

งานวิทยานิพนธ์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายเข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต

Wireless Transmitting of ECG Data to Database in Internet System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายเข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต
Wireless Transmitting of ECG Data to Database in Internet System

โดย

นางสาวเฉลิมขวัญ การรัตน์ 47010130

นางสาววชิ นาเจริญ 47010640

นางสาววิศรา อาสน์สถิตย์ 47010670

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ผศ.ดร. จีรสุดา โกษิยาภรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายเข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต

Wireless Transmitting of ECG Data to Database in Internet System

ผู้จัดทำ

1. นางสาวเฉลิมขวัญ การรัตน์ 47010130
2. นางสาวจี นาเจริญ 47010640
3. นางสาววิศรา อาสน์สถิตย์ 47010670


(รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)

อาจารย์ที่ปรึกษา


(ผศ.ดร.จิรสุดา โคนียากรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สาย
เข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต
Wireless Transmitting of ECG Data to
Database in Internet System

โดย นางสาวเฉลิมขวัญ การรัตน์ 47010130
นางสาววชิ นาเจริญ 47010640
นางสาววิศรา อასน์สติชัย 47010670

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน
ผศ.ดร.จิรสุดา โกนียาภรณ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างง่าย ผสมเข้ากับการสร้างเครื่องส่งสัญญาณแบบไร้สายเพื่อส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต โดยสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะถูกแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายซึ่งใช้โมดูล TRW- 2.4 GHz ในการส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สูงไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งใช้โมดูล TRW-2.4 GHz เป็นอุปกรณ์ทางด้านรับเช่นกัน และข้อมูลจากทางด้านรับจะเข้าสู่อุปกรณ์ Embedded เพื่อส่งเข้าสู่ฐานข้อมูล โดยที่ผู้ใช้บริการจะต้องทำการลงทะเบียนก่อนการขอใช้ข้อมูลต่อไป

ABSTRACT

This thesis presents about a simple measurement system of electrocardiogram (ECG) and a wireless system for transmitting ECG data. It is noted that the modules TRW-2.4 GHz are to the internet system. The ECG data is converted from analog to digital signal which is sent to the module TRW-2.4 GHz employed for wireless transmitting and receiving ECG data. After that, the received ECG data at the receiving site is sent to database in internet system by using the Embedded system. For data service, the user must register before using the ECG data in the internet's database.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน และ ผศ.ดร.จิรสุตา โกษิยาภรณ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ศิษย์ด้วยความรัก ความเมตตา และความเข้าใจในศิษย์โดยมิได้หวังสิ่งใดตอบแทน ตลอดจนให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอด จนทำให้ปริญญา นิตยสารนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณบุคลากรที่ได้ให้ความรัก กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องต่าง ๆ แก่ผู้จัดทำ โครงการนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ นายวสุ พันไพศาล และ นายศิระ มลิลลา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในการทำโครงการของผู้จัดทำตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 2 |
| 1.2 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ | 3 |
| 2.1.1 คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ | 3 |
| 2.1.2 ลักษณะการทำงานเชิงกลของหัวใจ | 5 |
| 2.1.3 สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ | 6 |
| 2.1.4 ความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 8 |
| 2.1.5 Specification ของเครื่อง Electrocardiogram | 9 |
| 2.2 การวัดและมาตรฐานในการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ | 11 |
| 2.2.1 หลักการของการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 11 |
| 2.2.2 มาตรฐานในการวัดความปลอดภัยในเครื่องมือวัดทางการแพทย์ | 17 |
| 2.3 อิเล็กโทรด | 18 |
| 2.3.1 อิเล็กโทรดที่พลาโรสและอิเล็กโทรดที่ไม่พลาโรส | 19 |
| 2.3.2 คุณสมบัติของอิเล็กโทรด | 20 |
| 2.3.3 อิเล็กโทรดแบบแผ่นที่ทำด้วยโลหะ | 21 |
| 2.3.4 ข้อแนะนำในการใช้อิเล็กโทรดในทางปฏิบัติ | 21 |
| 2.4 วงจรขยายอินสตรูเมนต์ชัน (Instrumentation Amplifier) | 22 |
| 2.4.1 พื้นฐานวงจขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล | 22 |
| 2.4.2 การพัฒนาวงจขยายแบบแบบดิฟเฟอเรนเชียล | 23 |
| 2.4.3 อินสตรูเมนต์ชัน แอมพลิฟายเออร์ | 24 |
| 2.5 วงจรกรองความถี่ | 26 |
| 2.5.1 หลักการทำงานทั่วไปของวงจรกรองความถี่ | 26 |
| 2.5.2 วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน | 28 |
| 2.5.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอเล็กทรอนิกส์ | 29 |
| 2.5.3 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ | 31 |
| 2.6 วงจรรวมสัญญาณ | 33 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.7 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัล | 33 |
| 2.7.1 กระบวนการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล | 34 |
| 2.7.1.1 Counting Converter | 34 |
| 2.7.1.2 Successive Approximation | 35 |
| 2.8 เครื่องรับ – ส่งสัญญาณวิทยุ TRW 2.4 GHz | 36 |
| 2.8.1 คุณสมบัติของ โมดูล TRW 2.4 GHz | 36 |
| 2.8.2 การจัดขาของ โมดูล TRW 2.4 GHz และหน้าที่การทำงาน | 37 |
| 2.8.3 ประเภทของ Data Package | 38 |
| 2.8.4 โหมดการทำงานของ TRW 2.4 GHz | 38 |
| 2.8.4.1 Active(Rx/Tx) Mode | 39 |
| 2.8.4.2 Configuration Mode | 42 |
| 2.8.4.3 Stand by Mode | 44 |
| 2.8.4.4 Power Down Mode | 44 |
| 2.9 ระบบเครือข่าย Ethernet | 45 |
| 2.9.1 ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครือข่าย Ethernet | 45 |
| 2.9.2 เฟรมบนระบบ Ethernet | 46 |
| 2.9.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดของ Data Frame | 47 |
| 2.9.4 สถาปัตยกรรมของอินเทอร์เน็ต | 47 |
| 2.9.5 บริการ ในอินเทอร์เน็ต | 47 |
| 2.9.6 โพรโตคอลในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ต | 48 |
| 2.9.6.1 โพรโตคอล TCP/IP | 48 |
| 2.9.6.2 โครงสร้างของสถาปัตยกรรมรูปแบบของ Protocol TCP/IP | 50 |
| 2.9.6.2 .1 Process Layer | 51 |
| 2.9.6.2 .2 Host-to-Host Layer | 52 |
| 2.9.6.2 .3 Internetwork Layer | 58 |
| 2.9.6.2 .4 Network Interface Layer | 63 |
| 2.9.7 ส่วนเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต | 65 |
| 2.9.8 การแสดงผลในระบบอินเทอร์เน็ต | 66 |
| 2.9.8 .1การทำงาน ของ World Wide Web | 66 |
| 2.9.8 .2 HTML | 68 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.9.8 .3 PHP (PHP : Hypertext Preprocessor) | 68 |
| 2.9.8 .3.1ประวัติโดยย่อของ PHP | 68 |
| 2.9.8 .3.2 การนำภาษาโปรแกรม PHP ไปใช้งาน | 69 |
| 2.9.9 ระบบฐานข้อมูล | 70 |
| 2.9.9.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฐานข้อมูล | 70 |
| 2.9.9.2 คำศัพท์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับฐานข้อมูล | 71 |
| 2.9.9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเทเบิล | 72 |
| 2.9.9.4 Schema | 72 |
| บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง | 73 |
| 3.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ | 73 |
| 3.1.1 วงจรขยายอินสตรูเมนต์เดชั่น โดยใช้ AD620AN | 73 |
| 3.1.2 วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter) | 74 |
| 3.1.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 75 |
| 3.1.3 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ | 75 |
| 3.1.4 วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier) | 79 |
| 3.1.5 โมดูล TRW 2.4 GHz ที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ | 81 |
| 3.1.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล | 81 |
| 3.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ | 84 |
| 3.2.1 Flow Chart การทำงานของ ADuC812 ในทางด้านส่ง | 84 |
| 3.2.2 Flow Chart การทำงานของ MCS-51 ในทางด้านรับ | 85 |
| 3.2.3 Flow Chart การทำงานของ Ethernet module | 86 |
| 3.2.4 Flow Chart แสดงการทำงานโดยรวมของเว็บเพจต่าง ๆ | 87 |
| 3.2.5 Schema ของฐานข้อมูลที่ออกแบบใช้กับเว็บเพจต่าง ๆ | 88 |
| 3.2.6 Flow Chart การทำงานโดยรวมของโปรแกรมรับค่าข้อมูล และเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล | 89 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 90 |
| 4.1 ผลการทดลองจากวงจร | 90 |
| 4.1.1 วงจรขยายอินสตรูเมนต์เดชั่น (Instrumentation Amplifier) | 90 |
| 4.1.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) | 90 |
| 4.1.3 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ (Band Reject Filter) | 91 |
| 4.1.4 วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier) | 91 |
| 4.1.5 วงจรยกระดับสัญญาณ | 92 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.1.6 วงจรการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 92 |
| 4.1.7 วงจรการวัดการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล | 93 |
| 4.1.8 วงจรการวัดการรับส่งข้อมูลผ่านโมดูล TRW2.4 GHz | 93 |
| 4.2 ผลจากการทดลองจากโปรแกรมไวซาร์ค (Wireshark) | 95 |
| 4.3 ผลจากการทดลองจากโปรแกรม NetBeans IDE 6.0 | 96 |
| 4.4 ผลการทดลองจากการออกแบบเว็บเพจต่าง ๆ เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล | 97 |
| บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ กิตติกรรมประกาศ หนังสืออ้างอิง ภาคผนวก | 103 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 การกระจายกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ | 3 |
| รูปที่ 2.2 ระบบสื่อนำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ | 4 |
| รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของส่วนประกอบที่สำคัญของหัวใจ | 5 |
| รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของการทำงานของหัวใจกับการเกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ | 6 |
| รูปที่ 2.5 การกระจายของศักดาไฟฟ้าบนผิวหนังมีลักษณะเสมือนเป็นอิเล็กทริกไดโพล | 7 |
| รูปที่ 2.6 ผลิเลคโตรคาร์ดิโอแกรมของคนปกติ | 8 |
| รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของความต่างศักดาไฟฟ้าบวก / ลบ กับ แรงดัน / เวลา ในคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 11 |
| รูปที่ 2.8 ตำแหน่งการวัด Bipolar Standard Leads | 12 |
| รูปที่ 2.9 ตำแหน่งการวัด Unipolar Limb Leads | 12 |
| รูปที่ 2.10 ตำแหน่งการวัด Unipolar Chest Leads | 13 |
| รูปที่ 2.11 LEAD V1-V6 | 13 |
| รูปที่ 2.12 ตำแหน่งการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 12 LEADS มาตรฐาน | 14 |
| รูปที่ 2.13 สัญญาณของ LEAD I, LEAD II และ LEAD III | 15 |
| รูปที่ 2.14 สัญญาณของ LEAD aVR, LEAD aVL, LEAD AvF | 16 |
| รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณของ Unipolar Chest Leads | 16 |
| รูปที่ 2.16 โครงสร้างผิวหนังและวงจรสมมูลของผิวหนังที่ติดอิเล็กโทรด | 19 |
| รูปที่ 2.17 คุณสมบัติของอิเล็กโทรดที่เป็นเหล็กโรสนิมซึ่งอิมพีแดนซ์ขึ้นกับค่าความเก็บประจุและความเข้มของกระแสไฟฟ้า | 20 |
| รูปที่ 2.18 ความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามความถี่ | 21 |
| รูปที่ 2.19 อิเล็กโทรดแผ่นที่ทำด้วยโพล (ชนิดใช้แล้วทิ้งเลย) สำหรับเครื่อง ECG ใช้ปิดผิวหนังคิคเซน-ซา | 21 |
| รูปที่ 2.20 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล | 23 |
| รูปที่ 2.21 วงจรบัฟเฟอร์ทางด้านอินพุทของวงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน | 24 |
| รูปที่ 2.22 วงจรอินสตรูเมนเตชัน แอมพลิฟายเออร์ | 24 |
| รูปที่ 2.23 วงจรที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 25 |
| รูปที่ 2.24 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 25 |
| รูปที่ 2.25 ระบบพื้นฐานของวงจรกรองความถี่ | 26 |
| รูปที่ 2.26 การตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอูคมคิต | 28 |
| รูปที่ 2.27 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 1 | 29 |
| รูปที่ 2.28 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 | 29 |
| รูปที่ 2.29 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2 | 30 |
| รูปที่ 2.30 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ | 31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.31 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่แบบปรับค่าได้ | 32 |
| รูปที่ 2.32 วงจรรวมสัญญาณ | 33 |
| รูปที่ 2.33 ไคอะแกรมการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลด้วยวิธี Counting Converter | 34 |
| รูปที่ 2.34 กราฟแสดงการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล | 35 |
| รูปที่ 2.35 Binary Search Strategy | 36 |
| รูปที่ 2.36 การจัดขาของ TRW 2.4GHz | 37 |
| รูปที่ 2.37 Data Package Diagram | 38 |
| รูปที่ 2.38 การรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำ (10kbps) แต่ส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูง(1 Mbps) | 39 |
| รูปที่ 2.39 การใช้กระแสไฟฟ้าของการส่งแบบ ShockBurst Mode และแบบธรรมดา | 39 |
| รูปที่ 2.40 ไคอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Tx | 40 |
| รูปที่ 2.41 ไคอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Rx | 40 |
| รูปที่ 2.42 ไคอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Tx | 41 |
| รูปที่ 2.43 ไคอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Rx | 41 |
| รูปที่ 2.44 แสดงการรับข้อมูลสองช่องสัญญาณพร้อมกัน (DuoCeiver Mode) | 42 |
| รูปที่ 2.45 ไคอะแกรมเวลาสำหรับ Configuration ของ TRW 2.4GHz | 43 |
| รูปที่ 2.46 ไคอะแกรมเวลาของ power down(VCC off) ไปยัง stand by Mode | 44 |
| รูปที่ 2.47 โหมด power down(VCC off) ไปยัง active Mode | 44 |
| รูปที่ 2.48 ลักษณะโครงสร้างของเฟรมข้อมูล | 46 |
| รูปที่ 2.49 ลักษณะของ Ethernet II Frame | 47 |
| รูปที่ 2.50 แสดงโครงสร้างมาตรฐานของ OSI - Reference Model | 49 |
| รูปที่ 2.51 แสดงกลไกของโพรโตคอลมาตรฐาน OSI model | 49 |
| รูปที่ 2.52 ภาพแสดงการรับส่งข้อมูลผ่านโพรโตคอล TCP/IP | 51 |
| รูปที่ 2.53 แสดงการใช้งาน port ของแต่ละโพรโตคอล | 53 |
| รูปที่ 2.54 แสดงการส่งข้อมูลจาก Application ไปยัง Host – to – Host Layer | 54 |
| รูปที่ 2.55 แสดงกลไกการส่งข้อมูลด้วยโพรโตคอล UDP | 56 |
| รูปที่ 2.56 แสดงโครงสร้างของ UDP Header | 56 |
| รูปที่ 2.57 Pseudo Header | 57 |
| รูปที่ 2.58 แสดงโครงสร้าง IP Header | 60 |
| รูปที่ 2.59 แสดงการ Bind IP address | 60 |
| รูปที่ 2.60 โครงสร้างของโพรโตคอล TCP/IP ในแต่ละชั้นหรือ layer จะมีโพรโตคอลหลัก ทำหน้าที่ต่าง ๆ และส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายและออกสู่อินเตอร์เน็ต | 64 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.61 แสดงวงจรควบคุมการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย | 65 |
| รูปที่ 2.62 PIN OUT | 66 |
| รูปที่ 2.63 ขั้นตอนการทำงานในการติดต่อกันระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับ โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ | 67 |
| รูปที่ 2.64 เว็บเซิร์ฟเวอร์ให้บริการแก่ client พร้อมกันมากกว่า 1 เครื่องในเวลาเดียวกัน | 68 |
| รูปที่ 2.65 ขั้นตอนการทำงานในการติดต่อกันเมื่อเว็บเบราว์เซอร์เรียก ไปยังเว็บเพจที่มีคำสั่งภาษา PHP | 69 |
| รูปที่ 3.1 วงจรอินสตรูเมนต์เช่นแอมพลิฟายเออร์ที่ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 74 |
| รูปที่ 3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2 | 74 |
| รูปที่ 3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2 ที่ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 75 |
| รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่แบบบริจด์จิกเฟอโรเรทโทเดอเรีย | 76 |
| รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ 50 Hz ที่ใช้งาน | 78 |
| รูปที่ 3.6 วงจรรวมสัญญาณที่ใช้งาน | 79 |
| รูปที่ 3.7 วงจรรวมของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 80 |
| รูปที่ 3.8 วงจรโมดูล TRW 2.4 GHz ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล | 81 |
| รูปที่ 3.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล | 81 |
| รูปที่ 3.10 วงจรเครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สาย | 82 |
| รูปที่ 3.11 วงจรเครื่องรับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สาย | 83 |
| รูปที่ 3.12 การทำงานของโปรแกรมการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และการส่งข้อมูลผ่าน TRW 2.4 GHz | 84 |
| รูปที่ 3.13 การทำงานของโปรแกรมการรับข้อมูลผ่าน TRW 2.4 GHz และส่งข้อมูลเข้าสู่พอร์ทอนุกรม | 85 |
| รูปที่ 3.14 การทำงานของโปรแกรมควบคุม Ethernet module | 86 |
| รูปที่ 3.15 การทำงานโดยรวมของเว็บเพจต่าง ๆ | 87 |
| รูปที่ 3.16 Schema ของฐานข้อมูล ecg โดยพื้นที่สีเทาแสดงส่วนคีย์หลัก | 88 |
| รูปที่ 3.17 การทำงานของโปรแกรมรับค่าข้อมูลผ่าน Port RJ-45 แล้วเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล | 89 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรขยายอินสตรูเมนต์ | 90 |
| รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน | 90 |
| รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ | 91 |
| รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรรวมสัญญาณ | 91 |
| รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรรวมระดับสัญญาณ | 92 |
| รูปที่ 4.6 คลื่น ไฟฟ้าหัวใจแสดงผลทางออสซิลโลสโคป | 92 |
| รูปที่ 4.7 ระดับสัญญาณดิจิทัลของสัญญาณอินพุทที่ระดับแรงดันต่างๆ | 93 |
| รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาของ โมดูล TRW2.4GHz ทางด้านส่ง | 94 |
| รูปที่ 4.9 สัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาของ โมดูล TRW2.4GHz ทางด้านรับ | 94 |
| รูปที่ 4.10 แสดงหน้าจอโปรแกรม wireshark เมื่อมีการส่ง packet เข้ามาในคอมพิวเตอร์ | 95 |
| รูปที่ 4.11 แสดงหน้าจอโปรแกรม NetBeans IDE 6.0 เมื่อมีการส่ง ส่งข้อมูลเป็นตัวเลข 129 ,130,254.255 ตามลำดับ | 96 |
| รูปที่ 4.12 แสดงส่วนของ Graphic User Interface สำหรับรับรหัสประจำตัว ของผู้วัดคลื่น ไฟฟ้าหัวใจ | 96 |
| รูปที่ 4.13 แสดงการรับค่าข้อมูลผ่านทาง Port RJ-45 | 97 |
| รูปที่ 4.14 หน้าโฮมเพจ index.php | 97 |
| รูปที่ 4.15 ข้อมูลในฐานข้อมูล ecg เทเบิล password_data ที่ใช้ควบคุมกับส่วนสำหรับเข้าสู่ระบบ | 98 |
| รูปที่ 4.16 เว็บเพจ new_regist.html ที่เป็นเว็บเพจเชื่อมโยงจากเว็บเพจ index.php | 98 |
| รูปที่ 4.17 เว็บเพจ new_regist.html ที่ทำการกรอกข้อมูลพร้อมที่จะส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล | 99 |
| รูปที่ 4.18 ข้อมูลในฐานข้อมูล ecg เทเบิล patient_data ที่ใช้เก็บข้อมูลจากเว็บเพจ new_regist.html | 99 |
| รูปที่ 4.19 เว็บเพจ new_ecg_data.php ที่แสดงลิงค์รายชื่อของผู้ที่ใช้บริการ ระบบที่แพทย์เป็นผู้ดูแล | 100 |
| รูปที่ 4.20 เว็บเพจ view.php แสดงเป็นรหัสประจำตัวผู้ป่วย ลิงค์วันที่และเวลา ที่ทำการวัดคลื่น ไฟฟ้าหัวใจ | 100 |
| รูปที่ 4.21 เว็บเพจ gd_basic1.php แสดงข้อมูลตัวอย่างสัญญาณคลื่น ไฟฟ้าหัวใจ ในรูปแบบของกราฟ | 101 |
| รูปที่ 4.22 เว็บเพจ gd_basic1.php แสดงข้อมูลตัวอย่างสัญญาณคลื่น ไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบ ของกราฟเมื่อทำการเพิ่มส่วนของการกำจัดสัญญาณรบกวนไว้ในโปรแกรมรับค่าข้อมูล | 101 |
| รูปที่ 4.23 เว็บเพจ gd_basic1.php แบบขยายรูปภาพที่เพิ่มส่วนแสดงเวลา เพื่อให้ง่ายต่อการดูผลของคลื่น ไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบกราฟ | 102 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ช่วงเวลาต่าง ๆ ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | 9 |
| ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานของเครื่องมือวัดทางการแพทย์ | 17 |
| ตารางที่ 2.3 ขาของ TRW 2.4 GHz และรายละเอียด | 37 |
| ตารางที่ 2.4 Configuration words | 43 |
| ตารางที่ 2.5 UDP Checksum คำนวณโดยใช้วิธีเดียวกันกับ IP Header Checksum | 57 |
| ตารางที่ 2.6 UDP Port Numbers | 58 |
| ตารางที่ 2.7 ค่าต่างๆของ IP Protocol Field | 61 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

จากข้อมูลสถิติ สำนักงานสถิติแห่งชาติ ปี 2549 พบว่าคนไทยป่วยเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดมากที่สุดในกลุ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังและโรคประจำตัว ซึ่งในกลุ่มผู้ป่วยบางรายอาจจะต้องอยู่ในความดูแลของแพทย์อย่างใกล้ชิด หรือจะต้องไปตรวจร่างกายที่โรงพยาบาลบ่อย ๆ ซึ่งในบางครั้งผู้ป่วยไม่สะดวกที่จะเดินทางไปโรงพยาบาลเพื่อรับการตรวจและให้แพทย์ทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับการเดินของหัวใจ ระบบความดันโลหิต เป็นต้น โครงการเครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายเข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับโรคหัวใจและหลอดเลือดได้รับการตรวจการเดินของหัวใจและชีพจรของตนเองว่าผิดปกติจากที่เคยเป็นหรือไม่ในขั้นต้น โดยที่ไม่ต้องเข้ารับการตรวจที่โรงพยาบาลบ่อย ๆ และสามารถจัดส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้เข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อให้แพทย์นำข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผู้ป่วยจัดส่งมายังฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ตนั้นไปวิเคราะห์ตามกระบวนการทางแพทย์ต่อไป ซึ่งถ้าหากพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย ผู้ป่วยจะได้รับแจ้งเพื่อเข้ารับการรักษาพยาบาลอย่างทันท่วงที

สำหรับการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น คือ การตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากหัวใจซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบกราฟ โดยอาศัยอิเล็กโทรดในการวัดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้นมีบทบาทสำคัญมากสำหรับการวินิจฉัยโรค รวมไปถึงการบอกลักษณะของโรคหัวใจ เพื่อประโยชน์แก่การรักษา แต่การที่จะวินิจฉัยโรคของผู้ป่วยโดยอาศัยการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพียงอย่างเดียว นั้น ไม่เพียงพอต้องอาศัยการตรวจร่างกาย ประวัติ และอาการแสดงของผู้ป่วยร่วมด้วยเสมอ เพื่อให้ได้การวินิจฉัยที่ถูกต้อง ยกตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยที่มีโรคหัวใจพิการมาแต่กำเนิด ชนิด VSD หรือ โรคหัวใจรูห์มาติก อาจพบคลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติได้บ่อย ถ้าพยาธิสภาพนั้นไม่รุนแรง ในทางตรงข้าม ผู้ป่วยที่หัวใจปกติก็อาจจะมีคลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติโดยบังเอิญได้ ในกลุ่มโรคหัวใจขาดเลือดที่ไม่มีอาการ (myocardial injuries เช่น incomplete Rt. bundle branch block)

ปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้เป็นการสร้างเครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สายเข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต สำหรับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะใช้แผ่นอิเล็กโทรดชนิดแผ่นทำด้วยโพลีเมอร์ เป็นตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะถูกแปลงจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สายซึ่งจะใช้โมดูล TRW- 2.4 GHz ในการส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สูงไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งใช้โมดูล TRW-2.4 GHz เป็นอุปกรณ์ทางด้านรับเช่นกัน และข้อมูลจากทางด้านรับจะเข้าสู่อุปกรณ์ Embedded เพื่อส่งเข้าสู่ฐานข้อมูล โดยที่ผู้ใช้บริการจะต้องทำการลงทะเบียนก่อนการขอใช้ข้อมูลต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างง่าย
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิทัล, เครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ TRW 2.4 GHz เป็นต้น
- เพื่อทดลองสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างง่าย และเครื่องส่งข้อมูลแบบไร้สาย
- เพื่อศึกษาและทดลองส่งและรับข้อมูลตัวอย่างของคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านทาง Ethernet Module และ Port RJ-45 ตามลำดับ
- เพื่อศึกษาและทดลองการออกแบบเว็บเพจ การออกแบบระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการแสดงผลข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต

1.2 ขอบเขตของโครงการ

- ทำการศึกษาและสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างง่าย และทำการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจเฉพาะ Lead ที่ I เท่านั้น
- ออกแบบฐานข้อมูล รวมไปถึงการบริหารจัดการฐานข้อมูล และออกแบบเว็บเพจที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างเว็บเพจต่าง ๆ และฐานข้อมูล

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

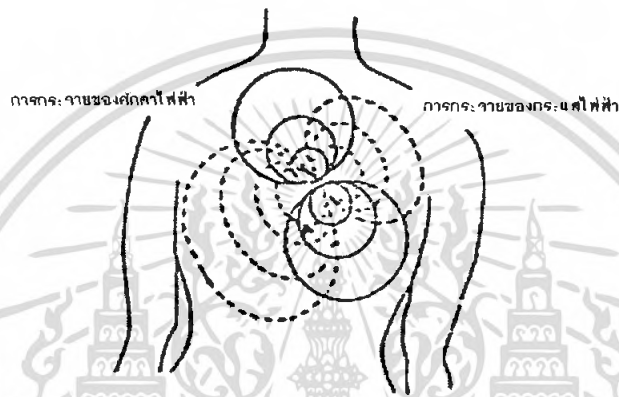
- มีความรู้และความเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจและเครื่องส่งข้อมูลแบบไร้สายมากยิ่งขึ้น
- มีความรู้และความเข้าใจหลักการทำงานของวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างง่ายและเครื่องส่งข้อมูลแบบไร้สาย
- มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบฐานข้อมูล รวมไปถึงการบริหารจัดการฐานข้อมูล
- มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเว็บเพจที่ต้องใช้งาน รวมไปถึงการเชื่อมต่อระหว่างเว็บเพจต่าง ๆ และฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของร่างกายทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตให้หมุนเวียนไปทั่วร่างกาย โดยที่การหดตัวและพองตัวของหัวใจเพื่อส่งโลหิตไปทั่วร่างกายนั้น จะถูกควบคุมการทำงานด้วยกล้ามเนื้อพิเศษที่เรียกว่า กล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardium) ที่ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าจาก Sinoatrial node การหดตัวและพองตัวดังกล่าวนี้เกิดไปพร้อมกับศักดาไฟฟ้า (electric potential) กระจายไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 การกระจายกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ

2.1.1 คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ

หัวใจมีคุณสมบัติหลายอย่างซึ่งเป็นลักษณะพิเศษดังต่อไปนี้

1. กล้ามเนื้อหัวใจสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง (Automatically) เนื่องจากมีการทำงานของศักดาไฟฟ้า
2. การทำงานมีความต่อเนื่อง (Contractility) คุณสมบัติเช่นนี้เป็นลักษณะธรรมชาติของกล้ามเนื้อหัวใจ การบีบตัวของหัวใจเรียกว่า ซิสโตล (Systole) และการคลายตัวเรียกว่า ไดแอสโตล (Diastole) แล้วตามด้วยระยะพัก การทำงานครบวงจรเช่นนี้เรียกว่า วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac Cycle)
3. มีระบบสื่อ นำ (Conductivity) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างคุณสมบัติของกล้ามเนื้อและประสาท ทำหน้าที่นำคำสั่งไปยังส่วนต่างๆ ของหัวใจเพื่อให้การทำงานเป็นจังหวะและพร้อมเพรียงกัน ถึงแม้ว่ากล้ามเนื้อหัวใจจะทำงานได้เองแต่ในร่างกายจะต้องมีระบบสื่อ นำเป็นตัวเริ่มทำให้เกิดพลังประสาท ดังรูป 2.2 ระบบสื่อ นำที่กล่าวนี้ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์อยู่ที่บริเวณหัวใจห้องบนขวา (Right Atrium) ใกล้กับรูเปิดของหลอดเลือดซุพีเรียเวนาคาวา (Superior Vena Cava) เรียกว่า ไฮโน-เอตริยัลโนด (Sino-atrial Node : SA Node) ทำหน้าที่สร้าง

สัญญาณไฟฟ้ากระตุ้นเพื่อให้เกิดการบีบตัวของหัวใจห้องบนและนำคลื่นไฟฟ้าส่งต่อไปยังกลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle) เรียกว่า เอตริโอเวนตริคิวลาร์ โหนด (Atrioventricular Node : AV Node) โดยที่เซลล์กลุ่มนี้มีส่วนของเนื้อเยื่อที่เรียกว่า บัลดิลออฟฟิส (Bundle of his) และส่วนของเส้นใยพิเศษเรียกว่า เพอร์คินจ์ (Purkinje Fibers) ทำหน้าที่เป็นสื่อนำสัญญาณจากกลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาผ่านไปยังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง ระบบสื่อนำตั้งแต่กลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาลงมาเรียกว่า ระบบเพอร์คินจ์ (Purkinje's System)

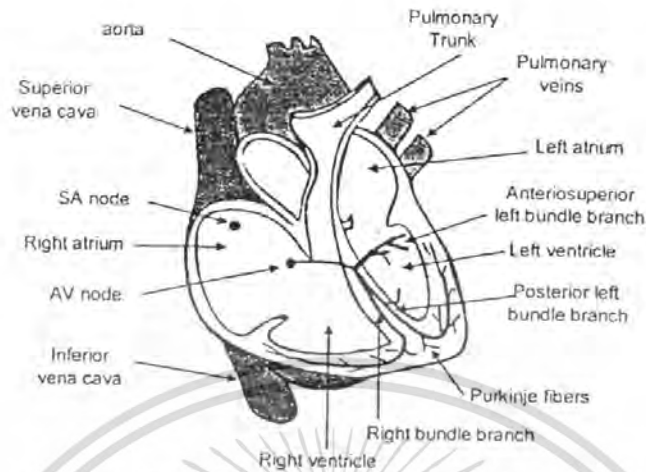


รูปที่ 2.2 ระบบสื่อนำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ

4. กล้ามเนื้อหัวใจมีระยะก่อนานในระยะบีบตัวกล้ามเนื้อซึ่งอยู่ในสภาวะดีโพลาไรซ์ (Depolarization) ซึ่งเป็นระยะแรกที่เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถูกกระตุ้นและรีโพลาไรซ์ (Repolarization) เป็นช่วงที่กลับคืนสู่ภาวะปกติ จึงยังไม่สนองต่อการกระตุ้นระยะนี้เรียกว่า ระยะแอบโซลูทรีแฟรคทอรี (Absolute Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.25 วินาที แต่ต่อมาในระยะต้นของการคลายตัวนั้น กล้ามเนื้อหัวใจมีการตอบสนองต่อการกระตุ้น (Excitability) มากขึ้น แต่ก็ยังคงอยู่ ต้องทำการกระตุ้นด้วยตัวกระตุ้นที่แรงมากพอจึงจะสามารถตอบสนองได้ เรียกระยะนี้ว่า ระยะรีเลทีฟ-แฟรคทอรี (Relative Refractory Period)) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.05 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ลักษณะการทำงานเชิงกลของหัวใจ (Mechanical Operation of Heart)



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของส่วนประกอบที่สำคัญของหัวใจ

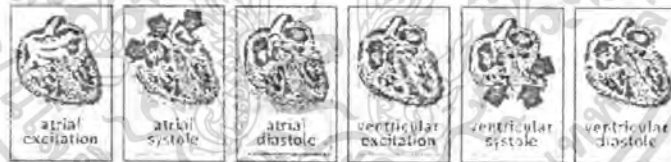
จากรูปที่ 2.3 ในการทำงานของหัวใจนั้น เลือดดำจากส่วนต่างๆ ของร่างกายจะไหลกลับสู่หัวใจผ่านทางหลอดเลือดดำ อินฟีเรียร์เวนาคาวา (Inferior Vena Cava) และซูพีเรียร์เวนาคาวา เข้าสู่หัวใจห้องบนขวา (Right Atrial : RA) จากนั้นหัวใจห้องบนขวาจะบีบตัวส่งเลือดให้ไหลลงสู่หัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle : RV) และถูกฉีดออกไปสู่ปอดเพื่อทำการรอกซ์ออกซิเจนให้เปลี่ยนเป็นเลือดดีแล้วส่งกลับเข้ามายังหัวใจห้องบนซ้าย (Left Atrial : LA) ทางหลอดเลือดแดงพัลโมนารีเวน (Pulmonary Vien) และไหลผ่านลงสู่หัวใจห้องล่างซ้าย (Left Ventricle : LV) โดยการบีบตัวของหัวใจห้องบนซ้ายต่อจากนั้นเลือดแดงจะถูกฉีดไปเลี้ยงร่างกายโดยผ่านทางเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta)

การทำงานของหัวใจแบ่งได้เป็นช่วงจังหวะต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ช่วงที่การบีบตัวส่งเลือดออกไปของหัวใจสิ้นสุดและกำลังรอจังหวะบีบตัวครั้งต่อไป ช่วงนี้เป็นช่วงที่เลือดไหลเข้าสู่หัวใจ สภาพหัวใจขณะนี้จะถือว่าเป็นสภาวะพัก (Resting State) ของหัวใจ
2. เป็นช่วงที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะพักเสร็จสิ้นลง ในช่วงนี้หัวใจห้องบน (Atrial) เริ่มหดตัว ทำให้ความดันภายในหัวใจห้องบนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และด้วยความดันนี้จะทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องบนเข้าสู่หัวใจห้องล่าง (Ventricle)
3. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างเพิ่มมากขึ้นจะทำให้วาล์วที่กั้นระหว่างหัวใจห้องบนกับห้องล่างด้านขวา (Tricuspid valve) และด้านซ้าย (Mitral valve) ปิด ดังนั้นปริมาตรของหัวใจห้องล่างจะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่หัวใจห้องล่างเริ่มหดตัวนั้นความดันในเส้นเลือดดำจากหัวใจห้องบนขวา (Pulmonary artery) เท่ากับ 7 มิลลิเมตรปรอท ขณะที่ในเส้นเลือดแดงใหญ่ซึ่งนำเลือดจากหัวใจห้องล่างซ้ายส่งไปยังร่างกายมีความดันเท่ากับ 80 มิลลิเมตรปรอท ลิ้นเปิด - ปิดของเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta valve) และเส้นเลือดดำใหญ่ (Pulmonary valve) จะปิดอยู่จนกระทั่งความดันเพิ่มขึ้นจนเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างซ้ายเพิ่มขึ้นจนมากกว่าความดันในเส้นเลือดแดงใหญ่ ลิ้นหัวใจของเส้นเลือดแดงใหญ่จะเปิด และหัวใจห้องล่างซ้ายจะสูบฉีดเลือดผ่านเส้นเลือดแดงใหญ่เข้าสู่ระบบไปเลี้ยงร่างกาย ความดันจะขึ้นถึงจุดสูงสุดประมาณ 125 มิลลิเมตรปรอท หลังจากเลือดส่วนใหญ่ถูกขับออกไปสู่ร่างกายแล้ว กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายจะหดลงความดันในหัวใจห้องล่างและในเส้นเลือดแดงใหญ่จะเริ่มตกลง
5. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างตกลงจนถึงค่าหนึ่ง ความดันในเส้นเลือดแดงใหญ่และเส้นเลือดดำใหญ่จะมากกว่าความดันในหัวใจ (Chambers) ลิ้นเปิด - ปิดของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำจะปิด ที่จุดนี้กระบวนการสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจห้องล่างกำลังพองตัวความดันจะยังคงตกลงเรื่อยๆ
6. เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างตกลงต่ำกว่าในหัวใจห้องบน ลิ้นหัวใจจะเปิดและเลือดจะเริ่มไหลเข้าสู่หัวใจห้องล่างอย่างรวดเร็ว และจะช้าลงเมื่อหัวใจห้องล่างเริ่มเพิ่มขนาดขึ้นสูงสุดขณะนี้ในช่วงของระยะพักของหัวใจดังที่กล่าวไว้ในข้อ 1 และครบวงจรการเต้นของหัวใจวงจรต่อไปก็จะเริ่มใหม่อีก ดังรูปที่ 2.4



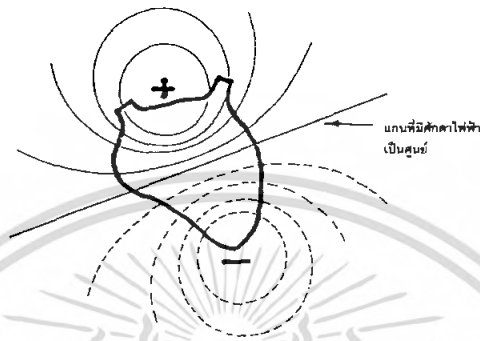
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของการทำงานของหัวใจกับการเกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ

2.1.3 สัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ

ตามปกติเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะมีแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์มีค่าเป็นลบมากกว่าแรงดันไฟฟ้าภายนอกเซลล์ประมาณ 90 มิลลิโวลต์ แสดงตามรูปที่ 2.5 แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง (Resting potential) ถ้าศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งนี้มีค่าสูงกว่าขีดจำกัดค่าหนึ่งจะมีการแตกตัวของอนุภาคและประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการแตกตัวให้ประจุเกิดขึ้นศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะมีค่าประมาณ +30 มิลลิโวลต์ และเซลล์กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลงหลังจากนั้นประมาณ 20 มิลลิวินาที ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะกลับไปมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าขณะหยุดนิ่ง และเซลล์จะอยู่ในลักษณะคลายตัวจนกว่าวัฏจักรจะเริ่มซ้ำ (เมื่อศักย์ไฟฟ้าหยุดนิ่งเพิ่มขึ้นอีก)

หัวใจส่วนบนมีการเกี่ยวพันทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเมื่อเซลล์หนึ่งเกิดการแตกตัวให้ประจุเซลล์ใกล้เคียงจะได้รับการกระตุ้นให้ปลดปล่อยด้วยประจุคลื่นของการปลดปล่อยประจุ จะกระจายไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปทั่วส่วนบน ในที่สุดเซลล์ทุกเซลล์ในหัวใจส่วนบนจะมีการแตกตัวให้ประจุ หัวใจส่วนบนจะหดตัว คลื่นของการปลดปล่อยประจุเกิดจากเซลล์จำนวนมาก ทำให้เกิดความแตกต่างศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าวางบนผิวหนัง ค่าแรงดันที่วัดได้ด้วยวิธีนี้เรียกว่า อิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรม (Electrocardiogram :ECG) โดยคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดได้ระหว่างจุดต่างๆ จะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางของตำแหน่งที่วัดกระทำต่อแกนหัวใจ (Heart axis) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การกระจายของศักย์ไฟฟ้าบนผิวหนังมีลักษณะเสมือนเป็นอิเล็กทริกไดโพล

ในการทำงานเดียวกันกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องหัวใจส่วนบน เซลล์ทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะมีความสัมพันธ์ทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในหัวใจในส่วนล่างมีการแตกตัวของอนุภาคและให้ประจุออกมา (และการหดตัว) ในทุก ๆ เซลล์ของหัวใจส่วนล่าง

อย่างไรก็ตาม หัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างไม่ได้เชื่อมต่อกันโดยตรง บริเวณแนวเชื่อมต่อของช่องทางไฟฟ้าของหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่าง เรียกว่า โหนด AV (Atrioventricular Node) การส่งผ่านสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างจะทำให้ทั้ง 2 ส่วนได้รับสัญญาณช้ากว่ากัน 0.04 วินาที เพื่อให้หัวใจส่วนบนมีเวลาหดเลือดให้หัวใจส่วนล่าง การล่าช้าดังกล่าวยังเป็นตัวจำกัดจำนวนครั้งต่อวินาทีที่หัวใจบีบตัวตลอดเวลามากจากหัวใจส่วนบนจนถึงหัวใจส่วนล่าง ในกรณีที่หัวใจส่วนบนมีการบีบรัดตัวเร็วเกินไป การจำกัดอัตราการบีบตัวของหัวใจส่วนล่างเป็นการทำให้ชีวิตปลอดภัย ทั้งนี้เพราะการสูบฉีดเลือดของหัวใจส่วนล่างนี้เองที่ทำให้เลือดไหลไปสู่สมองและอวัยวะต่างๆ ได้มากที่สุด ถ้าการบีบตัวดังกล่าวเกิดขึ้นเร็วเกินไป การไหลของเลือดจะลดลงเนื่องจากไม่มีเวลาพอที่จะใช้สูบเลือดเข้าสู่หัวใจส่วนล่างซึ่งเวลาดังกล่าวก็คือช่วงเวลาระหว่างการหด

กลับไปดูรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นแผนภาพวงจรควบคุมการปลดปล่อยของประจุของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถ้าไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกทำให้เกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า เซลล์หัวใจจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงจากสภาพที่มีศักย์ไฟฟ้า ขณะหยุดนิ่งมีการแตกตัวของอนุภาคให้ประจุไฟฟ้าด้วยจำนวนคงที่ เซลล์ที่มีการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเร็วที่สุดจะเป็นเซลล์ที่นำไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุที่โหนด AV สัญญาณการปลดปล่อยประจุจากเซลล์จะกระจายสู่เซลล์ต่างๆ ในหัวใจส่วนบนก่อน จากนั้นโหนด AV จะนำสัญญาณไฟฟ้าไปยังเส้นใยไฟฟ้า ซึ่งจะนำไฟฟ้าเข้าสู่หัวใจส่วนบนก่อนที่จะนำ

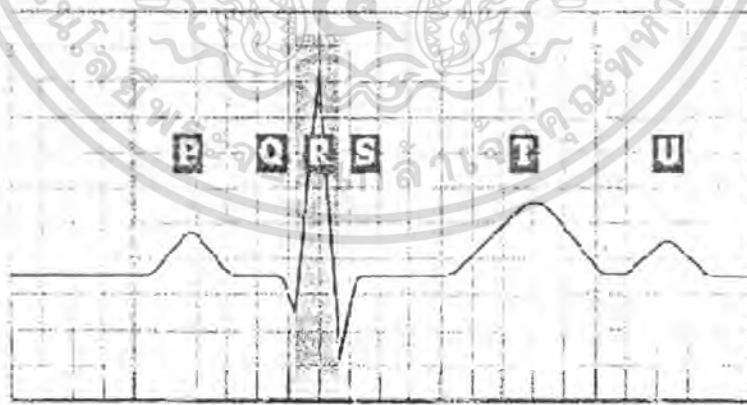
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไฟฟ้าไปยังเส้นใยไฟฟ้าที่จะนำไฟฟ้าสู่หัวใจห้องล่างอย่างรวดเร็ว การกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยประจุในหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยเริ่มจากภายในส่วนผนังหัวใจภายนอก เซลล์ในหัวใจตอนบนจะมีแนวโน้มน้ำที่จะปลดปล่อยประจุประมาณ 60 – 100 ครั้งต่อวินาที เซลล์ในโหนด AV ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างหัวใจส่วนบนกับหัวใจส่วนล่างมีแนวโน้มน้ำที่จะปลดปล่อยประจุประมาณ 30 ครั้งต่อนาที

ดังนั้นการหดตัวของหัวใจส่วนบนจะเกิดขึ้นก่อน ตามด้วยระยะเวลาที่ทิ้งช่วงและการหดตัวของหัวใจส่วนล่างจากนั้นจะมีระยะหยุดพักก่อนที่จะมีการบีบตัวของหัวใจ หรือวัฏจักรการทำงานของหัวใจครั้งต่อไปจะเกิดขึ้น เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีการปลดปล่อยประจุและหดตัวเป็นลำดับ เป็นจังหวะเป็นเวลา สัญญาณจากโหนด SA จะเข้ามาแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุและหดตามอัตราที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นโหนด AV จึงเป็นผู้นำในการทำงานของหัวใจ ถ้าโหนด AV ไม่ทำงาน หรือสัญญาณที่ส่งมาถูกแนวโหนด AV ที่เป็นโรดกักไว้ หัวใจส่วนล่างจะยังคงบีบรัดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเซลล์บางเซลล์ในหัวใจส่วนล่างสามารถที่จะปลดปล่อยประจุได้เองและทำตัวเป็นผู้นำในหัวใจส่วนล่าง อัตราการเต้นของหัวใจในลักษณะนี้จะช้า (ประมาณ 30 ครั้งต่อนาที) แต่จังหวะการเต้นของหัวใจเพื่อความอยู่รอดเช่นนี้มักจะเพียงพอที่จะทำให้ชีวิตรอดได้

2.1.4 ความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติแสดงดังรูปที่ 2.6 ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ จะเริ่มตั้งแต่ก่อนการบีบตัวของหัวใจจนกระทั่งมีการคลายตัวในแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงเกิดสัญญาณขึ้นเป็นจังหวะ โดยมีความถี่เท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจ



รูปที่ 2.6 ผลอิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรมของคนปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจในแต่ละจังหวะประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าย่อย 3 คลื่น คือ

1. ช่วงคลื่น P เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นที่หัวใจห้องบนซ้าย และขวาซึ่งเกิดก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องมีการบีบตัว
2. ช่วงคลื่น QRS เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นที่หัวใจห้องล่างซ้ายและขวาซึ่งเกิดก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องมีการบีบตัว โดยที่ขนาดของคลื่นสัญญาณ R สำหรับการทำการงานปกติของหัวใจมีค่าประมาณ 1 มิลลิโวลต์
3. ช่วงคลื่น T เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นที่หัวใจห้องล่างซ้าย และขวาซึ่งเกิดก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องมีการคลายตัว โดยขนาดของสัญญาณ T มีค่าประมาณ $\frac{1}{3}$ ของขนาดของสัญญาณ R
4. สัญญาณ U ยังไม่ทราบสาเหตุแน่นอน แต่สันนิษฐานกันว่าเกิดจากการกลับคืนสู่ระดับศักดาไฟฟ้าขณะอยู่หนึ่ง ๆ อย่างช้า ๆ ของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง หรือที่เรียกว่า ศักดาไฟฟ้าตามหลัง (After Potential)

สำหรับขบวนการรีโพลาไรซ์ของหัวใจห้องบน อาจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างที่หัวใจห้องล่างมีการบีบตัว แต่ขนาดจะไม่ปรากฏเนื่องจากค่าของสัญญาณช่วงคลื่น QRS มีค่ามากกว่า

ตารางที่ 2.1 ช่วงเวลาต่าง ๆ ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

| ช่วงเวลาต่าง ๆ ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ | ช่วงเวลาปกติ (วินาที) | |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| | ค่าเฉลี่ย | ช่วงเวลา |
| ช่วงเวลาของ PR* | 0.18 | 0.12 – 0.20 |
| ช่วงเวลาของ QR | 0.08 | 0.08 – 0.10 |
| ช่วงเวลาของ QT | 0.40 | 0.40 – 0.43 |
| ช่วงเวลาของ ST (QT – QTRS) | 0.32 | - |

หมายเหตุ * ช่วงเวลาของ PR วัดได้จากเวลาของสัญญาณ P ถึงเวลาเริ่มของสัญญาณรวม QRS

2.1.5 Specification ของเครื่อง Electrocardiogram

คณะกรรมการของการตรวจ ECG ของสมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้ข้อเสนอแนะสำหรับเครื่อง ECG มาตรฐานที่ใช้เขียนโดยตรงลงบนกระดาษ Pip Berger ก.ศ. 1975 ข้อเสนอแนะดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. Linearity and distortion ความแม่นยำและความผิดเพี้ยนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเครื่อง ECG การเบี่ยงเบนไปจากความถูกต้องควรมีค่าน้อยกว่า 5% เมื่อทำการบันทึกบนกระดาษด้วยความสูง 5 และ 50 มิลลิเมตร ความต้องการนี้ครอบคลุมคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีความถี่ระหว่าง 0.05-200 เฮิรตซ์

2. Input range เครื่อง ECG ต้องสามารถขยายสัญญาณได้ในช่วงกว้าง คือ ช่วงที่มีความสูงได้ถึง 10 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Input Impedance and current อินพุทอิมพีแดนซ์ระหว่างอิเล็กโทรดกับพื้นดิน ควรจะมีค่าน้อยกว่า 5 เมกะโอห์ม ในระหว่างการวัดนั้น อิเล็กโทรดทุกอันควรต่อลงดินทั้งหมด เครื่อง ECG ไม่ควรจะให้มีการเสไฟฟ้ามากกว่า 1.0 ไมโครแอมแปร์ไหลผ่านผู้ป่วย (ปัจจุบันนี้กระแสรั่วไหลที่ไม่มากกว่า 10 ไมโครแอมแปร์นั้นเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป)

4. Central Terminal วงจรรีซิสแดนซ์ที่ต้องการเพื่อทำให้เกิด Central Terminal ไม่ควรทำให้มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณเพิ่มขึ้นจากที่ได้กล่าวไว้ในข้อที่ 1 อีกมากกว่า 2% เมื่อรวมกับความต้องการในทางอินพุทอิมพีแดนซ์แล้ว ค่ารีซิสแดนซ์ที่น้อยที่สุดควรจะมีค่า 3.3 เมกะโอห์ม

5. Gain ของเครื่อง ECG ควรจะมีที่ปรับกำลังขยายได้ 3 ค่า คือ 5, 10 และ 20 มิลลิเมตรต่อมิลลิโวลต์

6. Frequency Response การตอบสนองของเครื่อง ECG ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.14 ไปจนถึง 25 เฮิร์ตซ์ ควรจะเท่ากัน ไม่ควรต่างกันเกิน 0.5 dB สำหรับสัญญาณที่มีความสูงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร บนกระดาษบันทึกเมื่อใช้ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ แล้วการตอบสนองต่อสัญญาณรูปไซน์ไม่ควรจะลดลงมากกว่า 3 dB

7. Common-mode-rejection ratio (CMRR) ในทุกตำแหน่งของสวิตช์ที่ใช้เลือกสายต่อ (Lead Selector Switch) เมื่อปรับตั้งกำลังขยายของเครื่องบันทึกไว้ที่ 10 มิลลิเมตรต่อมิลลิโวลต์ และต่อสายอิเล็กโทรดทั้งหมดเข้ากับไฟฟ้าสลับ 60 เฮิร์ตซ์ 120 โวลต์ พร้อมกับสายอีกข้างหนึ่งลงดิน ส่วนสายอีกข้างหนึ่งนั้น ซึ่งต่อกับจุดรวมของสายอิเล็กโทรดทั้งหมด จะนำไปต่อเป็นอนุกรมกับคาปาซิแตนซ์ 22 pF ผลที่ได้นั้น ไม่ควรจะมีการเคลื่อนที่ของเข็มบันทึกมากกว่า 20 มิลลิเมตร ข้อกำหนดเฉพาะนี้จะยังคงใช้ได้อยู่เมื่อต่อรีซิสแดนซ์ 100 กิโลโอห์ม แบบอนุกรมกับสายอินพุทด้วย

8. Calibration เครื่อง ECG ควรจะมีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานขนาด 10 มิลลิโวลต์ สำหรับปรับเทียบค่ากำลังขยายของเครื่อง

9. Chart Speed ความเร็วของกระดาษบันทึกมาตรฐานควรจะเป็น 25 มิลลิเมตรต่อวินาที นอกจากนั้นควรมีความเร็วที่สูงกว่าด้วย คือ ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ความแม่นยำของความเร็วควรมีค่า 2%

10. Output เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ควรมีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม เอาท์พุทสูงสุดควรมีค่า 1 โวลต์

11. Event Marker อุปกรณ์ที่ทำเครื่องขยายด้วยมือ ควรจะมีไว้ในเครื่อง ECG สำหรับให้ผู้ใช้เครื่องทำเครื่องหมายเมื่อทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้า ECG

2.2 การวัดและมาตรฐานในการวัดคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

2.2.1 หลักการของการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Principle of electrocardiography)

เป็นการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ระหว่างจุด 2 จุด บนผิวหนัง โดยอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ขั้วไฟฟ้า (The electrode)
2. สายนำไฟฟ้า (The leads)
3. ภาคขยาย (The amplifier)
4. ภาคบันทึก (The recorder)
5. กระดาษบันทึก (The paper)

โดยอาศัยหลักการ คือ ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก เส้นกราฟจะมีทิศทางขึ้นด้านบน
 ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ เส้นกราฟจะมีทิศทางลงด้านล่าง
 ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.7

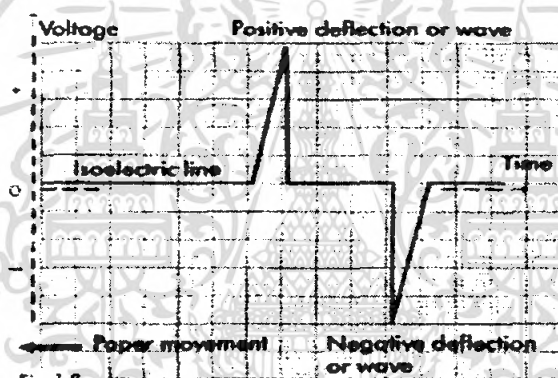


Fig. 1.8 Positivity/negativity and voltage/time relationships in the ECG

รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้าบวก / ลบ กับ แรงดัน / เวลา ในคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

การนับจะเริ่มนับจากขณะเริ่มเกิด P wave ไปจนเริ่มเกิด QRS complex ซึ่งเรียกว่า PR interval ปกติไม่ควรนานกว่า 0.2 วินาที การเกิด QRS complex ตั้งแต่ต้นจนจบ ไม่ควรนานกว่า 0.12 วินาที ถ้านานกว่านั้นแสดงว่าผิดปกติ

การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ประกอบด้วย lead มาตรฐาน 12 leads ได้แก่

- Bipolar Standard Leads จำนวน 3 leads : LEAD I , LEAD II , LEAD III
- Unipolar Limb Leads จำนวน 3 leads : LEAD aVR , LEAD aVL , LEAD aVF
- Unipolar Chest Leads จำนวน 6 leads : LEAD V1-V6

Bipolar Standard Leads

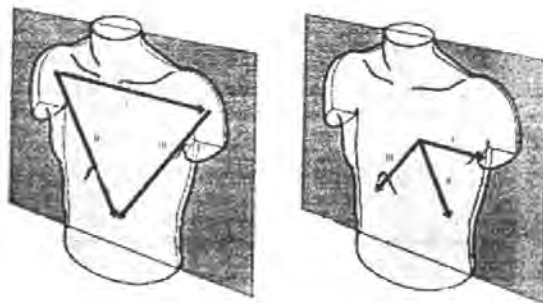
LEAD I คือ แขนซ้าย (ขั้วบวก) กับ แขนขวา (ขั้วลบ)

LEAD II คือ ขาซ้าย (ขั้วบวก) กับ ขาขวา (ขั้วลบ)

LEAD III คือ ขาซ้าย (ขั้วบวก) กับ ขาขวา (ขั้วลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีตำแหน่งการวัดดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งการวัด Bipolar Standard Leads

Unipolar Limb Leads

aVR คือ แขนขวา

aVL คือ แขนซ้าย

aVF คือ ขาซ้าย ซึ่งมีตำแหน่งการวัดดังรูปที่ 2.9

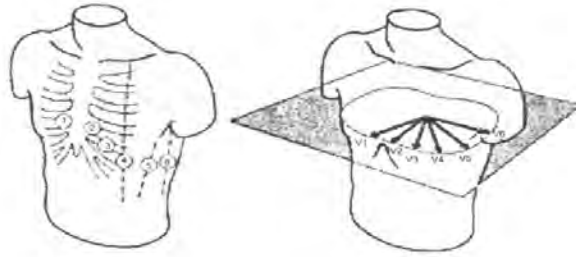


รูปที่ 2.9 ตำแหน่งการวัด Unipolar Limb Leads

Unipolar Chest Leads

เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้า โดยใช้อิเล็กโทรดบันทึก (Exploring Electrode, ขั้วบวก) วางบนตำแหน่งผิวหนังบริเวณทรวงอก โดยเปรียบเทียบกับศูนย์ซึ่งทำได้โดยนำขั้วไฟฟ้าที่วางตำแหน่งแขนขวา แขนซ้ายและขาซ้ายมารวมกัน บันทึกได้ 6 ตำแหน่ง คือ V1, V2, V3, V4, V5 และ V6 โดย ECG ที่บันทึกได้เป็นการดูหัวใจด้าน Horizontal Plane ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งการวัด Unipolar Chest Leads

LEAD V1-V6 จะมีตำแหน่งการวัดที่แตกต่างกัน

ตำแหน่งที่วางอิเล็กโทรดบันทึกวางในตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 2.11

ลีด V1 วางตำแหน่งระหว่างกระดูกซี่โครงที่ 4 และที่ 5 ซิดกระดูกหน้าอกด้านขวา

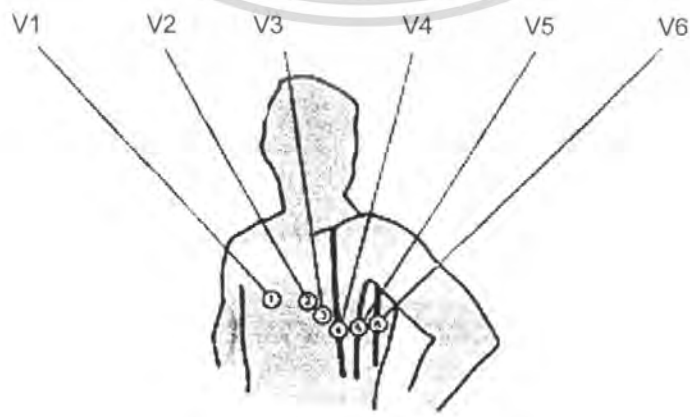
ลีด V2 วางตำแหน่งระหว่างกระดูกซี่โครงที่ 1 และที่ 5 ซิดกระดูกหน้าอกด้านซ้าย

ลีด V3 วางตำแหน่งระหว่าง V2 และ V4

ลีด V4 วางตำแหน่งระหว่างกระดูกซี่โครงที่ 4 และที่ 5 ตรงแนว Medclavicular Line

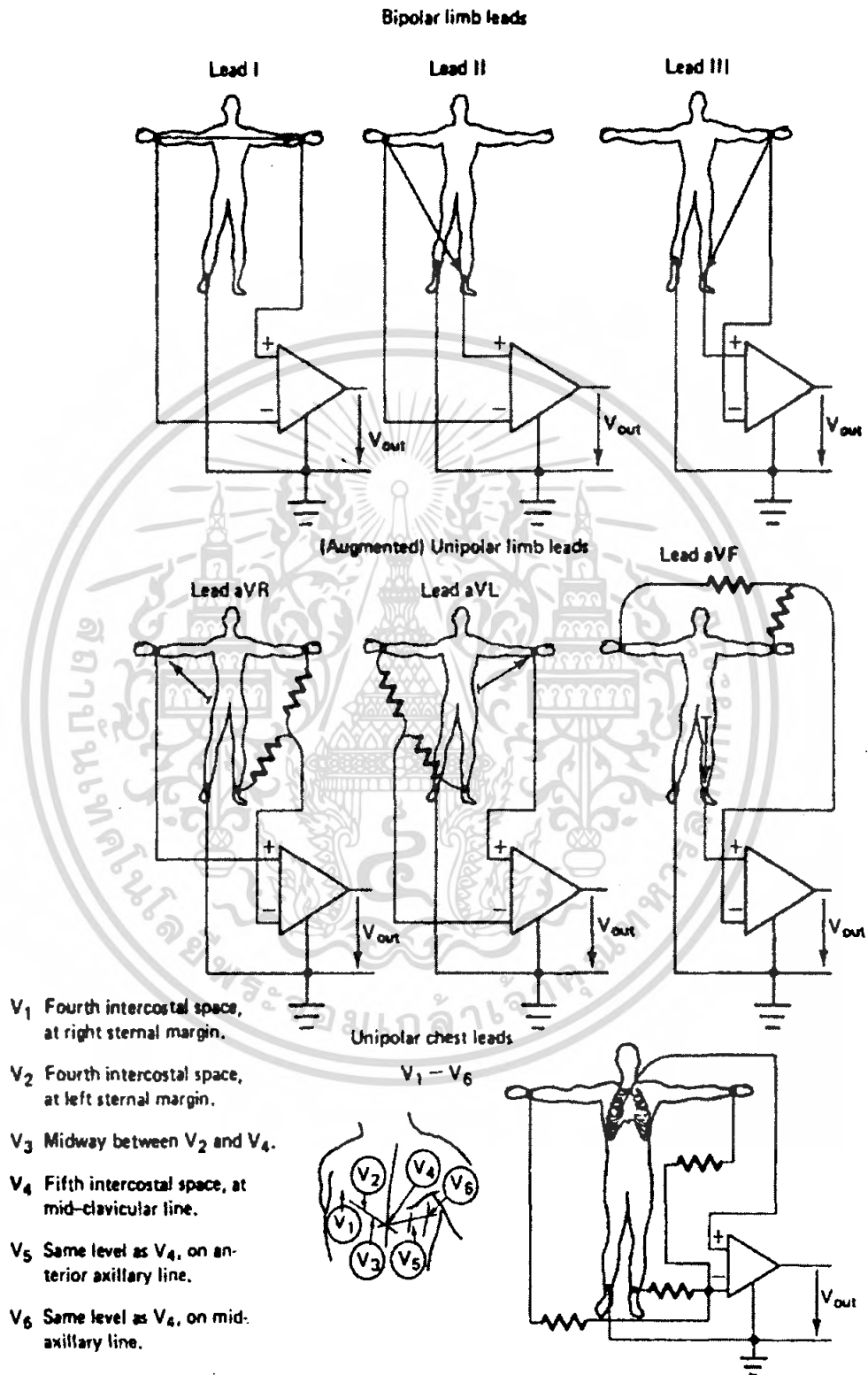
ลีด V5 วางตำแหน่งเดียวกับระดับ V4 แต่ตรงแนว Anterior Axillary Line

ลีด V6 วางตำแหน่งเดียวกับระดับ V5 แต่ตรงแนว Midaxillary Line



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในโรงพยาบาลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

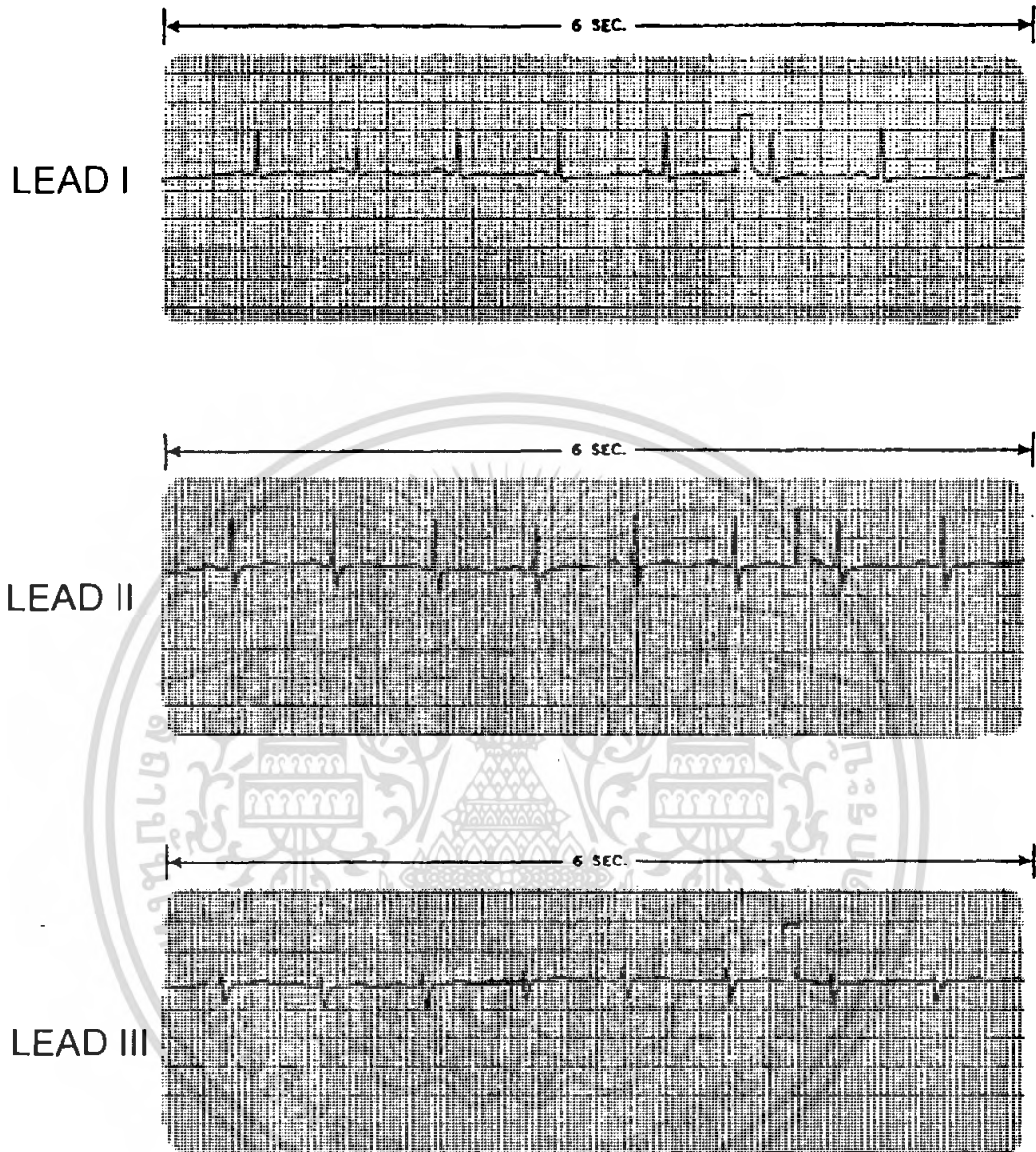
การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 12 LEADS จะมีตำแหน่งการวัดที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตำแหน่งการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้ง 12 LEADS มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

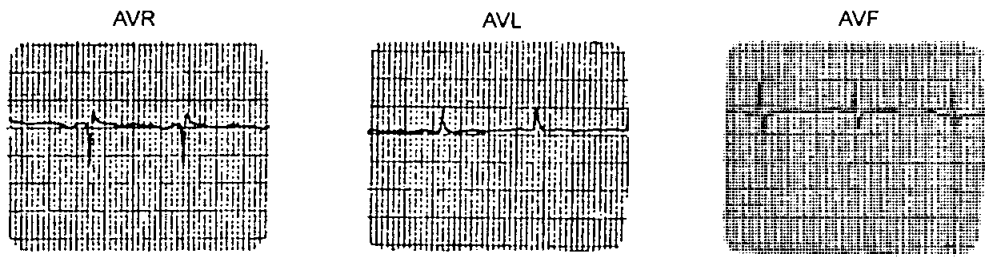
รูปสัญญาณของ LEAD I, LEAD II และ LEAD III จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สัญญาณของ LEAD I, LEAD II และ LEAD III

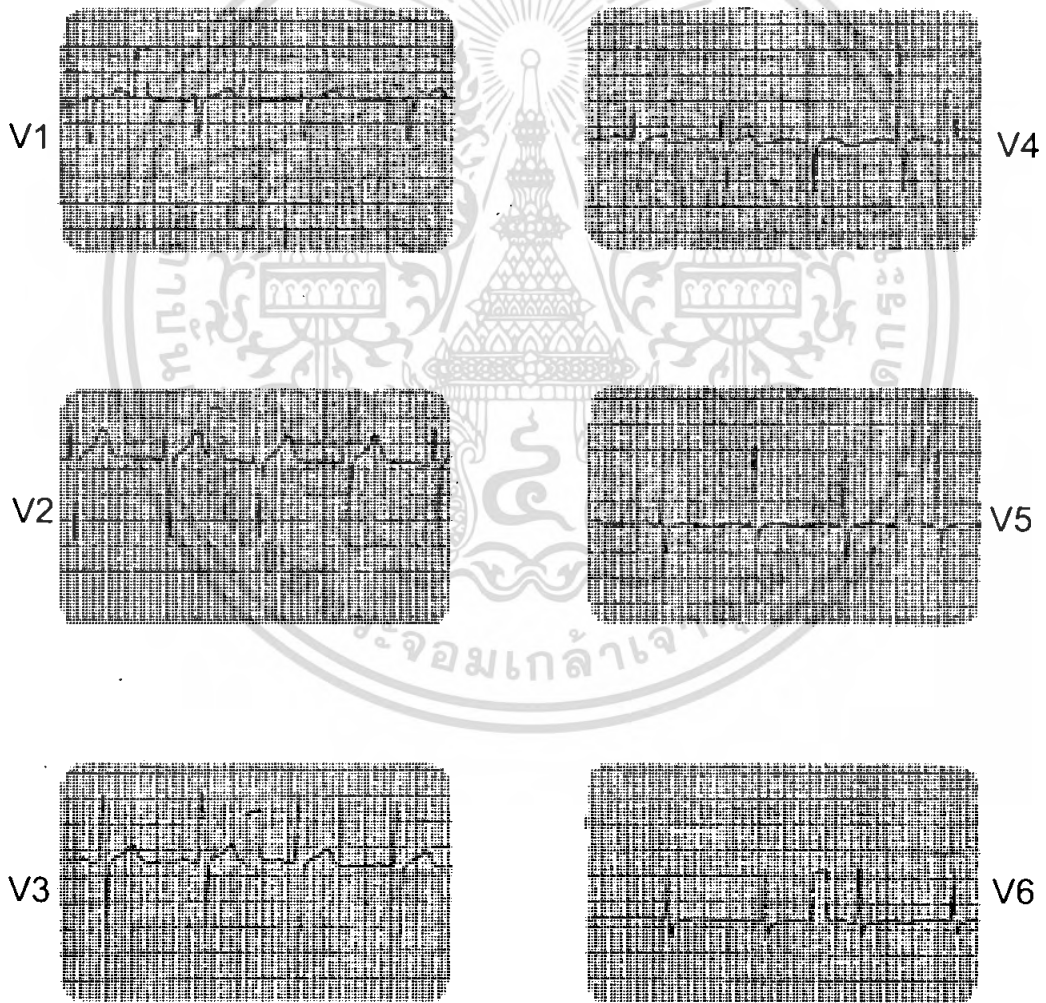
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสัญญาณของ LEAD aVR , LEAD aVL , LEAD aVF จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สัญญาณของ LEAD aVR , LEAD aVL , LEAD aVF

รูปสัญญาณของ Unipolar Chest Leads จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณของ Unipolar Chest Leads

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มาตรฐานในการวัดความปลอดภัยในเครื่องมือวัดทางการแพทย์

ได้กำหนดค่ามาตรฐานต่าง ๆ รวมทั้งฟังก์ชัน (function) ที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบความปลอดภัยของเครื่องมือวัดทางการแพทย์ โดยกำหนดให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ (parameter) ต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. แรงดันไฟสลับ (Main Voltage) คือ การวัดค่าแรงดันที่จ่ายให้กับเครื่องมือวัดทางการแพทย์
2. ความต้านทานของฉนวน (Insulation Resistance) คือ ค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายไฟที่จ่ายไฟกระแสสลับกับสายดิน
3. ความต้านทานของสายดิน (Earth resistance or Earth continuous) คือ ค่าความต้านทานระหว่างตัวกล่องเครื่องมือวัดทางการแพทย์กับสายดิน
4. การรั่วไหลของสายดิน (Earth Leakage) เป็นการวัดกระแสที่รั่วไหลจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านลงสายดิน
5. การรั่วไหลของตัวอย่างเครื่องมือวัดทางการแพทย์ (Chassis Leakage) เป็นการวัดกระแสรั่วจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านลงตัวกล่องของเครื่องมือวัดทางการแพทย์
6. การรั่วไหลของวงจรคนไข้ (Patient Circuit Leakage) เป็นการวัดกระแสที่รั่วไหลจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านลงตัวกล่องของเครื่องมือวัดทางการแพทย์
7. การรั่วไหลของวงจรคนไข้ ขณะที่ไม่มีกรต่อสายดิน (Patient Circuit Leakage Without Earth) คล้ายกับกรณี 6. ต่างกันที่กรณีนี้สายดินขาด
8. การตรวจสอบการแยกตัวของวงจรคนไข้ (Patient Circuit Isolation test) เป็นการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านจากวงจรคนไข้ลงสู่สายดิน เมื่อป้อนไฟกระแสสลับเข้าสู่วงจรผู้ป่วย สำหรับค่ามาตรฐานต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานของเครื่องมือวัดทางการแพทย์

| Mode | Test Function | Limit Class A | Limit Class B |
|------|--|----------------|-----------------|
| 1 | Main Voltage | 210 – 250 V | 210 – 250 V |
| 2 | Insulation Resistance (ที่ = 800 Vdc) | 0 – 15 μ A | 0 – 80 μ A |
| 3 | Earth Resistance (ที่ = 800 Vdc) | 0 – 500 mV | 0 – 500 mV |
| 4 | Earth Leakage | 0 – 50 μ A | 0 – 100 μ A |
| 5 | Chassis Leakage | 0 – 10 μ A | 0 – 10 μ A |
| 6 | Patient Circuit Leakage | 0 – 10 μ A | 0 – 100 μ A |
| 7 | Patient Circuit Leakage Without Earth | 0 -10 μ A | 0 -100 μ A |
| 8 | Patient Circuit Isolation | 0 – 10 μ A | 0 – 200 μ A |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Limit Class A หมายถึง มาตรฐานของการรื้อไหลต่าง ๆ ที่ยอมให้เกิดที่เครื่องมือวัดทางการแพทย์ที่ถูกใช้งานบริเวณวิกฤตต่าง ๆ เช่น ห้องผ่าตัด, บริเวณ Intensive Care Monitoring Ward, ห้องปฏิบัติการทศลง Cardiac Catheterization เป็นต้น

Limit Class B หมายถึง มาตรฐานของการรื้อไหลต่าง ๆ ที่ยอมให้เกิดที่เครื่องมือวัดทางการแพทย์ที่ถูกใช้งานบริเวณนอกเหนือจากที่กำหนดใน Limit Class A เช่น ห้องสำหรับตรวจคนไข้นอก เป็นต้น

2.3 อิเล็กโทรด

การจะวัดศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าบนร่างกายนั้นจะต้องมีตัวเชื่อม คือ อิเล็กโทรด ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนเป็นทรานสดิวเซอร์ เพราะในร่างกายมีการนำกระแสด้วยไอออน แต่สำหรับในเครื่องวัดจะมีการนำกระแสด้วยอิเล็กตรอน ดังนั้น อิเล็กโทรดต้องทำหน้าที่เปลี่ยน ionic current ให้เป็น electronic current

ไดอะแกรมของผิวหนังระหว่างอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์ แสดงดังรูปที่ 2.16 กระแสไฟฟ้าที่จะข้ามจากอิเล็กโทรดไปยังอิเล็กโทรไลต์นั้น จะประกอบด้วย

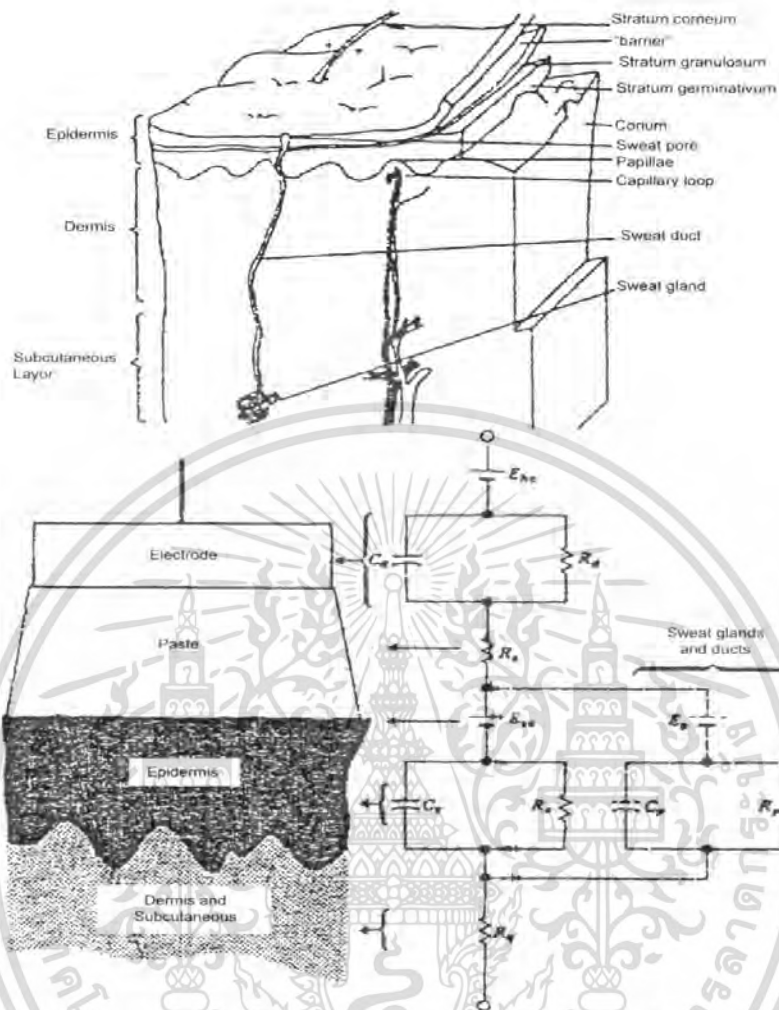
1. อิเล็กตรอนที่เคลื่อนไปในทางทิศตรงข้ามกับกระแสอิเล็กโทรด
2. แคทไอออนเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับกระแสไฟฟ้า
3. แอนไอออนเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์

สำหรับประจุที่ข้ามผิวหนังนั้น เนื่องจากไม่มีอิเล็กตรอนอิสระในอิเล็กโทรไลต์และไม่มีแคทไอออนและแอนไอออนอิสระในอิเล็กโทรดด้วยจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เพื่อเป็นการถ่ายทอดประจุระหว่างพหุทั้งสอง ดังนั้น อิเล็กโทรไลต์ที่ห่อหุ้มด้วยโลหะจะมีศักย์ไฟฟ้าแตกต่างไปเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-cell potential) แต่เราไม่สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของอิเล็กโทรดได้ จึงต้องใช้อิเล็กโทรดอีกอันในการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของอิเล็กโทรดที่กล่าวมาเป็นภาวะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล ถ้ามีกระแสไหล ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จะต้องเปลี่ยนแปลงไป ความแตกต่างนี้เป็นผลมาจากโพลาไรเซชันของอิเล็กโทรด ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับภาวะสมดุลนั้นเรียกว่า overvoltage ซึ่งมีกลไกที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นี้ 3 ส่วน คือ

1. Ohmic overvoltage เป็นผลมาจากความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโทรดทั้งสองอัน เมื่อความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดเปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าที่เกินทางต้านโอห์ม (Ohmic overvoltage) ก็จะไม่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับกระแสไฟฟ้า ตามกฎของโอห์ม
2. Concentration overvoltage เกิดจากความเข้มข้นที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการกระจายของไอออนในอิเล็กโทรไลต์
3. Activation overvoltage เป็นผลมาจากการถ่ายทอดประจุของปฏิกิริยาการเติมและการลดออกซิเจน ไม่สามารถเปลี่ยนกลับได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างผิวหนังและวงจรสมมูลของผิวหนังที่คิดเชิงเล็คโทรค

2.3.1 อิเล็กโทรดที่พลาไรซ์และอิเล็กโทรดที่ไม่พลาไรซ์

ตามทฤษฎีสามารถแบ่งอิเล็กโทรดได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

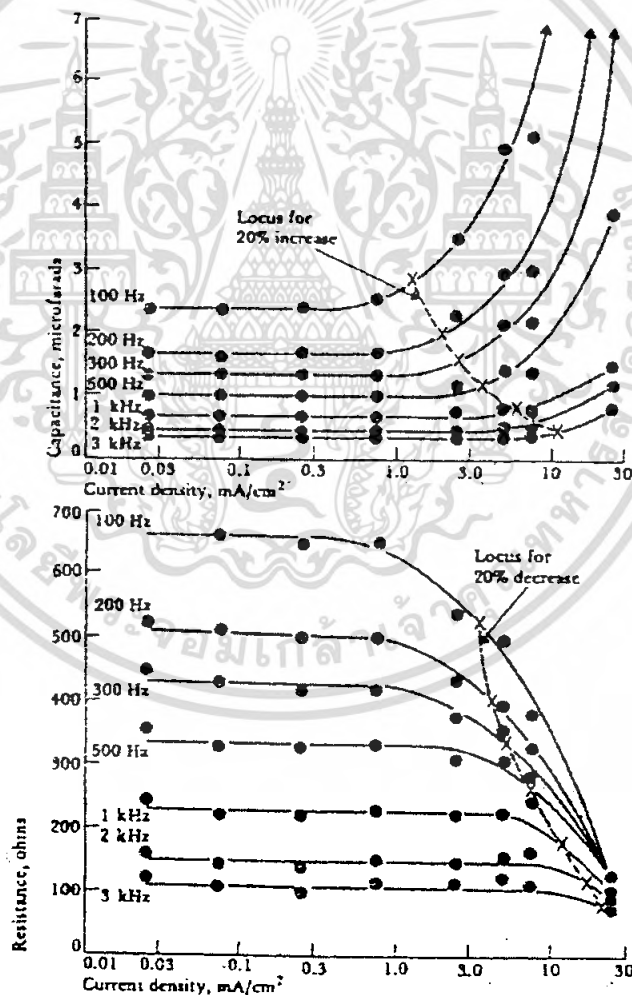
1. อิเล็กโทรดที่พลาไรซ์ได้ อิเล็กโทรดนี้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะไม่มีประจุข้ามพื้นหน้าของอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์จะทำงานเสมือนว่าเป็นคาปาซิเตอร์
2. อิเล็กโทรดที่ไม่พลาไรซ์ เมื่อมีกระแสผ่านจะสามารถผ่านพื้นหน้าได้อย่างเสรีโดยไม่สูญเสียพลังงาน ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิด overvoltage

แต่ในปัจจุบันยังไม่สามารถสร้างอิเล็กโทรดที่พลาไรซ์และอิเล็กโทรดที่ไม่พลาไรซ์ได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

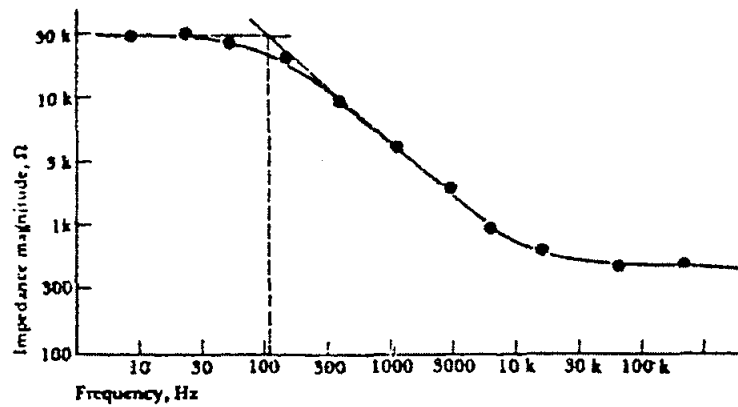
2.3.2 คุณสมบัติของอิเล็กโทรด

เราพบว่าคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของอิเล็กโทรดนั้นไม่เป็นเส้นตรง เพราะอิเล็กโทรดมีคุณสมบัติเฉพาะ คือ ความไวต่อกระแสที่ผ่านลงไป ในอิเล็กโทรด ถ้ามีความเข้มข้นของกระแสมาก คุณสมบัติจะแตกต่างไปจากเดิมดังรูปที่ 2.17 และคุณสมบัติของอิเล็กโทรดยังขึ้นอยู่กับรูปคลื่นไฟฟ้า ถ้าเป็นรูปไซน์ก็ยิ่งขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย เพราะอิเล็กโทรดเหมือนมีตัวต้านทานและตัวเก็บประจุอยู่ดังรูปที่ 2.18 เมื่อนำอิเล็กโทรดมาติดที่ผิวหนัง เราต้องพิจารณาพื้นที่ระหว่างอิเล็กโทรด, อิเล็กโทรไลต์ และผิวหนังด้วย เราจะใช้ครีมอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยคลอไรด์ไอออน ทาเป็นตัวประสานก่อนที่จะติดอิเล็กโทรด ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของผิวหนัง คือ การวัด galvanic skin reflex (GSR) เพราะเกี่ยวกับเหงื่อและท่อของต่อมเหงื่อ ซึ่งจะมีโซเดียม โปแทสเซียม และคลอไรด์ไอออนหลั่งออกมาจากต่อมเหงื่อ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างรูของท่อต่อมเหงื่อกับผิวหนัง แต่ส่วนประกอบที่กล่าวมาสามารถตัดไปได้กับอิเล็กโทรดที่ใช้วัดทางชีววิทยารวมคา ที่ไม่เกี่ยวกับการวัดทางผิวหนัง



รูปที่ 2.17 คุณสมบัติของอิเล็กโทรดที่เป็นเหล็กไร้สนิมซึ่งอิมพีแดนซ์ขึ้นกับค่าความเก็บประจุและความเข้มข้นของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

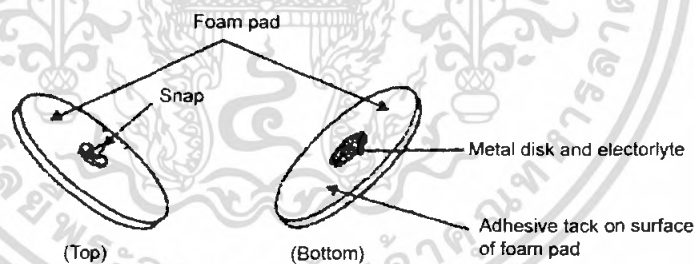


รูปที่ 2.18 ความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามความถี่

2.3.3 อิเล็กโทรดแบบแผ่นที่ทำด้วยโลหะ

อิเล็กโทรดที่ใช้บ่อยในการรับสัญญาณไฟฟ้าในทางชีววิทยา คือ อิเล็กโทรดแผ่นที่ทำด้วยโลหะ โดยการนำแผ่นโลหะมาสัมผัสกับผิวหนัง และมักใช้ครีมอิเล็กโทรไลต์เชื่อมระหว่างกลางเพื่อทำให้มีการสัมผัสที่ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 2.19 แสดงอิเล็กโทรดแผ่นโลหะแบบต่าง ๆ เป็นอิเล็กโทรดที่ใช้ได้รวดเร็วและใช้แล้วทิ้ง ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลา และบุคลากรทางด้านนี้ อิเล็กโทรดนี้ประกอบด้วยพลาสติกที่ทำเป็นโฟมและมีแผ่นเงินติดอยู่ข้างหนึ่ง แผ่นเงินนี้อาจเคลือบด้วยซิลเวอร์คลอไรด์ ในการใช้อิเล็กโทรดนี้ ผู้ใช้เพียงแต่ทำความสะอาดผิวหนัง เปิดห่ออิเล็กโทรดทิ้งกระดาษที่ปิดอยู่ทิ้งไปแล้วกดอิเล็กโทรดลงบนผิวหนังทันที



รูปที่ 2.19 อิเล็กโทรดแผ่นที่ทำด้วยโฟม (ชนิดใช้แล้วทิ้งเลย) สำหรับเครื่อง ECG ใช้ปิดผิวหนังติดแขน-ขา

2.3.4 ข้อแนะนำในการใช้อิเล็กโทรดในทางปฏิบัติ

ในการใช้อิเล็กโทรดโลหะสำหรับวัดสัญญาณไฟฟ้าหรือกระตุ้นก็ดี จะต้องคำนึงถึงข้อปฏิบัติ 5 ประการดังต่อไปนี้ คือ

1. ในการสร้างอิเล็กโทรดรวมทั้งสายไฟที่นำมาต่อ โดยเฉพาะส่วนที่จะต้องสัมผัสกับเนื้อเยื่อของร่างกาย ควรเป็นวัสดุชนิดเดียวกันตลอด เมื่อใช้วัสดุอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมก็ควรจะใช้ฉนวนหุ้มไว้ ไม่ให้สัมผัสกับเนื้อเยื่อหรืออิเล็กโทรไลต์ของร่างกาย โลหะต่างชนิดกันไม่ควรนำมาใช้ให้สัมผัสกัน เพราะจะมีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต่างกัน นอกจากนั้นเมื่อสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ก็จะทำให้เกิด
- ไม่ทราบว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าเกิดขึ้น เป็นผลให้มีโพลาริเซชันเพิ่มเติม และมักทำให้อิเล็กโทรดอันหนึ่งถูกกัดกร่อนไป ปัจจุบันนี้ทำให้ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มีเสถียรภาพน้อย ทำให้เพิ่มการรบกวนทางไฟฟ้าของอิเล็กโทรดได้

2. เมื่อใช้อิเล็กโทรดคู่ใดคู่หนึ่งสำหรับวัดศักย์ไฟฟ้าในร่างกาย ควรใช้อิเล็กโทรดที่ทำด้วยวัสดุอย่างเดียวกัน เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากัน ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้า DC ที่ป้อนเข้าไปยังอินพุทของวงจรรขยายสัญญาณจะได้มีค่าน้อยมาก อันเป็นการทำให้การอิ่มตัวของวงจรรขยายสัญญาณไม่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อวงจรรขยายสัญญาณที่ใช้เป็นชนิด DC และมีกำลังขยายสูง

3. อิเล็กโทรดที่ใช้ติดบนผิวหนังมักจะหลุดง่าย อย่างไรก็ตาม ปัญหาจะไม่เกิดขึ้นถ้าอิเล็กโทรดได้รับการออกแบบที่ดี เส้นลวดที่ต่อออกมาจากอิเล็กโทรดควรจะทำให้อ่อนตัวได้มาก แต่ก็ต้องแข็งแรง จุดต่อของเส้นลวดที่เข้าไปยังแผ่นอิเล็กโทรดมักหลุดได้ง่าย เนื่องมาจากการโค้งงอของเส้นลวดที่มีอยู่เรื่อย ๆ จะคำนึงถึงข้อนี้ด้วยเสมอในการออกแบบ

4. อิเล็กโทรดมักถูกใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูงมาก ฉนวนของอิเล็กโทรดเหล่านี้มักทำด้วยวัสดุพวกโพลีเมอร์ ซึ่งสามารถดูดน้ำได้เมื่อใช้ไปนาน ๆ

5. การใช้วงจรรขยายสัญญาณที่มีอินพุทสูงมาก ๆ ทำให้การบันทึกไฟฟ้าได้ผลดี ถ้าอิมพีแดนซ์ของวงจรรขยายสัญญาณมีค่าไม่สูงพอ นอกจากจะได้สัญญาณที่มีความสูงลดลงแล้ว ยังมีรูปร่างผิดเพี้ยนไปอีกด้วย

2.4 วงจรรขยายอินสตรูเมนต์ชัน (Instrumentation Amplifier)

วงจรรขยายสัญญาณเป็นวงจรที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบการวัดและระบบควบคุม เพราะสามารถปรับอัตราขยายได้ เนื่องจากในระบบการวัดระบบหนึ่งอาจจะต้องมีการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณที่ต่างชนิดกัน ซึ่งสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับสัญญาณที่ต่างชนิดกันมักจะมีช่วงของระดับสัญญาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้น ถ้าเราสามารถปรับอัตราขยายของสัญญาณที่รับมาได้ ก็จะสามารถเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับวงจรอื่น ๆ ได้ต่อไป

2.4.1 พื้นฐานวงจรรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Amplifier)

วงจรรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล ดังรูปที่ 2.20 เป็นวงจรรขยายอีกชนิดหนึ่งในบรรดาวงจรรขยายทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำการขยายค่าผลต่างของแรงดันอินพุททั้งสองที่ป้อนเข้าไปในวงจรด้วย Differential gain วงจรรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลสามารถสร้างได้จากออปแอมป์ (op-amp) หรือ emitter coupled logic gates ซึ่งเมื่อป้อนอินพุท V_m^+ และ V_m^- แล้วจะได้เอาท์พุทดังนี้

$$V_{out} = A_d(V_m^+ - V_m^-) + A_c \frac{(V_m^+ + V_m^-)}{2} \quad (2.1)$$

เมื่อ A_d คือ differential-mode gain

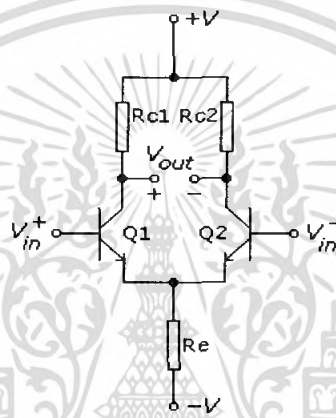
A_c คือ common-mode gain

และจะสามารถหาค่า common-mode rejection ratio ได้จากอัตราส่วนของ A_d และ A_c

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) จะพบว่า ถ้าค่า A_c มีค่าเป็นศูนย์ ค่าของ $CMRR$ จะเป็นอนันต์ ซึ่งสำหรับวงจร symmetrical differential amplifier นั้น เมื่อ A_c มีค่าเป็นศูนย์ จะได้สมการเอาต์พุต ดังนี้

$$V_{out} = A_d(V_{in}^+ - V_{in}^-) \quad (2.3)$$



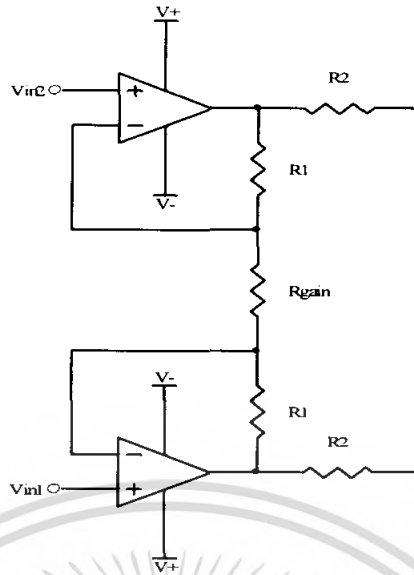
รูปที่ 2.20 วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล

2.4.2 การพัฒนางจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล

วงจรถ่ายแบบดิฟเฟอเรนเชียลโดยทั่วไปมีข้อเสีย คือ มีความต้านทานด้านอินพุตต่ำ แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการใส่วงจรบัฟเฟอร์เข้าไปทางด้านอินพุตของวงจรถ่ายแบบดิฟเฟอเรนเชียล โดยที่วงจรบัฟเฟอร์แสดงดังรูปที่ 2.21 และเนื่องจากแรงดันที่ขาบวกและขาลบของออปแอมป์มีค่าเท่ากันเสมอ จึงส่งผลให้แรงดัน ณ จุด 1 และ 2 (เมื่อเทียบกับกราวด์) จะมีค่าเท่ากับกับแรงดันอินพุต V_{in1} และ V_{in2} ตามลำดับ และแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ R_{gain} จะมีค่าเท่ากับ $V_{in1} - V_{in2}$ ตามลำดับ และจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้มีค่าดังนี้

$$I = \frac{(V_{in1} - V_{in2})}{R_{gain}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

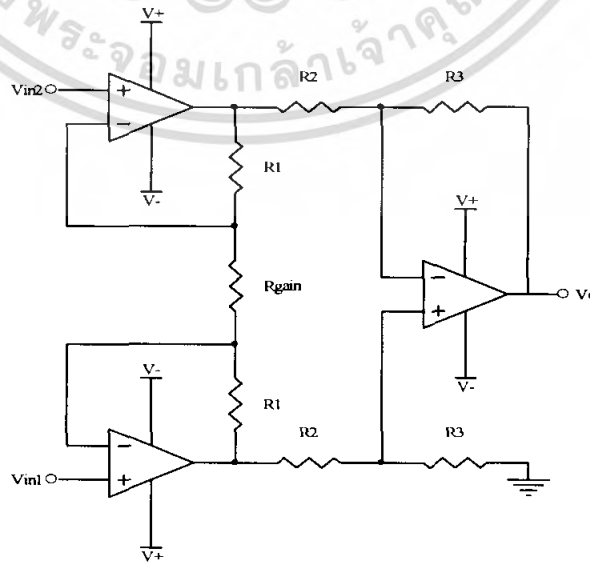


รูปที่ 2.21 วงจรบัฟเฟอร์ทางด้านอินพุตของวงจรขยายอินสตรูเมนต์

2.4.3 อินสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์ (Instrumentation Amplifier)

รูปที่ 2.22 เป็นวงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาแล้ว เรียกว่า วงจรอินสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์ ซึ่งมีวงจรบัฟเฟอร์ทางด้านอินพุต วงจรนี้เป็นวงจรที่เหมาะสมสำหรับระบบการวัด เนื่องจากมีค่าแรงดันไฟฟ้า DC และสัญญาณรบกวนที่ต่ำมาก นอกจากนี้ยังให้ค่า CMRR และ ค่าความต้านทานด้านอินพุตที่สูง และอัตราขยายสัญญาณของวงจรสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

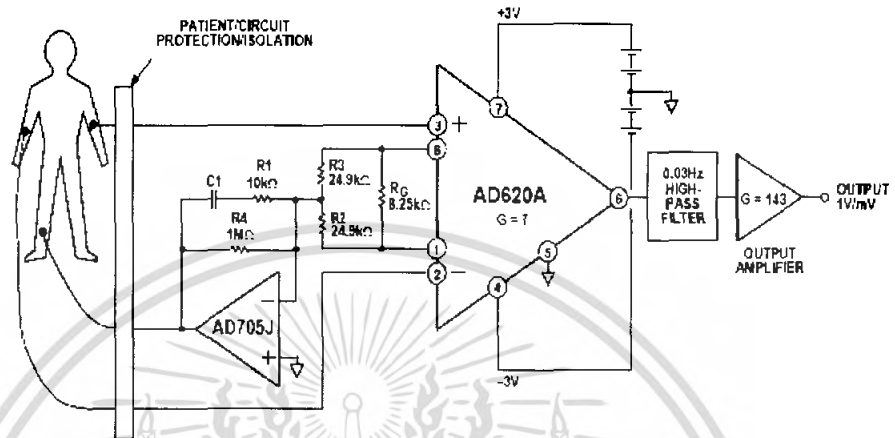
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) \frac{R_3}{R_2} \tag{2.5}$$



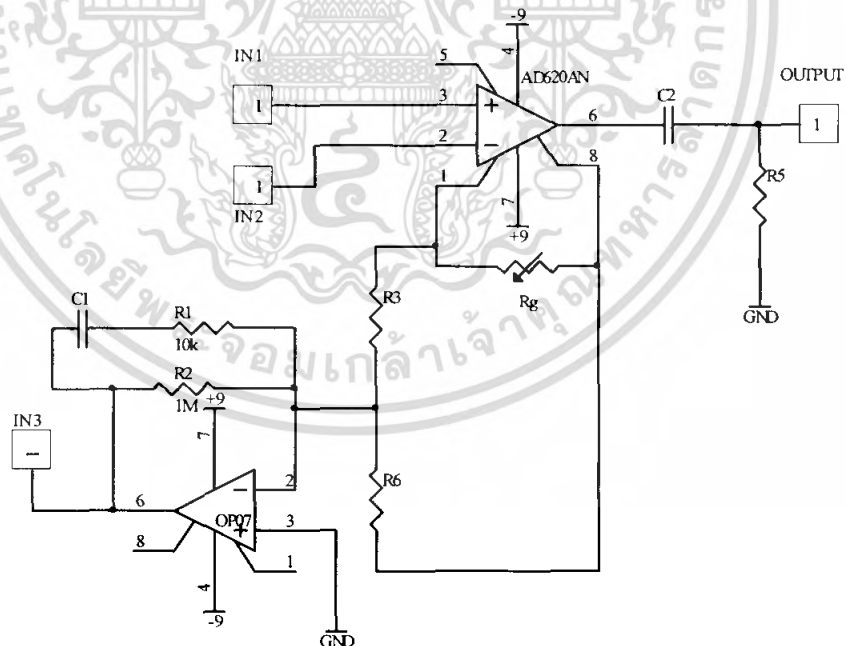
รูปที่ 2.22 วงจรอินสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเราจึงใช้วงจรอินทรมนเตชันแอมพลิฟิเออร์เพื่อใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งวงจรที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงดังรูปที่ 2.23 และ 2.24 ตามลำดับ



รูปที่ 2.23 วงจรที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



รูปที่ 2.24 วงจรขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอัตราขยายคังนี้

$$G = \frac{R_3 + R_6}{R_g} + 1 \quad (2.6)$$

เมื่อทราบค่าอัตราขยายและค่า R_3 และค่า R_6 จะทำให้สามารถหาค่า R_g ได้ดังนี้

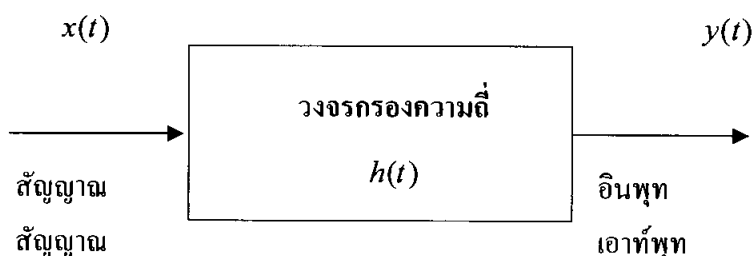
$$R_g = \frac{R_3 + R_6}{G - 1} \quad (2.7)$$

2.5 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ (Filter) จัดได้ว่าเป็นวงจรไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในงานด้านต่างๆ เช่น ด้านเครื่องมือวัด และด้านระบบสื่อสารโทรคมนาคมต่างๆ วงจรกรองความถี่สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ตามชนิดของสัญญาณ คือ วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล (Digital Filter) สำหรับการใช้งานกับสัญญาณชนิดดิจิทัล (Digital Signal) และวงจรกรองความถี่แอนะล็อก (Analog Filter) สำหรับการใช้งานกับสัญญาณชนิดแอนะล็อก (Analog Signal) ซึ่งวงจรกรองความถี่แอนะล็อกนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆ ตามประเภทของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร คือ วงจรกรองความถี่ชนิดพาสซีฟ (Passive Filter) และวงจรกรองความถี่ชนิดแอคทีฟ (Active Filter) และนอกจากนี้ ทั้งวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล และวงจรกรองความถี่แอนะล็อก ยังสามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ ตามการใช้งานด้านความถี่ คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter) วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (Highpass Filter) วงจรกรองความถี่แถบผ่าน (Bandpass Filter) วงจรกรองความถี่แบบแถบความถี่หยุด (Bandstop Filter) วงจรกรองความถี่แบบผ่านทุกย่านความถี่ (Allpass Filter) ซึ่งมีวิธีการและใช้อุปกรณ์ได้หลากหลายในการออกแบบ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้ จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทำงานพื้นฐานทั่วไปของวงจรกรองความถี่ และจะกล่าวถึงรูปแบบสมการฟังก์ชันถ่ายโอนทั่วไป

2.5.1 หลักการทำงานทั่วไปของวงจรกรองความถี่



รูปที่ 2.25 ระบบพื้นฐานของวงจรกรองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาบล็อกโคอะแกรมระบบพื้นฐานของวงจรกรองความถี่ในรูปที่ 2.25 ประกอบด้วย

$x(t)$ = สัญญาณอินพุทของวงจร (Input Signal)

$y(t)$ = สัญญาณเอาต์พุทของวงจร (Output Signal)

$h(t)$ = สัญญาณตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์ของระบบ (Impulse Response)

ซึ่งกำหนดให้วงจรกรองความถี่ที่กำลังพิจารณามีคุณสมบัติเป็นแบบคอซอล (Causal) แบบเชิงเส้น (Linear) และให้ระบบไม่มีการแปรเปลี่ยนตามเวลา (Time Invariant) ดังนั้นจากบล็อกโคอะแกรมจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$y(t) = \int_0^t h(t-\tau)x(\tau)d\tau \quad (2.8)$$

จากสมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการลาปลาซ (Laplace Transform) ได้เป็น

$$Y(s) = H(s)X(s) \quad (2.9)$$

และเมื่อพิจารณาบนแกนความถี่ $s = j\omega$ จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของขนาดและมุมเฟสได้ตามสมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ

$$|Y(j\omega)| = |H(j\omega)||X(j\omega)| \quad (2.10)$$

$$\phi_{Y(j\omega)} = \phi_{H(j\omega)} + \phi_{X(j\omega)} \quad (2.11)$$

หลักการทำงานทั่วไปของวงจรกรองความถี่ คือ จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการออก เช่นสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร และระบบเครื่องมือวัดต่างๆ โดยในสมการที่ (2.10) จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุทนั้น มีค่าเท่ากับผลคูณขนาดสัญญาณอินพุท กับขนาดของฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่ (Frequency Response Function) ของวงจรกรองความถี่ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ถ้าขนาดของฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่มีค่าเป็นศูนย์ ณ ช่วงความถี่ระหว่าง ω_{s1} และ ω_{s2} แล้วสัญญาณเอาต์พุทจะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย ไม่ว่าสัญญาณอินพุทจะมีค่าเป็นเท่าไรก็ตามในช่วงความถี่ระหว่าง ω_{s1} ถึง ω_{s2} ซึ่งช่วงความถี่ระหว่าง ω_{s1} ถึง ω_{s2} นี้จะเรียกว่าช่วงความถี่แถบหยุด (Stopband) ของวงจรสำหรับฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่ $H(j\omega)$ และในทำนองเดียวกันนั้นถ้าขนาดของฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่มีค่าไม่เป็นศูนย์ ณ ช่วงความถี่ระหว่าง ω_{p1} และ ω_{p2} แล้วจะทำให้สัญญาณเอาต์พุทมีค่าเป็นไปตามสมการที่ (2.10) ซึ่งช่วงความถี่ระหว่าง ω_{p1} และ ω_{p2} นี้จะเรียกว่าช่วงความถี่แถบผ่าน (Band pass) ของวงจร $H(j\omega)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฟังก์ชันตอบสนองทางความถี่ $H(j\omega)$ สามารถทำให้วงจรกรองความถี่แถบความถี่ผ่าน สำหรับเนื้อหาที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นารอธิบายถึงลักษณะการทำงานของวงจรกรองทั้ง 4 ชนิด โดยกำหนดให้เป็นวงจรกรองที่เป็นอุดมคติ คือการตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นและมีค่าการสูญเสียทางขนาดเป็นศูนย์ในช่วงแถบความถี่ผ่าน และ การสูญเสียในช่วงแถบความถี่หยุดมีค่าเป็นอนันต์ $|H(j\omega)| = 0$

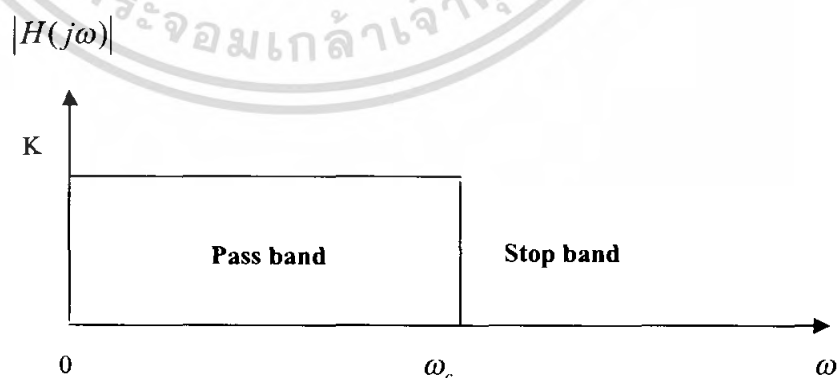
สำหรับรูปแบบสมการฟังก์ชันการถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่แบบใดก็ตามจะมีรูปแบบทั่วไปดังสมการ

$$|H(s)| = K \frac{s^2 + \frac{\omega_z}{Q_z} s + \omega_p^2}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p} s + \omega_p^2} \quad (2.12)$$

โดย ω_z , ω_p , Q_z และ Q_p คือ พารามิเตอร์แสดงค่าความถี่ซีโร่ (Zero) , ค่าความถี่โพล (Pole) , ค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ซีโร่ (Quality Factor Zero) และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์โพล (Quality Factor Pole)ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ (2.12) เปลี่ยนไป จะทำให้ได้วงจรกรองความถี่ชนิดต่างๆ แต่ในโครงงานนี้จะใช้วงจรกรองความถี่เพียงสองแบบคือ วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ (Band Reject Filter)

2.5.2 วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรกรองชนิดนี้เป็นวงจรกรองให้ความถี่ที่มีความถี่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง ค่าความถี่หยุด หรือ ค่าความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency: ω_c) ในขณะที่ช่วงความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัทออฟนี้เป็นช่วงความถี่แถบหยุดของวงจร ในกรณีนี้จะได้แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของวงจรมีค่าเป็น ω_c ซึ่งสามารถแสดงผลตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรชนิดนี้ได้ดังรูปที่ 2.26



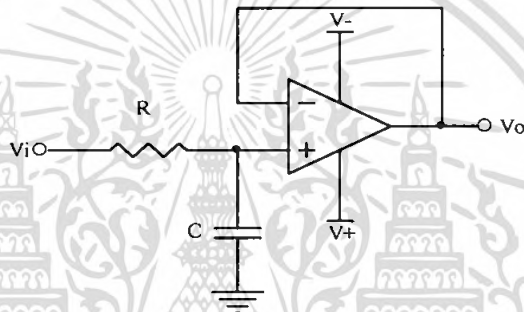
รูปที่ 2.26 การตอบสนองทางขนาดในเชิงความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอุดมคติ

โดยที่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีรูปแบบสมการฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไบควอด แสดงได้ดัง
สมการ

$$H_{LPF}(s) = K \frac{\omega_p^2}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p} s + \omega_p^2} \tag{2.13}$$

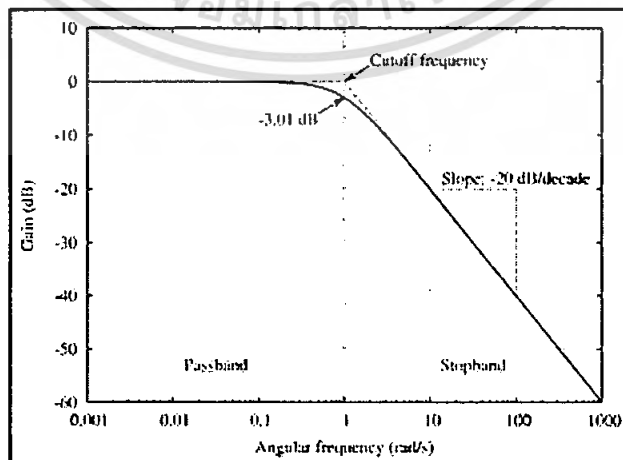
2.5.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอเล็กทรอนิกส์

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านโดยที่ไม่มี การสูญเสีย หรือว่า มีการสูญเสียน้อย โดยที่จะยอมให้สัญญาณผ่านตั้งแต่ 0 ถึง ω_p และจะลดทอนสัญญาณความถี่สูง ตั้งแต่ ความถี่ที่ ω_c จนถึง ∞ โดยที่วงจรกรองความถี่ต่ำแสดงดังรูปที่ 2.27 และ 2.29 ตามลำดับ
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 1



รูปที่ 2.27 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 1

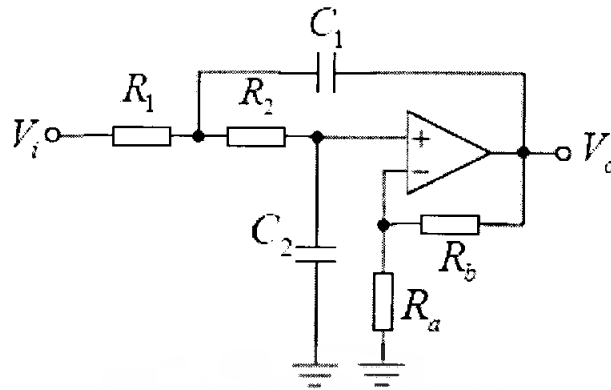
วงจรกรองความถี่นั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละประเภท ซึ่งแต่ละประเภทนั้นให้ ผลตอบสนองที่แตกต่างกันในการเปลี่ยนแปลงความถี่ ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่นั้น สามารถอธิบายได้โดย Bode plot ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่อันดับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา เมื่อผู้ดูเห็นเนื้อหาเพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2



รูปที่ 2.29 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2

ดังนั้นจะได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{k}{s^2 + \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1-k}{R_2 C_2} \right) s + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.14)$$

$$\text{เมื่อ } k = 1 + \frac{R_b}{R_a} \quad (2.15)$$

เทียบกับสมการมาตรฐาน

$$H_{LP}(s) = \frac{G\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega}{Q}s + \omega_0^2} \quad (2.16)$$

จะได้

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.17)$$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1-k}{R_2 C_2}} \quad (2.18)$$

$$G = k \quad (2.19)$$

ทำให้สัญญาณมีค่าน้อยลงในความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่ง Bode plot ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชนิดนี้จะมีการโค้งตกลงมาอย่างรวดเร็วมากกว่าอันดับที่ 1 ตัวอย่างเช่นในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

แบบ Butterworth จะลดความยาวของสัญญาณลงถึง 1 ใน 4 ของระดับสัญญาณเดิมทุกๆ สองเท่าของแอมพลิจูดที่ส่งผ่าน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเมื่อสัญญาณมีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของสัญญาณที่ส่งผ่านแล้ว สัญญาณที่ส่งผ่านจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่ส่งผ่านเดิมเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การที่สัญญาณลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่ส่งผ่านเดิมนี้ไม่ได้หมายความว่าสัญญาณที่ส่งผ่านจะหายไปครึ่งหนึ่ง แต่สัญญาณที่ส่งผ่านจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่ส่งผ่านเดิมเท่านั้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

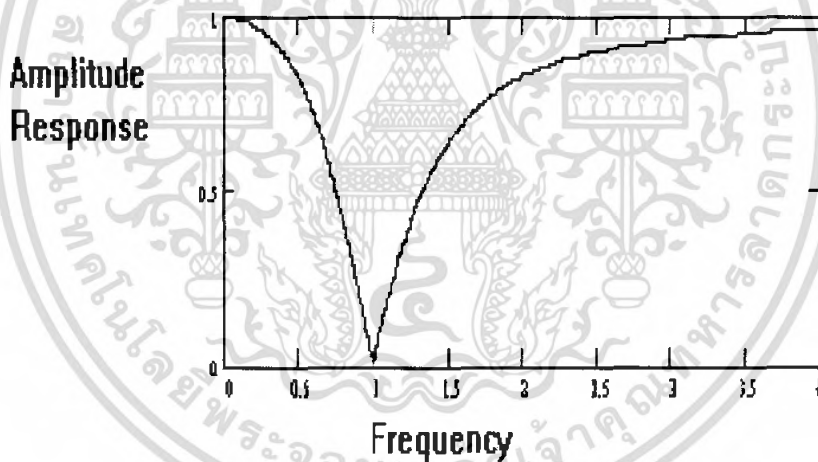
ความถี่ $\frac{-12dB}{octave}$ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองนี้มักจะมีอัตราความแตกต่างครั้งแรกที่ขึ้นกับค่า Q แพกเตอร์ แต่เข้าใกล้อัตราเร็วสุดท้ายของ $\frac{-12dB}{octave}$ ซึ่งจะพบในวงจร RLC

2.5.3 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ (Band Reject filter)

วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ เป็นวงจรที่นำมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการเพียงช่วงแคบๆ หรือความถี่ที่ไม่ต้องการค่าใดค่าหนึ่งทิ้งไป ตัวอย่างเช่น ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะนำมาใช้กำจัดสัญญาณที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่มีสัญญาณรบกวนจากสายส่งมาก เป็นต้น

วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่จะมีรูปแบบสมการฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไบควอด ดังนี้

$$H(s) = K \frac{s^2 + \omega_p^2}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p}s + \omega_p^2} \quad (2.20)$$



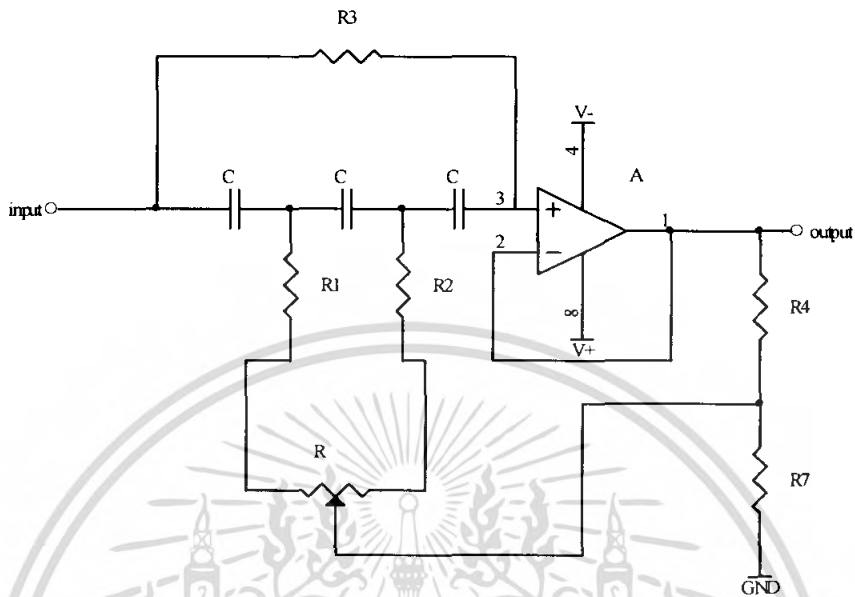
รูปที่ 2.30 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่

จากรูปที่ 2.30 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ ในความเป็นจริงแล้ว วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ที่มีผลการตอบสนองความถี่ตามอุดมคตินั้น ไม่สามารถสร้างขึ้นได้จริง เพียงแต่ในทางปฏิบัติจะมีการสร้างวงจรที่มีผลตอบสนองทางความถี่ที่ประมาณคล้ายกับผลตอบสนองในทางอุดมคติเท่านั้น

วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ที่ถูกนำมาใช้ในการกรองความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้จะเป็นวงจรแบบปรับค่าได้เนื่องจากไม่มี R และ C ต่อกับจุดอ้างอิงโดยตรง ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของวงจรสูงขึ้น โดยจะปรับ R ปรับค่าได้จนกระทั่งมีการลดทอนต่ำสุดที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ นั่นคือวงจรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นเองดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่แบบปรับค่าได้

ความสัมพันธ์ของ R และ C ที่นำมาใช้ในวงจรจะเป็นไปตามสมการ

$$f_0 = \frac{1}{2\pi C \sqrt{3R_a R_b}} \quad \text{Hz} \quad (2.21)$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C \quad \text{F} \quad (2.22)$$

$$R_1 = 6(R_2 + R_3 + R_4) \quad \Omega \quad (2.23)$$

เมื่อ $R_a = R_2 + R_{3a} \quad \Omega \quad (2.24)$

$$R_b = R_4 + R_{3b} \quad \Omega \quad (2.25)$$

โดยที่ $R_3 = R_{3a} + R_{3b} \quad \Omega \quad (2.26)$

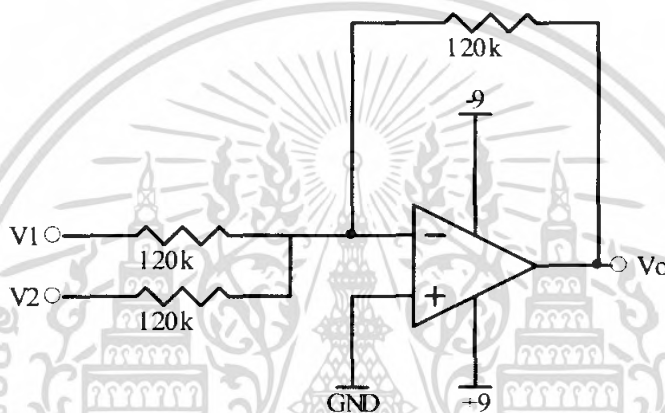
เมื่อ f_0 คือ ความถี่ที่มีการลดทอนของสัญญาณมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรรวมสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือ วงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกันให้เป็นสัญญาณเอาต์พุตสัญญาณเดี่ยววงจรรูปที่ 2.32 ซึ่งในปริณิษยานิพนธ์นี้ นำสัญญาณอินพุตเพียง 2 สัญญาณมารวมกัน

$$V_o = V_1 + V_2 = - \left[V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right) + V_2 \left(\frac{R_3}{R_2} \right) \right] \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.32 วงจรรวมสัญญาณที่ใช้ในงาน

2.7 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณแอนาลอก และสัญญาณดิจิทัล สัญญาณแอนาลอก จะใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ไป และใช้ในการควบคุมแบบเก่า ในปัจจุบันมีไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจำเป็นต้องใช้ สัญญาณดิจิทัลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณแอนาลอกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป

แม้ว่าสัญญาณแอนาลอกนั้นมีความแน่นอนและแม่นยำสูง แต่สัญญาณแอนาลอกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบแอนาลอกมีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิทัลนั้นทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบแอนาลอกจะต้องมีความซับซ้อนสูง อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิทัลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณแอนาลอกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงสัญญาณ แอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น เป็นการแปลงสัญญาณข้อมูลที่มีมนุษย์รับรู้สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นกระบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit) เป็นกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ ที่สัญญาณแอนาลอก (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือกำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่าไบนารี (binary) ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของหนึ่งและศูนย์

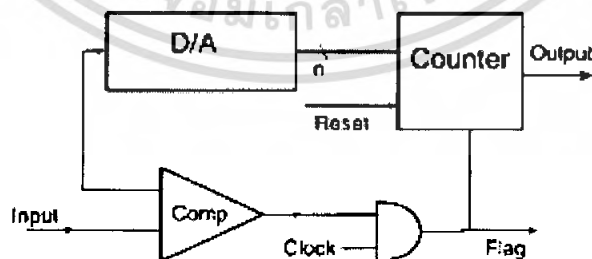
2.7.1 กระบวนการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

คุณสมบัติของ ADC สามารถแบ่งออกได้ตามช่วงเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆดังนี้คือ

1. แบบ Dual-slope integrating ADC โดยวิธีการนี้จะใช้เวลาในการแปลงสัญญาณประมาณ 300 ms (มิลิวินาที)
2. แบบประมาณค่าด้วยวิธีชั่งเซสซีฟ (Successive approximation ADC) วิธีนี้ใช้เวลาในการแปลงค่อนข้างรวดเร็วในหน่วยของ μs (ไมโครวินาที) นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณประมวลผลสัญญาณเสียงดิจิทัล (Digitize audio signal)
3. แบบแฟลช (Flash ADC) หรือแบบขนาน (Parallel ADC) เป็นแบบที่ใช้เวลาน้อยที่สุด แต่ก็มีราคาแพงมากที่สุดเช่นกัน มักใช้ในการประมวลผลสัญญาณวิดีโอดิจิทัล (Digitize video signal)

2.7.1.1 Counting Converter

Counting Converter เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ไคอะแกรมการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิทัลด้วยวิธี Counting Converter

จากวงจร Counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้ D/A มีขา reset รับสัญญาณ reset เมื่อต้องการให้เริ่มนับค่าใหม่

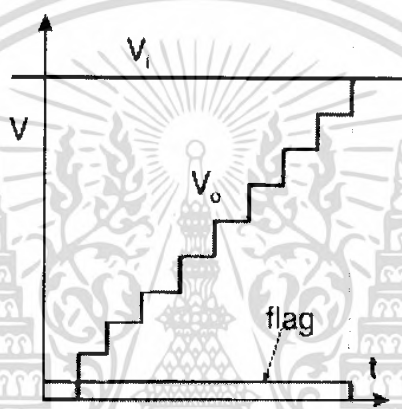
D/A เมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณแอนาลอกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าๆ หนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ (comparator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparator จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ออกมา (ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ 0 โวลต์ออกมา (ลอจิก 1)

ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" (And Gate) กับสัญญาณนาฬิกาจะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาแสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกาจะไปทำให้ตัวนับนับเพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิทัลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้จากตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความต่างศักย์เป็น 0 (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับไม่นับเพิ่มอีกก็จะได้ค่าดิจิทัลจากตัวนับที่ต้องการ

จากคำอธิบายข้างต้นจะได้กราฟของ V_0 ดังรูปที่ 2.34



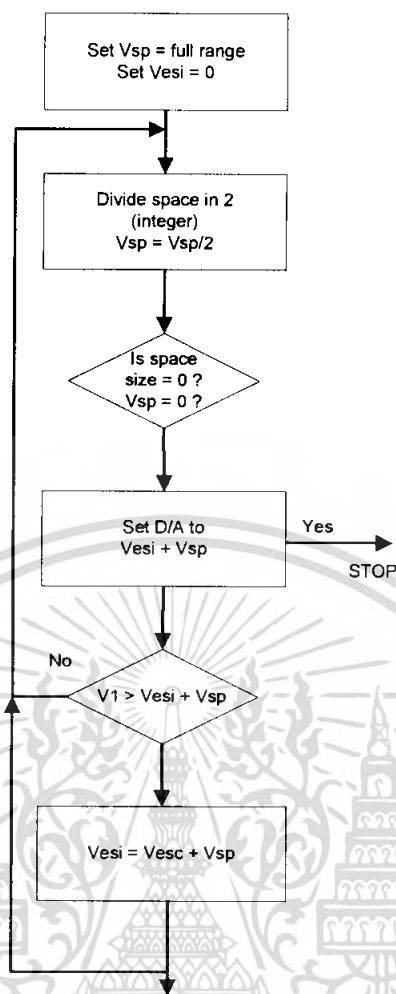
รูปที่ 2.34 กราฟแสดงการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุทที่ได้จะถูกลงวงทางเวลาจึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิงระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ 0 ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุทใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น

2.7.1.2 Successive Approximation

ใช้หลักการของ binary search ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่ามันนั้น ๆ มากกว่าหรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อย ๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.35

ข้อดีของวิธีนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ n รอบแน่นอน สำหรับ n bit converter ซึ่งอ้างอิงได้ 2^n ระดับ และระดับ V_{in} ที่คงที่ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบ Counting Algorithm แต่มีข้อเสีย คือถ้า V_{in} เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ binary search อยู่ นั่น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด



รูปที่ 2.35 Binary Search Strategy

2.8 เครื่องรับ – ส่งสัญญาณวิทยุ TRW 2.4 GHz

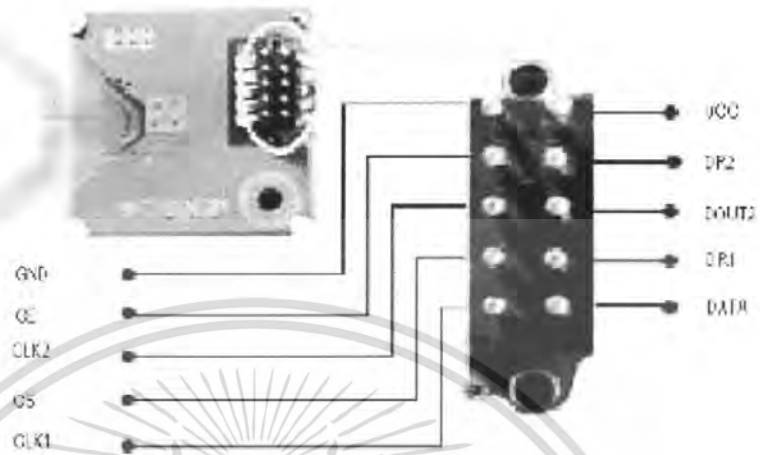
TRW 2.4GHz เป็นโมดูลสำหรับรับส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4-2.5 GHz โดยใช้กระแสไฟฟ้าในการทำงานน้อย ภายในของตัวโมดูลนั้นจะประกอบไปด้วย เสาอากาศ, ตัวอนุพันธ์ความถี่, ตัวขยายกำลัง, คริสตัลลออสซิลเลเตอร์และมอดูเลเตอร์

2.8.1 คุณสมบัติของโมดูล TRW 2.4GHz

- 1) ใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 2.4-2.5 GHz
- 2) มีการมอดูเลตแบบ GFSK
- 3) มีอัตราการส่งข้อมูล 1 Mbps และ 250 kbps
- 4) มีขนาดเล็กและบางเพียง $20.0 \times 36.7 \times 2.4$ mm
- 5) สามารถทำงานได้ในอุณหภูมิช่วง -40 ถึง +85 องศาเซลเซียส
- 6) มีเอาต์พุตเพาเวอร์ +40 dBm
- 7) มีการรับส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การจัดขาของโมดูล TRW 2.4GHz และหน้าที่การทำงาน



รูปที่ 2.36 การจัดขาของ TRW 2.4GHz

ตารางที่ 2.3 ขาของ TRW 2.4GHz และรายละเอียด

| Pin | Name | Pin Function | Description |
|-----|-------|--------------|---|
| 1 | GND | Power | Ground (0V) |
| 2 | CE | Input | ขอมให้โหมด Rx และ Tx ทำงาน |
| 3 | CLK2 | I/O | สัญญาณนาฬิกา เอาท์พุท/อินพุท สำหรับ Rx data channel 2 |
| 4 | CS | Input | เลือก Configuration Mode |
| 5 | CLK1 | I/O | สัญญาณนาฬิกาอินพุท (Tx) และ I/O (Rx) สำหรับ data channel 3-wire interface |
| 6 | DATA | I/O | Rx data channel I/Tx data input/3- wire interface |
| 7 | DR1 | Output | Rx data ready ที่ channel 1 (ShockBurst only) |
| 8 | DOUT2 | Output | Rx data channel 2 |
| 9 | DR2 | Output | Rx data ready ที่ channel 2 (ShockBurst only) |
| 10 | VCC | Power | Power supply +3V |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ประเภทของ Data Package

| PRE-AMBLE | ADDRESS | PAYLOAD | CRC |
|-----------|---------|---------|-----|
|-----------|---------|---------|-----|

รูปที่ 2.37 Data Package Diagram

Data Package สำหรับ ShockBurst Mode และ Direct Mode นั้นประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1) PRE-AMBLE

ในส่วน PRE-AMBLE นั้นจะเป็นส่วนที่ต้องการของทั้ง ShockBurst Mode และ Direct Mode ซึ่งจะมีความยาว 8 หรือ 4 บิต นั้นขึ้นอยู่กับบิตข้อมูลตัวแรกใน Direct Mode และใน ShockBurst Mode นั้น PRE-AMBLE จะถูกเพิ่มเข้าไปโดยอัตโนมัติ ดังนั้นจะมีพื้นที่ว่างพิเศษ สำหรับส่วน payload และ PRE-AMBLE นั้นจะถูกตัดทิ้งออกไปในส่วนของข้อมูลฝั่งรับ แต่ไว้ใน Direct Mode นั้นส่วน PRE-AMBLE จะยังคงอยู่

2) ADDRESS

ส่วน ADDRESS นั้นจะต้องการสำหรับ ShockBurst Mode จะมีความยาว 8 ถึง 40 บิต และจะถูกตัดทิ้งออกไปในส่วนของข้อมูลฝั่งรับสำหรับใน ShockBurst Mode แต่ไว้ใน Direct Mode นั้นส่วน ADDRESS จะยังคงอยู่

3) PAYLOAD

เป็นส่วนสำหรับส่งข้อมูลใน ShockBurst Mode นั้นส่วนของ payload จะมีขนาด 256 บิต แต่จะต้องลบส่วนค่อไปนี้ออก(Address:8ถึง40บิต+CRC 8หรือ 16บิต) สำหรับ Direct Mode นั้นส่วนของ payload จะถูกกำหนดโดย 1Mbps สำหรับ 4 ms : 4000 บิต โดยลบส่วนต่างๆต่อไปนี้ (Pre-ample :8 หรือ 4 บิต + Address:8 ถึง 40 บิต + CRC 0, 8 หรือ 16บิต)

4) CRC

ส่วนของ CRC นั้นเป็นส่วนเพิ่มมาสำหรับ ShockBurst Mode แต่ว่าจะไม่ใช้ในส่วน Direct Mode จะมีความยาว 8 หรือ 16 บิต และจะถูกตัดออกในส่วนของข้อมูลฝั่งรับ

2.8.4 โหมดการทำงานของ TRW 2.4 GHz

สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 โหมด หลักได้แก่

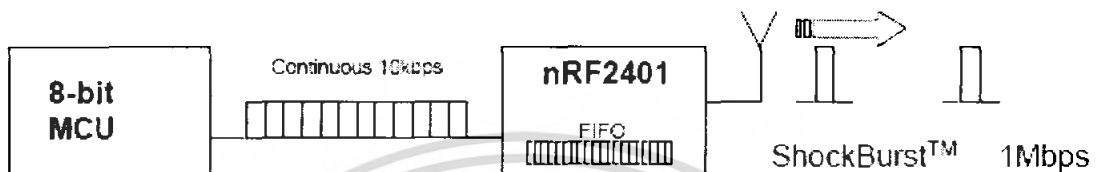
- Active (Rx/Tx) Mode เมื่อ χ_A CE=1 และ χ_A CS=0
- Configuration Mode เมื่อ χ_A CE=0 และ χ_A CS=1
- Standby Mode เมื่อ χ_A CE=0 และ χ_A CS=0

2.8.4.1 Active(Rx/Tx) Mode

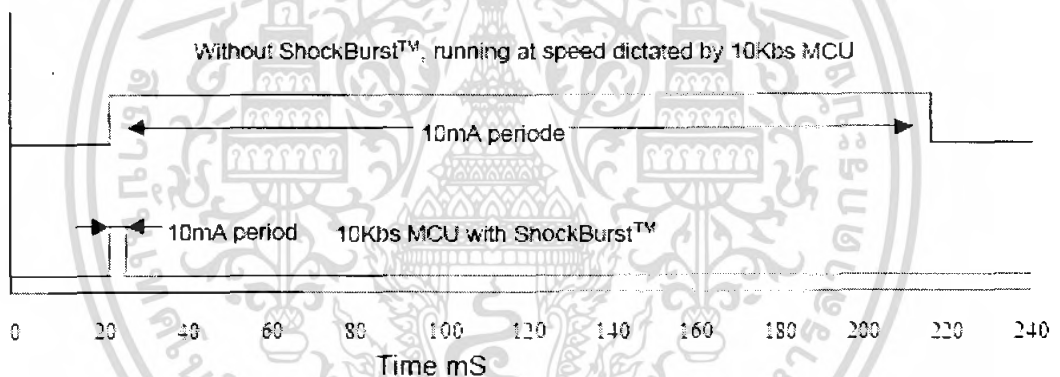
ในโหมดการทำงานแบ่งการทำงานเป็น 2 โหมดคือ ShockBurst Mode และ Active Mode

ShockBurst Mode

เป็นการรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำแต่จะส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูง (1 Mbps) ดังนั้นจึงทำให้เป็นการลดการใช้กำลังงานลงได้ ดังรูปที่ 2.38 และ 2.39 ตามลำดับ



รูปที่ 2.38 การรับข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำ (10kbps) แต่ส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูง (1 Mbps)



รูปที่ 2.39 การใช้กระแสไฟฟ้าของการส่งแบบ ShockBurst Mode และแบบธรรมดา

ShockBurst Mode Timing

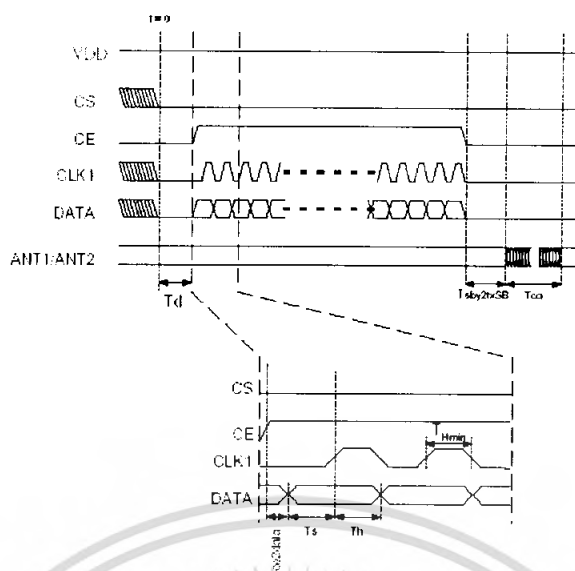
ShockBurst Tx

ข้อมูลนั้นจะถูกคูณด้วย T_{OA} ดังสมการ

$$T_{OA} = 1/\text{datarate} * (\#\text{databits} + 1)$$

เมื่อ T_{OA} = time on air

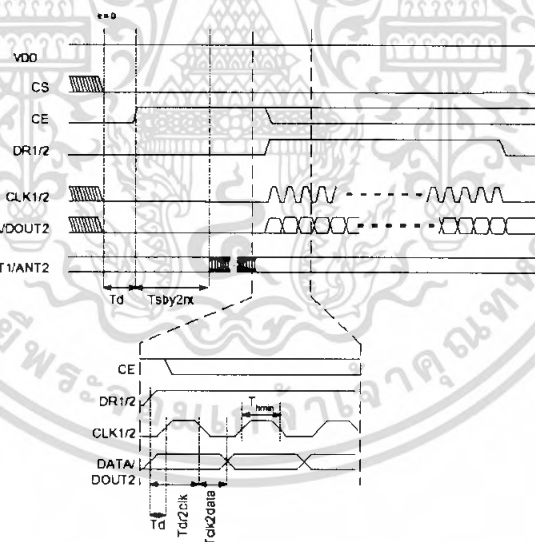
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 ไคอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Tx

ShockBurst Rx

ขา CE จะรักษาสถานะสูงขณะทำการโหลดข้อมูล แต่จะใช้กระแสไฟมาก(18mA) และมีข้อดีคือไม่ต้องมี start-up time (200 ไมโครวินาที) หลังจาก DR1 เปลี่ยนสถานะเป็นต่ำ



รูปที่ 2.41 ไคอะแกรมเวลาของ ShockBurst in Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

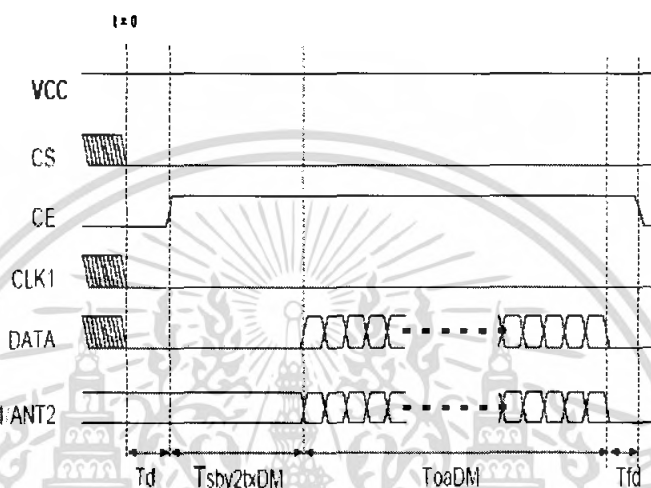
Direct Mode

ในโหมดนี้จะเป็นการรับส่งข้อมูลเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบ RF ทั่วไป

Direct Mode Timing

Direct Mode Tx

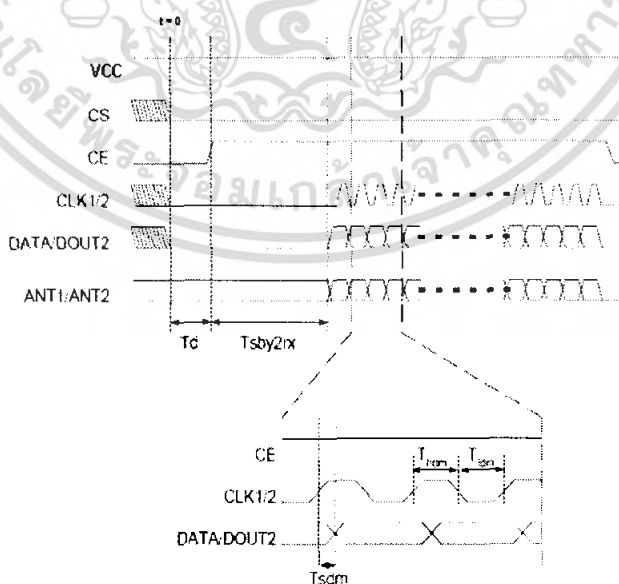
Input data นั้นจะถูกส่งโดย TRW 2.4GHz ดังนั้นจะยังไม่ต้องการสัญญาณนาฬิกาในส่วนนี้ และสัญญาณจะถูกทำให้คงที่ในสถานะต่ำระหว่างการส่ง



รูปที่ 2.42 ไคอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Tx

Direct Mode Rx

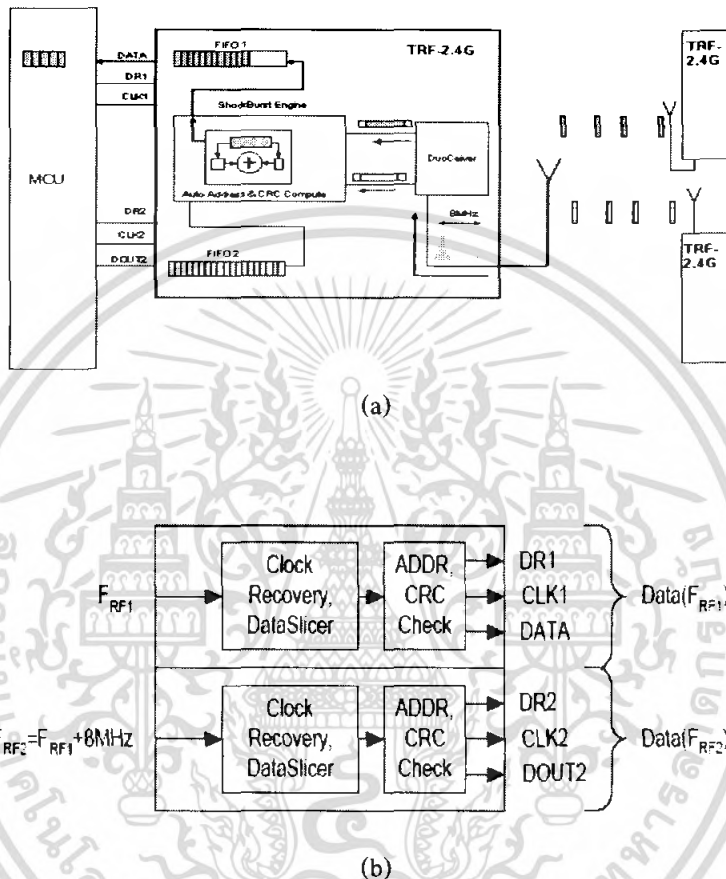
T_{sby2rx} คือช่วงคิเล็กจากด้านบวกของขา CE เพื่อที่จะเตรียมรับข้อมูลที่จะเข้ามาใหม่



รูปที่ 2.43 ไคอะแกรมเวลาของ Direct Mode in Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของ ShockBurst Mode และ Direct Mode ทั้งสองนั้น ตัวโมดูล TRW 2.4 GHz สามารถทำการรับข้อมูลพร้อมกันสองช่องทางในเวลาเดียวกันที่ความถี่ต่างกันได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุด โดยเป็นการทำงานของ DuoCeiver Mode โดยในการรับข้อมูลพร้อมกันของสองสัญญาณนั้น ช่องสัญญาณที่สองจะต้องมีความถี่มากกว่าช่องสัญญาณที่หนึ่ง 8 MHz จึงจะทำให้การรับสัญญาณทั้งสองนั้นสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 แสดงการรับข้อมูลสองช่องสัญญาณพร้อมกัน (DuoCeiver Mode)

2.8.4.2 Configuration Mode

เป็นโหมดที่ใช้ในการติดตั้งค่าเพื่อเลือกใช้โหมดต่างๆ

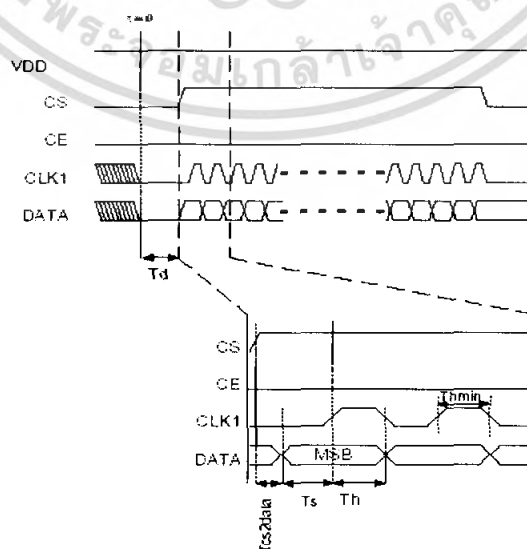
Configuration for ShockBurst operation จะต้องใช้พื้นที่จำนวน 15 bytes สำหรับโหมด ShockBurst นี้

Configuration for Direct Mode operation จะต้องใช้พื้นที่จำนวน 2 bytes สำหรับโหมด Direct นี้

Configuration word ทั่วไปนั้นจะเริ่มเลื่อนจากบิต MSB ที่ขอบของขา CLK1 การ Configuration ใหม่นั้นจะเริ่มขึ้นเมื่อขอบของ CS ตกลง

ตารางที่ 2.4 Configuration words

| | Bit position | Number of bits | Name | Function |
|------------------------------|--------------|----------------|---------|--|
| ShockBurstConfiguration | 143:120 | 24 | TEST | Reserved for testing |
| | 119:112 | 8 | DATA2_W | Length of data payload section RX channel 1 |
| | 111:104 | 8 | DATA1_W | Length of data payload section RX channel 1 |
| | 103:64 | 40 | ADDR2 | Up to 5 byte address for channel 2 |
| | 63:24 | 40 | ADDR1 | Up to 5 byte address for channel 1 |
| | 23:18 | 6 | ADDR_W | Number of address bits (both RX channel) |
| | 17 | 1 | CRC_L | 8 or 16 bits CRC |
| | 16 | 1 | CRC_EN | Enable on-chip CRC generation checking |
| General device Configuration | 15 | 1 | RX2_EN | Enable two channel receive mode |
| | 14 | 1 | CM | Communication mode (Direct or ShockBurst) |
| | 13 | 1 | RFDR_SB | RF data rate(1Mbps requires 16MHz crystal) |
| | 12:10 | 3 | XO_F | Crystal frequency (Factory default 16 MHz crystal mounted) |
| | 9:8 | 2 | RF_PWR | RF output power |
| | 7:1 | 7 | RF_CH | Frequency channel |
| | 0 | 1 | RXEN | RX or TX operation |



รูปที่ 2.45 ไตอะแกรมเวลาสำหรับ Configuration ของ TRW 2.4GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

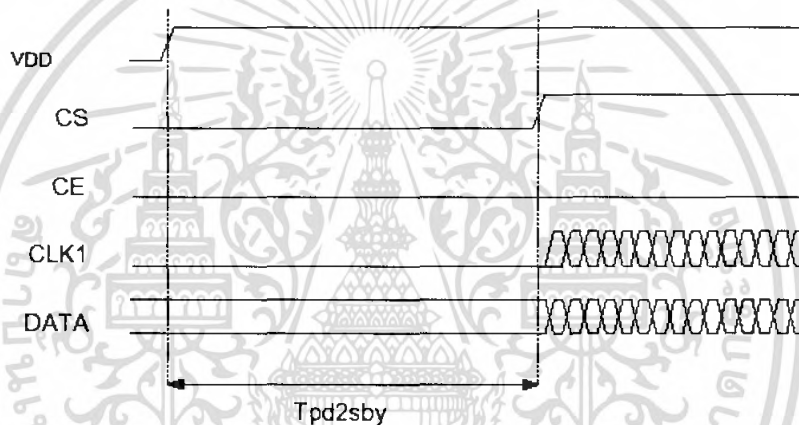
เมื่อมีการเข้าสู่โหมด Configuration จากโหมด power down ขา CS จะถูกตั้งให้มีสถานะสูง หลังจากโหมด stand by

2.8.4.3 Stand by Mode

เป็นการใช้กระแสไฟต่ำในเวลาเริ่มต้นสั้นๆ ในโหมดนี้ส่วนของคริสตอลออสซิลเลเตอร์จะทำงาน โดยกระแสไฟที่ใช้จะขึ้นกับความถี่ของคริสตอล

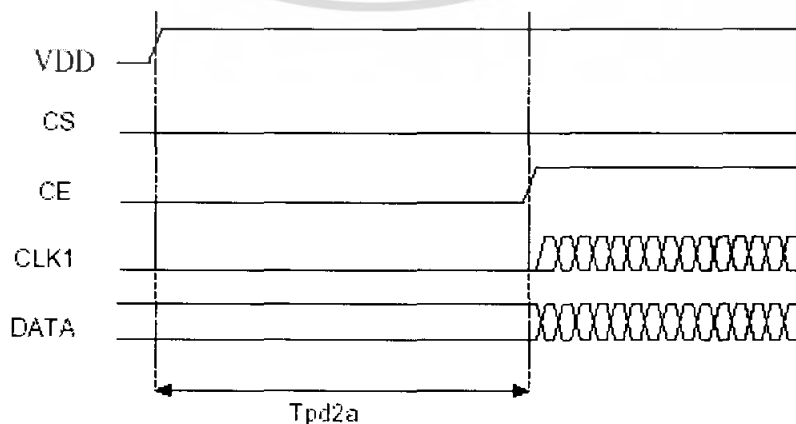
2.8.4.4 Power Down Mode

ตัวโมดูล TRW 2.4GHz นี้ จะทำงานไม่ได้ถ้ากระแสไฟต่ำกว่า 1 แอมป์แปร์ และการเข้าสู่การทำงานของโหมดนี้นั้นจะทำให้การใช้กระแสนั้นลดลง และทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มากขึ้น



รูปที่ 2.46 โค้ดอะแกรมเวลาของ power down (V_{DD} off) ไปยัง stand by Mode

เมื่อไม่มีพลังงานนั้นตัวโมดูล TRW 2.4 GHz จะเข้าสู่โหมด Stand by (T_{pd2sby}) ก่อนที่จะไปเข้าสู่โหมด Configuration หรือ โหมดการทำงานอื่นๆ



รูปที่ 2.47 โหมด power down (V_{DD} off) ไปยัง active Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Configuration word นั้นจะหายไปเมื่อ V_{DD} off และจะต้องมีการตั้งค่าก่อนที่จะเข้าไปทำงานในโหมดต่างๆ แต่ถ้ามีการตั้งค่าอยู่แล้วนั้นจะสามารถเข้าสู่โหมดที่เราต้องการจากโหมด power down โดยตรง

2.9 ระบบเครือข่าย Ethernet

ระบบเครือข่าย Ethernet เป็นระบบเครือข่ายท้องถิ่นหรือ LAN (Local Area Network) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ที่ทำงานร่วมกันเพื่อการส่งถ่ายข้อมูลในระบบดิจิทัลระหว่างคอมพิวเตอร์ ระบบเครือข่าย Ethernet มีลักษณะพิเศษดังนี้

1. เป็นระบบเครือข่ายที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลที่มีความเร็วตั้งแต่ 10 Mbps จนถึง 1,000 Mbps (1Gbps)
2. เป็นเครือข่ายที่มีขนาด Diameter ตั้งแต่ 205 เมตรจนถึง 4,000 เมตร
3. ใช้โปรโตคอลการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect) ซึ่งเป็นมาตรฐานของ IEEE802.3 นอกจากนี้ก็ยังมีมาตรฐาน IEEE802.3ab สำหรับ Gigabit Ethernet ที่ใช้สายทองแดง
4. หนึ่งเครือข่าย Ethernet สามารถมีอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น คอมพิวเตอร์ลูกข่าย อุปกรณ์ Repeater เป็นต้น ได้มากมายถึง 1,024 รายการหรือเรียกว่า Node
5. เป็นเครือข่ายที่สามารถใช้สายสัญญาณได้หลายแบบ เช่น สาย Coaxial ทั้งแบบหนาแบบบาง สาย Twisted Pair ทั้งแบบ Shield และ Unshield รวมทั้งสาย Optical Fiber แบบขนาดต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้สื่อที่รับส่งข้อมูลแบบไร้สาย เช่น คลื่นวิทยุที่มีความถี่ Spread Spectrum รวมทั้งไมโครเวฟ (Microwave) ที่ใช้ความถี่ในช่วง 14 GHz. และอินฟราเรด (infrared) เป็นต้น
6. เป็นระบบเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อในรูปแบบ Bus และ Star Topology
7. อุปกรณ์ราคาประหยัด
8. มีความน่าเชื่อถือสูง โดยเฉพาะหากใช้สื่อที่เป็นสาย Optical Fiber
9. มีเครื่องมือในรูปแบบของซอฟต์แวร์ที่ให้บริการจัดการเครือข่ายมากมายที่ทำงานภายใต้ SNMP (Simple Network Management Protocol)

2.9.1 ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของเครือข่าย Ethernet

ระบบเครือข่าย Ethernet มีส่วนประกอบหลักซึ่งเมื่อทำงานด้วยกันแล้วจะเป็นเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงดังนี้

1. ตัวเฟรมเป็นชุดรูปแบบของบิตข้อมูลข่าวสารที่ใช้ส่งผ่านมาบนระบบ หากไม่มีเฟรมเราจะไม่สามารถสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายได้เด็ดขาด การรับส่งข้อมูลข่าวสารบนเครือข่าย Ethernet จะต้องเป็นรูปแบบเฟรมมาตรฐาน 2 แบบ และเป็นแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น (Lan card เป็นผู้สร้างเฟรมนี้ขึ้นมา)
2. ชุดโปรโตคอลที่ใช้ในการควบคุมการแอกเซสเข้าไปเครือข่าย (Media Access Control Protocol) ซึ่งประกอบด้วยชุดของกฎกติกาที่อยู่ใน Ethernet Interface (เช่น Lan card เป็นต้น) ซึ่งเป็นกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กติกามาตรฐานที่จะยอมให้คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ สามารถเข้ามาในเครือข่าย และแบ่งใช้ทรัพยากรต่างๆ บนเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

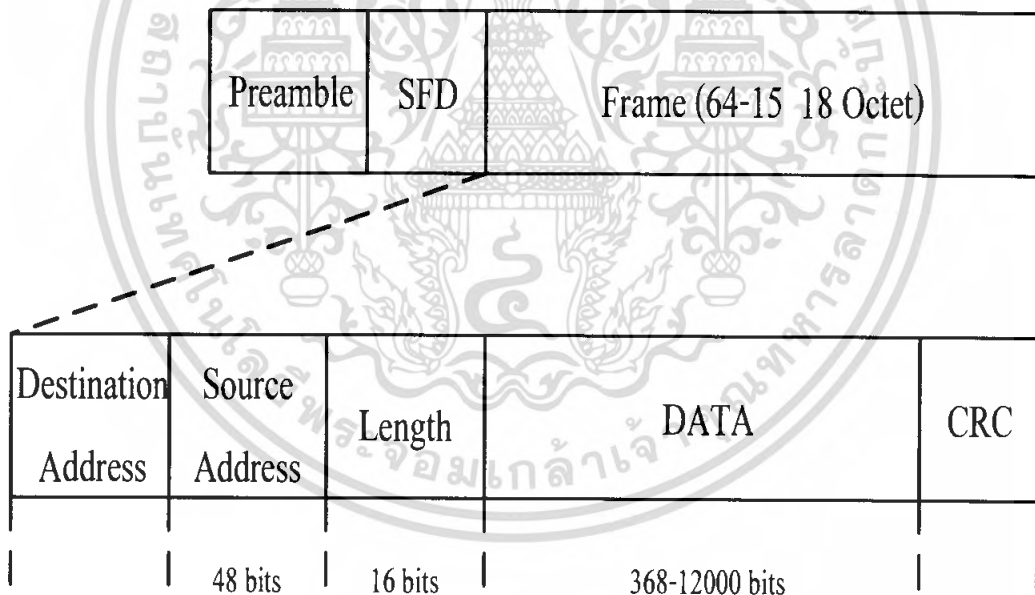
3. อุปกรณ์ที่ใช้รับส่งสัญญาณบนเครือข่าย (Signaling Components) ประกอบด้วยชุดของอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อและส่งสัญญาณเพื่อการรับส่งข้อมูลในเครือข่าย

4. สื่อที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลบนเครือข่าย (Physical Medium) ประกอบด้วยสายสัญญาณรวมทั้งอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์อื่น ๆ ที่จะช่วยในการนำพาข้อมูลข่าวสารต่างๆ ในรูปแบบดิจิทัลวิ่งไปมาบนเครือข่าย

2.9.2 เฟรมบนระบบ Ethernet

หัวใจสำคัญของระบบ Ethernet ได้แก่ เฟรมข้อมูลทางข่าวสารและอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ที่ใช้เชื่อมต่อสื่อสารบนเครือข่าย ซึ่งได้แก่ การ์ด Ethernet LAN สายสัญญาณและอุปกรณ์เสริมอื่นๆ ที่จะช่วยนำพาข้อมูลในรูปแบบของบิตทางดิจิทัล ที่เรียกว่าเฟรมวิ่งไปมาระหว่างคอมพิวเตอร์บนเครือข่าย

เฟรมข้อมูลสำหรับระบบ Ethernet ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของบิตที่เป็นข้อมูลและข่าวสารสำคัญ แบ่งออกเป็นขนาดสัดส่วนที่แน่นอนที่เรียกว่าช่อง Field ดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 ลักษณะ โครงสร้างของเฟรมข้อมูล

จากรูปที่ 2.47 ทั้งสองเฟรมจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้เครือข่ายที่ใช้เฟรมแตกต่างกันนี้ อาจไม่สามารถเข้ากันได้ หมายความว่าระบบเครือข่าย Ethernet จะต้องเลือกใช้อุปกรณ์เครือข่ายที่คอยสนับสนุนเฟรมอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น แต่ก็เป็นเรื่องที่ดีที่ผู้ผลิตอุปกรณ์สนับสนุนเฟรมทั้งสองแบบในตัวเดียวกันดังรูปที่ 2.49

| Preamble | Destination MAC Address (6Byte) | Source MAC Address (6Byte) | Type (2Byte) | Data Field (1500 Byte Max) | Frame Check Sequence (4Byte) |
|----------|---------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|------------------------------|
|----------|---------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|------------------------------|

รูปที่ 2.49 ลักษณะของ Ethernet II Frame

2.9.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดของ Data Frame

ขนาดของ Data Frame มีมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. ขนาดเล็กที่สุด ต้องไม่น้อยกว่า 64 byte โดยมี 12 byte สำหรับแอดเดรส 2 byte สำหรับช่อง Length 46 byte สำหรับเก็บข้อมูล และ 4 byte สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดข้อมูล หรือ Frame Check Sequence
2. ขนาดใหญ่ที่สุดต้องไม่เกิน 1,518 byte โดยแบ่งออกเป็น 12 byte สำหรับแอดเดรส 2 byte สำหรับ Length 1,500 byte สำหรับข้อมูล และ 4 byte สำหรับช่องตรวจสอบความผิดพลาดข้อมูล
3. เฟรมที่มีขนาดเล็กที่สุด 64 byte จะต้องใช้เวลาอยู่ที่ 51.2 ไมโครวินาที

2.9.4 สถาปัตยกรรมของอินเทอร์เน็ต

โครงสร้างของอินเทอร์เน็ตประกอบด้วยเครือข่ายย่อย ๆ จำนวนมากต่อเชื่อมผ่านเราเตอร์ (Router) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครือข่ายที่มีหน้าที่เลือกเส้นทางที่ดีที่สุดเพื่อนำส่งข้อมูลในรูปแพ็กเก็ต (Packet) หากเปรียบเทียบกับกาส่งจดหมายทางไปรษณีย์แล้ว เราเตอร์ทำหน้าที่เสมือนที่ทำการไปรษณีย์ พนักงานไปรษณีย์จะพิจารณาจุดหมายปลายทางของจดหมายและเลือกเส้นทางส่งจดหมายไปยังที่ทำการไปรษณีย์ถัดไปจนกว่าจดหมายจะถึงมือผู้รับ ในยุคเริ่มต้นของอินเทอร์เน็ตจะใช้คำว่า เกตเวย์ (Gateway) แทนเราเตอร์ เพื่อสื่อความหมายถึงอุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่าย แต่ในปัจจุบันเราเตอร์และเกตเวย์เป็นอุปกรณ์ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน

2.9.5 บริการในอินเทอร์เน็ต

ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตสามารถเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมเพื่อขอใช้บริการได้ตามต้องการ หากจะแยกประเภทของการบริการในอินเทอร์เน็ตแล้วสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Mail) หรือ E-mail เป็นการรับส่งข้อความผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้สามารถรับส่งจดหมายด้วยโปรแกรมที่มีอย่างแพร่หลายเช่น pine , Eudora หรือ Microsoft Outlook เป็นต้น
2. ใช้โปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์อื่น บริการสำคัญในอินเทอร์เน็ตคือขอใช้คอมพิวเตอร์ระบบอื่นในที่ห่างไกล (Remote Login) ผู้ใช้ซึ่งมีบัญชีอยู่ในคอมพิวเตอร์เครื่องปลายทางสามารถขอเข้าใช้คอมพิวเตอร์นั้นจากคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมอยู่กับอินเทอร์เน็ตด้วยโปรแกรม เช่น telnet , pc Anywhere เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ่ายโอนเพิ่มข้อมูล การถ่ายโอนเพิ่มข้อมูลด้วยโปรแกรม FTP เป็นบริการสำคัญอีกประเภทหนึ่งที่มีในอินเทอร์เน็ต เครื่องข่ายหลายแห่งเปิดบริการให้ผู้ใช้ภายนอกถ่ายโอนข้อมูลโดยไม่คิดมูลค่า เพิ่มที่ให้ถ่ายโอนได้มีหลากหลายเช่น ข้อมูลทั่วไป , ข่าวประจำวัน , บทความ รวมทั้งโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ

4. บริการสืบค้นข้อมูล อินเทอร์เน็ตในปัจจุบันยังคงขยายตัวออกไปอย่างต่อเนื่อง และมีเครือข่ายใหม่ๆเกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการช่วยสืบค้นหาข่าวสารที่มากมายเกี่ยวกับเครือข่าย ซึ่งได้แก่ whois เป็นต้น

5. เว็บ World Wide Web หรือ WWW เป็นบริการข้อมูลข่าวสารในอินเทอร์เน็ตที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีรูปแบบง่ายต่อการใช้งานได้ผนวกบริการอื่นไว้เช่น เอฟทีที , ยูสเน็ต หรืออีเมล เป็นต้น ลักษณะพิเศษของเว็บคือให้บริการทั้งภาพ เสียง หรือภาพเคลื่อนไหว ศูนย์บริการแทบทุกแห่งจะจัดสร้างโฮมเพจเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้ทั่วไป

2.9.6 โพรโทคอลในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ต

รูปแบบมาตรฐานของระบบอินเทอร์เน็ตจะใช้ Protocol TCP/IP ซึ่งชื่อของ TCP/IP มาจากชื่อของโปรโตคอล 2 ตัว คือ TCP (Transmission Control Protocol) และ IP (Internet Protocol) โดยรูปแบบของข้อมูลมีลักษณะเป็นแพ็กเก็ต คือ เป็นอินเทอร์เน็ตแพ็กเก็ต (Internal Packet) ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับ Physical network ทำให้ผู้ใช้มองเห็นลักษณะเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายเดียวกัน

2.9.6.1 โพรโทคอล TCP/IP

โปรโตคอล TCP/IP มีการจัดกลไกการทำงานเป็นชั้นหรือ Layer เรียงต่อกันไปเหมือนกับ OSI - Reference Model ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว โดยในแต่ละ Layer นั้นจะมีการทำงานเทียบกับ OSI - Reference Model แต่บาง Layer ของโปรโตคอล TCP/IP จะทำงานเทียบกับ OSI-Reference Model หลาย Layer ปนกัน ซึ่งในแต่ละ Layer ของ โปรโตคอล TCP/IP จะประกอบไปด้วย

1.Process Layer หรือ Application Layer (Telnet, FTP, SMTP-Email, DNS)

2.Host-To-Host Layer (TCP, UDP)

3.Internet Layer (IP Address, ICMP, ARP, RARP)

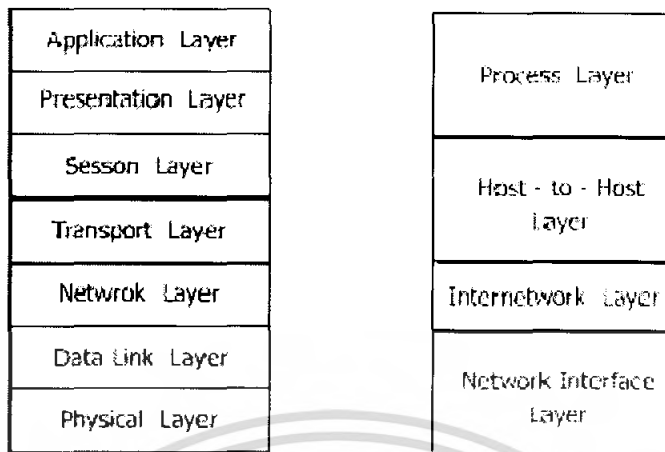
4.Network Interface Layer (Device Driver , Ethernet , Token ring)

โดยเมื่อได้เทียบลำดับชั้น (Layer) กับมาตรฐานของ OSI - Reference Model แล้ว จะเป็นดังรูป

ที่ 2.50

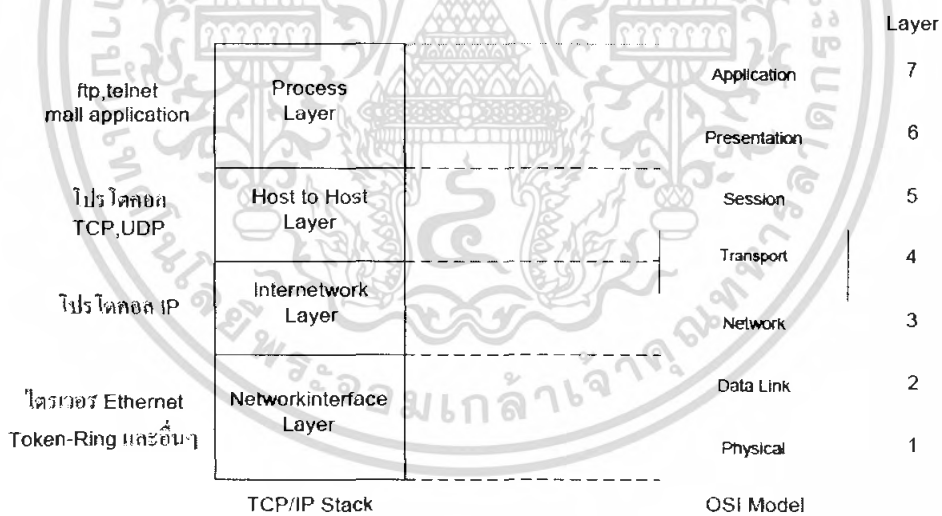
OSI - Reference Model

DoD - Reference Model



รูปที่ 2.50 แสดงโครงสร้างมาตรฐานของ OSI - Reference Model

ซึ่งเราจะเห็นว่า บาง Layer ของ TCP/IP นั้นจะเทียบได้กับ มาตรฐาน ISO Model ได้ 2 ชั้น อย่างเช่น Layer ของ Process Layer ของโปรโตคอล TCP/IP จะเทียบได้กับ 2 Layer คือ Application Layer กับ Presentation Layer ของ OSI - Reference Model รวมกัน ดังรูปที่ 2.51



รูปที่ 2.51 แสดงกลไกของ โปรโตคอลมาตรฐาน OSI model

2.9.6.2 โครงสร้างของสถาปัตยกรรมรูปแบบของโปรโตคอล TCP/IP

สามารถแบ่งออกเป็น 4 เลเยอร์ และในแต่ละเลเยอร์ได้มีการกำหนดหน้าที่การทำงานไว้ดังต่อไปนี้

1. เลเยอร์ชั้น **Process Layer** จะเป็น Application Protocol เชื่อมต่อกับผู้ใช้และให้บริการต่าง ๆ โปรโตคอลหลัก ๆ ที่ทำงานและให้บริการในชั้น Process Layer นี้ก็มีอย่างเช่น FTP , Telnet , HTTP , SMTP เป็นต้น จากรูปที่ 2.51 แสดงลำดับชั้นการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP เทียบกับมาตรฐานของ OSI – Reference Model นั้น ในชั้นบนสุดที่เรียกว่า Process Layer ทำงาน 2 หน้าที่เทียบได้กับ Application Layer และ Presentation Layer

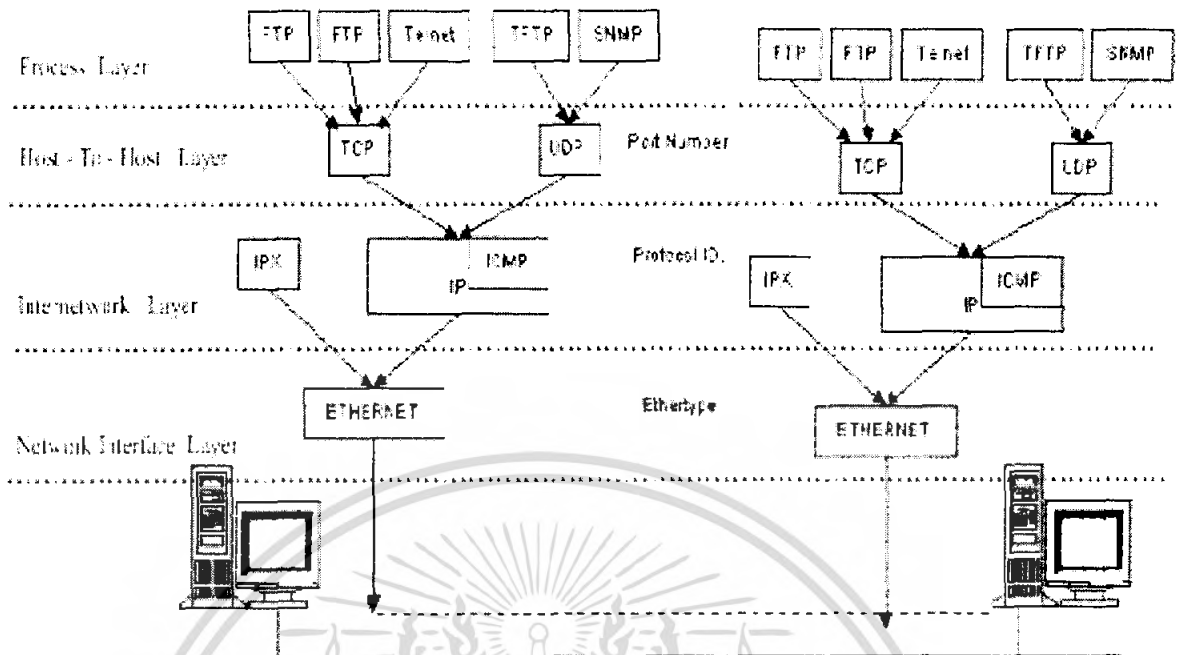
2. เลเยอร์ชั้น **Host – To – Host Layer** จะเป็น TCP หรือ UDP ที่ทำหน้าที่คล้ายกับชั้นของ Session Layer และ Transport Layer ของ OSI – Model คือ ควบคุมการรับส่งข้อมูล จากปลายด้านส่งถึงปลายด้านรับข้อมูล และตัดข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยให้เหมาะสม กับเครือข่ายที่ใช้รับส่งข้อมูล รวมทั้งประกอบข้อมูลส่วนย่อย ๆ นี้เข้าด้วยกันเมื่อถึงปลายทาง

3. เลเยอร์ชั้น **Internetwork Layer** ได้แก่ ส่วนของโปรโตคอล IP ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับชั้นของ Network Layer ของ OSI – Model คือ เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับระบบเครือข่ายที่อยู่ชั้นล่างลงไป และทำหน้าที่เลือกเส้นทางการรับส่งข้อมูล ผ่านอุปกรณ์เครือข่ายต่าง ๆ จนไปถึงผู้รับข้อมูล ในชั้นนี้จะจัดการกับกลุ่มข้อมูลในลักษณะที่เรียกว่า Frame ในรูปแบบของ TCP/IP

4. เลเยอร์ชั้น **Network Interface Layer** เป็นชั้นที่ควบคุมฮาร์ดแวร์ การรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับชั้น Datalink Layer กับ Physical Layer ของ OSI – Model ในชั้นนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ และควบคุมการรับส่งข้อมูลในระบบฮาร์ดแวร์ของเครือข่าย ซึ่งที่ใช้กันอยู่จะเป็นตามมาตรฐานของ IEEE เช่น IEEE 802.3 จะเป็นการเชื่อมต่อผ่าน Lan แบบ Ethernet Lan หรือ IEEE 802.5 จะเป็นการเชื่อมต่อผ่าน Lan แบบ Token Ring เป็นต้น

เราจะเห็นได้ว่าที่จริงแล้วโปรโตคอล TCP/IP นั้น แบ่งออกเป็น 2 โปรโตคอลซ้อนกันอยู่ คือ TCP จะอยู่ในชั้นบน และ IP จะอยู่ในชั้นถัดลงมา นั่นคือ TCP/IP ไม่ได้เป็นโปรโตคอลชนิดเดียวกันทั้งหมด และไม่ได้เชื่อมติดเป็นชั้นเดียวกันทั้งหมด TCP ก็มีมาตรฐานของเฟรมที่ใช้รับส่งข้อมูลของมันเอง และมีหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลแตกต่างไปจาก IP ซึ่งในการรับส่งข้อมูลนั้น เฟรมของ TCP ที่อยู่ในชั้นบนทั้งหมดจะถูกผนึกอยู่ในส่วนที่เป็นข้อมูลของ IP เหมือนกับที่แต่ละชั้นของ OSI – Reference Model ผนึกข้อมูลในชั้นถัดไปนั่นเอง

ถึงแม้ว่า TCP/IP จะไม่ได้มีการแบ่งชั้นของการสื่อสารข้อมูลตรงตาม OSI – Reference Model และไม่ได้เป็นมาตรฐานเดียวกัน แต่ OSI ก็ออกแบบมาให้เปิดกว้างและเข้ากันได้ดีกับ TCP/IP โดย TCP จะเทียบได้ประมาณชั้นที่ 4 ของ OSI – Model และ IP จะเทียบได้กับประมาณชั้นที่ 3 ของ OSI – Model แม้ว่าจะไม่ลงตัวกันพอดีนัก แต่ก็สามารถเชื่อมต่อกันได้ ทำให้มาตรฐานของ OSI – Model สามารถนำ TCP/IP มาใช้งานร่วมกันได้ ดังรูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 ภาพแสดงการรับส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล TCP/IP

2.9.6.2.1 Process Layer

เป็นลำดับชั้นการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP ตามมาตรฐาน DoD-Reference Model ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน OSI-Reference Model นั้น ในชั้นบนสุดที่เรียกว่า Process Layer ของ DoD Model จะทำงาน 2 หน้าที่เทียบได้กับ Application Layer และ Presentation Layer ของ OSI-Reference Model ในชั้นนี้จะรองรับการทำงานของ Application ต่างๆ อย่างเช่น เมื่อมีเครื่อง Client ทั่วไปขอใช้บริการเพื่อจะติดต่อขอ Download File ผ่านทาง Internet โดยอาจจะเรียกใช้โปรแกรม FTP Client ทั่วไป อย่างเช่น โปรแกรม WS_FTP เพื่อติดต่อกับโปรเซส FTP ที่กำลังให้บริการอยู่ที่เครื่อง Server จากนั้นตัวโปรเซส FTP ก็จะเรียกใช้โปรโตคอล FTP (File Transfer Protocol) เพื่อทำการโอนถ่ายไฟล์นี้ไปให้เครื่อง Client เป็นต้น หรือถ้าผู้ใช้ต้องการเรียกใช้งานคอมพิวเตอร์จากเครื่องที่อยู่ห่างไกลออกไปด้วยการใช้โปรแกรม Telnet ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ ให้บริการตัวโปรเซส Telnet ที่ทำงานอยู่ก็จะเรียกใช้โปรโตคอล Telnet เพื่อติดต่อกัน

การทำงานของ Application ต่างๆ จะอยู่ที่ Process Layer นี้ และมีการติดต่อกันตามแต่ละโปรโตคอลเฉพาะแล้วแต่ Application ที่ใช้งาน จากการที่ Process Layer ของ TCP/IP รองรับให้โปรโตคอลอื่นทำงานได้หลายโปรเซส และหลายโปรโตคอลได้พร้อมกันนั้น ทำให้ผู้ใช้สามารถเปิดโปรแกรมใช้งานได้หลายๆอย่างพร้อมกัน เช่น เปิดโปรแกรม Internet Explorer เพื่อเรียกดูเว็บเพจพร้อมกับใช้งานโปรแกรม Outlook Explorer เพื่อรับส่ง E-mail ไปพร้อมๆกันได้โดยไม่ต้องรอให้การทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเสร็จไปก่อน หรือในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรม Web Browser โอนถ่ายไฟล์ข้อมูลที่ใช้โปรโตคอล FTP ได้โดยไม่ต้องไปหาโปรแกรมอื่นๆ มาใช้เพิ่มเติมอีก

โปรโตคอลหลักๆ ที่ทำงานและให้บริการในชั้น Process Layer นี้ก็มีอย่างเช่น

1. FTP (File Transfer Protocol)

FTP ที่ใช้ในการรับ-ส่งเพิ่มข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องเซิร์ฟเวอร์ จะต้องมีโปรแกรมให้บริการ FTP (FTP Server) ติดตั้งและทำงานอยู่ เพื่อให้ลูกข่ายที่รัน โปรแกรม FTP Client สามารถเข้ามาขอใช้บริการได้

2. Telnet

Telnet เป็นบริการที่ให้ลูกข่ายสามารถเข้าไปใช้เครื่องเซิร์ฟเวอร์โดยการจำลองตัวเองให้ทำงานในเทอร์มินัล ผู้ใช้งานจะต้องใส่รหัสผู้ใช้งานและรหัสผ่านเพื่อแจ้งการเข้าใช้เครื่อง เมื่อเข้าไปใช้ได้แล้ว การทำงานต่างๆ จะเหมือนกับการเข้าไปทำงานที่หน้าจอของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ การทำงานแบบนี้เครื่องเซิร์ฟเวอร์จะติดตั้งโปรแกรมการให้บริการ Telnet ซึ่งโดยปกติในระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ จะมีบริการนี้ติดตั้งไว้แล้วเป็นมาตรฐาน มีศัพท์เรียกโปรแกรมให้บริการบนเครื่องยูนิกซ์ว่า daemon เช่น FTP daemon , Telnet daemon เป็นต้น

3. HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

HTTP ใช้ในการติดตั้งรับส่งข้อมูลชนิดไฮเปอร์เท็กซ์ (Hypertext) ระหว่างเครื่องลูกข่ายกับ WWW เซิร์ฟเวอร์ (World Wide Web) โดยที่เอกสารนี้จะอยู่ในรูปแบบที่เขียนในภาษา HTML (Hypertext Markup Language) เอกสารแต่ละชิ้นจะสามารถเชื่อมโยงไปยังเอกสารอื่นได้ ซึ่งเอกสารที่ถูกเชื่อมโยงนี้อาจจะอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์เดียวกัน หรือต่างเครื่องกันก็ได้

4. SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

SMTP เป็นการให้บริการอินเทอร์เน็ตเพื่อรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) โดยที่ SMTP จะมีผู้ไปรษณีย์เพื่อทำหน้าที่รับจดหมายจากผู้อื่นที่ต้องการส่งให้ และเก็บจดหมายของผู้ใช้ที่ต้องการส่งไปยังผู้อื่น เมื่อถึงกำหนด เวลาที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะทำการส่งจดหมายออก และรับจดหมายเข้า ผู้ใช้ก็สามารถจะเปิดอ่านได้เมื่อต้องการ

นอกจากนี้โปรโตคอลอื่น ๆ ที่อยู่เบื้องหลัง ซึ่งทำงานโดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นได้จากโปรแกรม หรือไม่ได้มีการใช้งานโดยตรง เช่น

-Protocol DNS (Domain Name System) ทำหน้าที่แปลงข้อมูลชื่อ Domain Name หรือชื่อเว็บไซต์ทั้งหลายให้เป็นหมายเลข IP Address

-Protocol SNMP (Simple Network Management Protocol) ใช้ในการควบคุม และตรวจสอบอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่าย

-Protocol DHCP (Dynamic Configuration Protocol) ทำหน้าที่แจกจ่ายข้อมูลพารามิเตอร์ ของโครงข่ายให้กับเครื่องลูกข่ายที่เชื่อมต่ออยู่

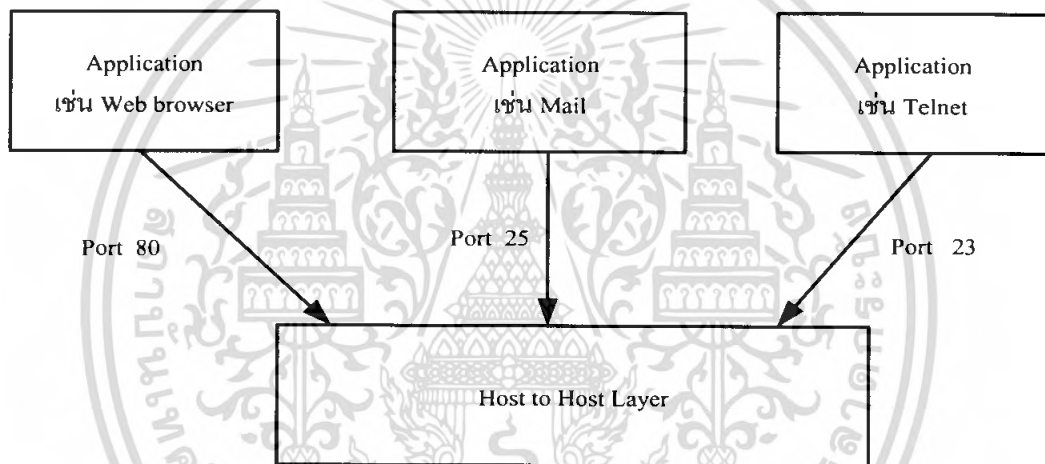
2.9.6.2 .2 Host-to-Host Layer

ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตเคยสงสัยหรือไม่ว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ที่ให้บริการต่างๆ เช่น เว็บเซิร์ฟเวอร์นั้นเมื่อมีผู้เข้ามาเรียกใช้บริการพร้อมกันหลายคน จะมีวิธีการส่งข้อมูลกลับไปยังต้นทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า หรือเผยแพร่โดยไม่หวังค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไร โดยไม่ผิดพลาด ซึ่งบางครั้งผู้ใช้รายหนึ่งอาจจะเปิดโปรแกรม Web Browser ซ้อนกัน เพื่ออ่านข้อมูลจากเว็บ-เพจอื่นๆพร้อมๆกัน ดังนั้นระบบจะทราบได้อย่างไร ถึงการจัดส่งข้อมูลได้อย่างไร

การทำงานที่ชั้นของ Host - to - Host Layer นี้จะมีบทบาทในการจัดการต่อจากชั้นของ Process Layer บางครั้งเรามักเรียกชั้น Host - To - Host Layer ว่าเป็น Transport Layer ซึ่งไม่ใช่ชั้นของ Transport Layer ในมาตรฐาน OSI - Reference Model การทำงานของ Host - To - Host Layer นี้จะมีการสร้าง Connection หรือการเชื่อมต่อกันระหว่างแอปพลิเคชันกับ Host - To - Host Layer โดยจุดที่เชื่อมกันเพื่อรับส่งข้อมูลนี้เรียกว่า Port หรือ Socket (คำว่า Port ในที่นี้ ไม่ได้หมายถึง Port ทางฮาร์ดแวร์) และในแต่ละแอปพลิเคชัน ก็จะสร้างการเชื่อมต่อ ผ่าน Port ใดพร้อมกันหลายแอปพลิเคชัน ซึ่งการใช้งาน Port ของแต่ละแอปพลิเคชันที่อยู่ในชั้น Process Layer จะแตกต่างกันตามหมายเลขที่กำหนดไว้ และแต่ละโปรโตคอลจะมีการใช้งาน Port หมายเลขต่าง ๆ ไม่ซ้ำกัน ดังรูปที่ 2.53



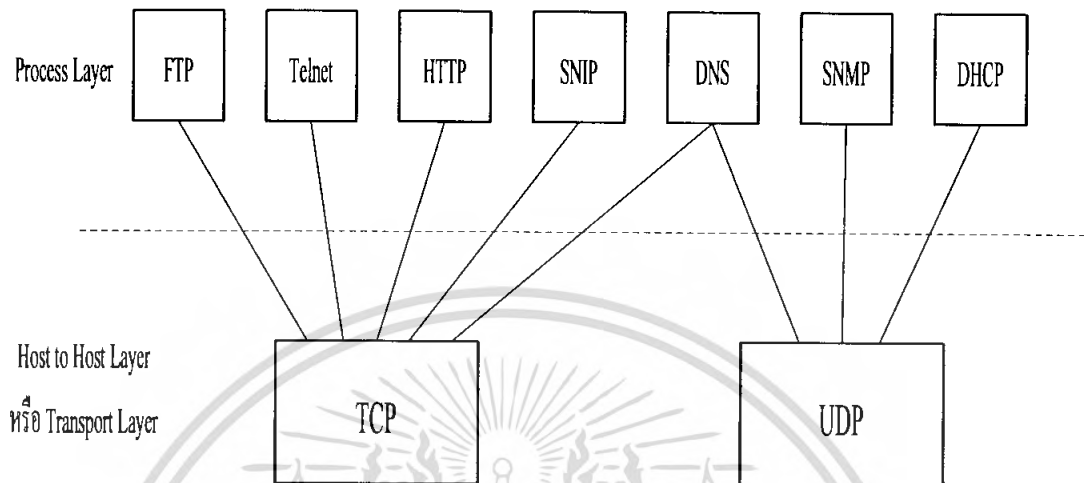
รูปที่ 2.53 แสดงการใช้งาน port ของแต่ละโปรโตคอล

เมื่อแอปพลิเคชันทำงานผ่านโปรโตคอลในชั้น Process layer จะมีการส่งผ่านข้อมูลไปยัง Host-to-Host layer ที่ชั้นนี้จะมีการเชื่อมต่อผ่าน port ที่กำหนดดังรูปที่ 2.53 ทำให้การรับส่งข้อมูลในแต่ละโปรโตคอลทำได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ จะมีการทำงานอยู่หลายโปรเซสที่แตกต่างกันก็ตาม หรือมีผู้ใช้บริการเข้ามาใช้งานพร้อมกันจำนวนมากและหลายแอปพลิเคชันในเวลาเดียวกัน ในชั้น Host-to-Host หรือ Transport layer ของ TCP/IP นี้จะมีโปรโตคอลทำงานอยู่ 2 โปรโตคอลที่แตกต่างกัน คือ โปรโตคอล TCP และโปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) ในการส่งผ่านข้อมูลลงไปที่ชั้นถัด ๆ ไป จะเห็นว่าโปรโตคอล TCP และ UDP จะถูกผนึกเข้าไปในโปรโตคอล IP อีกทีหนึ่งและส่งต่อไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ตต่อไป

ตัวโปรโตคอล TCP และโปรโตคอล UDP จะมีแอปพลิเคชันเฉพาะเพื่อเรียกใช้งานแยกกันคือ แอปพลิเคชันที่ใช้โปรโตคอล FTP, Telnet, HTTP และ SMTP จะมีการส่งผ่านข้อมูลโดยเรียกใช้โปรโตคอล TCP ส่วนแอปพลิเคชัน SNMP และ DHCP จะส่งผ่านข้อมูลโดยเรียกใช้โปรโตคอล UDP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับโปรโตคอล DNS นั้นจะสามารถเรียกใช้งานได้ทั้ง TCP และ UDP ดังรูปที่ 2.54 ซึ่งเหตุผลที่มีการเรียกใช้โปรโตคอล TCP และ UDP แตกต่างกัน ก็เนื่องมาจากวิธีการทำงานของทั้งสองโปรโตคอลนั้นต่างกัน



รูปที่ 2.54 แสดงการส่งข้อมูลจากแอปพลิเคชัน ไปยัง Host – to – Host Layer

โปรโตคอล TCP

โปรโตคอล TCP (Transmission Control Protocol) เป็นโปรโตคอลที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ stream oriented protocol หมายความว่า การรับส่งข้อมูลจะไม่คำนึงถึงปริมาณข้อมูลที่จะส่งไป แต่จะแบ่งข้อมูลเป็นส่วนย่อย ๆ ก่อน แล้วจึงจะส่งไปยังปลายทางอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับข้อมูล ในกรณีที่ข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งสูญหายไป ก็จะส่งข้อมูลส่วนนั้นใหม่อีกครั้ง สำหรับปลายทางก็จะทำหน้าที่จัดเรียงส่วนของข้อมูล datagram ใหม่ให้ต่อเนื่องกันและประกอบกันเป็นข้อมูลทั้งหมดได้ ซึ่งจะแยกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องออก ดังนั้น แอปพลิเคชันหรือ โพรเซสใดที่อาศัยการส่งผ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล TCP จะต้องใช้หน่วยความจำและขนาดของช่องสัญญาณ (bandwidth) มากกว่า UDP การติดต่อกันจะต้องเป็นแบบ connection-oriented คือ ต้องมีการสร้างการติดต่อกันเป็น session ทั้ง 2 ด้านเสียก่อน แล้วจึงจะรับส่งข้อมูลไปได้พร้อมกัน (full duplex) เหมือนกับการใช้โทรศัพท์ติดต่อกัน เมื่อผู้ติดต่อต้องการเรียกให้ฝ่ายตรงข้ามรับสายแล้ว จึงเริ่มการสนทนา เช่น พูดคำว่า “สวัสดี” หรือ “ฮัลโหล” กันก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าอีกฝ่ายตรงข้ามพร้อมที่จะติดต่อกัน จากนั้นจึงเริ่มที่จะติดต่อกัน และเมื่อต้องการจะเลิกการติดต่อก็จะมีการพูดคำว่า “สวัสดี” ให้ฝ่ายตรงข้ามทราบว่าจะเลิกการติดต่อกันและวางสายไป ซึ่งในระหว่างการติดต่อกันนั้น แม้ว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายจะเจียบไป คือ ไม่พูดอะไรกันเป็นเวลานาน ๆ แต่การเชื่อมโยงระหว่างทั้งสองด้านยังคงมีอยู่ไม่ขาดไปจนกว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งจะวางสาย เช่นเดียวกันกับการติดต่อกันด้วยกลไกโปรโตคอล TCP เมื่อแอปพลิเคชันต้องการส่งผ่านข้อมูลจะใช้โปรโตคอลที่เหมาะสมในชั้น Process Layer ติดต่อกันและมีการสร้างช่องส่งข้อมูลผ่าน port ที่กำหนดเพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังโปรโตคอล TCP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการรับส่งข้อมูลนี้ โพรโทคอล TCP จะเพิ่มขบวนการสอบทานข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องไม่ผิดพลาดไปจากเดิม โดยการส่งสัญญาณสอบทานข้อมูล (acknowledgement) และส่งข้อมูลให้ใหม่อีกครั้ง ถ้าปลายทางไม่ได้รับหรือเกิดความผิดพลาดขึ้น ความน่าเชื่อถือของการส่งผ่านข้อมูลโดยโพรโทคอล TCP จะมีมากกว่า แต่ก็ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบมากกว่าในการทำงานเช่นกัน

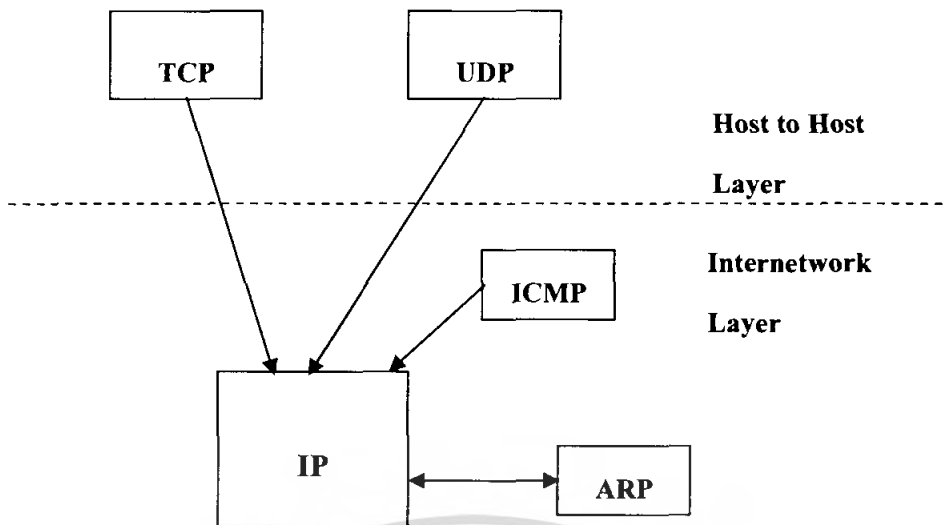
โพรโทคอล UDP

ใน Host-to-Host layer นอกจากจะมีโพรโทคอล TCP ทำงานแล้ว ก็ยังมีโพรโทคอล UDP (User Datagram Protocol) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันอยู่ด้วย ในการรับส่งข้อมูลผ่านโพรโทคอล UDP จะเป็นแบบที่ทั้งสองด้านไม่จำเป็นต้องอาศัยการสร้างช่องทางเชื่อมต่อกัน (connectionless) ระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องที่ขอใช้บริการ โดยไม่ต้องแจ้งให้ฝ่ายรับข้อมูลเตรียมรับข้อมูลเหมือนโพรโทคอล TCP และไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนในการรับส่งข้อมูลนั้น ๆ ด้วย เนื่องจากโพรโทคอล UDP ไม่มีสัญญาณสอบทานข้อมูล ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้งและไม่มีการส่งข้อมูลใหม่อีกในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของการส่งข้อมูล เมื่อเป็นเช่นนี้แอปพลิเคชันหรือโพรเซสใดที่ต้องอาศัยโพรโทคอล UDP ในการส่งผ่านข้อมูลก็อาจจะต้องสร้างขบวนการตรวจสอบข้อมูลขึ้นมาเอง

ตัวอย่างขั้นตอนกลไกการทำงานโดยใช้โพรโทคอล UDP มีดังต่อไปนี้

1. ในชั้นของ Process Layer เมื่อโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์เครือข่าย เช่น โปรแกรม Network Management ต้องการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการ แอปพลิเคชันนั้นจะติดต่อผ่านโพรโทคอล SNMP ในชั้น Process Layer
2. โพรโทคอล SNMP จะติดต่อกับโพรโทคอล UDP ในชั้นถัดไป เพื่อขอติดต่อผ่าน port ที่กำหนด
3. โพรโทคอล SNMP เตรียมข้อมูลที่จะส่ง รวมทั้งที่อยู่ปลายทาง
4. โพรโทคอล SNMP ส่งผ่านข้อมูลให้โพรโทคอล UDP ที่อยู่ในชั้น Host – to – Host Layer
5. โพรโทคอล UDP ทำหน้าที่ผนึกข้อมูลหรือ datagram นั้น ไปกับโพรโทคอล IP ในชั้นถัดลงไป เพื่อส่งข้อมูลออกจากเครื่อง

ซึ่งจะเห็นว่ามิกซ์ที่ต่างจากการส่งข้อมูลด้วยโพรโทคอล TCP ซึ่งจะต้องมีการติดต่อกันก่อน และทั้งสองฝ่ายรับทราบการรับส่งข้อมูลของช่องการส่งข้อมูลนั้นดังรูปที่ 2.55



รูปที่ 2.55 แสดงกลไกการส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล UDP

จากรูปที่ 2.55 จะเห็นว่าโปรโตคอลชั้นบนขึ้นไป ที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลโดยโปรโตคอล UDP เช่น โปรโตคอล SNMP (ใช้ควบคุมและจัดการอุปกรณ์ในเครือข่าย) หรือโปรโตคอล DHCP (ใช้ส่งข้อมูลพารามิเตอร์ของเครือข่ายให้กับเครื่องลูกข่ายได้ใช้งาน) การส่งข้อมูลเหล่านั้นไม่ต้องรับทราบหรือตรวจสอบว่าข้อมูลไปถึงปลายทางถูกต้องหรือไม่ แต่กลไกการตรวจสอบข้อมูลที่มีการรับส่ง จะไปทำให้ขั้นตอนของโปรโตคอลชั้นที่สูงกว่าแทน

UDP Header

มีขนาด 8 ไบต์ โดยประกอบด้วย 4 ส่วนดังรูปที่ 2.56

| Source Port | Destination Port | Length | Checksum |
|-------------|------------------|--------|----------|
| 2 ไบต์ | 2 ไบต์ | 2 ไบต์ | 2 ไบต์ |

รูปที่ 2.56 แสดงโครงสร้างของ UDP Header

- **Source Port** มี 2 ไบต์ใช้ระบุเป็น Source Application Layer Protocol ทำการส่ง UDP Message โดย Source Port เป็น port ที่ใช้ในการเลือก เมื่อใดที่ไม่ได้ใช้ จะตั้งค่าเป็น 0x00-00 IP multicast traffic เปรียบเสมือน videocasts ใช้ส่ง UDP สามารถใช้ค่า 0x00-00 เพราะจะไม่ตอบรับ video traffic เป็นเพียงการสมมุติ Application Layer ใช้ Source Port ในการนำ UDP Message เข้ามา Destination Port สำหรับการตอบรับ

- **Destination Port** มี 2 ไบต์ใช้ระบุเป็น Destination Application Layer Protocol การรวมของ Destination IP Address ของ IP Header และ Destination Port ของ UDP Header จะไม่เหมือน

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Length** มี 2 ไบต์ที่ใช้ในการแสดงความยาวใน UDP Message มีความยาวน้อยที่สุด 8 ไบต์ (ขนาดของ UDP Header) และมากที่สุด 65,515 ไบต์ (ค่าสูงสุด IP Datagram 65,535 ไบต์ น้อยกว่าค่าน้อยที่สุด IP Header 20 ไบต์) ความยาวมากที่สุดที่แท้จริงถูกจำกัดโดย MTU ซึ่งจะทำการเชื่อมโยงโดย UDP Message เป็นตัวส่ง ความยาว UDP สามารถคำนวณได้จากความยาวทั้งหมดและความยาวของ IPHeader field ใน IP Header

- **Checksum** มี 2 ไบต์ โดยจะทำการตรวจระดับของบิตอย่างสมบูรณ์สำหรับ UDP Message โดยที่ UDP Checksum คำนวณโดยใช้วิธีเดียวกันกับ IP Header Checksum

ตารางที่ 2.5 UDP Checksum คำนวณ โดยใช้วิธีเดียวกันกับ IP Header Checksum

| ตำแหน่ง | ชื่อ | อธิบาย |
|-----------|-------------------------|--|
| บิต 0-15 | Source port number | หมายเลข port ต้นทางที่ส่งดาต้าแกรมนี้ มีความยาว 16บิต |
| บิต 16-31 | destination port number | หมายเลข port ปลายทางที่จะเป็นผู้รับดาต้าแกรม มีความยาว 16 บิต เช่นกัน |
| บิต 32-47 | UDP length | ความยาวของดาต้าแกรม ทั้งส่วน Header และ data นั้นหมายความว่าค่าที่น้อยที่สุดในฟิลด์นี้คือ 8 ซึ่งเป็นขนาดของ Header |
| บิต 48-63 | Checksum | เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของ UDP datagram และจะนำข้อมูลบางส่วนใน IP Header มาคำนวณด้วย |

UDP Checksum

Checksum เป็น เลข 16 บิตถูกคำนวณด้วยวิธี one's complement โดยนำ Pseudo Header และข้อมูลทั้งหมดใน UDP Datagram มาคำนวณ Pscudo Header เป็นข้อมูลที่อยู่ในส่วนของ IP Header ประกอบด้วยฟิลด์ source IP address destination IP address , zero , protocol , UDP length ดังแสดงในรูปที่ 2.57

| | | |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 16-bit Source IP address | | |
| 16-bit Destination IP address | | |
| zero | 8-bit protocol (17 for UDP) | 16-bit length |

รูปที่ 2.57 Pseudo Header

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากค่า Checksum ที่คำนวณออกมาเป็น 0 ค่า checksum จะถูกเซ็ทเป็น 1 ทั้งหมดแทน (มีค่าเท่ากับในระบบ 1's complement) ทั้งนี้เพราะในบางแอปพลิเคชันที่ไม่ต้องการตรวจสอบค่า checksum ในระดับ UDP จะเซ็ทค่านี้เป็น 0 (disable checksum)

UDP Port

UDP Port จะแสดงที่ตั้งหรือแถวของ message ที่ชัดเจนสำหรับการส่ง message ถึง แอปพลิเคชัน Layer protocol โดยใช้ UDP services รวมถึงในแต่ละตัวของ UDP message เป็น Source Port และ Destination Port ซึ่ง Internet Assigned Number Authority (IANA) จะเป็นตัวกำหนดหมายเลข Port

ตารางที่ 2.6 UDP Port Numbers

| Port Numbers | Application Layer Protocol |
|--------------|---|
| 53 | Domain Name System (DNS) |
| 67 | BOOTP client (Dynamic Host Configuration Protocol [DHCP]) |
| 68 | BOOTP server (DHCP) |
| 69 | Trivial File Transfer Protocol (TFTP) |
| 137 | NetBIOS Name Service |
| 138 | NetBIOS Datagram Service |
| 161 | Simple Network Management Protocol (SNMP) |
| 520 | Routing Information Protocol (RIP) |
| 445 | Direct hosting of server Message Block (SMB) datagram over TCP/IP |
| 1812 , 1813 | Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS) |

2.9.6.2 .3 Internetwork Layer

ในระดับล่างต่อมาในชั้น Internetwork Layer มีหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลในระหว่างเครือข่าย โดยมีโปรโตคอลที่ทำงานเป็นกลไกสำคัญในการส่งผ่านข้อมูลไปยังเครือข่ายใด ๆ บนอินเทอร์เน็ต คือ โปรโตคอล IP (Internet Protocol) นอกจากนี้ในชั้น Internetwork Layer ยังมีโปรโตคอลที่ทำงานอยู่ด้วยอีก 2 ชนิด คือ โปรโตคอล Internet Control Message Protocol (ICMP) และ โปรโตคอล Address Resolution Protocol (ARP)

โปรโตคอล IP (Internet Protocol)

โปรโตคอล IP นี้ทำหน้าที่ให้บริการส่งผ่านข้อมูลที่มาจาก Host-to-Host Layer เพื่อส่ง
 เอกสารข้ามไปยังเครือข่ายใด ๆ ได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าจะมีเครือข่ายเชื่อมต่ออยู่ในอินเทอร์เน็ตเป็นล้าน ๆ เครือข่าย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ก็ตาม เนื่องจากโปรโตคอล IP มีข้อมูลตำแหน่ง IP ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไปให้ โดยทำงานร่วมกับอุปกรณ์เราเตอร์ เพื่อส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายออกไปได้ ตัวโปรโตคอล IP จะทำงานแบบ Packet Switching คือ มีการส่งผ่านข้อมูลสวิตช์ (Switch) ไปยังปลายทาง โดยข้อมูลจะเดินทางไปยังเครือข่ายต่าง ๆ ผ่านสวิตช์นี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงปลายทาง ตัววงจรผ่านหรือสวิตช์นี้เป็น Gateway หรือ เราเตอร์ (Router) ในระบบเครือข่ายก็ได้ ซึ่งในข้อมูลของโปรโตคอล IP จะมีข้อมูลของหมายเลข IP ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไปให้ และเมื่อถึงเครือข่ายปลายทางแล้ว จะมีกลไกแปลงหมายเลข IP ให้เป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์ประจำเครื่องที่ถูกต้องอีกทีหนึ่ง ด้วยโปรโตคอล ARP

กลไกของโปรโตคอล IP

ในการส่งผ่านข้อมูลหรือ IP datagram ไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้น โปรโตคอล IP จะทำหน้าที่พิจารณาว่าปลายทางในการส่ง IP datagram นั้นเป็นภายในเครือข่ายตนเองหรือจะต้องส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปอีก โดยโปรโตคอล IP จะพิจารณา Address ปลายทางว่าส่วนที่เป็นค่าหมายเลขเครือข่าย (network address) จะเหมือนกับค่า Address ต้นทางหรือไม่ ถ้าค่าตรงกันแสดงว่าการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเดียวกัน แต่ถ้าค่าต่างกัน แสดงว่าต้องส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่อยู่คนละเครือข่ายกัน

การส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเดียวกัน มีกลไกดังนี้

1. โปรโตคอล IP จะเรียกใช้บริการ โปรโตคอล ARP (Address Resolution Protocol) เพื่อแปลงหมายเลข IP ปลายทางให้เป็นค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์ เช่น MAC address
2. เมื่อโปรโตคอล IP ได้รับค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์แล้ว ก็จะส่งข้อมูลไปยังฮาร์ดแวร์ที่ระบุไว้

การส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย มีกลไกดังนี้

1. โปรโตคอล IP ตรวจสอบพบว่าหมายเลข IP address ที่ปลายทางอยู่คนละเครือข่ายกัน โดยโปรโตคอล IP จะอ่านค่า IP address ของเราเตอร์ เพื่อเตรียมส่งข้อมูลไปที่เราเตอร์ แทนซึ่งในที่นี้ จะมีการกำหนดเป็น default router
2. โปรโตคอล IP จะเรียกใช้บริการ โปรโตคอล ARP เพื่อแปลงค่า IP Address ของเราเตอร์ ให้เป็นค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์
3. โปรโตคอล IP ส่งข้อมูล IP datagram ไปยัง Router ส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายต่อไป

IP Datagram

IP Datagram ประกอบด้วย IP Header และ IP Payload

| | |
|------------------|-------------------|
| IP Header | IP Payload |
|------------------|-------------------|

IP Header เป็นขนาดที่เปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง 20 และ 60 ไบต์ ในการเพิ่มขึ้น 4 ไบต์ มันจะจัดเตรียมการสนับสนุน routing , การแสดงตัว payload , การชี้ให้เห็นถึงขนาด IP Header และ Datagram , เอกสารสนับสนุน fragmentation โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.58 เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Version | IP Header Length | Type of Service | Total Length | Identifier | Flags | Fragment Offset |
|---------|------------------|-----------------|--------------|------------|-------|-----------------|
| 4 bit | 4 bit | 8 bit | 16 bit | 16 bit | 3 bit | 13 bit |

| Time-to-Live | Protocol | Header Checksum | Source IP Address | Destination IP Address | IP Option and Padding |
|--------------|----------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| 8 bit | 8 bit | 16 bit | 32 bit | 32 bit | 32 bit |

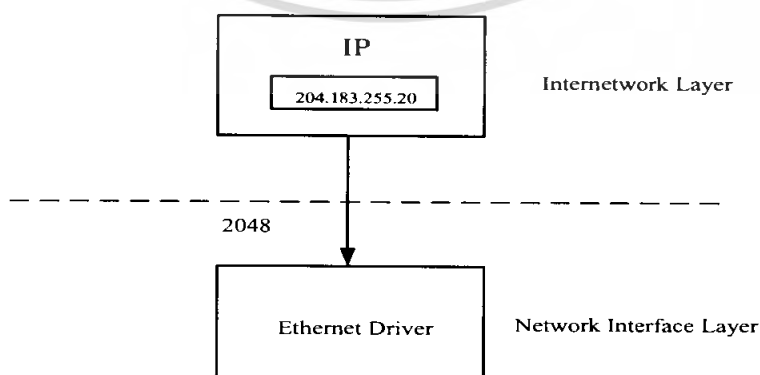
รูปที่ 2.58 แสดงโครงสร้าง IP Header

การกำหนด IP address ให้กับอุปกรณ์

ต้องกำหนดหมายเลข IP address ให้กับจุดเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายทุกจุด จุดเชื่อมต่อหรือ Interface อาจหมายถึง Network Interface card (Lan card) ที่ติดตั้งในเซิร์ฟเวอร์หรือ WAN port , Ethernet port ที่ เราเตอร์ใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายเป็นต้นการกำหนดหมายเลข IP address ให้กับจุดเชื่อมต่อนี้ทำให้เราเข้าใจได้ว่า ในบางอุปกรณ์ที่มีจุดเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายมากกว่าหนึ่งจุด ต้องกำหนดหมายเลข IP address ให้ครบ

การ Bind IP address

เมื่อได้กำหนดหมายเลข IP address ให้กับจุดเชื่อมต่อเช่น Lan card แล้วที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์จะต้องมีการ bind หรือผนวกค่า IP address ดังกล่าวเข้ากับ Ethernet driver เพื่ออ้างอิงหมายเลข IP กับฮาร์ดแวร์ให้ทำหน้าที่ติดต่อส่งข้อมูลในระดับ Network Interface ได้ต่อไป ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.59



รูปที่ 2.59 แสดงการ Bind IP address

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.59 จะแสดงค่า bind IP address 204.183.255.20 เข้ากับ Ethernet driver โพรโทคอล IP จะใช้ค่า IP address นี้ในการติดต่อกันและผ่านฮาร์ดแวร์ที่ถูก bind ไว้ อีกต่อหนึ่ง ค่าหมายเลขฮาร์ดแวร์ก็ได้แก่ MAC address ที่มีประจำอยู่บน Lan card ซึ่งจะไม่ได้ใช้งานอ้างอิงโดยตรงแต่จะผ่านหมายเลข IP address แทน IP Payload เป็นขนาดที่เปลี่ยนแปลงโดยมีลำดับจาก 8 ไบต์ (68 ไบต์ IP Datagram กับ 60 ไบต์ IP Header) ถึง 65,515 ไบต์ (65,535 ไบต์ IP Datagram กับ 20 ไบต์ IP Header)

Protocol

Protocol Field มีขนาดยาว 1 ไบต์ และใช้เป็นตัวบ่งบอกในการบรรจุข้อมูลไปยัง Layer ที่สูงขึ้นกับใน IP Payload และยังเป็นตัวบ่งบอกลูกข่ายโพรโทคอลที่ชัดเจน โดยปกติค่าของ IP Protocol Field จะเป็น 1 สำหรับ ICMP 6 สำหรับ TCP และ 17 (0x11) สำหรับ UDP Protocol field จะแสดงตัวได้อย่างมากมาย ดังนั้น payload สามารถที่จะผ่านไปยัง Layer ที่สูงขึ้นไปได้ถูกต้อง โดยจะได้รับที่ destination

ตารางที่ 2.7 ค่าต่างๆของ IP Protocol Field

| Value | Protocol |
|-------|--|
| 0 | Reserved |
| 1 | Internet Control Message Protocol (ICMP) |
| 2 | Internet Group Management Protocol (IGMP) |
| 4 | IP in IP encapsulation |
| 6 | Transmission Control Protocol (TCP) |
| 8 | Exterior Gateway Protocol (EGP) |
| 17 | User Datagram Protocol (UDP) |
| 46 | Resource Reservation Protocol (RSVP) |
| 47 | Generic Routing Protocol (GRE) |
| 50 | IP Security Encapsulating Security Payload (ESP) |
| 51 | IP Security Authentication Header (AH) |
| 89 | Open Shortest Path First (OSPF) |

MAC Address

เนื่องจากคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องสามารถแจกจ่ายข้อมูลกันได้ในระบบเครือข่ายเดียวกัน ดังนั้นแต่ละเครื่องควรมีสิ่งที่ชี้ลักษณะเฉพาะตัวของมัน เช่น เราต้องมีบัตรประจำตัวประชาชน ซึ่งในทางคอมพิวเตอร์นี้เราจะใช้เลขฐาน 16 จำนวน 12 หลัก เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะเฉพาะนั้น ๆ ซึ่งเราเรียกว่า MAC Address เนื่องจาก MAC Address เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะเฉพาะของแต่ละ machine ดังนั้นจึงต้องเป็นค่าที่ไม่ซ้ำกัน (unique) MAC Address เป็นเลข 48 bits โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดย 24 bits แรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าที่แสดงถึงบริษัทที่ผลิตการ์ดนั้น ๆ ส่วน 24 bits หลังเป็น serial number ที่ทางบริษัทกำหนดให้ ซึ่งแต่ละตัวต้องไม่ซ้ำกัน เราเรียกเลข 24 bit นี้ว่า OUI (Organizationally Unique Identifier) ซึ่ง OUI จะใช้เพียง 22 bits เท่านั้น ส่วนอีก 2 bits ที่เหลือจะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น โดย bit หนึ่งจะใช้เพื่อแสดงว่า address นั้นเป็น broadcast/multicast address ส่วนอีก bit หนึ่งนั้นไว้แสดงว่า adapter นั้นถูกกำหนด locally administered address ซึ่ง admin ของระบบจะทำการกำหนด MAC Address เพื่อความเหมาะสมของนโยบายระบบ เช่น MAC Address = 03 00 00 00 00 00 01 ซึ่งจะเห็นว่า byte แรก = 03 = 0000 0011 นั่นคือ ทั้ง 2 bits ถูก set (reset = 0) ซึ่งเอาไว้กรณี multicast ให้ทุกเครื่องที่ run บนโปรโตคอล NetBEUI

กล่าวโดยสรุปก็คือ โปรโตคอล TCP/IP ทำงานโดยแบ่งเป็นชั้นเทียบกับ OSI model ได้กลไกในการทำงานของโปรโตคอล TCP/IP มี 4 ชั้น ซึ่งในชั้นแรกคือ Process layer ทำหน้าที่ติดต่อกับแอปพลิเคชันและโปรโตคอลที่แอปพลิเคชันนั้น ๆ ใช้งาน และส่งมาให้ชั้น Host-to-Host layer เพื่อติดต่อกันระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องผู้ใช้บริการ ในชั้นนี้จะมีการสร้าง Session หรือการเชื่อมต่อระหว่างระบบขึ้นตามแต่ละโปรโตคอลที่ต้องการ ต่อมาเป็นการผนึกข้อมูลไปเป็น IP datagram ที่ชั้น Internetwork Layer โดยอาศัยโปรโตคอล IP เพื่อให้สามารถติดต่อกับข้อมูลข้ามเครือข่ายและเครื่องที่ถูกต้องได้ และสุดท้ายการส่งข้อมูลออกสู่โลกภายนอกต้องอาศัยกลไกในชั้น Network Interface Layer เพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งออกไปเครือข่ายและอาจจะออกไปยัง Gateway หรือ Router เพื่อข้ามเครือข่ายออกไปยังเส้นทางที่กำหนดไว้ในอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล ในแต่ละโปรโตคอลเหล่านี้ก็จะรับผิดชอบหน้าที่ของตนเพื่อผ่านข้อมูลลงไปยังระดับล่าง และออกสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตในที่สุด

โปรโตคอล ICMP (Internet Control Message Protocol)

หน้าที่หลักของโปรโตคอล ICMP (Internet Control Message Protocol) คือ การแจ้งหรือแสดงข้อความจากระบบเพื่อบอกให้ผู้ใช้ทราบว่าเกิดอะไรขึ้น ในการส่งผ่านข้อมูลนั้น ซึ่งปัญหาส่วนมากที่พบคือ ส่งไปไม่ได้ หรือปลายทางรับข้อมูลไม่ได้ เป็นต้น นอกจากนี้ โปรโตคอล ICMP ยังถูกเรียกใช้งานจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์และเราเตอร์อีกด้วย เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ควบคุม ส่วนรูปแบบการทำงานของโปรโตคอล ICMP นั้นจะทำงานร่วมกับโปรโตคอล IP ในระบบเดียวกัน และข้อความต่าง ๆ ที่แจ้งให้ทราบจะถูกผนึกอยู่ในข้อมูล IP (IP datagram) อีกทีหนึ่ง

ข้อความที่โปรโตคอล ICMP ส่งนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ICMP Error Message หรือข้อความแจ้งข้อผิดพลาด และ ICMP Query หรือข้อความเรียกขอข้อมูลเพิ่มเติม ตัวอย่างการทำงานของโปรโตคอล ICMP เช่น เมื่อมีการส่งผ่านข้อมูลจากผู้ใช้ไปยังปลายทางที่ไม่ถูกต้อง หรือขณะนั้นเครื่องปลายทางเกิดปัญหาจนไม่สามารถรับข้อมูลได้ที่ Router จะส่งข้อความแจ้งเป็น ICMP Message ที่ชื่อ Destination Unreachable ให้กับผู้ส่งข้อมูลนั้น นอกจากนี้ตัวข้อมูลที่แจ้งข้อความ ก็จะมีส่วนของข้อมูล IP datagram ที่เกิดปัญหาด้วย ดังนั้น เมื่อผู้ส่งข้อมูลได้รับข้อความแจ้งแล้วก็จะทราบได้ว่า จุดที่เกิดปัญหานั้นอยู่ที่ใด ดังนั้น โปรโตคอล ICMP จึงกลายมาเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการช่วยทดสอบเครือข่าย เช่น คำสั่ง Ping ที่เรามักใช้ทดสอบว่าเครื่อง Server ที่ให้บริการหรืออุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

นั้นยังทำงานเป็นปกติหรือไม่ แล้วคำสั่ง Ping มีการเรียกใช้งาน โพรโทคอล ICMP แจ้งเป็นข้อความให้ทราบ

โพรโทคอล ARP (Addressable Resolution Protocol)

โพรโทคอล ARP ถูกเรียกใช้งานโดยโพรโทคอล IP เพื่อช่วยแปลงหมายเลข IP ไปเป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์ปลายทาง ตัวอย่างเช่น เว็บเซิร์ฟเวอร์เครื่องหนึ่ง เชื่อมต่ออยู่ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและในการเชื่อมต่อนี้ ต้องอาศัย Lan Card ที่ติดตั้งอยู่เบื้อง จะมีหมายเลขเฉพาะประจำฮาร์ดแวร์ ที่ไม่ซ้ำกับใคร เพื่อใช้อ้างอิงการส่งข้อมูลในเครือข่าย แต่มาใช้งานโพรโทคอล TCP/IP ก็จะต้องมีการกำหนดหมายเลข IP Address ประจำตัวเพื่อใช้อ้างอิงกัน และโพรโทคอล ARP จะทำหน้าที่แปลงค่าหมายเลข IP ให้เป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์จริงในระดับการทำงานที่ Internetwork Layer นี้ ซึ่งกลไกการแปลงนี้เรียกว่า Address Resolution

โพรโทคอล ARP ย้อนกลับ หรือ RARP (Reverse Addressable Protocol)

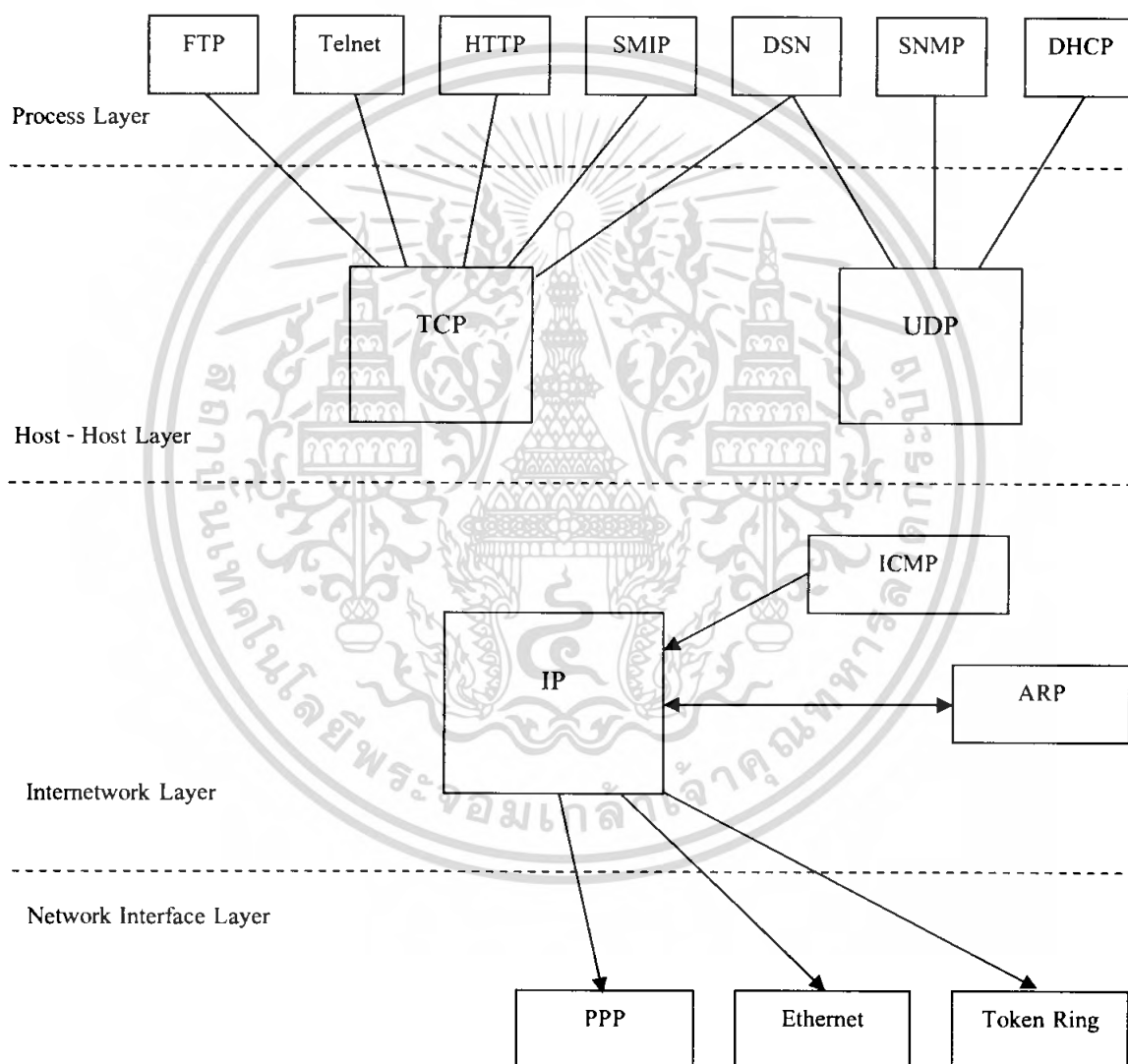
วิธีการ ARP ช่วยแก้ปัญหาในการค้นหาที่อยู่ของข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดที่อยู่ฮาร์ดแวร์แบบ IP แต่ถ้าทราบที่อยู่แบบฮาร์ดแวร์ แล้วต้องการแปลงที่อยู่เป็น IP จะทำอย่างไร ปัญหานี้มักเกิดขึ้นกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่เริ่มทำงานด้วยการอ่านข้อมูลทั้งหมดจากเครื่อง Host เครื่องประเภทนี้จะทราบเพียงที่อยู่ของตนเองจากอุปกรณ์สื่อสารเครือข่ายเท่านั้น การค้นหาค่าตอบสามารถทำได้โดยวิธีควบคุมการสื่อสารแบบ ARP ย้อนกลับหรือ RARP (Reverse Addressable Protocol) วิธีการนี้เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่เพิ่งจะเริ่มทำงาน (หรือเครื่องใดก็ได้แล้วแต่) จะส่งคำถามออกไปในทำนอง “ที่อยู่ขนาด 48 Bits แบบฮาร์ดแวร์ ของฉันคือ 14.04.05.18.01.25 มีใครทราบที่อยู่ IP ของฉันบ้าง” เครื่องที่ให้บริการ RARP จะตรวจสอบข้อมูลในตารางข้อมูลของตนเองแล้วจึงส่งหมายเลข IP กลับไปให้ วิธีการนี้ช่วยให้เกิดความอ่อนตัวและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้หมายเลข IP เนื่องจากผู้ใช้ไม่มีหมายเลข IP เป็นของตัวเอง ผู้ควบคุมระบบสามารถกำหนดหมายเลข IP ใด ๆ ที่ไม่มีผู้ใช้งานในขณะนั้นให้ใช้ได้ หมายเลข IP ในที่นี้จึงเป็นเสมือนสมบัติส่วนกลางที่ทุกคนใช้ร่วมกัน

ข้อดีของวิธี RARP คือ การที่ผู้ใช้จะส่งคำถามโดยใช้หมายเลข 1 จำนวน 48 ตัว เป็นที่อยู่ของผู้ให้บริการหมายเลขนี้เป็นหมายเลขพิเศษที่เราเตอร์ จะไม่ยอมส่งแพ็กเก็ต ผ่านไปยังเครือข่ายอื่นเลย ฉะนั้นผู้ให้บริการ RARP จะต้องมียู่อุปกรณ์ประจำทุกเครือข่าย อย่างไรก็ตาม Protocol แบบ BOOTP ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหานี้โดยการใช้ Packet UDP แทน Packet ชนิดนี้ สามารถส่งไปได้ทั่วทุกเครือข่าย และยังให้ข้อมูลอื่นเพิ่มเติม เช่น หมายเลข IP ของผู้ให้บริการเพิ่มข้อมูล หมายเลข IP ของเราเตอร์อัตโนมัติ และตารางข้อมูลเครือข่ายย่อย เป็นต้น

2.9.6.2 .4 Network Interface Layer

เนื่องจากในด้านกายภาพของเครือข่ายนั้น มีหลายวิธีการและหลายรูปแบบในการเชื่อมต่อระบบให้เป็นเครือข่าย แต่อย่างไรก็ตามในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนี้ ข้อมูลใน IP datagram จะถูกเเก็กรวมเป็นเอกสารที่ส่งบนสายหรือการวิ่งในเพื่อการที่เชื่อถือได้นั้น เมื่อผู้ดูแลระบบใช้ระบบเองนั้นในราคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายทอดและส่งผ่านไปยังปลายทางโดยไม่คำนึงถึงรูปแบบการเชื่อมต่อทางกายภาพ ไม่ว่าจะเป็นการใช้
 เครื่องข่ายใยแก้วนำแสง หรือเครื่องข่ายสาย Unshielded Twist Pair (UTP) เชื่อมต่อเป็นแบบเครื่องข่าย
 Ethernet ธรรมดาหรือเครื่องข่าย Token Ring, ATM, ISDN ฯลฯ ก็ตาม การทำงานระดับล่างสุดต่อจาก
 Internetwork Layer จะเป็นการแปลงข้อมูล IP datagram ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม และแปลงสัญญาณไฟฟ้า
 ส่งไปยังเครื่องข่ายต่อไป ซึ่งในชั้น Network Interface Layer นี้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน OSI model แล้วจะ
 เป็นการรวม 2 layer เข้าด้วยกัน คือ Data link layer และ Physical layer กล่าวโดยสรุป คือ การทำงานใน
 ชั้นต่าง ๆ ตามโครงสร้างโปรโตคอล TCP/IP จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.60

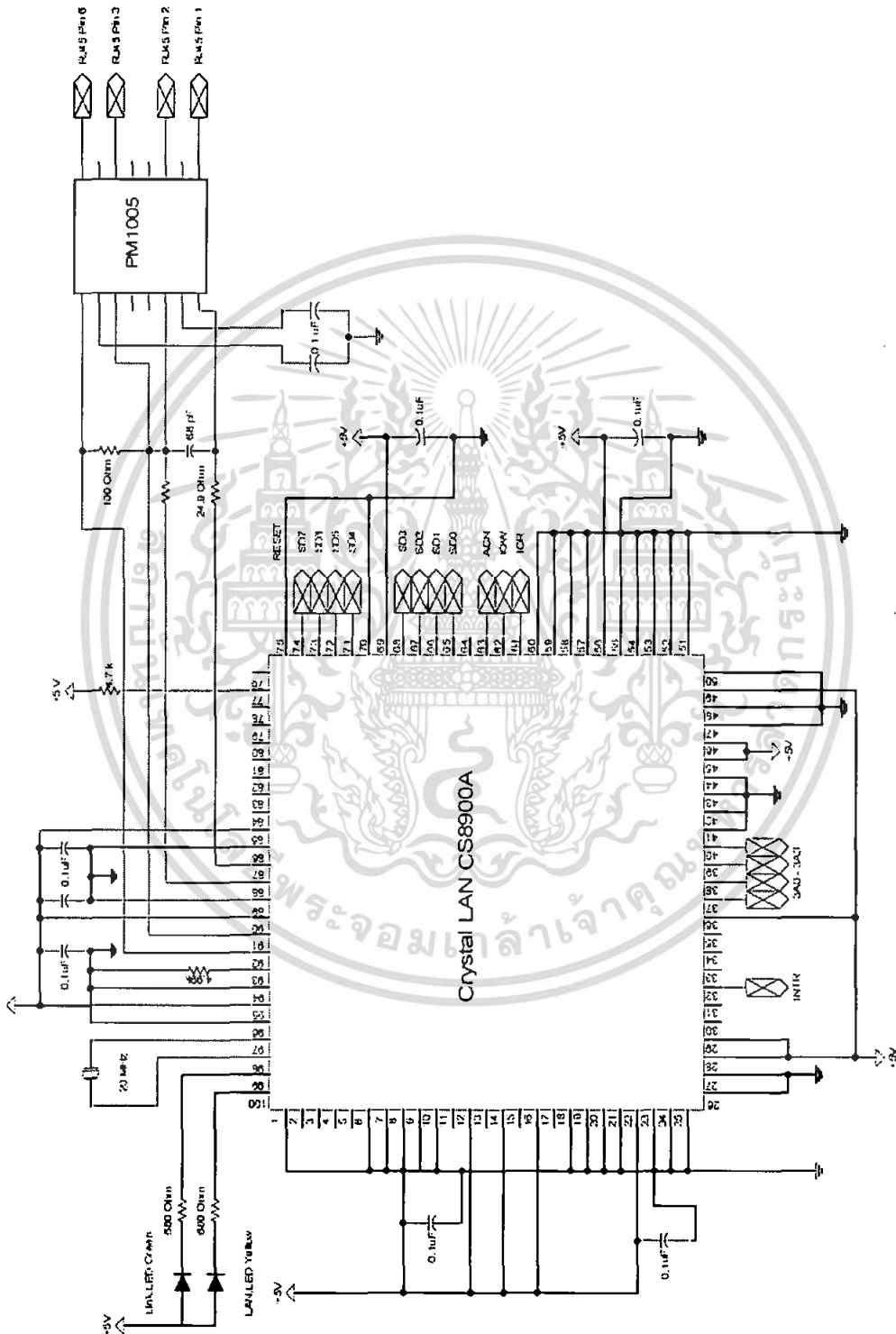


รูปที่ 2.60 โครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP ในแต่ละชั้นหรือ layer จะมีโปรโตคอลหลักทำหน้าที่ต่าง ๆ
 และส่งข้อมูลไปยังเครื่องข่ายและออกสู่อินเตอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.7 ส่วนเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

จะให้อุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Network Controller) โดยภายในวงจรจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักกับควบคุมการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายในที่นี้จะทำการเลือกใช้ CS8900A-CQ, Transformer (PM1005) และ RJ-45 Connector ดังรูปที่ 2.61



รูปที่ 2.61 แสดงวงจรควบคุมการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายจะมี PIN OUT 18 ขา ดังรูปที่ 2.62

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PIN 1 | PIN 2 | PIN 3 | PIN 4 | PIN 5 | PIN 6 | PIN 7 | PIN 8 | PIN 9 |
| GND | VCC | INTR | SA0 | SA1 | SA2 | SA3 | /IOR | /IOW |

| | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PIN 10 | PIN 11 | PIN 12 | PIN 13 | PIN 14 | PIN 15 | PIN 16 | PIN 17 | PIN 18 |
| /AEN | SD0 | SD1 | SD2 | SD3 | SD4 | SD5 | SD6 | SD7 |

รูปที่ 2.62 PIN OUT

VCC - แหล่งจ่ายไฟตรง 5 V

GND - กราวด์อ้างอิง 0 V

INTR - ใช้ในโหมดอินเทอร์รัพ

SA0 – SA3 - Address Bus เชื่อมต่อกับ MCS-51

/IOR - I/O Port Read (Active low)

/IOW - I/O Port Write (Active low)

/AEN - Chip Select (Active low)

SD0 – SD7 - Data Bus เชื่อมต่อกับ MCS-51

จาก LED ในวงจรด้วยการจ่ายไฟแล้วเสียบสาย RJ-45 ที่ต่อในวง LAN

- Link LED จะสว่าง

- LAN LED จะกระพริบ

2.9.8 การแสดงผลในระบบอินเทอร์เน็ต

2.9.8.1 การทำงานของ World Wide Web

เว็บ หรือ เวิลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web – WWW) คือ ซื่อบริการชนิดหนึ่งในอินเทอร์เน็ต ลักษณะของบริการนี้ในมุมมองของผู้ใช้จะเป็นเว็บเพจที่เชื่อมโยงกันเหมือนใยแมงมุม โดยที่เว็บเพจเหล่านั้นอาจเก็บอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันหรือคนละเครื่องที่ห่างออกไปอีกมุมหนึ่งของโลกก็ได้

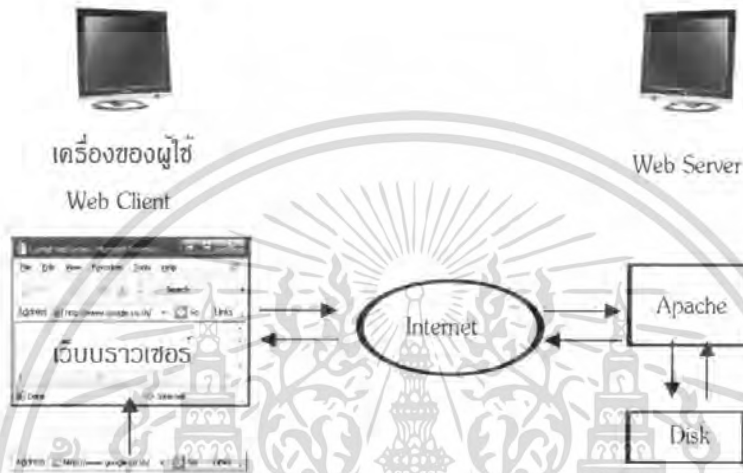
การใช้งานเว็บนั้น ผู้ใช้จะใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ในเครื่องของตนเอง เรียกไปยังเว็บเพจที่เก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ทั่วโลก และสามารถคลิกไฮเปอร์ลิงก์ (Hyperlink) ที่แสดงอยู่ภายในหน้าเว็บเพจหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงไปยังอีกเว็บเพจหนึ่งได้อย่างง่ายดาย

การทำงานของ World Wide Web จะอาศัยหลักการ Client/Server (ผู้ขอใช้บริการ/ผู้ให้บริการ) เช่นเดียวกับบริการชนิดอื่น ๆ ในอินเทอร์เน็ต โดย Client หรือผู้ขอใช้บริการ ก็คือโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ในเครื่องผู้ใช้ เช่น โปรแกรม Internet Explorer และ Mozilla Firefox ส่วน Server หรือผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้บริการ ก็คือโปรแกรมที่เรียกว่า Web Server ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการ WWW ตัวอย่างโปรแกรมเหล่านี้ เช่น Apache Web Server และ IIS เป็นต้น

เมื่อเราใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์เรียกไปยังเว็บเพจหนึ่ง ๆ ในอินเทอร์เน็ต ก็จะเกิดการติดต่อกันระหว่าง โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ในเครื่องของเรา กับ โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ในเครื่องที่เก็บเว็บเพจนั้นไว้ ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดสามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 2.63



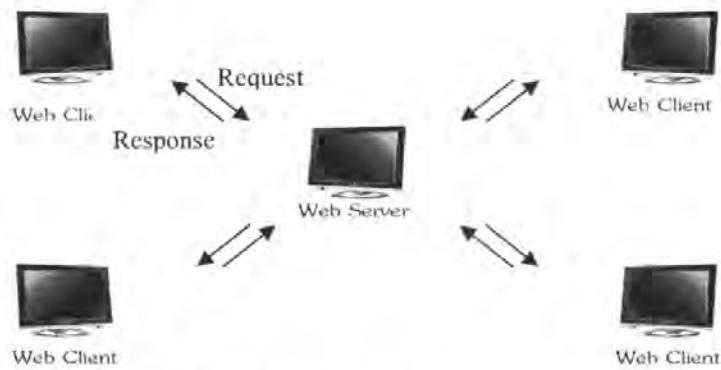
รูปที่ 2.63 ขั้นตอนการทำงานในการติดต่อกันระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับโปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์

ซึ่งรายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. ผู้ใช้พิมพ์ <http://www.example.com/main.html> ลงในช่อง Address หรือช่อง URL ของโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์
2. เว็บเบราว์เซอร์ส่ง message ผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า www.example.com เพื่อร้องขอ (Request) เเพจ/main.html
3. โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ทำงานอยู่ในเครื่อง www.example.com (สำหรับในรูปที่ 2.63 สมมติว่าเป็นโปรแกรม Apache) เมื่อได้รับ message นั้น ก็จะอ่านเนื้อหาของไฟล์ main.html ขึ้นมาจากดิสก์
4. โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ส่งเนื้อหาของไฟล์ main.html กลับไปให้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ในเครื่องของผู้ใช้ เพื่อเป็นการตอบสนอง (Response) ต่อคำร้องขอของเว็บเบราว์เซอร์
5. เว็บเบราว์เซอร์แสดงเพจ main.html ออกมาบนหน้าจอ ตามคำสั่งภาษา HTML (HTML tags) ที่กำหนดไว้ในเพจนั้น

และในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เว็บเซิร์ฟเวอร์อาจต้องให้บริการแก่ client มากกว่า 1 เครื่องพร้อมกัน ดังรูปที่ 2.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.64 เว็บเซิร์ฟเวอร์ให้บริการแก่ client พร้อมกันมากกว่า 1 เครื่องในเวลาเดียวกัน

2.9.8.2 HTML

สำหรับ World Wide Web นั้นจะประกอบไปด้วยเว็บเพจต่าง ๆ จำนวนมาก เว็บเพจเหล่านี้ถูกเขียนขึ้นมาจากภาษาที่มีชื่อว่า HTML (Hypertext Markup Language) โดยที่ HTML นั้น ไม่ใช่ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม แต่เป็นภาษาที่ใช้อธิบายหน้าตาของเว็บเพจ (Page Description Language) เราใช้คำสั่งในภาษา HTML กำกับข้อความต่าง ๆ ที่จะแสดงออกมาในหน้าเว็บเพจ เพื่อให้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลข้อความนั้นไปตามลักษณะที่เราต้องการ เช่น การกำหนดให้ตัวอักษรเป็นตัวหนา (Bold) หรือกำหนดให้เป็นไฮเปอร์ลิงก์สำหรับเชื่อมโยงไปยังเว็บเพจอื่น เป็นต้น ทั้งนี้ยังสามารถเขียนคำสั่ง HTML ในกรณีแสดงรูปภาพภายในหน้าเว็บเพจได้อีกด้วย

2.9.8.3 PHP (PHP : Hypertext Preprocessor)

2.9.8.3.1 ประวัติโดยย่อของ PHP

ในปี พ.ศ. 2538 Ramas Lerdorf ได้เขียนสคริปต์ภาษา Perl สำหรับนับจำนวนคนที่เข้ามาดูเว็บเพจของเขา และตั้งชื่อให้สคริปต์ชุดนี้ว่า Personal Home Page Tools ต่อมาเขาต้องการให้เครื่องมือตัวนี้มีคุณสมบัติมากยิ่งขึ้น จึงได้เขียนใหม่ด้วยภาษา C จนเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการติดต่อกับฐานข้อมูล และใช้สร้างเว็บเพจแบบไดนามิกหรือเว็บแอปพลิเคชันได้ โดยที่ Ramas เลือกที่จะเผยแพร่ซอร์สโค้ดออกไปในอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ผู้อื่นสามารถนำเครื่องมือตัวนี้ไปใช้งาน รวมถึงแก้ไขปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น จากนั้น Andi Gutmans และ Zeev Suraski ซึ่งทำงานร่วมกับ Ramas ได้เขียนโค้ดใหม่ขึ้นมาทั้งหมดซึ่งเป็น PHP 3.0 แล้วในเวลาต่อมาทั้งสองคนได้พัฒนาแกนหลักของ PHP ขึ้นมาใหม่ ซึ่งรู้จักกันในนามของ Zend Engine โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเว็บแอปพลิเคชันที่มีความซับซ้อน และปรับปรุงความเป็นโมดูล (Modularity) ของตัว PHP เอง ซึ่งสำหรับ PHP 4.0 มีคุณสมบัติใหม่ เช่น เรื่องของการรับข้อมูลที่ปลอดภัยมากขึ้น ส่วน PHP 5.0 มีการการปรับปรุง Object Model ใหม่ รวมทั้งเพิ่มคุณสมบัติในเรื่องของการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

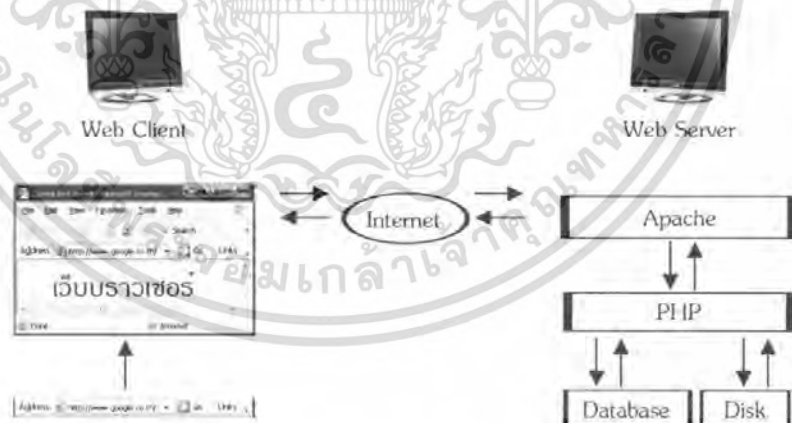
2.9.8.3.2 การนำภาษาโปรแกรม PHP ไปใช้งาน

PHP คือ ภาษาโปรแกรม (Programming Language) ซึ่งไม่เหมือนกันกับภาษา HTML ที่เป็นเพียงภาษาสำหรับอธิบายหน้าเอกสาร โดย PHP Interpreter ที่ทำงานอยู่ในเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์จะอ่านคำสั่งที่เขียนด้วยภาษา PHP แล้วทำงานตามคำสั่งเหล่านั้น ซึ่งอาจเป็นการเก็บค่าลงในตัวแปร การตัดสินใจเลือกทำโดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขบางอย่าง การทำซ้ำคำสั่ง หรืออาจเป็นการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น เช่น อ่านข้อมูลจากไฟล์ เขียนข้อมูลลงไฟล์ ติดต่อกับฐานข้อมูล หรือรับ - ส่งอีเมล เป็นต้น

PHP จัดว่าเป็นภาษาโปรแกรมฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-Side Language) เนื่องจากโค้ด PHP จะถูกประมวลผลที่ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งต่างจากภาษาหรือเทคโนโลยีอย่างเช่น JavaScript Flash หรือ ActiveX ที่จะถูกประมวลผลโดยโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ที่ฝั่งผู้ใช้ ดังนั้นผู้ใช้จึงไม่มีโอกาสเห็นโค้ด PHP ที่ได้เขียนไว้ใน PHP Page เพราะว่าโค้ดเหล่านี้จะถูกประมวลผลไปจนหมดที่ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ แล้วให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อความธรรมดา และคำสั่งในภาษา HTML เท่านั้น (แต่สำหรับในบางครั้งก็อาจให้ผลลัพธ์เป็นโค้ด JavaScript หรืออื่น ๆ ที่จะถูกส่งไปประมวลผลที่ฝั่งเว็บเบราว์เซอร์ด้วย

PHP Interpreter จะถูกเรียกให้ประมวลผลโค้ด PHP ใน PHP Page เมื่อเว็บเบราว์เซอร์ร้องขอ PHP Page จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งการร้องขอ PHP Page นี้ อาจเป็นผลจากการที่ผู้ใช้คลิกไฮเปอร์ลิงก์ การคลิกปุ่มเพื่อส่ง (submit) ข้อมูล หรือป้อน URL ของเพจเข้ามาตรง ๆ ก็ได้

สำหรับการทำงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อเว็บเบราว์เซอร์เรียกไปยังเว็บเพจที่มีคำสั่งภาษา PHP ฝังอยู่ สามารถอธิบายได้ ดังรูป 2.65



รูปที่ 2.65 ขั้นตอนการทำงานในการติดต่อกันเมื่อเว็บเบราว์เซอร์เรียกไปยังเว็บเพจที่มีคำสั่งภาษา PHP

ซึ่งรายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. ผู้ใช้พิมพ์ <http://www.example.com/catalog.php> ลงในช่อง Address หรือช่อง URL ของโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์

2. เว็บเบราว์เซอร์ส่ง message ผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในวงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ทำงานอยู่ในเครื่อง www.example.com (สำหรับในรูปที่ 2.65) สมมติว่าเป็นโปรแกรม Apache) เมื่อได้รับ message นั้น ก็จะขอให้ตัวแปลภาษา PHP (PHP Interpreter) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานอยู่ในเครื่อง www.example.com เช่นเดียวกันประมวลผลคำสั่ง PHP ที่มีอยู่ในเว็บเพจ / catalog.php

4. PHP Interpreter อ่านเนื้อหาของไฟล์ / catalog.php ขึ้นมาจาก Disk

5. PHP Interpreter ทำงานไปตามคำสั่ง PHP ในไฟล์ ซึ่งอาจมีการติดต่อไปยังฐานข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลมาใช้งานหรือส่งข้อมูลไปเก็บด้วย (ขึ้นอยู่กับคำสั่ง PHP ในไฟล์ว่ากำหนดให้ทำอะไรบ้าง)

6. PHP Interpreter ส่งผลลัพธ์ที่ได้จากไฟล์ / catalog.php ไปให้เว็บเซิร์ฟเวอร์ เพื่อเป็นการตอบสนองต่อคำขอของเว็บเซิร์ฟเวอร์ในขั้นตอนที่ 3 ผลลัพธ์นี้จะเป็นคำสั่งภาษา HTML (HTML tags) โดยไม่มีคำสั่งภาษา PHP รวมอยู่ด้วยแต่อย่างใด

7. โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ส่งเนื้อหาที่ได้รับมาจาก PHP Interpreter กลับไปให้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ในเครื่องของผู้ใช้ เพื่อเป็นการตอบสนอง (Response) ต่อคำร้องขอของเว็บเบราว์เซอร์

8. เว็บเบราว์เซอร์ตีความเนื้อหาแล้วแสดงผลออกมาบนหน้าจอ ตามคำสั่งภาษา HTML ที่กำหนดไว้ในหน้านั้น

2.9.9 ระบบฐานข้อมูล

2.9.9.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล (Database) คือ กลุ่มของข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ในที่เดียวกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถ ค้นหา เพิ่มเติม ลบและแก้ไขข้อมูล ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ การสร้างฐานข้อมูลสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม เช่น MySQL, Oracle, Microsoft SQL Server และ Microsoft Access เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้นอกจากใช้สร้างฐานข้อมูลแล้วยังมีหน้าที่จัดการและดำเนินการกับฐานข้อมูลตามที่โปรแกรมผู้ใช้ข้อมูล (Data Consumer) ร้องขอมาด้วย จึงมีชื่อเรียกเต็ม ๆ ว่า โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System - DBMS)

สำหรับ SQL ย่อมาจาก Structured Query Language คือ ภาษามาตรฐานสำหรับทำงานกับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ภาษานี้มีใช้ในระบบฐานข้อมูลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เช่น MySQL และอีกหลาย ๆ โปรแกรมสร้างฐานข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ภาษา SQL มีมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยหน่วยงาน ANSI (American National Standards Institute) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งระบบฐานข้อมูลต่าง ๆ จะยึดตามมาตรฐานนี้ และมักจะเพิ่มคุณสมบัติบางอย่างเข้าไปเองด้วย คำสั่งที่เกี่ยวกับระบบสิทธิ (Privilege System) ใน MySQL นับเป็นตัวอย่างหนึ่ง

คำสั่งในภาษา SQL แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) คำสั่งในกลุ่ม DDL (Data Definition Language) ประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้สร้างฐานข้อมูล สร้างตาราง แก้ไขตาราง เป็นต้น

2) คำสั่งในกลุ่ม DML (Data Manipulation Language) คือคำสั่งที่ใช้ทำงานกับข้อมูลในฐานข้อมูล เช่น คำสั่งที่ใช้ในการเพิ่มข้อมูล การดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนโค้ด PHP เพื่อทำงานกับฐานข้อมูล โดยมากเราจะใช้คำสั่งในกลุ่ม DML เพราะว่าการทำงานกับฐานข้อมูลส่วนใหญ่ ก็คือการดึงข้อมูลมาแสดงผลในเว็บเพจ หรือนำข้อมูลจากแบบฟอร์มไปเก็บลงฐานข้อมูล ในขณะที่ DDL มักจะใช้ในขั้นตอนการจัดเตรียมฐานข้อมูล แต่อาจมีบางครั้งที่ต้องใช้ DDL ในโค้ด PHP เช่น เราอาจต้องการสร้างฐานข้อมูลหรือตารางขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์บางอย่างในช่วงที่ PHP Page ทำงาน

2.9.9.2 คำศัพท์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับฐานข้อมูล

1) เทเบิล (Table)

ฐานข้อมูลที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งรวมถึงฐานข้อมูลที่สร้างจากโปรแกรม MySQL ด้วยนั้นเป็นรูปแบบที่เรียกว่า ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ซึ่งในฐานข้อมูลหนึ่ง จะประกอบด้วยตารางข้อมูล หรือ เทเบิล (Table) ตั้งแต่ 1 เทเบิลขึ้นไป แต่ละเทเบิลจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งเอาไว้ เช่น ฐานข้อมูลในโรงพยาบาลอาจมีเทเบิลหนึ่งเก็บข้อมูลของผู้ป่วย อีกเทเบิลหนึ่งเก็บข้อมูลแพทย์ และอีกเทเบิลหนึ่งเก็บข้อมูลในคลินิกยา เป็นต้น

2) เรคอร์ด (Record) และฟิลด์ (Field)

เทเบิลจะแบ่งออกเป็นแถว (Row) และคอลัมน์ (Column) โดยแต่ละแถวคือข้อมูล 1 รายการ หรือ 1 เรคอร์ด (Record) เช่น เทเบิลเกี่ยวกับผู้ป่วย แต่ละเรคอร์ดก็คือข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วย 1 คน แต่ละส่วนของเรคอร์ดหนึ่งจะถูกแยกเก็บไว้ในคอลัมน์ต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่าฟิลด์ (Field) เช่น เทเบิล “ข้อมูลผู้ป่วย” อาจมีฟิลด์สำหรับเก็บหมายเลขประจำตัวผู้ป่วย ชื่อผู้ป่วย โรคของผู้ป่วย ประวัติการแพทย์ของผู้ป่วย เป็นต้น

3) คีย์หลัก (Primary Key)

เรามักกำหนดให้ฟิลด์หนึ่งทำหน้าที่เป็นคีย์หลัก (Primary Key) ของเทเบิล ซึ่งฟิลด์นี้จะใช้แยกแยะเรคอร์ดต่าง ๆ ในเทเบิลนั้น หรือพูดง่าย ๆ คือ ใช้บ่งชี้ (identify) ว่าเรคอร์ดใดเป็นเรคอร์ดใด ด้วยเหตุนี้ฟิลด์ที่เป็นคีย์หลัก จึงต้องมีค่าอยู่ในทุกเรคอร์ด และค่าของฟิลด์นั้นในเรคอร์ดต่าง ๆ จะต้องไม่ซ้ำกัน ถ้าหากเป็นไปได้ที่ค่าของฟิลด์หนึ่งจะซ้ำกันใน 2 เรคอร์ดหรือมากกว่า ไม่ว่าจะในอดีตหรือปัจจุบัน หรือที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตก็ตาม จะต้องไม่กำหนดฟิลด์นั้นให้เป็นคีย์หลักเด็ดขาด

4) คีย์นอก (Foreign Key)

นอกจากคีย์หลักแล้ว ยังมีคีย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ คีย์นอก (Foreign Key) ซึ่งหมายถึงฟิลด์ที่เก็บค่าของฟิลด์ที่เป็นคีย์หลักของเทเบิลอื่นเอาไว้ เพื่อแสดงถึงการเชื่อมโยงระหว่างเรคอร์ดในเทเบิลทั้งสอง เช่น เทเบิล “รายชื่อยาในคลินิกยา” ที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับยาทั้งหมดในโรงพยาบาล อาจมีฟิลด์ “หมายเลขประจำตัวผู้ป่วย” ที่เป็นคีย์หลัก สำหรับเก็บรหัสผู้ป่วยที่เบิกยาแต่ละชนิดไปในแต่ละครั้งที่ได้รับการรักษา ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงไปยังฟิลด์ “หมายเลขประจำตัวผู้ป่วย” ที่เป็นคีย์หลักของเทเบิล “ข้อมูลผู้ป่วย” ซึ่งการเชื่อมโยงนี้ช่วยให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ยาของผู้ป่วยด้วย

2.9.9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเทเบิล

1) ความสัมพันธ์แบบ One-to-One

เป็นการแยกข้อมูลบางส่วนออกจากเทเบิลใดเทเบิลหนึ่ง มาสร้างเป็นอีกเทเบิลหนึ่งต่างหาก ซึ่งใช้ฟิลด์ใดฟิลด์หนึ่งในการเป็นตัวเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างเทเบิลทั้งสอง ความสัมพันธ์เช่นนี้เป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่ง

การแยกข้อมูลออกมาเป็นเทเบิลต่างหากจะทำเมื่อเทเบิลมีจำนวนฟิลด์มากเกินไปจนไม่สะดวกต่อการประมวลผลหรือบำรุงรักษา และอาจจะสิ้นเปลืองเนื้อที่การจัดเก็บข้อมูลโดยเปล่าประโยชน์ด้วย

2) ความสัมพันธ์แบบ Many-to-Many

เป็นการเชื่อมโยงเทเบิลหลาย ๆ เทเบิลเข้าด้วยกัน ซึ่งมักจะมีเทเบิลที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างเทเบิลเหล่านี้ด้วย เช่น เทเบิล “ข้อมูลผู้ป่วย” กับเทเบิล “รายชื่อในคลังยา” เป็นต้น

2.9.9.4 Schema

โครงสร้างของเทเบิลทั้งหมดในฐานข้อมูลหนึ่งเรียกว่า Schema ซึ่งเปรียบเสมือนพิมพ์เขียว (Blueprint) ของฐานข้อมูลนั้น โดยทั่วไป Schema จะแสดงชื่อเทเบิล ชื่อฟิลด์ และบอกให้รู้ว่าฟิลด์ใดเป็นฟิลด์คีย์หลัก คีย์นอก อย่างไรก็ตาม Schema จะไม่รวมถึงข้อมูลที่เก็บไว้ แต่อาจจะแสดงข้อมูลตัวอย่างเพื่ออธิบายว่าฟิลด์ต่างๆ ใช้เก็บข้อมูลอะไรและมีลักษณะอย่างไรซึ่งมักจะแสดงในรูปแบบของแผนภาพ หรืออาจจะอยู่ในรูปแบบของข้อความ เป็นต้น

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์

3.1.1 วงจรขยายอินสตรูเมนต์ชั้นโดยใช้อิซีเบอร์ AD620AN

ในปริณญาณิพนธ์นี้จะใช้วงจรขยายอินสตรูเมนต์ชั้นโดยใช้อิซีเบอร์ AD620AN ซึ่งวงจรมีจะใช้อิซีเบอร์ AD620AN หนึ่งตัว แทนการใช้โอปแอมป์สามตัว แต่ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจำเป็นจะต้องมีวงจรมาคือเพิ่ม ดังรูปที่ 2.23 โดยจะได้วงจรตามรูปที่ 2.24 และวงจรอินสตรูเมนต์ชั้นแอมพลิฟายเออร์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงดังรูปที่ 3.1

สำหรับอัตราขยายของวงจรสามารถหาได้ดังสมการ

$$G = \frac{R_3 + R_6}{R_g} + 1 \quad (3.1)$$

$$R_g = \frac{R_3 + R_6}{G - 1} \quad (3.2)$$

ใช้ $R_3 = R_6 = 44k\Omega$ และ R_g เป็นแบบปรับค่าได้ ดังนั้น

$$G = \frac{88k\Omega}{R_g} + 1$$

เมื่อปรับ R_g ให้มีค่าความต้านทานสูงสุด ($5k\Omega$) จะได้ว่า

$$G = \frac{88k\Omega}{5k\Omega} + 1$$

$$G = 16.6$$

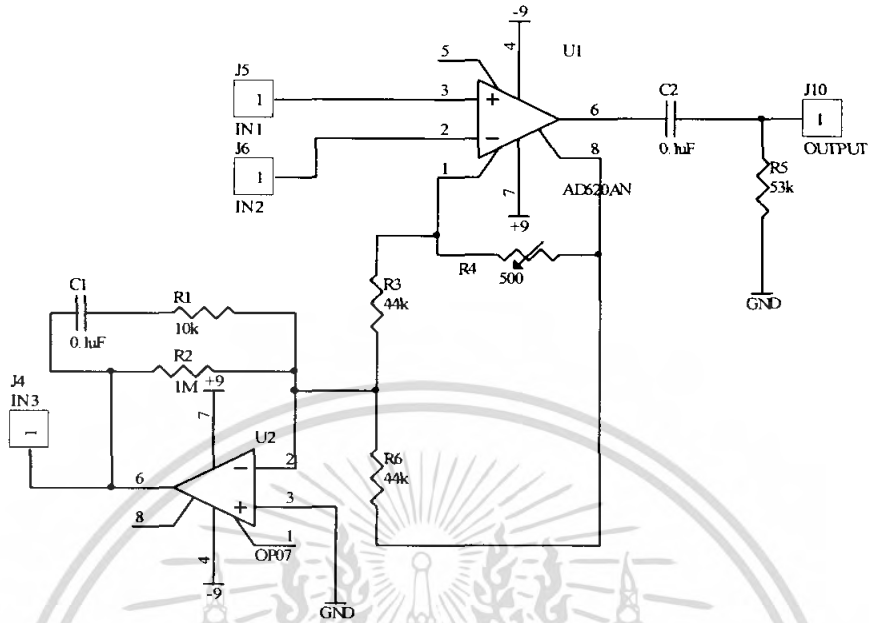
เมื่อปรับ R_g ให้มีค่าความต้านทานต่ำสุด (ประมาณ 10Ω) จะได้ว่า

$$G = \frac{88k\Omega}{10\Omega} + 1$$

$$G = 8800$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

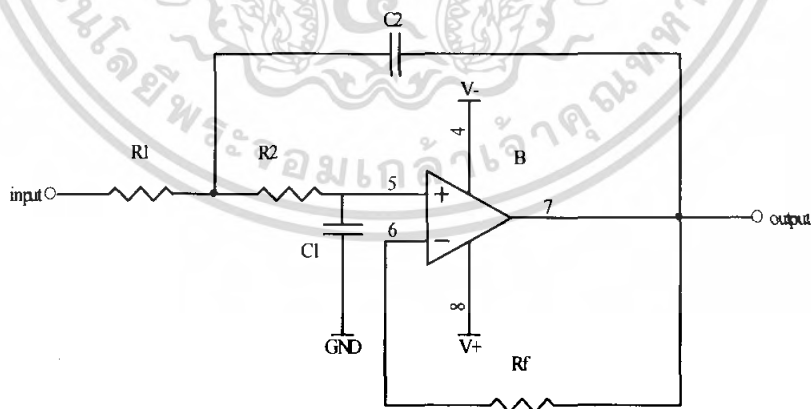
ซึ่งอัตราขยายผลต่างที่ต้องการใช้ คือ 100 เท่า ดังนั้น หากต้องการค่าอัตราขยายผลต่างดังกล่าว จะใช้วิธีการปรับค่า R_x เพื่อเปลี่ยนค่าของความต้านทานในวงจร



รูปที่ 3.1 วงจรอินสตรูเมนต์แอมพลิฟายเออร์ที่ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

3.1.2 วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรกรองชนิดนี้เป็นวงจรกรองให้ความถี่ที่มีความถี่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง ค่าความถี่หยุด หรือ ค่าความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency: ω_c) ในขณะที่ช่วงความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัทออฟนี้เป็นช่วงความถี่แถบหยุดของวงจร ในกรณีนี้จะได้แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของวงจรมีค่าเป็น ω_c



รูปที่ 3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2

จากรูปที่ 3.2 พิจารณาจากการทำงานของวงจรจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นวงจรตามแรงดันคือ แรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับแรงดันเอาต์พุต ดังนั้นแรงดันคคกร่อม C_1 มีค่าเท่ากับ V_o เพื่อง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดให้ $R_1 = R_2 = R$ ซึ่งสามารถออกแบบวงจรที่มีความถี่คัทออฟได้จากสมการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_c = \frac{0.707}{2\pi RC} \quad \text{Hz} \quad (3.3)$$

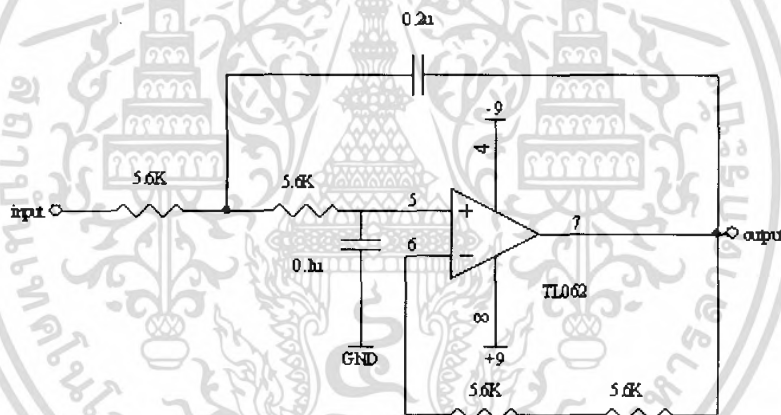
3.1.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในวงจรวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจต้องการความถี่คัทออฟ 200 เฮิรตซ์ เลือกใช้ $C = 0.1\mu F$ ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นจากสมการจะคำนวณค่า R ได้ดังนี้

$$200 = \frac{0.707}{2\pi R(0.1 \times 10^{-6})}$$

$$R = \frac{0.707}{2\pi \times 200 \times (0.1 \times 10^{-6})}$$

$$R = 5626.12\Omega$$

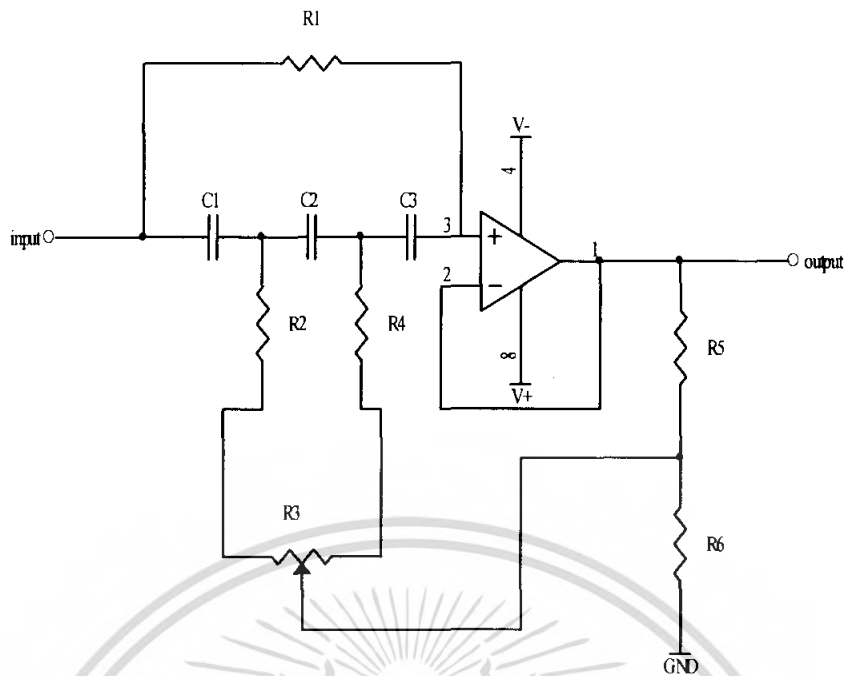


รูปที่ 3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่ 2 ที่ใช้ในเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

3.1.3 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ (Band Reject filter)

วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ เป็นวงจรที่นำมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการเพียงช่วงแคบๆ หรือความถี่ที่ไม่ต้องการค่าใดค่าหนึ่งทิ้งไป ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะนำมาใช้กำจัดสัญญาณที่มีความถี่ 50 Hz ที่คล้ายปลั๊กจากสายไฟบ้าน ซึ่งเป็นความถี่ที่มีสัญญาณรบกวนมาก วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ที่ถูกนำมาใช้ในการกรองความถี่ 50 Hz ในเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจนี้จะเป็นวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่แบบบริจด์จิกเฟอว์เรนท์ไฮเอเตอร์หรือวงจรแบบปรับค่าได้ คือ เราสามารถปรับค่าความถี่ศูนย์กลางได้เอง เนื่องจากไม่มี R และ C ต่อกับจุดอ้างอิงโดยตรง ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรสูงขึ้น โดยจะปรับ R ปรับค่าได้จนกระทั่งมีการลดทอนต่ำสุดที่ความถี่ 50 Hz นั่นคือวงจรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นเอง ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่แบบบริดจ์ดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์

ความสัมพันธ์ของ R และ C ที่นำมาใช้ในวงจรจะเป็นไปตามสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi C \sqrt{3R_a R_b}} \quad \text{Hz} \quad (3.4)$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C \quad \text{F} \quad (3.5)$$

$$R_1 = 6(R_2 + R_3 + R_4) \quad \Omega \quad (3.6)$$

เมื่อ $R_a = R_2 + R_{3a} \quad \Omega \quad (3.7)$

$$R_b = R_4 + R_{3b} \quad \Omega \quad (3.8)$$

โดยที่ $R_3 = R_{3a} + R_{3b} \quad \Omega \quad (3.9)$

โดยค่าความถี่ศูนย์กลางที่ต้องการ 50 Hz จึงกำหนดช่วงการปรับค่าความถี่ศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 45 Hz ถึง 95 Hz โดยกำหนดค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ $0.047 \mu\text{F}$ และค่าความต้านทาน R_2 เท่ากับ $4.7 \text{ k}\Omega$ และ R_4 เท่ากับ $75 \text{ k}\Omega$ และเนื่องจาก R_3 เป็นความต้านทานปรับค่าได้จึงให้ R_3 เท่ากับ $20 \text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จาก} & R_1 = 6(R_2 + R_3 + R_4) \quad \Omega \\ \text{ดังนั้น} & R_1 = 6(4700 + 75000 + 20000) \quad \Omega \\ & = 598200 \quad \Omega \\ \text{และ} & R_5 = 1000 \Omega \\ & R_6 = 2200 \Omega \end{aligned}$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ค่าความถี่ศูนย์กลางที่ตั้งไว้อยู่ในช่วงต่อไปนี้

- เมื่อปรับ $R_{3a} = 0 \quad \Omega$ และ $R_{3b} = 20 \quad k\Omega$ ซึ่งจะได้ค่าค่าความถี่ศูนย์กลางดังนี้

$$\begin{aligned} \text{คำนวณหาค่า } R_a & R_a = R_2 + R_{3a} \\ & R_a = 4700 + 0 \\ & = 4700 \quad \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= R_4 + R_{3b} \\ R_b &= 75000 + 20000 \\ &= 95000 \Omega \end{aligned}$$

จะได้ค่าความถี่ศูนย์กลาง ดังนี้

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{1}{2\pi C \sqrt{3R_a R_b}} \\ f_c &= \frac{1}{2\pi (0.047 \times 10^{-6}) \sqrt{3(4700)(95000)}} \\ &= 92.52 \text{ Hz} \end{aligned}$$

- เมื่อปรับ $R_{3a} = 20 \quad k\Omega$ และ $R_{3b} = 0 \quad \Omega$ ซึ่งจะได้ค่าค่าความถี่ศูนย์กลางดังนี้

$$\begin{aligned} \text{คำนวณหาค่า } R_a & R_a = R_2 + R_{3a} \\ & R_a = 4700 + 20000 \\ & = 24700 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= R_4 + R_{3b} \\ R_b &= 75000 + 0 \\ &= 75000 \Omega \end{aligned}$$

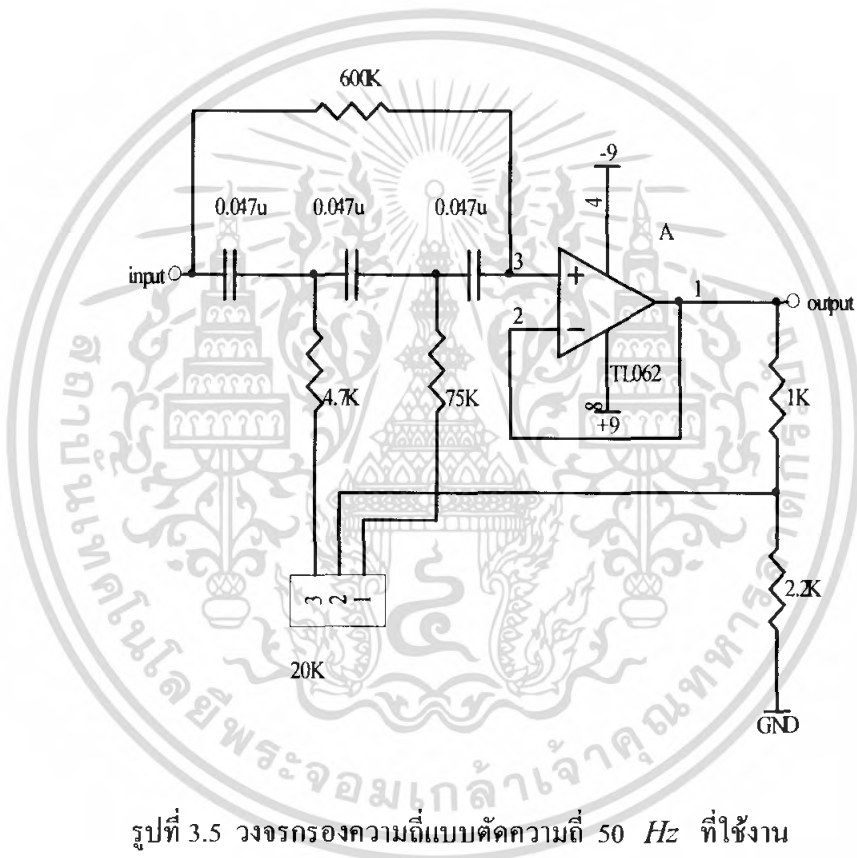
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าความถี่ศูนย์กลาง ดังนี้

$$f_c = \frac{1}{2\pi C \sqrt{3R_a R_b}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi (0.047 \times 10^{-6}) \sqrt{3(24700)(75000)}} \\ = 45.42 \text{ Hz}$$

ดังนั้น จะเห็นว่าความถี่ศูนย์กลางสามารถปรับได้ในช่วง 45.42 Hz ถึง 92.52 Hz ถ้าต้องการความถี่ศูนย์กลาง 50 Hz ก็ปรับค่าความต้านทานให้ได้ความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 50 Hz

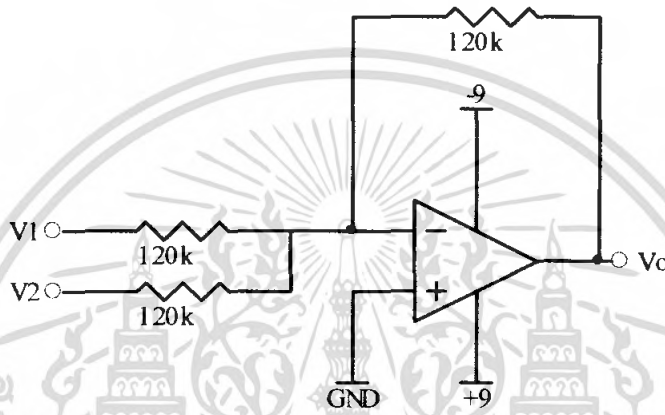


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier)

วงจรรวมสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือ วงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกันให้เป็นสัญญาณเอาต์พุตสัญญาณเคียวคิงรูปที่ 3.6 ซึ่งในปริณูณานิพนธ์นี้ นำสัญญาณอินพุตเพียง 2 สัญญาณและจะได้สัญญาณเอาต์พุตตามความสัมพันธ์ของสมการดังต่อไปนี้

$$V_o = V_1 + V_2 = - \left[V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right) + V_2 \left(\frac{R_3}{R_2} \right) \right] \quad (3.10)$$

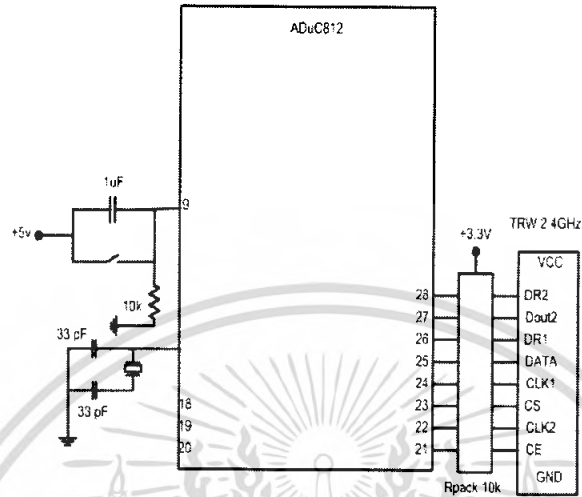


รูปที่ 3.6 วงจรรวมสัญญาณที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 โมดูล TRW 2.4 GHz ที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ

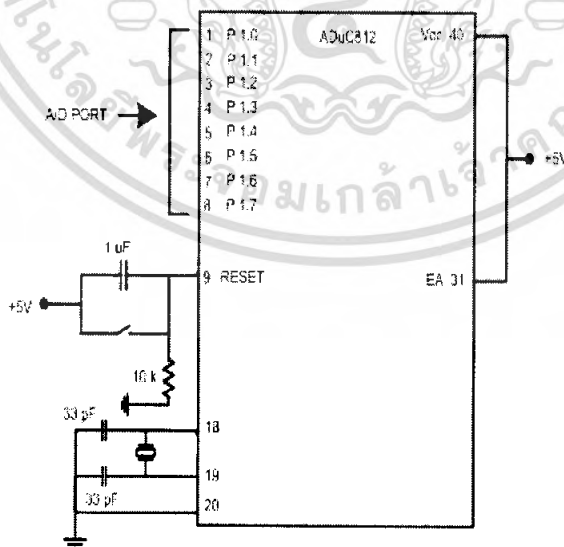
จะใช้ตัวโมดูล TRW 2.4 GHz ในการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุทั้งในด้านฝั่งส่งสัญญาณ และด้านฝั่งรับสัญญาณดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรโมดูล TRW 2.4 GHz ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

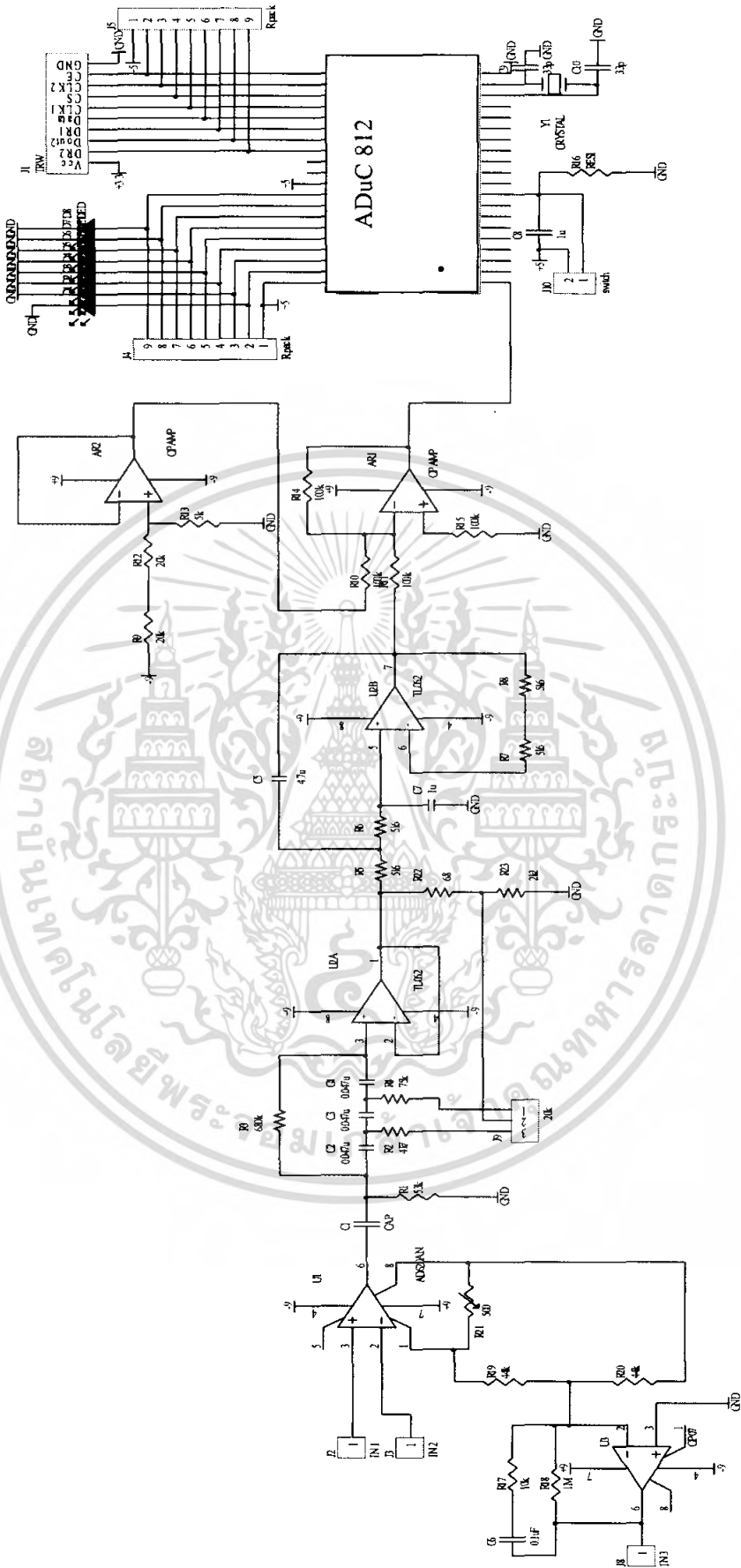
3.1.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เนื่องจากการส่งข้อมูลผ่านแบบไร้สายจะมีการส่งข้อมูลแบบดิจิทัล แต่สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณแอนาลอก ดังนั้นจึงต้องมีวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.9

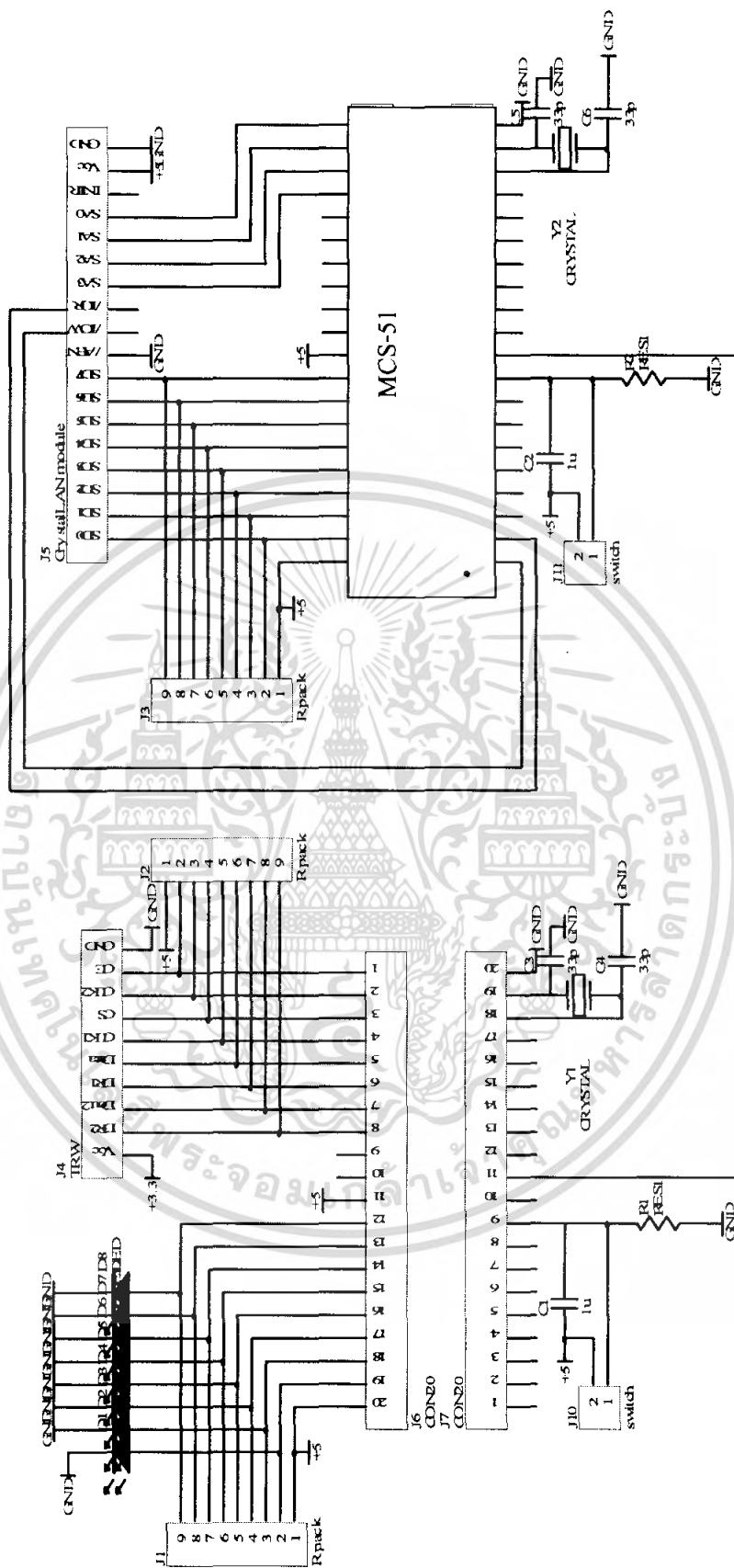


รูปที่ 3.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับที่ 3.10 วงจรเครื่องส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สาย ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

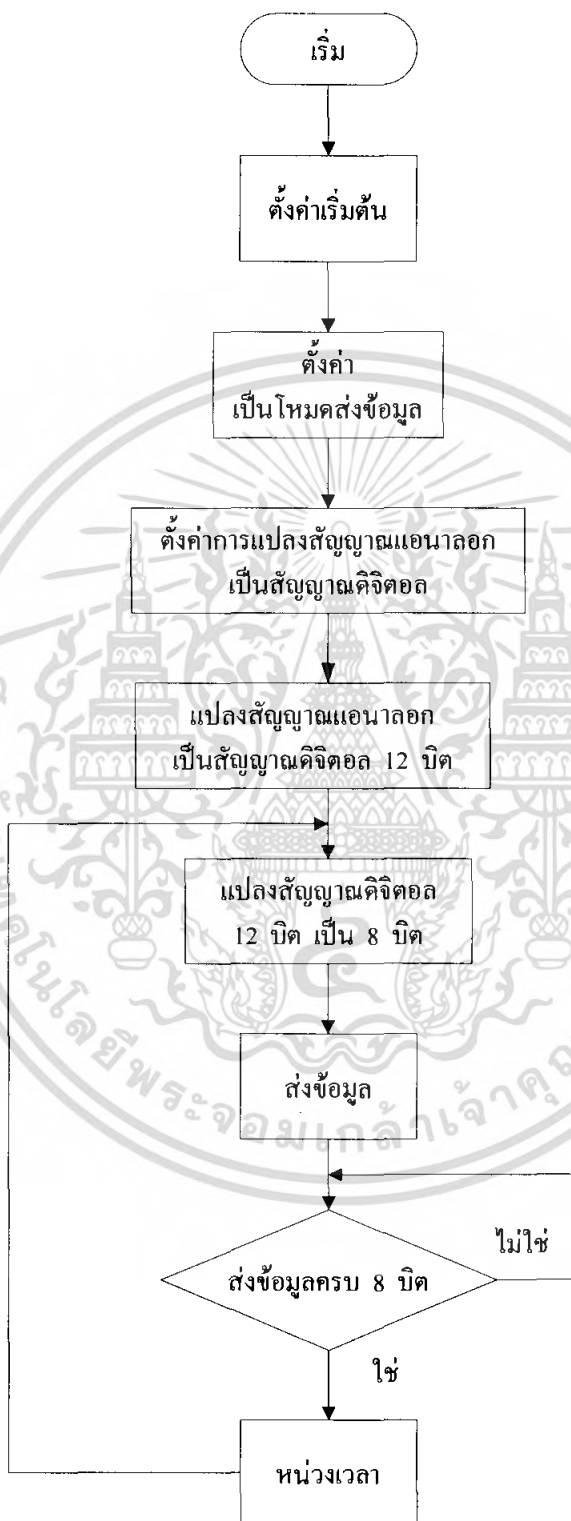


รูปที่ 3.11 วงจรเครื่องรับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนของซอฟต์แวร์

3.2.1 Flow Chart การทำงานของ ADuC812 ในทางด้านส่ง

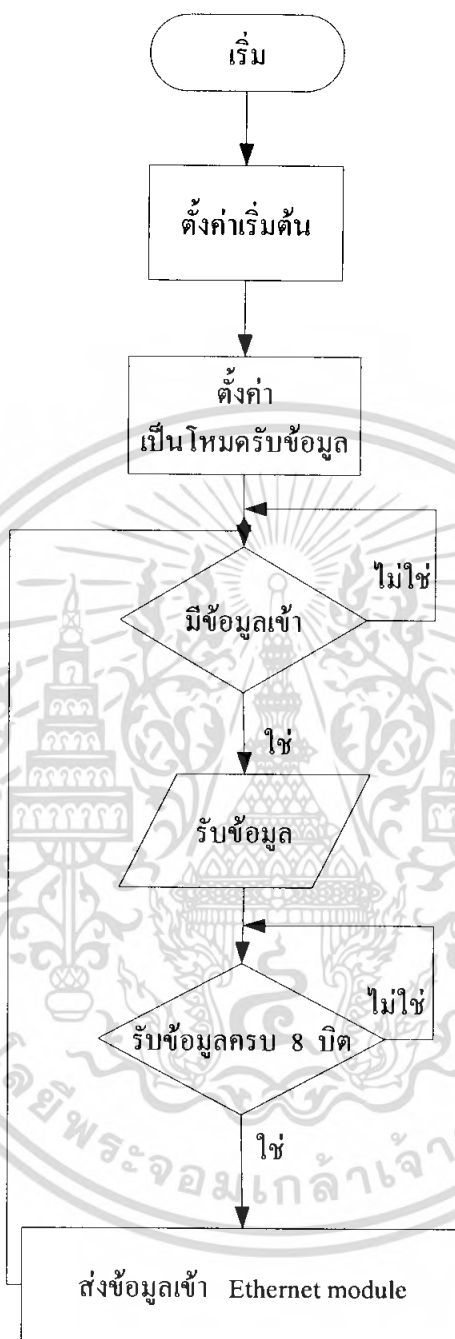


รูปที่ 3.12 การทำงานของโปรแกรมการแปลงสัญญาณแอนาลอก

เป็นสัญญาณดิจิทัลและการส่งข้อมูลผ่าน TRW 2.4 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

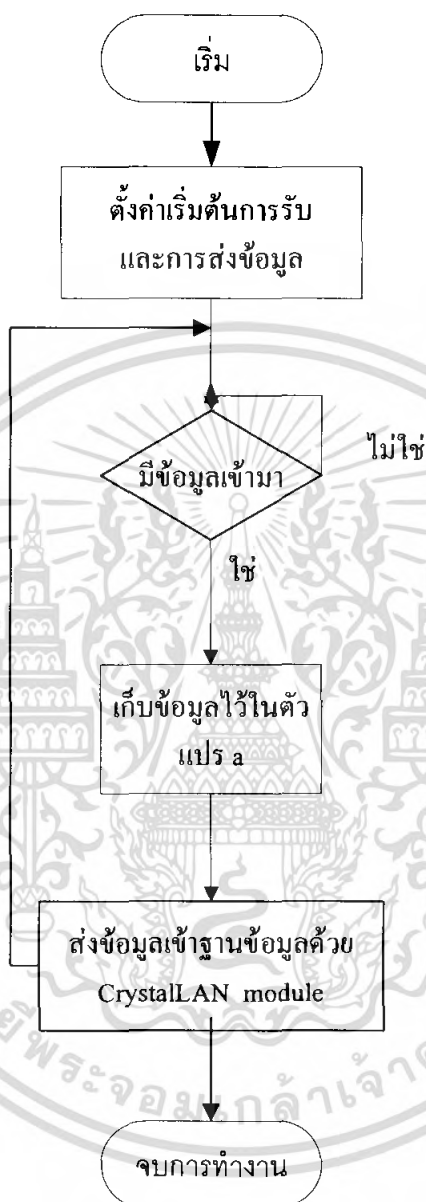
3.2.2 Flow Chart การทำงานของ MCS-51 ในทางด้านรับ



รูปที่ 3.13 การทำงานของโปรแกรมการรับข้อมูลผ่าน TRW 2.4 GHz และส่งข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

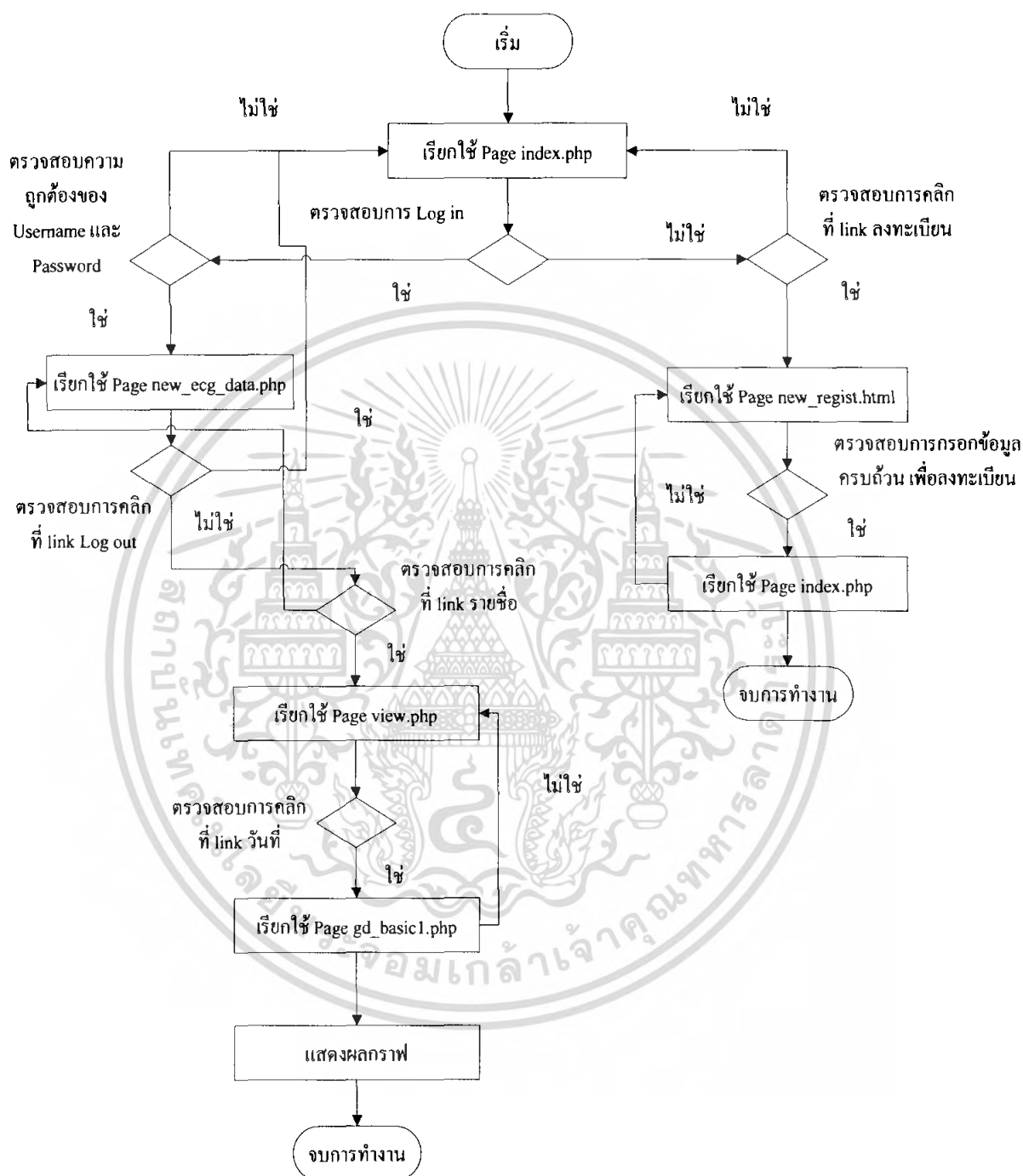
3.2.3 Flow Chart การทำงานของ Ethernet module



รูปที่ 3.14 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการส่งข้อมูลด้วย Ethernet module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 Flow Chart การทำงานโดยรวมของเว็บเพจต่าง ๆ



รูปที่ 3.15 การทำงานโดยรวมของเว็บเพจต่าง ๆ

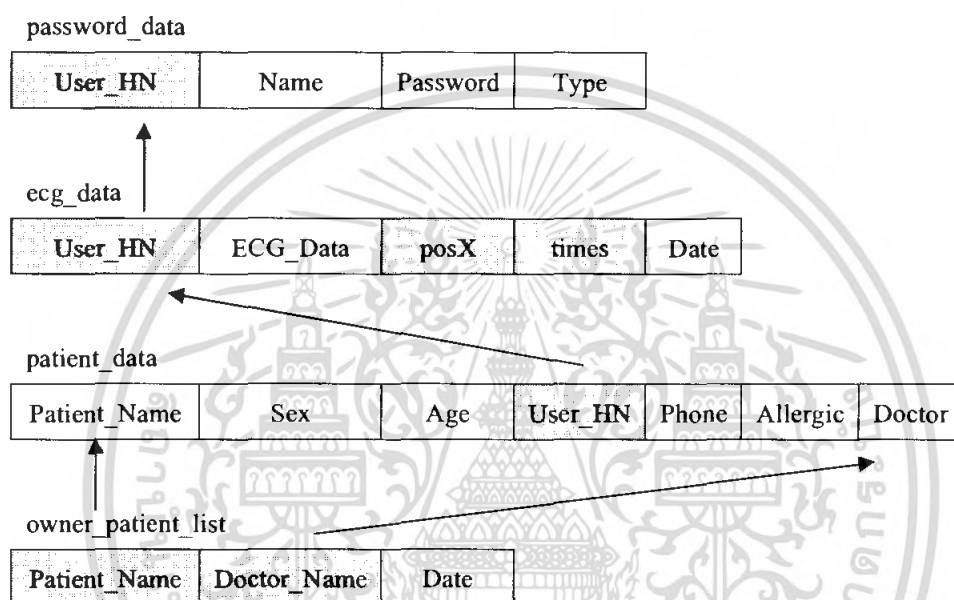
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 Schema ของฐานข้อมูลที่ออกแบบใช้กับเว็บเพจต่าง ๆ

ชื่อฐานข้อมูลที่ออกแบบ คือ ecg มีเทเบิลทั้งหมด 4 เทเบิลด้วยกัน ได้แก่

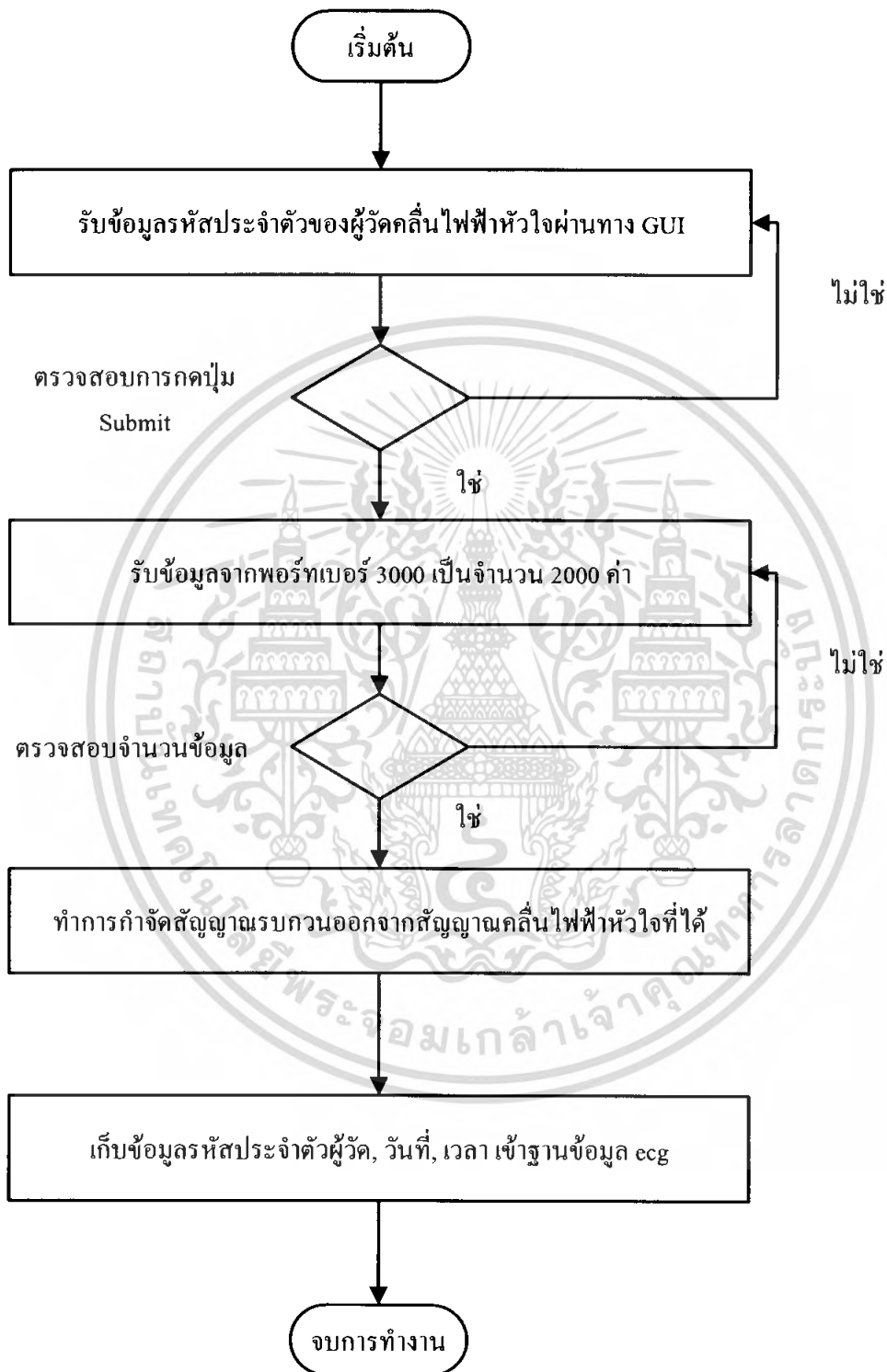
- 1) password_data
- 2) ecg_data
- 3) patient_data
- 4) owner_patient_list

สามารถแสดง schema ได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 Schema ของฐานข้อมูล ecg โดยพื้นที่สีเทาแสดงส่วนที่หลัก

3.2.6 Flow Chart การทำงานโดยรวมของโปรแกรมรับค่าข้อมูลและเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล



รูปที่ 3.17 การทำงานของโปรแกรมรับค่าข้อมูลผ่าน Port RJ-45 แล้วเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

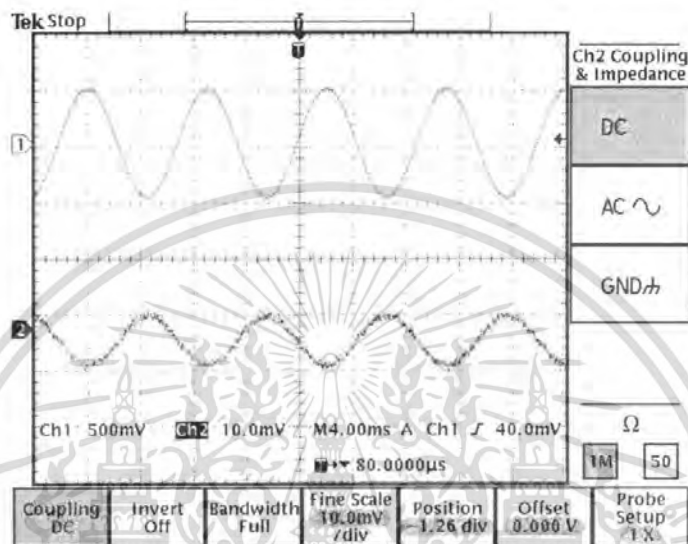
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองจากวงจร

4.1.1 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน (Instrumentation Amplifier)

จากรูปที่ 3.1 เมื่อวัดสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1



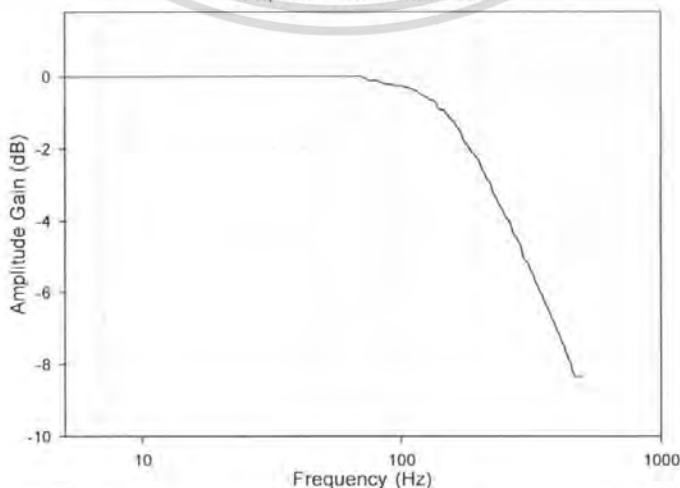
รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน

เมื่อ ช่องสัญญาณที่ 2 (ch2) คือ สัญญาณอินพุต
ช่องสัญญาณที่ 1 (ch1) คือ สัญญาณเอาต์พุต

4.1.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

จากรูปที่ 3.3 เมื่อปรับความถี่ของสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นแล้ววัดระดับขนาดของสัญญาณ ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.2

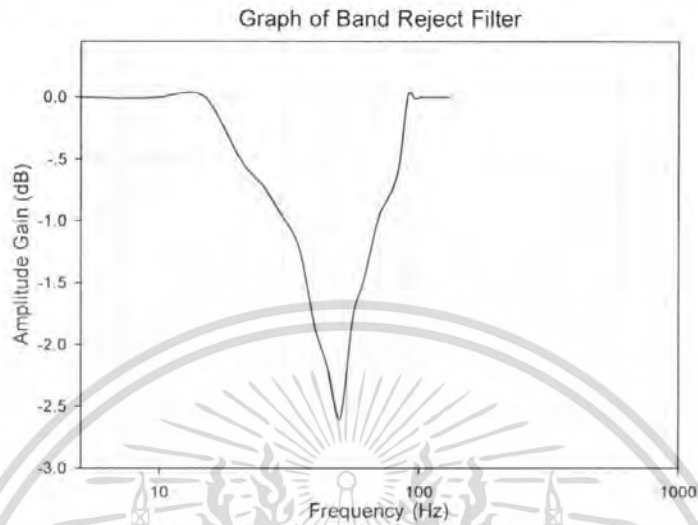
Graph of Low Pass Filter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.2 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 วงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่ (Band Reject Filter)

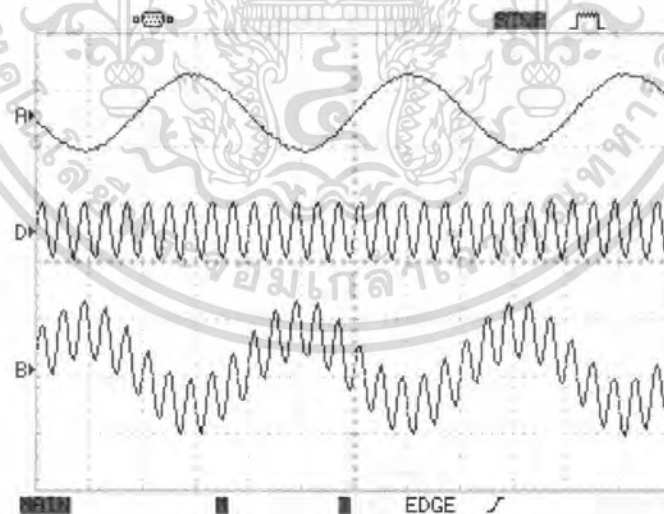
จากรูปที่ 3.5 เมื่อปรับความถี่ของสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นแล้ววัดระดับขนาดของสัญญาณ ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แบบตัดความถี่

4.1.4 วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier)

จากรูปที่ 3.6 เมื่อวัดสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณ

A คือ สัญญาณอินพุตที่ 1

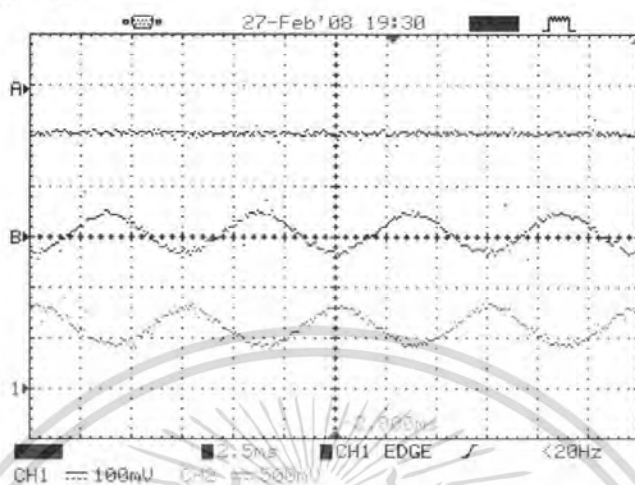
D คือ สัญญาณอินพุตที่ 2

B คือ สัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 วงจรยกระดับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.6 เมื่อป้อนไฟกระแสตรงเข้าไปแล้ววัดสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5

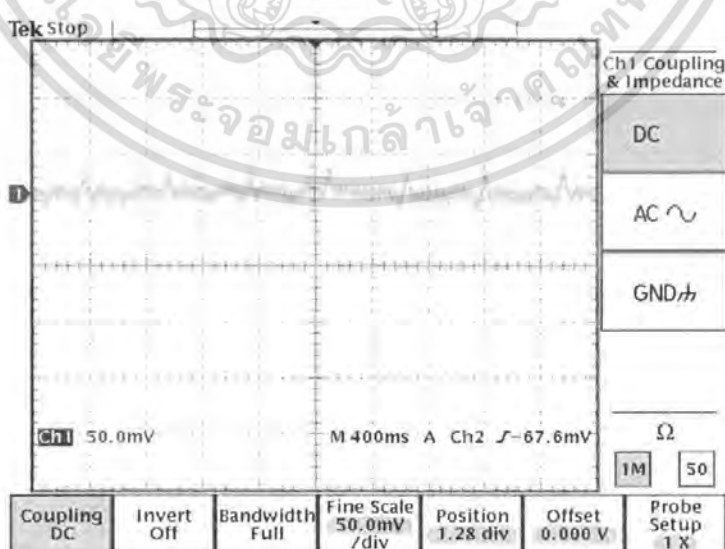


รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรยกระดับสัญญาณ

B คือ สัญญาณอินพุตที่ 1
A คือ สัญญาณไฟตรง
I คือ สัญญาณเอาต์พุต

4.1.6 วงจรการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

จากรูปที่ 3.7 เมื่อวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ตำแหน่งการวัดตามรูปที่ 2.23 ได้ผลการทดลองจากออสซิลโลสโคปดังรูปที่ 4.6

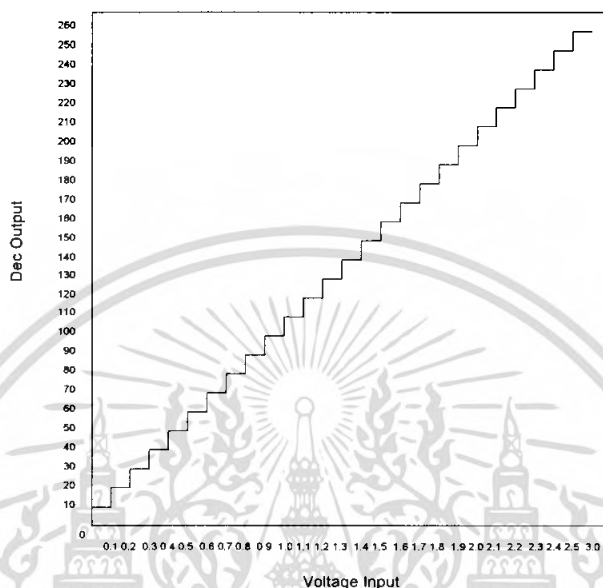


รูปที่ 4.6 คลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงผลทางออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 วงจรการวัดการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูปที่ 3.9 เมื่อทำการป้อนสัญญาณที่ระดับแรงดันต่าง ๆ สัญญาณแอนาลอกจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีระดับแรงดันอ้างอิงเป็น 2.5 โวลต์ ขนาด 8 บิต โดยสังเกตจากการติดดับของ LED ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.7



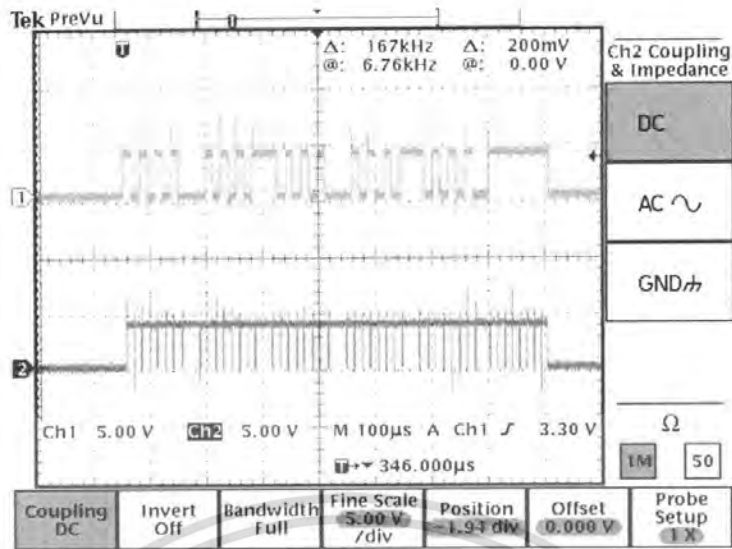
รูปที่ 4.7 ระดับสัญญาณดิจิทัลของสัญญาณอินพุตที่ระดับแรงดันต่างๆ

4.1.8 วงจรการวัดการรับส่งข้อมูลผ่านโมดูล TRW 2.4 GHz

จากรูปที่ 3.7, 3.8, 3.9 และ 3.10 ซึ่งเป็นโปรแกรมควบคุมการส่งข้อมูลผ่านโมดูล TRW 2.4 GHz โดยจะเริ่มจากการตั้งค่าเป็นโหมดส่งข้อมูลและตั้งค่าการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลระดับสัญญาณที่ได้จะเป็นข้อมูล 12 บิต จากนั้นข้อมูลจะถูกแปลงเป็น 8 บิตและส่งผ่าน TRW 2.4 GHz ไปยังทางด้านรับแล้วจะวนซ้ำเพื่อทำการแปลงและส่งสัญญาณข้อมูลถัดไป

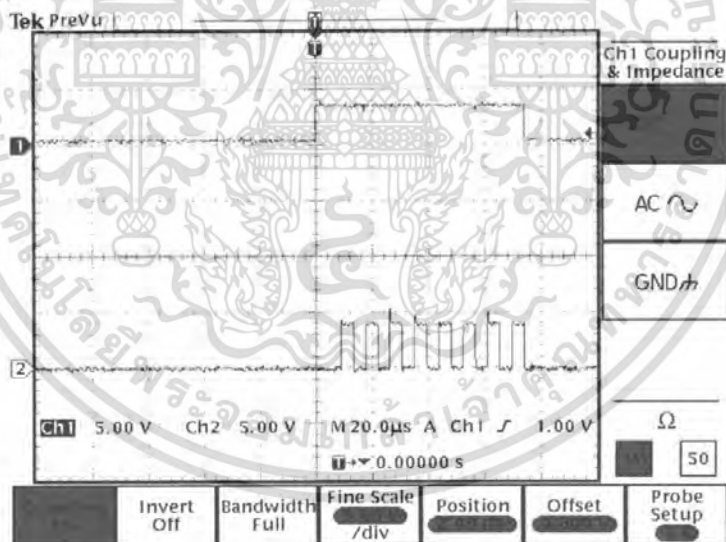
ในทางด้านรับจะเริ่มจากการตั้งค่าเป็นโหมดรับข้อมูลและตั้งค่าอัตราการส่งข้อมูล เมื่อมีข้อมูลเข้ามาจะทำการรับข้อมูลผ่าน TRW 2.4 GHz และข้อมูลถูกเข้าสู่ Ethernet Module แล้วจะวนกลับไปรับค่าถัดไป

เมื่อวัดระดับสัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาที่ขาที่ 5 และขาที่ 6 ของโมดูล TRW 2.4 GHz ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาของโมดูล TRW2.4GHz ทางด้านส่ง

เมื่อ ช่องสัญญาณที่ 1 (ch1) คือ สัญญาณข้อมูล
ช่องสัญญาณที่ 2 (ch2) คือ สัญญาณนาฬิกา



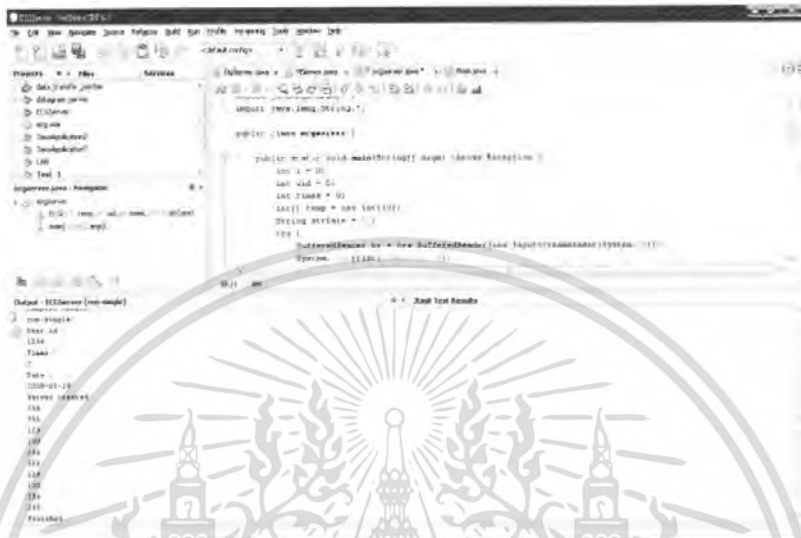
รูปที่ 4.9 สัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาของโมดูล TRW2.4GHz ทางด้านรับ

เมื่อ ช่องสัญญาณที่ 1 (ch1) คือ สัญญาณข้อมูล
ช่องสัญญาณที่ 2 (ch2) คือ สัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

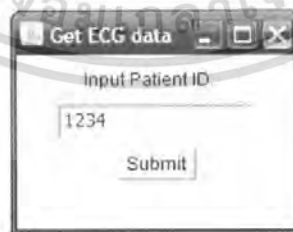
4.3 ผลจากการทดลองจากโปรแกรม NetBeans IDE 6.0

จากรูปที่ 3.11 เมื่อทำการทดลองจากโปรแกรม NetBeans IDE 6.0 เพื่อตรวจสอบการส่งข้อมูลด้วย Ethernet module โดยทดลองทำการส่งข้อมูลเป็นตัวเลขค่าต่างๆ ดังนี้ 129, 130, 254 และ 255 จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงหน้าจอโปรแกรม NetBeans IDE 6.0 เมื่อมีการส่งข้อมูลเป็นตัวเลข 129, 130, 254 และ 255 ตามลำดับ

จาก Flow Chart การทำงานโดยรวมของ โปรแกรมรับค่าข้อมูลและเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลในรูปที่ 3.17 ซึ่งแสดงการรับค่าข้อมูลผ่านทาง Port RJ-45 โดยการกรอกรหัสประจำตัวของผู้วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านทาง Graphic User Interface แล้วกดปุ่ม Submit เพื่อทำการรับข้อมูล ดังรูปที่ 4.12 เมื่อโปรแกรมรับค่ามาครบแล้ว ข้อมูลจะถูกเก็บในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 แสดงส่วนของ Graphic User Interface สำหรับรับรหัสประจำตัวของผู้วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| id | Mac | IP | port | time | date |
|--------|-----|----|------|------------|------|
| X 1234 | 235 | 2 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 129 | 1 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 120 | 2 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 254 | 3 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 235 | 4 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 129 | 5 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 130 | 6 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 234 | 7 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 255 | 8 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 120 | 9 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 130 | 10 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 254 | 11 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 235 | 12 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 120 | 13 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 130 | 14 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 204 | 15 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 255 | 16 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 120 | 17 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 130 | 18 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 254 | 19 | 1 | 2008-01-18 | |
| X 1234 | 234 | 20 | 1 | 2008-01-18 | |

รูปที่ 4.13 แสดงการรับค่าข้อมูลผ่านทาง Port RJ-45

4.4 ผลการทดสอบจกการออกแบบเว็บเพจต่าง ๆ เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล

จากรูปที่ 3.15 ที่เป็น flow chart การทำงานโดยรวมของเว็บเพจต่าง ๆ สามารถแสดงผลด้วยหน้าเว็บเพจได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 หน้าโฮมเพจ index.php

จากรูปที่ 4.14 เป็นโฮมเพจของเว็บไซต์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

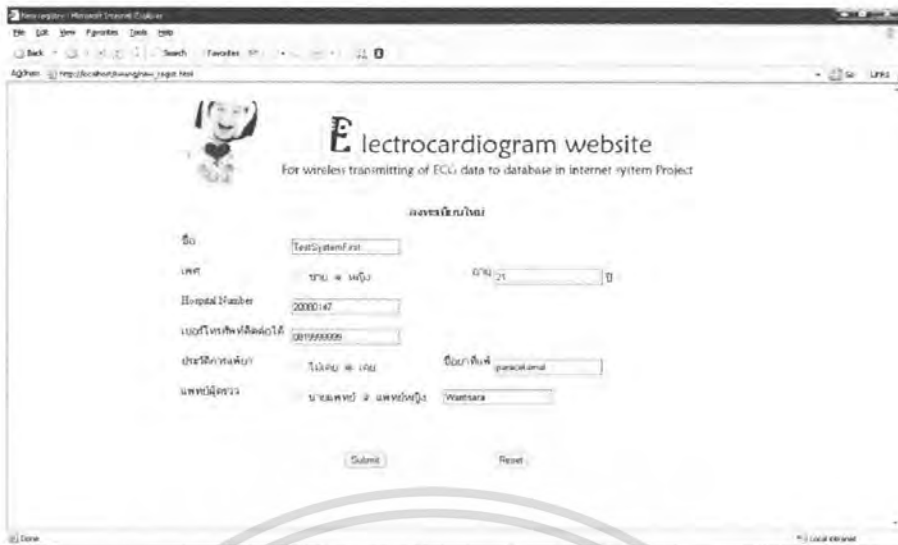
1) ส่วนสำหรับเข้าสู่ระบบ (แสดงหมายเลข 1)

ในส่วนนี้จะให้ผู้ใช้งานทำการป้อนชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่ระบบ ซึ่งจะนำข้อมูลถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูล ecg เทเบิล password_data ซึ่งแสดงข้อมูลในฐานข้อมูลได้ ดังรูป 4.15

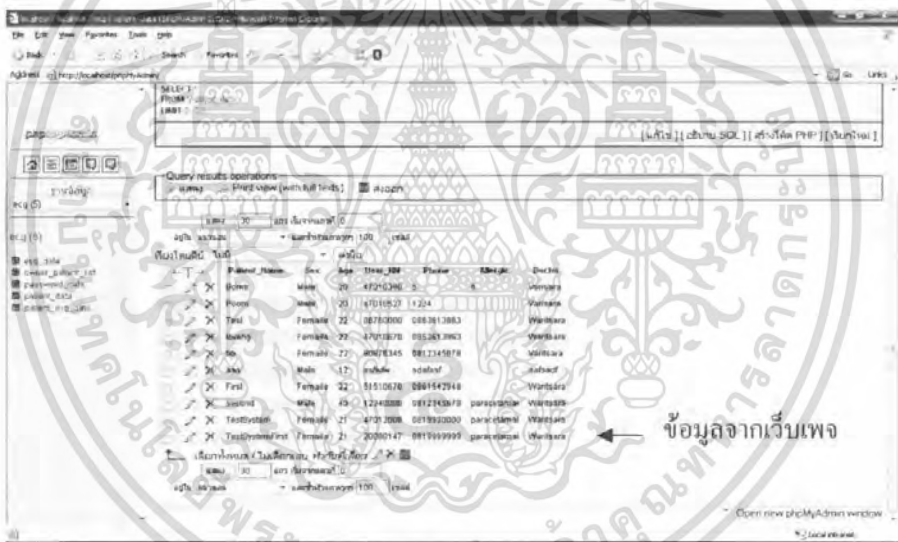
2) ส่วนสำหรับการลงทะเบียนเพื่อขอใช้บริการ Upload คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (แสดงหมายเลข 2)

ในส่วนนี้จะให้ผู้ป่วยที่ต้องการใช้บริการ Upload คลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านระบบ ทำการลงทะเบียน โดยคลิกที่ลิงค์คำว่า "ลงทะเบียน" ซึ่งจะเชื่อมโยงไปยังเว็บเพจ new_regist.html ดังแสดงในรูป 4.16

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 เว็บเพจ new_regist.html ที่ทำการกรอกข้อมูลพร้อมที่จะส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล



รูปที่ 4.18 ข้อมูลในฐานข้อมูล ecg เทเบิล patient_data ที่ใช้เก็บข้อมูลจากเว็บเพจ new_regist.html

จากรูปที่ 4.14 ในส่วนสำหรับเข้าสู่ระบบ หากข้อมูลชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านที่นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูล ecg เทเบิล password_data มีค่าที่ตรงกัน ระบบจะแสดงเว็บเพจ new_ecg_data.php ขึ้นมาโดยแสดงผลเป็นลิสต์รายชื่อของผู้ที่ใช้บริการระบบที่แพทย์เป็นผู้ดูแลอยู่ ดังแสดงในรูป 4.19 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีอยู่ในฐานข้อมูล ecg เทเบิล owner_patient_list

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 เว็บไซต์ new_ecg_data.php ที่แสดงถึงรายชื่อของผู้ที่ใช้บริการระบบที่แพทย์เป็นผู้ดูแล

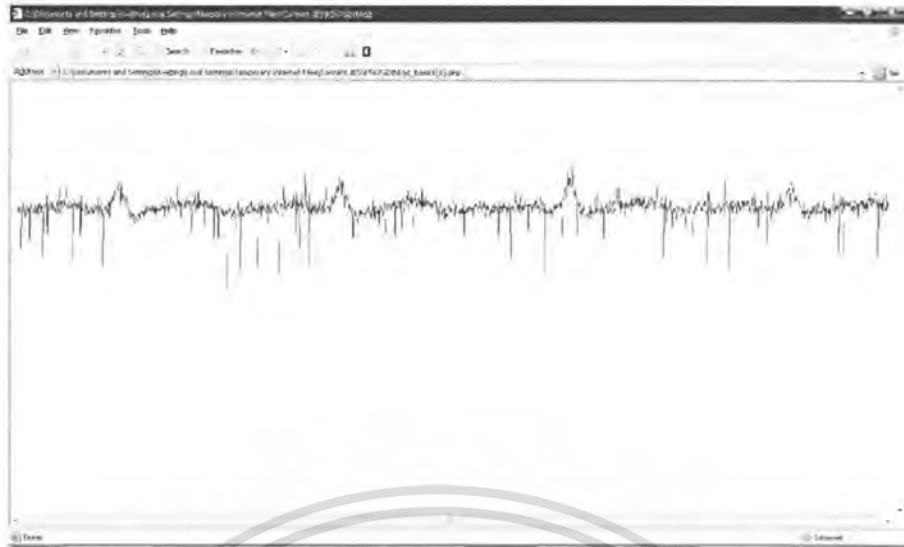
จากรูปที่ 4.19 หากแพทย์คลิกไปยังลิงค์รายชื่อใดรายชื่อหนึ่ง จะเป็นการเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์ view.php ซึ่งแสดงเป็นรหัสประจำตัวผู้ป่วย ลิงค์วันที่และเวลาที่ทำการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ แสดงดังรูป 4.20 ซึ่งเป็นข้อมูลจากฐานข้อมูล ecg เทเบิล ecg_data



รูปที่ 4.20 เว็บไซต์ view.php แสดงเป็นรหัสประจำตัวผู้ป่วย ลิงค์วันที่และเวลาที่ทำการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

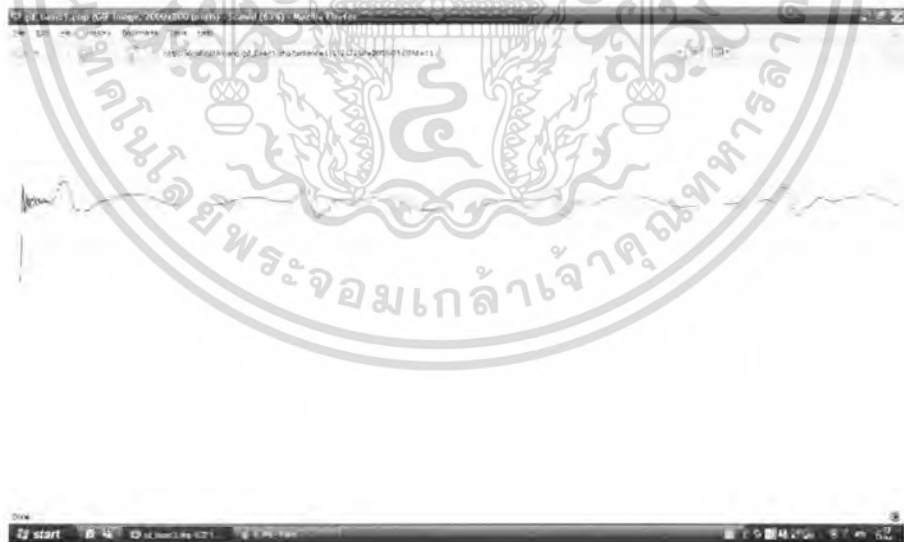
จากรูปที่ 4.20 หากแพทย์คลิกไปยังลิงค์ใดลิงค์หนึ่ง จะเป็นการเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์ dg_basic1.php ซึ่งแสดงข้อมูลตัวอย่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จากฐานข้อมูล ecg เทเบิล ecg_data ในวันที่และเวลาที่ทำการวัดในรูปแบบของกราฟ แสดงดังรูป 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 เว็บเพจ gd_basic1.php แสดงข้อมูลตัวอย่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบของกราฟ

จากรูปที่ 4.21 พบว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจดังกล่าวมีสัญญาณความถี่อื่น ๆ รบกวนอยู่ทำให้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้ไม่ชัดเจน มีความผิดพลาดของสัญญาณสูง ทั้งนี้จึงได้มีการปรับปรุงโดยเพิ่มส่วนของการกำจัดสัญญาณรบกวนไว้ในโปรแกรมการรับค่าข้อมูล ซึ่งทำให้ผลสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 4.22



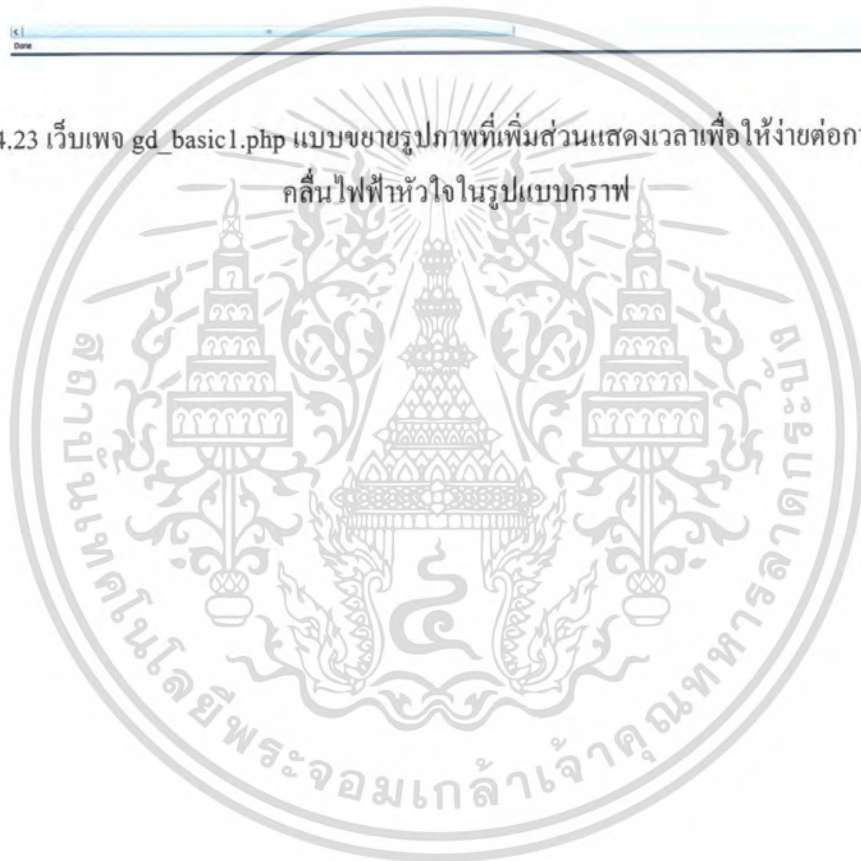
รูปที่ 4.22 เว็บเพจ gd_basic1.php แสดงข้อมูลตัวอย่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบของกราฟเมื่อทำการเพิ่มส่วนของการกำจัดสัญญาณรบกวนไว้ในโปรแกรมรับค่าข้อมูล

จากนั้นได้มีการปรับปรุงเว็บเพจสำหรับการแสดงผลของข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบของกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการดูข้อมูลกราฟ ซึ่งเพิ่มส่วนแสดงเวลาในเว็บเพจ gd_basic1.php ดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบจะปรับปรุงเนื้อหาการดำเนินงานหรือแก้ไขเนื้อหาใด ๆ ก็ตาม อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 เว็บเพจ gd_basic1.php แบบขยายรูปภาพที่เพิ่มส่วนแสดงเวลาเพื่อให้ง่ายต่อการดูผลของคลื่นไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบกราฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการจัดทำเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างง่าย ผสมเข้ากับเครื่องส่งสัญญาณแบบไร้สาย เพื่อส่งข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจเข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต โดยจะอาศัยวงจรพื้นฐานต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อน ๆ มาช่วยในการออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น จะได้สัญญาณของคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีลักษณะปกติ ไม่กลับเฟส

จากนั้นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจดังกล่าว จะผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งในปริญญาโทฉบับนี้ใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีระดับการแปลงสัญญาณ 256 ระดับ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย ซึ่งจะใช้โมดูล TRW 2.4 GHz ในการส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สูง ไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งใช้โมดูล TRW 2.4 GHz เป็นอุปกรณ์ทางด้านรับ จากผลการทดลองสามารถคำนวณอัตราการซีกตัวอย่างสัญญาณข้อมูลได้ 568 ตัวอย่างต่อวินาที ก่อนที่ตัวอย่างสัญญาณเหล่านั้นจะถูกส่งเข้าสู่ฐานข้อมูลด้วย Ethernet module เพื่อการใช้งานข้อมูลร่วมกันต่อไป

ข้อมูลตัวอย่างสัญญาณดังกล่าวถูกส่งและจัดเก็บเข้าฐานข้อมูลโดยมีการระบุรหัสประจำตัวของผู้รับการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ผ่านทาง Graphic User Interface โดยโปรแกรมการรับค่าข้อมูลจะมีการระบุวันที่ และเวลาที่วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะนั้นโดยอัตโนมัติ กรณีแพทย์ต้องการใช้ข้อมูลสามารถระบุตัวตนแล้วเข้าดูข้อมูลได้ทันที โดยหน้าเว็บเพจจะแสดงรายชื่อผู้ป่วยทั้งหมดที่อยู่ในความดูแลของแพทย์ผู้นั้น แพทย์สามารถเลือกดูข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วยได้ตามต้องการ หน้าเว็บเพจของผู้ป่วยแต่ละคนจะแสดงข้อมูลการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจเรียงตามวันที่และเวลาที่วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น ๆ จากผลการทดลองพบว่า ข้อมูลกราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่แสดงนั้น มีสัญญาณความถี่อื่น ๆ รบกวนสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจอยู่มาก จึงได้มีการปรับปรุงโดยเพิ่มส่วนของการกำจัดสัญญาณรบกวนไว้ในโปรแกรมการรับค่าข้อมูลไว้ด้วย ทำให้ข้อมูลกราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่แสดงมีความถูกต้องและชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีความใกล้เคียงกับสัญญาณที่แสดงผลทางออสซิลโลสโคป ความแตกต่างของผลการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่แสดงผลทางออสซิลโลสโคปและทางหน้าเว็บเพจที่เกิดขึ้นนี้ อาจมีสาเหตุอันเนื่องมาจากกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ทำให้ข้อมูลเกิดความผิดเพี้ยน ไปจากความเป็นจริงก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการส่งและรับข้อมูลแบบไร้สายซึ่งเป็นกระบวนการถัดไป

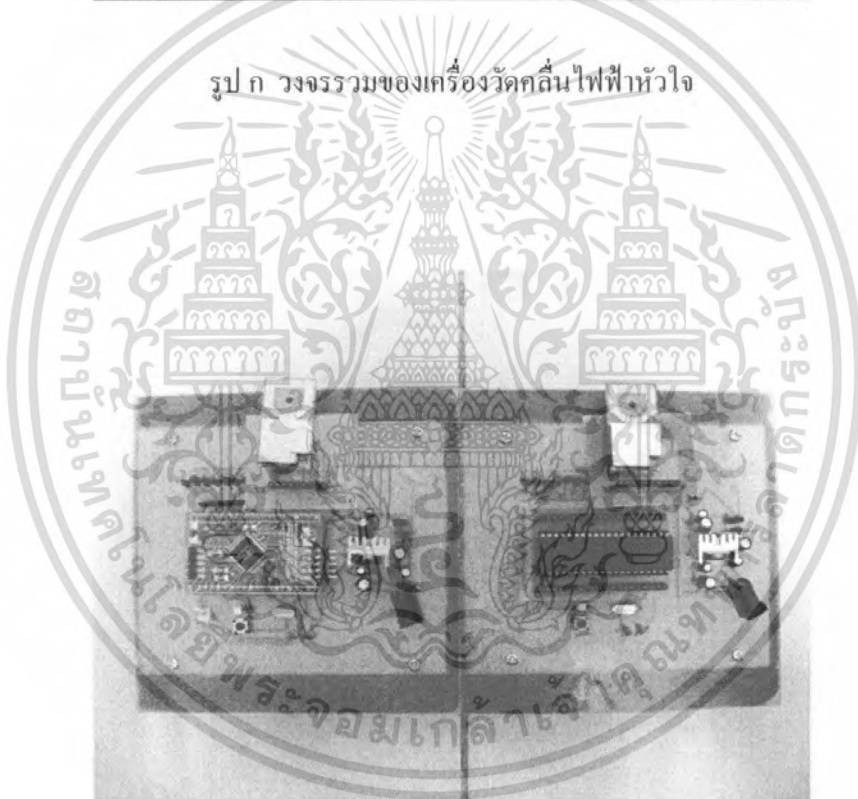
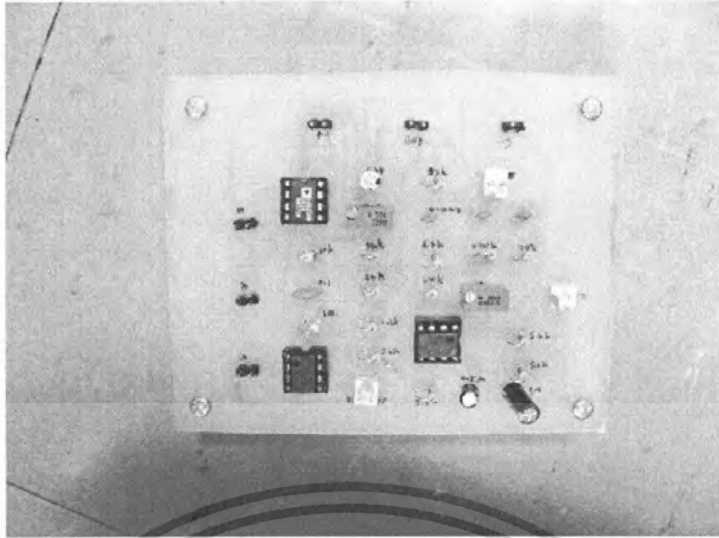
สำหรับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้จากการประมวลผลในครั้งนี้อย่างนี้ยังไม่สามารถนำมาวิเคราะห์สภาพพยาธิของหัวใจ รวมไปถึงไม่สามารถนำไปวินิจฉัยโรคได้ด้วยตนเอง เนื่องจากการวินิจฉัยจะต้องทำการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างละเอียดและต้องนำมาวิเคราะห์ร่วมกับการตรวจร่างกาย ประวัติ อาการแสดงของผู้ป่วยด้วยเสมอ

เอกสารอ้างอิง

- กชกร วุฒิวินู. 2541. “การสื่อสารสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จตุพร ไสยบาล. 2542. “การออกแบบวงจรถยายคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชาญวุฒิ มิการะเศรษฐ์. 2537. “การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจบันทึกข้อมูลและแสดงผล.” ปริญญาานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คาราวรัตน์ อัมพนพันธุ์. 2543. “วงจรถยายคลื่นไฟฟ้าหัวใจควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประภารณณ์ จันทะสุนันนะ. 2542. “การวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านระบบเครือข่าย.”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปิยะวรรณ แซ่ว่อง. 2544. “จอแสดงผลคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ.”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภาสกร แก่นภักดี. 2547. “การประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มนตรี ศิริปรัชญานันท์. 2549. “วงจรถองความถี่แบบแอกทีฟเบื้องต้น.”
[Online]. Available : <http://kmitnb05.kmitnb.ac.th/~mts/filter.pdf>
- วสุ โกยศิริพงศ์. 2543. “การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์.”
ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



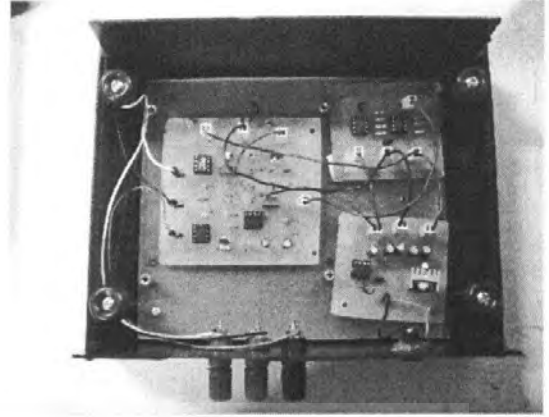
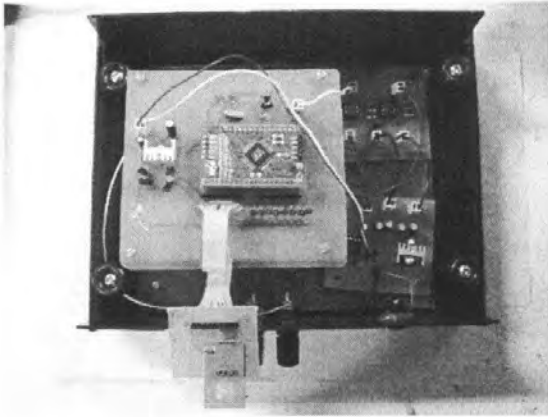
รูป ก วงจรรวมของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

รูป ข วงจรโมดูล TRW 2.4 GHz ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

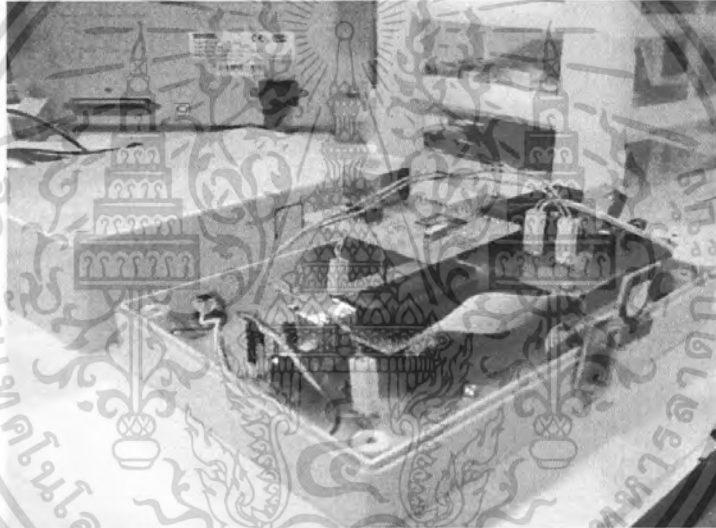
โดย วงจรทางด้านซ้าย คือ ด้านส่งข้อมูล

วงจรทางด้านขวา คือ ด้านรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก วงจรรวมทางด้านส่งข้อมูลที่ใช้ในโครงการ



รูป ง วงจรรวมทางด้านส่งข้อมูลที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



รูป ฉ แผ่นอิเล็กโทรดชนิดโพลีเมอร์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้