็น 4 และให้ C_1=C 36
รูปที่ 3-9 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบกำจัดสัญญาณที่ความถี่เฉพาะช่วง 37
รูปที่ 3-10 รูปวงจรกรองความถี่แบบกำจัดสัญญาณที่ความถี่ 50 เฮิร์ทซ์ 37
รูปที่ 3-11 รายละเอียดการเลือกโหมดการทำงาน 41
รูปที่ 4-1 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการให้บริการ 51
รูปที่ 4-2 แสดงการแบ่งการทำงานของเครือข่ายออกเป็น OSI model 51
รูปที่ 4-3 แสดง TCP/IP stack เปรียบเทียบกับมาตรฐาน OSI 54
รูปที่ 4-4 รูปแบบของ TCP packet 58
รูปที่ 4-5 รูปแบบของ UDP packet 60
รูปที่ 4-6 แสดง IP datagram และ IP Header 63
รูปที่ 5-1 วงจร Instrument Amplifier, วงจร RL Driver และ วงจร Clamping 68
รูปที่ 5-2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ 71
รูปที่ 5-3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 72
รูปที่ 5-4 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 73
รูปที่ 5-5 กรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง 74
รูปที่ 5-6 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง 76
รูปที่ 5-7 วงจรปรับแรงดันออฟเซต 76
รูปที่ 5-8 ทดสอบการทำงานของวงจรอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ 77
รูปที่ 5-9 แสดงรูปแบบการติดอิเล็กโทรดบนร่างกาย 79
รูปที่ 5-10 แสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้ที่ผู้วัด 80
รูปที่ 5-11 แสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มอนิเตอร์จากผู้วิเคราะห์สัญญาณ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรม 42
ตารางที่ 3.2 การเซตค่าอัตราการส่งข้อมูล 44
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาอัตราขยายแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมด 69
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองหาอัตราขยายแบบคอมมอนโหมด 70
ตารางที่ 5.3 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 73
ตารางที่ 5.4 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในอดีตเครื่องวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) หรือ ECG เป็นเครื่องมือที่มีอยู่ตามโรงพยาบาลใหญ่ ๆ ซึ่งทำให้การวัดแต่ละครั้งนั้นต้องเสียเงินและเสียเวลาเป็นอย่างมากเนื่องจากการวัดแต่ละครั้งต้องใช้เวลาวัดเป็นวัน ๆ เพื่อนำผลไปวิเคราะห์

ในปัจจุบันเครื่องวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ได้พัฒนาขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง[1, 2] ทำให้ราคานั้นถูกลงและการใช้งานก็สะดวกยิ่งขึ้น คือสามารถวัดโดยที่ผู้ป่วยอยู่ที่บ้านก็ได้ โดยต่อเครื่องเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลแล้วส่งข้อมูลผ่านคู่สายโทรศัพท์เพื่อให้แพทย์นำไปวิเคราะห์

เครื่องวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจนี้ประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ 5 ส่วน ดังนี้

EKG Amplifier: ทำหน้าที่ขยายขนาดของคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เราต้องการและลดขนาดของสัญญาณรบกวน

A/D Converter: ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

Micro controller: ทำหน้าที่ในการควบคุมการส่งข้อมูลแบบ

Max 232 ทำหน้าที่ในการแปลงระดับแรงดันให้เหมาะสมเพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

Visual Basic: ทำหน้าที่เชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ระยะไกลและส่วนแสดงผล

ลักษณะรายละเอียดในปริญญานิพนธ์นี้ จะมีทั้งทฤษฎีการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยสังเขป วงจรที่ใช้ ส่วนของโปรกรมที่ใช้ ผลการทดลองและสรุป ซึ่งทำให้ผู้อ่านสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

ในการทำปริญญานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาการใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อให้ผู้รักษาโรคสามารถวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย ผ่านระยะทางไกลได้ โดยผ่านเครือข่ายท้องถิ่น และการใช้วงจรเช่า (Lease line) ผ่านคู่สายโทรศัพท์อีกทั้งยังสามารถสื่อสารโต้ตอบเป็นตัวหนังสือเพื่อใช้สอบถามอาการทั่วไปโดยผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ เพราะผู้จัดทำตระหนักว่าถ้าสามารถประหยัดระยะเวลาในการวิเคราะห์อาการผู้ป่วยได้เพียงวินาทีอาจสามารถรักษาชีวิตของผู้ป่วยนั้นๆได้

1.3 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยในบทที่หนึ่งนี้จะเป็นการกล่าวนำและวัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ ในส่วนบทอื่นๆจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจรวมถึงลักษณะของคลื่นหัวใจความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

บทที่ 3 จะกล่าวถึงการออกแบบและการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจรวมถึงการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อประมวลผลส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกในการเขียนโปรแกรมติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายท้องถิ่น

บทที่ 4 จะกล่าวถึงทฤษฎีของการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยใช้คู่สายเช่า ทฤษฎีการสื่อสารข้อมูล

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ผลของปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตให้หมุนเวียนไปทั่วร่างกาย เพื่อนำออกซิเจนไปให้เซลล์และรับคาร์บอนไดออกไซด์กับของเสียกลับมา โดยปกติหัวใจจะสูบฉีดเลือด 3.5 ลิตรต่อนาที[2] แต่ในขณะที่ออกกำลังกายจะสูบฉีดได้ถึง 5.5 ลิตร ต่อนาที จะเห็นว่าหัวใจต้องมีแรงดันศักดาสูงมากเพื่อสูบฉีดเลือดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายจะถูกควบคุมการทำงานด้วยกล้ามเนื้อพิเศษที่เรียกว่า กล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardium) ที่ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าจาก Sinoatrial node การหดตัวและพองตัวดังกล่าวนี้เกิดไปพร้อมกับศักดาไฟฟ้า (electric potential) กระจายไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดังรูปที่ 2-1

รูปที่ 2-1 แสดงการกระจายกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ

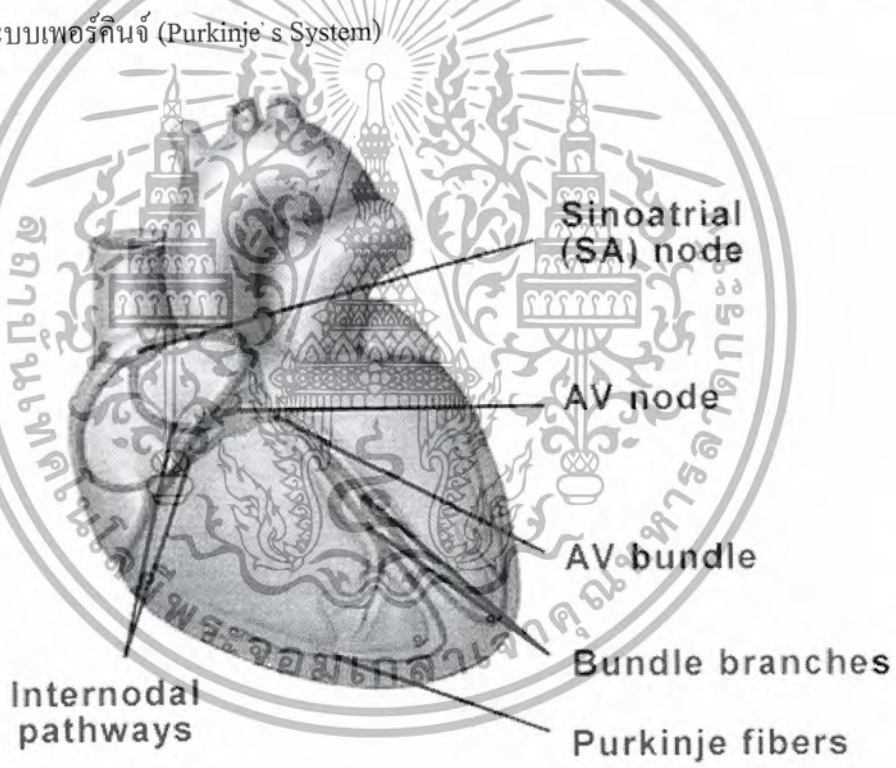
2.1 คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ

หัวใจมีคุณสมบัติหลายอย่างซึ่งเป็นลักษณะพิเศษดังต่อไปนี้

1. กล้ามเนื้อหัวใจสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง (Automatically) เนื่องจากมีศักดาไฟฟ้าทำงาน
2. การทำงานมีความต่อเนื่อง (Contractility) คุณสมบัติเช่นนี้เป็นลักษณะธรรมดาของกล้ามเนื้อหัวใจ การบีบตัวของหัวใจเรียกว่า ซิสโตล (Systole) และการคลายตัวเรียกว่า ไดแอสโตล (Diastole) แล้วตามด้วยระยะพัก การทำงานครบวงจรเช่นนี้เรียกว่า วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac Cycle)
3. มีระบบสื่อนำ (Conductivity) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างคุณสมบัติของกล้ามเนื้อและประสาท ทำหน้าที่นำคำสั่งไปยังส่วนต่างๆ ของหัวใจ เพื่อให้การทำงานเป็นจังหวะและพร้อมเพรียงกัน ถึงแม้ว่ากล้ามเนื้อหัวใจจะทำงานได้เอง แต่ในร่างกายจะต้องมีระบบสื่อนำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเริ่มทำให้เกิดพลังประสาท ดังแสดงในรูปที่ 2-2 ระบบสื่อนำที่กล่าวนี้ ประกอบด้วยกลุ่มเซลอยู่ที่บริเวณหัวใจห้องบนขวา (Right Atrium) ใกล้กับรูเปิดของหลอดเลือดซุพีเรียเวนาคาวา (Superior Vena Cava) เรียกว่า ไซโน-เอเตรียลโหนด (Sino-atrial Node: S-A Node) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระตุ้นเพื่อให้เกิดการบีบตัวของหัวใจห้องบนและนำคลื่นไฟฟ้าส่งต่อไปยังกลุ่มเซลที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle) เรียกว่า เอตริโอเวนตริคูลาร์โหนด (Atrioventricular Node: A-V Node) โดยที่เซลกลุ่มนี้มีส่วนของเนื้อเยื่อที่เรียกว่า บันเดิลออฟฮิส (Bundle of his) และส่วนของเส้นใยพิเศษเรียกว่า เพอร์คินจ์ (Purkinje Fibers) ทำหน้าที่เป็นสื่อนำสัญญาณจากกลุ่มเซลที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาผ่านไปยังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง ระบบสื่อนำตั้งแต่กลุ่มเซลที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาลงมาเรียกว่า ระบบเพอร์คินจ์ (Purkinje's System)



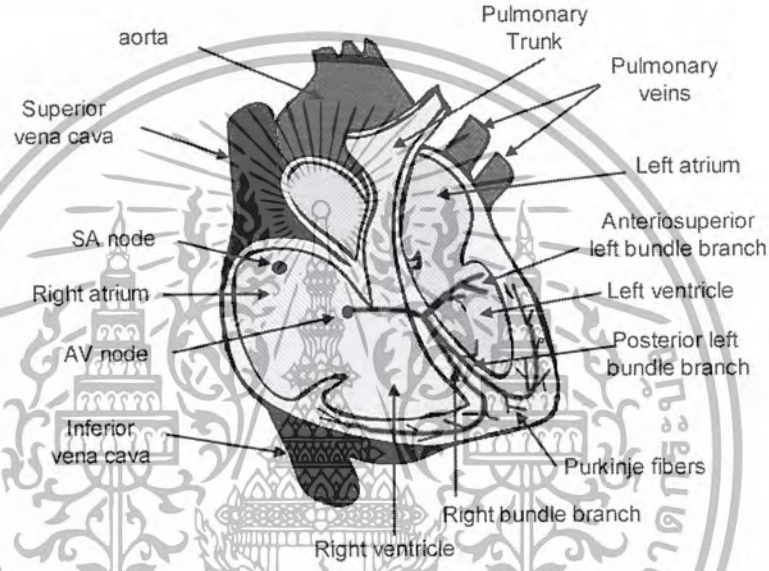
รูปที่ 2-2 แสดงระบบสื่อนำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ

4. กล้ามเนื้อหัวใจมีระยะดื้อนาน ในระยะบีบตัว กล้ามเนื้อยังอยู่ในภาวะ ดีโพลาไรซ์ (Depolarization)ซึ่งเป็นระยะแรกที่เซลกล้ามเนื้อหัวใจถูกกระตุ้นและรีโพลาไรซ์ (Repolarization) เป็นช่วงที่กลับคืนสู่ภาวะปกติ จึงยังไม่สนองต่อการกระตุ้น ระยะนี้เรียกว่า ระยะแอปโซลูทรีแฟรคทอรี (Absolute Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.25 วินาที แต่ต่อมา ในระยะต้นของการคลายตัวนั้น กล้ามเนื้อหัวใจ มีการสนองตอบต่อการกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Excitability) มากขึ้น แต่ก็ยังดื้ออยู่ ต้องทำการกระตุ้นด้วยตัวกระตุ้นที่แรงมากพอจึงสามารถตอบสนองได้ เรียกระยะนี้ว่า ระยะรีเลทีฟรีแฟรคทอรี (Relative Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.05 วินาที

ลักษณะการทำงานเชิงกลของหัวใจ (Mechanical Operation of Heart)



รูปที่ 2-3 แสดงภาพตัดขวางของส่วนประกอบที่สำคัญของหัวใจ

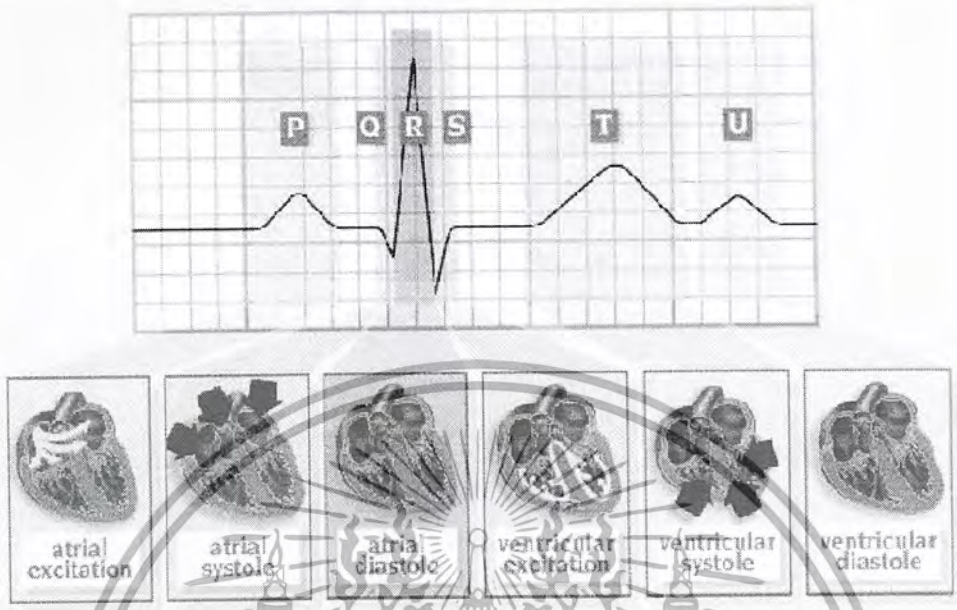
ในการทำงานเลือดดำจากส่วนต่างๆ ของร่างกายจะไหลกลับเข้าสู่หัวใจผ่านทางหลอดเลือดดำอินฟีเรียร์เวนาคาวา (Inferior vena cava) และซุพีเรียร์เวนาคาวา เข้าสู่หัวใจห้องบนขวา (Right Atrial : RA) จากนั้นหัวใจห้องบนขวาจะบีบตัวส่งเลือดให้ไหลลงสู่หัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle : RV) และถูกฉีดออกไปสู่ปอดเพื่อทำการรับออกซิเจนให้เปลี่ยนเป็นเลือดดีแล้วส่งกลับเข้ามายังหัวใจห้องบนซ้าย (Left atrial : LA) ทางหลอดเลือดแดงพัลโมนารีเวน (Pulmonary vein) และไหลผ่านลงสู่หัวใจห้องล่างซ้าย (Left Ventricle : LV) โดยการบีบตัวของหัวใจห้องบนซ้าย ต่อจากนั้นเลือดแดงจะถูกฉีดไปเลี้ยงร่างกายโดยผ่านทางเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของหัวใจแบ่งได้เป็นช่วงจังหวะต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ช่วงที่การบีบตัวส่งเลือดออกไปของหัวใจสิ้นสุด และกำลังรอจังหวะการบีบตัวครั้งต่อไป ช่วงนี้เป็นช่วงที่เลือดไหลเข้าสู่หัวใจ สภาพหัวใจขณะนี้ จะถือว่าเป็นสภาวะพัก (Resting State) ของหัวใจ
2. เป็นช่วงที่เกิดขึ้นหลังจากระยะพักเสร็จสิ้นลง ในช่วงนี้หัวใจห้องบน (Atrial) เริ่มหดตัว ทำให้ความดันภายในหัวใจห้องบนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และด้วยความดันนี้จะทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องบนเข้าสู่หัวใจห้องล่าง (Ventricle)
3. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่าง เพิ่มมากขึ้นจะทำให้วาล์วที่กั้นระหว่างหัวใจห้องบนกับห้องล่างทั้งด้านขวา (Triaspid valve) และด้านซ้าย (Mitral valve) ปิด ดังนั้นปริมาตรของหัวใจห้องล่างจะไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่หัวใจห้องล่างเริ่มหดตัวนั้นความดันในเส้นเลือดดำจากหัวใจห้องบนขวา (pulmonary artery) เท่ากับ 7 มิลลิเมตรปรอท ขณะที่ในเส้นเลือดแดงใหญ่ซึ่งนำเลือดจากหัวใจห้องล่างซ้ายส่งไปยังร่างกายมีความดันเท่ากับ 80 มิลลิเมตรปรอท ลิ้นเปิด-ปิดของเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta valve) และเส้นเลือดดำใหญ่ (Pulmonary valve) จะปิดอยู่จนกระทั่งความดันเพิ่มขึ้นจนเพียงพอ
4. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างซ้ายเพิ่มขึ้นจนมากกว่าความดันในเส้นเลือดแดงใหญ่ลิ้นหัวใจของเส้นเลือดแดงใหญ่จะเปิด และหัวใจห้องล่างซ้ายจะสูบฉีดเลือดผ่านเส้นเลือดแดงใหญ่เข้าสู่ระบบไปเลี้ยงร่างกาย ความดันจะขึ้นถึงจุดสูงสุดประมาณ 125 มิลลิเมตรปรอท หลังจากเลือดส่วนใหญ่ถูกขับออกไปสู่ร่างกายแล้ว กล้ามเนื้อของหัวใจห้องล่างซ้ายจะหดลง ความดันในหัวใจห้องล่างและในเส้นเลือดแดงใหญ่จะเริ่มตกลง
5. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างตกลงจนถึงค่าหนึ่ง ความดันในเส้นเลือดแดงใหญ่ และเส้นเลือดดำใหญ่จะมากกว่าความดันในห้องใจ (Chambers) ลิ้นเปิด-ปิดของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำจะปิด ที่จุดนี้การสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจห้องล่างกำลังพองตัว ความดันจะยังคงตกลงเรื่อยๆ
6. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างตกลงต่ำกว่าความดันในหัวใจห้องบน ลิ้นหัวใจจะเปิดและเลือดจะเริ่มไหลเข้าสู่หัวใจห้องล่างอย่างรวดเร็ว และจะช้าลงเมื่อหัวใจห้องล่างเริ่มเพิ่มขนาดขึ้นสูงสุดขณะนี้เป็นช่วงของ ระยะพักของหัวใจ ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 1 และครบวงจรการเต้นของ หัวใจ วงจรต่อไปก็จะเริ่มใหม่อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ของการทำงานของหัวใจกับการเกิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

2.2 สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ

ตามปกติเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะมีแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์มีค่าเป็นลบมากกว่าแรงดันไฟฟ้าภายนอกเซลล์ประมาณ 90 มิลลิโวลต์ แสดงตามรูปที่ 2-4 แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง(resting potential) ถ้าศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งนี้มีค่าสูงกว่าขีดจำกัดค่าหนึ่งจะมีการแตกตัวของอนุภาคและประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการแตกตัวให้ประจุเกิดขึ้นศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะมีค่าประมาณ +30 มิลลิโวลต์ และเซลล์กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลงหลังจากนั้นประมาณ 20 มิลลิวินาที ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะกลับไปมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าขณะหยุดนิ่ง และเซลล์จะอยู่ในลักษณะคลายตัว จนกว่าวัฏจักรจะเริ่มซ้ำ(เมื่อศักย์ไฟฟ้าหยุดนิ่งเพิ่มขึ้นอีก)

หัวใจส่วนบนมีการเกี่ยวพันทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเมื่อเซลล์หนึ่งเกิดการแตกตัวให้ประจุเซลล์ใกล้เคียงจะได้รับการกระตุ้นให้ปลดปล่อยประจุด้วยคลื่นของการปลดปล่อยประจุจะกระจายไปทั่วส่วนบน ในที่สุดเซลล์ทุกเซลล์ในหัวใจส่วนบนจะมีการแตกตัวให้ประจุหัวใจส่วนบนจะหดตัว คลื่นของการปลดปล่อยประจุเกิดจากเซลล์จำนวนมากทำให้เกิดความแตกศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะวัดได้โดยการใช้ขั้วไฟฟ้าวางบนผิวหนัง ค่าแรงดันที่วัดได้ด้วยวิธีนี้เรียกว่าอิเล็กโตคาร์ดิโอแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องหัวใจส่วนบน เซลล์ทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะมีความสัมพันธ์ทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในหัวใจส่วนล่างมีการแตกตัวของอนุภาคและให้ประจุออกมา (และการหดตัว) ในทุกๆเซลล์ของหัวใจส่วนล่าง

อย่างไรก็ตาม หัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างไม่ได้เชื่อมต่อกันโดยตรง บริเวณแนวเชื่อมต่อของช่องทางไฟฟ้าของหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างเรียกว่า โหนดเอวี (Atrio Ventricular node) การส่งผ่านสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างจะทำให้ทั้ง 2 ส่วนได้รับสัญญาณช้ากว่ากัน 0.04 วินาทีการนี้ทำให้หัวใจส่วนบนที่เวลาฉีดเลือดให้หัวใจส่วนล่าง การล่าช้า ดังกล่าวยังเป็นตัวจำกัดจำนวนครั้งต่อนาทีที่หัวใจบีบตัวตลอดจากหัวใจส่วนบนจนถึงหัวใจส่วนล่าง ในกรณีที่หัวใจส่วนบนมีการบีบรัดตัวเร็วเกินไป การจำกัดอัตราการบีบรัดตัวของหัวใจส่วนล่างเป็นการทำให้ชีวิตปลอดภัย ทั้งนี้เพราะว่าการสูบฉีดเลือดของหัวใจส่วนล่างนี้เองที่ทำให้เลือดไหลไปสู่สมองและอวัยวะต่างๆได้มากที่สุด ถ้าการบีบตัวดังกล่าวเกิดขึ้นเร็วเกินไป การไหลของเลือดจะลดลงเนื่องจากไม่มีเวลามากพอที่จะใช้สูบเลือดเข้าสู่หัวใจส่วนล่างซึ่งเวลาดังกล่าวก็คือช่วงเวลาระหว่างการหด

กลับไปดูรูปที่ 2-4 ซึ่งเป็นแผนภาพวงจรควบคุมการปลดปล่อยประจุของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถ้าไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกทำให้เกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า เซลล์หัวใจจะคอยๆเปลี่ยนแปลงจากสภาพที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศักย์ไฟฟ้า ขณะหยุดนิ่งมีการแตกตัวของอนุภาคให้ประจุไฟฟ้าด้วยจำนวนคงที่ เซลล์ที่มีการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเร็วที่สุดจะเป็นเซลล์ที่นำซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุที่จุด โหนดเอวี สัญญาณการปลดปล่อยประจุจากเซลล์นำจะกระจายสู่เซลล์ต่างๆในหัวใจส่วนบนก่อน จากนั้นโหนดเอวีจะนำสัญญาณไฟฟ้า ไปยังเส้นใยไฟฟ้า ซึ่งจะนำไฟฟ้าเข้าสู่หัวใจส่วนบนก่อนที่ จะนำสัญญาณไฟฟ้าไปยังเส้นใยไฟฟ้า ซึ่งจะนำไฟฟ้าสู่หัวใจส่วนล่างอย่างรวดเร็วการกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยประจุในหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยเริ่มจากภายในสู่ผนังหัวใจภายนอก เซลล์ในหัวใจตอนบนจะมีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยประจุประมาณ 60-100 ครั้งต่อวินาที เซลล์ในโหนดเอวีซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างหัวใจส่วนบนกับหัวใจส่วนล่างมีแนวโน้มที่จะ ปลดปล่อยประจุประมาณ 30 ครั้งต่อนาที

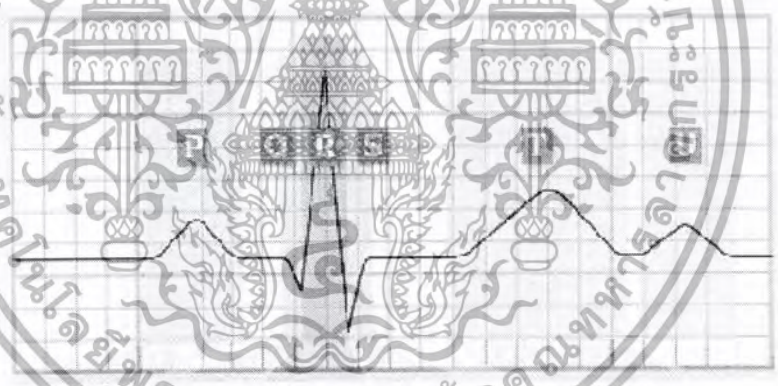
ดังนั้นการหดตัวของหัวใจส่วนบนจะเกิดขึ้นก่อน ตามด้วยระยะเวลาที่ทิ้งช่วงและการหดตัวของหัวใจส่วนล่างจากนั้นจะมีระยะหยุดพักก่อนที่จะมีการบีบตัวของหัวใจ หรือวัฏจักรการทำงานของหัวใจครั้งต่อไปจะเกิดขึ้น เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีการปลดปล่อยประจุและหดตัวเป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นจังหวะ เป็นเวลา สัญญาณจากโหนดเอสเอจะเข้ามาแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุและหดตามอัตราที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นโหนดเอวีจึงเป็นผู้นำในการทำงานของหัวใจ ถ้าโหนดเอวีไม่ทำงาน หรือสัญญาณที่ส่งมาถูกแนวโหนดเอวีที่เป็นโรคกักไว้ หัวใจส่วนล่างจะยังคงบีบรัดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะว่าเซลล์บางเซลล์ในหัวใจส่วนล่างสามารถที่จะปลดปล่อยประจุได้เอง และทำตัวเป็นผู้นำในหัวใจส่วนล่าง อัตราการเต้นของหัวใจในลักษณะนี้จะช้า (ประมาณ 30 ครั้งต่อนาที) แต่จังหวะการเต้นของหัวใจเพื่อความอยู่รอดเช่นนี้มักจะเพียงพอที่จะทำให้ชีวิตรอดได้

2.3 ความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติแสดงได้ดังรูปที่ 2-5 ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ จะเริ่มตั้งแต่ก่อนการบีบตัวของหัวใจจนกระทั่งมีการคลายตัวในแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงเกิดสัญญาณขึ้นเป็นจังหวะโดยมีความถี่เท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจ



รูปที่ 2-5 แสดงผลอิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรมของคนปกติ

ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจในแต่ละจังหวะประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าย่อย 3 คลื่น คือ

1. ช่วงคลื่น P เป็นผลรวมทางไฟฟ้าขบวนการดีโพลาร์ไรซ์ที่เกิดขึ้นที่หัวใจห้องบนทั้งซ้ายและขวา ซึ่งเกิดก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะมีการบีบตัว
2. ช่วงคลื่น QRS เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาร์ไรซ์ของหัวใจห้องล่างด้านซ้ายและขวาซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่หัวใจทั้งสองข้างจะมีการบีบตัว โดยที่ขนาดของคลื่นสัญญาณ R สำหรับการทำงานปกติของหัวใจมีค่าประมาณ 1 มิลลิโวลต์
3. ช่วงคลื่น T เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการรีโพลาร์ไรซ์ของหัวใจห้องล่างทั้งซ้ายและขวาและเกิดขึ้นก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะมีการคลายตัว โดยขนาดของสัญญาณ T มีค่าประมาณ 1/3 ของขนาดของสัญญาณ R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขบวนการรีโพลาร์ไรซ์ของหัวใจห้องบน อาจจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างที่หัวใจห้องล่างมีการบีบตัว แต่ค่าขนาดจะไม่ปรากฏเนื่องจากค่าของสัญญาณช่วงคลื่น QRS มีค่ามากกว่า

2.4 การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ

การวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามมาตรฐานแล้วมีวิธีวัดอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบไบโพลาร์ ลิมป์ลีด (Bipolar Limb Lead)

วิธีนี้จะวางขั้วไฟฟ้า (Electrode) ระหว่างแขนและขา ซึ่งเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงระหว่างจุด 2 จุด ซึ่งมีมาตรฐานของตำแหน่งที่จะวางขั้วไฟฟ้า 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-6

1.1 ลีด I (Lead I) จะใช้ขั้วไฟฟ้าวัดศักดาที่แขนขวาและแขนซ้ายเทียบกัน โดยใช้ศักดาจากขาขวาเป็นสัญญาณอ้างอิง

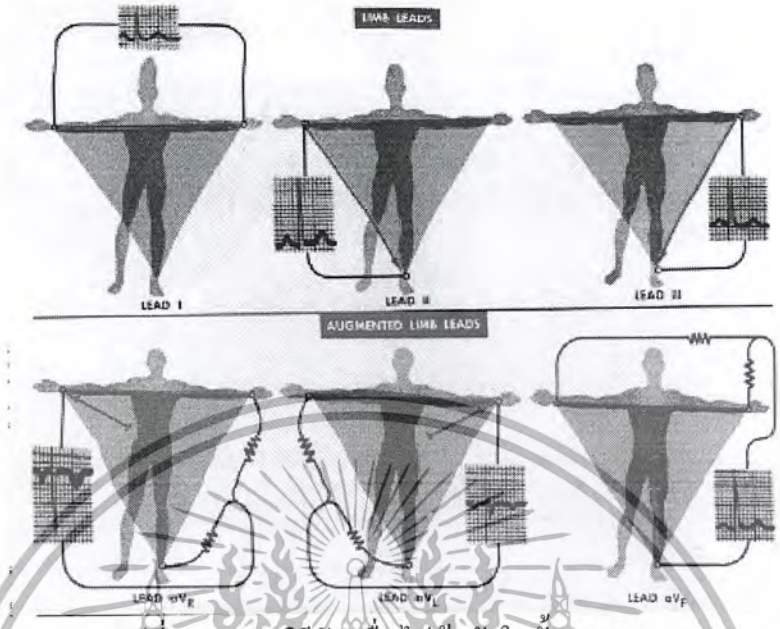
1.2 ลีด II (Lead II) จะใช้ขั้วไฟฟ้าวัดศักดาที่แขนขวาและแขนซ้ายเทียบกัน โดยใช้ศักดาจากขาขวาและแขนซ้ายเป็นสัญญาณอ้างอิง

1.3 ลีด III (Lead III) จะใช้ขั้วไฟฟ้าวัดศักดาที่แขนขวาและแขนซ้ายเทียบกัน โดยใช้ศักดาจากขาขวาและแขนขวาเป็นสัญญาณอ้างอิง

2. แบบยูนิโพลาร์ ลิมบ์ลีด (Unipolar Limb Lead)

วิธีนี้จะสามารถตรวจสอบบริเวณหัวใจได้อย่างสะดวกดังรูปที่ 2-6 ที่ขั้วไฟฟ้าของแขน และขาจะรวมความต้านทานเข้าด้วยกันเป็นจุดๆ หนึ่ง และบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 6 อันที่วางไว้บนหน้าอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 แสดงวิธีวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 2 แบบ

2.5 อิเล็คโทรด

การจะวัดศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าบนร่างกายจะต้องมีตัวเชื่อมนั่นก็คือ อิเล็คโทรด ที่ทำงานเสมือนเป็นทรานสดิวเซอร์ เพราะในร่างกายมีการนำกระแสด้วย ไอออน แต่ในเครื่องวัดจะมีการนำกระแสด้วย อิเล็กตรอน ดังนั้นอิเล็กโทรดต้องทำหน้าที่เปลี่ยน Ionic current ให้เป็นelectric current

ไดอะแกรมพื้นหน้าระหว่างอิเล็กโทรดและอีเล็กโตรไลท์ แสดงไว้ในรูป กระแสไฟฟ้าจะข้ามจากอีเล็คโทรดไปยัง อีเลคโทรไลท์จะประกอบด้วย

1. อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ทิศทางตรงข้ามกับกระแสอิเล็กโทรด
2. แคทไอออนเคลื่อนที่ทิศทางเดียวกับกระแสไฟฟ้า
3. แอนไอออนเคลื่อนที่ทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าอีเล็กโตรไลท์

สำหรับประจุที่ข้ามพื้นหน้านั้น เนื่องจากไม่มีอิเล็กตรอนอิสระในอีเล็คโตรลัยและไม่มีแคทไอออนและแอนไอออนในอิเล็กโทรดด้วยจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เพื่อถ่ายทอดประจุระหว่างพาหะทั้งสอง ดังนั้นอีเล็คโทรไลท์ที่ห่อหุ้มด้วยโลหะจะมีศักย์ไฟฟ้าต่างไป เรียกว่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-cell potential) แต่เราไม่สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของอีเลคโทรดได้ จึงต้องใช้ อิเล็กโทรดอีกอันในการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้า

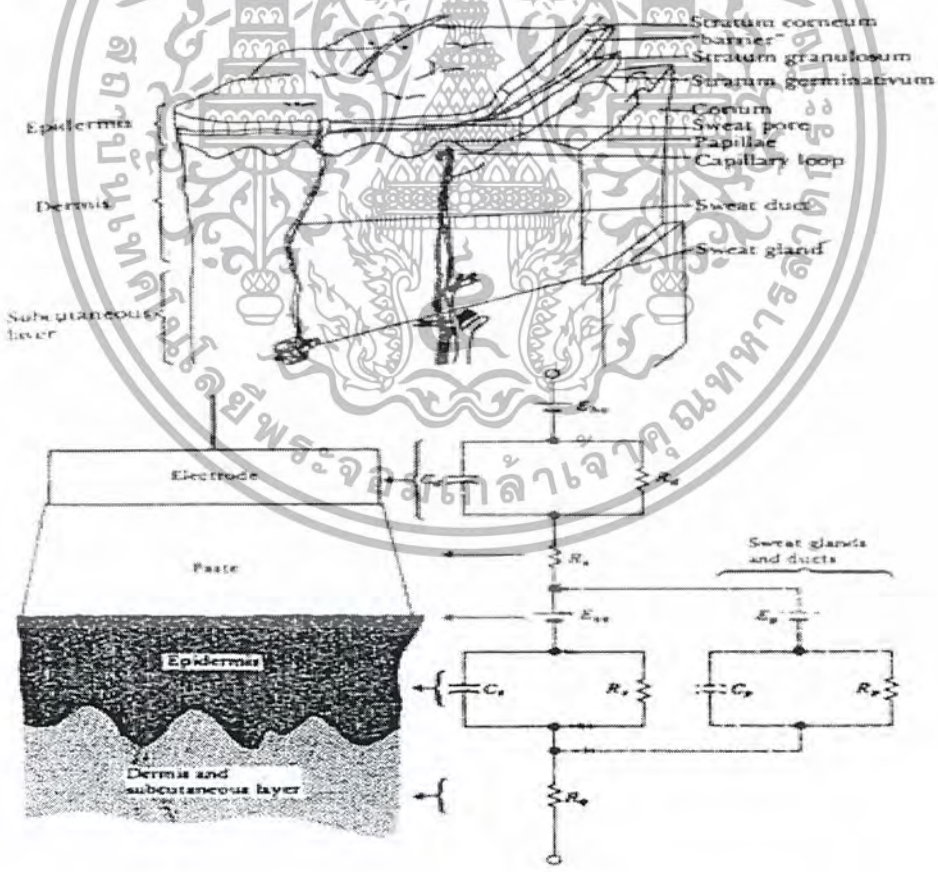
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของอิเล็กโทรดที่กล่าวมาเป็นภาวะที่ไม่มีกระแสไหล ถ้ามีกระแสไหล ศักย์ไฟฟ้าที่วัดจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ความแตกต่างนี้เป็นผลมาจาก *โพลาไรเซชันของอิเล็กโทรด* ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะสมดุลนั้นเรียกว่า Over voltage มีกลไกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ 3 ส่วนคือ

1. Ohmic over voltage เป็นผลเนื่องจากความต้านทานของอีเล็คโทรไลท์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโทรดทั้งสองอัน เมื่อความต้านทานของอิเล็กโทรดเปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าที่เกินทางด้านโอห์ม (Ohm Over voltage) ก็จะไม่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับกระแส ไฟฟ้า ตามกฎของโอห์ม

2. Concentration over voltage เกิดจากความเข้มข้นที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการกระจายของไอออนในอีเล็คโทรไลท์

3. Activation over voltage เป็นผลของการถ่ายทอดประจุ ของปฏิกิริยาการเติมและการลดออกซิเจน ไม่สามารถเปลี่ยนกลับได้หมด



รูปที่ 2-7 แสดงโครงสร้างผิวหนังและวงจรสมมูลของผิวหนังที่อิเล็กโทรด

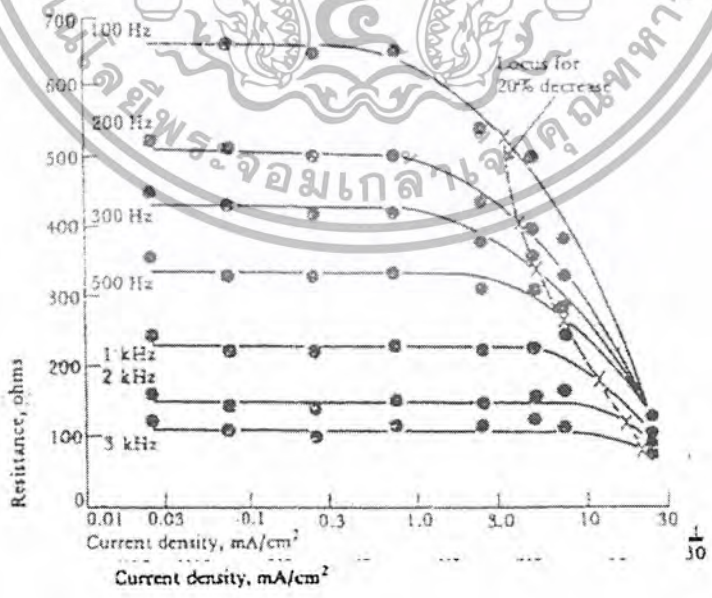
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 อิเล็กโทรดที่ปาลาไรซ์และอิเล็กโทรดที่มีปาลาไรซ์

1. อิเล็กโทรดที่ปาลาไรซ์ อิเล็กโทรดนี้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะไม่มีกระแสไฟฟ้าข้ามพื้นหน้าของอิเล็กโทรดและอีเล็คโทรไลท์จะทำงานเหมือนเป็นคาปาซิเตอร์
2. อิเล็กโทรดที่มีปาลาไรซ์เมื่อมีกระแสผ่านจะสามารถผ่านพื้นหน้าได้อย่างเสรีโดยไม่สูญเสียพลังงาน ดังนั้นจึงไม่เกิด over voltage แต่เราไม่สามารถสร้างอิเล็กโทรดที่ปาลาไรซ์และอิเล็กโทรดที่มีปาลาไรซ์ ได้อย่างสมบูรณ์

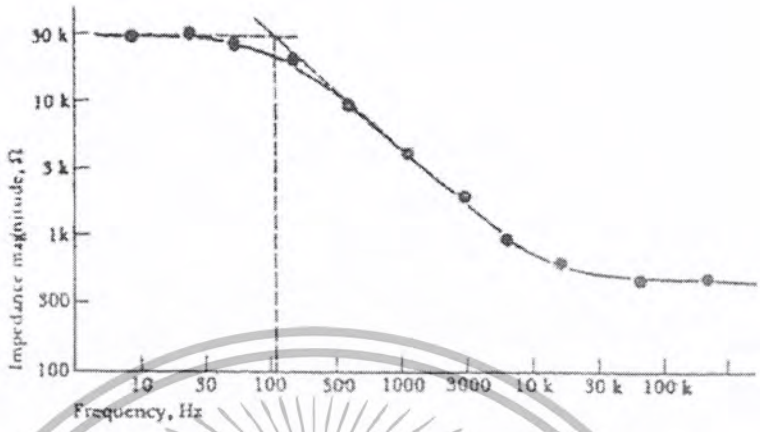
2.5.2 คุณสมบัติอิเล็กโทรด

เราจะพบว่าคุณสมบัติกระแสและแรงดันอิเล็กโทรดนั้นไม่เป็นเส้นตรง เพราะอิเล็กโทรดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือความไวต่อกระแสที่ผ่านอิเล็กโทรด ถ้ามีความเข้มของกระแสมาก คุณสมบัติจะต่างไปจากเดิม และคุณสมบัติยังขึ้นกับรูปคลื่นไฟฟ้าถ้าเป็นไซน์ต้องขึ้นกับความถี่ด้วย เพราะอิเล็กโทรดเหมือนมีความต้านทานและตัวเก็บประจุอยู่ด้วยเมื่อนำอิเล็กโทรดมาติดที่ผิวหนัง เราต้องพิจารณาพื้นหน้าระหว่างอิเล็กโทรด, อีเลคโทรไลท์ และผิวหนังด้วย เราใช้ครีมอีเลคโทรไลท์ที่ประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ทาก่อนที่จะติดอิเล็กโทรดเป็นตัวประสาน ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของผิวหนังคือการวัด grivinic skin reflex (GSR) เพราะเกี่ยวกับเหงื่อและท่อของต่อมเหงื่อ ที่จะมีโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ไอออนหลังจากต่อมเหงื่อ ทำให้เกิดความต่างศักย์ของรูของท่อนำเหงื่อกับผิวหนังแต่ส่วนประกอบที่กล่าวมาสามารถตัดไปได้กับอิเล็กโทรดที่ใช้วัดทางชีวะวิทยาธรรมดา ไม่เกี่ยวกับการวัดทางผิวหนัง



รูปที่ 2-8 แสดงคุณสมบัติอิเล็กโทรดที่เป็นเหล็กไร้สนิมที่อิมพีแดนซ์ขึ้นกับค่าความเก็บประจุและความเข้มของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

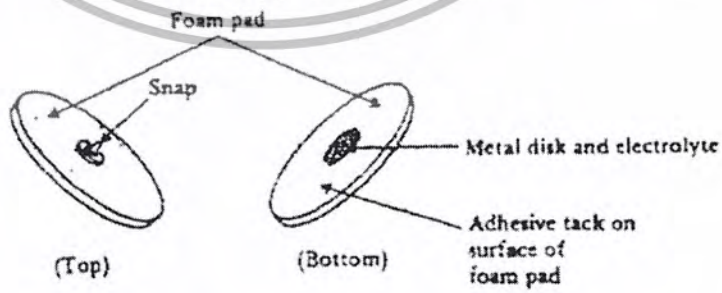


รูปที่ 2-9 ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่

2.5.3 อิเล็กโทรดแบบแผ่นที่ทำด้วยโลหะ

อิเล็กโทรดที่ใช้ในการรับศักย์ไฟฟ้าทางชีววิทยาคืออิเล็กโทรดที่ทำด้วยโลหะ โดยการนำแผ่นโลหะมาสัมผัสกับผิวหนัง และมักใช้ครีมอิเลคโตรไลท์เชื่อมระหว่างกลางเพื่อทำให้มีการสัมผัสที่ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 2-10 แสดงอิเล็กโทรดแผ่นโลหะแบบต่างๆ เป็นอิเล็กโทรดที่ใช้รวดเร็วและใช้แล้วทิ้ง ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาและบุคคลากรทางด้านนี้ อิเล็กโทรดนี้ประกอบด้วยพลาสติกที่ทำเป็นโฟมและมีแผ่นเงินติดอยู่ข้างหนึ่ง แผ่นเงินนี้อาจเคลือบด้วยซิลเวอร์คลอไรด์ ในการใช้งานนี้ ผู้ใช้เพียงแต่ทำความสะอาดผิวหนัง เปิดห่ออิเล็กโทรดดึงกระดาษที่ปิดอยู่แล้วกดอิเล็กโทรดลงบนผิวหนังทันที



รูปที่ 2-10 อิเล็กโทรดแผ่นที่ทำด้วยโฟม (ชนิดใช้แล้วทิ้งเลย) สำหรับเครื่อง อี ซี จี ใช้ปิดผิวหนังที่ติด แขน – ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ข้อแนะนำในการใช้อิเล็กโทรดในทางปฏิบัติ

ในการใช้อิเล็กโทรดโลหะสำหรับวัดศักดาทางไฟฟ้าหรือกระตุ้นก็ดี จะต้องคำนึงถึงข้อปฏิบัติ 5 ประการ ดังต่อไปนี้ คือ

1. ในการสร้างอิเล็กโทรดรวมทั้งสายไฟที่นำมาต่อ โดยเฉพาะส่วนที่จะต้องสัมผัสกับเนื้อเยื่อของร่างกาย ควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกันตลอด เมื่อใช้วัสดุอย่างที่สาม เช่น วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมก็ควรจะใช้ฉนวนหุ้มไว้ ไม่ให้สัมผัสกับเนื้อเยื่อหรืออิเล็คโทรไลท์ของร่างกาย โลหะต่างชนิดกันไม่ควรนำมาสัมผัสกันเพราะจะมีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลต่างกัน นอกจากนี้เมื่อสัมผัสกับอิเลคโทรไลท์ก็จะทำให้มีปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเกิดขึ้น เป็นผลให้มีโพราไรเซชั่นเพิ่มเติม และมักทำให้อิเล็กโทรดอันหนึ่งถูกกัดกร่อนไป ปัจจัยนี้ทำให้ศักดาไฟฟ้าครึ่งเซลมีเสถียรภาพน้อย ทำให้เพิ่มการรบกวนทาง ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดได้

2. เมื่อใช้อิเล็กโทรดคู่ใดคู่หนึ่งสำหรับวัดศักย์ไฟฟ้าในร่างกาย ควรใช้อิเล็กโทรดที่ทำด้วยวัสดุอย่างเดียวกัน เนื่องจากครึ่งเซลศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากัน ดังนั้นศักย์ไฟฟ้า ดี ซี ที่ป้อนเข้าไปยังอินพุทของแอมปลิไฟเออร์จะได้มีค่าน้อยมาก อันเป็นการทำให้การอิ่มตัวของแอมปลิไฟเออร์ไม่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อแอมปลิไฟเออร์ที่ใช้เป็นชนิด ดีซี และมีกำลังขยายสูง

3. อิเล็กโทรดที่ติดบนผิวหนังมักจะหลุดง่าย อย่างไรก็ดี ปัญหาเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าอิเล็คโทรดได้รับการออกแบบที่ดี เส้นลวดที่ต่อออกมาจากอิเล็กโทรดควรจะอ่อนตัวได้มาก แต่ต้องแข็งแรง จุดต่อของเส้นลวดที่เข้าไปยังแผ่นอิเล็กโทรดมักจะหลุดง่าย เนื่องมาจากการโค้งของเส้นลวดที่มีอยู่เรื่อยๆ จะคำนึงถึงข้อนี้ด้วยเสมอในการออกแบบ

4. อิเล็กโทรดมักถูกใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง ฉนวนของอิเล็กโทรดเหล่านี้มักทำด้วยวัสดุจากพวกโพลีเมอร์ ซึ่งสามารถดูดน้ำได้ดีเมื่อใช้ไปนานๆ

5. การใช้แอมปลิไฟเออร์ที่มีอินพุทสูงๆทำให้การบันทึกไฟได้ผลดี ถ้าอิมพีแดนซ์ของแอมปลิไฟเออร์ที่ค่าไม่สูงพอ นอกจากจะได้สัญญาณที่มีความถี่สูงลดลงแล้ว ยังมีรูปร่างผิดเพี้ยนไปอีกด้วย

2.6 ความต้องการโดยเฉพาะของเครื่อง อี ซี จี

คณะกรรมการการตรวจ อี ซี จี ของสมาคมโรคหัวใจแห้ง U.S.A. ได้ให้ข้อเสนอแนะสำหรับเครื่อง อี ซี จี มาตรฐานที่ใช้เขียนโดยตรงบนกระดาษ Pip Berger ค.ศ. 1975 ข้อเสนอแนะดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Linearity and distortion ความแม่นยำและความผิดเพี้ยนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเครื่อง อี ซี จี การเบี่ยงเบนไปจากความถูกต้องควรมีค่าน้อยกว่า 5 % เมื่อทำการบันทึกบนกระดาษด้วยคามสูง 5 และ 50 มม. ความต้องการนี้ครอบคลุมคลื่นไฟฟ้าที่ความถี่ระหว่าง 0.05 – 100 Hz

2. Input Range เครื่อง อี ซี จี ต้องสามารถขยายสัญญาณได้ในช่วงกว้าง คือ ช่วงที่มีความสูงได้ถึง 10 mV.

3. Input Impedance and current อินพุทอิมพิแดนซ์ระหว่างอิเล็กโทรดกับพื้นดิน ควรมีค่าน้อยกว่า 5 MΩ ในระหว่างการวัดนั้น อิเล็กโทรดทุกอันควรจะทำการต่อลงดินให้หมด เครื่อง อี ซี จี ไม่ควรให้มีกระแสไฟฟ้ามากกว่า 10 ไมโครแอมแปร์ ไหลผ่านผู้ป่วย

4. Central Terminal วงจรซิสแตนซ์ที่ต้องการเพื่อนทำให้เกิด Central Terminal ไม่ควรจะทำให้มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณเพิ่มขึ้นจากที่ได้กล่าวในข้อที่1 หรือเพิ่มขึ้น 2% เมื่อรวมกับความต้องการทางด้านอินพุทอิมพิแดนซ์แล้ว ค่ารีซิสแตนซ์ที่น้อยที่สุดควรมีค่า 3.3 เมกกะโอห์ม

5. Gain เครื่อง อี ซี จี ควรปรับกำลังขยายได้ 3 ค่า คือ 5,10และ 20 มม./มม.โวลต์

6. Frequency Response การตอบสนองของเครื่อง อี ซี จี ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.14 ถึง 25 Hz ควรเท่ากันจะดี ไม่ควรต่างกันเกิน 0.5 dB สำหรับสัญญาณที่มีความสูงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มม. บนกระดาษบันทึกเมื่อใช้ความถี่ 25 Hz แล้ว การตอบสนองต่อสัญญาณรูปไซน์จะลดลงมากกว่า 3 dB

7. Common-mode-Rejection Ratio (CMRR) ในทุกตำแน่งของสวิทช์ที่ใช้เลือกสายต่อ เมื่อปรับตั้งกำลังขยายเครื่องบันทึกไว้ที่ 10 มม./มม.โวลต์ และสายต่ออิเล็กโทรดทั้งหมดเข้ากับไฟฟ้าสลับ 60 Hz 120 V พร้อมกับสายอีกข้างหนึ่งลงดิน ส่วนสายอีกข้างหนึ่งนั้น ซึ่งต่อกับจุดรวมของสายอิเล็กโทรดทั้งหมด จะนำไปต่ออนุกรมกับคาปาซิแตนซ์ 22 pF ผลที่ได้นั้นไม่ควรจะมีการเคลื่อนที่ของเข็มมากกว่า 20 มม. ข้อกำหนดเฉพาะนี้ยังคงใช้ได้อยู่เมื่อต่อรีซิสแตนซ์ 100 กิโลโอห์ม แบบอนุกรมกับสายอินพุท

8. Calibration เครื่อง อี ซี จี ควรจะมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 1.0 มม.โวลต์ สำหรับปรับเปรียบเทียบค่ากำลังขยายของเครื่อง

9. Chart Speed คือความเร็วของกระดาษบันทึกมาตรฐานควรเป็น 25 มม. /วินาที นอกจากนั้นควรมีความเร็วสูงกว่าด้วย คือความเร็ว 50 มม. /วินาที ความแม่นยำของความเร็วควรมีค่า 2 %

10. Output เอาท์พุทอิมพิแดนซ์ควรมีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม เอาท์พุทสูงสุดควรมีค่า 1 V

11. Event Marker อุปกรณ์ที่ทำเครื่องหมายด้วยมือควรจะมีไว้ในเครื่อง อี ซี จี สำหรับให้ผู้ใช้เครื่องทำเครื่องหมายเมื่อทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้า อี ซี จี

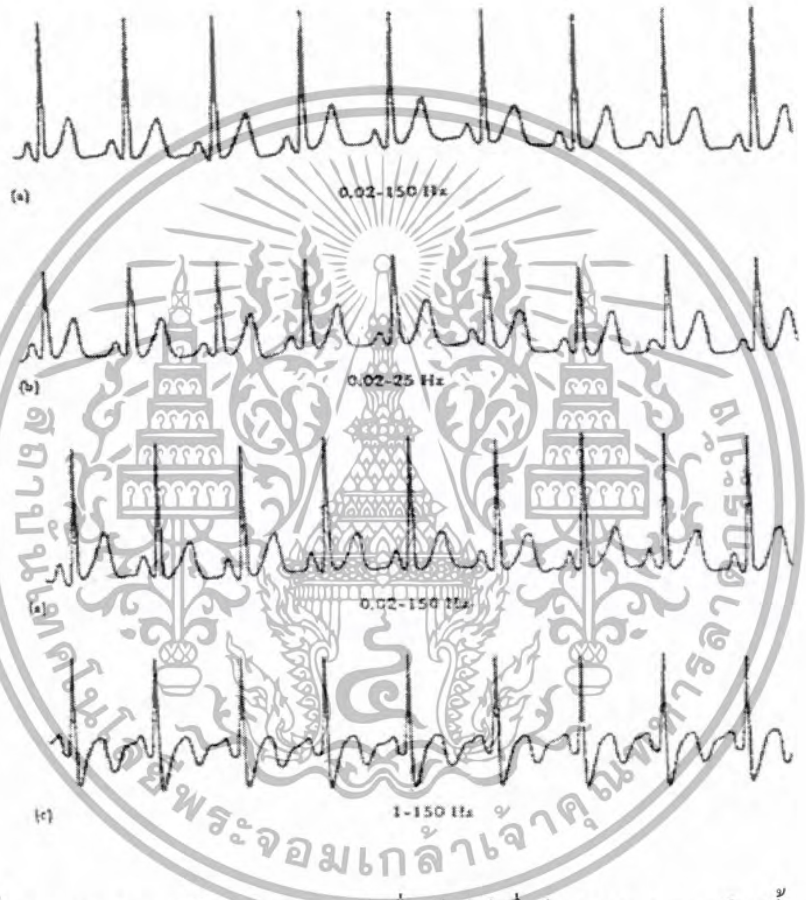
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7 ปัญหาที่พบบ่อยในการออกแบบและใช้เครื่อง อี ซี จี

2.7.1 ความผิดเพี้ยนทางด้านความถี่

เมื่อเครื่อง อี ซี จี มีการตอบสนองความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ไม่ได้มาตรฐานที่กล่าวไว้ข้างต้น จะมีความผิดเพี้ยนของคลื่น อี ซี จี ดังแสดงให้เห็นในรูป 2-11



รูปที่ 2-11 แสดงความผิดพลาดของรูปคลื่น อี ซี จี ซึ่งมีผลมาจากความผิดเพี้ยนของความถี่

รูปที่ 2-11a แสดงคลื่น อี ซี จี ปกติ จากเครื่องมือ ซึ่งมีการตอบสนองความถี่กว้างกว่า 0.05-100 Hz

รูปที่ 2-11b แสดงคลื่น อี ซี จี ที่บันทึกได้ด้วยเครื่องที่มีการตอบสนองความถี่จาก 0.02-25 Hz ความผิดปกตินี้ เรียกว่า high-frequency distortion รูปคลื่นแต่เดิมจะเป็นมุมแหลม เมื่อความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นจะมีขนาดกลม และความสูงยังลดลงด้วย

รูปที่ 2-11c แสดงคลื่น อี ซี จี จากต้นตอเดียวกัน แต่บันทึกด้วยเครื่องที่มีการตอบสนองความถี่ 1-150 Hz สังเกตความผิดเพี้ยนที่พื้นฐานเครื่อง อี ซี จี เส้นพื้นฐานจะไม่อยู่ในแนวราบ

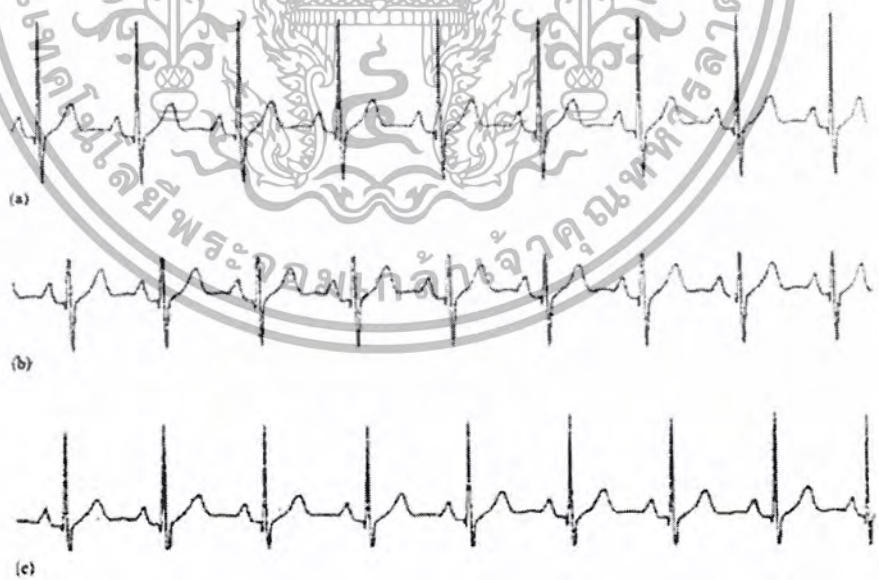
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62038

สังเกตว่า คลื่นซึ่งแต่เดิมมียอดเดียว จะกลายเป็น 2 ยอด ความผิดปกติเช่นนี้จะเรียกว่า low-frequency distortion

2.7.2 การอิ่มตัวหรือความผิดเพี้ยนที่ตัดการทำงาน (Saturation or Cut off Distortion)

Offset Voltage ที่อิเล็กโทรดหรือการปรับแอมปลิไฟเออร์ไม่ถูกต้องในเครื่อง อี ซี จี อาจทำให้เกิดการอิ่มตัวหรือความผิดเพี้ยนที่ตัดการทำงาน ซึ่งทำให้รูปร่างของคลื่น อี ซี จี เปลี่ยนไปได้มาก รูปที่ 2-12a แสดงคลื่น อี ซี จี ปกติ ส่วนรูปที่ 2-12b แสดงคลื่นไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยนไปจากกการเปลี่ยนระดับไปสู่การอิ่มตัว ทำให้ยอดคลื่น อี ซี จี ถูกตัดออกไป เนื่องจากแอมปลิไฟเออร์ไม่สามารถมีเอาท์พุทเกินศักย์ไฟฟ้าที่อิ่มตัวได้

รูปที่2-12c แสดงการเปลี่ยนแปลงทำนองเดียวกัน เมื่อส่วนล่างของคลื่น อี ซี จี ถูกตัดออกไป ทั้งนี้ เป็นผลจากการอิ่มตัวทางด้านลบของแอมปลิไฟเออร์ สังเกตว่าในกรณีเส้นพื้นฐานจะเรียบดี ยอดคลื่น P และ T อาจยังคงเห็นได้จากภาพบันทึก หรืออาจต่ำกว่าระดับที่ถูกตัด ถ้าเป็นเช่นนี้จะเห็นแต่คลื่นR อย่างเดียว



รูปที่2-12 แสดงความผิดพลาดของคลื่น อี ซี จี ซึ่งมีผลจากการผิดเพี้ยนที่เกิดจากแอมปลิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 วงจรสายดิน (Ground Loops)

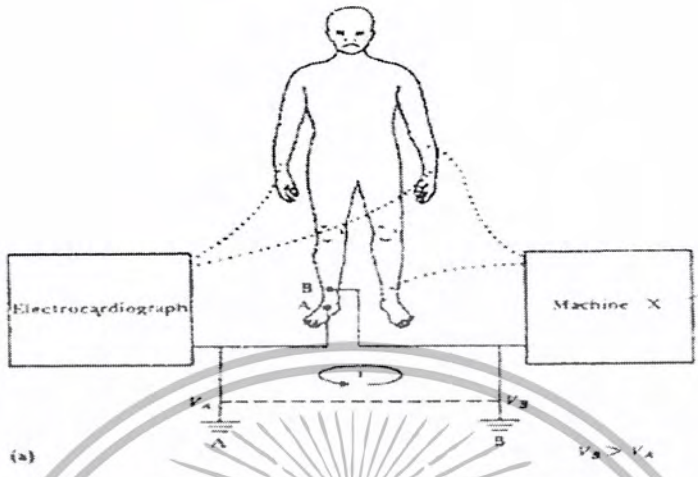
ผู้ป่วยที่กำลังถูกบันทึก อี ซี จี เช่นในมอนิเตอร์การทำงานของหัวใจเป็นต้น ย่อมได้รับการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างอื่นด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละอย่างจะมีการต่อสายดินของตนเอง อาจจะโดยอาศัยร่วมไปกับสายไฟ หรือในบางกรณีนั้นจะต่อโดยผ่านไปกับสายดินใหญ่ไปยังจุดสายดินในห้อง

วงจรสายดินอาจเกิดขึ้นในภาวะที่แสดงในรูป 2-13a ในรูปตัวนี้ ผู้ป่วยได้ต่ออยู่กับเครื่อง 2 เครื่อง คือ เครื่อง อี ซี จี และเครื่องอื่น แต่ละเครื่องมีสานดินต่ออยู่กับตัวของผู้ป่วย เครื่อง อี ซี จี ถูกต่อลงดิน โดยผ่านทางปลั๊กของสายไฟที่เรียกว่าสายดิน A ส่วนเครื่องอีกเครื่องหนึ่งนั้นก็มีสายดินโดยผ่านทางสายไฟเช่นเดียวกัน แต่มีปลั๊กอยู่อีกที่อีกแห่งหนึ่งซึ่งมีสายดินคนละเส้น เรียกว่าเป็นสายดิน B ถ้าสายดิน B มีศักย์สูงกว่า สายดิน A จะมีกระแสไฟฟ้าไหลจากสายดิน B ผ่านไปยังตัวเครื่องและ ผู้ป่วย และผ่านอิเล็กโทรดของเครื่อง อี ซี จี ไปลงที่จุด A กระแสไฟฟ้าดังกล่าวนอกจากจะมีปัญหาทางด้านความปลอดภัยแล้วยังทำให้ศักย์ไฟฟ้าในตัวผู้ป่วยสูงกว่าของสายดิน ซึ่งต่ออยู่กับตัวเครื่องตัวอย่างแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2-13a ผู้ป่วยจะมีศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่างสายดิน B และสายดิน A จึงทำให้เกิด common-mode voltage บนเครื่อง อี ซี จี ซึ่งจะทำให้ CMRR ต่ำ ดังนั้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณของสัญญาณรบกวน

ทางเดินของกระแสไฟฟ้าระหว่างสายดินทั้ง 2 ดังแสดงในรูป 2-13a นั้นเรียกว่า Ground loop ปรากฏการณ์เช่นนี้ควรพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นในระบบของอุปกรณ์ทางการแพทย์

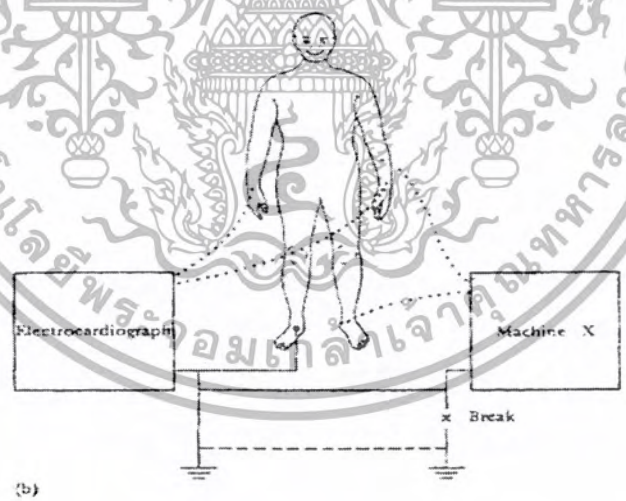
รูปที่ 2-13b เป็นภาวะที่ควรจะกระทำให้เกิดขึ้น ในรูปนี้ เครื่องทั้ง 2 มีสายดินที่ต่อมายังจุดเดียวกัน จึงไม่มีวงจรสายดินเกิดขึ้น ศักย์ไฟฟ้าสายดินของเครื่อง อี ซี จี และอีกเครื่องหนึ่งควรจะอยู่ในระดับเดียวกัน ในกรณีเช่นนี้จึงไม่ควรมีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมสายดิน อันจะทำให้เครื่องมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจุดสายดินถึงแม้ว่าผู้ป่วยจะมีสายดินที่ต่ออยู่กับเครื่องเพียงเครื่องเดียว แต่ก็ไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจรสายดินไหลผ่านตัวของผู้ป่วย ตามปกติแล้วเครื่องทั้ง2 จะมีศักย์ไฟฟ้าของสายดินเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจรสายดินไหลผ่านตัวของผู้ป่วย ถึงแม้ว่าผู้ป่วยจะไปสัมผัสกับสายดินของเครื่องก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-13a แสดงอันตรายที่เกิดจากวงจรสายดิน

2.7.4. สายต่อที่ขาด (Open Lead Wire)



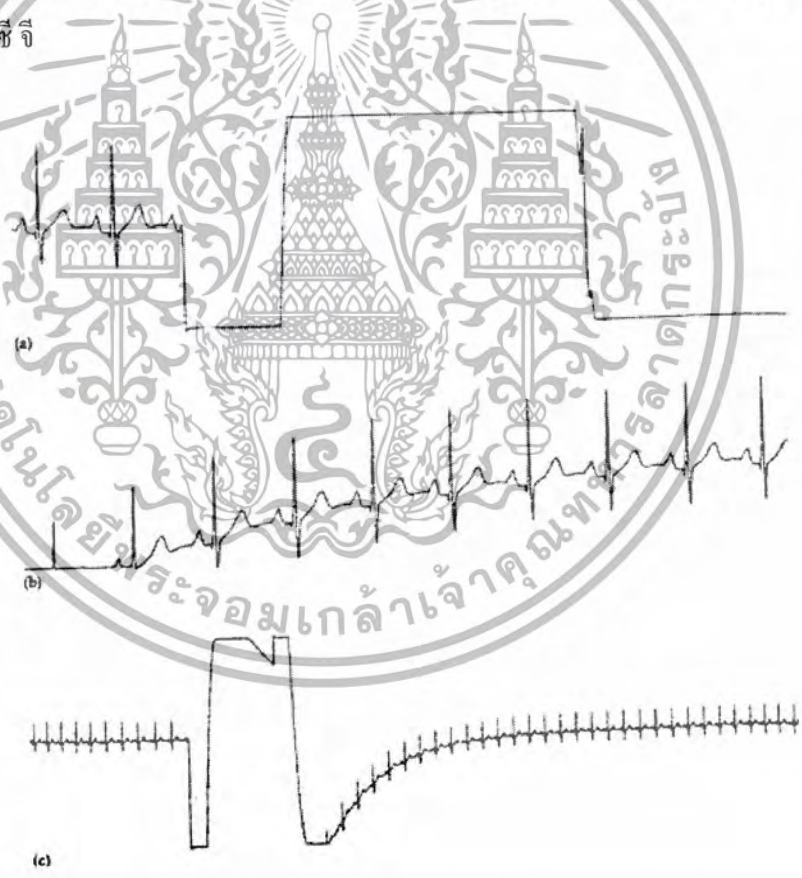
รูปที่ 2-13 b แสดงอันตรายที่เกิดจากรอยต่อที่ขาด

มีหลายครั้งที่สายต่อที่อิเล็กโทรดของเครื่อง อี ซี จี เส้นใดเส้นหนึ่งขาดไป ศักย์ไฟฟ้าที่สูงสามารถเหนี่ยวนำในสายต่อที่ขาดนี้ได้ เป็นผลทำให้ปากที่ใช้บันทึกมีการเคลื่อนไหว ไปตามคลื่นความถี่ของคลื่นไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ภาวะเช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้แม้สายไม่ขาด เนื่องจากอิเล็กโทรดสัมผัสไม่ดีกับตัวผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5. สิ่งที่รบกวนเกิดจากศักย์แรงสูงระยะสั้น

ในบางภาวะที่กำลังตรวจวัด อี ซี จี จะต้องทำการดีฟิบริลเรชั่น ในกรณีเช่นนี้จะต้องป้อนคลื่นศักย์ไฟฟ้าสูง และกระแสจำนวนมากผ่านตัวผู้ป่วย ดังนั้นจึงเกิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูงคร่อมอิเล็กโทรดของเครื่อง อี ซี จี ศักย์ไฟฟ้าเหล่านี้มีค่าสูงมากกว่าสัญญาณ อี ซี จี มาก ศักย์ไฟฟ้านี้จะทำให้เข็มของเครื่อง อี ซี จี เปลี่ยนระดับไปมาก ดังแสดงในรูป 2.14 ทั้งนี้เนื่องจากมีการอิ่มตัวของแอมปลิไฟเออร์ ในเครื่อง อี ซี จี คลื่นไฟฟ้านี้มีจำนวนมากพอที่จะทำให้มีการเก็บประจุไฟฟ้าของคาปาซิแตนซ์ที่อยู่ในแอมปลิไฟเออร์ แล้วหลังจากนั้นจึงค่อยๆลดกลับมาสู่พื้นฐานใหม่ แต่ใช้เวลานาน ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับความถี่ของแอมปลิไฟเออร์ ต้นตออีกอย่างของสิ่งรบกวนในทำนองเดียวกันนี้คือ การเคลื่อนไหวของอิเล็กโทรด ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้ามากกว่าศักย์ไฟฟ้าจาก อี ซี จี



รูปที่ 2-14 ผลของสิ่งรบกวนที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้าแรงสูงระยะสั้น

a) การเปลี่ยนแปลงในระยะต้น b) กลับคืนสู่สภาพปกติ

c) สภาพการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน แต่ลดกำลังขยายของ first-order recover ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6. การรบกวนจากเครื่องไฟฟ้า

ต้นตอสำคัญของการรบกวนเมื่อทำการบันทึก หรือมอนิเตอร์คลื่นไฟฟ้า อี ซี จี คือการรบกวนที่เกิดจาระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบไฟฟ้านี้นอกจากจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้า ให้กับเครื่อง อี ซี จี แล้วยังต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ภายในห้องเดียวกันอีกด้วย การรบกวนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นด้วยกลไกที่แตกต่างกันอีกด้วย

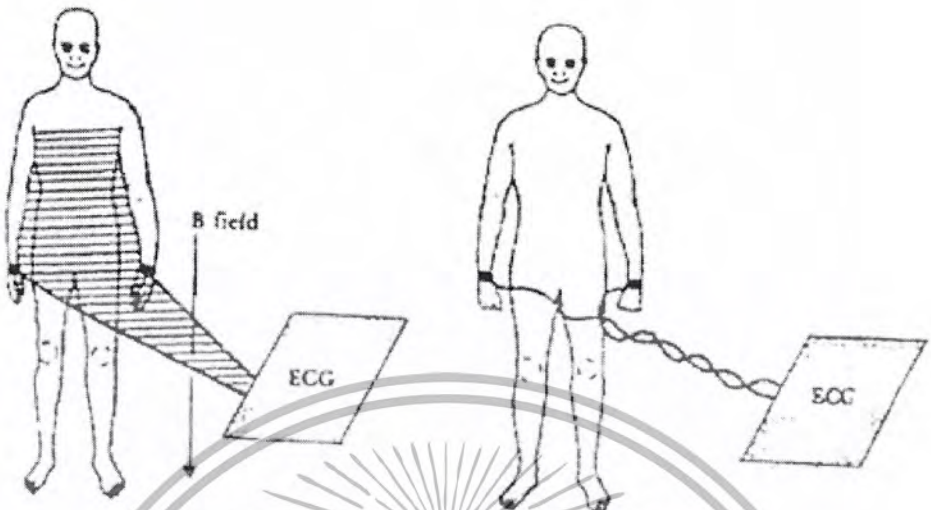
สนามไฟฟ้าที่ควบระหว่างเครื่องจ่ายไฟกับเครื่อง อี ซี จี หรือตัวผู้ป่วยเป็นผลจากสนามไฟฟ้ารอบๆ สายไฟ หรือรอบๆเครื่องใช้ไฟฟ้า สนามไฟฟ้าเหล่านี้อาจเกิดขึ้นได้แม้แต่ยังไม่ได้ปล่อยพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่เครื่อง การรบกวนจึงเป็นเสมือนหนึ่งมีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่กับสายไฟที่จ่ายพลังงานไฟฟ้า

เราจะเห็นได้ว่าความแตกต่างระหว่างผิวหนังกับอิเล็คโทรด มีความสำคัญในการ ออกแบบแอมปลิไฟเออร์ในทางชีววิทยา มักจะมี Common-mode voltage เกิดขึ้นเสมอ ดังนั้น ในความไม่สมดุลของอินพุทกับอิมพีแดนซ์ เป็นปัจจัยสำคัญในการตรวจหา CMRR โดยไม่คำนึงว่าดิฟเฟอร์เรนเชียลแอมปลิไฟเออร์จะมีคุณสมบัติที่ดีเพียงใด

ต้นตออย่างอื่นของการรบกวนที่เกิดจากสายไฟจ่ายพลังงานคือ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้ารอบสายตัวนำสนามแม่เหล็กอาจเกิดจากทรานฟอเมอร์ หรือบาลาสของหลอดไฟฟลูออเรสต์เซนต์ ถ้าสนามแม่เหล็กผ่านเข้าไปในขดลวดที่สร้างขึ้นโดยเครื่อง อี ซี จี สายต่อ และตัวผู้ป่วย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-15 ศักย์จะเกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในวงจรนี้ศักย์ไฟฟ้านี้จะได้สัดส่วนกับความเข้มของสนามแม่เหล็กและพื้นที่ของขดลวดรอบเดียวที่เกิดขึ้นด้วย สามารถการรบกวนนี้ได้โดย

1. การลดสนามแม่เหล็กโดยการหุ้มกำบัง
2. การหลีกเลี่ยงสนามแม่เหล็กโดยการวางเครื่อง อี ซี จี และสายต่อให้ห่างจากสนามแม่เหล็ก
3. การลดพื้นที่ของขดลวดรอบเดียว โดยการบิดสายต่อให้พันเป็นเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-15 การลดสัญญาณรบกวนโดยการพันสายเป็นเกลียว

2.7.7 การรบกวนทางไฟฟ้าจากต้นตออื่น ๆ

การรบกวนทางไฟฟ้าจากต้นตออื่นสามารถมีผลต่อการบันทึกคลื่นไฟฟ้า อี ซี จี ได้ การรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมาจากสถานีวิทยุที่อยู่ใกล้ หรือสถานีโทรทัศน์ หรือสถานี เรดาห์ เครื่อง อี ซี จี สามารถรับคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ได้ และเรคติไฟเออร์โดยเครื่อง บางที คลื่นไฟฟ้าอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยพื้นที่หน้าตัด ระหว่างอิเล็กโทรด และอิเลคโทรไลต์ สายต่อและตัวผู้ป่วยทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความถี่สูงซึ่งอยู่ในโรงพยาบาลเอง เครื่องตัดจี้ด้วยไฟฟ้า และเครื่องไดอะเธอมีย์มักเป็นต้นตอที่สำคัญ การแผ่รังสีของแม่เหล็กไฟฟ้า อาจเกิดจากเครื่องเอ็กซ์เรย์หรือสวิทช์หรือรีเลย์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ของโรงพยาบาล แม้แต่การกระพริบของหลอดไฟฟลูออเรสต์เซนต์ ก็ยังสามารถทำให้เกิดการรบกวนได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำให้ลดน้อยลง โดยการต่อคาปาซิเตอร์ขนาดเล็กให้ขนาดกับเครื่อง อี ซี จี รีแอกแตนซ์ของเครื่องนี้มีค่าสูงมาก ที่ต่อต้านคลื่นความถี่ในช่วงของคลื่น อี ซี จี ดังนั้นจึงไม่ทำให้อินพุทอิมพิแดนซ์ของเครื่อง อี ซี จี ลดลง อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นวิทยุนี้ ค่าของรีแอกแตนซ์มีค่าต่ำพอที่จะทำให้คลื่นรบกวนทางแม่เหล็ก ไฟฟ้าลัดวงจรไปโดยไม่เข้าไปทางอินพุทของแอมปลิไฟเออร์

ยังมีการรบกวนทางไฟฟ้าซึ่งมีต้นตอทางร่างกายเอง การรบกวนนี้เกิดจากกล้ามเนื้อลายที่อยู่ระหว่างอิเล็กโทรด เมื่อใดก็ตามที่กล้ามเนื้อเหล่านี้หดตัว จะทำให้คลื่นไฟฟ้า อี เอ็ม จี และป้อนเข้าไปทำการรบกวนในเครื่องอี ซี จี ได้

2.8. การป้องกันคลื่นไฟฟ้าช่วงสั้นที่มารบกวน (transient protection)

วงจรที่ใช้แยก ซึ่งได้ออกแบบโดยทั่วไปนั้น จะใช้ป้องกันผู้ป่วยจากอันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าดูดที่เกิดขึ้นระหว่างตัวผู้ป่วยกับตัวเครื่อง และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงในบางกรณีจากต้นตออื่นที่ผ่านตัวผู้ป่วยเข้าไปในเครื่อง อี ซี จี อาจทำให้เครื่องได้รับอันตรายจนเสียหายได้ เช่น เครื่องตัดจี้ด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในห้องผ่าตัด ในขณะที่ใช้เครื่องตัดจี้ด้วยไฟฟ้านั้น ถ้าสายดินที่ต่อกับตัวเครื่องหลุดหรือขาดไป จะมีศักย์ไฟฟ้าในตัวผู้ป่วยเมื่อเทียบเท่าสายดินสูงมาก ศักย์ไฟฟ้าที่สูงนี้จะเข้าไปในเครื่อง อี ซี จี หรือ เครื่องมอนิเตอร์หัวใจ ถ้ามีจำนวนมากพอ ก็สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ ในภาพบันทึก ดังรูปที่ 2-13

ตามอุดมคติแล้ว เครื่อง อี ซี จี ควรจะได้รับการออกแบบเพื่อป้องกันอันตรายดังกล่าว แต่อย่างไรก็ดี อาจไม่มีระบบป้องกันหรือป้องกันได้หมด วงจรที่ใช้ป้องกัน โดยมีอุปกรณ์จำกัดศักย์ไฟฟ้า 2 ปลายที่ต่ออยู่ระหว่างอิเล็กโทรด แต่ละอันของผู้ป่วยกับสายดิน

การต่อไดโอด 2 อันให้กลับขั้วกัน เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ถึงระดับ 700 mV ไดโอดตัวใดตัวหนึ่งจะทำงานจึงช่วยจำกัดศักย์ไฟฟ้าให้อยู่ที่ระดับ 700 mV ได้ อย่างไรก็ดี การจำกัดไม่ได้เกิดขึ้นทันทีทันใด ที่ระดับ 700 mV แต่จะค่อยๆเกิดขึ้นที่ระดับ 300 mV ดังนั้น สัญญาณที่ถูกบันทึกจึงอาจมีความ ผิดเพี้ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การลด common-mode และการรบกวนอย่างอื่น

ดังที่ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่า Common-mode voltage สามารถทำให้เกิดการรบกวนในแอมปลิไฟเออร์ซึ่งใช้ในทางชีววิทยาได้มาก ถึงแม้ว่า แอมปลิไฟเออร์ที่มี high common-mode rejection ratio ที่สามารถทำการลดผลที่เกิดขึ้นจาก common-mode voltage ได้ วิธีที่ดีกว่าในการแก้ปัญหา คือ การกำจัดต้นตอของศักย์ไฟฟ้ารบกวนนั้น ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะกล่าวถึงต้นตอของสิ่งรบกวนอื่นๆ พร้อมทั้งการค้นหาที่จะทำให้ลดน้อยลง

2.9.1 การรับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

การรบกวนนี้ สามารถเข้ามาได้ โดยการควบคุม คาปาซิแตนซ์ และการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก เราสามารถลดการรบกวนเหล่านี้ โดยการกำจัดต้นตอด้วยวิธีหุ้มกำบัง (Shielding) การหุ้มกำบังไฟฟ้าสถิตย์นั้น โดยการต่อวัสดุที่นำไฟฟ้าได้กั้นอยู่ระหว่างสนามไฟฟ้าและระบบที่จะทำการตรวจวัด และต่อลงดินด้วย โครงพยาบาลส่วนมากจะมีห้องที่ได้หุ้มกำบังไว้สำหรับการตรวจ อี ซี จี โดยการฝังวัตถุที่นำไฟฟ้าได้ เช่น มุ้งลวดในฝาผนังของห้องดังกล่าว

การหุ้มกำบังดังกล่าวจะไม่ได้ผลในการป้องกันสนามแม่เหล็ก นอกจากว่า โลหะที่ใช้นั้นจะเป็นชนิด High permeability เช่น การใช้แผ่นเหล็กไร้สนิม เป็นต้น หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าแผ่นกั้นนั้นต้องเป็นทั้งตัวนำแม่เหล็กและตัวนำไฟฟ้าที่ดีด้วยวิธีที่มีราคาถูกมากคือการลดพื้นที่ระหว่างดิฟเฟอเรนเชียลอินพุทกับแอมปลิไฟเออร์ ในกรณีที่เป็นสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล และระหว่างอินพุทสายดิน ในกรณีที่เป็นสัญญาณ common-mode กระทำได้ง่ายโดยการบิดสายต่อให้เป็นเกลียว ก็สามารถลดการรบกวนได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การกำจัดวงจรสายดิน (Elimination of ground loop)

วงจรสายดินทำให้เกิด Common-mode voltage จากการไหลของกระแสไฟฟ้าของวงจรที่ไหลลงดิน ในการป้องกันการรบกวนนี้จะต้อง ออกแบบระบบสายดิน ให้มีทางเดินทางเดียวระหว่างอุปกรณ์แต่ละอย่างกับดิน วงจรสายดินควรมีรูปร่างคล้ายดาว ที่มีจุดลงดินที่กึ่งกลาง และรัศมีกระจายออกไปสู่อุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

การทำงานของหัวใจนั้นเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้นทั่วไปตามร่างกายตามจังหวะการเต้นของหัวใจ ดังนั้นจึงสามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยติดอุปกรณ์ที่เรียกว่า อิเล็กโทรด ติดบนผิวหนังซึ่งมีความต้านทานสูง และเนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้มีค่าประมาณ 1 mV [3] ซึ่งมีขนาดที่ต่ำมาก จึงต้องใช้วงจรขยายเพื่อทำการขยายสัญญาณที่ได้มา เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงเรื่องของสัญญาณไฟฟ้า 50 เฮิร์ทซ์ ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำมาจากสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน

วงจรทั้งหมดประกอบด้วย

1. วงจรขยายสัญญาณ (Instrument Amplifier)
2. วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Adjust)
3. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)
4. วงจรกรองความถี่แบบไม่ให้ความถี่ผ่านเฉพาะช่วง (Band Reject Filter)
5. วงจรปรับแรงดันออฟเซต (DC Offset Adjust Circuit)
6. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter)
7. ไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งในแต่ละวงจร มีการทำงาน และการคำนวณ ดังนี้

3.1 ภาควงจรขยาย (Instrument amplifier)

3.1.1 วงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลแอมพลิฟลายเออร์

จะต้องออกแบบให้มีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์สูงมาก

เนื่องจากการวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจโดยการใช้อิเล็กโทรดติดบนผิวหนัง ซึ่งจะมีค่าความต้านทานสูงมาก ดังนั้นต้องออกแบบวงจรขยายให้มีอินพุทอิมพิแดนซ์มีค่าสูงกว่าความต้านทานระหว่างผิวหนังกับอิเล็กโทรด เพื่อป้องกันการเสียสมดุลของวงจรคือ สัญญาณรบกวนที่เข้ามาในลักษณะสัญญาณคอมมอนโหมด ที่ไม่สามารถกำจัดออกไปได้และยังทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซตซึ่งจะถูกขยายให้มีขนาดมากขึ้นที่เอาท์พุท ถ้าศักดาไฟฟ้าออฟเซตมีค่ามากจะทำให้วงจรขยายอิ่มตัวมีศักดาไฟฟ้าเอาท์พุทค้างอยู่ที่ค่าเกือบเท่ากับศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้านใดด้านหนึ่งทำให้วงจรไม่สามารถทำงานได้ และการบั่นทอนสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่อินพุท ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของวงจรขยาย

2. มีค่า Common Mode Rejection Ratio (CMRR) สูง

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้จากขั้วอิเล็กโทรดมีค่าต่ำมากประมาณ 1 mV[3] ดังนั้นสัญญาณอื่นๆ สามารถเข้ามารบกวนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 50 เฮิร์ท ที่ใช้ตามบ้านซึ่งอาจจะแทรกเข้ามาได้ทางร่างกาย ขั้วอิเล็กโทรดหรือสายสัญญาณ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหานี้วงจรขยายจึงต้องมีค่า Common Mode Rejection Ratio (CMRR) สูง[4,5] เพราะว่า CMRR คืออัตราส่วนระหว่าง Differential Mode Gain กับ Common Mode Gain ดังนั้นในการวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจจะวัดในลักษณะ Differential Mode ซึ่งจะขยายสัญญาณที่เป็นความแตกต่างเท่านั้น ส่วนสัญญาณความถี่ 50 เฮิร์ท จะเข้ามาในลักษณะ Common Mode จะถูกขยายน้อยมากหรือไม่ถูกขยายเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ แต่ในทางปฏิบัติจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะไม่มีสัญญาณรบกวนความถี่ 50 เฮิร์ท ที่เกิดขึ้นในแต่ละอินพุท จึงต้องทำการสร้างวงจรกรองความถี่ 50 เฮิร์ท ไว้ป้องกันส่วนนี้

3. ป้องกันอันตรายจากกระแสไฟรั่ว

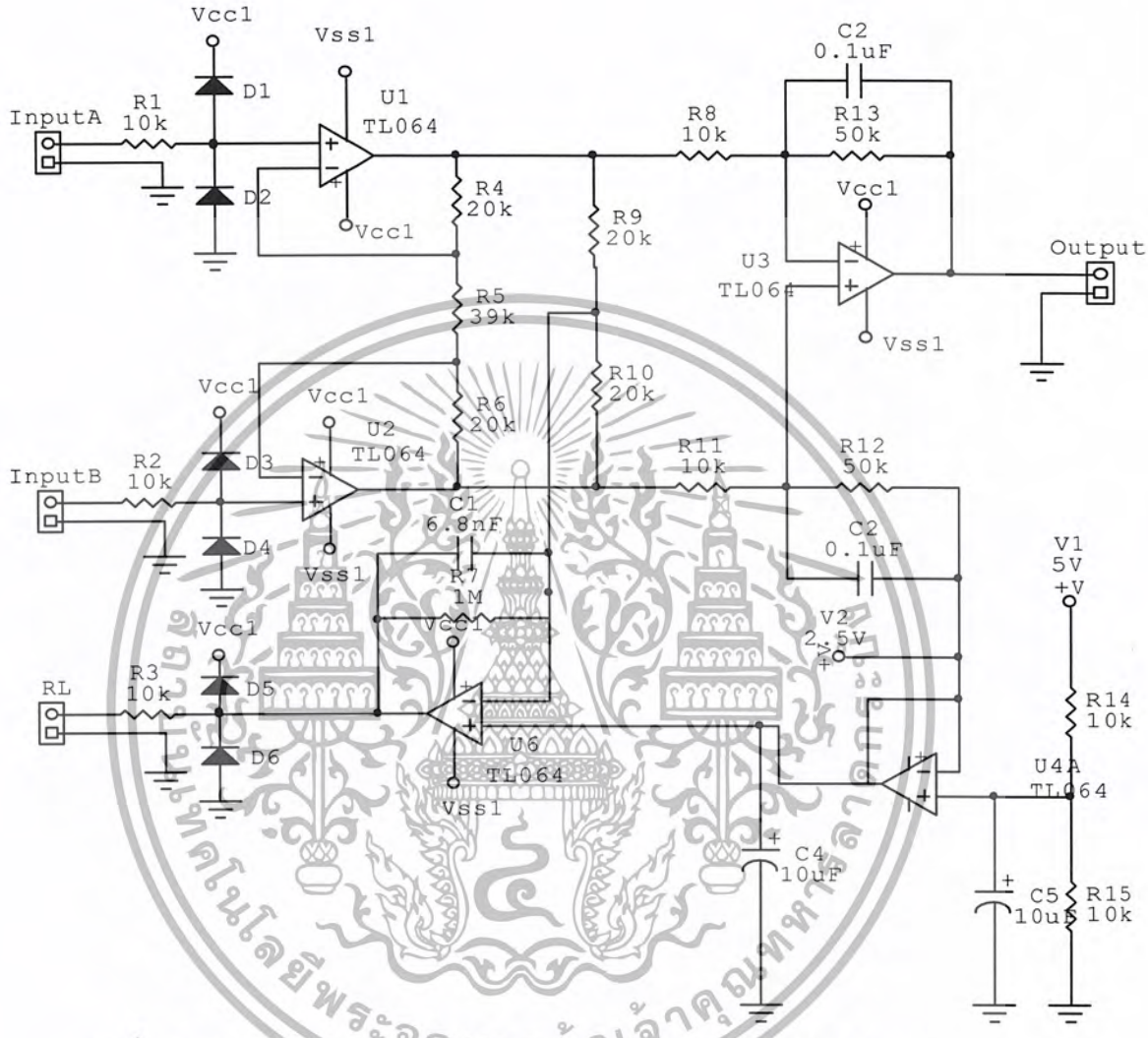
เนื่องจากในการวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจต้องใช้ขั้วอิเล็กโทรดสัมผัสกับผู้ป่วยโดยตรง ซึ่งถ้าหากมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลออกมาในปริมาณที่มากพอ ก็อาจเป็นอันตรายกับผู้ป่วยได้ ดังนั้นจึงควรมีการแยกกราวด์ของเครื่องมือวัดออกจากส่วนของวงจรขยายสัญญาณภาคแรก

4. ตอบสนองความถี่ต่ำได้ดี

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าหัวใจมีความถี่ต่ำถึง 0.05 เฮิร์ท ดังนั้นวงจรขยายจะต้องตอบสนองความถี่ต่ำได้ดี

วงจรขยายในภาคแรกไม่ควรให้มีอัตราขยายมากเกินไป เพราะว่า ถ้าหากเกิดมีศักดาไฟฟ้าออฟเซทที่อินพุท ไม่ว่าจะสาเหตุใดก็ตามจะทำให้เกิดสัญญาณที่เอาท์พุทมีศักดาลอยออกจากศูนย์มาก ซึ่งถ้าหากมากจนใกล้เคียงกับศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ จะทำให้เกิดการอิ่มตัวของสัญญาณ จนวงจรไม่สามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-1 วงจร Instrumentation Amplifier วงจร RL Driver และวงจร Clamping

การคำนวณอัตราขยาย

จากวงจรในรูป 3–1 ออปแอมป์ A_1, A_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier) ซึ่งจะมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก ซึ่งมีค่ามากกว่า 10 M ทั้งนี้ เนื่องจากเลือกใช้ ออปแอมป์ ชนิด JFET

$$V_3 = (1+ R_4/R_5)\, V_1 - (R_4/R_5)\, V_2 + V_{ic} \qquad (3.1)$$

$$V_4 = (1+ R_6/R_5)\, V_1 - (R_6/R_5)\, V_1 + V_{ic} \qquad (3.2)$$

ซึ่ง Vic เป็นค่าแรงดันที่เข้ามาในลักษณะ Common Mode มีค่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $R_{13} / R_8 = R_{12} / R_{11}$

$$V_o = (R_{13}/R_8)(V_4 - V_3)$$

$$V_o = R_{13}(R_4 + R_5 + R_6)(V_2 - V_1)/(R_5R_8) \quad (3.4)$$

เมื่อ $A = V_o / V_{in}$

จะได้ $$A = (1 + 2R_4 / R_5)(R_{13} / R_8) \quad (3.5)$$

$$= (1 + 2(20/39)(50 / 10)$$

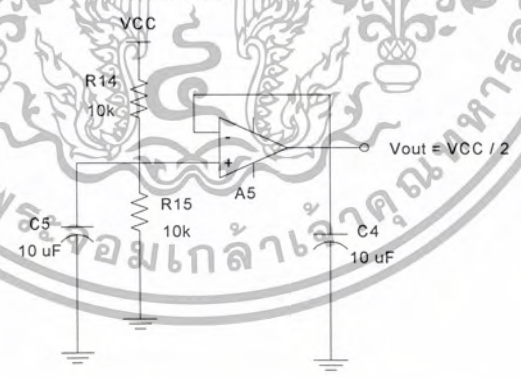
$$= 10.13$$

ดังนั้น วงจรขยายในภาคนี้ มีอัตราขยาย 10.13 เท่า

3.1.2 วงจรไดโอดแคลมปิ้ง (Diode Clamping)

เป็นวงจรที่ช่วยป้องกันความเสียหายของวงจร จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุท จากไฟฟ้าสถิต

3.1.3 วงจรยกระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 3–2 วงจรยกระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูป 3-2 วงจรจะทำทำงานโดยการหารแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนโดยใช้ตัวต้านทาน R14 และ R15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้แรงดันที่ได้ คือ

$$V_{in} = V_{CC} * R_{15} / (R_{14} + R_{15}) \quad (3.6)$$

เมื่อ $R_{14} = R_{15}$

จะได้ $V_{in} = V_{cc} / 2$

$= 5 / 2$

$= 2.5$ V

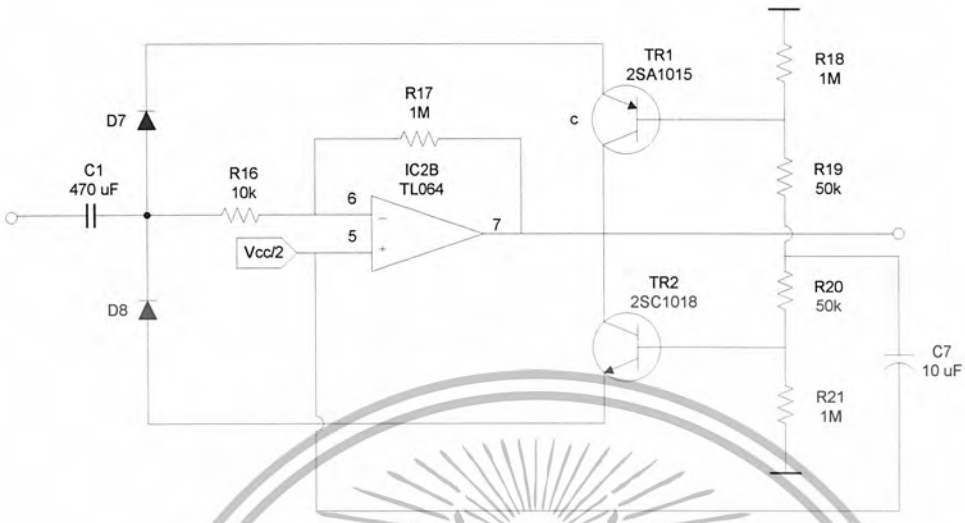
เมื่อ ได้แรงดัน V_{in} แล้ว จะรักษาระดับแรงดันให้คงที่โดย ผ่าน ออปแอมป์ A_5 ซึ่งออปแอมป์ จะทำงานเป็น วงจรโวลท์เตจ ฟอลโลเวอร์ (Voltage Follower) ซึ่งแรงดันจะมีค่าคงที่ตลอด

3.2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Circuit)

เมื่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านวงจรขยายความแตกต่าง มักจะมีศักดาไฟฟ้าออฟเซทถูกขยายมาด้วย ซึ่งศักดานี้ เป็นศักดาไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถแยกออกจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้า หัวใจได้โดยการ ให้สัญญาณผ่านตัวเก็บประจุ โดยการต่ออนุกรมกัน เนื่องจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้า หัวใจมีความถี่ต่ำ อยู่ในช่วง 0.5 – 200 Hz ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ใช้จึงต้องมีค่ามาก ทั้งนี้ เพื่อให้สัญญาณในช่วงความถี่ต่ำผ่านไปได้ และอีกปัญหาที่ตามมาคือ การเกิดสัญญาณรบกวนที่อิเล็กโทรด ถ้าหากว่า คนไข้ได้มีการขยับตัว จะทำให้ความต้านทานที่ผิวหนังของคนไข้เปลี่ยนแปลง จะเกิดเป็นศักดาไฟฟ้าออฟเซท ที่ทางออกของวงจรขยายความแตกต่าง สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผ่านตัวเก็บประจุจะลอยออกห่างจากระดับศูนย์ และจะกลับเข้าสู่ระดับศูนย์ช้ามาก ยิ่งค่าความจุของตัวเก็บประจุมีค่ามากเพียงใดก็จะทำให้เวลาในการกลับเข้าสู่ระดับศูนย์ช้ามากขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการ ชาร์จ และ ดิสชาร์จ ของตัวเก็บประจุ

หลักการของวงจรปรับศูนย์ คือ จะช่วยลดค่าเวลาคงที่ (Time Constant) ให้เหลือน้อยมาก เมื่อเกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซทขึ้น ถึงระดับที่กำหนดไว้ ในขณะที่ยังไม่เกิดศักดาไฟฟ้าออฟเซทค่าเวลาคงที่ (Time Constant) จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ R1 กับ C1 และเมื่อมีไฟฟ้าออฟเซทประมาณ + 1.4 V หรือ – 1.4 V (เท่ากับ ศักดาไฟฟ้าคร่อมไดโอด กับ V_{BE} ของทรานซิสเตอร์) โดยทรานซิสเตอร์ จะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ค่าเวลาคงที่ (Time Constant) ลดลงเหลือเพียงเท่ากับผลคูณของ C1 กับค่าความต้านทานภายในของทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีค่าน้อย ส่วนออปแอมป์ จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3–3 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Circuit)

จากวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Circuit) จะมีอัตราขยายแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

จากสมการ $A = R_{17} / R_{16}$ (เป็นวงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส Inverting Amplifier)

$= 1M / 10\ k$

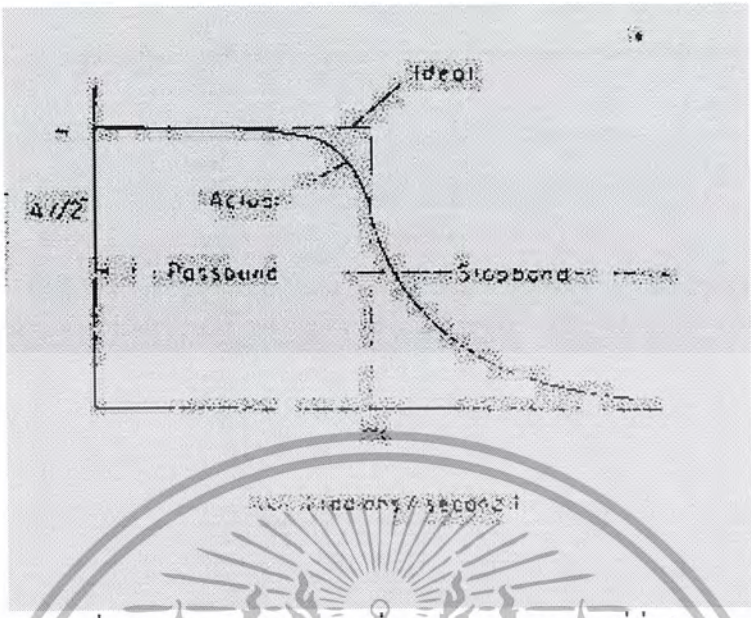
$= 1000$

ดังนั้น วงจรนี้ จะมีอัตราขยายแบบกลับเฟส 1000 เท่า

3.3 วงจรกรองความถี่สูง(Low Pass Filter)

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าหัวใจจะมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 0.5-200 เฮิร์ทซ์ ดังนั้น สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่านี้ จึงเป็นสัญญาณรบกวน เราจึงใช้วงจรกรองความถี่สูง ซึ่งมีคุณสมบัติผ่านสัญญาณที่มีความถี่ต่ำและลดทอนสัญญาณที่มีความถี่สูง โดยมีผลตอบสนองความถี่ดังรูปที่ 3-4

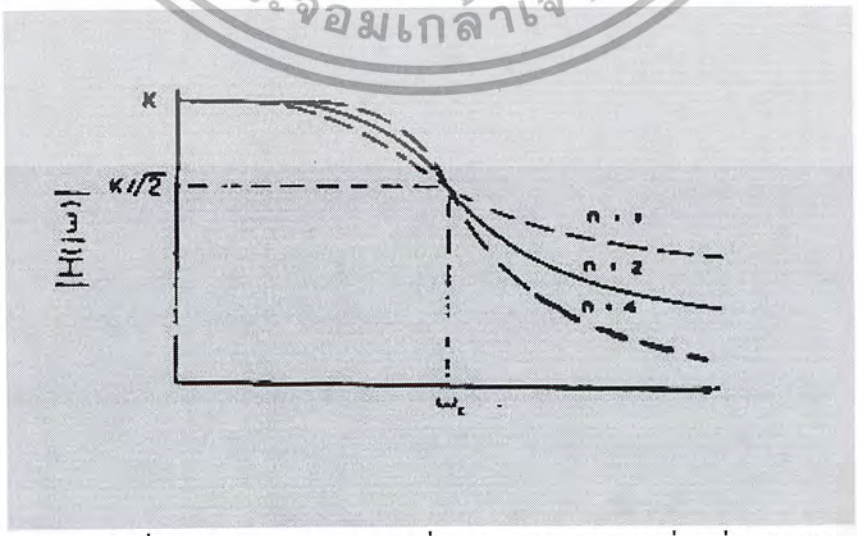
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-4 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

สำหรับในโครงงานนี้ เลือกใช้วงจรกรองความถี่สูงแบบบัตเตอร์เวิทธ์ลำดับ 4 (4th Order Butterworth Low Pass Filter) โดยมีเหตุผลดังนี้

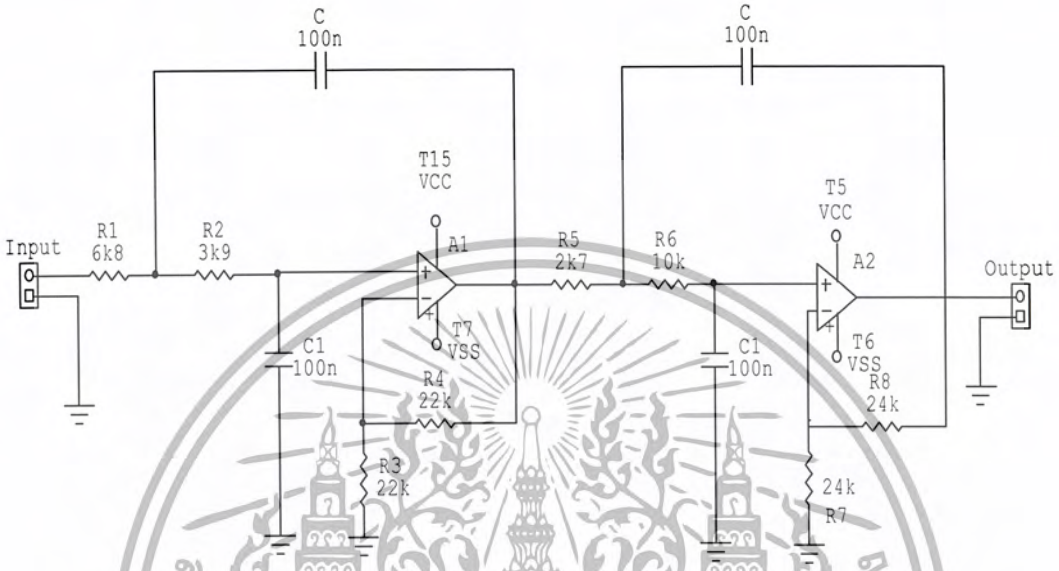
- เนื่องจากวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟจะต้องมีการใช้ตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ จึงเลือกใช้แบบแอคทีฟ
- ลำดับ(Order) ของวงจรมีผลต่อการลดทอนสัญญาณที่ช่วงความถี่ที่จำกัด(Stop band) โดยวงจรกรองลำดับสูงจะลดทอนได้ดีกว่าดังแสดงในรูปที่ 3-5 จึงเลือกใช้ลำดับ 4



รูปที่ 3-5 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงที่ลำดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

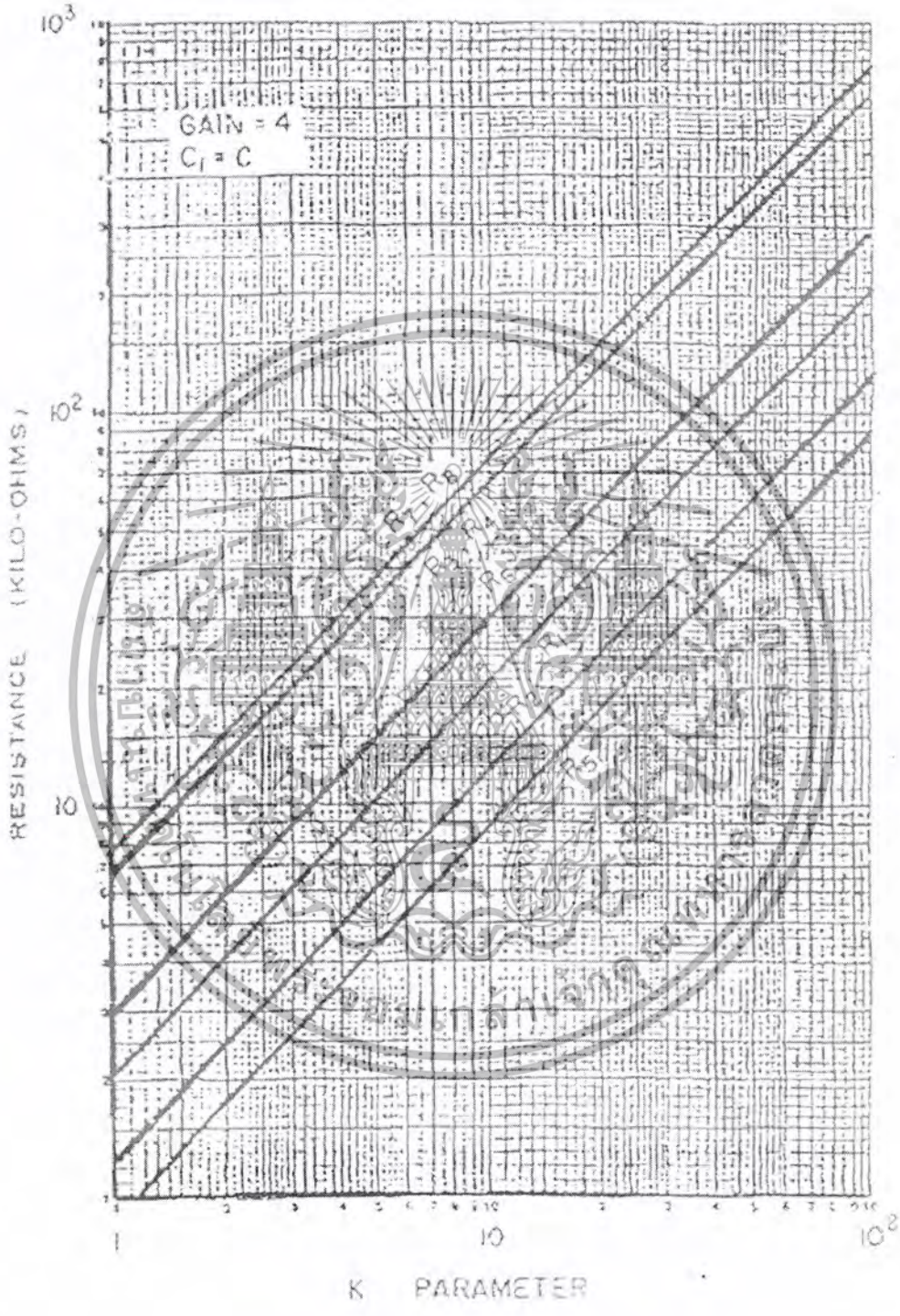
วงจรกรองความถี่สูงแบบบัตเตอร์เวิทธิ์ลำดับ 4 แสดงดังรูป 3-6 สำหรับค่าพารามิเตอร์ใช้กราฟรูปที่ 3-7 และ 3-8



รูปที่ 3-6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิทธิ์ลำดับ 4

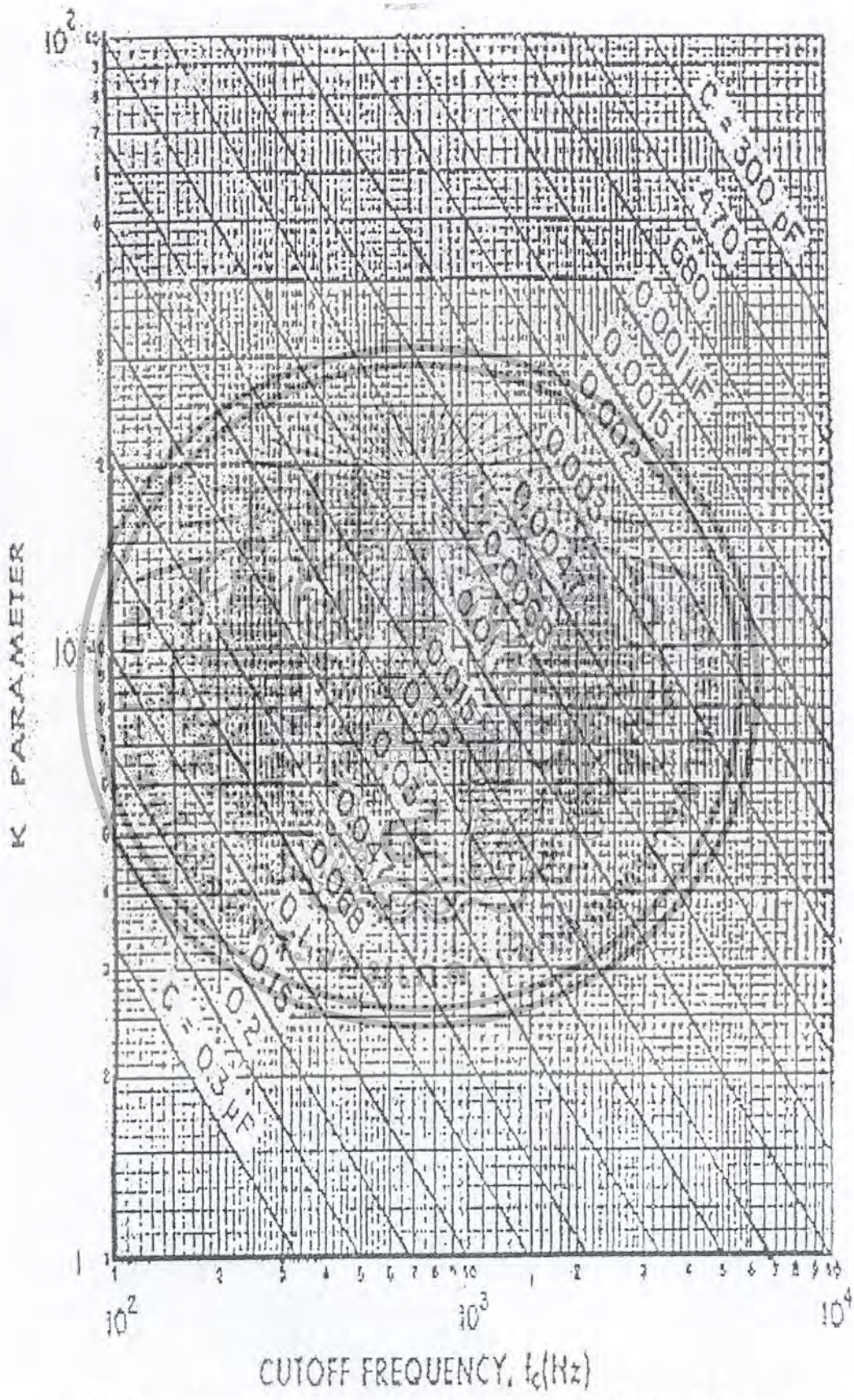
สำหรับวงจรที่ใช้นี้กำหนดความถี่คัตออฟเป็น 300 เฮิร์ทซ์ เลือกใช้ C = 0.1 uF จากรูปที่ 3-7 ได้ค่า K=3.33 เมื่อนำไปพิจารณาที่รูป 3-8 จะได้ค่า R_1=6K5, R_2=4K, R_3=R_4=22K, R_5=2K8, R_6=9K8, R_7=R_8=25K ซึ่งในวงจรจริงเราใช้ค่าที่ใกล้เคียง ตามวงจรรูป 3-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 กราฟแสดงการหาค่า K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

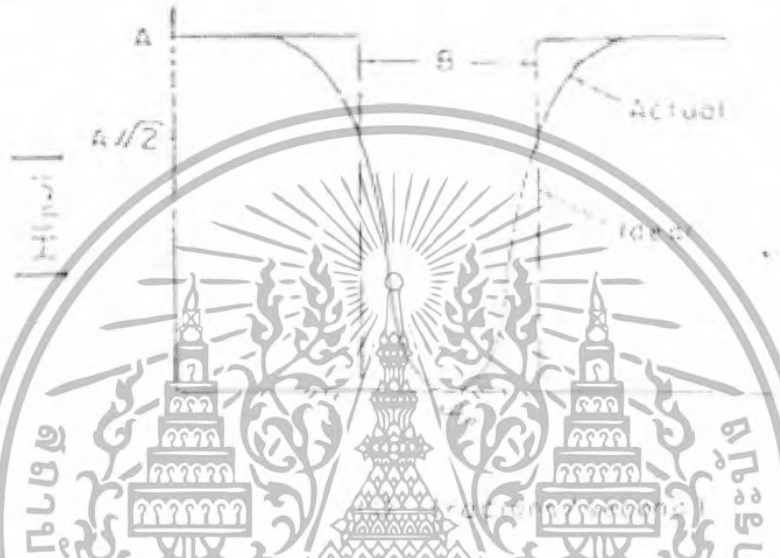


รูปที่ 3-8 กราฟแสดงการหาค่า R โดยเลือกค่าอัตราก้ารขยายเป็น 4 และให้ C_1=C

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

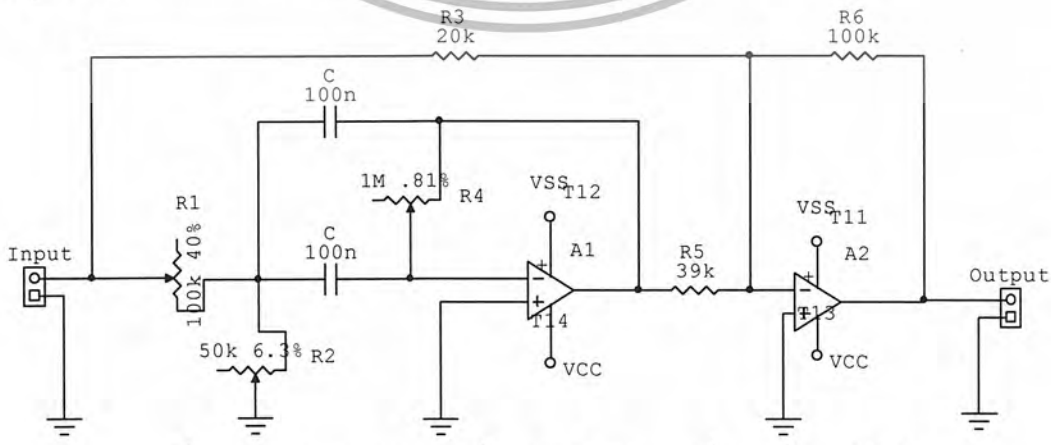
3.4 วงจรกรองความถี่แบบไม่ให้ผ่านเฉพาะความถี่

ปกติวงจรขยายความแตกต่างจะถูกออกแบบมาให้กำจัดสัญญาณรบกวนอยู่แล้ว ในทางอุดมคติ สัญญาณรบกวนจะถูกขจัดหมด แต่ในทางปฏิบัติ อาจเกิดความไม่สมดุลของวงจร ทำให้สัญญาณรบกวน 50 เฮิร์ทซ์(ไฟบ้าน) ผ่านมาได้ เราจึงต้องมีวงจรการองความถี่ค่านี้ทิ้ง ซึ่งผลตอบสนองความถี่ของวงจรนี้แสดงดังในรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบกำจัดสัญญาณที่ความถี่เฉพาะช่วง

โดยค่า R ที่เกี่ยวข้องกับค่าความถี่กลางคือ R_1, R_2 และ R_4 ส่วน R ที่เกี่ยวข้องกับค่าความกว้างของช่วงกำจัดความถี่ (Bandwidth) คือ R4 ดังนั้นเราจึงใช้ R ทั้ง 3 ตัวนี้เป็น R ปรับค่าได้ เนื่องจากต้องการให้ความถี่กลางเป็น 50Hz พอดีและมีค่า BW ต่ำเท่าที่จะทำได้เพื่อป้องกันการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ส่วน R_3, R_5 และ R_6 เป็น 20K, 40K และ 200K คงที่ตามลำดับ และแสดงดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 รูปวงจรกรองความถี่แบบกำจัดสัญญาณที่ความถี่ 50 เฮิร์ทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 เป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น (Successive Approximation ADC) ขนาด 8 บิต 4 ช่อง มี DAC 1 ช่อง ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I2C อัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling) ขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C โดยการใช้งานจะใช้ช่อง 1 เพียงช่องเดียวแล้วทำการเขียนโปรแกรมวนรอบอ่านข้อมูลการแปลงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เป็นอนาลอกมาเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิตแล้วส่งข้อมูลไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผล

3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 (Microcontroller 89 C51)

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกใช้ IC AT89C51 ซึ่งเป็นเทคโนโลยี C-MOS มี Program Memory อยู่ 4 Kbytes และมี วงจร Oscillator ภายใน[6, 7] โดยในการใช้งานเลือกค่า crystal 11.059 MHz ที่ขา RST ต่อ R – Pull down กับ C ไปยังไฟเลี้ยงซึ่งถ้าขา RST มีสถานะเป็น High 2 Machine Cycle แล้วจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รีเซตตัวเองและเริ่มทำงานที่ Port 0 ต่อ R-Pull up ด้วย R- Pack 10 K เนื่องจากไม่มี R-Pull up ภายใน โดยเราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมการทำงานของ ADC และใช้ในการติดต่อกับเครื่อง Computer โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม

การใช้งานของพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมเป็นการรับหรือส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตคราวละ 1 บิต เรียงลำดับเรื่อยไปจนสิ้นสุด การสื่อสารแบบนี้จะมีข้อดีแตกต่างจากการสื่อสารแบบขนานเป็นอย่างมากเนื่องจากข้อมูลมีการโอนย้ายมากพร้อมกัน จึงมีความจำเป็นต้องใช้จำนวนเส้นสัญญาณมากขึ้นตามจำนวนบิตของข้อมูลด้วย ในขณะที่การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนั้นต้องการเส้นสัญญาณเพียง 2-3 เส้นเท่านั้น ดังนั้นการสื่อสารแบบขนานจึงไม่เหมาะสมในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกที่อยู่ห่างไกลกัน เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

เนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการรับ / ส่งข้อมูลในลักษณะกลุ่มของบิตข้อมูล (Bit Stream) ดังนั้นจึงต้องให้ความสนใจในการพิจารณาถึงเรื่องอัตราความเร็วในการรับ / ส่งบิตเหล่านี้เป็นลำดับแรก โดยทั่วไปมักจะระบุกันในหน่วยของจำนวนบิตข้อมูลภายในเวลา 1 วินาที เรียกว่า อัตราบอด ตามค่ามาตรฐานเหล่านี้ ได้แก่ 110,150,300,1200,2400,4800,9600,19200 บอด ข้อมูลทั้ง 8 บิต นี้หากว่าถูกส่งออกมาด้วยอัตรา 2400 บอด จะใช้เวลาในการส่งข้อมูล 1 บิต มีค่าเท่ากับ 1/2400 หรือ 416 uS และเวลาในกากรส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตมีค่าเท่ากับ (8*416)

3.6.1 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารอนุกรมแบบ อะซิงโครนัส จะให้การแปลงข้อมูลให้เป็นอนุกรมแล้วเพิ่มเติมบิตบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริง ได้แก่

3.6.1.1 บิตเริ่มต้น (Start Bit)

บิตเริ่มต้นมีหน้าที่สำหรับการบ่งบอกให้ทราบถึงตำแหน่งจุดเริ่มต้นก่อนบิตข้อมูล ตามปรกติแล้วค่าของบิตเริ่มต้นจะเป็นระดับลอจิกต่ำ

3.6.1.2 บิตแสดงภาวะความเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity Bit)

บิตนี้มีหน้าที่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยทั่วไปมักเรียนกว่า บิตพาริตี้ และจะนำไปต่อท้ายบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของบิตที่เป็น 1 ซึ่งจะเป็นได้ 2 ลักษณะ คือ พาริตี้ครู่ (Event Parity) หรือพาริตี้คี่ (Odd Parity) ตัวอย่างเชน ระบบที่ติดต่อกันโดยระบุว่าจะใช้พาริตี้คี่ ทางด้านส่งจะนำค่าของข้อมูลที่จะส่งมาพิจารณาหา จำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 ถ้าเป็นจำนวนคู่อยู่แล้วพาริตี้บิตจะมีค่าเป็น 0 แต่หากว่าจำนวนของบิตทีมีค่าเป็น 1 เป็นเลขคี่ ค่าของพาริตี้บิตก็จะมีค่าเป็น 1 การพิจารณาด้านรับเป็นการตรวจสอบจำนวนบิตที่มีค่าเป็น 1 ของข้อมูลที่ได้รับมาทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ ถ้ามีค่าเป็นเลขจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานี้ถูกต้อง แต่หากเป็นเลขจำนวนคี่ แสดงว่าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น เป็นต้น

3.6.1.3 บิตสุดท้าย (Stop Bit)

บิตสุดท้ายเป็นบิตที่เพิ่มขึ้นเพื่อระบุถึงขอบเขตการสิ้นสุดของกลุ่มบิดข้อมูล บิตสุดท้ายนี้สามารถโปรแกรมบิตได้คือ 1 บิต ½ บิต และ 2 บิต ดังนั้นในกรณีการส่งข้อมูล 8 บิต หาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลถูกส่งออกไปด้วยอัตราเร็ว 2400 บอด เวลาโดยรวมในการส่งข้อมูล 1 ไบต์ จะมีค่าเป็น (12*416) us

3.6.2 การส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051

พอร์ตอนุกรมของ 8051 มีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน โดยทางด้านวงจรของตัวส่ง ประกอบด้วยข้อมูลออกไปยังพอร์ตอนุกรม ทาสงขาสัญญา TxD ส่วนวงจรทางด้านรับ ประกอบด้วย SBUF เช่นเดียวกับสัญญาณข้อมูลอนุกรมที่รับเข้ามาทางขาสัญญาณ RxD

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

โหมด 0: ใช้รับส่งข้อมูล 8 บิต โดยการส่งจะเลื่อนออกที่ละบิต โดยส่งบิต D 0 ออกไปก่อนทางขา RxD และไม่มีการส่งบิตเริ่มต้น แต่จะส่ง Shift Clock ทางขา TxD ความเร็ว 1/12 เท่าของ CPU CLOCK

โหมด 1: ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) โดยส่งแบบ 10 บิต ข้อมูล 8 บิต และบิตเริ่มต้น กับบิตสุดท้ายอีกอย่างละ 1 บิตและสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PXON และอัตรา Overflow ของ Timer 1

โหมด 2: ใช้สำหรับการเชื่อมต่อนุกรมแบบ UART โดยการใช้กลุ่มข้อมูลแบบ 11 บิต และกำหนดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 1 / 32 และ 1 / 64 ของ CPU CLOCK และอัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 นอกนจากนี้โหมด 2 และ โหมด 3 ยังมีการดำเนินการอีกแบบหนึ่ง โดยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารข้อมูลแบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์ หลายตัวทำงานร่วมกันได้ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Multi Processor Mode

Multi Processor Mode: ในโหมดนี้เราจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 1 ตัวสำหรับเป็น Master และอีก 0-256 ตัว เป็น Slave รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรมดังรายละเอียดดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMO	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0, SM 1 เป็นบิตที่ใช้เลือกโหมดการทำงาน

SMO	SM1	โหมด 0	การทำงาน
0	0	0	ทำงานเป็นรีจิสเตอร์อัตราเร็วในการรับ / ส่งข้อมูลเท่ากัน 1 / 12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์
0	1	1	8 Bit UART อัตราเร็วในการรับ / ส่ง ข้อมูลกำหนดเองได้
1	0	2	9 bit UART อัตราเร็วในการรับ / ส่งข้อมูล =1 / 13 หรือ 1 /1ซ64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON
1	1	3	9 bit UART อัตราเร็วในการรับ / ส่งข้อมูล กำหนดเองได้

รูปที่ 3-11 รายละเอียดการเลือกโหมดการทำงาน

พอร์ตอนุกรม (โหมด 0)

การทำงานของพอร์ตอนุกรม (โหมด 0) เป็นการรับและส่งข้อมูลอนุกรมจำนวน 8 โดยใช้เพียงขาสัญญาณ RxD เท่านั้น (ขานี้ใช้งาน 2 หน้าที่ ใช้รับและส่งข้อมูล) ส่วนขาสัญญาณ TxD จะนำไปใช้เพื่อเป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการให้จังหวะ การเลื่อนข้อมูลกับวงจร เลื่อนบิตภายนอกสำหรับอัตราความเร็วจะถูกกำหนดไว้คงที่ที่ค่า 1 / 12 ของค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากโหมดนี้ไม่มีการส่ง START BIT และ STOP BIT ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องส่งสัญญาณ SHIFT CLOCK ออกไป เพื่อใช้ Synchronize ระหว่างฝ่ายส่งและฝ่ายรับ โดยจะใช้ขา TxD ส่วนการรับข้อมูลจะรับข้อมูลเข้าทาง RxD และรับ Shift Clocks เข้าทางขา TxD ถ้าความถี่ออสซิลเลเตอร์มีค่าเท่ากับ 12 MHz ก็จะส่งได้ถึง 1 ล้าน ซึ่ง (โหมด 0) เป็นโหมดที่ส่งข้อมูลได้เร็วที่สุด

การรับส่งข้อมูลอนุกรม (โหมด 1)

การทำงานในโหมด 1 เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมจำนวน 10 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 บิต ข้อมูลจำนวน 8 บิต และบิตสุดท้ายอีก 1 บิต โดยข้อมูลจะถูกส่งออกทาง TxD และรับเข้ามาทางขาสัญญาณ RxD ในส่วนของข้อมูล 8 บิต ที่ได้รับหรือทำการส่งออก จะเป็นบิตนัยสำคัญต่ำเป็นลำดับแรกส่งทางฝ่ายรับค่าของ Stop Bit จะส่งเข้ามาจัดเก็บไว้ในบิต RB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลของโหมด 1 นั้น สามารถกำหนดเลือกได้จาก Timer 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังได้กล่าวแล้วว่าการส่งข้อมูลอนุกรม (โหมด 1) สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ โดยใช้ Timer 1 ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดอัตราการส่งข้อมูล และใช้แฟล็กที่เกิดขึ้นจากการโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 โดย โปรแกรม Timer 1 ทำงานใน (โหมด 2) 8 - Bit Automatic Reload

ความถี่อัตราบอดขึ้นกับ $= (2^{SMOD} * \text{อัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1}) /32$

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

ตารางที่ 3.1 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรม

Baud Rate	Fosc	SMOD	TIMER	MODR	RELOAD VALUE
(Mofr0) Max:1MHz	12 MHz	X	X	X	X
(Mode 1) Mac:375MHz	12 MHz	1	X	X	X

SM2 บิตเลือกการทำงานแบบ

1.เลือก Multiprocessor Mode ใช้กับโหมด 2, 3

2.เลือก Single Processor Mode ใช้ได้กับทุกโหมด

เมื่อเลือกการทำงานรับข้อมูลแบบ Multiprocessor Mode แล้วเมื่อ ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 1 RI จะเซ็ททันที รายละเอียดจะได้กล่าวถึงต่อไป

REN บิตควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูลได้

2 : ห้ามรับข้อมูล

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

RB8 (Receive bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะเก็บในบิตนี้

(ข้อมูลบิตที่ 9 คือค่าใน TB8 และ RB8 นั่นเอง)

TI บิต TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล 1 ไบต์

RI บิต RI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการรับข้อมูล 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

เนื่องจากการส่งหรือรับข้อมูลอนุกรมจะส่งทีละไบต์ 8051 จึงได้กำหนดให้บิตหรือแฟล็กสถานะที่จัดรวมอยู่ในรีจิสเตอร์ SCON เช่น แฟล็ก TI จะมีค่าเป็น 1 เมื่อข้อมูลได้ทำการส่งออกไปยังภายนอกเสร็จสิ้นแล้ว และแฟล็ก RI จะมีค่าเป็น 1 เพื่อให้รู้ว่าข้อมูลผ่านเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมเรียบร้อยแล้ว เสร็จแล้วเมื่อแฟล็ก RI, TI นี้มีค่าเป็น 1 จะมีผลทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น ดังนั้นภายในโปรแกรมรับหรือส่งจะต้องทำการตรวจสอบจากสภาวะของแฟล็กเหล่านี้เองว่าเป็นการรับหรือการส่งข้อมูล

กระบวนการรับส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051

การส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมของ 8051 จะเริ่มต้นขึ้นภายหลังเมื่อมีการเขียนข้อมูลลงใน SBUF ข้อมูลนี้จะถูกเลื่อนที่ละบิต และส่งสัญญาณออกไปภายนอกโดยอัตโนมัติ เมื่อข้อมูลลงใน SBUF ข้อมูลนี้ถูกเลื่อนทีละบิต และส่งสัญญาณออกไปภายนอกโดยอัตโนมัติ เมื่อข้อมูลเหล่านี้ได้ส่งออกครบถ้วนแล้วจะทำให้ค่าของแฟล็ก TI เป็น 1 เพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะที่ SBUF ว่างและพร้อมที่จะส่งข้อมูลไบต์ต่อไปแล้วในกรณีที่ใช้เขียนข้อมูลใหม่ลงในรีจิสเตอร์ SBUF โดยไม่รอให้แฟล็ก TI มีค่าเป็น 1 ก่อน จะมีผลทำให้ข้อมูลที่ส่งไปผิดพลาดได้

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมจะต้องเริ่มต้น โดยการกำหนดเซตค่าดังนี้ REN (Receiver Enable) ให้มีค่าเป็น 1 ก่อน หลังจากนั้นเมื่อมีข้อมูลภายนอกถูกส่งเข้ามายัง 8051 ที่ละบิตจนครบและเมื่อบิตสุดท้ายเลื่อนเข้ามาเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลนั้นจะถูกย้ายมาเก็บไว้ยังริจิสเตอร์ SBUF และแฟล็ก RI ก็จะมีค่าเป็น 1 หลังจากนั้นก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเซตค่าอัตราการส่งข้อมูล

(Mode2)Min:187.5MHz	12MHz	0	X	X	X
(Mode1,3):62.5 MHz	12MHz	1	0	2	FFH
19.2K	11.059MHz	1	0	2	FDH
9.6K	11.059MHz	0	0	2	FDH
4.8K	11.059MHz	0	0	2	FAH
2.4K	11.059MHz	0	0	2	F4H
1.2K	11.059MHz	0	0	2	F8H
137.5	11.059MHz	0	0	2	IDH
110	6MHz	0	0	2	72H
110	12MHz	0	0	1	FEEBH

การรับส่งข้อมูลอนุกรม (โหมด 2)

โหมดนี้ใช้ทั้งหมด 11 บิต โดยแบ่งเป็น Start Bit, 9 Data, I Stop Bit โดยบิตที่ 9 ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเองได้ว่าจะส่งค่าอะไรออกไป โดยจะต้องนำไปใส่ไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ Scon ส่วนมากผู้ใช้มักจะนำบิตนี้มาใช้เป็น Parity bit โดยโหลดค่ามาจาก Parity Flag ใน PSW ส่วนทางด้านรับบิตที่ 9 จะถูกนำมาเก็บไว้ใน RB8 อัตราความเร็วในการส่ง / รับข้อมูลขึ้นกับความถี่ออสซิเลเตอร์ของ CPU และค่า SMOD ซึ่งอยู่ในบิตที่ 7 ของ PCON

MODE 2 บอด RATES = $(2^{SMOD} * Fosc) /64$

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

- เมื่อSMOD=0 จะได้ = 20(12) (106)/64 187500 บอด
- เมื่อSMOD=1 จะได้ = 21(12) (106)/64 357500 บอด

การรับส่งข้อมูลอนุกรม (โหมด 3)

เหมือนกับโหมด 2 ทุกประการ ยกเว้นความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะขึ้นกับอัตรา โอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 หรือ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

Mode 1, 3 = (2 * fosc) / [(32) (12) (256-TH1)}

หรือ = (K Fosc) / {(32) (12) (256-TH1)}

ถ้า SMOD = 0 จะได้ K = 1

SMOS = 1 จะได้ K = 2

เมื่อต้องการหาค่า THI จะได้

THI = 256 - {(K * Fosc) / (384*Boudrate)}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่ + - 3 ถึง + -12 โวลต์ ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 5-51 อยู่ในระดับทีทีแอล ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่าน ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ

ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณนี้ต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MXS –51 จากระดับทีทีแอลไปเป็นระดับของ RS-232 เป็นระดับทีทีแอล เพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์

3.7 การใช้งาน Winsock Control

Visual basic ได้เตรียม ActiveX Control มาที่มีชื่อว่า Winsock Control ไว้ให้เราใช้งาน ซึ่งพร้อมให้เราใช้งานเพื่อสร้างการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องในเครือข่าย ทำให้เราสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ สำหรับ Winsock Control จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ MSWINSCK.OCX ในโฟลเดอร์ \Windows\System

โหมดการทำงานของ Winsock Control

การทำงานของ Winsock Control l กับโพรโตคอล TCP/IP นี้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมดคือ TCP/IP กับ UDP

TCP (Transmission Control Protocol) เป็นการทำงานในลักษณะ Connection-Based เปรียบเหมือนกับการทำงานของโทรศัพท์ที่จะมีการตรวจสอบการทำงานจากทั้งสองฝั่งมีการโต้ตอบระหว่างกัน ทำให้ได้การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ

UDP (User Datagram Protocol) เป็นการทำงานในลักษณะตรงกันข้ามกับ TCP นั่นคือมีการทำงานในลักษณะ Connectionless เปรียบเหมือนกับการกระจายเสียงวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรอพเพอร์ตี้สำคัญของ Winsock Control

Protocol	เป็นการเลือกโพรโตคอลสำหรับการทำงาน
Local Port	เป็นการกำหนดหมายเลขพอร์ตของคอมพิวเตอร์ที่จะใช้งานกับ Winsock
Remote Host	เป็นการกำหนดชื่อของคอมพิวเตอร์ที่เราจะติดต่อด้วย อาจจะเป็น IP Address หรือเป็นชื่อคอมพิวเตอร์ที่เป็นชื่อที่ง่ายต่อการจดจำ
Remote Port	เป็นการกำหนดหมายเลขพอร์ตของคอมพิวเตอร์ที่เราจะติดต่อด้วย
Byte Receive	เป็นจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาเก็บในบัฟเฟอร์มีหน่วยเป็นไบต์

เมธอดสำคัญของ Winsock Control

Listen	เป็นเมธอดที่ใช้สร้าง Socket ทำให้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆ สามารถติดต่อเข้ามาได้
Connect	เป็นเมธอดที่ใช้สร้างการติดต่อแบบ Socket ไปยังคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น โดยจะต้องระบุ Socket Address
Accept	เป็นเมธอดที่ใช้รับ Request จากคอมพิวเตอร์ที่ติดต่อเข้ามา
Send Data	เป็นเมธอดที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นที่เราติดต่อแบบ Socket
Get Data	เป็นเมธอดที่ใช้รับข้อมูลจากบัฟเฟอร์เข้ามาเก็บในตัวแปรที่เรากำหนดให้ โดยสามารถกำหนดชนิดตัวแปร และความยาวของข้อมูลที่จะนำมาเก็บได้
Close	เป็นเมธอดที่ใช้ยกเลิกการติดต่อแบบ Socket

อีเวตน์สำคัญของ Winsock Control

Connection Request	เป็นเหตุการณ์ที่เกิดเมื่อ คอมพิวเตอร์เครื่องอื่น มีการ Request เข้ามา ซึ่งจะมีการกำหนด ID ให้กับแต่ละ Request ที่เข้ามา
Data Arrival	เป็นเหตุการณ์ที่เกิดเมื่อมีข้อมูลชุดใหม่เข้ามาเก็บในบัฟเฟอร์ ซึ่งเราสามารถตรวจสอบขนาดข้อมูลได้จากพรอพเพอร์ตี้ Byte Receive
Send Progress	เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขณะที่กำลังมีการส่งข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งจะมีพารามิเตอร์แสดงจำนวนข้อมูลที่ส่งมาแล้ว และข้อมูลที่ยังคงเหลือ
Send complete	เป็นเหตุการณ์ที่เกิดเมื่อการส่งข้อมูลเสร็จสิ้นสมบูรณ์
Error	เป็นเหตุการณ์ที่เกิดเมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งจะแสดงหมายเลขของความผิดพลาด, คำอธิบาย และรายละเอียดอื่นๆ สำหรับการจัดการกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สถาปัตยกรรมเครือข่ายคอมพิวเตอร์

4.1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย

หน้าที่การทำงานของการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีการประยุกต์ใช้งานได้มากมาย ดังนั้นเพื่อให้การออกแบบระบบการสื่อสารข้อมูล และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ง่ายขึ้น จึงมีการแบ่งสาระและหน้าที่ต่างๆ ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ออกเป็นหลายระดับชั้น (Layer) ระดับล่างจะให้บริการแก่ระดับชั้นที่สูงกว่า[11] เพื่อให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยที่ระดับที่สูงกว่าไม่จำเป็นจะต้องรู้ว่าระดับชั้นล่างทำงานเป็นอย่างไรเพื่อให้บริการนั้นๆ ซึ่งคล้ายกันกันการเขียนโปรแกรมหลัก (Main Program) ใช้บริการโปรแกรมย่อย (Subprogram) โดยที่ไม่จำเป็นต้องรู้ว่าโปรแกรมย่อยทำงานอย่างไร ในการทำงานแต่ละระดับชั้นจะเป็นการให้บริการแก่ระดับบนกว่า แต่ละระดับจะมีการทำงานที่เรียกว่า เพียร์โปรเซส (Peer process) ซึ่งเพียร์โปรเซสในระดับเดียวกันของอุปกรณ์สื่อสาร 2 เครื่องจะส่งข้อมูลติดต่อกันด้วยกฎเกณฑ์ที่แน่นอน ซึ่งกฎเกณฑ์ข้อบังคับที่ตกลงกันนี้ใช้ในการส่งข้อมูลติดต่ออย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพระหว่างเพียร์ทั้งสองด้านเพื่อให้บริการแก่ระดับที่สูงกว่า สำหรับกฎเกณฑ์นี้ถูกเรียกว่า "โปรโตคอล(Protocol)" ยกตัวอย่างเช่น โปรโตคอลที่ใช้ในการส่งข้อมูลติดต่อกันระหว่างเพียร์โปรเซสในระดับชั้นที่ n เรียกว่าโปรโตคอลระดับที่ n (layer n protocol) การส่งข้อมูลระหว่างเพียร์โปรเซสทั้งสองนี้ไม่ใช่เป็นการส่งข้อมูลกันโดยตรง แต่จะส่งข้อมูลผ่านลงมายังระดับที่ต่ำกว่าโดยการใช้บริการของระดับชั้นที่ต่ำกว่า ซึ่งในท้ายสุดแล้วข้อมูลระหว่างเพียร์โปรเซสทั้งสองจะถูกส่งจริงผ่านช่องสัญญาณสื่อตัวกลาง (physical layer) ที่เชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าระหว่างเพียร์โปรเซสจะมีช่องทางตรรกะ (logical channel) เพื่อส่งข้อมูลโต้ตอบกัน แต่ข้อมูลจะถูกส่งจริงผ่านช่องสัญญาณของสื่อกลางจริง เมื่อข้อมูลถูกส่งจริงจากระดับสูงมายังระดับต่ำกว่า ทำให้มีการอินเตอร์เฟซกันระหว่างระดับชั้นที่ติดกัน ซึ่งการอินเตอร์เฟซนี้จะเป็นการกำหนดเนื้อหาและรูปแบบของการบริการที่ระดับล่างจะให้แก่ระดับที่สูงกว่า ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายที่ดี การอินเตอร์เฟซระหว่างระดับชั้นต้องถูกออกแบบให้รัดกุมเป็นการอินเตอร์เฟซแบบคลีน-คัท (clean-cut interface) หรือการออกแบบให้หน้าที่และการบริการต่างๆ ของแต่ละระดับชั้นชัดเจน และข้อมูลที่ส่งผ่านระหว่างอินเตอร์เฟซต้องให้มีจำนวนน้อยที่สุด การเปลี่ยนแปลงวิธีการสร้างเครือข่ายสำหรับแต่ละระดับชั้นจากเทคโนโลยีหนึ่งไปยังอีกเทคโนโลยีหนึ่งแล้วจะต้องสามารถทำได้โดยง่าย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้บริการระดับชั้นที่สูงกว่าได้เหมือนเดิม และไม่กระทบต่อการทำงานของระดับชั้นที่สูงกว่านั้น ยกตัวอย่างเช่น การที่จะให้สื่อกลางจากสายโทรศัพท์เปลี่ยนเป็นการสื่อกลางเป็นดาวเทียม จะต้องไม่มีผลกระทบต่อโปรโตคอลที่ใช้ในแต่ละระดับชั้น

ดังนั้น ชุดของระดับชั้นต่างๆ ตลอดจนโปรโตคอลในแต่ละชั้น ประกอบกันเป็นสถาปัตยกรรมเครือข่าย ซึ่งต้องกำหนดต่างๆ เช่น หน้าที่ สาระ และโปรโตคอลของสถาปัตยกรรมเครือข่าย ต้องมีข้อมูลที่เพียงพอกับการสร้างเครือข่ายได้ทั้ง ซอฟแวร์ หรือ ฮาร์ดแวร์ วิธีการสร้างเครือข่ายตลอดจนวิธีการอินเตอร์เฟซระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่าย ไม่จำเป็นต้องกำหนดในสถาปัตยกรรมเครือข่ายนอกจากนั้นในเครือข่ายหนึ่งๆ รายการของโปรโตคอลทั้งหมดที่ถูกใช้ในแต่ละระดับชั้นเรียกว่าโปรโตคอลสแต็ก (protocol stack) เพื่อให้เข้าใจการทำงานของระดับชั้นต่างๆ ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์มากขึ้น จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 เป็นตัวอย่างที่ใช้ในการส่งข้อมูลของแต่ละระดับชั้นเป็นการส่งไฟล์ระหว่าง 2 เครื่อง โปรแกรมประยุกต์ของเครื่องที่ส่งข้อมูลขนาด m ให้แก่เพียร์โปรเซสระดับที่ 7 ซึ่งเพียร์โปรเซสจะใส่เฮดเดอร์ (Header) เข้าไปพร้อมกับข้อมูล m นั้นแล้วส่งไปยังระดับที่ 6 โดยผ่านอินเตอร์เฟสระหว่างระดับ 6 และ 7 สำหรับเฮดเดอร์ที่เพิ่มเข้าไปนี้จะช่วยให้เพียร์โปรเซสของระดับชั้นที่ 7 ของด้านรับสามารถทำงานได้ถูกต้องสอดคล้องกัน เช่น เฮดเดอร์อาจบ่งบอกสิทธิของผู้ส่งในการปรับปรุงไฟล์ข้อมูล เป็นต้น เมื่อระดับที่ 6 ได้รับข้อมูล ซึ่งก็คือ m+H7 ทำการบีบอัดขนาดข้อมูลหรือการเข้ารหัสลับข้อมูลแล้วปะเฮดเดอร์เข้าไป ซึ่งจะทำให้ด้านรับสามารถปะข้อมูลกลับได้อย่างถูกต้อง สำหรับเพียร์โปรเซสระดับที่ 5 เมื่อได้รับข้อมูล (m+H7+H6) จะปะเฮดเดอร์ของตนเองเพื่อให้บริการต่างๆ แก่ผู้ใช้ระดับสูงกว่า เช่น หากข้อมูลที่ส่งเป็นแฟ้มตำรา การกำหนดจุดแบ่งแยกของแต่ละบท ซึ่งจะช่วยให้มีการส่งข้อมูลใหม่ตั้งแต่บทที่ข้อมูลเกิดการเสียหายเท่านั้น โดยไม่ต้องส่งใหม่ตั้งแต่เริ่มต้น สำหรับระดับที่ 4 เมื่อได้รับข้อมูลจากระดับ 5 แล้วอาจจะแบ่งข้อมูลยาวๆ ออกเป็นข้อมูลที่สั้นเหมาะกับการส่งผ่านเครือข่าย แล้วปะเฮดเดอร์ซึ่งเป็นข้อมูลที่ช่วยในการควบคุมการส่ง เช่น ลำดับของข้อมูล ทำให้ด้านตรงข้ามสามารถเรียงลำดับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ระดับที่ 3 จะปะเฮดเดอร์เพื่อช่วยในการหาเส้นทางเดินของข้อมูลผ่านโหนดต่างๆ ของเครือข่าย แล้วส่งข้อมูลให้แก่ระดับที่ 2 ระดับนี้นอกจากจะปะเฮดเดอร์แล้วยังปะเทรลเลอร์ (trailer) ซึ่งช่วยในการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นถูกสัญญาณรบกวนในสายรบกวนจนเสียหายหรือไม่ หลังจากนั้นจึงส่งข้อมูลให้แก่ระดับที่ 1 เพื่อส่งข้อมูลผ่านสายสื่อสารซึ่งเป็นตัวกลางส่งข้อมูลต่อไป สำหรับด้านรับเมื่อได้รับข้อมูลแล้ว แต่ละระดับชั้น จะใช้เฮดเดอร์ในระดับนั้นๆ ออก ส่งเฉพาะข้อมูลให้แก่ระดับที่สูงกว่าจากรูปที่ 2.2 จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นว่าเพียร์โปรเซสในระดับเดียวกันจะมีการส่งข้อมูลติดต่อกันด้วยกฎเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในระดับนั้น เพื่อให้การส่งข้อมูลเป็นไปได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การส่งข้อมูลนี้เสมือนกับมีการส่งข้อมูลถึงกันโดยตรงผ่านช่องสัญญาณทางตรรกะ ในความเป็นจริง การส่งข้อมูลจะถูกผ่านมายังระดับที่ต่ำกว่าและถูกส่งถึงกันจริงโดยผ่านสื่อตัวกลางเท่านั้น

4.1.1 การบริการแบบการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง (Connection – oriented) และการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless)

การให้บริการของระดับชั้นที่ต่ำแก่ระดับชั้นที่สูงกว่าแบ่งออกได้เป็น 2 แระเภท ประเภทแรกเรียกว่า การบริการแบบการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง(Connection-oriented) ซึ่งคล้ายกับการบริการของระบบโทรศัพท์ เมื่อต้องการติดต่อกับใคร จะต้องสร้างการติดต่อ(Connection-oriented)โดยหมุนหมายเลขโทรศัพท์ติดต่อเรียกไปยังฝ่ายรับ เมื่อฝ่ายรับๆ แล้วจะสามารถติดต่อสนทนากันได้โดยข้อความที่ถึงผู้รับจะเรียงลำดับเช่นเดียวกับข้อความกับจากผู้ส่ง เมื่อสนทนาจบแล้ว จะมีการวางหู(disconnection) มีลักษณะเดียวกันกับการบริการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง ผู้ใช้บริการต้องสร้างการติดต่อก่อนโดยอาศัยแอดเดรสของผู้รับ เมื่อมีการติดต่อแล้ว จะเหมือนกับมีช่องหรือท่อให้ข้องมูลผ่าน ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งเรียงลำดับกันไปผ่านช่องหรือท่อนั้นโดยข้อมูลที่ส่งไปนั้นไม่จำเป็นต้องมีแอดเดรสของผู้รับอีก หลังจากส่งข้อมูลแล้วจะเลิกการติดต่อสำหรับการบริการแบบการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง จะคล้ายกับการบริการของระบบไปรษณีย์ ซึ่งการส่งจดหมายแต่ละฉบับไม่ต้องมีการสร้างการติดต่อกับผู้รับก่อน จดหมายแต่ละฉบับจะต้องมีที่อยู่ของผู้รับปะไปด้วย และจดหมายฉบับต่างๆ ที่ถูกส่งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนั้นอาจถูกส่งผ่านเส้นทางไม่เหมือนกัน ทำให้จดหมายฉบับต่างๆ ของผู้ส่งที่ไปถึงผู้รับเป็นแบบไม่เรียงตามลำดับได้ ซึ่งเหมือนกับการให้บริการแบบการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ไม่ต้องมีการสร้างการติดต่อของการส่ง การส่งข้อมูลแต่ละครั้งจะต้องมีการปะแอดเดรสของผู้รับ และข้อมูลแต่ละครั้งก็อาจถูกส่งไปตามเส้นทางแตกต่างกันไป ทำให้ข้อมูลที่ไปถึงผู้รับอายมีลำดับแตกต่างจากลำดับการส่ง การบริการทั้งสองแบบนี้จังแบ่งออกได้ตามคุณภาพของการให้บริการกล่าวคือ การบริการอาจเป็นแบบเชื่อถือได้ ซึ่งผู้ให้บริการรับประกันว่าจะไม่มีข้อมูลเสียหายสูญหายหรือข้อมูลซ้ำ การบริการแบบนี้มักจะทำได้โดยการให้ผู้ตอบรับ(acknowledge) ข้อมูลที่ได้รับ ทำให้ผู้ส่งแน่ใจได้ว่าข้อมูลถึงผู้รับแล้ว การใช้บริการแบบการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่องที่เชื่อถือได้ เช่น การส่งแฟ้มข้อมูล (file transfer) ซึ่งผู้ส่งต้องการให้ข้อมูลถูกส่งครบถ้วนถูกต้องและเรียงลำดับ นอกจากนี้การบริการแบบ การเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง ที่เชื่อถือได้นี้อาจแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือแมสเสจสตรีม (message stream) และไบท์สตรีม (byte stream) สำหรับแมส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสจสตรีมมีการกำหนดขอบเขตขนาดข้อมูลที่ส่งเช่น การส่งข้อมูลเป็นบล็อก บล็อกละ 1 กิโลไบท์ ซึ่งหากมีการส่ง 2 บล็อก ข้อมูลจะถึงด้านรับ 2 บล็อก บล็อกละ 1 กิโลไบท์ ส่วนแบบไบท์สตรีม (byte stream) นั้นจะเป็นการส่งข้อมูลเป็นไบท์ติดต่อกันไป โดยไม่บ่งบอกถึงขอบเขตของบล็อกข้อมูล ดังนั้น แบบนี้เมื่อผู้รับได้รับข้อมูล 2 กิโลไบท์ ผู้รับจะไม่ทราบว่าผู้ส่งส่งมาสองชุด ชุดละหนึ่งกิโลไบท์ สำหรับแบบ แมสเสจสตรีมนั้นเหมาะกับการประยุกต์แบบการส่งแฟ้มข้อมูล ข้อความ เอกสาร ตำรา ซึ่งข้อมูลถูกแบ่งและส่งเป็นหน้าๆส่วนในการล๊อกอินของเทอร์มินัลเข้าสู่โฮสต์ ซึ่งมีการทยอยส่งข้อมูลที่ละตัวอักษร โต้ตอบระหว่างเทอร์มินัลกับโฮสต์นั้นอาจเป็นแบบไบท์สตรีมได้ เนื่องจากการบริการแบบเชื่อถือได้ มักทำโดยมีการตอบรับของผู้รับและการส่งการตอบรับนี้ ทำให้เกิดการล่าช้า ซึ่งสำหรับงานประยุกต์บางอย่าง เช่น การส่งข้อมูลเสียง ผู้ใช้ต้องการได้พูดคุยส่งข้อมูลต่อเนื่องกันโดยไม่มีการล่าช้าขาดตอน ถึงแม้ว่าข้อมูลบางส่วนจะเสียหาย หรือสูญหายไปบ้าง งานประยุกต์เช่นนี้ ต้องการใช้การบริการที่รวดเร็วถึงแม้จะไม่รับประกันว่าข้อมูลถูกต้อง กล่าวคือ เป็นการบริหารแบบการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง ที่ไม่น่าเชื่อถือ (unreliable service) ได้ สำหรับการบริการแบบการเชื่อมต่อไม่ต่อเนื่อง (Connectionless) นั้นเหมาะสำหรับงานประยุกต์ เช่น ระบบจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องสร้างการติดต่อระหว่างผู้ส่งกับผู้รับก่อน นอกจากนั้นผู้ส่งจดหมายบางรายอาจไม่ต้องการการส่งแบบน่าเชื่อถือ เพราะการส่งแบบนั้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งการบริหารแบบ Connectionless ที่ไม่รับประกันความน่าเชื่อถือนี้เรียกว่าดาต้าแกรมเซอร์วิส (Datagram Service) ซึ่งคล้ายกับการบริหารส่งโทรเลขนั่นเอง แต่ในบางอย่างผู้ใช้อาจต้องการบริการแบบการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง ที่มีการตอบรับยืนยันการรับข้อมูลด้วย ตัวอย่างของงบานประเภทนี้ เช่น การส่งจดหมายลงทะเบียน เป็นต้น ซึ่งการบริการแบบนี้เรียกว่า แอคโนเลจดาต้าแกรมเซอร์วิส (Acknowledged datagram service) การบริการแบบการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง มีลักษณะหนึ่งคือด้านหนึ่งส่งข้อความเพื่อสอบถาม (Request) ข้อมูลบางอย่างอีกด้านหนึ่ง ซึ่งเมื่อได้รับข้อความสอบถามแล้วก็ค้นหาข้อมูลแล้วส่งข้อมูลตอบกลับ Reply) ไปให้ เมื่อข้อมูลตอบกลับมาถึงด้านที่ส่งตอนแรกก็จะทราบทันทีว่าข้อมูลที่ส่งไปตอนแรกได้ถึงยังปลายทางแล้ว เรียกการบริการในลักษณะนี้ว่า การบริการร้องขอโต้ตอบ (Request-Reply service) โดยแสดงดังรูปแบบต่างๆของการบริการของระดับชั้นล่างที่ให้แก่ระดับชั้นที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection-oriented	Massage stream แบบเชื่อถือได้	การส่งเอกสารเป็นหน้าต่อๆ กันไป
	byte stream แบบเชื่อถือได้	การล๊อกอินเข้าสู่โฮสต์
	แบบ Connection ที่ไม่น่าเชื่อถือ	ข้อมูลเสียง
Connectionless	datagram แบบไม่น่าเชื่อถือ	จดหมายอิเล็กทรอนิกส์
	datagram แบบเชื่อถือได้	จดหมายลงทะเบียน
	Request-Reply	การสอบถามฐานข้อมูล

รูปที่ 4-1 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการให้บริการ

4.2 ตัวแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบโอ เอส ไอ (OSI Model)

องค์ประกอบมาตรฐานสากล ISO (International Organization for Standardization) ได้กำหนดมาตรฐานของเครือข่าย โดยจัดแบ่งกิจกรรมของเครือข่าย ออกเป็นงานย่อยๆ และกำหนดโมเดลแบ่งเป็นชั้นๆ ตามลำดับเรียกว่ามาตรฐาน OSI (Open System Interconnection) โดยที่จะแบ่งกิจกรรมที่ซับซ้อนในเครือข่าย ออกเป็นย่อยๆ ก็จะช่วยในการออกแบบ และการใช้งานเครือข่ายรวมถึงการเชื่อมโยงกัน เป็นไปได้ด้วยความสะดวก และมีวิธีการทำงานอยู่ในกรอบเดียวกัน ดังรูป

Application Layer
Presentation Layer
Session Layer
Transport Layer
Network Layer
Datalink Layer
Physical layer

รูปที่ 4-2 แสดงการแบ่งการทำงานของเครือข่ายออกเป็น OSI model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละชั้นของ OSI model จะมีการติดต่อสื่อการกันเป็นชั้น ตามลำดับลงมาเช่น Application Layer ก็จะติดต่อสื่อสารกับ Presentation Layer ตามลำดับไปจนถึงชั้นแรกสุด คือ Physical Layer

Application Layer เป็นชั้นบนสุดของโมเดลเป็นส่วนที่จะทำให้การติดต่อระหว่างเครือข่ายกับผู้ใช้เป็นไปตามต้องการตัวอย่างแอปพลิเคชั่นของเครือข่าย เช่น ระบบ e- mail, การโอนถ่ายข้อมูล (File Transfer) การขอใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายเป็นต้น

Presentation Layer มีการกำหนดหน้าที่ไม่ชัดเจนและมีการนำไปใช้ไม่มาก ซึ่งหน้าที่หลักก็คือเป็นส่วนที่จัดรูปและนำเสนอข้อมูล ให้เป็นไปตามต้องการ รวมไปถึงการจัดแจงข้อมูลในรูปแบบมาตรฐาน ASCII หรือ EBCDIC การลดขนาดข้อมูล การเข้ารหัส หรือ Session ให้ระบบคอมพิวเตอร์ทั้งสองฝั่งโดยทำหน้าที่เริ่มการติดต่อ ดูแลในการส่งผ่านข้อมูล ในการติดต่อครั้งนั้นๆ เป็นไปได้โดยไม่มีปัญหา จนถึงเลิกการติดต่อเมื่อเสร็จงาน

Transport Layer ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณ และรายละเอียดการรับส่งข้อมูล ให้เป็นไปตามกำหนดที่ตั้งไว้ และจัดการให้การเชื่อมโยงเครือข่ายเป็นไปด้วยความราบรื่น Transport Layer จะเป็นชั้นสุดท้ายที่จัดการเรื่องเส้นทางในการส่งข้อมูล และจัดการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลซึ่งส่วนของ TCP (Transmission Control Protocol) ในโปรโตคอล TCP/IP ทำหน้าที่ระดับนี้

Network Layer ทำหน้าที่ควบคุมวิธีการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครือข่ายให้ถูกต้อง และเป็นไปตามเส้นทางที่กำหนด โดยจะจัดการส่งผ่าน Packet ข้อมูลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ไปยังเครือข่ายย่อยได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ นอกจากนี้จังจัดการดูแลเส้นทางในการส่งข้อมูล และกลั่นกรอง packet ข้อมูลที่ส่งไปยังเครือข่ายเดียวกันไม่ให้ข้ามไปยังเครือข่ายอื่น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณข้อมูลที่จะวิ่งบนเครือข่ายได้ส่วนหนึ่ง โปรโตคอล IP, TCP/IP และ IPX เป็นโปรโตคอลที่ทำงานอยู่ใน Layer นี้

Data link Layer ทำหน้าที่เรียกใช้หรือกำหนดช่องทาง ในการส่งข้อมูลที่ถูกต้อง เช่น Ethernet, Token ring หรือ FDDI เป็นต้น รวมถึงการลำดับและอัตราการรับข้อมูลหรือ flow control และสถานที่ที่จะส่งข้อมูลไป (Address) ทั้งนี้ Data link Layer จะเป็นชั้นแรกที่จัดการแปลงข้อมูลจาก bit เป็น packet โดยจะมีการเพิ่มข้อมูลเพื่อตรวจสอบผ่าน checksum เพื่อดูว่าข้อมูลที่ได้รับมาถูกต้องครบถ้วน และถ้าได้รับ packet ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องก็จะไม่ถูกต้องก็จะไม่เอาข้อมูลนี้ไปใช้งานและบอกให้ต้นทางส่งข้อเดิมมูลมาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Layer รับผิดชอบดูแลในรายละเอียดในการส่งข้อมูลในด้าน hardware เช่น การควบคุม Network Interface Card การส่งสัญญาณแบบต่างๆ การเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย ต่างๆ โดยใช้ Physical Layer จะจัดสร้างสัญญาณทางไฟฟ้า, สัญญาณเสียง หรือสัญญาณที่ จำเป็นในการสื่อสารโดยตรง

4.3 หลักการโปรโตคอลของ TCP/IP

หลักการของ TCP/IP ซึ่งเป็นชุด Protocol ไว้ใช้ในการส่งผ่านเครือข่าย Internet สำหรับ งาน Internet Communication

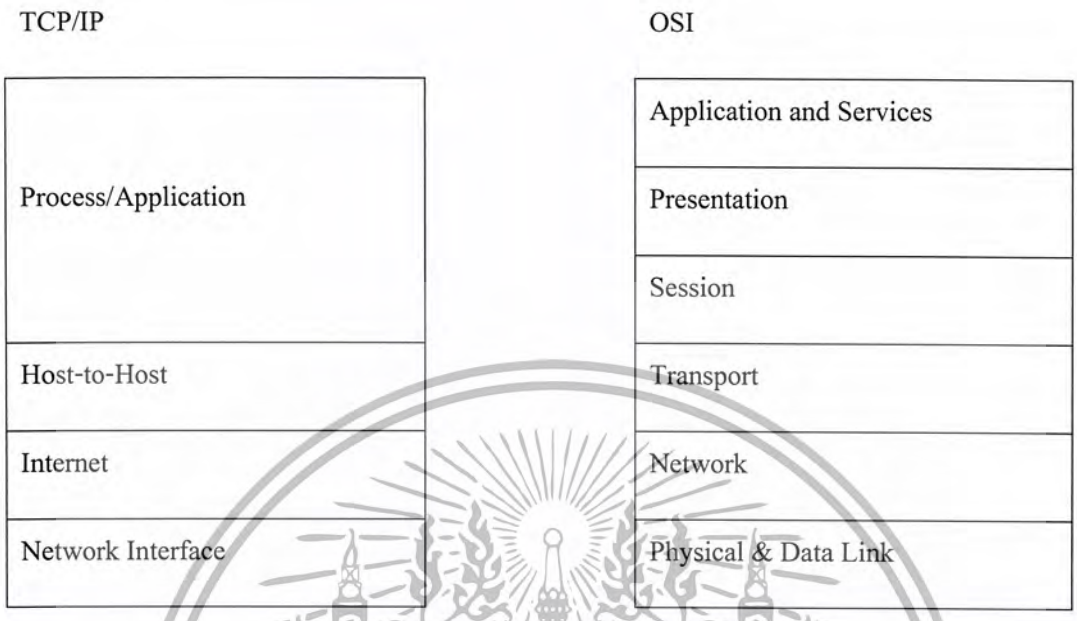
Application Programming ที่ส่วนมากใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับ TCP/IP Programmer คือ Windows Sockets Library ซึ่งได้ถูกใช้ในการส่งออกที่ Internet สำหรับการใช้ สิ่งแวดล้อม TCP/IP Application จะแสดงให้เห็นว่าแม้การติดต่อ ที่เป็นงานหนัก เมื่อใช้ TCP/IP หรือ Protocol อื่นๆ สำหรับการส่งค่าจริงๆ ของข้อมูลอย่างไรก็ตามในปัจจุบัน Winsock Implementation จะจำกัดการใช้งานของ Windows Sockets ในการติดต่อกับ TCP/IP

โปรโตคอล TCP/IP มีกลไกการทำงานเป็นชั้นหรือ Layer เรียงต่อกัน โดยในแต่ละ Layer จะมีการทำงานเทียบได้กับ OSI Model มาตรฐาน แต่บาง Layer ของโปรโตคอล TCP/IP จะทำงานเทียบกับ OSI หลาย Layer ปนกันซึ่งในแต่ละ Layer ของโปรโตคอล TCP/IP จะ ประกอบด้วย

- Process layer
- Host-to-Host layer
- Internetworking layer
- Network Interface layer

โดยเทียบกับมาตรฐาน OSI model แล้วจะเป็นดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเราจะเห็นว้าบางกลไก ของโปรโตคอล TCP/IP เทียบได้กับมาตรฐาน OSI model สองชั้น หรือบางกลไกก็จะทำงาน คาบเกี่ยวกันระหว่างบางชั้นของ OSI model ตัวอย่างเช่น กลไกก็จะทำงาน TCP/IP ในส่วน Network Interface layer เมื่อเทียบกับมาตรฐาน OSI model จะเทียบได้กับ data Link layer และ Physical layer 2 ชั้นรวมกัน เป็นต้น ในแต่ละกลไหของโปรโตคอล TCP/IP จะมีโปรโตคอล อื่นๆ ชุดของ TCP/IP ร่วมทำงานอยู่ด้วย ซึ่งกล่าวโดยละเอียดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 แสดง TCP/IP stack เปรียบเทียบกับมาตรฐาน OSI

4.3.1 Process layer

จากรูปแบบลำดับชั้นการทำลานของโปรโตคอล TCP/IP เทียบกับมาตรฐาน OSI model นั้น ในชั้นบนสุดเรียกว่า Process layer ทำงาน 2 หน้าที่เทียบได้กับ Application layer และ Presentation layer ในชั้นนี้จะรองรับการทำลานของ Application ต่างๆ ที่ทำงานเป็นโปรเซส อยู่ในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการและเครื่องที่ขอใช้บริการหรือไคลเอนต์ (client) ซึ่งจะติดต่อกันผ่านโปรโตคอลเฉพาะแอพพลิเคชั่นอีกทีหนึ่ง ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ใช้งานอินเตอร์เน็ตต้องการโอนถ่ายไฟล์หรือ download ข้อมูลจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ โดยอาจจะเรียกใช้โปรแกรม ftp client ทั่วไป เช่น โปรแกรม WS ftp ติดต่อกับโปรเซส FTP (ftp transfer protocol) เพื่อทำการโอนถ่ายไฟล์นี้ หรือถ้าผู้ใช้ต้องการเรียกใช้งานคอมพิวเตอร์เครื่อง ที่อยู่ห่างไกลออกไปด้วยการใช้โปรแกรม telnet ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ ใช้บริการ ตัวโปรเซส telnet ที่อยู่ก็จะเรียกใช้โปรโตคอล Telnet เพื่อติดต่อกันหรือ มนกรณีที่มีการเรียกใช้โปรแกรม web browser เช่น Netscape Navigator เพื่อเรียกดูเว็บเพ็จในเว็บไซต์ CNN ที่เครื่องซึ่งให้บริการเว็บของ CNN ก็จะมีโปรเซส HTTP ทำงานอยู่และจะติดต่อกับผู้ใช้ผ่านโปรโตคอล HTTP เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของแอพพลิเคชั่นต่างๆ จะอยู่ที่ Process layer นี้ และมีการติดต่อกันตามแต่โปรโตคอลเฉพาะแล้วแต่แอพพลิเคชั่นที่ใช้งาน จากการที่ Process layer ของ TCP/IP รองรับให้โปรโตคอลอื่นทำงานได้หลายโปรเซส และหลายโปรโตคอลได้พร้อมกันนั้น ทำให้ผู้ใช้สามารถเปิดโปรแกรมใช้งานได้หลายๆ อย่างพร้อมกัน เช่น เปิดโปรแกรม Internet Explorer เพื่อเรียกดูเว็บเพ็จพร้อมกับใช้งานโปรแกรม Outlook Express เพื่อรับส่งอีเมล์ไปพร้อมกันได้ โดยไม่ต้องรอให้ทำงานอย่างหนึ่งอย่างใดให้เสร็จก่อนหรือในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรม web browser ให้สามารถเรียกใช้งานโปรโตคอล FTPO ได้โดยไม่ต้องไปหาโปรแกรมอื่นมาใช้

โปรโตคอลหลักๆ ที่ทำงานใน Process layer ซึ่งผู้ใช้มักจะคุ้นเคยกันดีได้แก่ FTP, Telnet, HTTP และ SMTP นอกจากนี้ยังมีโปรโตคอลอื่นมีอยู่เบื้องหลัง ซึ่งทำงานโดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นได้จากโปรแกรมหรือไม่ได้มีการใช้งานโดยตรง เช่น

- โปรโตคอล DNS (Domain Name System) ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลชื่อ domain name หรือชื่อเว็บไซต์ทั้งหลายให้เป็นหมายเลข IP address
- โปรโตคอล SNMP (Simple Network Management Protocol) ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่าย
- โปรโตคอล DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) ทำหน้าที่แจกจ่ายข้อมูลพารามิเตอร์ของเครือข่ายให้กับเครื่องลูกข่ายที่เชื่อมต่ออยู่

4.3.2 Host-to-Host layer

ผู้ใช้งานอินเตอร์เน็ตเคยสงสัยหรือไม่ว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการต่างๆ เช่น เว็บเซิร์ฟเวอร์นั้น เมื่อมีผู้เข้ามาเรียกใช้บริการพร้อมกันหลายคน จะมีวิธีการส่งข้อมูลกลับไปยังต้นทางได้อย่างไร โดยไม่ผิดพลาด ซึ่งบางครั้งผู้ใช้รายหนึ่งอาจจะเปิดโปรแกรม Web browser ซ้อนกันเพื่ออ่านข้อมูลจากเว็บเพ็จอื่นๆ พร้อมกันไปได้ ดังนั้นระบบจะทราบได้อย่างไรถึงการจัดส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

การทำงานที่ชั้นของ Host-to-Host layer นี้จะมีบทบาทในการจัดการต่อจาก Process layer บางครั้งเราเรียกชั้น Host-to-Host ว่าเป็น Transport layer ซึ่งไม่ใช้ชั้นของ Transport layer ในมาตรฐาน OSI model การทำงานของ Host-to-Host นี้จะมีการสร้าง connection หรือการเชื่อมต่อกันระหว่างแอพพลิเคชั่น กับ Host-to-Host layer โดยจุดที่เชื่อมกันเพื่อรับส่งข้อมูลนี้เรียกว่า port หรือ docket (คำว่า port ในที่นี้ไม่ได้หมายถึง port ทางฮาร์ดแวร์) และในแต่ละแอพพลิเคชั่น ก็จะสร้างการเชื่อมต่อผ่าน port ได้พร้อมกันหลายแอพพลิเคชั่น ซึ่งการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

port ของแต่ละแอพพลิชั่นที่อยู่ในชั้น Process layer จะแตกต่างกันตามหมายเลขที่กำหนดไว้ และแต่ละโปรโตคอลจะมีการใช้งาน port หมายเลขต่างๆ ไม่ซ้ำกัน

เมื่อ แอพพลิเคชั่นทำงานผ่านโปรโตคอลในชั้น Process layer จะมีการส่งผ่านข้อมูลไปยัง Host-to-Host layer ที่ชั้นนี้จะมีการเชื่อมต่อผ่าน port ที่กำหนด ทำให้การรับส่งข้อมูลในแต่ละโปรโตคอลทำได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการจะมีการทำงานอยู่หลายโปรเซสที่แตกต่างกันก็ตาม หรือมีผู้ใช้บริการเข้ามาใช้งานพร้อมกันจำนวนมากและหลายแอพพลิเคชั่นในเวลาเดียวกัน ในชั้น Host-to-Host หรือ Transport layer ของ TCP/TP นี้จะมีโปรโตคอลทำงานอยู่ 2 โปรโตคอลที่แตกต่างกันคือ โปรโตคอล TCP และ โปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) ในการส่งผ่านข้อมูลลงไปที่ชั้นถัดๆ ไปเราจะเห็นว่าโปรโตคอล TCP และ UDP จะถูกผนึกเข้าไปในโปรโตคอล IP อีกทีหนึ่งและส่งต่อไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ตต่อไป

ตัวโปรโตคอล TCP และโปรโตคอล UDP จะมีแอพพลิเคชั่น เฉพาะเพื่อเรียกใช้งานแยกกันคือ แอพพลิเคชั่นที่ใช้โปรโตคอล FTP, Telnet, HTTP และ SMTP จะมีการส่งผ่านข้อมูลโดยเรียกใช้โปรโตคอล TCP ส่วนแอพพลิเคชั่นที่ใช้โปรโตคอล UDP และสำหรับโปรโตคอล DNS นั้นจะสามารถเรียกใช้งานได้ ทั้ง TCP และ RDP ดังรูปซึ่งเหตุผลที่มีการเรียกใช้โปรโตคอล TCP และ UDP แตกต่างกัน ก็เนื่องจากวิธีการทำงานของทั้งสองโปรโตคอลต่างกันนั่นเอง

4.3.3 Internetworking Layer

ในระดับล่างต่อมาในชั้น Internetworking layer มีหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลในระหว่างเครือข่ายโดยมีโปรโตคอลที่ทำงานเป็นกลไกสำคัญในการส่งผ่านข้อมูลไปยังเครือข่ายใดๆบนอินเตอร์เน็ตคือ โปรโตคอล IP (Internet Protocol) นอกจากนี้ในชั้น Internetworking layer ยังมีโปรโตคอลทำงานอยู่ด้วยอีก 2 ชนิด คือ โปรโตคอล Internet control Message protocol (ICMP) และโปรโตคอล Address Resolution Protocol (ARP)

4.3.4 Network Interface Layer

เนื่องจากในด้านกายภาพของเครือข่ายนั้นมีหลายวิธีการและหลายรูปแบบในการเชื่อมต่อระบบให้เป็นเครือข่าย แต่อย่างไรก็ตามในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนี้ ข้อมูลหรือ IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

datagram จะถูกถ่ายทอดและส่งผ่านไปยังปลายทางโดยไม่คำนึงถึงรูปแบบการเชื่อมต่อทางกายภาพ ไม่เป็นการใช้เครือข่ายใยแก้วนำแสงหรือเครือข่ายสาย Unshielded Twist Pair (UTP) เชื่อมต่อเป็นแบบเครือข่าย Ethernet ธรรมดาหรือเครือข่าย Token Ring, ATM, ISDN ฯลฯ ก็ตาม

การทำงานระดับล่างสุดต่อจาก Internetworking layer จะเป็นการแปลงข้อมูล IP datagram ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครือข่ายต่อไปซึ่งในชั้น Network Interface layer นี้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน OSI model และจะเป็นการรวม 2 Layer เข้าด้วยกัน คือ Data link layer และ Physical layer กล่าวโดยสรุปคือการทำงานในชั้นต่างๆ ตามโครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP

กล่าวโดยสรุปก็คือ โปรโตคอล TCP/IP ทำงานโดยแบ่งชั้นเทียบกับ OSI model ได้กลไกในการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP มี 4 ชั้น ซึ่งในชั้นแรก คือ Process layer ทำหน้าที่ติดต่อกับแอพพลิเคชั่นนั้นๆ ใช้งานและ ส่งต่อมาให้ชั้น Host-to-Host layer เพื่อติดต่อกันระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องผู้ขอใช้บริการ ในชั้นนี้จะมีการสร้าง Session หรือการเชื่อมต่อระหว่างระบบขึ้นตามแต่ละโปรโตคอลที่ต้องการ ต่อมาเป็นการผนึกข้อมูลไปเป็น IP datagram ที่ชั้น Internetworking layer โดยอาศัยโปรโตคอล IP เพื่อให้สามารถติดต่อส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปยังเครือข่ายและเครื่องที่ถูกต้องได้ และสุดท้ายการส่งข้อมูลออกสู่โลกภายนอกต้องอาศัยกลไกในชั้น Network Interface layer เพื่อแปลงข้อมูลใหม่ เพิ่มข้อมูลใหม่ที่จำเป็นในการอ้างอิงตำแหน่งและแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งออกไปเครือข่าย และอาจจะออกไปยัง Gateway หรือ Router เพื่อข้ามเครือข่ายออกไปยังเส้นที่กำหนดไว้เพื่อผ่านข้อมูลไปยังระดับล่างและออกสู่เครือข่ายอินเตอร์เน็ตในที่สุด

ตารางสรุปหมายเลขบางส่วนของ Port ที่ใช้งานโดย TCP และ UDP เราจะเห็นว่าในแต่ละชั้นของโครงสร้าง TCP/IP Stack มีการใช้งานโปรโตคอลต่างอยู่หนึ่งโปรโตคอล

4.4 โปรโตคอล TCP

โปรโตคอล TCP (Transmission Control Protocol) เป็นโปรโตคอลที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ stream oriented protocol หมายความว่า การรับส่งข้อมูลจะไม่คำนึงถึงปริมาณที่จะส่งไป แต่จะแบ่งข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆ ก่อน แล้วจึงจะส่งไปยังปลายทางอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับข้อมูล ในกรณีที่ข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งสูญหายไป ก็จะส่งข้อมูลส่วนนั้นใหม่อีกครั้ง สำหรับปลายทางก็จะทำหน้าที่จัดเรียงส่วนของข้อมูล Datagram ใหม่ให้ต่อเนื่องกันและประกอบกลับเป็นข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดได้ ซึ่งจะแยกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องออกดังนั้นแอพพลิเคชั่นหรือโปรเซสเซอร์ใดที่อาศัยการส่งผ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล TCP จะต้องใช้หน่วยความจำและขนาดของช่องสัญญาณ (bandwidth) มากกว่า UDP

การติดต่อระหว่างกันจะต้องเป็นแบบ Connection-oriented คือต้องมีการสร้างการติดต่อกันเป็น session ทั้ง 2 ด้านเสียก่อน แล้วจึงจะรับส่งข้อมูลไปได้พร้อมกัน (full duplex) เหมือนกันการใช้โทรศัพท์ติดต่อกัน เมื่อผู้ติดต่อต้นทางเรียกให้ฝ่ายตรงข้ามรับสายแล้ว จึงเริ่มสนทนา เช่น พูดคำว่า สวัสดี หรือ ฮัลโหล กันก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าฝ่ายตรงข้ามพร้อมจะติดต่อด้วย จากนั้นจึงเริ่มต้นติดต่อกัน และเมื่อต้องการจะเลิกการติดต่อก็จะมีการพูดคำว่า สวัสดี, ให้ฝ่ายตรงข้ามทราบว่าจะเลิกการติดต่อและวางสายไป ซึ่งในระหว่างการติดต่อกันนั้น แม้ว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายจะเงียบไป คือ ไม่พูดอะไรเป็นเวลานานๆ แต่การเชื่อมโยงระหว่างทั้งสองด้านยังคงมีอยู่ไม่ขาดไปจนกว่าฝ่ายหนึ่งจะวางสาย เช่น เดียวกับการติดต่อกันด้วยกลไกโปรโตคอล TCP เมื่อแอพพลิเคชั่นต้องการส่งผ่านข้อมูลจะใช้โปรโตคอลที่เหมาะสมในชั้น Process layer ติดต่อไปและมีการสร้างช่องส่งข้อผ่าน port ที่กำหนดเพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังโปรโตคอล TCP

ในระหว่างการรับส่งข้อมูลนี้ โปรโตคอล TCP จะเพิ่มขบวนการสอบทานข้อมูล (acknowledgement) และส่งข้อมูลให้ใหม่อีกครั้ง ถ้าปลายทางไม่ได้รับหรือเกิดความผิดพลาดขึ้น

ความน่าเชื่อถือของการส่งผ่านข้อมูลโดยโปรโตคอล TCP จะมีมากกว่า แต่ก็ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบมากกว่าในการทำงานเช่นกัน

0 4 8 16 24

Source Port			Destination Port	
Sequence Number				
Acknowledgement Number				
Offset	Res	Code	Window	
Checksum			Urgent Pointer	
Option				Padding
DATA				

รูปที่ 4-4 รูปแบบของ TCP packet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ามีฟิลด์ Acknowledgement Number และข้อมูล Checksum เพื่อใช้ตรวจสอบการเดินทางของข้อมูล ส่วน Header มีข้อมูลมากทำให้ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบทำงานมาก

4.5 โปรโตคอล UDP

ใน Host-to-Host layer นอกจากจะมีโปรโตคอล TCP ทำงานแล้ว ก็ยังมีโปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันอยู่ด้วยในการรับส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล UDP จะเป็นแบบที่ทั้งสองด้านไม่จำเป็นต้องอาศัยการสร้างช่องทางเชื่อมต่อกัน (connectionless) ระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องที่ขอใช้บริการ โดยไม่ต้องแจ้งให้ฝ่ายรับข้อมูลเตรียมรับข้อมูลเหมือนโปรโตคอล TCP และไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนในการรับส่งข้อมูลนั้นๆ ด้วย เนื่องจากโปรโตคอล UDP ไม่สัญญาณสอบทานข้อมูล (acknowledgement) ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้งและไม่มีการส่งข้อมูลใหม่อีกในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของการส่งข้อมูล เมื่อเป็นเช่นนี้แอพพลิเคชั่นหรือโปรเซสใดที่ต้องอาศัยโปรโตคอล UDP ในการส่งผ่านข้อมูลก็อาจจะต้องสร้างขบวนการตรวจสอบข้อมูลขึ้นมาเอง

จะเห็นว่าโปรโตคอลชั้นบนขึ้นไปที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลโดยโปรโตคอล UDP เช่น โปรโตคอล SNMP (ใช้ควบคุมและจัดการอุปกรณ์ในเครือข่าย หรือโปรโตคอล DHCP ใช้ส่งข้อมูลพารามิเตอร์ของเครือข่ายให้กับเครื่องลูกข่ายได้ใช้งาน) การส่งข้อมูลเหล่านั้นไม่ต้องรับทราบหรือตรวจสอบว่าข้อมูลไปถึงปลายทางถูกต้องหรือไม่ แต่กลไกการตรวจสอบข้อมูลที่มีการรับส่งจะไปทำในขั้นตอนของโปรโตคอลชั้นที่สูงกว่าแทน

ตัวอย่างขั้นตอนกลไกการทำงานโดยใช้โปรโตคอล UDP มีดังต่อไปนี้

1. ในชั้นของ Process layer เมื่อโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์เครือข่ายเช่น โปรแกรม Network management ต้องการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการ แอพพลิเคชั่นนั้นจะติดต่อผ่านโปรโตคอล SNMP ในชั้น Process layer
2. โปรโตคอล SNMP จะติดต่อกับโปรโตคอล UDP ในชั้นถัดไป เพื่อขอติดต่อผ่าน port ที่กำหนด
3. โปรโตคอล SNMP เตรียมข้อมูลที่จะส่ง รวมทั้งที่อยู่ปลายทาง
4. โปรโตคอล SNMP ส่งผ่านข้อมูลให้โปรโตคอล UDP ที่อยู่ในชั้น Host-to-Host layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โปรโตคอล UDP ทำหน้าที่ผนึกข้อมูลหรือ datagram นั้น ไปกับโปรโตคอล IP ในชั้นถัดลงไป เพื่อส่งข้อมูลออกจากเครื่อง

ซึ่งจะเห็นว่ากลไกที่ต่างจากการส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล TCP ซึ่งจะต้องมีการติดต่อกันก่อน และทั้งสองฝ่ายรับทราบการรับส่งข้อมูลของช่องการส่งข้อมูลนั้น

บิตที่ 0 16

Source Port	Destination Port
Length	UDP Checksum
DATA	

รูปที่ 4-5 รูปแบบของ UDP packet

จะมีฟิลด์ข้อมูลส่วน header น้อยมากและไม่ข้อมูลส่วนการตรวจสอบข้อมูล ทำให้ UDOP packet มีขนาดเล็กและใช้หน่วยความจำหรือทรัพยากรของระบบน้อย

4.6 โปรโตคอล IP

โปรโตคอล IP ทำหน้าที่ให้บริการส่งผ่านข้อมูลที่มาจาก Host-to-Host layer เพื่อส่งข้ามไปยังเครือข่ายใดๆ ได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าจะมีเครือข่ายเชื่อมต่อกันอยู่ในอินเตอร์เน็ตเป็นล้านๆ เครือข่ายก็ตาม เนื่องจากโปรโตคอล IP มีข้อมูลตำแหน่ง IP ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไป โดยทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Router เพื่อส่งข้อมูลผ่านสวิตซ์(switch) ไปยังปลายทาง ตัววงจรผ่านหรือ switch นี้อาจเป็น Gateway หรือ Router ในระบบเครือข่ายก็ได้ ซึ่งในข้อมูลของโปรโตคอล IP จะมีข้อมูลของหมายเลข IP ให้เป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์ และจำเครื่องที่ถูกต้องอีกทีหนึ่งด้วยโปรโตคอล ARP ตามรูป 4-4 ที่จะแสดงการติดต่อระหว่างโปรโตคอลในชั้นของ Host-to-Host layer และ internetworking layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 โปรโตคอล ICMP

หน้าที่หลักของโปรโตคอล ICMP (Internet Control Message Protocol) คือการแจ้งหรือแสดงข้อความจากระบบ เพื่อบอกให้ผู้ใช้ทราบว่าเกิดอะไรขึ้นในการส่งผ่านข้อมูลนั้น ซึ่งปัญหาส่วนมากที่พบคือส่งไปไม่ได้ หรือปลายทางรับข้อมูลไม่ได้ เป็นต้น นอกจากนี้โปรโตคอล ICMP ยังถูกเรียกใช้งานจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์และ Router อีกด้วยเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ควบคุม ส่วนรูปแบบการทำงานของโปรโตคอล ICMP นั้นจะทำควบคู่กับโปรโตคอล IP ในระดับเดียวกัน และข้อความต่างๆ ที่แจ้งให้ทราบจะถูกผนึกอยู่ภายในข้อมูลของ IP (IP datagram) อีกทีหนึ่ง

ข้อความที่โปรโตคอล ICMP ส่งนั้นแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ ICMP error message หรือข้อความแจ้งข้อผิดพลาด และ ICMP query หรือข้อความเรียกขอข้อมูลเพิ่ม ตัวอย่างกลไกการทำงานของโปรโตคอล ICMP เช่นเมื่อ มีการส่งผ่านข้อมูลจากผู้ใช้ไปยังปลายทางที่ไม่ถูกต้อง หรือ ขณะนั้นเครื่องปลายทางเกิดปัญหาจนไม่สามารถรับข้อมูลได้ที่ Router จะส่งข้อความแจ้งเป็น ICMP message ที่ชื่อ destination unreachable ให้กับผู้ส่งข้อมูล นอกจากนี้ตัวข้อมูลที่แจ้งข้อความก็จะมีส่วนข้อมูล IP datagram ที่เกิดปัญหาด้วย ดังนั้นเมื่อผู้ส่งข้อมูลได้รับข้อความแจ้งแล้วก็จะทราบได้ว่าจุดที่เกิดปัญหานั้นอยู่ที่ใด

ดังนั้นโปรโตคอล ICMP จึงกลายมาเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการช่วยทดสอบเครือข่าย เช่น คำสั่ง ping ที่เรามักใช้ทดสอบว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการหรืออุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้นยังทำงานเป็นปกติหรือไม่ แล้วคำสั่ง ping มีการเรียกใช้งานโปรโตคอล ICMP แจ้งเป็นข้อความให้ทราบอีกต่อหนึ่ง

4.8 โปรโตคอล ARP

โปรโตคอล ARP (Address Resolution Protocol) ถูกเรียกใช้งานโดยโปรโตคอล IP เพื่อช่วยแปลงหมายเลข IP ไปเป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์ปลายทางตัวอย่างเช่น เว็บเซิร์ฟเวอร์เครื่องหนึ่งเชื่อมต่ออยู่ในเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และในการเชื่อมต่อนี้ต้องอาศัย (Network Interface Card(NIC)) หรือ LAN card ติดตั้งอยู่ ที่ LAN card นี้เองจะมีหมายเลขเฉพาะประจำฮาร์ดแวร์ที่ไม่ซ้ำ กับใครเพื่อใช้อ้างอิงการส่งข้อมูลในเครือข่าย แต่เมื่อมาใช้งานในโปรโตคอล TCP/IP ก็จะต้องมีการกำหนดหมายเลข IP address ประจำตัวเพื่อใช้อ้างอิงกัน และโปรโตคอล ARP จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่แปลงค่าหมายเลข IP ให้เป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์จริงให้ในระดับการทำงานที่ Internetworking layer นี้ซึ่งกลไกการแปลงนี้เรียกว่า Address resolution

4.9 กลไกของโปรโตคอล IP

ในการส่งผ่านข้อมูลหรือ IP datagram ไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้นโปรโตคอล IP จะทำหน้าที่พิจารณาว่าปลายทางในการส่ง IP datagram นั้นจะเป็นภายในเครือข่ายของตนเองหรือจะต้องส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปอีก โดยการพิจารณานี้โปรโตคอล IP address ปลายทางว่าส่วนที่เป็นค่าหมายเลขเครือข่าย จะเหมือนกับค่าหมายเลขเครือข่ายของ IP address ต้นทางหรือไม่ ถ้าตรงกันแสดงว่าการส่งข้อมูลอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน แต่ถ้าค่าต่างกันแสดงว่าต้องส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่อยู่คนละเครือข่ายกัน

การส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเดียวกัน มีกลไกดังนี้

1. โปรโตคอล IP จะเรียกใช้บริการโปรโตคอล ARP (address resolution protocol) เพื่อแปลงหมายเลข IP ปลายทางให้เป็นค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์ เช่น MAC address
2. เมื่อโปรโตคอล IP รับค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์แล้ว ก็จะส่งข้อมูลนั้นไปยังฮาร์ดแวร์ที่ระบุไว้

การส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย มีกลไกดังนี้

1. โปรโตคอล IP จะตรวจสอบพบว่าหมายเลข IP address ปลายทางอยู่คนละเครือข่ายกันโดย โปรโตคอล IP จะอ่านค่า IP address ของ Router เพื่อเตรียมส่งข้อมูลไปที่ Router แทนซึ่งในที่นี้จะมีการกำหนดเป็น default router
2. โปรโตคอล IP จะเรียกใช้บริการโปรโตคอล ARP เพื่อแปลงค่า IP Address ของ Router ให้เป็นค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์
3. โปรโตคอล IP ส่งข้อมูล IP datagram ไปยัง Router ที่กำหนดไว้ จากนั้น Router ส่งข้อมูลเครือข่ายไปตามขั้นตอน

4.9.1 IP Datagram

หัวใจหลักของการส่งข้อมูล TCP/IP คือ IP datagram ซึ่งจะเป็นชุดของข้อมูลซึ่งประกอบด้วย source, address ปลายทาง, Type of Service Information, User data และ Error Correction information IP datagram จะประกอบด้วยส่วนของ Header Block ของข้อมูลซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสามารถที่จะกำหนดขึ้นอยู่กับชนิดของ Service และความต้องการของผู้ใช้ ในส่วน Header จะประกอบด้วยชุดของ well-Defined Field

Header	Version	Header Length		Type of service
	Total Length			
	Identification			
	D	M	Fragment offset	
	Time to live			Protocol
	Head Checksum			
	Source IP Address			
	Destination IP Address			
	Option			
Data	DATA			

รูปที่ 4-6 แสดง IP datagram และ IP Header

หน่วยข้อมูล IP (IP datagram) แต่ละหน่วยจะประกอบด้วย ส่วนของข้อมูลที่รับมาจากส่วนงาน TCP หรือ UDP และส่วนของข้อมูลนำทาง (Header) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- Version หมายถึงรุ่นของข้อกำหนด IP
- Header Length ความยาวของข้อมูลนำทาง
- Type of service วิธีการจัดการกับข้อมูล
- Total Length ความยาวของหน่วยข้อมูล
- Identification, Flags และ Fragment offset รายละเอียดที่เกี่ยวกับการแบ่งย่อยข้อมูล ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการรวบรวมข้อมูล
- Time to live เวลาสูงสุดที่ใช้ในการเดินทาง ซึ่งกำหนดมาจากต้นทาง เวลานี้จะลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างทางถ้าลดลงไปถึงศูนย์ หน่วยข้อมูลนั้นจะถูกกำจัดไป
- Protocol ชนิดของข้อมูลเป็น UCP หรือ TCP
- Header Checksum ค่าตรวจสอบข้อมูลนำทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- IP address หมายเลข internet wide IP (NSP) ของเครื่องต้นทางและปลายทาง
- Option ข้อมูลอื่นๆ เช่นข้อมูลที่เกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย บันทึกเส้นทางเดินของข้อมูลและเวลาที่ข้อมูลเดินทางมาถึง เป็นต้น

4.9.2 IP Header

ในส่วนหัวของ IP datagram หรือ IP Header โดยส่วนมากจะประกอบด้วย 20 bytes ตามรูปที่ 4-7 จะแสดง IP Header

ตามรูปที่ 4-7 ครั้งแรกจะพิจารณาสิ่งที่น่าสนใจส่วนของ Protocol, Source, Address และ Destination Address Field ในส่วนของ Protocol จะถูกกำหนดวิธีของ IP Packet จะถูกแปลทั่วๆ ไปค่าต่างๆ จะถูกกำหนดสำหรับส่วนนี้ ในส่วนของ Address จะแสดงให้เห็นส่วนของ Host Address ซึ่ง Address นี้จะเพียงหมายเลขเดียวเท่านั้นที่เหมือนกันในระบบ Internet

4.9.3 IP Host Address and Routing

IP Host Address จะเป็นส่วนข้อมูล 32 bits ซึ่งมีเพียงหมายเลขเดียวเท่านั้นที่เหมือนกัน ซึ่งใช้ในการติดต่อกับ Internet Host ส่วนของ Gateway (เป็นตัวทำหน้าที่ Interface Network ที่มีมากกว่า 1 Network) จะมี Host อยู่มากมาย

ตามหลักที่ถูกต้องคือ 4 Bytes ของ Internet host address มักเขียนให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบ ตัวอย่างเช่น 121.0.0.1

Internet host address ส่วนมากจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Network address และ Actual host address ถ้าเรียงตามความยาวทั้งสองตาม address โดยมากจะขึ้นอยู่กับการกำหนด bytes ใน address เสียเป็นส่วนใหญ่

Class A Network address จะสังเกตได้ว่า byte แรกจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 127 และจะประกอบไปด้วย 8 bit network จะประกอบด้วย 24 bit host address เนื่องจาก address เริ่มต้นที่ 0 และ 127 จะถูกสงวนไว้ ซึ่งสามารถมีค่าสูงสุดคือ 126 Class A Subnets ใน Class A นี้สามารถมีได้ทั้งหมด 16,777,214 Hosts(Address อยู่ในรูป X.0.0.0 และ X.255.255.255 จะถูกสงวนเอาไว้)

Class B Network address จะสังเกตได้จากตัวเลขหลักแรกสุดอยู่ระหว่าง 128 และ 191 Class B Network จะประกอบไปด้วย 16 bit Network address และ 16 bit host address และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถมี 16,383 Subnets Class B subnet สามารถที่จะบรรจุได้ถึง 65,534 hosts (address อยู่ในรูป X.X.0.0 และ X.X.255.255 จะถูกสงวนไว้)

Class C Network address จะสังเกตได้จากตัวเลขหน้าสุดอยู่ระหว่าง 192 และ 223 ซึ่งจะมีได้ 2,097,152 Subnets Class C Subnets สามารถที่จะบรรจุได้ 254 hosts (โดยเริ่มที่ address X.X.X.0 และ X.X.X.255 จะถูกสงวนไว้)

Class D Network address (โดยทั่วไปตัวเลข byte แรกจะอยู่ระหว่าง 224 ถึง 255) จะถูกสงวนเอาไว้เพื่อ IP Multitasking ที่ถูกจำกัดจากในส่วนของ IP broadcasting คือจะไม่ไปยุ่งเกี่ยวกับ Winsock Programmer

4.9.4 Host Names

ในระหว่างการคิดค้นประดิษฐ์ Internet ซึ่งตัวเลขที่จะนำมาแทน Host address ซึ่งจะมีไม่มากเพียงพอและอีกอย่างหนึ่งคือตัวเลขเหล่านี้เป็นการยากที่จะจดจำ และอีกอย่างถ้าเกิด host address มีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมากจาก หลายๆ สาเหตุ จึงทำให้เกิดความยุ่งยาก ดังนั้นระบบ Naming System จึงได้ถูกสร้างขึ้นมาซึ่งใช้ในการ Map ตัวเลขของ IP address ไปเป็น memories host names

ในทุกวันนี้จะมีอยู่ 5 Host บน Internet ทุกๆ hosts จะถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ Files กับข้อมูลของ Internet host ทุกตัวและ address อย่างไรก็ตามอินเตอร์เน็ตก็ได้เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทำให้ดูว่าจะไม่เพียงพอ อย่างแรกคือการตั้งชื่อ internet host จะทำได้มีมาตรฐานอย่างที่ 2 คือ ทางด้าน Hardware สามารถที่จะแยกแยะความต้องการที่จะติดต่อกับทุกเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกตัวที่ต่ออินเตอร์เน็ต

คำตอบของปัญหานี้คือการกำหนด Domain Name System (DNS) ซึ่งจะเป็นตัวจัดระเบียบของการตั้งชื่อ (Naming System) รูปแบบของ Domain Names คือจะคล้ายกันทุกคนที่ใช้อินเตอร์เน็ตโดยปกติการตั้งชื่อจะอยู่ในรูปแบบคือ Host Sub domain

ในส่วนนี้จะกำหนดโดยหน่วยงานหนึ่ง(ส่วนมากเป็นหน่วยงานในสหรัฐ) หรือ โดยแต่ละประเทศ โดยจะมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GOV : government Bodies

EDU : Education Institutions

COM : Commercial enterprises

MIL : Military organization

ORG : Other organization

Top-level Domain โดยใช้ชื่อประเทศ มักจะใช้ตามมาตรฐาน ISO 3166d โดยจะใช้อักษรย่อ 2 ตัวของชื่อประเทศ

การทำงานเกี่ยวกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์นั้นเป็นเรื่องค่อนข้างซับซ้อน จนทำให้เราสร้างข้อกำหนดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อให้วิธีการสื่อสารระหว่างกันเป็นไปได้โดยราบรื่น แล้วก็ทำให้เกิดเป็นโปรโตคอลมากมายหลายชนิดมาใช้งานร่วมกับเครือข่าย ซึ่งเรามีการแบ่งโปรโตคอลต่างๆ ออกเป็นระดับชั้น เพื่อให้งานต่อการใช้งานและง่ายต่อการทำความเข้าใจนานวันเข้าโปรโตคอลที่เราคิดว่ามันทำให้เราทำงานสะดวก นั้นก็มีเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นความยุ่งยาก ต่างบริษัทก็ต่างมีผลิตภัณฑ์ที่สนับสนุนโปรโตคอลต่างๆ ไม่เหมือนกัน ทำให้การใช้งานร่วมกันทำได้ยากขึ้น ทำให้เราต้องมาหาวิธีใช้งานโปรโตคอลมาตรฐานเหล่านั้นเอง

4.10 การเลือกเส้นทาง (Routing)

ในแต่ละ network (หรือ subnet) ใน Internet จะมีชนิดของ IP address ที่แตกต่างกัน ซึ่งระบบ (system Host) หรือ gateway ที่ต่อเข้ากับ network จะสามารถส่ง datagram ไปยังระบบอื่นได้โดยตรงเฉพาะ network ที่เหมือนกันเท่านั้น ในการเลือกเส้นทางให้ datagram ข้ามไปยังหลายๆ network IP ในแต่ละ internetworking gateway ต้องรู้ IP address ของ Host ปลายทาง

ซึ่งมี 2 วิธีการพื้นฐานที่ถูกใช้ในการหาเส้นทางภายใน Internet คือ centralized และ distributed ด้วยวิธีการ centralized routing ข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกเส้นทางที่เกี่ยวข้องกับแต่ละ gateway จะถูก download จาก site ส่วนกลางโดยใช้ข้อมูล network และ special network management จะพยายามตรวจสอบ network และ host ที่ถูกเพื่อเข้า และถอดออก และข้อบกพร่องที่จะถูกวินิจฉัยและตรวจสอบ

ขั้นตอนการ Routing ที่เกี่ยวกับ IP ขั้นตอนแรกจะอ่าน IP address (NSAP) ปลายทางจากภายใน datagram และใช้มันในการหาการตอบสนอง IP address ของ host หรือ gateway

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก routing table ในส่วนที่เพิ่มเติมชุดของ routing protocol จะถูกใช้เพิ่มและรักษาส่วนที่อยู่ใน แต่ละ routing table ในรูปแบบของ distributed ซึ่งรูปแบบทั่วไปที่ถูกใช้ภายใน host IP

4.11 วินซอต (WINSOCK)

มาจากคำว่า Windows sockets ซึ่งเป็นโปรแกรมมิ่งอินเตอร์เฟส (programming interface) และเป็นโปรแกรมเสริม (supporting program) ที่จัดการกับอินพุท/เอาท์พุทรีเควสต์สำหรับอินเตอร์เน็ตแอพพลีเคชั่นในระบบปฏิบัติการวินโดว์ ที่ถูกเรียกว่า วินซอคนั้นก็เพราะว่าได้รับการปรับปรุงมาจาก Unix sockets interface ของมหาวิทยาลัยเบิร์คลี่ เพื่อใช้กับวินโดว์ ซึ่ง Sockets ก็เป็นวิธีที่ใช้สื่อสารระหว่างโปรแกรมเซิร์ฟเวอร์กับไคลแอนด์ หรือกล่าวได้ว่าเป็นวิธีสำหรับเชื่อมต่อกับหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสองโปรเซสภายในเครื่องคอมพิวเตอร์เดียวกันหรือข้ามเครือข่าย

วินซอครันอยู่ระหว่างโปรแกรมประยุกต์ (Application program) เช่น Netscape browser กับ โปรแกรมอินเตอร์เน็ตในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งก็หมายถึง ทีซีพี/ไอพี นั่นเอง

ขั้นตอนการทำงานของวินซอคจะเป็นไฟล์แบบดีแอลแอล (.dll: Dynamic Link Library) ซึ่งเป็นไฟล์ที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดว์จะเป็นไฟล์ที่เก็บฟังก์ชั่นต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการติดต่อระหว่างระบบปฏิบัติการวินโดว์กับทีซีพี/ไอพี

วินซอคจะเป็นขั้นที่อยู่ระหว่างวินโดว์แอพพลิเคชั่นกับทีซีพี/ไอพี โดยแอพพลิเคชั่นจะบอกให้วินซอครู้ว่าต้องทำอะไร จากนั้นวินซอคจะทำแปลงข้อมูลเพื่อให้สามารถติดต่อกับทีซีพี/ไอพีได้ ข้อควรระวัง วินซอคที่ใช้จะต้องมีเวอร์ชั่นตรงกับทีซีพี/ไอพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 วงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์

ในการกำจัดสัญญาณรบกวนจะต้องคำนึงถึงค่าคอมมอนโหมดรีเจคชั่นเรโช(CMRR) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เข้าในวงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมป์แบบคอมมอนโหมดโดย

$$CMRR = 20\log (A_d/A_c)$$

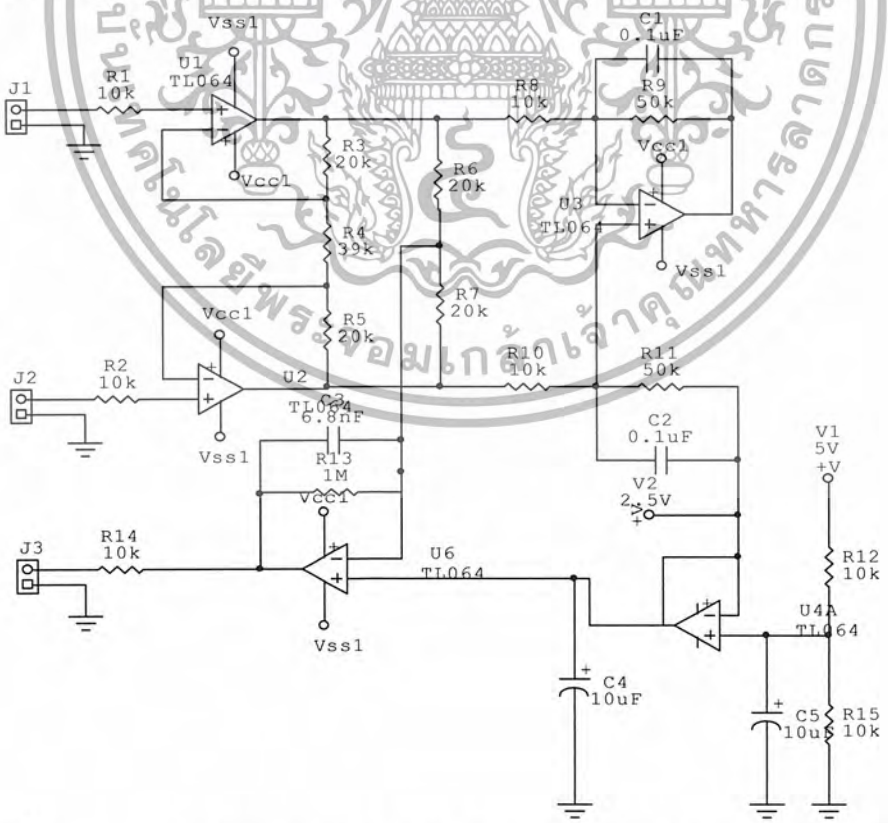
เมื่อ A_d คือ อัตราการขยายของวงจรเมื่อต่อแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมด

A_c คือ อัตราการขยายของวงจรเมื่อต่อแบบคอมมอนโหมด

ซึ่ง A คือ อัตราการขยายแรงดันเอาท์พุทต่อแรงดันอินพุท

ดังนั้นการหาค่าคอมมอนโหมดรีเจคชั่นเรโชต้องทำการหาอัตราการขยายทั้งดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมดและคอมมอนโหมด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 การทดลองหาอัตราการขยายของวงจรเมื่อต่อแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมด



รูปที่ 5-1 วงจร Instrument Amplifier, วงจร RL Driver และ วงจร Clamping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต่อวงจรตามรูป 5-1
2. นำอินพุทลบของวงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์ ต่อลงกราวด์
3. ป้อนคลื่นไซน์(sine wave) ขนาด 200 mVp-p เข้าที่ขาอินพุทบวกของวงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์
4. วัดขนาดแรงดันเอาท์พุทของวงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์ โดยปรับความถี่ตั้งแต่ 5-200 Hz แล้วบันทึกผลลงในตาราง พร้อมทั้งคำนวณหาอัตราขยายแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมดแล้วบันทึกลงตาราง 5.1
5. คำนวณหาค่าอัตราการขยายเฉลี่ยแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมด

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาอัตราขยายแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมด

ความถี่ (Hz)	แรงดันเอาท์พุท (Vp-p)	อัตราการขยาย
5	1.79	8.95
10	1.96	9.8
20	1.96	9.8
30	1.96	9.8
40	1.96	9.8
50	1.96	9.8
60	1.96	9.8
70	1.96	9.8
80	1.96	9.8
90	1.96	9.8
100	1.96	9.8
150	1.96	9.8
200	1.96	9.8
300	1.96	9.8

จากตาราง 5.1 สามารถหาอัตราขยายเฉลี่ยแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลโหมด $A_d = V_{out} / V_{in} = 9.74$

จากการคำนวณได้ $A_d = [1+2(R_3/R_4)]*[R_9/R_8] = 10.12$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การทดลองหาอัตราการขยายของวงจรเมื่อต่อแบบคอมมอนโหมด

1. นำอินพุทของวงจรทั้งบวกและลบต่อเข้าด้วยกัน
2. ป้อนคลื่นไซน์(sine wave) ขนาด 5 V_{p-p} เข้าที่ขาอินพุทของวงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์
3. วัดขนาดแรงดันเอาท์พุทของวงจรอินสตรูเมนเตชั่นแอมพลิฟลายเออร์ โดยปรับความถี่ตั้งแต่ 5-200 Hz แล้วบันทึกผลลงในตาราง พร้อมทั้งคำนวณหาอัตราขยายแบบคอมมอนโหมดแล้วบันทึกลงตาราง 5.2
4. คำนวณหาอัตราขยายเฉลี่ยแบบคอมมอนโหมด

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองหาอัตราขยายแบบคอมมอนโหมด

ความถี่ (Hz)	แรงดันเอาท์พุท (mV_{p-p})	อัตราการขยาย
5	10	0.002
10	10	0.002
20	10	0.002
30	10	0.002
40	10	0.002
50	10	0.002
60	10	0.002
70	10	0.002
80	10	0.002
90	10	0.002
100	10	0.002
150	10	0.002
200	10	0.002
300	10	0.002

จากตารางที่ 5.2 สามารถหาอัตราขยายเฉลี่ยแบบคอมมอนโหมด $A_c = 0.002$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองในตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 สามารถคำนวณค่าคอมมอนโหมดรีเจคชั่นเรโช ได้โดย

$$CMRR = 20\log (A_d/A_c)$$

$$= 20\log (9.74/0.002)$$

$$= 73.75 \text{ เดซิเบล}$$

5.2 การทดลองวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero Circuit)

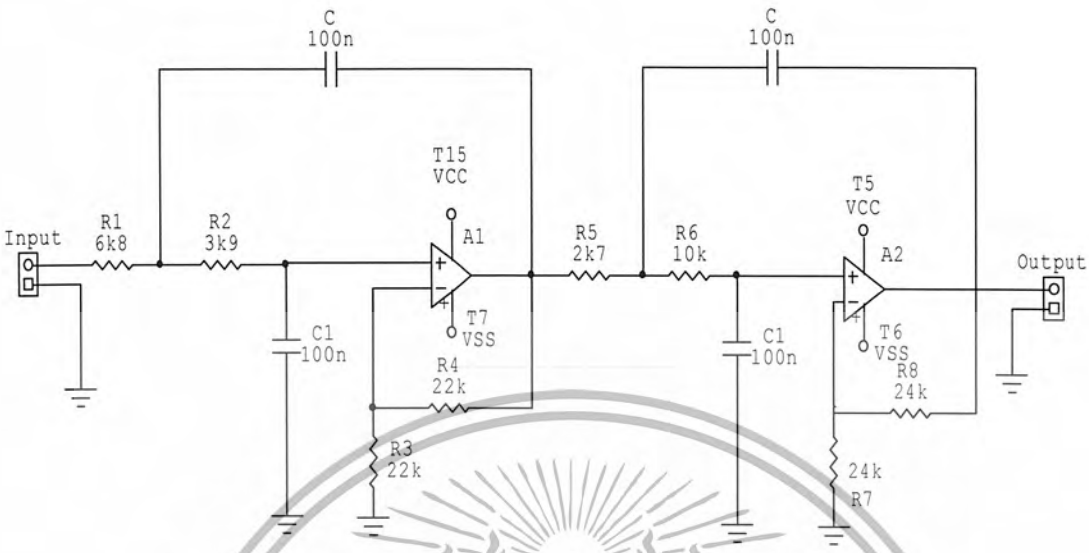
รูปที่ 5-2 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ

การทดสอบสามารถทำได้โดยใส่สัญญาณไซน์ขนาด 1 V ที่อินพุทของวงจรตามรูป ที่มีออฟเซ็ตทั้งบวกและลบ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เอาท์พุท จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณผ่านวงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ จะได้สัญญาณคลื่นไซน์ที่ไม่ได้อยู่บนไฟตรงและพบว่าต้องใช้เวลาเล็กน้อยในการปรับระดับเข้าสู่ระดับที่ไม่ได้ขี่บนไฟตรง และ วงจรนี้ยังทำหน้าที่เป็นวงจรขยายซึ่งมีอัตราขยายคือ

$$Av = [R_{17}/R_{16}] = [1M/10k] = 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดลองผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 5-3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

1. ป้อนคลื่นไซน์ (sine wave) ขนาด 1 V_{p-p} เข้าที่ขาอินพุทของวงจรรูปที่ 5-3 โดยเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 0-2000 Hz ตามตารางที่ 5.3
2. วัดขนาดแรงดันเอาท์พุท แล้วบันทึกผลลงในตาราง พร้อมทั้งคำนวณหาอัตราขยาย แล้วบันทึกลงตาราง 5.3
3. นำข้อมูลจากตาราง 5.3 ไปพล็อตกราฟการตอบสนองความถี่ และคำนวณ

ค่า Frequency Cutoff สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$fc = 1/[2\P(C*(R_1*R_2)^{1/2})] = 1/[2\P(C*(R_6*R_5)^{1/2})]$$

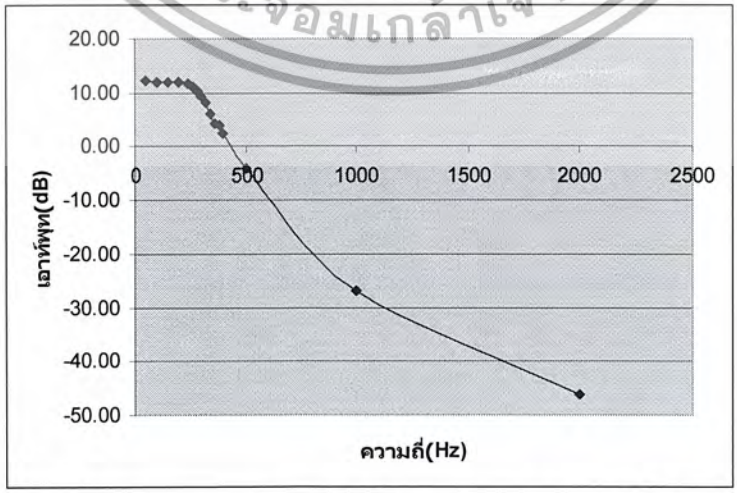
$$= 309.05 \text{ Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ความถี่ (Hz)	แรงดันเอาท์พุท (V_{p-p})	อัตราการขยาย (dB)
50	4.1	12.25567713
100	3.97	11.97581014
150	3.97	11.97581014
200	3.94	11.90992444
240	3.84	11.68662449
260	3.62	11.17417141
280	3.25	10.23766722
300	2.92	9.307657029
320	2.56	8.164799306
340	2.04	6.192603349
360	1.62	4.190300291
400	1.32	2.411478624
500	0.62	-4.15216621
1000	0.045	-26.93574972
2000	0.005	-46.02059991

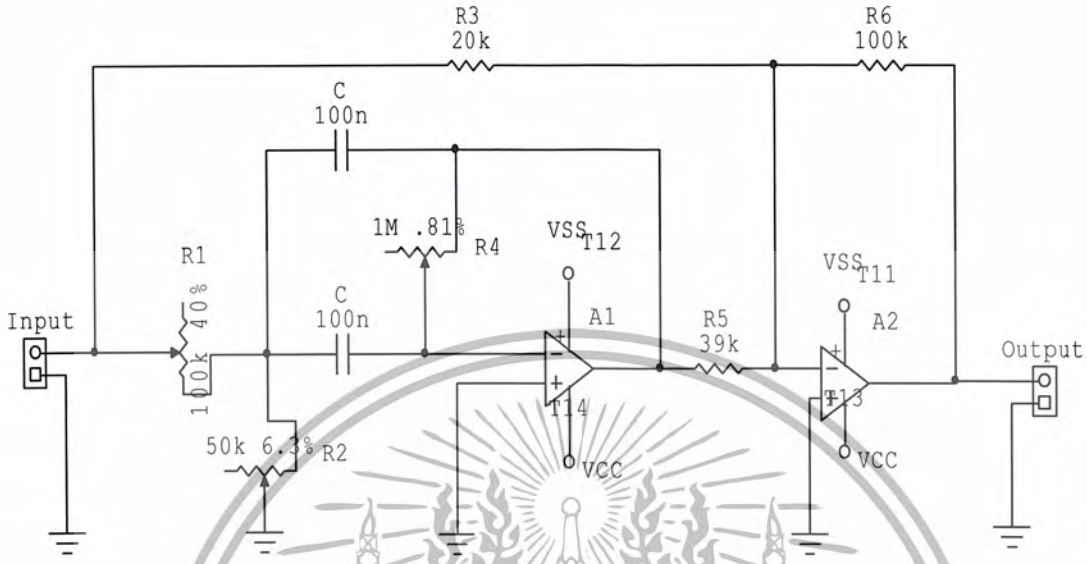
จากข้อมูลที่บันทึกได้ จะได้ความถี่คัทออฟของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ 330 Hz ดังรูปที่ 5-4



รูปที่ 5-4 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง



รูปที่ 5-5 กรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง

1. ป้อนคลื่นไซน์ (sine wave) ขนาด 1 V_{p-p} เข้าที่ขาอินพุทของวงจร โดยเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 0-2000 Hz ตามตารางที่ 5.4
2. วัดขนาดแรงดันเอาท์พุท แล้วบันทึกผลลงในตาราง พร้อมทั้งคำนวณหาอัตราขยาย แล้วบันทึกลงตาราง 5.4
3. นำข้อมูลจากตาราง 5.4 ไปพล็อตกราฟการตอบสนองความถี่และคำนวณ

จากวงจรใช้หลักของการป้อนอินพุทแล้วลบด้วยเอาท์พุทของวงจรแบนพาส ดังนั้น ค่า Frequency Reject สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$fc = 1/[2\P(C*(R_1*R_4)^{½})]$$

$$= 50 \text{ Hz}$$

$$Q = (1/2)*(R_4/R_1)^{½}$$

$$= 0.431$$

จากการทดลองพบว่ามีความจะต้องทำการปรับ R_4 และ R_1 ทำให้ต้องเสียเวลาในการหาค่าความถี่กลางที่ไม่ต้องการ

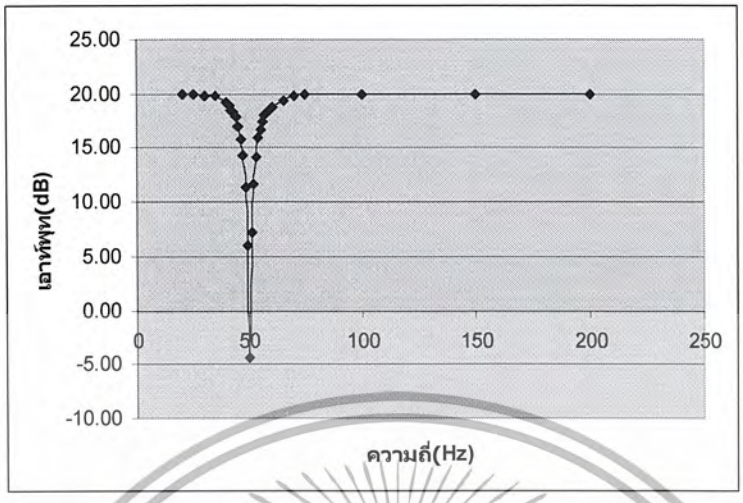
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง

ความถี่ (Hz)	แรงดันเอาท์พุท (V_{p-p})	อัตราการขยาย (dB)
20	10.00	20.00
25	10.00	20.00
30	9.80	19.82
35	9.70	19.74
40	9.20	19.28
42	8.45	18.54
43	8.20	18.28
44	7.84	17.89
45	7.10	17.03
46	6.20	15.85
47	5.20	14.32
48	3.70	11.36
49	2.00	6.02
50	0.60	-4.44
51	2.30	7.23
52	3.80	11.60
53	5.10	14.15
54	6.30	15.99
55	6.80	16.65
56	7.44	17.43
58	8.20	18.28
60	8.70	18.79
65	9.24	19.31
70	9.72	19.75
75	9.88	19.90
100	10.00	20.00
150	10.00	20.00
200	10.00	20.00

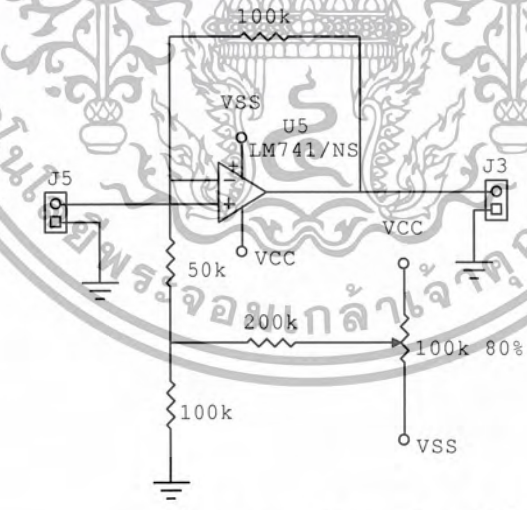
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่บันทึกได้ จะได้ Center Frequency ของวงจรกรองแบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง 50 Hz ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบไม่ผ่านความถี่เฉพาะช่วง

5.5 การทดสอบการทำงานของวงจรปรับแรงดันออฟเซ็ต



รูปที่ 5-7 วงจรปรับแรงดันออฟเซ็ต

การทดสอบสามารถทำได้โดยป้อนสัญญาณไซน์เข้าไปในวงจรรูปที่ 5-7 แล้วทดลองปรับ VR 100K เพื่อเพิ่มหรือลดระดับของสัญญาณไซน์ที่เข้ามา พบว่าสัญญาณ DC จะขยับขึ้นลงตามการปรับค่า VR

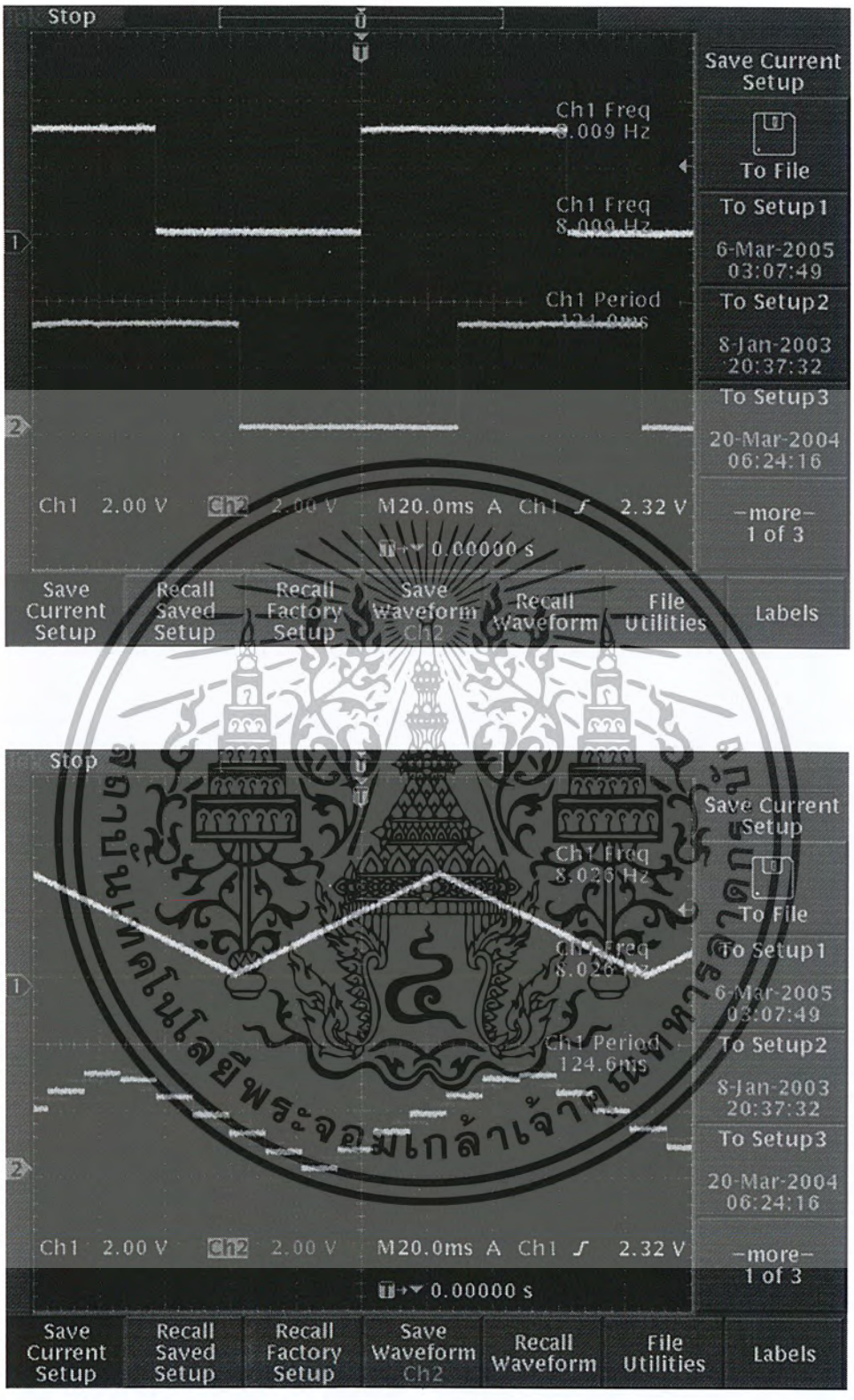
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การทดสอบการทำงานของวงจร A/D Converter

ทำได้โดยการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต โดยใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 และแปลงกลับให้เป็นสัญญาณอนาลอกเพื่อแสดงผลด้วยไอซีเบอร์ PCF8591

ทดสอบโดยการป้อนสัญญาณอินพุทเป็นรูปร่างต่างๆ ที่ความถี่ 4 Hz ให้ที่ขาอินพุทของไอซีอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ บันทึกรูปสัญญาณอนาลอก โดย Ch1 เป็นสัญญาณอินพุท และ Ch2 เป็นสัญญาณเอาท์พุท ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

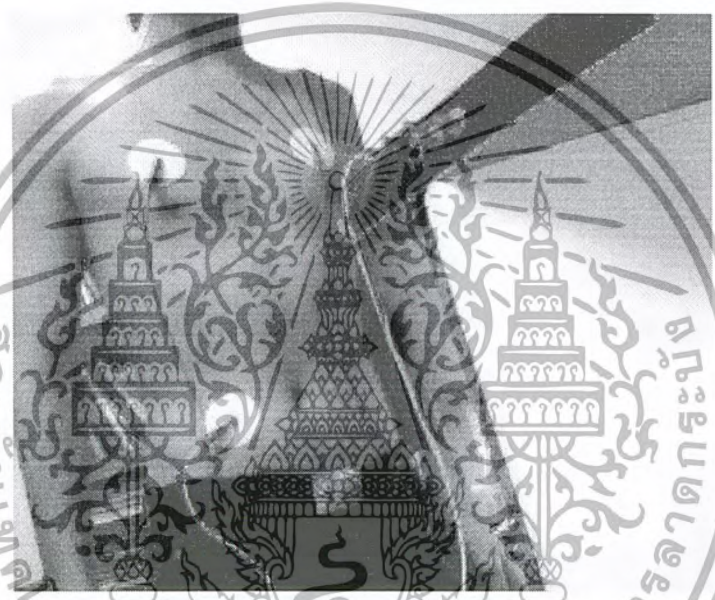


รูปที่ 5-8 ทดสอบการทำงานของวงจรอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 การทดสอบวงจรทั้งหมดและส่วนแสดงผล

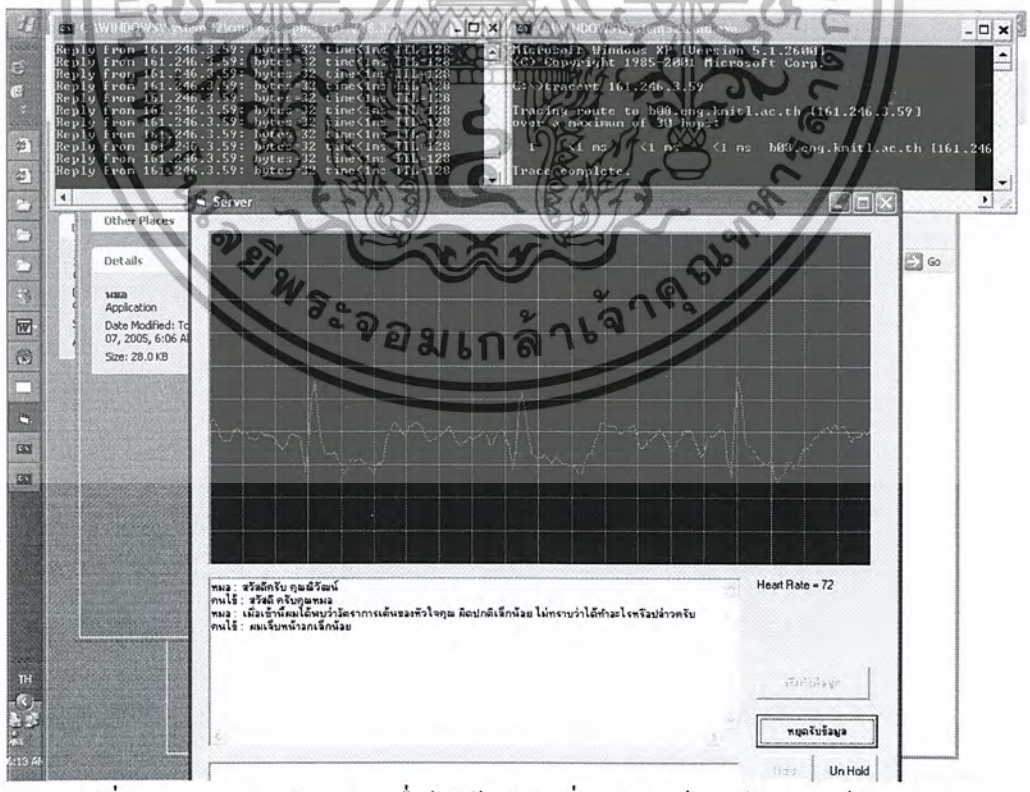
ในส่วนการแสดงผลนั้น จะแสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ติดกับผู้วัดซึ่งเปรียบเสมือนผู้ป่วย และแสดงผลอีกจุดหนึ่งที่ผู้ต้องการมอนิเตอร์ซึ่งเปรียบเสมือนหมอผู้วินิจฉัยคนไข้



รูปที่ 5-9 แสดงรูปแบบการติดอิเล็กโทรดบนร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-10 แสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้ที่ผู้วัด



รูปที่ 5-11 แสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มอนิเตอร์จากผู้วิเคราะห์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลและวิจารณ์ผลของปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจในโครงงานนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การออกแบบวงจรขยายที่ให้ประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดี คือขนาดของสัญญาณจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้และสัญญาณรบกวนจะต้องต่ำด้วย ดังนั้น จึงเลือกวงจรขยายแบบ Instrument Amplifier ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ วงจร Differential Amplifier ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถช่วยลดสัญญาณที่มีลักษณะเดียวกันนั้นก็คือสามารถลดขนาดของสัญญาณรบกวนให้ลดลงได้ และจะสามารถขยายสัญญาณที่มีความแตกต่างนั้นก็คือสามารถขยายสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เราต้องการให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทดลองเรื่อง วงจร Instrument Amplifier แต่ในทางปฏิบัติจริงนั้น ไม่เพียงแต่การออกแบบวงจรต้องใช้งานได้ดี การออกแบบระบบและการออกแบบลายวงจรก็มีส่วนสำคัญในการลดขนาดของสัญญาณรบกวน

ในส่วนของการแสดงผลนั้นเป็นการนำสัญญาณที่ได้จากส่วนแรกไปเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลหลังจากนั้นส่งผ่านไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการกำหนดจังหวะ และกำหนดอัตราบอดในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม แล้วส่งผ่านไอซี Max232 เพื่อแปลงระดับแรงดัน แล้วต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล ณ จุดที่ทำการวัด

ในส่วนของการแสดงผลระยะไกล โดยการสร้างการเชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางโดยใช้ Internet Protocol เป็นตัวอ้างอิงตำแหน่งเครื่องทั้งสองที่ทำการเชื่อมต่อกัน ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อกันคือ Visual Basic

หลังจากที่ได้ทำการทดลองจริงแล้ว พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นบางประการ เช่น สัญญาณคลื่นหัวใจที่ได้มีส่วนของสัญญาณรบกวนมากเกินไป แนวทางแก้ไขคือ เพิ่มส่วนของฟิลเตอร์เข้าไป หรือเพิ่มส่วนของดิจิตอลฟิวเตอร์เข้าไปในโปรแกรมเพื่อทำการลดสัญญาณรบกวนดังกล่าว ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ส่งและรับข้อมูลนั้น ยังมีข้อเสียคือ จะต้องทำการรับข้อมูลทั้งหมดก่อน แล้วจึงจะสามารถแสดงผลและทำการส่งในภายหลัง จะเห็นได้ว่าไม่ได้เป็นแบบ Real Time แนวทางแก้ไขคือ เขียนโปรแกรมที่ขณะรับค่าอยู่ ให้ส่งข้อมูลเป็นแพคเก็จเล็กๆ ออกไปด้วยพร้อมๆกัน แต่ก็ขึ้นกับความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

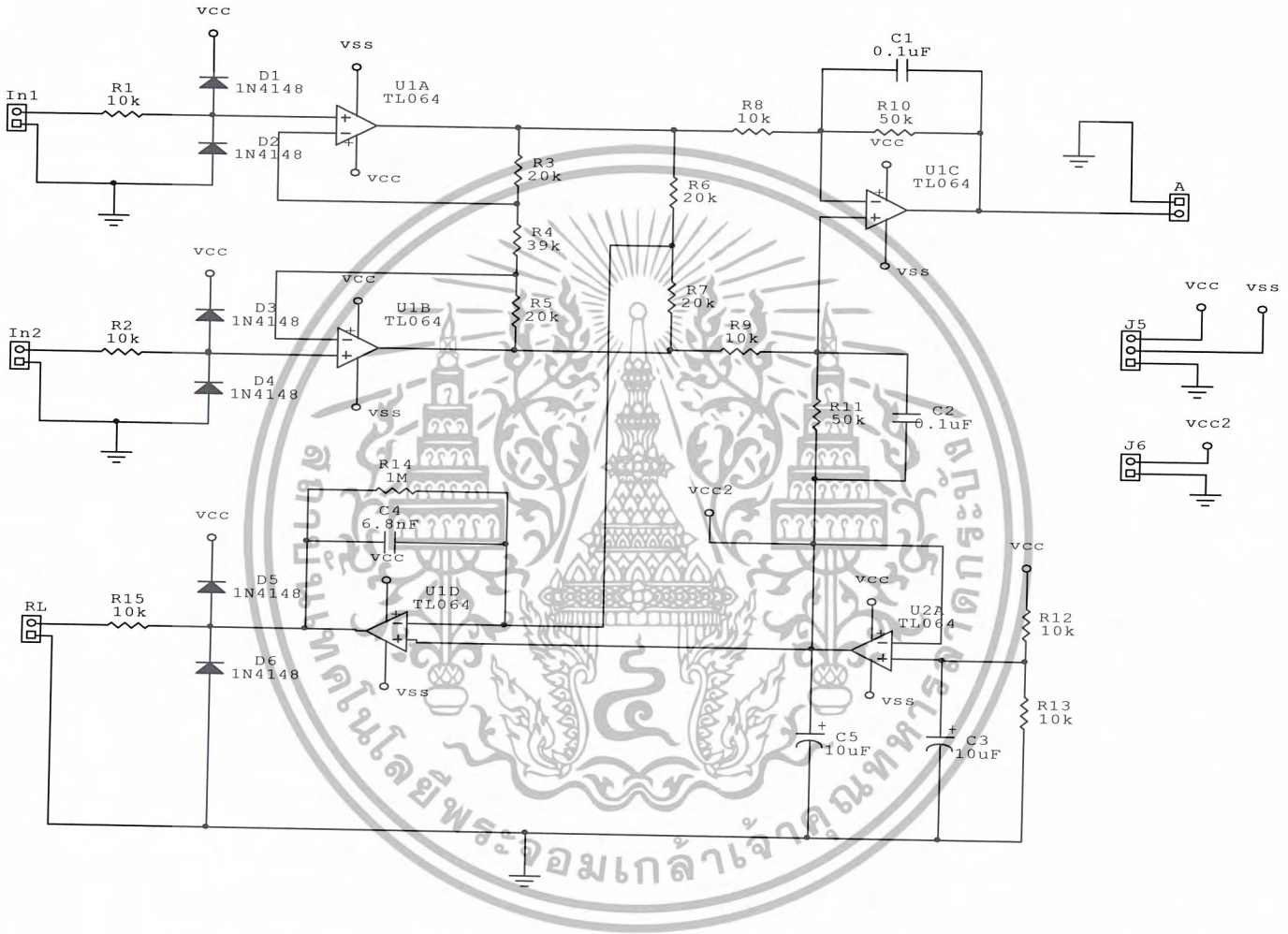
แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา

- พัฒนาวงจรให้มีขนาดเล็กและใช้ไฟน้อยลงเพื่อสามารถพกพาได้สะดวกในการนำไปใช้งาน
- เปลี่ยนการเชื่อมต่อจากเครื่องวัดอัตราไฟฟ้าหัวใจไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์จากพอร์ตอนุกรมเป็นพอร์ตยู เอส บี(USB) เพราะแนวโน้มในอนาคตคอมพิวเตอร์จะเลิกใช้พอร์ตอนุกรม
- พัฒนาส่วนของโปรแกรมเพื่อรองรับผู้ป่วยหลายๆคนได้ในเวลาพร้อมกัน

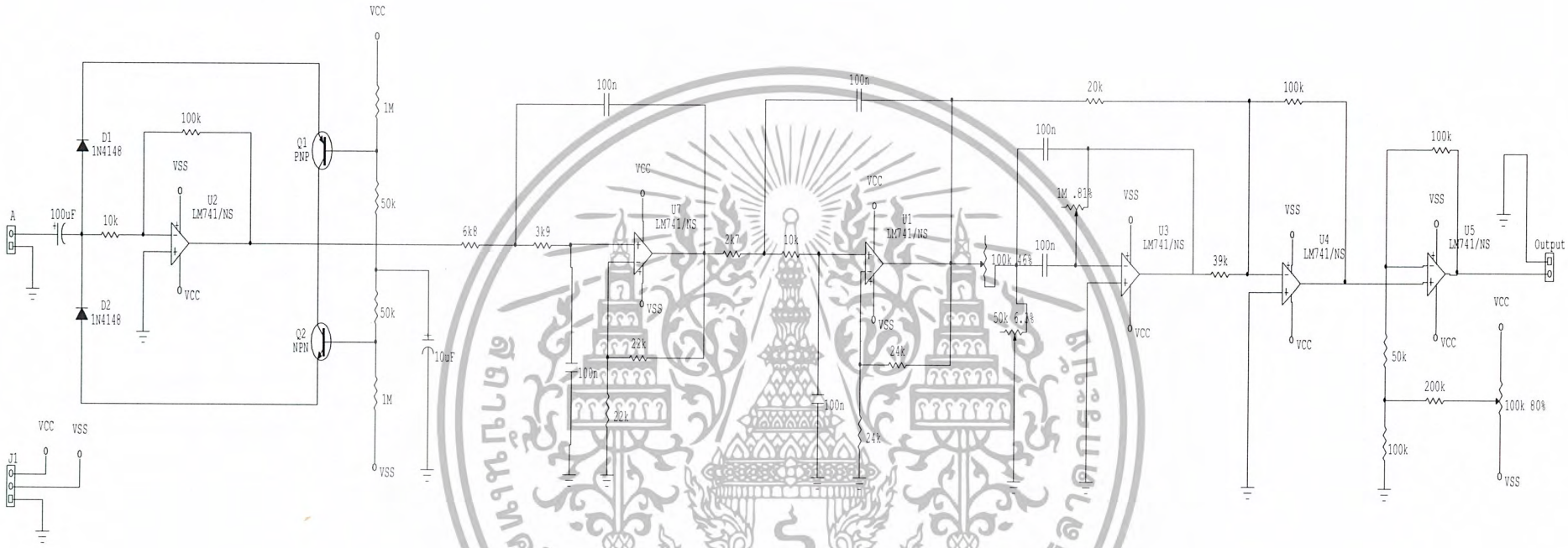
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

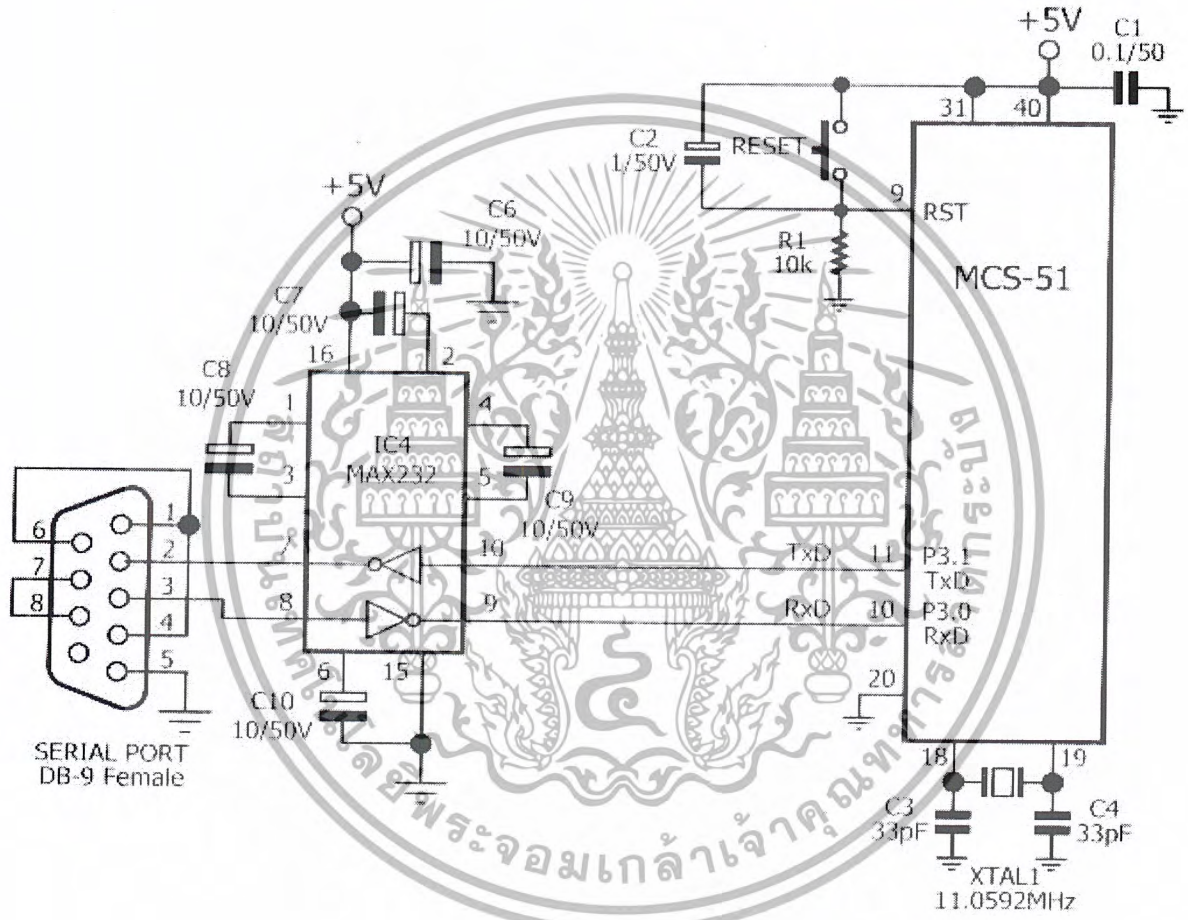
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



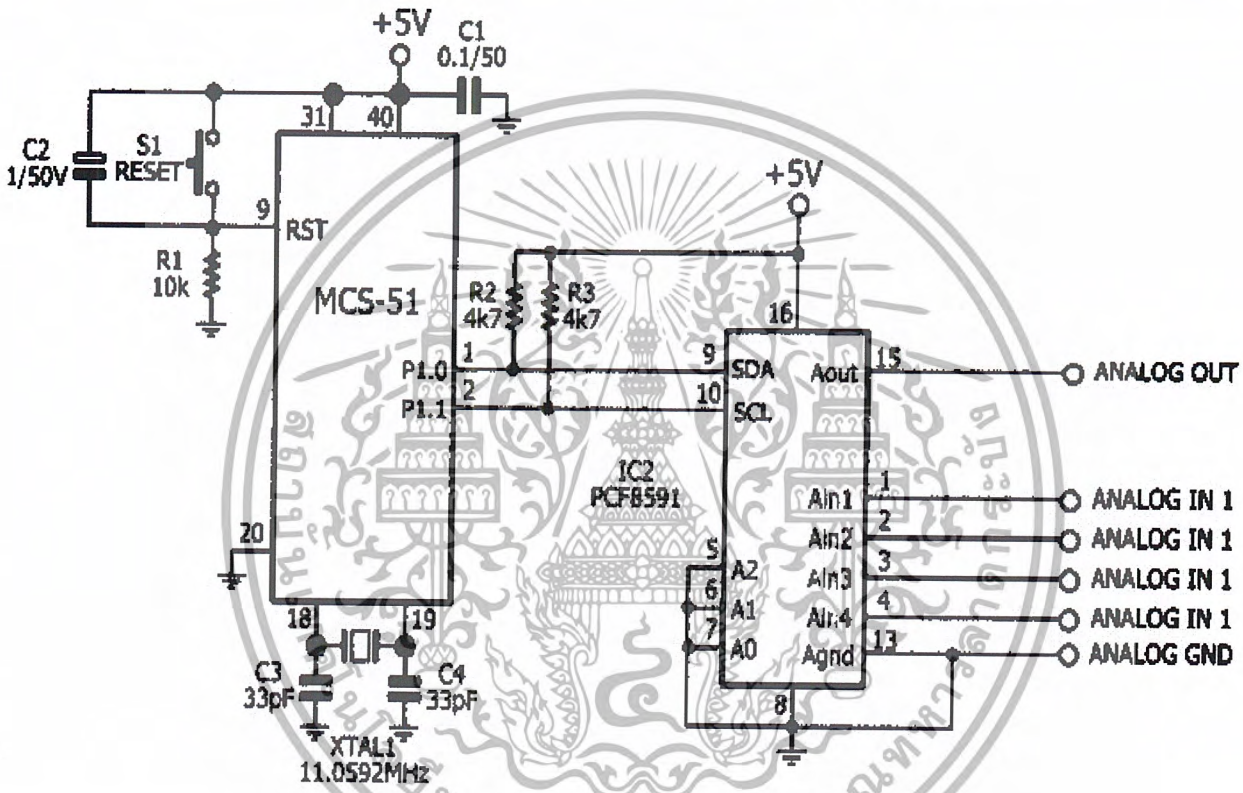
วงจร Instrumentation Amplifier+วงจรยกระดับสัญญาณไฟตรง



วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ, วงจรกรองความถี่สูงและวงจรกำจัดแถบความถี่เฉพาะช่วง



วงจรการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์



วงจรการเชื่อมต่อกับเอทูดี

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เนื่องด้วยมีผู้ให้ความช่วยเหลือหลายๆ ท่าน ขอขอบคุณอาจารย์อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คอยแนะนำแนวทางในการดำเนินงาน ให้คำปรึกษาต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือทางด้านเอกสารข้อมูล ขอขอบคุณเพื่อนห้อง R3 ที่คอยให้ข้อมูลและกำลังใจในการทำงาน ท้ายสุดนี้ขอกราบระลึกถึงพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านแก่ผู้ทำปริญญานิพนธ์มาโดยตลอดไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สักกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์, "การบีบอัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจในเวลาจริงโดยการใช้การแปลงเวฟเล็ต" วิทยานุพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2545

[2] บุญเลิศ รุ่งกระทึก, ปีติ ศรีชาติ, "เครื่องจำลองสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนหน้าจอเกมบอย" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2545

[3] Tompkin W.J., Biomedical Digital Signal Processing: C-Language Examples and Laboratory Experiments for the IBM PC, Prentice Hall, Inc., 1993.

[4] H.M. Berlin, "Design of op-amp circuit", Howard W.Sam&Co.Inc., 1980

[5] กลุ่ม CNS, ออปแอมป์, กรุงเทพฯ, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2535

[6] ณัฐวุฒิ ชูติพงศ์, อนุชิต รัตนอังกูร, "การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2538

[7] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51, กรุงเทพ, อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 2538

[8] ฉัททวุฒิ พืชผล, คู่มือการเรียน Visual Basic, กรุงเทพฯ, โปรวิชั่น, 2547

[9] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร, Internet & Network Programming กับ Visual Basic และ ASP, นนทบุรี, อินโฟเพรส, 2542

[10]อภิชาต ภู่พลับ, สนุกกับการประยุกต์ใช้ Visual Basic, นนทบุรี, อินโฟเพรส, 2546

[11]Steve McQuerry, "Interconnecting Cisco Network Devices", Cisco Systems, Inc., 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้