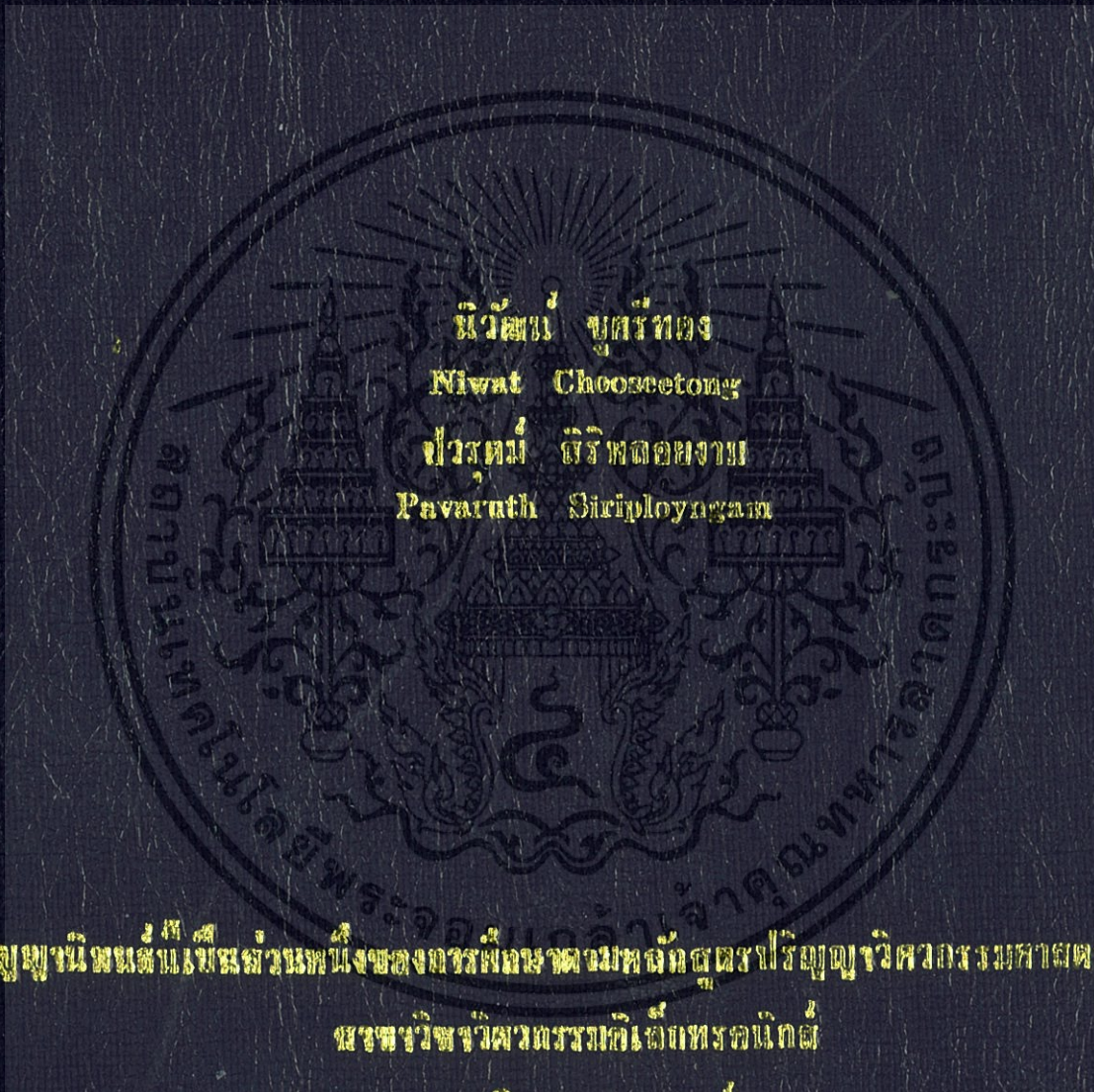


เครื่องวัดปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ
OXIMETER & HEART RATE MONITORING



ปริญญาบัตรนี้มอบให้แก่บัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาจากหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

เครื่องวัดปริมาณความอิ่มตัวออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ

OXIMETER & HEART RATE MONITORING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เครื่องวัดปริมาณความอิมตัวออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ
OXIMETER & HEART RATE MONITORING

ผู้จัดทำ นายนิวัฒน์ ชูศรีทอง รหัสประจำตัว 53010863
นายปวรุตม์ สิริพลอยงาม รหัสประจำตัว 53010961

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดปริมาณความอึดตัวออกซิเจนในเลือดและ อัตราการเต้นของหัวใจ
นักศึกษา	นายนิวัฒน์ ชูศรีทอง รหัสประจำตัว 53010863 นายปวรุตม์ สิริพลอยงาม รหัสประจำตัว 53010961
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง

บทคัดย่อ

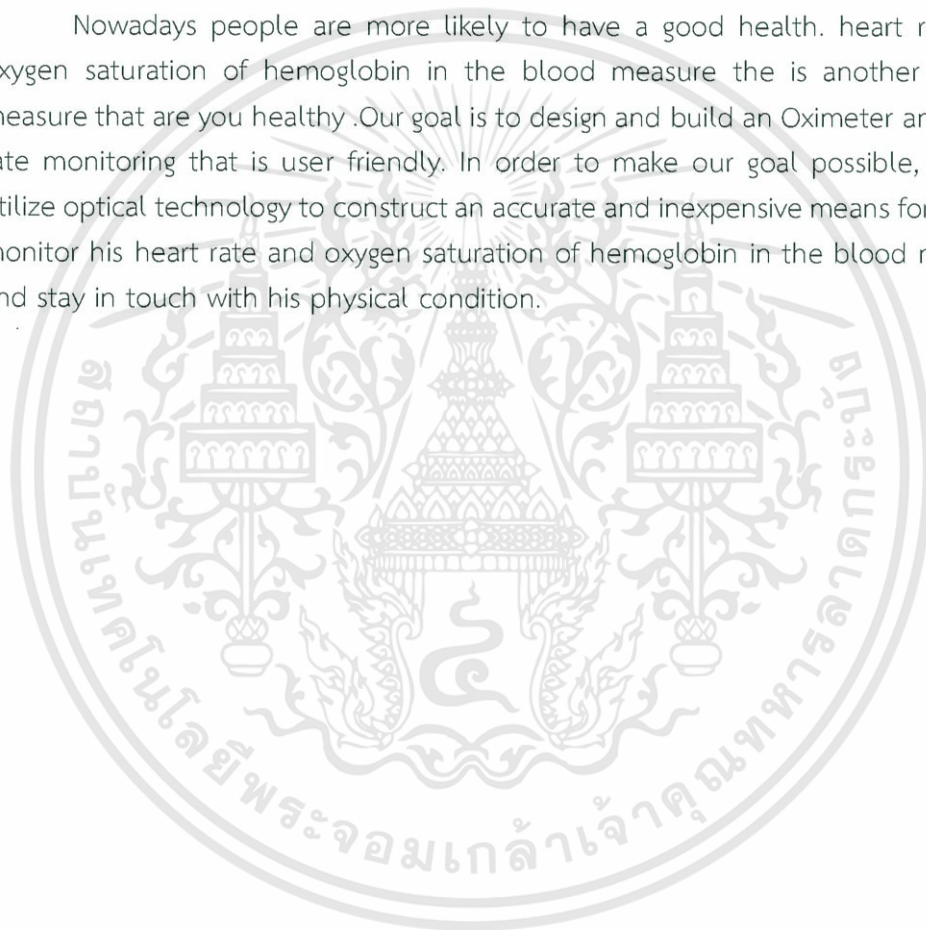
เนื่องปัจจุบัน ผู้คนได้หันมาห่วงใยสุขภาพกันมากขึ้น ซึ่งการวัดอัตราการเต้นของหัวใจและการวัดระดับความอึดตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในเลือดแดงก็เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่จะบ่งบอกว่าคุณเรามีสุขภาพดีหรือไม่ ดังนั้นเป้าหมายของโครงการของเราคือการออกแบบและสร้างเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและระดับความอึดตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในเลือดแดงแบบหิ้วป็นี่ที่มีความเที่ยงตรงและราคาถูก โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านแสง ซึ่งข้อดีอย่างหนึ่งของเทคโนโลยีแบบนี้คือสามารถใช้เครื่องนี้วัดอัตราการเต้นของหัวใจและระดับความอึดตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในเลือดแดงได้



Thesis Title	Oximeter & Heart rate monitoring
Student	Mr.Niwat Chooseetong Student ID. 53010863 Mr.Pavaruth Siriployngam Student ID. 53010961
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Dr.Thurdsak Leauhatong

ABSTRACT

Nowadays people are more likely to have a good health. heart rate and oxygen saturation of hemoglobin in the blood measure the is another way to measure that are you healthy .Our goal is to design and build an Oximeter and Heart rate monitoring that is user friendly. In order to make our goal possible, we will utilize optical technology to construct an accurate and inexpensive means for one to monitor his heart rate and oxygen saturation of hemoglobin in the blood measure and stay in touch with his physical condition.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ ลีหาทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญาบัตร ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆจนทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



นิวัฒน์ ชูศรีทอง

ปวรุตม์ สิริพลอยงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณความอิมิตัวออกซิเจนในเลือด.....	3
2.2 หลักการดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่างๆ.....	4
2.3 การรายงานค่าของเครื่องตรวจวัดความอิมิตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจร.....	5
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเที่ยงตรงของเครื่องตรวจวัดความอิมิตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจร.....	6
2.4.1 ปัจจัยทางเทคนิค.....	6
2.4.2 ปัจจัยจากผู้ป่วย.....	6
2.5 ข้อบ่งชี้และข้อควรระวังในการนำเครื่องตรวจวัดความอิมิตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจรมาใช้ทางคลินิก.....	9
2.5.1 ประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ.....	9
2.5.2 ใช้บอกอัตราและจังหวะของซีฟจร.....	10
2.5.3 ใช้วัดระดับความดันเลือดซิสโตลิก.....	10
2.6 อัตราการเต้นของหัวใจ.....	10
2.6.1 กลไกการควบคุมซีฟจร.....	10
2.6.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อซีฟจร.....	10
2.6.3 สิ่งที่ต้องสังเกตในการจับซีฟจร.....	11
2.6.4 ความยืดหยุ่นของผนังของหลอดเลือด.....	13
2.6.5 ตำแหน่งของซีฟจร.....	13
2.6.6 วิธีประเมินซีฟจร.....	14
2.6.7 ข้อควรจำในการวัดซีฟจร.....	14
2.6.8 อัตราการเต้นสูงสุดของซีฟจร.....	14
2.6.9 อัตราการเต้นเป้าหมายของซีฟจร.....	15
2.6.10 การเต้นของซีฟจรที่ผิดปกติ.....	15
2.7 วงจรการทำงาน เครื่องวัดปริมาณความอิมิตัวออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ.....	16
2.7.1 วงจรเฮสบริท.....	17
2.7.2 อุปกรณ์แปลงแสง.....	18
2.7.2.1 ไดโอดแปลงแสง.....	18

IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.2.2 อินฟราเรด.....	19
2.7.2.3 โฟโต้ไดโอด.....	21
2.7.3 วงจรเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน.....	22
2.7.4 วงจรขยายสัญญาณ.....	22
2.7.5 วงจรกรองความถี่.....	25
2.7.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	35
2.7.7 บลูทูธ.....	38
2.7.7.1 การกำเนิดบลูทูธ.....	38
2.7.7.2 การทำงานของบลูทูธ.....	39
บทที่ 3 การออกแบบวงจรและการทำงาน.....	41
3.1 เซนเซอร์.....	41
3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	42
3.3 วงจรเสตบริท.....	43
3.4 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน.....	44
3.5 วงจรกรองความถี่และขยายสัญญาณ.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	52
เอกสารอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการเดินของซีพอร์นในช่วงวัยรุ่น – วัยผู้ใหญ่ ของเพศชาย.....	11
2.2 อัตราการเดินของซีพอร์นในช่วงวัยรุ่น – วัยผู้ใหญ่ ของเพศหญิง.....	12
2.3 ความหนักของการออกกำลังกายในระดับต่างๆ.....	15
4.1 ข้อมูลการคำนวณของแต่ละบุคคล.....	51



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติการดูดซับคลื่นแสงของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจนและฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน.....	3
2.2 การดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่างๆ DC คือสัญญาณคลื่นแสงช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่าน และ AC คือ สัญญาณคลื่นแสงช่วงที่มีการไหลผ่านของเลือดในหลอดเลือดแดงตามการบีบตัวของหัวใจ.....	4
2.3 กราฟแสดงอัตราส่วนการดูดซับคลื่นแสง (R) และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบิน (SpO2) พบว่าที่ค่า R เท่ากับ 1 SpO2 จะเท่ากับร้อยละ 85.....	5
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง SaO2 และ PaO2 (oxygen dissociation curve) มีลักษณะเหมือนตัว S ความชันสูงในช่วงกลางและน้อยจนเกือบคงที่ในช่วงปลายโดยเฉพาะที่ระดับ PaO2 สูงๆ.....	9
2.5 ตัวตรวจวัด (Probe) ทำหน้าที่ปล่อยและรับคลื่นแสง ตัวปล่อยคลื่นแสง (Light-Emitting Diode : LED) และตัวรับสัญญาณ (Photodetector).....	16
2.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรที่ใช้ในเครื่องวัดเครื่องวัดปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด.....	17
2.7 วงจรเฮสบริท.....	18
2.8 ไดโอดเปล่งแสง หรือLED (Light Emitting Diode).....	19
2.9 สเปกตรัมของอินฟราเรด.....	20
2.10 ตัวอย่างอินฟราเรด.....	20
2.11 สัญลักษณ์ และการไบอัสใช้งาน.....	21
2.12 วงจรเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน.....	22
2.13 โครงสร้างพื้นฐานของออปแอมป์.....	22
2.14 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์.....	23
2.15 วงจรรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด.....	27
2.16 วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (db).....	28
2.17 วงจรรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่.....	29
2.18 วงจรรองสัญญาณช่วงความถี่ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่.....	31
2.19 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ ของวงจรมวมที่เกิดจากการเอาวงจรรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคต กับวงจรวงจรรองความถี่สูงผ่านแบบให้ค่า 60 เดซิเบลต่อดีเคต มาต่อรวมกัน.....	33
2.20 แสดงวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่และผลตอบสนองต่อความถี่.....	34
2.21 ลักษณะการเชื่อมต่อข้อมูลของบลูทูธ.....	38
2.22 กลุ่มบริษัทที่พัฒนาวิจัยระบบบลูทูธ (SIG).....	39
3.1 การวางรูปแบบของตัวไฟโตไดโอด และหลอด แอลอีดี ไออา.....	41
3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	42
3.3 วงจรเฮสบริท.....	43
3.4 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน.....	44

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5	วงจรรองความถี่และขยายสัญญาณ.....45
4.1	กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน.....47
4.2	กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน.....47
4.3	กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์.....48
4.4	กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรรองความถี่สูงผ่าน.....48
4.5	กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน.....49
4.6	กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน.....49



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบัน ผู้คนได้หันมาห่วงใยสุขภาพกันมากขึ้น ซึ่งการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และปริมาณออกซิเจนในเลือดก็เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่จะบ่งบอกว่าคนเรามีสุขภาพดีหรือไม่ มีโรคภัยไข้เจ็บหรือไม่ ซึ่งอัตราการเต้นหัวใจสามารถบ่งบอกถึงอาการของโรคบางโรคได้ เช่น โรคหัวใจ โรคไต โรคหอบหืดเป็นพิษ ส่วนปริมาณออกซิเจนในเลือดบ่งบอกถึงโรคภาวะการขาดออกซิเจน โรคปอดบวม ปอดอักเสบ เป็นต้น ดังนั้นเป้าหมายของโครงการของเราคือการออกแบบและสร้างเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนในเลือดที่มีความเที่ยงตรงและราคาถูก แทนที่จะต้องสั่งซื้อเครื่องวัดในราคาแพง โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านแสง ซึ่งข้อดีอย่างหนึ่งของเทคโนโลยีแบบนี้คือสามารถใช้เครื่องนี้วัดอัตราการเต้นของหัวใจได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ออกแบบเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนในเลือดได้
- 1.2.2 ผู้ป่วยสามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนในเลือดได้เองที่บ้าน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สามารถนำไปวัดปริมาณออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจได้จริง
- 1.3.2 สามารถวัดปริมาณออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างต่อเนื่องและรบกวนการใช้ชีวิตประจำวันน้อยที่สุด

1.4 ขั้นตอนการทำงาน

- 1.4.1 ศึกษาหลักการและวัตถุประสงค์ของโครงการ
- 1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติและหลักการทำงานของอุปกรณ์และวงจรที่ใช้ในโครงการ
- 1.4.3 ทดสอบการทำงานของวงจรที่ทำการออกแบบ
- 1.4.4 สรุปลงและวิเคราะห์ปัญหา เพื่อเป็นแนวทางการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 นำความรู้ทางทฤษฎีมาทดลองและประยุกต์ใช้งานจริง
- 1.5.2 เป็นพื้นฐานในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ต่อไป
- 1.5.3 สร้างเครื่องมือที่เป็นประโยชน์โดยสามารถนำไปใช้งานได้จริง

1.6 โครงสร้างของรายงาน

รายงานฉบับนี้ เป็นการรายงานผลจากการศึกษาหนึ่งภาคการศึกษา เพื่อออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องวัดความอิ่มตัวออกซิเจนซึ่งเนื้อหานี้จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและแนวคิดในการสร้างโครงงาน
- บทที่ 2 หลักการทำงานเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนในเลือด
- บทที่ 3 รายละเอียดวงจรเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนในเลือด
- บทที่ 4 ผลการทดลอง
- บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

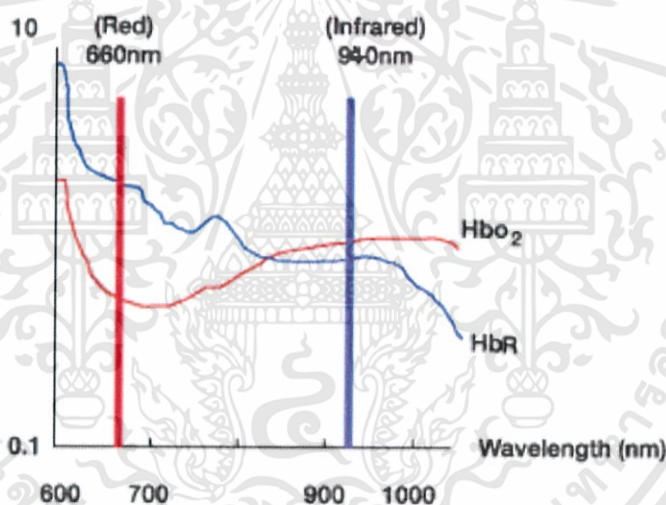
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

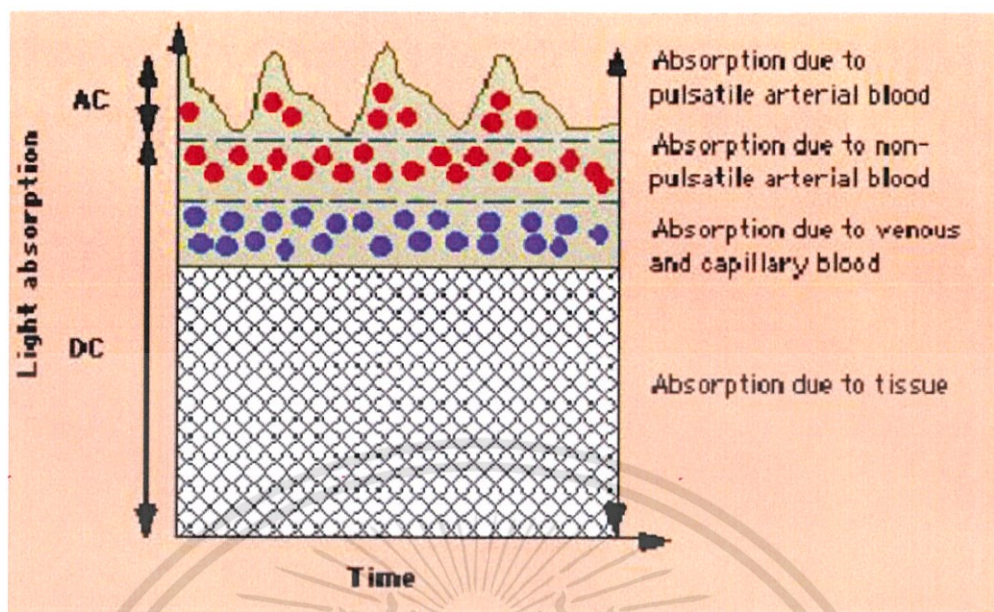
เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร (pulse oximeter) วัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินในหลอดเลือดแดง (arterial oxygen saturation) โดยอาศัยหลักการดูดซับคลื่นแสงที่ต่างกันฮีโมโกลบินที่จับกับ ออกซิเจน (Oxyhemoglobin : HbO₂) ดูดซับคลื่นแสงช่วงความยาวคลื่น 600-750 นาโนเมตร (คลื่นแสงสีแดง) ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin หรือ Reduced hemoglobin : HbR) ดูดซับคลื่นแสงความยาวคลื่น 850-1000 นาโนเมตร (คลื่นอินฟราเรด)



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติการดูดซับคลื่นแสงของ ฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน และ ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน

เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านเนื้อเยื่อตัวรับสัญญาณจะแยกความแตกต่างของคลื่นแสงช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่าน (non-pulsatile flow หรือ direct current light, DC) ซึ่งเป็นการดูดซับคลื่นแสงของเนื้อเยื่อ (กระดูกกล้ามเนื้อเนื้อเยื่ออ่อน) และเลือดในหลอดเลือดดำและแดงกับช่วงที่มีการไหลผ่านของเลือดในหลอดเลือดแดงตามการบีบตัวของหัวใจ (pulsatile flow หรือ alternating current light, AC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่างๆ DC คือสัญญาณคลื่นแสงช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่าน และ AC คือ สัญญาณคลื่นแสงช่วงที่มีการไหลผ่านของเลือดในหลอดเลือดแดงตามการบีบตัวของหัวใจ

2.2 หลักการดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่างๆ

2.2.1 เครื่องจะปล่อยคลื่นแสง 2 ช่วงคลื่น คือ คลื่นความยาว 660 และ 940 นาโนเมตร เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านเนื้อเยื่อ ตัวรับสัญญาณจะแยกความแตกต่างของคลื่นแสง

2.2.2 ช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่าน (non-pulsatile flow หรือ direct current light : DC) ซึ่งเป็นการดูดซับคลื่นแสงของเนื้อเยื่อ (กระดูก กล้ามเนื้อ เนื้อเยื่ออ่อน)

2.2.3 ช่วงที่มีการไหลผ่านของเลือดในหลอดเลือดแดงตามการบีบตัวของหัวใจ (pulsatile flow หรือ alternating current light : AC)ปกติ > 97% ซึ่งประมาณ = PaO₂ 97 mmHg.

การคำนวณอัตราส่วนการดูดซับคลื่นแสง (R) และค่าความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบิน (SPO₂)

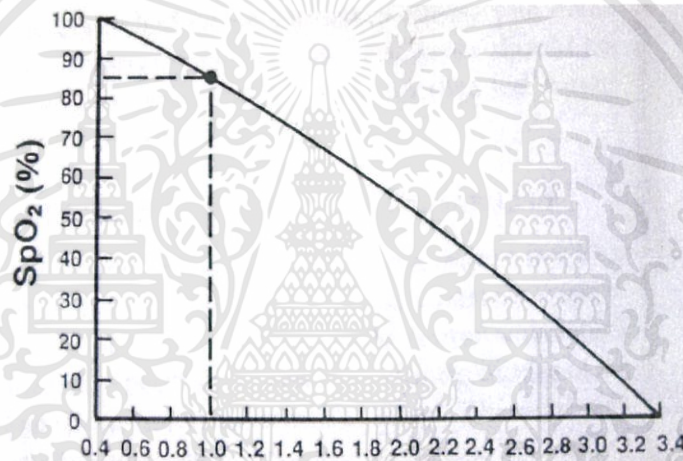
$$\text{อัตราส่วน (R)} = \frac{AC660/DC660}{AC940/DC940} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากการวัดโดยซีพจร (SpO₂) ของเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีพจรมีข้อจำกัดเนื่องจากใช้คลื่นแสงความยาวคลื่นเพียง 2 ช่วง ดังนั้นค่าที่วัดได้จะเป็นร้อยละของ ฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน ต่อผลรวมของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจนและ ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจนโดยไม่นำฮีโมโกลบินชนิดอื่น ที่ไม่สามารถนำออกซิเจนมาคำนวณด้วยอาจเรียกว่า functional hemoglobin saturation

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + HbR} \times 100 \quad (2.2)$$

นำค่าการดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่างๆมาคำนวณเป็นอัตราส่วน (R) ของการดูดซับคลื่นแสงแล้ว คำนวณเป็นค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินในช่วงที่มีเลือดไหลผ่าน (pulse oxygen saturation, SpO₂)



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงอัตราส่วนการดูดซับคลื่นแสง (R) และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบิน (SpO₂) พบว่าที่ค่า R เท่ากับ 1 SpO₂ จะเท่ากับร้อยละ 85

2.3 การรายงานค่าของเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีพจร

2.3.1 หน่วยเป็น % = % ของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน

2.3.2 ค่าปกติ > 97% ซึ่งประมาณ = PaO₂ 97 mmHg.

PaO₂ : Partial pressure of arterial oxygenation

คือแรงดันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในพลาสมา เป็นตัวบอกให้ทราบถึงภาวะออกซิเจนในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความเที่ยงตรงของเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจร

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อความเที่ยงตรงของค่า SpO₂ ที่วัดจากเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจร แพทย์และพยาบาลต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆเหล่านี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและนำไปใช้กับผู้ป่วยอย่างเหมาะสม

2.4.1 ปัจจัยทางเทคนิค

2.4.1.1 ตัวตรวจวัดกับการสัมผัสจุดวัดเช่นในเด็กหรือผู้ป่วยที่เคลื่อนไหวมากทำให้ตัวตรวจวัดเคลื่อนที่หรือกรณีนิ้วใหญ่เกินไปทำให้หลุดเลือดถูกกดมากค่าที่วัดได้จะคลาดเคลื่อนไป

2.4.1.2 การเคลื่อนไหวการสั่นเช่นผู้ป่วยสั่นชักระหว่างเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในรถหรือเฮลิคอปเตอร์ทำให้สัญญาณที่วัดได้ไม่ชัดเจนค่าไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุของการอ่านค่าผิดพลาดที่พบบ่อยปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจรที่ลดสัญญาณรบกวนจากการสั่นไหวลงทำให้ค่าที่วัดมีความเที่ยงตรงมากขึ้น

2.4.1.3 เครื่องของแต่ละบริษัทผู้ผลิตมีการกำจัดสัญญาณรบกวนและการวิเคราะห์สัญญาณไม่เหมือนกันค่าที่ได้อาจแตกต่างกันจึงควรศึกษาให้ดีกว่าก่อนใช้และเลือกซื้อให้เหมาะสมกับการดูแลผู้ป่วยในสถานพยาบาลต่างๆกัน

2.4.1.4 แสงจากภายนอกเช่นแสง fluorescent, daylight, xenon และอินฟราเรดทำให้ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าความจริงควรป้องกันโดยการปกปิดตัวตรวจวัดจากแสงดังกล่าวเช่นไฟในห้องผ่าตัดอย่างไรก็ตามพบว่าปัจจัยนี้มีผลน้อยต่อเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจรที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.4.1.5 ผลของคลื่นแม่เหล็กทำให้เกิดการไหม้ระดับ 2 และ 3 ที่บริเวณตัวตรวจวัดในระหว่างที่ผู้ป่วยกำลังทำการตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging, MRI) และพบว่าเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจรถูกรบกวนจากคลื่นโทรศัพท์มือถือและเครื่องจี้ (electrocautery) ได้

2.4.1.6 ผู้ใช้ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจร มีการศึกษาพบร้อยละ 97 ของแพทย์และพยาบาลไม่ทราบหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจร และพบว่าร้อยละ 30 ของแพทย์และร้อยละ 93 ของพยาบาลเข้าใจว่า เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟจรใช้สำหรับวัดระดับ PaO₂ ในขณะที่พยาบาลจำนวนน้อยกว่าร้อยละ 50 สามารถบอกได้ว่าการเคลื่อนไหวทำให้การวัดมีความผิดพลาด

2.4.2 ปัจจัยจากผู้ป่วย

2.4.2.1 ความผิดปกติของฮีโมโกลบินยกเว้น fetal hemoglobin ซึ่งไม่มีผลต่อการอ่านค่า SpO₂

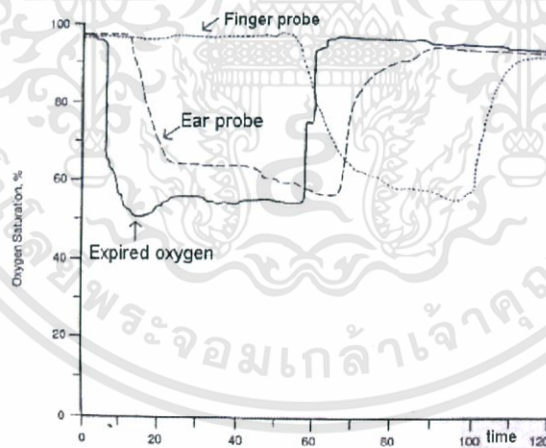
-Carboxyhemoglobin สามารถดูดซึมแสงความยาวคลื่น 660 นาโนเมตรได้เช่นเดียวกับoxyhemoglobinเครื่องจะรายงาน SpO₂ สูง ฉะนั้นเมื่อสงสัยภาวะcarboxyhemoglobinemiaให้ส่งตรวจก๊าซในหลอดเลือดแดงแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Methemoglobinemiaสามารถดูดซึมแสงได้ดีทั้งสองช่วงความยาวคลื่น 660 และ 940 นาโนเมตรเครื่องรับรู้ว่ามี HbO₂ และHbR พอกันดังนั้นค่า R จะใกล้เคียง 1 จึงทำให้ค่า SpO₂ มีแนวโน้มออกมาประมาณร้อยละ 85 (ดังรูปที่ 3) จึงทำให้อ่านค่า SpO₂ ต่ำ (falsely low SpO₂) หากตรวจวัด SaO₂ ได้มากกว่าร้อยละ 85 แต่หากตรวจวัด SaO₂ ได้น้อยกว่าร้อยละ 85 จะทำให้ SpO₂ อ่านค่าได้สูงกว่า (falsely high SpO₂)

2.4.2.2 ภาวะการไหลเวียนโลหิตบกพร่องเป็นสาเหตุของการอ่านค่าผิดพลาดที่พบบ่อยที่สุด เช่นภาวะช็อคการได้รับ vasopressor ขนาดสูงหรืออุณหภูมิร่างกายต่ำจะทำให้เครื่องความอิมิตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินรับสัญญาณได้น้อยลงจึงอ่านค่าได้ไม่ถูกต้องดังนั้นหากไม่เห็นรูปร่างคลื่นการไหลเวียนที่ชัดเจนไม่ควรเชื่อค่าที่วัดได้พบว่าการวัดความอิมิตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินที่ตั้งหุจะมีความผิดพลาดน้อยกว่าการวัดที่ปลายนิ้ว Palve และคณะพบว่าระดับ cardiac index ที่น้อยกว่า 2.4 L/min/m² และ systemic vascular resistance ที่มากกว่า 2,930 dynes second/cm⁵/m² จะเห็นรูปร่างคลื่นการไหลเวียนไม่ชัดเจนและทำให้อ่านค่า SpO₂ ที่อ่านได้ไม่น่าเชื่อถือ

2.4.2.3 ตำแหน่งที่วัดความอิมิตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบิน มีตัวตรวจวัดที่สามารถวัดได้หลายตำแหน่งเช่นนิ้วมือตั้งหุหน้าผากส่วนทำในผู้ใหญ่ที่นิยมคือนิ้วมือและตั้งหุพบว่าในผู้ป่วยที่มีภาวะขาดออกซิเจนการวัดที่ตำแหน่งตั้งหุมีความไวในการรายงานผลมากกว่าตำแหน่งปลายนิ้ว



กราฟรายงานผลระดับ SpO₂ ที่วัดจากตำแหน่งตั้งหุและนิ้วมือในผู้ป่วยที่ระดับออกซิเจนต่ำพบว่าที่ตำแหน่งตั้งหุรายงานผลหลังระดับออกซิเจนลดลง 10 วินาทีขณะที่ตำแหน่งนิ้วมือรายงานผลที่ 50 วินาที

2.4.2.4 สารดูดแสงในเลือด

- สารสีที่ฉีดเข้าหลอดเลือด เช่น methylene blue, indocyanide green, fluorescein, indigo carmine และ isosulfan blue ทำให้อ่านค่า SpO₂ ได้ต่ำมีรายงานว่าต่ำถึงร้อยละ 65 แต่ผลของสารสีนี้จะอยู่ประมาณ 1-2 นาทีแล้วหายไปเมื่อสารถูกขับออกจากร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บิลิรูบินสามารถดูดซับคลื่นแสงช่วง 450 นาโนเมตรได้จากการศึกษาพบว่าระดับบิลิรูบินที่สูงถึง 44 มิลลิกรัม/เดซิลิตรไม่มีผลต่อค่า SpO2 แต่ค่า SaO2 ที่วัดจาก co-oximeter มีค่าต่ำกว่า

2.4.2.5 สีผิวตามทฤษฎีไม่น่ามีผลต่อการวัด SpO2 เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการไหลเวียนโลหิตแต่มีการศึกษาพบว่าผู้ป่วยผิวคล้ำมีความแตกต่างระหว่างค่า SpO2 และ SaO2 ร้อยละ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ป่วยผิวขาวซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางคลินิกและพบว่าคนผิวดำ African-American มีอุบัติการณ์ของการจับสัญญาณผิดพลาดเพิ่มขึ้นและอ่านค่าได้สูงขึ้นมากกว่าร้อยละ 4 อันเป็นผลจาก melanin pigment

2.4.2.6 ยาทาเล็บสีต่างๆมีผลต่อค่า SpO2 ต่างกันไปส่วนใหญ่ทำให้อ่านค่าได้ต่ำลง การศึกษาในผู้ป่วยจำนวนน้อยพบว่ายาทาเล็บสีดำเขียวน้ำเงิน (dark coloured nail polish) ทำให้อ่านค่า SpO2 ได้น้อยลงร้อยละ 3, 5 และ 6 ตามลำดับในขณะที่ยาทาเล็บสีแดงไม่มีผลต่อการวัดค่า SpO2 อย่างไรก็ตามยาทาเล็บสีต่างๆจะมีผลน้อยต่อเครื่องวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินรุ่นใหม่ๆ

2.4.2.7 ซีดอาจมีผลทำให้อ่านค่า SpO2 ต่ำลงมีการศึกษาในสุนัขพบว่าระดับฮีมาโตคริตน้อยกว่าร้อยละ 10 ทำให้อ่านค่า SpO2 ต่ำลงแต่รายงานในผู้ป่วยซีดจากการเสียเลือดในทางเดินอาหารหรืออุบัติเหตุที่มีระดับฮีมาโตคริตน้อยกว่าร้อยละ 20 พบว่ามีผลต่อค่า SpO2 น้อยมาก

2.4.2.8 ผู้ป่วยที่มีการไหลเวียนโลหิตผ่านหลอดเลือดดำมากขึ้น (Venous pulsation) เช่นภาวะลิ้นหัวใจไตรคัสปิดรั่วรุนแรง (severe tricuspid regurgitation) ทำให้วัด SpO2 ได้ค่าต่ำลง

2.4.2.9 ผลของไขมันผู้ป่วยที่ได้สารไขมันเข้าเส้นเลือดหรือมี chylomicron ในเลือดสูงจะรบกวนการดูดซับคลื่นแสงทำให้ค่า SpO2 ที่อ่านได้ต่ำกว่าความจริง Wouters และคณะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของค่า SpO2 จาก pulse oximeter ในผู้ป่วยระหว่างและหลังการผ่าตัดจำนวน 1,483 รายพบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าที่ได้จากเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีพจรขาดความเที่ยงตรงคือระดับอุณหภูมิร่างกายส่วนปลายความหนาของนิ้วมีระดับฮีโมโกลบินและสีผิวส่วนระดับความดันโลหิตอายุเพศ อุณหภูมิส่วนกลางของร่างกายระดับบิลิรูบินการได้รับ vasopressor ปริมาณเลือดที่สูญเสียระหว่างผ่าตัดชนิดของการผ่าตัดและระดับ carboxyhemoglobin/methemoglobin ไม่มีผลต่อค่า SpO2 ที่ตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ข้อบ่งชี้และข้อควรระวังในการนำเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจรมาใช้ทางคลินิก

2.5.1 ประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (hypoxemia) สามารถใช้ประเมินแทน SaO₂ ในการบอกถึง PaO₂ ได้ในกรณีที่ oxygen dissociation curve ปกติคือ

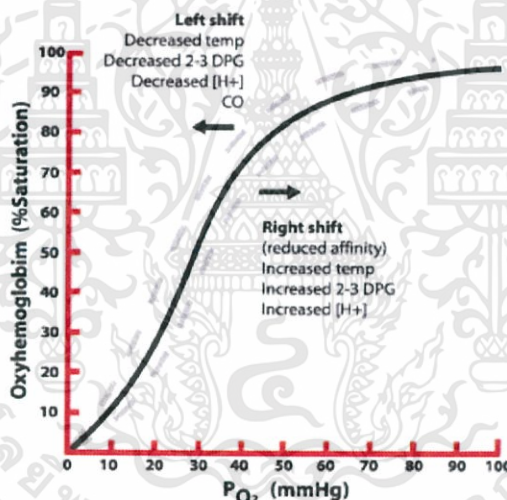
SaO₂ ร้อยละ 94 ~ PaO₂ 80 มม.ปรอท

SaO₂ ร้อยละ 90 ~ PaO₂ 60 มม.ปรอท (minimum SaO₂ หากค่าต่ำกว่านี้ PaO₂ จะต่ำลงมาก)

SaO₂ ร้อยละ 75 ~ PaO₂ 40 มม.ปรอท (ค่าปกติของออกซิเจนในหลอดเลือดดำในขณะหายใจปกติ)

SaO₂ ร้อยละ 50 ~ PaO₂ 27 มม.ปรอท (เป็นจุดที่ร่างกายเกิดการสันดาปแบบไม่ใช้ออกซิเจน)

ฉะนั้นหาก SpO₂ น้อยกว่าร้อยละ 90 ถือว่าออกซิเจนในเลือดแดงต่ำมากเนื่องจากอยู่ในช่วงขาของ oxygen dissociation curve ดังรูปโดยทั่วไปจึงถือว่าระดับ SpO₂ ที่น้อยกว่าร้อยละ 90 ร่างกายจะมีภาวะขาดออกซิเจน (hypoxia) แต่จากการศึกษาในผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในหออภิบาลพบว่าค่า SpO₂ ร้อยละ 94 จะสัมพันธ์กับ SaO₂ ร้อยละ 90 โดยมี sensitivity ร้อยละ 86, specificity ร้อยละ 82, positive predictive value ร้อยละ 18 และ negative predictive value ร้อยละ 99.10 ดังนั้นในผู้ป่วยหนักอาจต้องใช้ SpO₂ ที่ร้อยละ 94 แทนร้อยละ 90 เพื่อวินิจฉัยภาวะขาดออกซิเจนได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง SaO₂ และ PaO₂ (oxygen dissociation curve) มีลักษณะเหมือนตัว S ความชันสูงในช่วงกลางและน้อยจนเกือบคงที่ในช่วงปลายโดยเฉพาะที่ระดับ PaO₂ สูงๆ

เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร สามารถใช้ติดตามในกรณีใช้เครื่องช่วยหายใจช่วยในการปรับระดับออกซิเจนช่วยในการติดตามระดับออกซิเจนขณะดมยาสลบหรือระหว่างขนย้ายผู้ป่วยประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำขณะนอนเป็นต้นจากการศึกษาใช้ เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร กับผู้ป่วยในห้องผ่าตัดและหลังการผ่าตัด 20,802 รายพบว่าให้ค่าถูกต้องร้อยละ 97.5 อย่างไรก็ตามจนถึงปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลหรือการศึกษาใดที่แสดงให้เห็นว่าการติดตามระดับ SpO₂ ด้วย เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร อย่างต่อเนื่องสามารถลดอัตราการตายหรืออัตราการพิการในผู้ป่วยกลุ่มต่างๆได้เช่นผู้ป่วยหนักที่เข้ารับการรักษาในหออภิบาลผู้ป่วยที่อยู่ระหว่างการผ่าตัดและภายหลังการผ่าตัดผู้ป่วยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องฉุกเฉินอย่างไรก็ตาม SpO₂ ไม่สามารถประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำได้รวดเร็วและไม่สามารถใช้แทน PaO₂ ได้ทุกกรณีโดยเฉพาะช่วง PaO₂ ที่ปกติหรือสูงจากกราฟ oxygen dissociation curve ช่วง PaO₂ มากกว่า 80 มิลลิเมตรปรอทกราฟความชันเกือบเป็นเส้นตรงมีการเปลี่ยนแปลงของ SaO₂ น้อยตัวอย่างเช่นผู้ป่วยปอดอักเสบได้รับออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงค่า PaO₂ จาก 140 เป็น 65 มิลลิเมตรปรอทเมื่อวัด SpO₂ จะได้ร้อยละ 100 ตลอดจึงไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงได้จนกว่า PaO₂ น้อยกว่า 60 มิลลิเมตรปรอทค่า SpO₂ จึงลดลงอีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือความคลาดเคลื่อนของค่า SpO₂ โดยเฉลี่ย \pm ร้อยละ 2 เมื่อค่า SaO₂ มากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นหากอ่านค่า SpO₂ ได้ร้อยละ 96 หมายถึงผู้ป่วยอาจมีระดับ PaO₂ ระหว่าง 80 มิลลิเมตรปรอท (SaO₂ ร้อยละ 94) ถึง 150 มิลลิเมตรปรอท (SaO₂ ร้อยละ 98)

2.5.2 ใช้บอกอัตราและจังหวะของชีพจร

2.5.3 ใช้วัดระดับความดันเลือดซิสโตลิกได้โดยดูการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างคลื่นก่อนการวัดความดันเลือดจะเห็นรูปร่างคลื่นการไหลเวียนตามปกติเมื่อเพิ่มความดันขึ้นเรื่อยๆจนสูงกว่าค่าความดันซิสโตลิกคลื่นการไหลเวียนจะหายไปค่าความดันซิสโตลิกคือค่าความดันเมื่อเห็นคลื่นการไหลเวียนกลับมาอีกครั้งหนึ่ง

2.6 อัตราการเต้นของหัวใจ

อัตราการเต้นของหัวใจ หมายถึง จำนวนครั้งที่หัวใจหดตัว เพื่อสูบฉีดเลือดไปหล่อเลี้ยงทั่วร่างกาย ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยม เทียบกับเวลา หนึ่งนาที เป็นหน่วย BPM (Beat per Minute) ซึ่งโดยส่วนมากแล้วมักจะมีค่าเท่ากับอัตราของชีพจร โดยเราสามารถวัดชีพจรได้ตาม ส่วนผิวของร่างกายที่มีหลอดเลือดไหลผ่านเหนือหรือข้างๆ กระดูก โดยมากเรียกชื่อชีพจรตามตำแหน่งของหลอดเลือดที่จับได้ ซึ่งตามปกติแล้ว อัตราการเต้นของชีพจรคนเราเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัยเช่นกิจกรรมที่กำลังทำอยู่ เป็นต้น

ส่วนมาก อัตราการเต้นของชีพจร มักถูกใช้วัดในเชิงการแพทย์ เพื่อช่วยในการวินิจฉัยโรค นอกจากนี้ ยังเป็นที่นิยมของนักกีฬา ที่นิยมวัดอัตราการเต้นของชีพจร เพื่อให้การฝึกซ้อมเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.6.1 กลไกการควบคุมชีพจร

อัตราการเต้นของชีพจรขึ้นอยู่กับระบบประสาทอัตโนมัติ 2 ส่วน คือ

1. parasympathetic nervous system ถูกกระตุ้น อัตราการเต้นของชีพจรลดลง
2. sympathetic nervous system ถูกกระตุ้น เพิ่มอัตราการเต้นของชีพจร

2.6.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อชีพจร

- อายุ : เมื่ออายุเพิ่มขึ้นอัตราการเต้นของชีพจรจะลดลง ในผู้ใหญ่อัตราการเต้นของชีพจร 60-100 (เฉลี่ย 80 b/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพศ : หลังวัยรุ่น ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของชีพจรของผู้ชายจะต่ำกว่าหญิงเล็กน้อย
- การออกกำลังกาย : อัตราการเต้นของชีพจรจะเพิ่มขึ้นเมื่อออกกำลังกาย
- ไข้ : อัตราการเต้นของชีพจรเพิ่มขึ้น เพื่อปรับตัวให้เข้ากับความดันเลือดที่ต่ำลงซึ่งเป็นผลมาจากเส้นเลือดส่วนปลายขยายตัวทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น (เพิ่ม metabolic rate)
- ยา : ยาบางชนิด ลดอัตราการเต้นของชีพจร เช่น ยาโรคหัวใจ เช่น digitalis ลดอัตราการเต้นของชีพจร (กระตุ้น parasympathetic)
- Hemorrhage : การสูญเสียเลือดจะมีผลทำให้เพิ่มการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาธิค ทำให้อัตราการเต้นของชีพจรสูงขึ้น, ในผู้ใหญ่มีเลือดประมาณ 5 ลิตร การสูญเสียเลือดไป <10% จึงจะปราศจากผลข้างเคียง
- ความเครียด : เมื่อเครียดจะกระตุ้น sympathetic nervous เพิ่ม การเต้นของชีพจร ความกลัว, ความวิตกกังวล และอาการเจ็บปวด กระตุ้นระบบประสาทซิมพาธิค
- ท่าทาง : เมื่ออยู่ในท่ายืนหรือนั่งชีพจรจะเต้นเพิ่มขึ้น (เร็วขึ้น) ท่านอนชีพจรจะลดลง (ช้า)

2.6.3 สิ่งที่ต้องสังเกตในการจับชีพจร

2.6.3.1 อัตราการเต้นของชีพจร จำนวนครั้งของความรู้สึกที่ได้จากคลื่นบนเส้นเลือดแดงกระหนับหรือการฟังที่ apex ของหัวใจในเวลา 1 นาที หน่วยเป็นครั้งต่อวินาที (bpm)

2.6.3.1.1 อัตราการเต้นของชีพจรปกติอยู่ในช่วง

ทารกแรกเกิด ถึง 1 เดือน	ประมาณ	120 - 160 bpm
1-12 เดือน	ประมาณ	80 - 140 bpm
12-2 ปี	ประมาณ	80 - 130 bpm
2 - 6 ปี	ประมาณ	75 - 120 bpm
6 - 12 ปี	ประมาณ	75 - 110 bpm
วัยรุ่น-วัยผู้ใหญ่	ประมาณ	60 -100 bpm

ตารางที่ 2.1 อัตราการเต้นของชีพจรใน ช่วงวัยรุ่น - วัยผู้ใหญ่ ของเพศชาย

Men							
Age	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+	
Athlete	49-55	49-54	50-56	50-57	51-56	50-55	
Excellent	56-61	55-61	57-62	58-63	57-61	56-61	
Good	62-65	62-65	63-66	64-67	62-67	62-65	
Above Average	66-69	66-70	67-70	68-71	68-71	66-69	
Average	70-73	71-74	71-75	72-76	72-75	70-73	
Below Average	74-81	75-81	76-82	77-83	76-81	74-79	
Poor	82+	82+	83+	84+	82+	80+	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 อัตราการเต้นของชีพจรใน ช่วงวัยรุ่น – วัยผู้ใหญ่ ของเพศหญิง

Women						
Age	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Athlete	54-60	54-59	54-59	54-60	54-59	54-59
Excellent	61-65	60-64	60-64	61-65	60-64	60-64
Good	66-69	65-68	65-69	66-69	65-68	65-68
Above Average	70-73	69-72	70-73	70-73	69-73	69-72
Average	74-78	73-76	74-78	74-77	74-77	73-76
Below Average	79-84	77-82	79-84	78-83	78-83	77-84
Poor	85+	83+	85+	84+	84+	84+

2.6.3.1.2 ภาวะอัตราการเต้นของชีพจรผิดปกติ

Tachycardia: ภาวะที่อัตราการเต้นของชีพจรในผู้ใหญ่มากกว่า 100 bpm

Bradycardia: ภาวะที่อัตราการเต้นของชีพจรในผู้ใหญ่ต่ำกว่า 60 bpm

2.6.3.2 จังหวะชีพจร (pulse rhyth)

จังหวะและช่วงพักของชีพจร ชีพจรจะเต้นเป็นจังหวะ และมีช่วงพักระหว่างจังหวะ

2.6.3.2.1 จังหวะของชีพจรปกติ จะมีช่วงพักระหว่างจังหวะ เท่ากัน เรียกว่า ชีพจรสม่ำเสมอ (pulse regularis)

2.6.3.2.2 จังหวะของชีพจรผิดปกติ (dysrhythmias , arrhythmia, irregular)ชีพจรที่เต้นไม่เป็นจังหวะแต่ละช่วงพักไม่สม่ำเสมอ เรียกว่า ชีพจรไม่สม่ำเสมอ หรืออาจจะมีจังหวะการเต้นสม่ำเสมอสลับกับไม่สม่ำเสมอถ้าพบว่า Pt มีจังหวะของชีพจรไม่สม่ำเสมอประเมิน apical pulse 1 นาทีประเมิน apical - radial pulse เพื่อประเมินชีพจรที่ผิดปกติelectrocardiogram (EKG)

2.6.3.3 ปริมาตรแรงชีพจร (Pulse volume)

ขึ้นอยู่กับความแรงของเลือดในการกระทบ ชีพจรปกติรู้สึกได้ด้วยกรวดนิ้วลงตรงบริเวณที่จะวัดด้วยแรงพอประมาณแต่ถ้ากดแรงมากเกินไปจะไม่ได้รับความรู้สึก ถ้าแรงดันเลือดดี ชีพจรจะแรง แรงดันเลือดอ่อนชีพจรจะเบา

ปริมาณของชีพจร วัดเป็นระดับ 0 ถึง 4

ระดับ 0 ไม่มีชีพจร คลำชีพจรไม่ได้

ระดับ 1 (thready) คลำชีพจรยาก

ระดับ 2 weak ชีพจรแรงกว่า thready pulse คลำชีพจรยาก

ระดับ 3 ปกติ

ระดับ 4 bounding pulse ชีพจรต้นแรงหรืออาจะมี 0 ถึง 3 scale

2.6.4 ความยืดหยุ่นของผนังของหลอดเลือด

ปกติผนังหลอดเลือดจะตรงและเรียบมีความยืดหยุ่นดี ในผู้สูงอายุผนังหลอดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นน้อย ขรุขระ และไม่สม่ำเสมอ

2.6.5 ตำแหน่งของชีพจร

2.6.5.1 Temporal artery หลอดเลือดแดงนี้จะทอดผ่านบริเวณขมับซึ่งอยู่ด้านข้างของตาซ้ายและตาขวา เยื้องขึ้นด้านบนเล็กน้อย

2.6.5.2 Carotid artery อยู่บริเวณด้านข้างของคอ หลอดเลือดแดงนี้จะทอดผ่านหลอดเลือดและกล้ามเนื้อ Sternomastoid ไม่ควรประเมินชีพจรนี้พร้อมกัน 2 ข้าง นิยมประเมินในระยะข้อศอกหรือหัวใจหยุดเต้น

2.6.5.3 Apical บริเวณยอดหัวใจ ในผู้ใหญ่จะอยู่ด้านซ้ายมือบริเวณซี่โครงที่ 5 ในเด็กต่ำกว่า 4 ปีจะอยู่ช่องซี่โครงที่ 4

2.6.5.4 Brachial artery อยู่บริเวณกล้ามเนื้อด้านในของแขน(กล้ามเนื้อ biceps) อยู่กึ่งกลางบริเวณข้อพับของข้อศอก

2.6.5.5 Radial artery หลอดเลือดแดงนี้อยู่บริเวณหัวแม่มือด้านในของข้อมือ เป็นตำแหน่งที่นิยมประเมินมากที่สุด

2.6.5.6 Femoral artery หลอดเลือดแดงนี้จะอยู่บริเวณขาหนีบ นิยมประเมินในระยะข้อศอกหรือหัวใจหยุดเต้น

2.6.5.7 Popliteal artery ทอดผ่านด้านหลังของเข่า เป็นตำแหน่งที่คลำพบค่อนข้างยาก จะคลำพบได้ง่ายถ้าให้ผู้ป่วยงอเข่าเล็กน้อย

2.6.5.8 Dorsalis pedis artery ทอดผ่านบริเวณกระดูกเท้าสามารถคลำพบได้อยู่บริเวณหลังเท้าส่วนบน

2.6.5.9 Posterior tibial artery อยู่ด้านหลังปุ่มกระดูกตาตุ่มของข้อเท้าด้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 วิธีประเมินชีพจร

2.6.6.1 peripheral

2.6.6.1.1 ให้ผู้ป่วยนอนหรือนั่งในท่าที่สบาย ผ่อนคลาย หากเพิ่งออกกำลังกายมาควรรอ 10-15 นาที

2.6.6.1.2 เลือกตำแหน่งที่จะคลำชีพจรส่วนใหญ่นิยมคลำที่ radial artery

2.6.6.1.3 กรณีที่ผู้ป่วยนอน ยกแขนพาดไว้ที่หน้าอกช่วงล่างหรือหน้าท้อง ข้อมือเหยียดและฝ่ามือคว่ำลง ถ้าผู้ป่วยนั่ง วางมือลงบนที่เท้าแขน โตะหรือม้านั่ง หรือบนมือพยาบาล ให้ข้อมือเหยียดและฝ่ามือคว่ำลง

2.6.6.1.4 ใช้ปลายนิ้วชี้ นิ้วกลาง และ / หรือ นิ้วนาง วางบนหลอดเลือดแดง radial ซึ่งอยู่ทางด้านนิ้วหัวแม่มือ กดลงเบาๆ ไม่ใช้นิ้วหัวแม่มือเพราะชีพจรที่คลำได้ อาจเป็นชีพจรของนิ้วหัวแม่มือของตนเองทำให้นับชีพจรผิดพลาดได้

2.6.6.1.5 นับอัตราการเต้นของชีพจรผู้ป่วยครั้งแรกให้ครบ 1 นาที ผู้ป่วยที่ชีพจรเต้นระยะสม่ำเสมอนับ 30 วินาที แล้วคูณด้วย 2 ได้ แต่ถ้าชีพจรเต้นระยะไม่สม่ำเสมอให้นับครบ 1 นาที

2.6.6.1.6 ประเมินจังหวะ หรือระยะการเต้นของชีพจรแต่ละตบว่าเต้นระยะสม่ำเสมอหรือเต้นระยะไม่สม่ำเสมอ

2.6.6.1.7 ประเมินความแรงของชีพจรแต่ละตบที่มากกระทบปลายนิ้ว มีความแรงเท่ากัน หรือไม่ เต้นแรงมาก แรงปานกลางหรืออ่อนเบา

2.6.6.1.8 ประเมินผนังของหลอดเลือดแดงว่ามีความยืดหยุ่นดีหรือไม่ โดยเลื่อนปลายนิ้วมือตามหลอดเลือดแดงลงไปทางข้อมือ

2.6.6.1.9 ถ้าชีพจรเต้นระยะไม่สม่ำเสมอ เต้นเร็วหรือช้าไป ให้ใช้หูฟังด้าน diaphragm ฟัง เสียงของหัวใจที่ point of maximal impulse หรือ Apical pulse ได้ยินเสียงลิบ - ตีบ นับเป็น 1 ครั้งนับให้ครบ 1 นาที

2.6.7 ข้อควรจำในการวัดชีพจร

2.6.7.1 ไม่ใช้นิ้วหัวแม่มือคลำชีพจร เพราะหลอดเลือดที่นิ้วหัวแม่มือเต้นแรงอาจทำให้สับสน กับชีพจรของตนเอง

2.6.7.2 ไม่ควรวัดชีพจรหลังผู้ป่วยมีกิจกรรม ควรให้พัก 5-10 นาที

2.6.7.3 อธิบายผู้ป่วยว่าไม่ควรพูดขณะวัดชีพจร เพราะจะรบกวนการได้ยินเสียงชีพจรและอาจ ทำให้สับสน

2.6.8 อัตราการเต้นสูงสุดของชีพจร

สามารถคำนวณได้โดยสูตร

$$220 - \text{อายุ} = \text{Max HR} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.9 อัตราการเต้นเป้าหมายของชีพจร

อัตราการเต้นเป้าหมายของชีพจร (Target Heart Rate) เป็นเครื่องมือวัดว่า การออกกำลังกายนั้นทำให้เหนื่อยแบบพอดี หรือ ทำให้หนักมากจนถึงอัตราการเต้นเป้าหมายของหัวใจ โดยใช้สูตร *Karvonen Formula* คำนวณเพื่อหา อัตราการเต้นของชีพจรที่เหมาะสม ในการออกกำลังกาย เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด

Target Heart Rate = ((max HR – resting HR) × %Intensity) + resting HR example

โดยที่	Target HeartRate	คือ	อัตราการเต้นเป้าหมายของชีพจร
	maxHR	คือ	อัตราการเต้นสูงสุดของชีพจร
	Resting HR	คือ	อัตราการเต้นของชีพจร ในภาวะปกติ
	Intensity	คือ	ความหนักของการออกกำลังกาย

ตารางที่ 2.3 ความหนักของการออกกำลังกายในระดับต่างๆ

จุดมุ่งหมาย	ความหนักของการออกกำลังกาย(%)
ออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ	50% - 60%
ลดน้ำหนัก	60% - 70%
เพิ่มความอดทน ทนทานของกล้ามเนื้อ	70% - 80%
สร้างกล้ามเนื้อ ระดับการฝึกซ้อมของนักกีฬา	80% - 90%
ระดับการฝึกซ้อมของนักกีฬา เพิ่มความทนทาน	90% - 100%

ตัวอย่างเช่น

คุณสมบุรณ์ มีอายุ 25 ปี มีอัตราการเต้นของชีพจร ในภาวะปกติ 65 bpm ต้องการออกกำลังกายเพื่อลดน้ำหนัก (Intensity 60% – 70%) สามารถหาระดับความเหนื่อยที่เหมาะสมของคุณสมบุรณ์ได้ ดังนี้

อัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด = $220 - 25 = 195$ bpm

อัตราการเต้นของชีพจรต่ำสุด ระหว่างออกกำลังกาย : $195 - 65$ (Rest. HR) = 130

130×0.60 (Min. %Intensity) + 65 (Rest. HR) = 143 bpm

อัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด ระหว่างออกกำลังกาย : $195 - 65$ (Rest. HR) = 130

$130 \times .70$ (Max. %Intensity) + 65 (Rest. HR) = 156 bpm

ดังนั้นในการออกกำลังกาย คุณสมบุรณ์ ควรออกกำลังกายให้อัตราการเต้นของชีพจรอยู่ที่ 143 - 156 bpm

2.6.10 การเต้นของชีพจรที่ผิดปกติ

การเต้นของชีพจรที่ผิดปกติ เกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้หลายสาเหตุ การเต้นผิดปกติ อาจเกิดขึ้นเป็นครั้งเป็นคราว นานๆ ครั้ง หรือเกิดขึ้นเป็นประจำเราลองมาพิจารณาการเต้นของชีพจรลักษณะต่างๆ ดังนี้

2.6.10.1 ชีพจรที่เต้นแรงและเร็วกว่าปกติ เช่น ผู้ใหญ่เต้นนาทีละ 100-120 ครั้ง ชีพจรแบบนี้จะพบได้ในคนที่เป็นโรคและไม่เป็นโรคก็ได้ถ้าการเต้นนั้นเกี่ยวข้องกับอาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนื่อยง่าย เวลาออกกำลังกายเพียงเล็กน้อยหรือว่าอยู่เฉยๆ หัวใจก็เต้นแรงผิดปกติ รู้สึกเจ็บหน้าอกบ่อยๆ เหนื่อยง่าย อาการที่เกิดขึ้นนี้มักพบในคนที่ เป็นโรคหัวใจถ้ามีอาการเหนื่อยง่าย กินจุ แต่พอมลง คลื่นไส้ อาเจียน คอโต หรือตาโปน ก็อาจเป็นโรคต่อมไทรอยด์ (คอพอกเป็นพิษ) คนที่มีไข้ตัวร้อน ก็อาจมีชีพจรเต้นแรงและเร็วได้ ตามปกติถ้าใช้ขึ้น 1 ฟ. (องศาฟาเรนไฮต์) ชีพจรจะเต้นเร็วขึ้นอีกนาทีละ 10 ครั้งคนที่ซีด โลหิตจาง หรือได้รับยาบางตัว (เช่น อะดรีนาลีน ผิดแก้หืด) ก็มีชีพจรที่เต้นเร็วได้ ในคนที่ร่างกายเป็นปกติ ชีพจรก็อาจเต้นเร็วได้ แต่มักจะมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น ออกกำลังกายมาใหม่ๆ ตื่นเต้น ตกใจกลัว แต่เมื่อได้พัก หัวใจก็จะเต้นเป็นปกติเหมือนเดิม

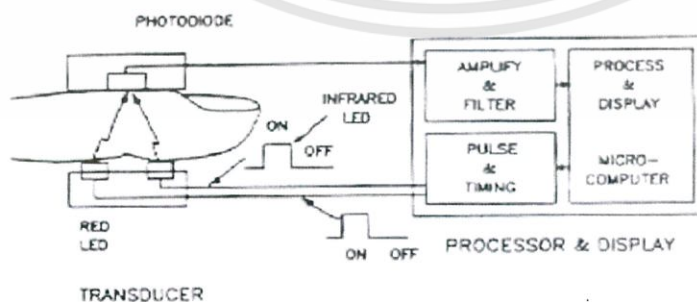
2.6.10.2 ชีพจรที่เต้นช้ากว่า 60 ครั้งต่อนาที บางรายอาจไม่แสดงอาการ แต่บางรายก็มีอาการหน้ามืด วิงเวียนเป็นลมได้ มักพบในคนที่มีความผิดปกติของหัวใจจนใช้ที่มีก่อนเลือดในสมอง (เช่น ได้รับบาดเจ็บที่ศีรษะ) หรือมีสาเหตุอะไรก็ตามที่ทำให้ความดันภายในกะโหลกศีรษะเพิ่มขึ้น ก็อาจมีชีพจรเต้นช้าลงได้ในคนที่เป็นนักกีฬาที่มีร่างกาย "ฟิต" เต็มที่ก็จะพบว่าชีพจรเต้นค่อนข้างช้า แต่มีแรงและสม่ำเสมอชีพจรแบบนี้เราถือเป็นสิ่งที่ดีมาก

2.6.10.3 ชีพจรเต้นเบาและเร็ว พบในคนที่ เป็นลม ช็อค ท้องเดินมากๆ ท้องนอกมดลูก ภาวะแพะทะเล ถ้าชีพจรในลักษณะนี้รีบให้การปฐมพยาบาลแล้วส่งโรงพยาบาลโดยด่วน

2.6.10.4 ชีพจรที่เต้นไม่สม่ำเสมอ ถ้าเป็นตลอดเวลา จะพบในคนที่ เป็นโรคหัวใจ ภาวะหัวใจเป็นพิษ ในคนปกติ บางครั้งชีพจรก็เต้นไม่สม่ำเสมอเป็นครั้งเป็นคราวได้ ซึ่งเป็นผลมาจากร่างกายได้รับยาและสารเคมีบางชนิดเข้าไปในร่างกาย เช่น เหล้า บุหรี่ กาแฟ หรือแม้แต่ถ้าพักผ่อนไม่เพียงพอเคร่งเครียด ก็ทำให้ชีพจรเต้นไม่สม่ำเสมอได้

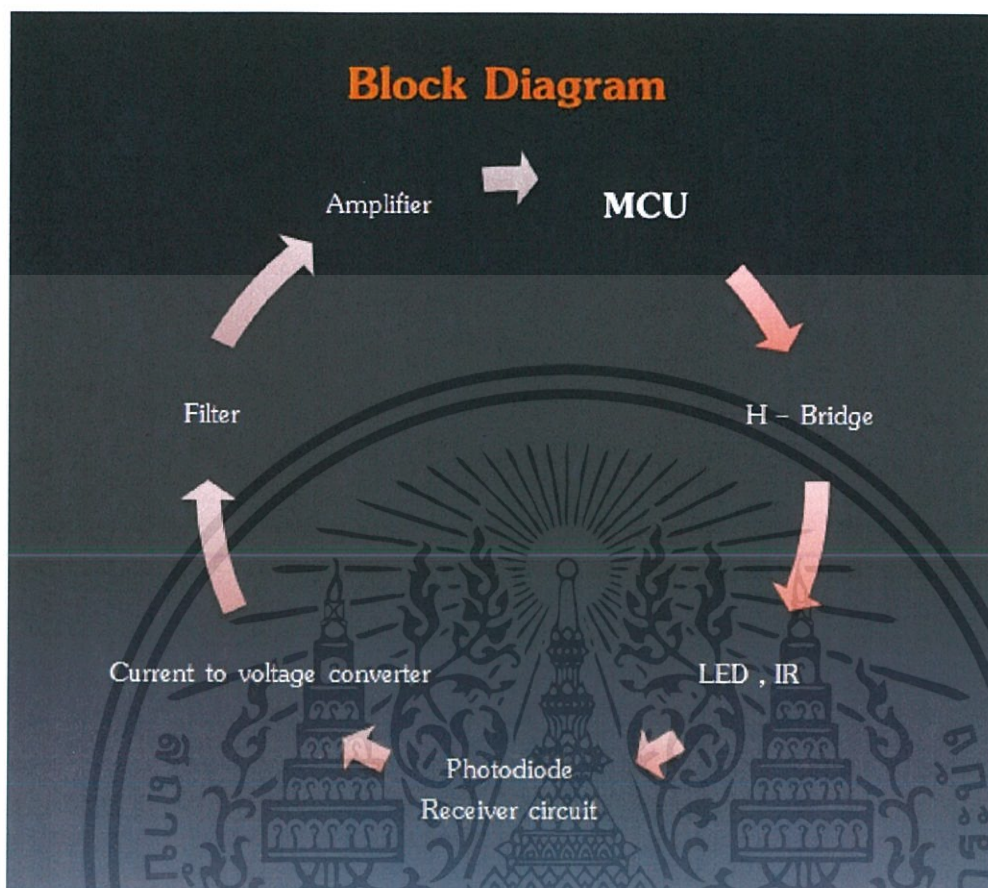
2.7 วงจรการทำงาน เครื่องวัดปริมาณความอึดตัวออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ

เครื่องวัดปริมาณความอึดตัวออกซิเจนในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจประกอบด้วย 2 ส่วนคือ sensor และ processor and display unit ส่วนที่เป็น sensor มี 2 ด้าน ด้านหนึ่งเป็น light emitting diode (LED) ซึ่งจะปล่อยแสง 2 ความยาวคลื่นสลับกัน ส่วนด้านที่อยู่ตรงข้ามจะมี photodiode ที่สามารถวัดความเข้มของแสงที่ส่งผ่านมาสัญญาณที่ส่งผ่านมาจะถูกกรองและขยายและแสดงบนหน้าจอแสดงผลในที่สุด โดยมี microprocessor เป็นตัวควบคุม



รูปที่ 2.5 ตัวตรวจวัด (Probe) ทำหน้าที่ปล่อยและรับคลื่นแสง ตัวปล่อยคลื่นแสง (Light-Emitting Diode : LED) และตัวรับสัญญาณ (Photodetector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรที่ใช้ในเครื่องวัดความเร็วรอบความถี่ของมอเตอร์ไฟฟ้า

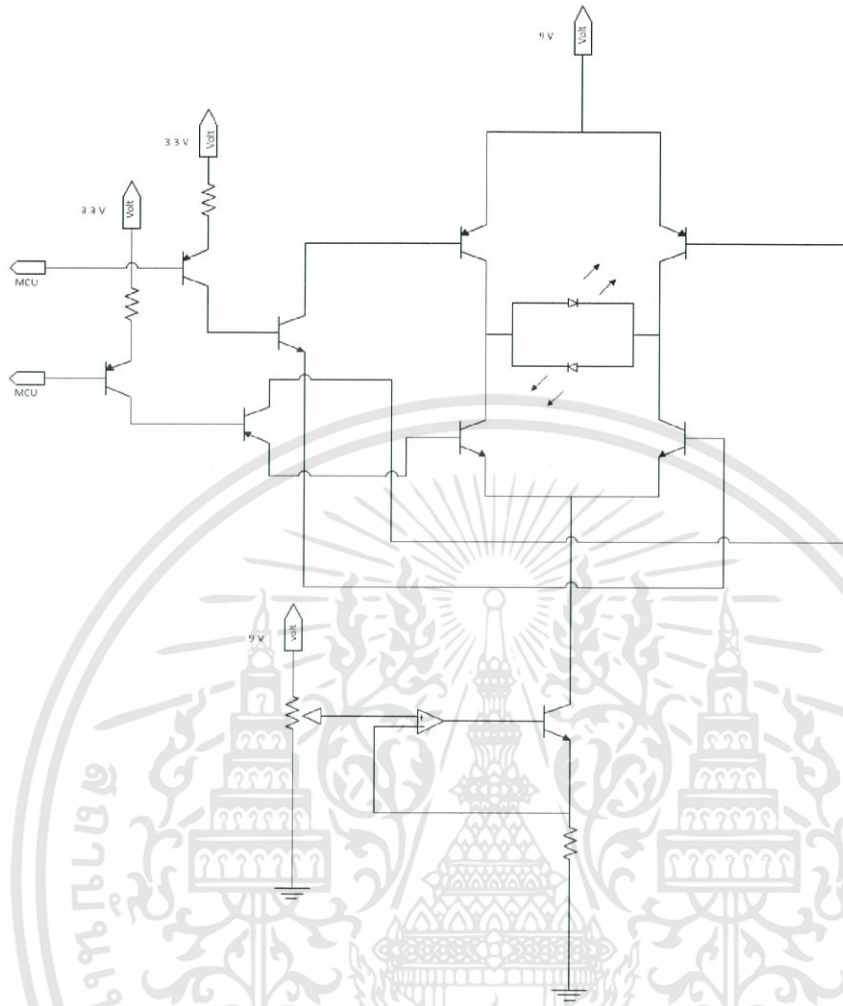
2.7.1 วงจรเฮสบริดจ์ (H-Bridge)

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่มีคุณสมบัติของการ Cutoff และการ Saturation สามารถประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์ควบคุมการปิด/เปิด โดย เมื่อป้อนกระแส I_b ด้วยปริมาณที่มากพอ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (On) ทำให้กระแส I_c ไหล (กระแส I_b จะต้องมากเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะ "อิ่มตัว" ได้)

ในสถานะ อิ่มตัว (Saturation mode) ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์ปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าต่ำใกล้เคียงศูนย์ กระแส I_c ที่ไหลจะมีค่าเข้าใกล้ $I_c(\max)$

ในสถานะ คัดออฟ (Cutoff mode) นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อเราหยุดจ่ายกระแส I_b ($I_b = 0$) ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์เปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเป็นอนันต์ กระแส I_c จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรแฮสบริท

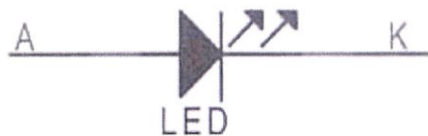
2.7.2 อุปกรณ์แปลงแสง

2.7.2.1 ไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode)

ไดโอดเปล่งแสงหรือที่เราเรียกกันว่า LED (Light Emitting Diode) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นต้องศึกษา เนื่องจากความจำเป็นที่ต้องนำไปใช้งาน ซึ่งการนำไปใช้งานที่เห็นได้ชัดเจน คือนำไปใช้เป็นอุปกรณ์แสดงผล (Indicator) เพื่อบ่งบอกถึงสถานะการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ

โครงสร้างของ LED เป็นสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยขั้วไฟ 2 ขั้วคือขั้วบวกที่เรียกว่าแอนอด (Anode) ซึ่งจะแทนด้วยสัญลักษณ์ตัว A และขั้วลบที่เรียกว่าคาโทด (Cathode) ซึ่งจะแทนด้วยสัญลักษณ์ K ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ไดโอดเปล่งแสง หรือLED (Light Emitting Diode)

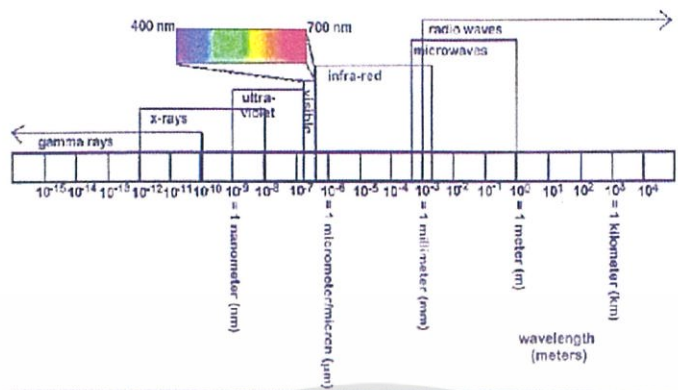
การนำไปใช้งานมีหลักการง่าย ๆ คือต้องให้ขั้วแอนโอดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก เมื่อเทียบกับขั้วคาโทดหรือในทางกลับกันต้องให้ขั้วคาโทดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วแอนโอด

LED ถูกนำมาใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างแพร่หลายโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการไหลของกระแสไฟที่จะไหลผ่าน LED ซึ่งรูปแบบการควบคุมโดยส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 แบบคือการควบคุมแบบจ่ายกระแสออก (SOURCE CURRENT) และการควบคุมแบบรับกระแสเข้า (SINK CURRENT)

2.7.2.2 อินฟราเรด(Infrared)

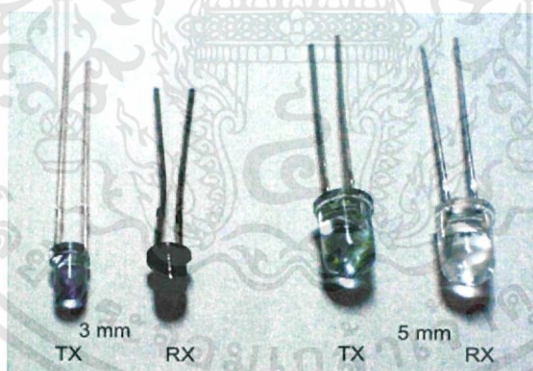
การค้นพบรังสีอินฟราเรด ในปี ค.ศ. 1800 ขณะที่ เฮอเชล กำลังติดตามศึกษาดวงอาทิตย์อยู่ในกล้องดูดาว ต้องมีการใช้เลนส์กรองแสง ซึ่งทำเป็นสีต่างๆ เฮอเชล ต้องการทราบว่า ในเลนส์แต่ละสี จะเปลี่ยนค่าแสดงความร้อนของดวงอาทิตย์หรือไม่ ท่านจึงประดิษฐ์อุปกรณ์การทดลองอย่างง่าย ๆ เพื่อหาคำตอบ ซึ่งนับเป็นวิธีทดลองที่หลักแหลมเป็นอย่างมากท่านใช้ปริซึมแยกแสง แล้วให้แสงต่างๆ มาตกที่เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งทำสีดำที่กะเปาะ เพื่อให้ดูดความร้อนดียิ่งขึ้น ความที่เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ละเอียดถี่ถ้วนเป็นนิสัยประจำตัว ท่านก็ตั้งเทอร์โมมิเตอร์ตัวหนึ่ง นอกเหนือจากแสงสีต่างๆ นั้น เพื่อเป็นตัวควบคุมการทดลอง ปรากฏว่า แสงสีต่าง มีอุณหภูมิสูงกว่าแสงสีขาว และอุณหภูมิสูงขึ้นจาก สีม่วง ไปหาสีแดง เฮอเชล จึงเกิดความอยากรู้ขึ้นมา แล้ววัดแถบเหนือแสงสีแดงขึ้นไปที่ไม่ปรากฏมีสีอะไร ดูเหมือนแสงอาทิตย์ธรรมดาเท่านั้นเอง แต่ เฮอเชล ก็ประหลาดใจเป็นอย่างยิ่ง เมื่อปรากฏว่า เทอร์โมมิเตอร์ ตัวที่อยู่นอกเหนือจากแสงสีแดงนั้น กลับวัดได้อุณหภูมิสูงกว่าทุกตัวเฮอเชล จึงทำการทดลองต่อไป ก็พบว่า ส่วนของแสงที่มองไม่เห็นแต่ร้อนกว่าสีแดงนี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่มองเห็นได้ทุกประการ เช่น การหักเห ดูดซับ ส่องผ่านหรือไม่ผ่านตัวกลาง ฯลฯ ในตอนแรก ท่านเรียกแสงนี้ว่า caloric rays ซึ่งก็เช่นเดิมที่การตั้งชื่อของท่านไม่ค่อยจะเป็นที่ถูกใจใครเท่าไรนัก รังสีที่ถูกค้นพบใหม่นี้ ก็ถูกเปลี่ยนชื่อไปเป็น รังสีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของอินฟราเรด

อินฟราเรด (Infrared) เป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามีความถี่อยู่ในช่วง 10¹¹ – 10¹⁴ เฮิร์ตซ์ หรือความยาวคลื่น 10⁻³ – 10⁻⁶ เมตร เนื่องจากแสงอินฟราเรดมีความยาวคลื่นที่สั้นมีคุณสมบัติที่เด่น คือจะเดินทางเป็นแนวเส้นตรง และไม่สามารถเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางหรือวัตถุได้จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการสื่อสารในระยะสั้น ๆ เช่นรีโมทสำหรับควบคุมวิทยุ โทรทัศน์ เป็นต้น หรือตรวจจับสิ่งของต่างๆ อินฟราเรดเซนเซอร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนตัวรับและตัวส่ง



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างอินฟราเรด

- ส่วนตัวส่งจะทำหน้าที่ส่งแสงอินฟราเรดให้กับเครื่องรับ ใช้ IR LED เป็นตัวขับแสงอินฟราเรดแสงที่ส่งออกมาจะมีช่วงความถี่ที่สูงกว่าความถี่ของแสงธรรมดาทั่ว ๆ ไป คือมากกว่า 20 KHz
- ส่วนตัวรับจะใช้ โฟโตไดโอดโฟโต้ทรานซิสเตอร์ หรือแอลดีอาร์เป็นตัวรับแสงก็ได้โดยที่ทั้งเครื่องรับและส่ง จะต้องมีความถี่เท่ากันเพราะถ้าไม่เท่ากันจะทำให้ไม่สามารถรับส่งสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

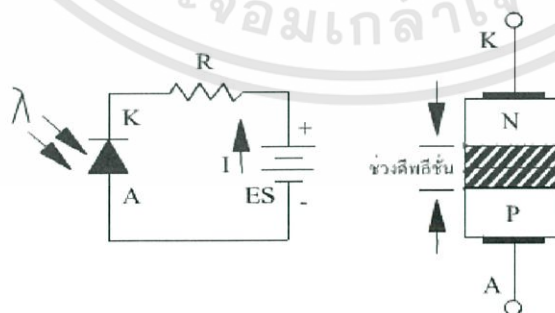
การทำงานของอินฟราเรดเซนเซอร์

อินฟราเรดเซนเซอร์จะมีหลักการทำงาน คือจะส่งแสงอินฟราเรดจากเครื่องรับไปยังเครื่องส่งโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ที่เดียวกันและเครื่องรับเครื่องส่งอยู่คนละที่กัน

- เครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ที่เดียวกันจะใช้หลักการสะท้อนกับวัตถุเมื่อมีวัตถุผ่านหรือขวางกันอยู่เพื่อให้ระบบทำงาน แต่ถ้าวัตถุไม่สะท้อนแสงหรือสะท้อนแสงได้น้อยเช่นวัตถุสีดำ ตัวเซนเซอร์ก็จะไม่ทำงานหรือทำงานได้ไม่ดี
- เครื่องรับเครื่องส่งอยู่คนละที่กันจะอาศัยหลักการของการตัดเส้นทางเดินของแสงเมื่อมีการตัดเส้นทางเดินของแสงระบบจะทำงานโดยจะมีการนำไปประยุกต์ใช้งานมากมาย เช่น ทำวงจรถรวจจับคนเดินผ่าน เป็นต้น

2.7.2.3 โฟโตนไดโอด (Photo Diode)

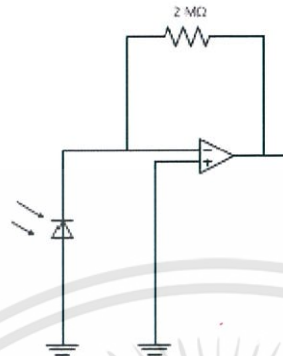
โฟโตนไดโอดเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตนไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตนไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ โฟโตนไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตนไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบบมีความยาวคลื่นหรือแลมด้าที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบ ลักษณะทั่วไปของไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดา คือ ยอมให้กระแสไหลผ่านได้



รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์ และการไบอัสใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 วงจรเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน (Current to voltage converter)



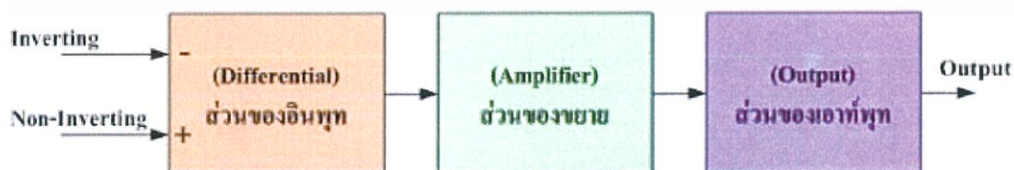
รูปที่ 2.12 วงจรเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน

จะเปลี่ยนอินพุต(คลื่นแสงจาก LED, IR) ให้เป็นกระแสที่ได้จากการดูดกลืนแสงของ Photodiode กระแสจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าจากวงจรถ่านเข้าวงจรกรองความถี่ต่อไป

2.7.4 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)

อุปกรณ์ที่เราจะนำมาใช้ในวงจรขยายสัญญาณ นั่นก็คือ ออปแอมป์ (OP-AMP) ซึ่งในการที่จะนำมาใช้งานในวงจรขยายสัญญาณก็มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก ด้วยการที่มีลักษณะเป็นไอซีสำเร็จรูป และมีราคาถูก โดยในปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมาก

คุณสมบัติของออปแอมป์ กล่าวแบบสรุปคือ ออปแอมป์นั้นเป็นวงจรขยายสัญญาณที่อยู่ในรูปของตัวไอซี โดยจะมีอยู่ 2 แบบ คือ ออปแอมป์แบบ 8 ขา และ 14 ขา ซึ่งจะมีลักษณะเป็นโลหะและจะเป็นแบบพลาสติก โดยจะมีการจัดวางขาเป็นแบบ (Dual In-Line Package :DIP) ซึ่งภายในตัวโครงสร้างของออปแอมป์นั้นจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนก็คือ 1.ส่วนของสัญญาณเข้า (Differential) 2.ส่วนของการขยายสัญญาณ 3.ส่วนของสัญญาณออก (Output) ดังแสดงในรูปที่2.3

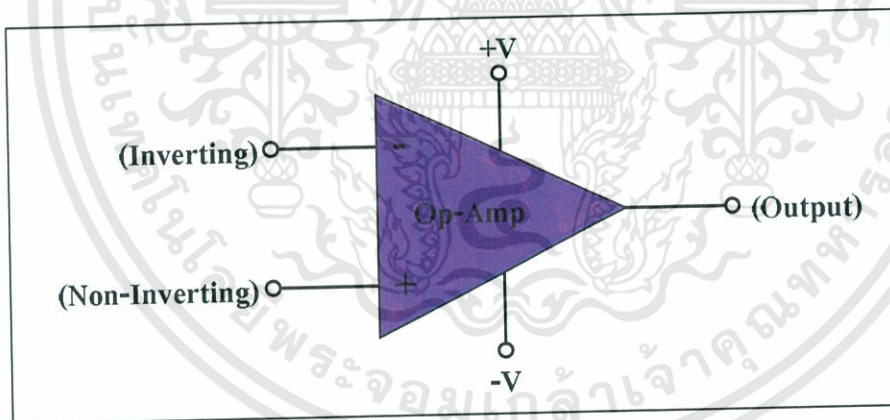


รูปที่ 2.13 โครงสร้างพื้นฐานของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.13 เราจะทำการพิจารณาดูในแต่ละส่วน สามารถที่จะกล่าวได้ดังนี้คือ ในส่วนของอินพุท หรือที่เรียกว่า Differential นั้นจะมีลักษณะเป็นวงจรถยายสัญญาณ ผลต่าง ซึ่งถ้าดูในส่วนของอัตราขยายสัญญาณอินพุทจะพบว่ามีอัตราขยายที่สูง แต่ในทางกลับกันในส่วนของอัตราขยายสัญญาณอินพุทรวมจะมีค่าที่ต่ำ และในส่วนของ อิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรมีค่าที่สูงมาก ในส่วนของการขยายสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Amplifier นั้นก็จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณทั้งแรงดันและกระแส เพื่อที่จะทำให้อัตราขยาย โดยรวมนั้นมีค่าที่สูงขึ้น และในส่วนสุดท้ายก็คือสัญญาณออก หรือที่เรียกว่า Output ซึ่งในส่วนนี้ถ้าเรามาพิจารณาโครงสร้างของวงจรมายกก็จะทราบว่า จะเป็นวงจรถยายสัญญาณ แบบอิมิตเตอร์ร่วม สาเหตุที่ต้องเป็นแบบนี้ก็เพื่อที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ที่ขาออกของวงจรมีค่าที่ต่ำ และเพื่อที่จะสามารถ ขับ กระแส ให้กับ โหลด ที่ ต่อ ได้ เพียงพอ

ส่วนโครงสร้างภายในของออปแอมป์ นั้นจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวอยู่หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์(BJT) อุปกรณ์มอสเฟต(MOSFET) อุปกรณ์ไดโอด(Diode) และยังมีตัวต้านทาน(R) โดยอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะถูกประกอบและต่อรวมกันที่อยู่ในรูปของวงจรรวมที่เรียกว่า ไอซี (IC : Integrated Circuit) ซึ่งวงจรรวมที่ได้ จะมีลักษณะของวงจรถยายสัญญาณ โดยมีอัตราขยายแรงดันที่สูง หรือที่เรียกว่า (Voltage Gain) ซึ่งเราสามารถเขียนสัญลักษณ์ของออปแอมป์ ที่แสดงถึงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์

จากในรูปที่ 2.14 จะเห็นถึงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ซึ่งคุณสมบัติโดยทั่วไปของออปแอมป์นั้นจะมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้ คือ อินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าที่สูง เอาต์พุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำ และอัตราขยายแรงดันจะมีค่าที่สูงมาก ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ นั้นจะประกอบด้วยขาดังต่อไปนี้

- ขา Inverting ซึ่งเป็นขาอินพุตของออปแอมป์ โดยมีไว้เพื่อป้อนสัญญาณ ที่เป็นได้ทั้งสัญญาณไฟกระแสดตรงและสัญญาณไฟกระแสลับ ซึ่งสัญญาณที่ถูกป้อนเข้าไปที่ขา Inverting นี้ เราก็จะได้สัญญาณที่ตรงกันข้ามหรือกลับเฟสที่จะออกมาทางขา Output

- ขา Non-Inverting ซึ่งเป็นขาอินพุตของออปแอมป์ โดยมีไว้เพื่อป้อนสัญญาณ ที่เป็นได้ทั้งสัญญาณไฟกระแสดตรงและสัญญาณไฟกระแสลับ ซึ่งสัญญาณที่ถูกป้อนเข้าไปที่ขา Non-Inverting นี้ เราก็จะได้สัญญาณที่ไม่กลับเฟสหรืออินเฟสที่จะออกมาทางขา Output

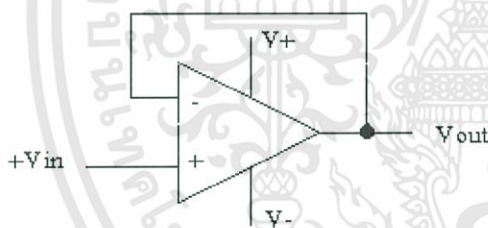
- ขา Output ซึ่งเป็นขาเอาต์พุตของออปแอมป์ โดยมีไว้เพื่อบอกถึงสภาวะการทำงาน ของออปแอมป์ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการที่เราทำการป้อนสัญญาณเข้าที่ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์

- ขา +V ซึ่งเป็นขาป้อนไฟบวก โดยจะมีค่าแรงดันไฟประมาณ 9 โวลท์ ถึง 18 โวลท์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้แรงดันไฟประมาณ 15 โวลท์

- ขา -V ซึ่งเป็นขาป้อนไฟลบ โดยจะมีค่าแรงดันไฟประมาณ -9 โวลท์ ถึง -18 โวลท์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้แรงดันไฟประมาณ -15 โวลท์

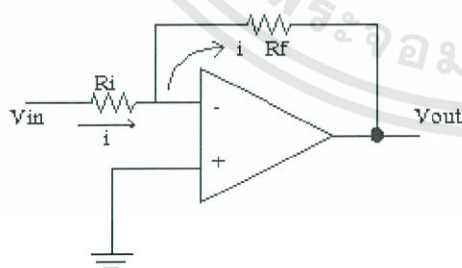
2.7.4.1 การใช้ออปแอมป์ในวงจรขยายสัญญาณ

2.7.4.1.1 วงจร BUFFER หรือ VOLTAGE FOLLOWER



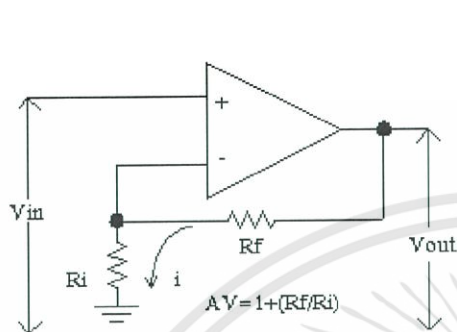
อัตราขยายของวงจรชนิดนี้มีค่าประมาณ 1 นั่นคือ
 $AV = V_{out}/V_{in} = 1$
 $V_{out} = V_{in}$

2.7.4.1.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverter Amplifier)



ความต่างศักย์ระหว่าง V_{in+} และ $V_{in-} = 0$ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ขา $V_{in-} = 0$ กระแสผ่าน R_i และ R_f มีค่า i
 $V_{in} = iR_i$; $V_{out} = iR_f$
 $AV = V_{out}/V_{in}$; $-iR_f/iR_i$
 $= -R_f/R_i$
 เพราะฉะนั้น $AV = -R_f/R_i$

2.7.4.1.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)



จากรูป กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_i และ R_f มีค่า i เท่ากันดังนั้น

$$V_{in} = iR_i$$

$$V_{out} = i(R_i + R_f)$$

$$AV = i(R_i + R_f) / iR_i$$

$$AV = R_i + R_f/R_i$$

$$\text{หรือ.. } AV = 1 + (R_f/R_i)$$

2.7.5 วงจรกรองความถี่ (Filter)

วงจรกรองความถี่หรือฟิลเตอร์คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ใด ๆ ความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

2.7.5.1 วงจรกรองความถี่มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.7.5.1.1 แบบพาสซีฟ(Passive) คือวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ทำงาน ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และ ขดลวดเหนี่ยวนำ (L)

2.7.5.1.2 แบบแอคทีฟ(Active) คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำการขยายสัญญาณ เช่น ออปแอมป์ ทำให้วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟมีข้อดีกว่าแบบพาสซีฟ คือ

- ไม่มีการสูญเสียของสัญญาณ เนื่องจากออปแอมป์สามารถทำการขยายสัญญาณเพื่อชดเชยการลดทอนของสัญญาณได้
- ราคาถูก โดยเฉลี่ยแล้ววงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟจะมีราคาถูกกว่าแบบพาสซีฟ เนื่องจาก ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในแบบพาสซีฟมีราคาแพงและสร้างได้ยากกว่า
- การปรับค่า วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ สามารถปรับค่าความถี่ที่ต้องการได้ง่ายภายใต้ ย่านความถี่ที่กว้างกว่าที่สามารถปรับได้ในแบบพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแยกระหว่างอินพุตและเอาต์พุต เนื่องจากจรรยาบรรณความถี่แบบแอกทีฟมีการใช้อุปกรณ์ประกอบในวงจรจึงทำให้วงจรจรรยาบรรณความถี่แบบนี้มีอินพุต อินพุตแดนซ์สูงและเอาต์พุตอินพุตแดนซ์ต่ำ ทำให้ไม่มีผลการรบกวนกันระหว่างแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุตและโหลด แต่อย่างไรก็ตามการจรรยาบรรณความถี่แบบแอกทีฟก็มีข้อเสียอยู่บางประการ เมื่อเทียบกับแบบพาสซีฟ คือ การตอบสนองความถี่ วงจรจรรยาบรรณความถี่แบบแอกทีฟ มีความสามารถในการตอบสนองความถี่ได้แคบกว่าแบบพาสซีฟเนื่องจากขีดจำกัดของออปแอมป์ ยกตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 มีความสามารถในการตอบสนอง ความถี่ได้เพียง 1 MHz

- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ทำให้ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงในการทำงานในขณะที่แบบพาสซีฟไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

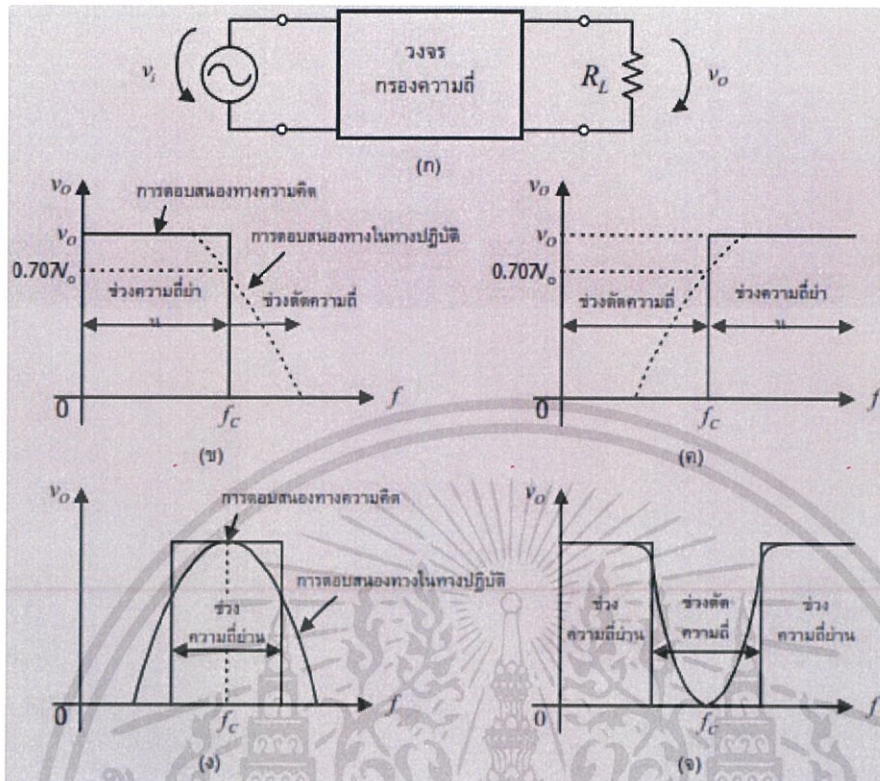
2.7.5.2 วงจรจรรยาบรรณความถี่แบบแอกทีฟสามารถแบ่งออกเป็นชนิด ตามหน้าที่การทำงานได้อีกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

2.7.5.2.1 วงจรจรรยาบรรณความถี่ต่ำย่าน (Low pass filter , LPF)

2.7.5.2.2 วงจรจรรยาบรรณความถี่สูงย่าน (High pass filter , HPF)

2.7.5.2.3 วงจรจรรยาบรรณแถบความถี่ย่าน (Band pass filter , BPF)

2.7.5.2.4 วงจรตัดแถบความถี่ (Notch filter หรือ Band Eliminate filter , BEF)



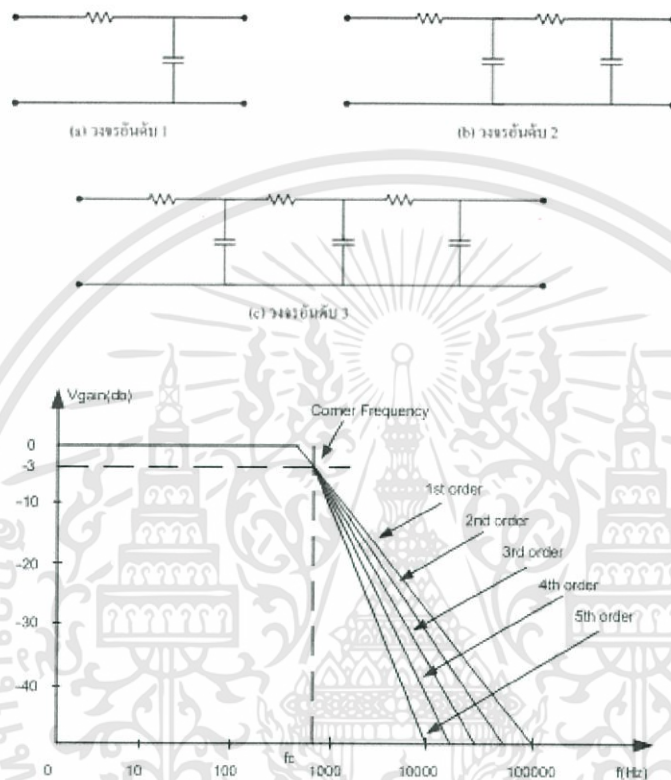
รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด

- (ก) วงจรทดสอบวงจรกรองความถี่
- (ข) การทำงานของวงจร LPF
- (ค) การทำงานของวงจร HPF
- (ง) การทำงานของวงจร BPF
- (จ) การทำงานของวงจร BEF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5.2.1 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF)

หมายถึง วงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ที่กำหนด ผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จะลดทอนไปตามลำดับ ลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป ดังรูป



รูปที่ 2.16 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับต่างๆ และกราฟแสดงอัตราขยายแรงดันเชิงความถี่ (db)

จากรูปวงจรเมื่อทำการบ่อนความถี่ต่ำเข้าวงจร ที่ C จะมีค่า X_C สูง ทำให้ความถี่ต่ำไหลผ่าน R ที่มีค่าความต้านทานน้อยกว่า X_C ได้สะดวก ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า X_C จะลดลง ทำให้ความถี่ ผ่านขดลวดได้ลดลงบางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูก C ดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้น้อยมาก

ในทางทฤษฎีวงจรกรองความถี่ต่ำจะยอมให้สัญญาณใดๆ ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า ความถี่คัทออฟ หรือ ความถี่ขอบเขต (Cutoff Frequency) ผ่านไปได้โดยไม่มีการลดทอนของสัญญาณ และถ้าความถี่ของสัญญาณเข้ามีค่าเกินที่กำหนดไว้ สัญญาณออกควรจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำได้ เนื่องจาก การตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปไม่เปลี่ยนแปลง

ทันทีทันใด ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นดังรูปที่ 1 คือเมื่อสัญญาณมีความถี่สูงขึ้นวงจรจะลดสัญญาณลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจะลดลงในอัตราคงที่ค่าหนึ่ง ขั้นตอนการคำนวณวงจรกรองความถี่ต่ำ สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านก็คือ ค่าความถี่คัตออฟ ω_c ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งความถี่คัตออฟหาได้จากสมการ

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c \quad (2.4)$$

โดยที่ ω_c มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

f_c มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

R มีหน่วยเป็น โอห์ม (W)

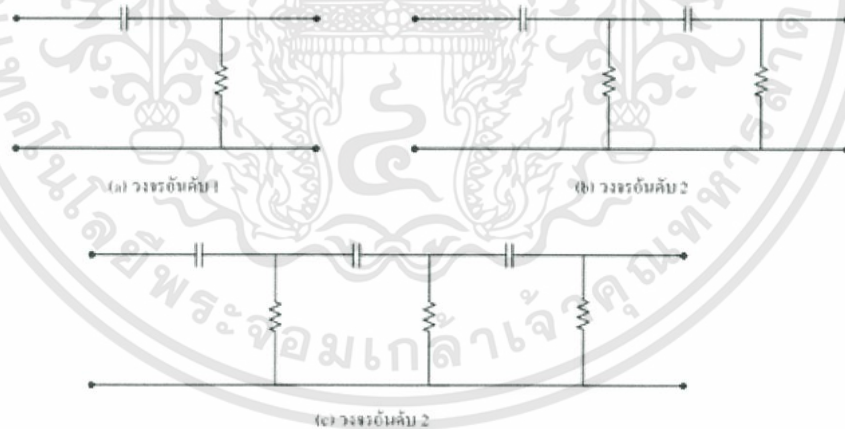
C มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)

ในทำนองเดียวกันเมื่อกำหนด ω_c ไว้แล้ว ต้องการจะหาค่า R ก็จะได้เป็น

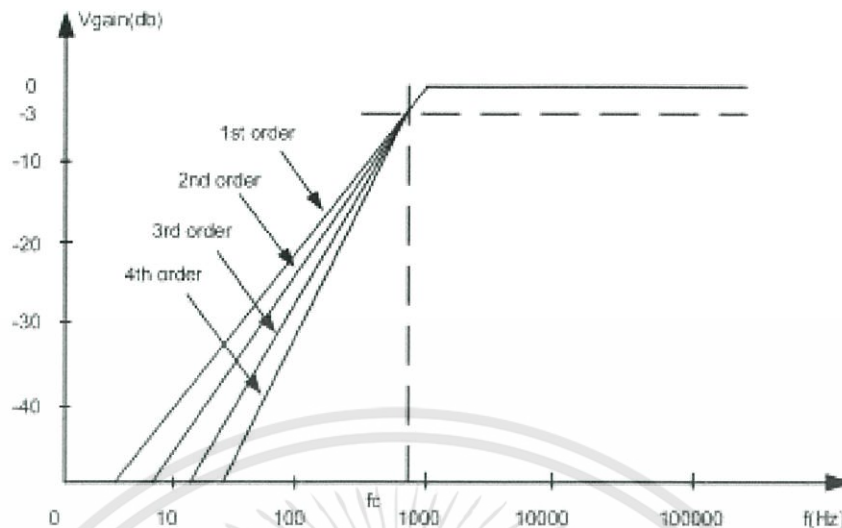
$$R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{2\pi f_c C} \quad (2.5)$$

2.7.5.2.2 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter: HPF)

มีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ คือการตอบสนองต่อสัญญาณของวงจรจะยอมให้สัญญาณความถี่สูงผ่านและลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งแสดงวงจรและกราฟตอบสนองอัตราขยายแรงดันความถี่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



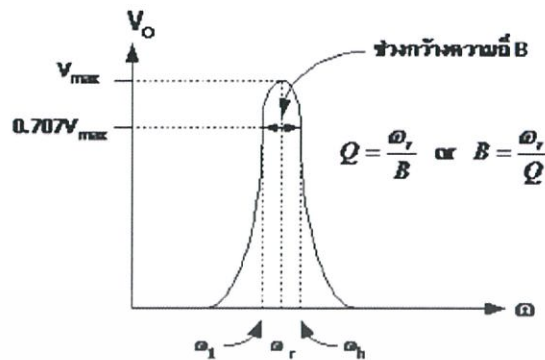
รูปที่ 2.17 วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงอันดับต่างๆ และกราฟแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราขยายเชิงความถี่

จากรูปจะเห็นว่า C ต่ออนุกรมกับวงจร ส่วน R ต่อขนานกับวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำกว่าเข้ามา C จะมีค่า X_C สูง ทำให้สัญญาณผ่านไปได้น้อย ทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจาก C ลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น C จะมีค่า X_C ลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลงเพราะมี R กันไว้ สัญญาณที่ออกไปยัง Output จะมีมากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7% ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เราเรียกว่า ช่วงความถี่ Cut off เมื่อความถี่สูงกว่า ความถี่ นี้ C จะยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกและค่า R จะต้านสัญญาณไม่ให้ลงกราวด์ ความถี่จึงผ่านไปที่จุด Output ได้ทั้งหมด

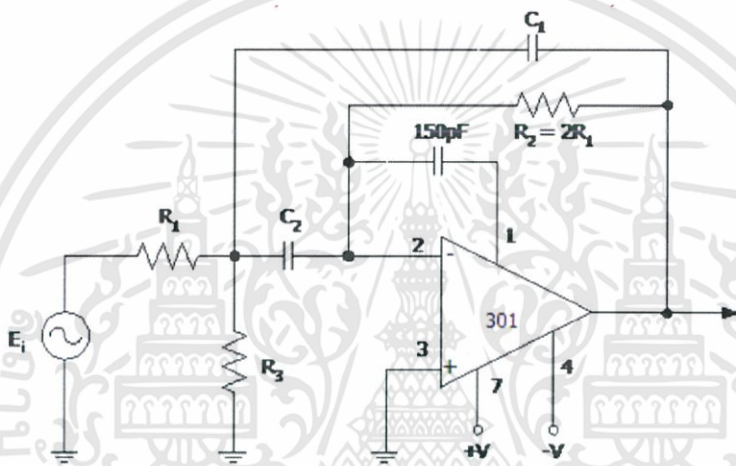
ขั้นตอนการคำนวณของวงจรกรองความถี่สูงจะมีหลักการคำนวณเช่นเดียวกับวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

2.7.5.2.3 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ (Band Pass Filter: BPF)

เนื่องจากเป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับการนำเอาวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ และความถี่สูง มาต่อร่วมกัน (Cascade) ดังนั้น วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วง จะยอมให้สัญญาณผ่านไปเฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัดโดยการลดทอนให้หมดไป



(ก) กราฟที่การตอบสนองของแอมพลิจูดของวงจรความถี่ห้ำนเฉพาะช่วง



(ข) อักษรและการต่อวงจรของแอมพลิจูดความถี่ห้ำนเฉพาะช่วง

รูปที่ 2.18 วงจรกรองสัญญาณช่วงความถี่ และกราฟแสดงผลตอบสนอง อัตราขยายเชิงความถี่

รูปที่ 2.18 แสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรแบบนี้ ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด V_{max} จะปรากฏขึ้นเฉพาะบางช่วงของความถี่เท่านั้น เรียกว่า ความถี่เรโซแนนต์ (resonant frequency) แทนได้ด้วย ω_r ตำแหน่งของความถี่ที่มีค่าแรงดันลดลงเป็น $0.707 V_{max}$ จะมีอยู่ 2 ความถี่คือ ความถี่ที่สูงกว่า ω_r ค่าหนึ่ง และที่ต่ำกว่า ω_r อีกค่าหนึ่งเรียกความถี่ที่ $V_o = 0.707 V_{max}$ ที่สูงกว่า ω_r นี้ว่า ความถี่คัตออฟช่วงสูง (high cutoff frequency) แทนด้วย ω_h และความถี่ที่ต่ำกว่า ω_r ว่า ความถี่คัตออฟช่วงต่ำ (low cutoff frequency) แทนได้ด้วย ω_l

จากความถี่ทั้งสอง เราจะได้ช่วงกว้างความถี่ B เป็น

$$B = \omega_h - \omega_l \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ (narrow Band) และชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงกว้าง (wide band) สำหรับวิธีการกำหนดว่าวงจรชนิดใดเป็นชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบหรือช่วงกว้างนั้น กำหนดได้ดังนี้ถ้ามีช่วงกว้างความถี่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B < 0.1 \omega_r$) เราจะเรียกว่าวงจรชนิดที่ยอมให้ผ่านได้ในช่วงแคบ ถ้ามีช่วงกว้างความถี่มากกว่าหนึ่งในสิบของความถี่เรโซแนนต์ ($B > 0.1\omega_r$) เราจะเรียกว่า วงจรชนิดที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงกว้าง

ในวงจรแบบเลือกความถี่ผ่านนี้จะมีอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนต์และช่วงกว้างความถี่เรียกว่า คิวลิทีแฟกเตอร์ (quality factor) แทนได้ด้วย Q ค่า Q นี้เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ใช้งาน ยิ่งค่า Q มีค่าสูงมากขึ้นเท่าใด วงจรก็ยิ่งมีความสามารถในการเลือกความถี่ได้ดีมากขึ้นเท่านั้น ค่า Q แสดงได้ดังในสมการ

$$Q = \frac{\omega_r}{B} \quad (2.7)$$

หรือ

$$B = \frac{\omega_r}{Q} \text{ rad/s} \quad (2.8)$$

โดยที่ B มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที สำหรับวงจรในแบบที่ยอมให้ความถี่ผ่านได้ในช่วงแคบ ๆ นั้นจะมีค่า Q ที่สูงมากกว่า 10 และ ในวงจรผ่านแบบช่วงกว้างจะมีค่า Q น้อยกว่า 10

สรุป	ช่วงความถี่แคบคือ	มีค่า $B < 0.01$; $Q > 10$
	ช่วงความถี่กว้างคือ	มีค่า $B > 0.01$; $Q < 10$

2.7.5.2.3.1 วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วงแคบผ่าน

ขั้นแรกในการออกแบบวงจรต้องกำหนดค่าของช่วงกว้างความถี่ B ที่จะใช้งาน และค่านวนค่า Q ของวงจรเสีย ก่อน โดยค่านวน ได้จากสมการที่ (2.7) (หรืออาจกำหนดค่า Q และค่านวนค่า B ก็ได้) หลังจากนั้นจึงจะเป็นการเลือกและค่านวนค่าของอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่น ๆ ขั้นตอนในการพิจารณาต่อไป เพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาจะกำหนดให้ $A_r=1$ เลือก $C_1 = C_2 = C$ ให้มีค่าที่เหมาะสม ต่อจากนั้นก็ค่านวนค่า R_1 , R_2 และ R_3 โดยได้จากสมการ

$$R_2 = \frac{2}{BC} \quad (2.9)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{2} \quad (2.10)$$

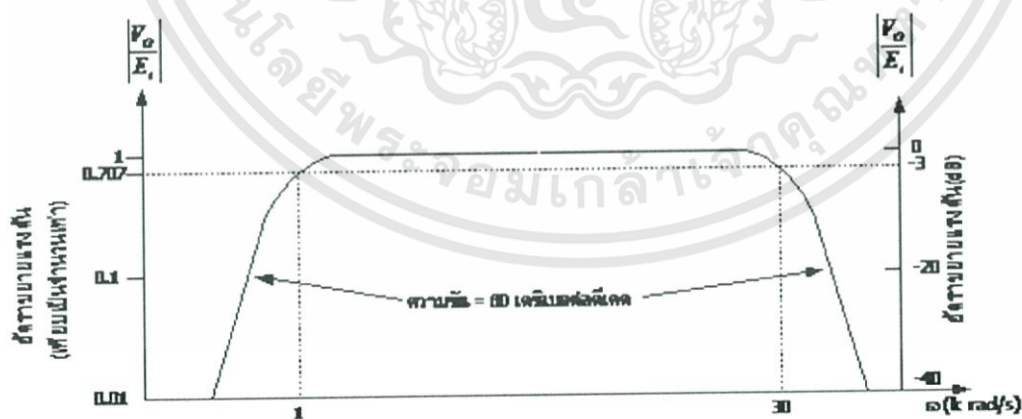
$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2 - 2} = \frac{R_2}{4Q^2} \quad (2.11)$$

B ในสมการที่ (2.9) มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

2.7.5.2.3.2 วงจรกรองความถี่ผ่านในช่วงกว้าง

วงจรใช้งานสามารถใช้เป็นวงจรเดียวกับ วงจรกรองความถี่แบบผ่านในช่วงแคบได้ ดังในรูปที่ 2.18 (ข) โดยเลือกให้ Q มีค่าน้อยกว่า 10 ($Q < 10$) การคำนวณค่าของอุปกรณ์จะเหมือนกับในหัวข้อที่แล้ว คือใช้สมการที่ (2.9) ถึงสมการที่ (2.11) ได้ (เฉพาะในกรณีที่ $4Q^2 > 2$ เท่านั้น)

มีแนวความคิดบางอย่างเกี่ยวกับวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงนี้ว่า วงจรชนิดนี้สามารถสร้างได้จากการนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำมาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูง ตัวอย่างเช่น นำวงจรกรองความถี่ต่ำ แบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคด มาต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่สูงดังรูปที่ 1 ซึ่งจะให้ผลตอบสนองทางความถี่ดังในรูปที่ 2 ถึงแม้ว่าวงจรใหม่ที่สร้างขึ้น จะต้องใช้อุปกรณ์ถึง 4 ตัวก็ตาม แต่ก็มีข้อดีอยู่คือ จะให้อัตราความชันสูงถึง 60 เดซิเบลต่อดีเคดเลยทีเดียวทั้งในคัตออฟช่วงความถี่ต่ำ ช่วงความถี่สูง และมีอัตราขยายเป็น 1 ตลอดในความถี่ช่วงผ่าน



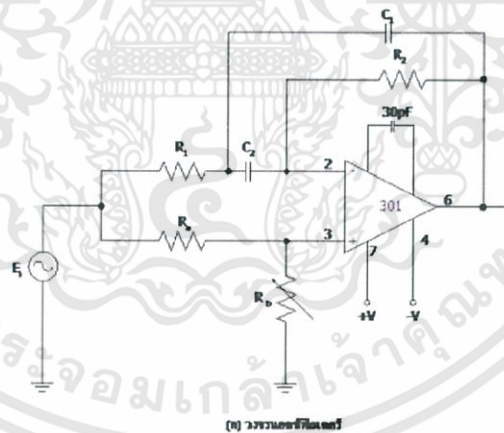
รูปที่ 2.19 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ ของวงจรผสมที่เกิดจากการเอาวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่ให้ค่า -60 เดซิเบลต่อดีเคด กับวงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบให้ค่า 60 เดซิเบลต่อดีเคด มาต่อรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

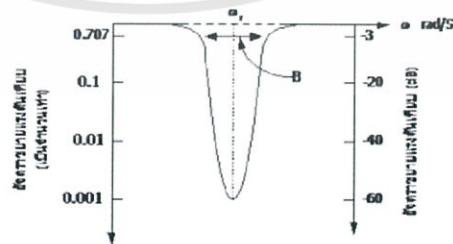
การนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำและความถี่สูงมาต่อรวมกัน เพื่อให้ได้วงจรกรองความถี่เฉพาะช่วง แบบนี้มีข้อน่าสังเกตว่า ในการนำมาต่อรวมกันนั้น สามารถสลับตำแหน่งกันระหว่างวงจรทั้งสองได้ ซึ่งได้ผลการทำงานเหมือนกัน ข้อสำคัญคือว่า ต้องเลือกความถี่คutoffให้ถูกต้องตามที่ต้องการเท่านั้น

2.7.5.2.4 วงจรตัดแถบความถี่ (Notch filter หรือ Band Eliminate filter , BEF)

เป็นวงจรที่กำจัดความถี่บางช่วงออกไปบางครั้งเราเรียกว่า นอตช์ฟิลเตอร์ (notch filter) ตัวอย่างของวงจรแสดงได้ในรูปที่ 2.20 ซึ่งจะให้ผลตอบสนองทางความถี่ดังในรูปที่ 2.20 จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า มีความถี่ช่วงผ่านอยู่สองช่วงทั้งซ้ายและขวา และมีความถี่ที่อยู่ตรงกลางถูกกำจัดหายไปความถี่นี้เราจะเรียกว่า ความถี่เรโซแนนต์ (ω_r) เช่นเดียวกัน วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเฉพาะช่วงตัวอย่าง ของวงจรประเภทนี้ได้แก่ การกำจัดความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ หรือ 400kเฮิร์ตซ์ในการใช้งานมอเตอร์เจเนอเรเตอร์ เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เป็นต้นการคำนวณและออกแบบวงจรก็เช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ผ่านเฉพาะช่วงคือ ต้องนำเอาช่วงกว้างความถี่ B และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ Q มาคิดร่วมกับ ω_r ด้วย



(ก) วงจรคัทแบนด์



(ข) การตอบสนองทางความถี่ของวงจร

รูปที่ 2.20 แสดงวงจรลดทอนสัญญาณช่วงความถี่และผลตอบสนองต่อความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบ

1. กำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ และเลือกค่าที่จะใช้ โดยควรมีค่าอยู่ระหว่าง 100 พิโกฟารัด ถึง 0.1 ไมโครฟารัด

2. คำนวณ R_2 จากสมการ

$$R_2 = \frac{2}{BC} \quad (2.12)$$

เมื่อ B มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

3. คำนวณ R_1 จากสมการ

$$R_1 = \frac{R_2}{4Q^2} \quad (2.13)$$

4. เลือก R_a ให้มีค่าเหมาะสมควรมีค่าประมาณ 1 กิโลโอห์ม

5. คำนวณ R_b จากสมการ

$$R_b = 2Q^2 R_a \quad (2.14)$$

2.7.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิพจะมีหน่วยความจำ, Port อยู่ในชิพเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องวางจรรยาภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโพรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุท/เอาต์พุทบางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น

-หน่วยประมวลผลกลาง(Central Processing Unit : CPU) เป็นอุปกรณ์ ที่มี ความสำคัญมากที่สุด ของฮาร์ดแวร์เพราะมีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อน เข้ามา ทางอุปกรณ์อินพุต ตามชุดคำสั่งหรือโปรแกรมที่ผู้ใช้ต้องการใช้งาน หน่วยประมวลผลกลาง

-หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้ สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่อง คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนั้นจะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่ง คือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระตาดาชทดในการคำนวณของ ซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับ หน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มี ไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่ง สามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

-ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการ เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อ รับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อ แสดงผลเช่นการติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

-ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณ ข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

ส่วนพิเศษอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละบริษัทที่จะผลิตขึ้นมา ใส่ คุณสมบัติพิเศษลงไปเช่น

- ADC (Analog to Digital) ส่วนภาครับสัญญาณอนาล็อกแปลงไปเป็นสัญญาณ ดิจิตอล

- DAC (Digital to Analog) ส่วนภาคส่งสัญญาณดิจิตอลแปลงไปเป็นสัญญาณ อนาล็อก

- I2C (Inter Integrate Circuit Bus) เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถ เชื่อมต่อ อุปกรณ์ จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ทำให้MCUใช้พอร์ตเพียง2พอร์ตเท่านั้น

- SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูล แบบซิงโครนัส(Synchronize)มีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาเกี่ยวข้องกับระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ SPI อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) โดยปกติแล้วจะเป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ Master จะต้องควบคุมอุปกรณ์ Slave ได้ โดยปกติตัว Slave มักจะเป็นไอซี (IC) หน้าที่พิเศษต่างๆ เช่น ไอซีอุณหภูมิ, ไอซีฐานเวลานาฬิกาจริง (Real-Time Clock) หรืออาจเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ในโหมด Slave ก็ได้เช่นกัน

- PWM (Pulse Width Modulation) การสร้างสัญญาณพัลส์แบบสแควร์เวฟ ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และ Duty Cycle ได้เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์
- UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสสำหรับมาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบ RS-232

การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งานนั้น เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์โดยตรง ต้องมีความรู้พื้นฐานในเรื่องอิเล็กทรอนิกส์และการเขียนโปรแกรมด้วย เช่น ภาษาซี , ภาษาเบสิก , ภาษาปาสคาล เป็นต้น หรือถ้าจะให้รู้ลึกถึงภาษาแอสเซมบลีหรือภาษานามอนิกส์ได้ละเอียดดีมาก เพราะการจะพัฒนาโปรแกรมต้องเข้าใจโครงสร้างอย่างละเอียดของ ไมโครคอนโทรลเลอร์และภาษานามอนิกส์ที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลนั้นด้วย ซึ่งในแต่ละตระกูลคำสั่งในการประมวลผลบางคำสั่งก็แตกต่างกันรูปแบบใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น อธิบายคร่าวๆ ได้ดังนี้

- เขียนโปรแกรม และบันทึก
- คอมไพล์(แปลภาษา)โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาให้เป็นภาษา ไมโครคอนโทรลเลอร์
- โหลดข้อมูลลงไมโครคอนโทรลเลอร์
- นำไมโครคอนโทรลเลอร์ทดสอบการทำงาน
- เมื่อทดสอบผ่าน นำไปใช้งานตามที่ออกแบบไว้

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็น การนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ (Embedded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงาน บางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์, เต้าอบไมโครเวฟ, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้งานควบคุมหลายประการ เช่น

- ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
- ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโพรเซสเซอร์
- วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อยช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
- มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
- ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

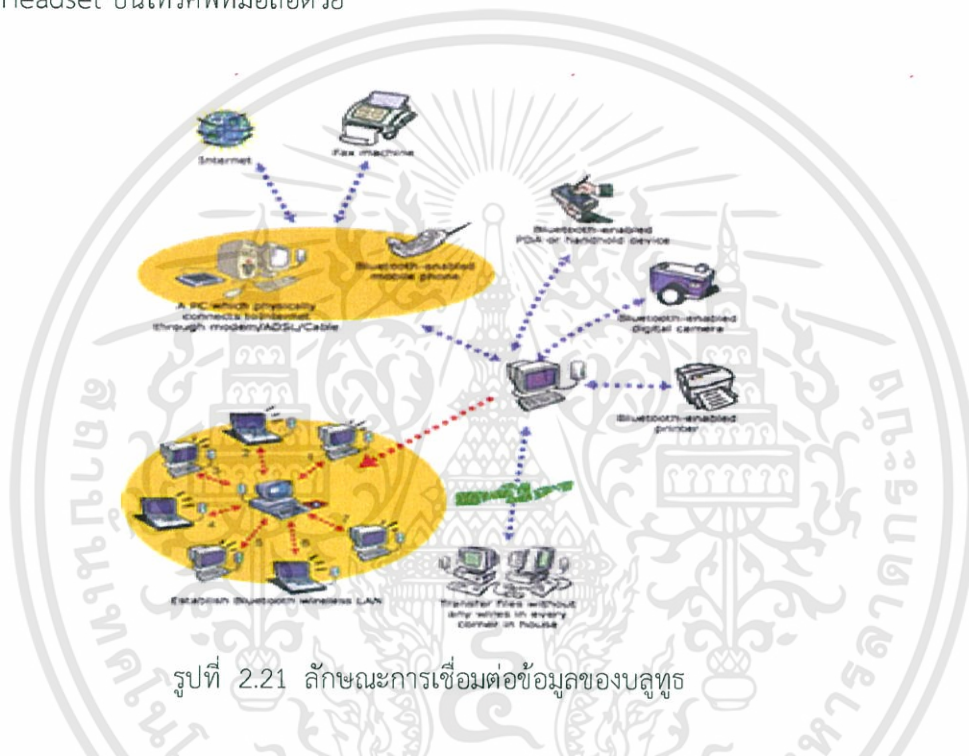
ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.7 บลูทูธ(BLUETOOTH)

บลูทูธ คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ และไม่จำเป็นต้องใช้การเดินสายแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด

บลูทูธ มีความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับอุปกรณ์ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ และในการวิจัย ไม่ได้มุ่งเฉพาะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงการส่งข้อมูลที่เป็นเสียง เพื่อใช้สำหรับ Headset บนโทรศัพท์มือถือด้วย



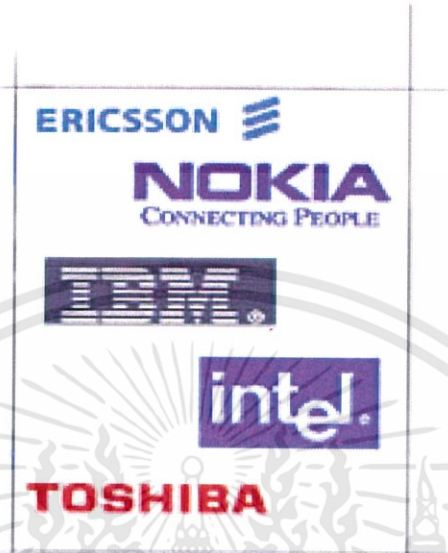
2.7.7.1 การกำเนิดบลูทูธ

ปี 1994 บริษัท อีริคสัน โมบาย คอมมูนิเคชั่น เริ่มต้นที่จะค้นคว้าวิจัยความเป็นไปได้ในการนำคลื่นสัญญาณวิทยุ มาใช้ระหว่างโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ต่างๆ และเป็นผู้นำชื่อ Bluetooth มาใช้

ปี 1998 กลุ่มผู้พัฒนาวิจัยระบบ Bluetooth ได้ถูกก่อตั้งขึ้น โดยเกิดจากการรวมตัวของบริษัทยักษ์ใหญ่อย่าง Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba และ Intel ในกลุ่มที่ใช้ชื่อว่า Special Interest Group (SIG) ซึ่งในกลุ่มจะประกอบด้วย กลุ่มผู้นำทางด้านโทรศัพท์มือถือ, คอมพิวเตอร์ ฯลฯ ซึ่งกลุ่มเหล่านี้ได้ประเมินว่า ภายในปี 2002 ในอุปกรณ์การสื่อสาร, เครื่องใช้, คอมพิวเตอร์ จะถูกติดตั้ง Bluetooth ที่จะใช้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ อย่างแพร่หลายโดยในปีเดียวกัน บริษัทเหล่านี้ได้ประกาศ การรวมตัวกัน และเชิญชวนบริษัทอื่นๆ ให้เข้าร่วม ในลักษณะของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ โดยในปี 1999 ได้ทำการเผยแพร่ Bluetooth specification Version 1.0 และได้สมาชิกเพิ่มขึ้น ดังนี้ Microsoft, Lucent, 3Com, Motorola



รูปที่ 2.22 กลุ่มบริษัทที่พัฒนาวิจัยระบบบลูทูธ (SIG)

2.7.7.2 การทำงานของบลูทูธ

บลูทูธ จะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz. (กิกกะเฮิรตซ์) แต่จะแยกย่อยออกไป ตามแต่ละประเทศ อย่างในแถบยุโรปและอเมริกา จะใช้ช่วง 2.400 ถึง 2.4835 GHz. แบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ เพื่อส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ส่วนที่ญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz. แบ่งออกเป็น 23 ช่อง ระยะทำการของ Bluetooth จะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และ ป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสาร โดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมา จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น โดยหลักของบลูทูธจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากใช้การขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มาก อย่างเช่น ไฟล์ภาพ, เสียง, แอปพลิเคชันต่างๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น (ประมาณ 5-10 เมตร) นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อย และสามารถใช้งานได้นาน โดยไม่ต้องนำไปชาร์จไฟบ่อยๆ ด้วย

ส่วนความสามารถการส่งถ่ายข้อมูลของ Bluetooth จะอยู่ที่ 1 Mbps (1 เมกกะบิตต่อวินาที) และคงจะไม่มีปัญหาอะไรมากกับขนาดของไฟล์ที่ใช้กันบนโทรศัพท์มือถือ หรือ การใช้งานแบบทั่วไป ซึ่งถือว่าเหลือเฟือมาก แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ล่ะก็ คงจะช้าเกินไป และถ้าถูกนำไปเปรียบเทียบกับ Wireless LAN (WLAN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว ความสามารถของ Bluetooth คงจะห่างชั้นกันเยอะ ซึ่งในส่วนของ WLAN ก็ยังมีระยะเวลาการรับ-ส่งที่ไกลกว่า แต่ขอได้เปรียบของ Bluetooth จะอยู่ที่ขนาดเล็กกว่า การติดตั้งทำได้ง่ายกว่า และที่สำคัญ การใช้พลังงานก็น้อยกว่ามาก อยู่ที่ 0.1 วัตต์ หากเทียบกับคลื่นมือถือแล้ว ยังห่างกันอยู่หลายเท่าเหมือนกันครับ

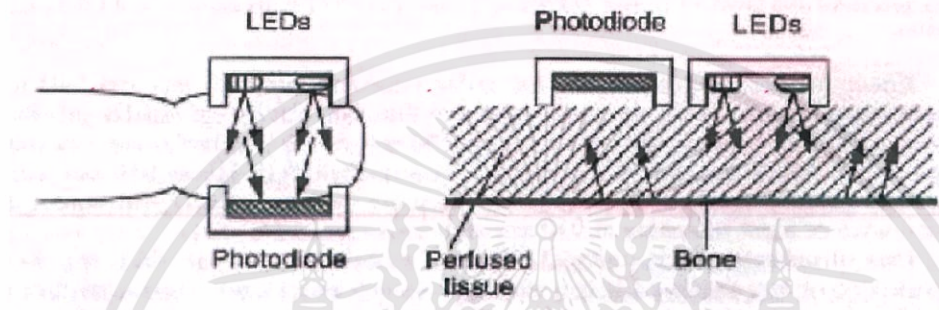
เทคโนโลยีการเชื่อมโยงหรือการสื่อสารแบบใหม่ที่ถูกคิดค้นขึ้น เป็นเทคโนโลยีของอินเทอร์เน็ตเฟซทางคลื่นวิทยุ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสื่อสารระยะใกล้ที่ปลอดภัยผ่านช่องสัญญาณความถี่ 2.4 GHz โดยที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของการใช้สายเคเบิลในการเชื่อมโยงโดยมีความเร็วในการเชื่อมโยงสูงสุดที่ 1 MBP ระยะครอบคลุม 10 เมตร เทคโนโลยีการส่งคลื่นวิทยุของบลูทูธจะใช้การกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency hop) เพราะเทคโนโลยีนี้เหมาะที่จะใช้กับการส่งคลื่นวิทยุที่มีกำลังส่งต่ำและราคาถูก โดยจะแบ่งออกเป็นหลายช่องความถี่ขนาดเล็กในระหว่างที่มีการเปลี่ยนช่องความถี่ที่ไม่แน่นอนทำให้สามารถหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนที่เข้ามาแทรกแซงได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่จะได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีบลูทูธ ต้องผ่านการทดสอบจาก Bluetooth SIG (Special Interest Group) เสียก่อน เพื่อยืนยันว่ามันสามารถที่จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่นๆ และอินเทอร์เน็ตได้

บลูทูธ เป็นเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบไร้สายที่น่าจับตามองเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน ทั้งในเรื่องความสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ใช้ทั่วไป และประสิทธิภาพในการทำงาน เนื่องจาก เทคโนโลยี บลูทูธ มีราคาถูก ใช้พลังงานน้อย และใช้เทคโนโลยี short – range ซึ่งในอนาคต จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนา เพื่อนำไปสู่การแทนที่อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สายเคเบิล เช่น Headset สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

บทที่ 3

การออกแบบวงจรและการทำงาน

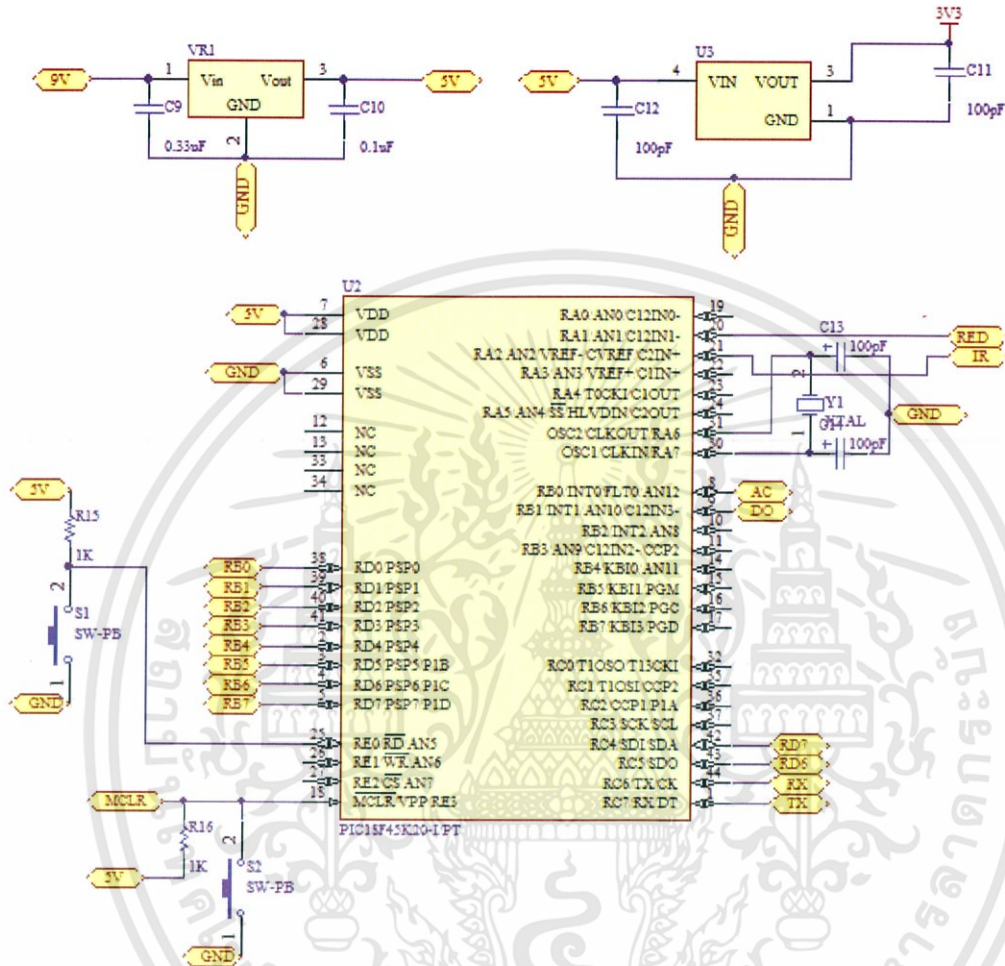
3.1 เซนเซอร์ (Sensor)



รูปที่ 3.1 การวางรูปแบบของตัว PhotoDiode และหลอด LED IR

ในการตรวจวัดค่าของปริมาณออกซิเจนในเลือดเราจะมีวางรูปแบบของตัว PhotoDiode ซึ่งเป็น PhotoSensor และหลอด LED IR ซึ่งจะส่องมาลงที่นิ้วของเรา ตามรูปที่แสดง ด้านบน เมื่อเราทำการตรวจวัดค่าของปริมาณออกซิเจนในเลือดได้เราก็จะส่งค่าไปยังวงจรกรองความถี่และวงจรขยายสัญญาณวงจร

3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

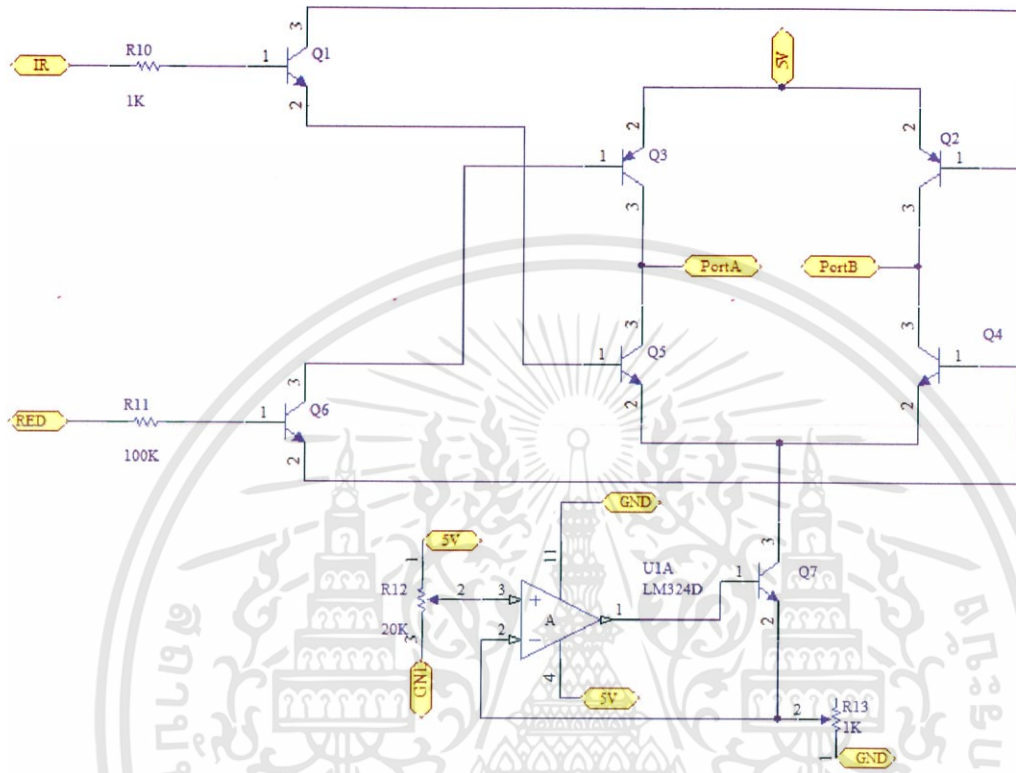


รูปที่ 3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC18f452 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่ในการรับค่าที่ได้จากการทดลอง นำมาคำนวณหาค่าปริมาณออกซิเจนในเลือด และ อัตราการเต้นของหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

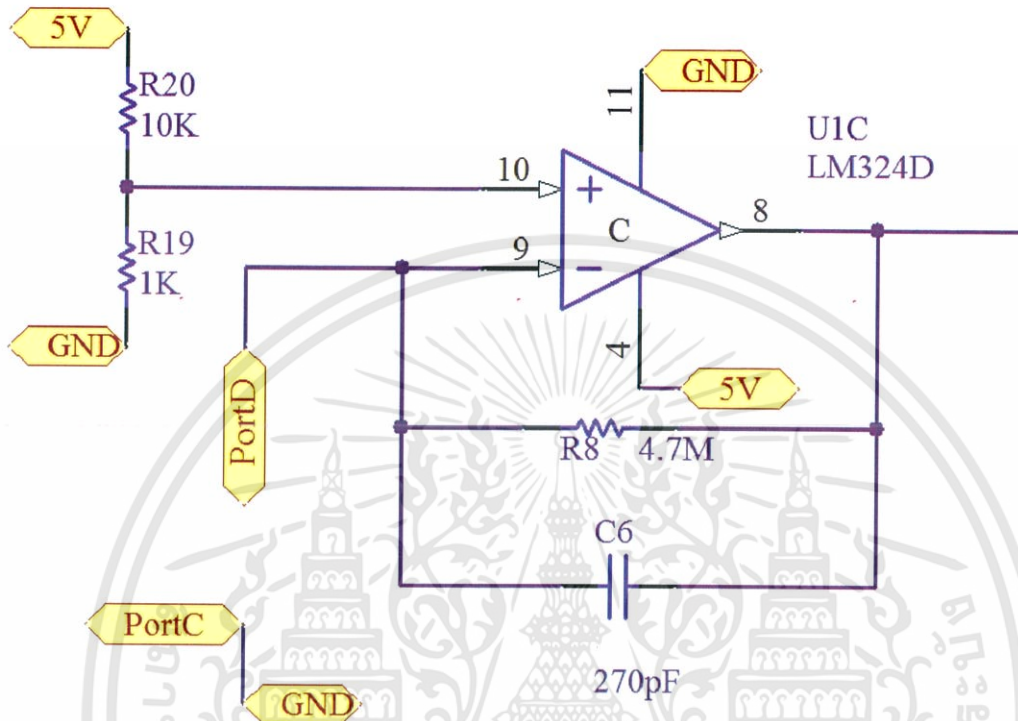
3.3 วงจรเฮสบริท



รูปที่ 3.3 วงจรเฮสบริท

วงจร H bridge เป็นวงจรที่ช่วยสลับการทำงานระหว่าง LED กับ IR โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อ PIC จ่ายแรงดันเข้าที่ขา MCU ทำให้ ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานมีผลทำให้ ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q5 ทำงาน จะทำให้ IR ทำงาน ในทางกลับกัน ทรานซิสเตอร์ Q6 ทำงานมีผลทำให้ ทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 ทำงาน จะทำให้ RED ทำงาน และ ในส่วนท้ายของวงจรมีวงจรลิมิตกระแสเพื่อป้องกันการ ทำงานที่มากเกินไปจะส่งผลให้วงจรส่วนอื่นๆเกิดความเสียหายได้

3.4 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน



รูปที่ 3.4 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

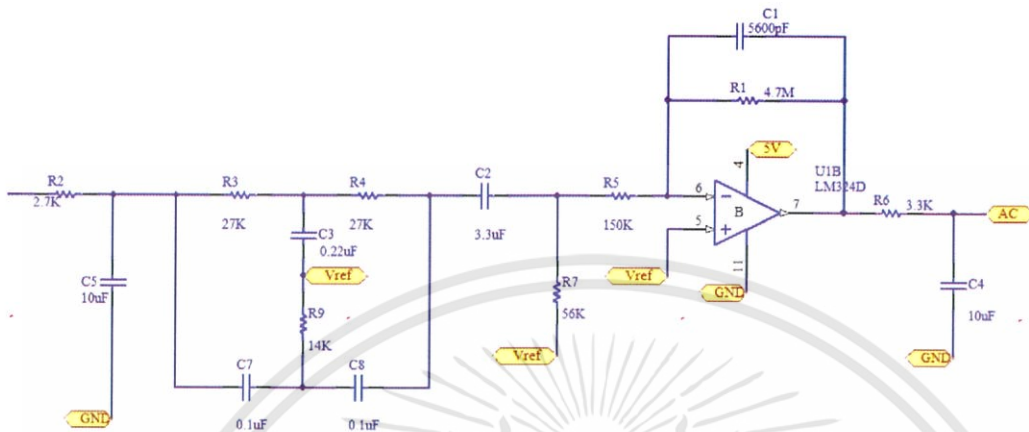
วงจรเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสที่ได้จากความเข้มแสงที่ตกกระทบที่โฟโตไดโอด จะเปลี่ยนปริมาณกระแสให้เป็นสัดส่วนกับแรงดัน โดยอาศัย input impedance ของ OP-Amp ที่มีค่ามาก กระแส I จะไหลผ่าน R_f จากสูตรคำนวณ

$$V_o = -R_f I_s$$

(3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรกรองความถี่และขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่และขยายสัญญาณ

วงจรกรองสัญญาณภาคแรกจะเป็น วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยตัดความถี่ที่มีค่ามากกว่า 6 Hz ออกไปจากสัญญาณ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$F_{\text{low}} = \frac{1}{2\pi \times R \times C} = \frac{1}{2\pi \times 2.7\text{K} \times 10\mu\text{F}} = 5.89 \cong 6 \text{ Hz} \quad (3.2)$$

วงจรกรองสัญญาณภาคที่สองจะเป็น วงจร notch filter โดยตัดความถี่ที่มีค่าเท่ากับ 60 Hz ออกไปจากสัญญาณ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$F_{\text{notch}} = \frac{1}{2\pi \times R_9 \times C_4} = \frac{1}{2\pi \times 27\text{K} \times 0.1\mu\text{F}} = 58.9 \cong 60 \text{ Hz} \quad (3.3)$$

$$R_9 = R_{10} = 2R_{11} \quad (3.4)$$

$$C_4 = C_5 = \frac{C_3}{2} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองสัญญาณภาคที่สามจะเป็น วงจรกรองความถี่สูงผ่าน โดยตัดความถี่ที่มีค่าน้อยกว่า 0.8 Hz ออกไปจากสัญญาณ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$F_{\text{high}} = \frac{1}{2\pi \times R_1 \times C_1} = \frac{1}{2\pi \times 56\text{K} \times 3.3\mu\text{F}} = 0.8 \text{ Hz} \quad (3.6)$$

วงจรขยายสัญญาณเป็นแบบ Inverting Amp โดยจะขยายสัญญาณด้วยอัตราขยาย เท่ากับ 36 ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$A = \frac{R_B}{R_A} \quad (3.7)$$

วงจรส่วนสุดท้ายเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะตัดความถี่ที่มีค่ามากกว่า 4.82 Hz ออกไปจากสัญญาณ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

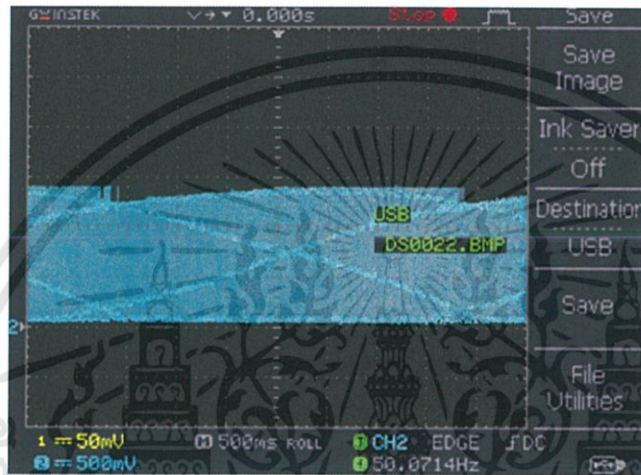
$$F_{\text{low}} = \frac{1}{2\pi \times R_{19} \times C_{14}} = \frac{1}{2\pi \times 3.3\text{K} \times 10\mu\text{F}} = 4.82 \text{ Hz} \quad (3.8)$$



บทที่ 4

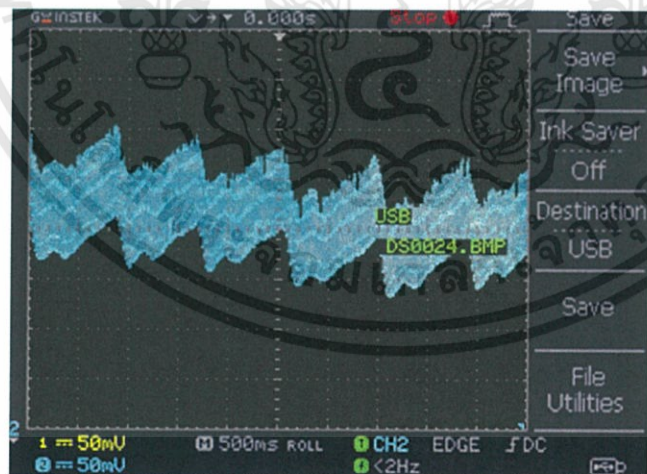
ผลการทดลอง

4.1 กราฟแสดงผลการทดลองของวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน



รูปที่ 4.1 กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

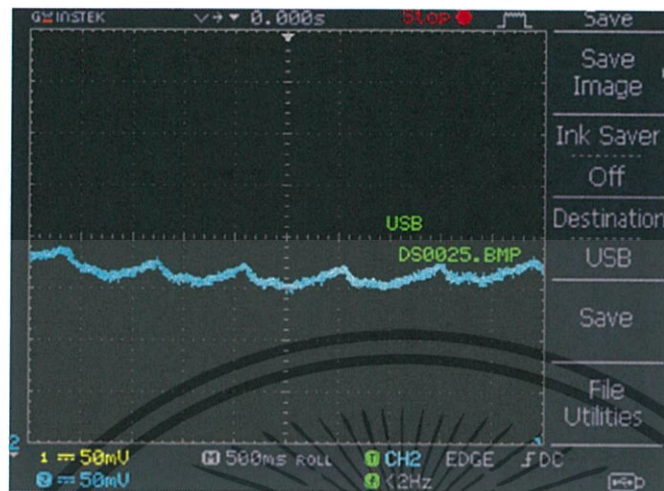
4.2 กราฟแสดงผลการทดลองที่ผ่านกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 4.2 กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน $f_c = 6 \text{ Hz}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กราฟแสดงผลการทดลองที่ผ่านนอตช์ฟิลเตอร์



รูปที่ 4.3 กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์ กรองความถี่ที่ 60 Hz

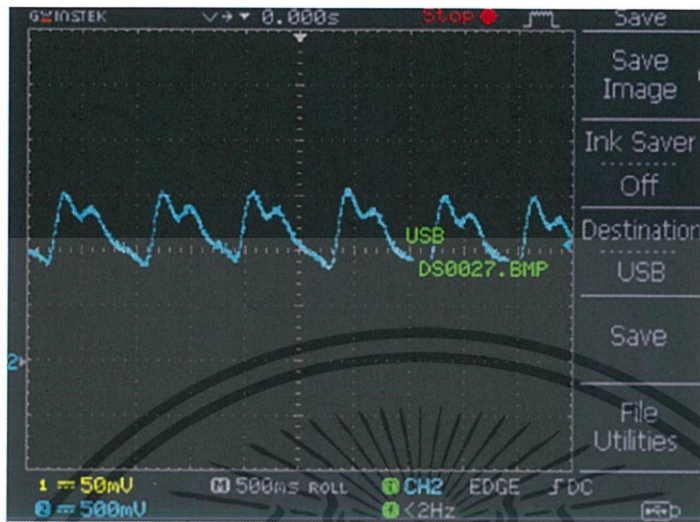
4.4 กราฟแสดงผลการทดลองที่ผ่านกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน



รูปที่ 4.4 กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน $f_c = 0.8 \text{ Hz}$

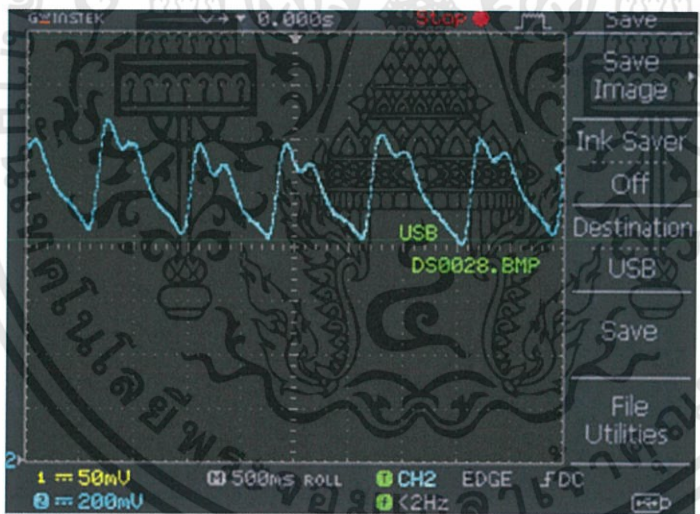
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กราฟแสดงผลการทดลองที่ผ่านกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านและขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.5 กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน $f_c = 6 \text{ Hz}$ และ Gain = 31

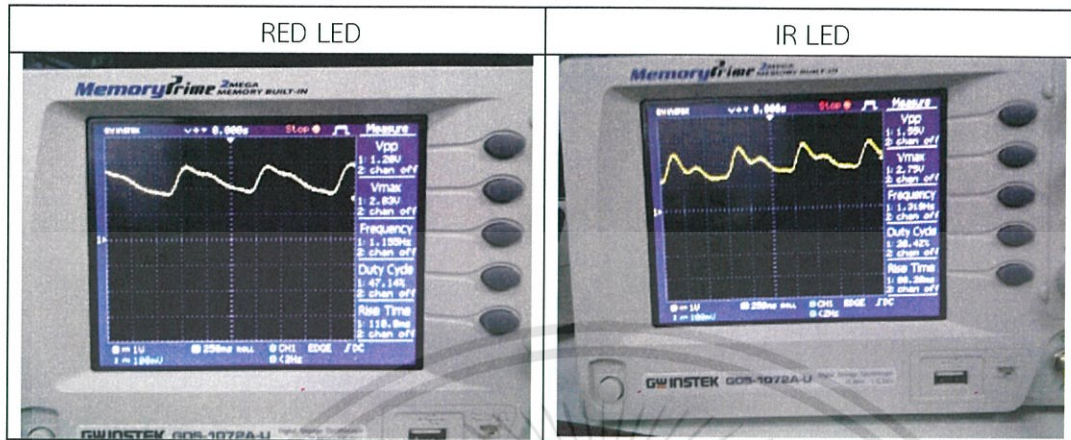
4.6 กราฟแสดงผลการทดลองที่ผ่านกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน



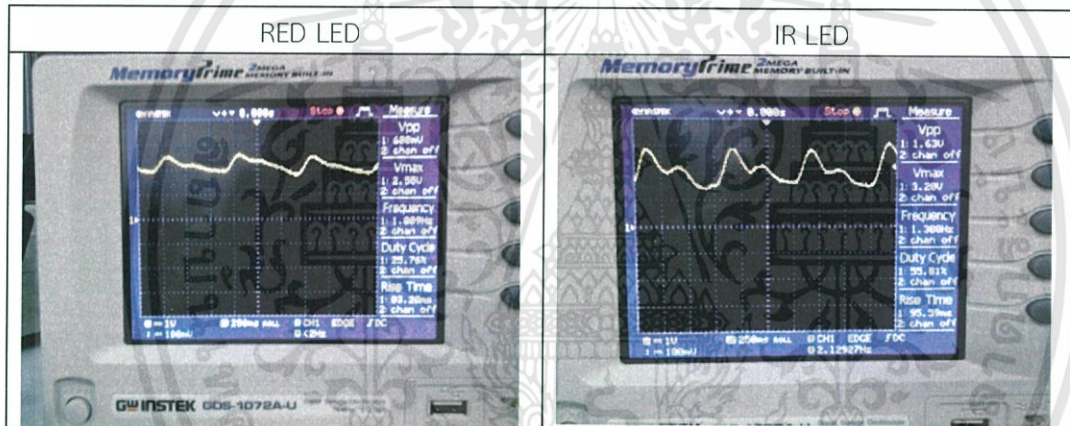
รูปที่ 4.6 กราฟที่ผ่านส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน $f_c = 4.8 \text{ Hz}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

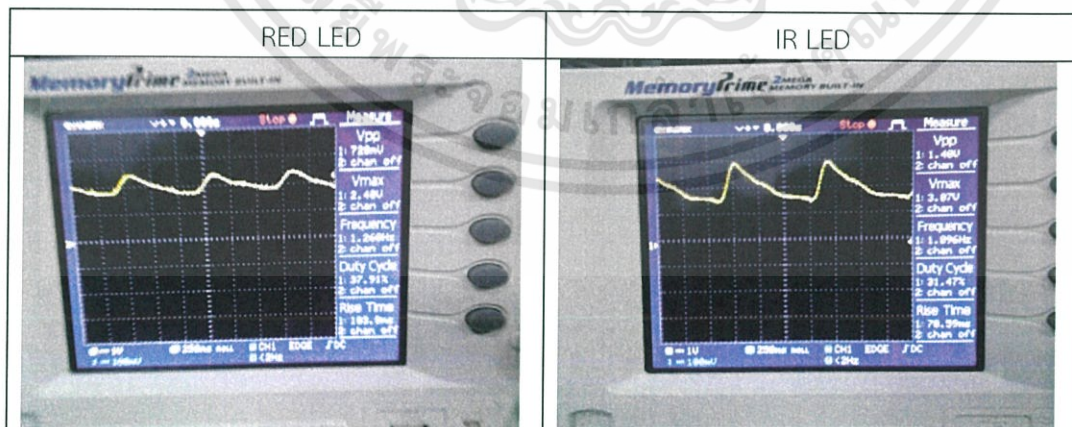
4.7 ผลการวัดของบุคคลที่หนึ่ง



4.8 ผลการวัดของบุคคลที่สอง

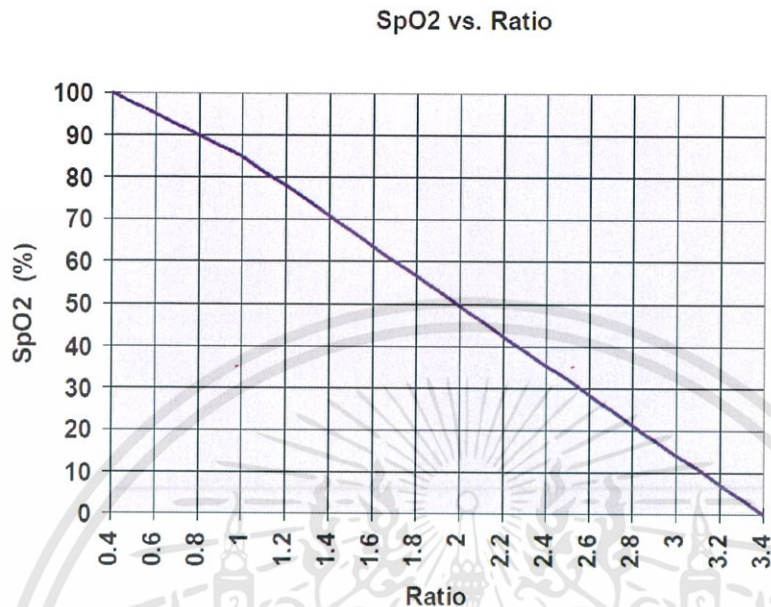


4.9 ผลการวัดของบุคคลที่สาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ผลการคำนวณค่าปริมาณออกซิเจนในเลือด(SpO2)และอัตราการเต้นของหัวใจ



กราฟแสดงอัตราส่วนการดูดซับคลื่นแสง(R)และค่าความอิ่มตัวของฮีโมโกลบิน(SpO2) หลักการคำนวณ

$$\text{อัตราส่วนการดูดซับคลื่นแสง(Ratio)} = \frac{AC(RED)/DC(RED)}{AC(IR)/DC(IR)} \quad (4.1)$$

จากกราฟสามารถคำนวณโดยการประมาณค่าได้ โดยใช้ค่า K หรือ slope ของกราฟ สามารถแบ่งได้เป็นสองกรณี

กรณีที่ 1 Ratio < 1

$$\text{จะได้ สมการประมาณค่า \% SpO2} = 110+K(R) \quad ; K = -25 \quad (4.2)$$

กรณีที่ 2 Ratio > 1

$$\text{จะได้ สมการประมาณค่า \% SpO2} = 120.4+K(R) \quad ; K = -35.4 \quad (4.3)$$

อัตราการเต้นของหัวใจสามารถคำนวณได้จากกราฟ โดยดูค่า 1 คาบเวลาคูณกับค่า TIME/DV และ นำ 60 มหารด้วยค่าเวลาที่คำนวณได้จากกราฟจะได้จำนวนครั้งในการเต้นของหัวใจต่อนาที

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการคำนวณของแต่ละบุคคล

บุคคล	1	2	3
ข้อมูล			
Ratio	0.57	0.35	0.44
%SpO2	95.75	100	99.01
อัตราการเต้นของหัวใจ	74	74	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อทดสอบวงจรการทำงานของเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณความอิมิตัวออกซิเจนในเลือดสรุปได้ว่าเซนเซอร์ที่ใช้วัดคือ LED และ IR สามารถแสดงค่าที่วัดจากตัวตรวจวัด (Probe) ได้

วิจารณ์ผลการทดลอง

วงจรที่ใช้ในการทดลองยังมีส่วนที่ขัดข้องที่ SENSOR เนื่องจากร่างกายของแต่ละคนมีความหนาของผิวหนังที่ไม่เท่ากันทำให้บางครั้งเวลาทำการตรวจวัดแล้วไม่สามารถแสดงผลได้ ตำแหน่งของการวางแขนและตำแหน่งของนิ้วที่ใช้วัดก็มีผลต่อการตรวจวัดของ SENSOR เช่นกัน

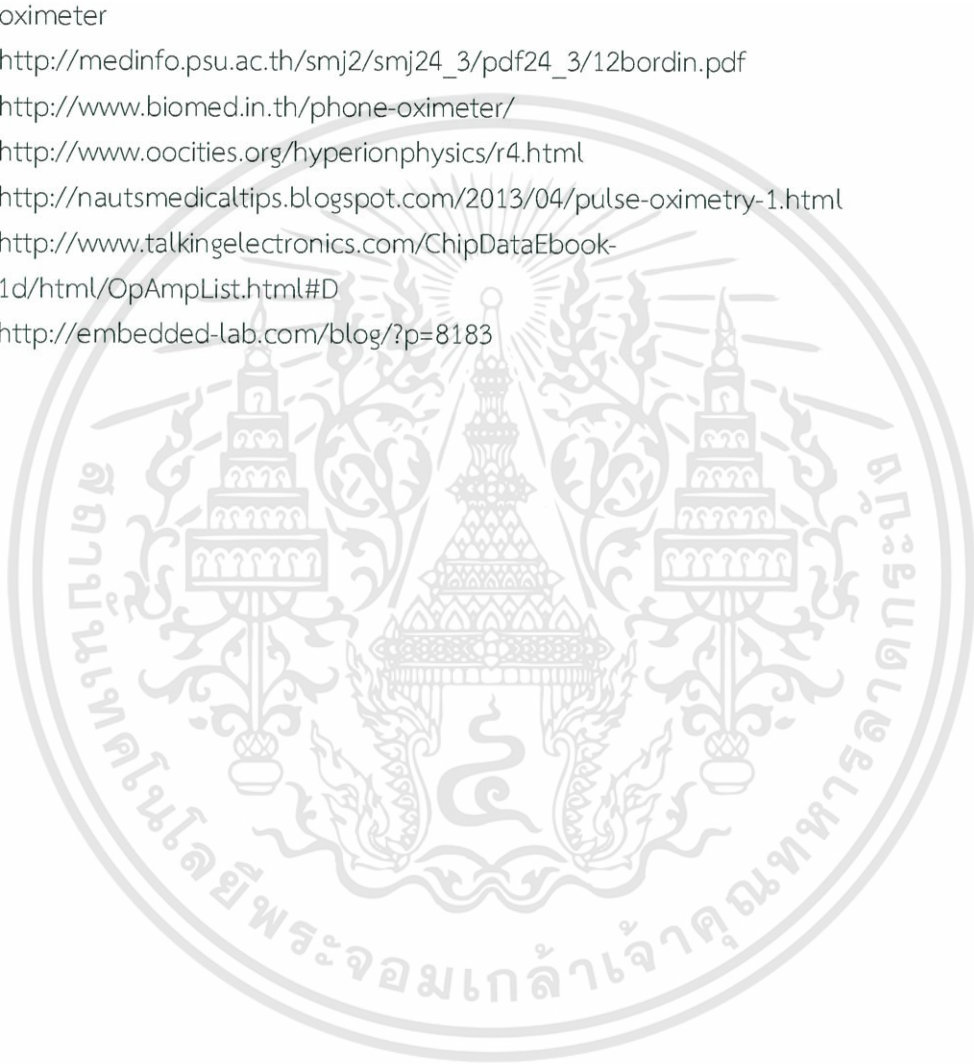
ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไข

การทำงานมีความล่าช้าเนื่องจากผู้จัดทำขาดความชำนาญในการทำ และใช้เวลาในส่วนของ การหาความรู้และการทดสอบวงจรไปเป็นเวลานาน รวมทั้งขาดความชำนาญในการเลือกอุปกรณ์ ที่ให้ค่าที่เหมาะสมกับวงจรที่ต้องการ ทำให้การดำเนินงานในขั้นตอนต่อไปนั้นช้ากว่ากำหนดที่คาดไว้ มากแต่เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาและรุ่นพี่ที่มี ประสบการณ์จึงทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://medinfo2.psu.ac.th/anesth/education/pulseoximeter.html>
- [2] http://www.ses.in.th/index.php?option=com_k2&view=item&id=1:pulse-oximeter
- [3] http://medinfo.psu.ac.th/smj2/smj24_3/pdf24_3/12bordin.pdf
- [4] <http://www.biomed.in.th/phone-oximeter/>
- [5] <http://www.oocities.org/hyperionphysics/r4.html>
- [6] <http://nautsmedicaltips.blogspot.com/2013/04/pulse-oximetry-1.html>
- [7] <http://www.talkingelectronics.com/ChipDataEbook-1d/html/OpAmpList.html#D>
- [8] <http://embedded-lab.com/blog/?p=8183>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 NPN General Purpose Amplifier

Features

- This device is designed as a general purpose amplifier and switch.
- The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.



Absolute Maximum Ratings* $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	200	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Max.			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate above 25°C	5.0	2.8	8.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06".

** Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm².

Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{BL}	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
ON CHARACTERISTICS*					
h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 1.0\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 50\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 100\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$	0.65	0.85 0.95	V V
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS					
f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 20\text{V},$ $f = 100\text{MHz}$	300		MHz
C_{obo}	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{V}, I_E = 0,$ $f = 1.0\text{MHz}$		4.0	pF
C_{ibo}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{V}, I_C = 0,$ $f = 1.0\text{MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{V},$ $R_S = 1.0\text{k}\Omega,$ $f = 10\text{Hz to } 15.7\text{kHz}$		5.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS					
t_d	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{V}, V_{BE} = 0.5\text{V}$		35	ns
t_r	Rise Time	$I_C = 10\text{mA}, I_{B1} = 1.0\text{mA}$		35	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = 3.0\text{V}, I_C = 10\text{mA},$		200	ns
t_f	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{mA}$		50	ns

* Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$ **Ordering Information**

Part Number	Marking	Package	Packing Method	Pack Qty
2N3904BU	2N3904	TO-92	BULK	10000
2N3904TA	2N3904	TO-92	AMMO	2000
2N3904TAR	2N3904	TO-92	AMMO	2000
2N3904TF	2N3904	TO-92	TAPE REEL	2000
2N3904TFR	2N3904	TO-92	TAPE REEL	2000
MMBT3904	1A	SOT-23	TAPE REEL	3000
MMBT3904_D87Z	1A	SOT-23	TAPE REEL	10000
PZT3904	3904	SOT-223	TAPE REEL	2500

2N3906 / MMBT3906 / PZT3906 PNP General Purpose Amplifier

Description

This device is designed for general purpose amplifier and switching applications at collector currents of 10 mA to 100 mA.



Ordering Information

Part Number	Marking	Package	Packing Method	Pack Quantity
2N3906BU	2N3906	TO-92	Bulk	10000
2N3906TA	2N3906	TO-92	Ammo	2000
2N3906TAR	2N3906	TO-92	Ammo	2000
2N3906TF	2N3906	TO-92	Tape and Reel	2000
2N3906TFR	2N3906	TO-92	Tape and Reel	2000
MMBT3906	2A	SOT-23	Tape and Reel	3000
PZT3906	3906	SOT-223	Tape and Reel	2500

Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	-40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	-40	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	-200	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

Note:

1. These ratings are based on a maximum junction temperature of 150°C .

These are steady-state limits. Fairchild Semiconductor should be consulted on applications involving pulsed or low-duty cycle operations.

Thermal Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Max.			Units
		2N3906	MMBT3906 ⁽²⁾	PZT3906 ⁽³⁾	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate above 25°C	5.0	2.8	8.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Notes:

2. Device mounted on FR-4 PCB 1.6 inch X 1.6 inch X 0.06 inch.

3. Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead minimum 6 cm^2 .

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ⁽⁴⁾	$I_C = -1.0\text{ mA}, I_B = 0$	-40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = -10\ \mu\text{A}, I_E = 0$	-40		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = -10\ \mu\text{A}, I_C = 0$	-5.0		V
I_{BL}	Base Cutoff Current	$V_{CE} = -30\text{ V}, V_{BE} = 3.0\text{ V}$		-50	nA
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = -30\text{ V}, V_{BE} = 3.0\text{ V}$		-50	nA
ON CHARACTERISTICS					
h_{FE}	DC Current Gain ⁽⁴⁾	$I_C = -0.1\text{ mA}, V_{CE} = -1.0\text{ V}$	60		
		$I_C = -1.0\text{ mA}, V_{CE} = -1.0\text{ V}$	80		
		$I_C = -10\text{ mA}, V_{CE} = -1.0\text{ V}$	100	300	
		$I_C = -50\text{ mA}, V_{CE} = -1.0\text{ V}$	60		
		$I_C = -100\text{ mA}, V_{CE} = -1.0\text{ V}$	30		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -10\text{ mA}, I_B = -1.0\text{ mA}$		-0.25	V
		$I_C = -50\text{ mA}, I_B = -5.0\text{ mA}$		-0.4	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -10\text{ mA}, I_B = -1.0\text{ mA}$	-0.65	-0.85	V
		$I_C = -50\text{ mA}, I_B = -5.0\text{ mA}$		-0.95	V
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS					
f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = -10\text{ mA}, V_{CE} = -20\text{ V},$ $f = 100\text{ MHz}$	250		MHz
C_{obo}	Output Capacitance	$V_{CB} = -5.0\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 100\text{ kHz}$		4.5	pF
C_{ibo}	Input Capacitance	$V_{EB} = -0.5\text{ V}, I_C = 0,$ $f = 100\text{ kHz}$		10.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = -100\ \mu\text{A}, V_{CE} = -5.0\text{ V},$ $R_S = 1.0\text{ k}\Omega,$ $f = 10\text{ Hz to }15.7\text{ kHz}$		4.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS					
t_d	Delay Time	$V_{CC} = -3.0\text{ V}, V_{BE} = -0.5\text{ V},$ $I_C = -10\text{ mA}, I_{B1} = -1.0\text{ mA}$		35	ns
t_r	Rise Time			35	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = -3.0\text{ V}, I_C = -10\text{ mA},$ $I_{B1} = I_{B2} = -1.0\text{ mA}$		225	ns
t_f	Fall Time			75	ns

Note:

4. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.



PIC18FXX2

28/40-pin High Performance, Enhanced FLASH Microcontrollers with 10-Bit A/D

High Performance RISC CPU:

- C compiler optimized architecture/instruction set
 - Source code compatible with the PIC16 and PIC17 instruction sets
- Linear program memory addressing to 32 Kbytes
- Linear data memory addressing to 1.5 Kbytes

Device	On-Chip Program Memory		On-Chip RAM (bytes)	Data EEPROM (bytes)
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions		
PIC18F242	16K	8192	768	256
PIC18F252	32K	16384	1536	256
PIC18F442	16K	8192	768	256
PIC18F452	32K	16384	1536	256

- Up to 10 MIPS operation:
 - DC - 40 MHz osc./clock input
 - 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules. CCP pins that can be configured as:
 - Capture input: capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit, max. PWM freq. @: 8-bit resolution = 156 kHz
10-bit resolution = 39 kHz
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module, Two modes of operation:
 - 3-wire SPI™ (supports all 4 SPI modes)
 - I²C™ Master and Slave mode

Peripheral Features (Continued):

- Addressable USART module:
 - Supports RS-485 and RS-232
- Parallel Slave Port (PSP) module

Analog Features:

- Compatible 10-bit Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
 - Fast sampling rate
 - Conversion available during SLEEP
 - Linearity ≤ 1 LSB
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
 - Supports interrupt on-Low Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

Special Microcontroller Features:

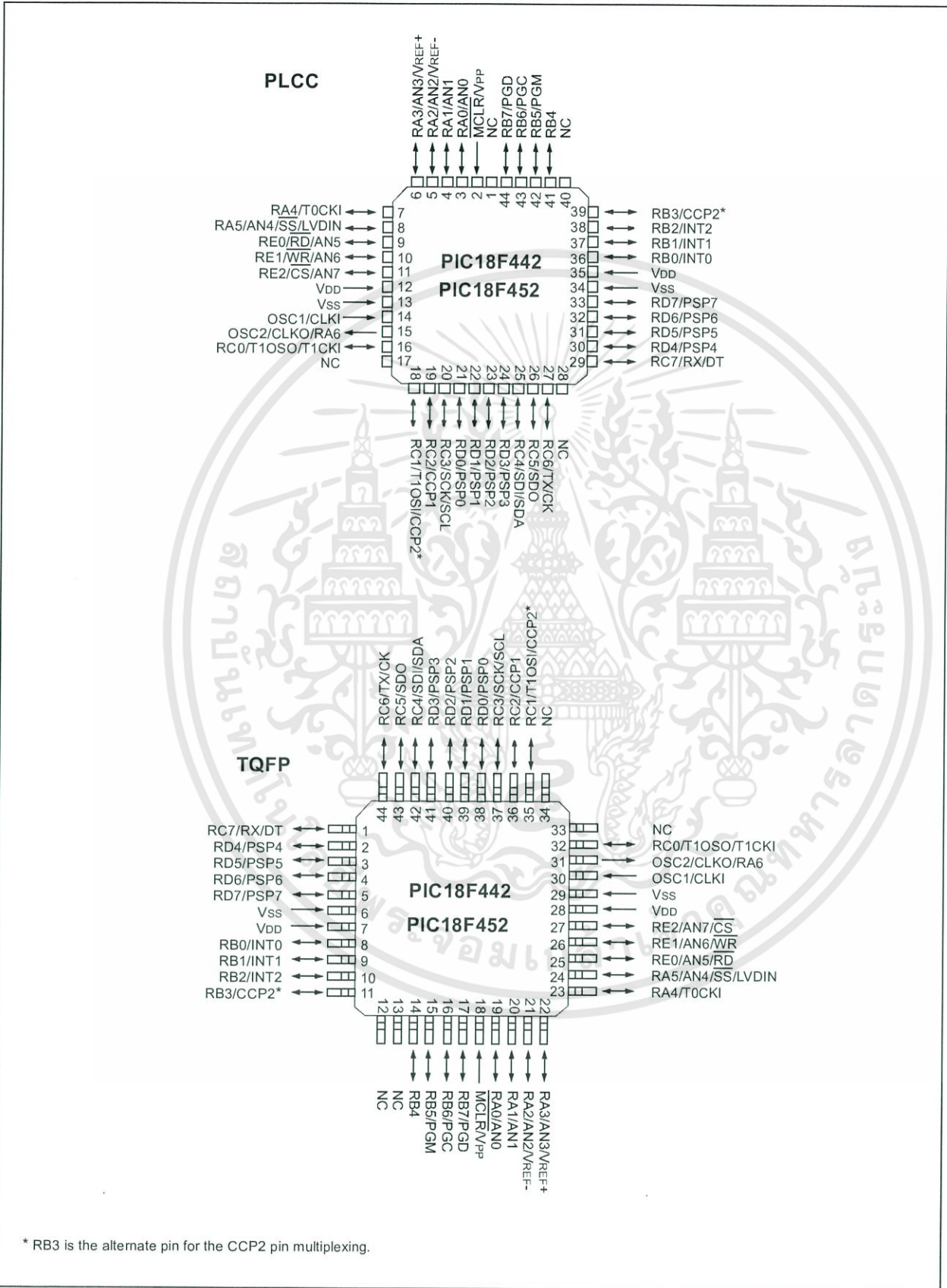
- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory
- FLASH/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options including:
 - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
 - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 25 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 0.2 μ A typical standby current

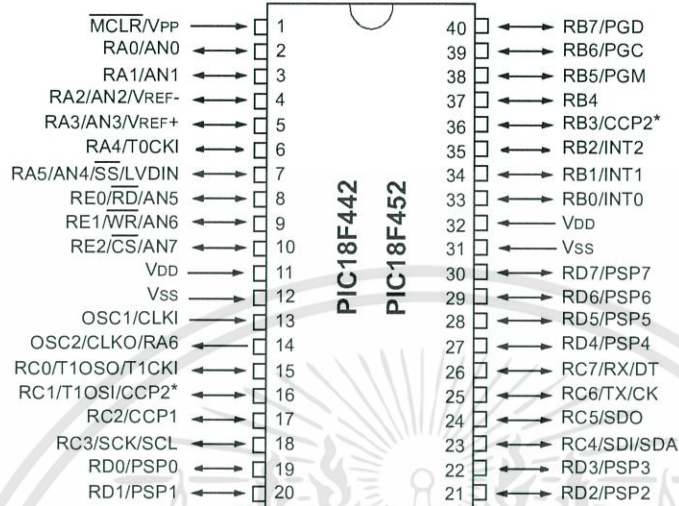
PIC18FXX2

Pin Diagrams



Pin Diagrams (Cont.'d)

DIP



Note: Pin compatible with 40-pin PIC16C7X devices.

DIP, SOIC



* RB3 is the alternate pin for the CCP2 pin multiplexing.

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F242
- PIC18F252
- PIC18F442
- PIC18F452

These devices come in 28-pin and 40/44-pin packages. The 28-pin devices do not have a Parallel Slave Port (PSP) implemented and the number of Analog-to-Digital (A/D) converter input channels is reduced to 5. An overview of features is shown in Table 1-1.

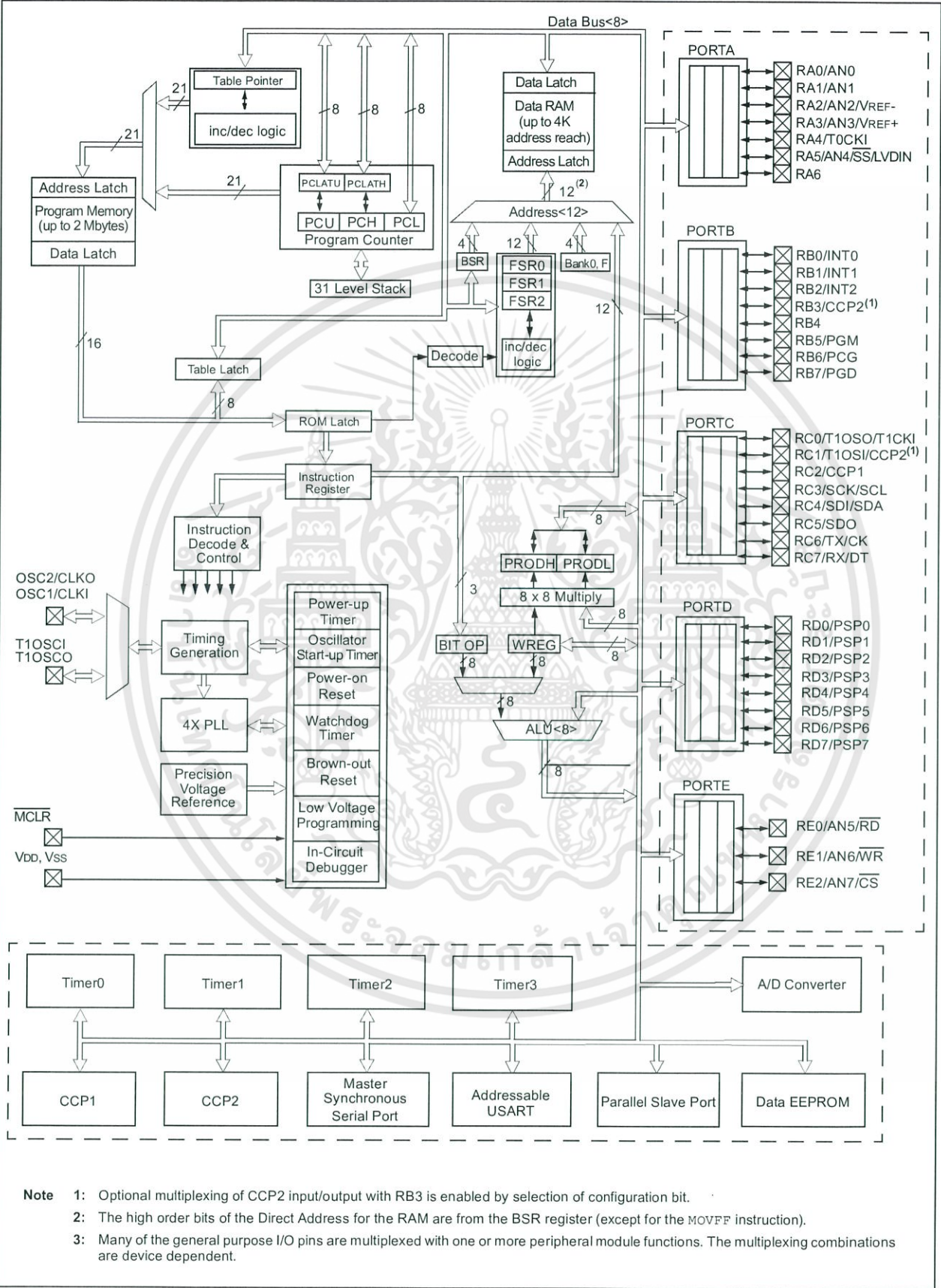
The following two figures are device block diagrams sorted by pin count: 28-pin for Figure 1-1 and 40/44-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40/44-pin pinouts are listed in Table 1-2 and Table 1-3, respectively.

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F242	PIC18F252	PIC18F442	PIC18F452
Operating Frequency	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz
Program Memory (Bytes)	16K	32K	16K	32K
Program Memory (Instructions)	8192	16384	8192	16384
Data Memory (Bytes)	768	1536	768	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	17	17	18	18
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART
Parallel Communications	—	—	PSP	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	5 input channels	8 input channels	8 input channels
RESETS (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions
Packages	28-pin DIP 28-pin SOIC	28-pin DIP 28-pin SOIC	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP

PIC18FXX2

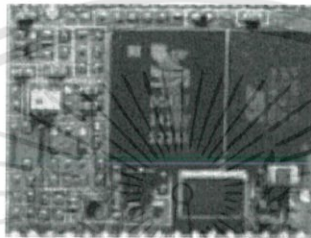
FIGURE 1-2: PIC18F4X2 BLOCK DIAGRAM



- Note**
- 1: Optional multiplexing of CCP2 input/output with RB3 is enabled by selection of configuration bit.
 - 2: The high order bits of the Direct Address for the RAM are from the BSR register (except for the MOVFF instruction).
 - 3: Many of the general purpose I/O pins are multiplexed with one or more peripheral module functions. The multiplexing combinations are device dependent.

CSR BLUETOOTH MODULES

MB-C04



**Specification
Version 1.0
15-May-06**

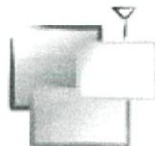
Product No.: MB-C04

Product Description: Class2 BT SPP Module

Issue Date: 2006/5/15

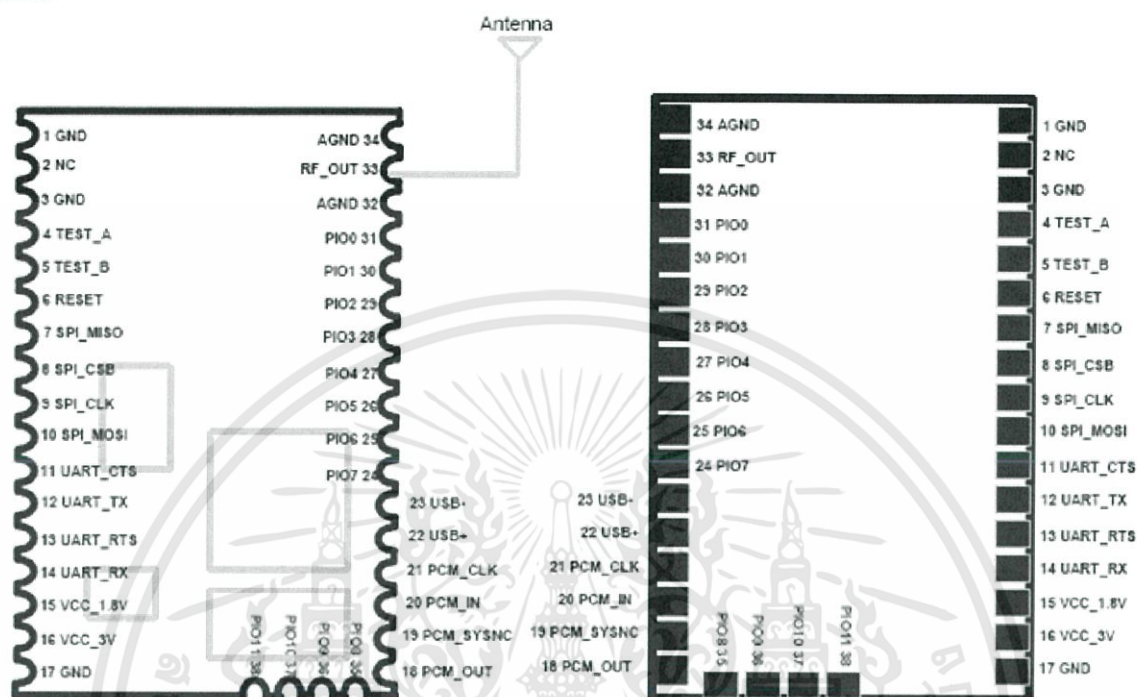
Release Version: 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Hardware & Technical Information

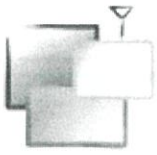
1.1 Pin definition



Pin No.	Name	Type	Note	Pin No.	Name	Type	Note
1	Ground			34	Ground		
2	NC			33	RF_OUT	Out	
3	Ground			32	Ground		
4	TestA		Internal testing using	31	PIO0	In/Out	
5	TestB		Internal testing using	30	PIO1	In/Out	
6	Reset	Input		29	PIO2	In/Out	
7	SPI_MISO		Internal testing using	28	PIO3	In/Out	
8	SPI_CSB		Internal testing using	27	PIO4	In/Out	
9	SPI_CLK		Internal testing using	26	PIO5	In/Out	
10	SPI_MOSI		Internal testing using	25	PIO6	In/Out	
11	UART_CTS	Input		24	PIO7	Out	Driving LED
12	UART_TX	Out		23	USB-	In/Out	
13	UART_RTS	Out		22	USB+	In/Out	
14	UART_RX	Input		21	PCM_CLK	In/Out	
15	VCC_1.8V	Out		20	PCM_IN	In	
16	VCC_3.3V	Input		19	PCM_SYNC	In/Out	
17	Ground			18	PCM_OUT	Out	

Pin No.	Name	Type	Note	Pin No.	Name	Type	Note
35	PIO8	In/Out		37	PIO10	In/Out	
36	PIO9	In/Out		38	PIO11	In/Out	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.2 Mechanical Specification

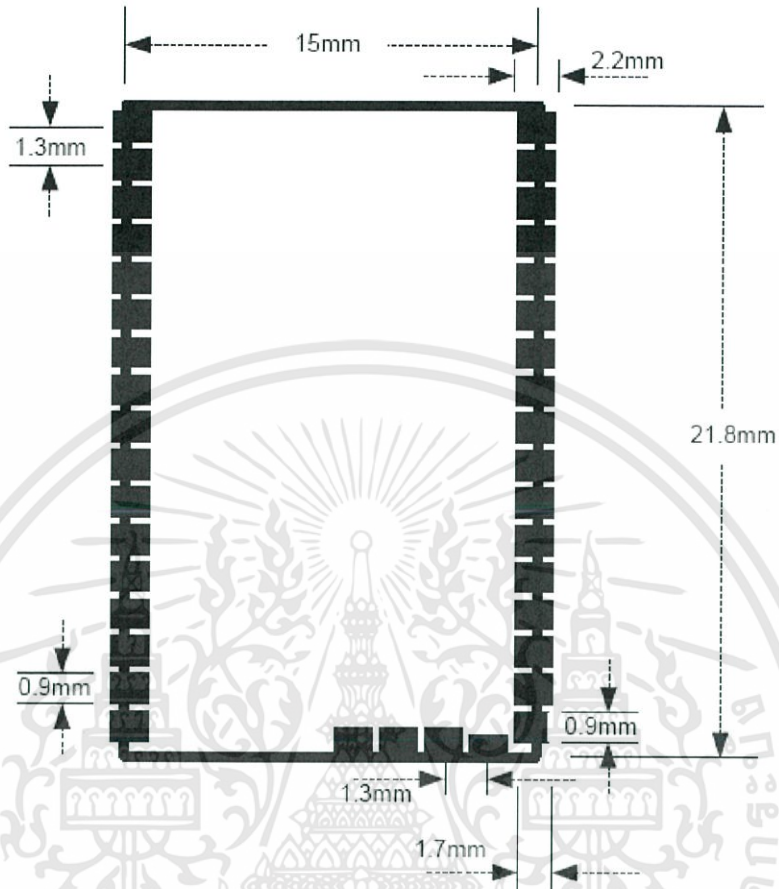
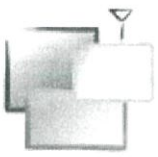


Fig. 1.2.1 Mechanical Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.3 Block Diagram

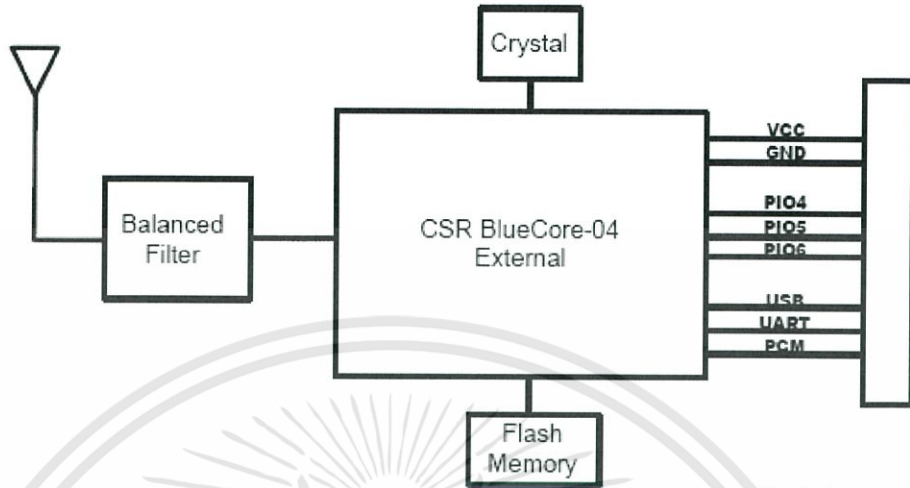
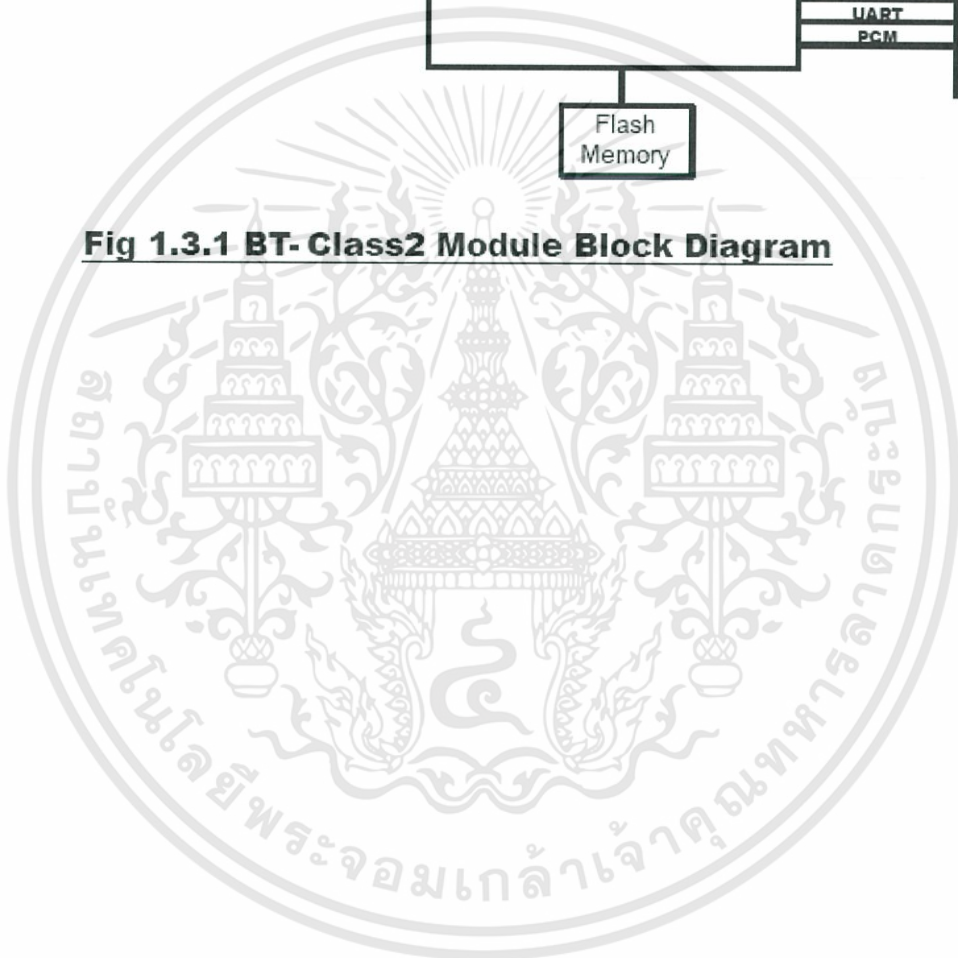
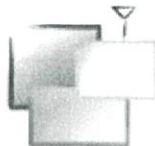


Fig 1.3.1 BT-Class2 Module Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.4 Electrical Characteristics

BT- Class 2

	Min	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	3.0	3.3	3.6	V
RX Supply Current	-	30	-	mA
TX Supply Current(Normal)	-	40	-	mA
TX Supply Current(Continuous)	-	65	-	mA
Sleep Supply Current	-	1	-	mA
Storage Temperature	-20	-	+85	°C

Power Consumption

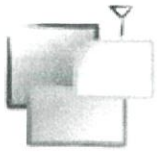
BT-Class 2

Mode	Avg.
Standby	1mA
Transmit	40mA
Receive	30mA

Operating Conditions

Voltage Range	3.3V±0.3V
Operating Temperature Range	-20 °C ~ 60 °C
Storage Temperature Range	-20 °C ~ 80 °C
Relative Humidity (Operating)	≤90%
Relative Humidity (Storage)	≤90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

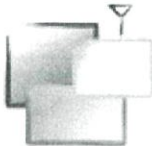


1.5 Radio Characteristics

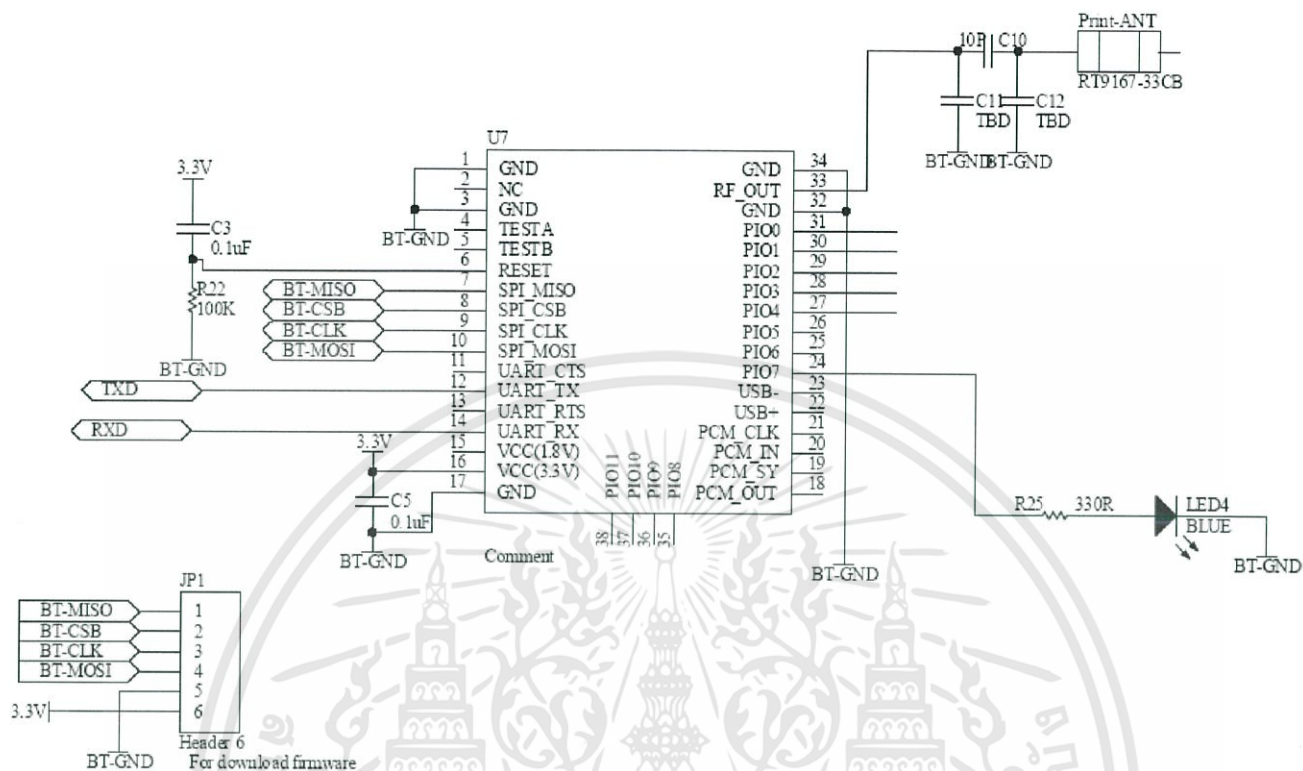
■ BT- Class2 BT2.0 Module

	Frequency (GHz)	Min	Typ	Max	BT Spec.	Unit
Sensitivity at 0.1%BER	2.402	-	-80	-86	≤ -70	dBm
	2.441	-	-80	-86		dBm
	2.480	-	-80	-86		dBm
RF Transmit Power	2.402	-	0	-	≤ 0	dBm
	2.441	-	0	-		dBm
	2.480	-	0	-		dBm
Initial Carrier Frequency Tolerance	2.402	-	5	75	75	kHz
	2.441	-	5	75		kHz
	2.480	-	5	75		kHz
20dB bandwidth for modulated carrier		-	900	1000	≤ 1000	kHz
Drift (Five slots packet)		-	15	-	40	kHz
Drift Rate		-	13	-	20	kHz
$\Delta f_{1\text{avg}}$ "Maximum Modulation"	2.402GHz	140	165	175	$140 < \Delta f_{1\text{avg}}$	kHz
	2.441GHz	140	165	175		kHz
	2.480GHz	140	165	175		kHz
$\Delta f_{2\text{max}}$ "Minimum Modulation"	2.402GHz	115	190	-	115	kHz
	2.441GHz	115	190	-		kHz
	2.480GHz	115	190	-		kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.5 Reference Schematics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/ SA534/LM2902

DESCRIPTION

The LM124/SA534/LM2902 series consists of four independent, high-gain, internally frequency-compensated operational amplifiers designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages.

UNIQUE FEATURES

In the linear mode, the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

The unity gain crossover frequency and the input bias current are temperature-compensated.

FEATURES

- Internally frequency-compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1MHz (temperature-compensated)
- Wide power supply range Single supply: $3V_{DC}$ to $30V_{DC}$ or dual supplies: $\pm 1.5V_{DC}$ to $\pm 15V_{DC}$
- Very low supply current drain: essentially independent of supply voltage (1mW/op amp at $+5V_{DC}$)
- Low input biasing current: $45nA_{DC}$ (temperature-compensated)
- Low input offset voltage: $2mV_{DC}$ and offset current: $5nA_{DC}$
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: $0V_{DC}$ to $V_{CC}-1.5V_{DC}$ swing

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	LM124N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	LM124F	0581B
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM224N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-25°C to +85°C	LM224F	0581B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-25°C to +85°C	LM224D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0°C to +70°C	LM324N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0°C to +70°C	LM324F	0581B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0°C to +70°C	LM324D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0°C to +70°C	LM324AN	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0°C to +70°C	LM324AD	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA534N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-40°C to +85°C	SA534F	0581B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +85°C	SA534D	SOT108-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +125°C	LM2902D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +125°C	LM2902N	SOT27-1

PIN CONFIGURATION

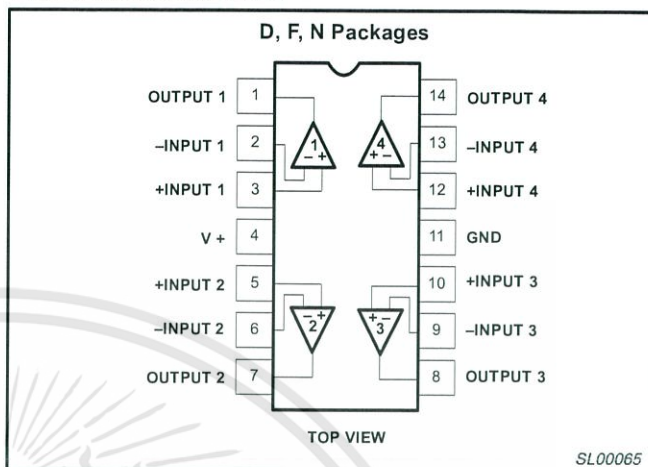


Figure 1. Pin Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	32 or ± 16	V_{DC}
V_{IN}	Differential input voltage	32	V_{DC}
V_{IN}	Input voltage	-0.3 to +32	V_{DC}
P_D	Maximum power dissipation, $T_A=25^\circ\text{C}$ (still-air) ¹		
	N package	1420	mW
	F package	1190	mW
	D package	1040	mW
	Output short-circuit to GND one amplifier ² $V_{CC}<15V_{DC}$ and $T_A=25^\circ\text{C}$	Continuous	
I_{IN}	Input current ($V_{IN}<-0.3V$) ³	50	mA
T_A	Operating ambient temperature range		
	LM324/A	0 to +70	$^\circ\text{C}$
	LM224	-25 to +85	$^\circ\text{C}$
	SA534	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
	LM2902	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
LM124	-55 to +125	$^\circ\text{C}$	
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
T_{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	300	$^\circ\text{C}$

NOTES:

- Derate above 25°C at the following rates:
F package at $9.5\text{mW}/^\circ\text{C}$
N package at $11.4\text{mW}/^\circ\text{C}$
D package at $8.3\text{mW}/^\circ\text{C}$
- Short-circuits from the output to V_{CC+} can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40mA, independent of the magnitude of V_{CC} . At values of supply voltage in excess of $+15V_{DC}$ continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.
- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input bias clamps. In addition, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This action can cause the output voltages of the op amps to go to the $V+$ rail (or to ground for a large overdrive) during the time that the input is driven negative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}=5V$, $T_A=25^\circ C$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM124/LM224			LM324/SA534/LM2902			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage ¹	$R_S=0\Omega$		± 2	± 5		± 2	± 7	mV
		$R_S=0\Omega$, over temp.			± 7			± 9	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	$R_S=0\Omega$, over temp.		7			7		$\mu V/^\circ C$
I_{BIAS}	Input current ²	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		45	150		45	250	nA
		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, over temp.		40	300		40	500	
$\Delta I_{BIAS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		50			50		$\mu A/^\circ C$
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$		± 3	± 30		± 5	± 50	nA
		$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$, over temp.			± 100			± 150	
$\Delta I_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		10			10		$\mu A/^\circ C$
V_{CM}	Common-mode voltage range ³	$V_{CC}=30V$	0		$V_{CC}-1.5$	0		$V_{CC}-1.5$	V
		$V_{CC}\leq 30V$, over temp.	0		$V_{CC}-2$	0		$V_{CC}-2$	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC}=30V$	70	85		65	70		dB
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L=2k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	26			26			V
V_{OH}	Output voltage high	$R_L\leq 10k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	27	28		27	28		V
V_{OL}	Output voltage low	$R_L\leq 10k\Omega$, over temp.		5	20		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	$R_L=\infty$, $V_{CC}=30V$, over temp.		1.5	3		1.5	3	mA
		$R_L=\infty$, over temp.		0.7	1.2		0.7	1.2	
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$	50	100		25	100		V/mV
		$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$, over temp.	25			15			
	Amplifier-to-amplifier coupling ⁵	$f=1kHz$ to $20kHz$, input referred		-120			-120		dB
PSRR	Power supply rejection ratio	$R_S\leq 0\Omega$	65	100		65	100		dB
I_{OUT}	Output current source	$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$	20	40		20	40		mA
		$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	10	20		10	20		
	Output current sink	$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$	10	20		10	20		
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	5	8		5	8		
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_O=200mV$	12	50		12	50		
I_{SC}	Short-circuit current ⁴		10	40	60	10	40	60	mA
GBW	Unity gain bandwidth			1			1		MHz
SR	Slew rate			0.3			0.3		V/ μs
V_{NOISE}	Input noise voltage	$f=1kHz$		40			40		nV/ \sqrt{Hz}
V_{DIFF}	Differential input voltage ³				V_{CC}			V_{CC}	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

 $V_{CC}=5V$, $T_A=25^\circ C$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM324A			UNIT
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage ¹	$R_S=0\Omega$		± 2	± 3	mV
		$R_S=0\Omega$, over temp.			± 5	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	$R_S=0\Omega$, over temp.		7	30	$\mu V/^\circ C$
I_{BIAS}	Input current ²	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		45	100	nA
		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, over temp.		40	200	
$\Delta I_{BIAS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		50		$pA/^\circ C$
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$		± 5	± 30	nA
		$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$, over temp.			± 75	
$\Delta I_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		10	300	$pA/^\circ C$
V_{CM}	Common-mode voltage range ³	$V_{CC}\leq 30V$	0		$V_{CC}-1.5$	V
		$V_{CC}\leq 30V$, over temp.	0		$V_{CC}-2$	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC}=30V$	65	85		dB
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L=2k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	26			V
V_{OH}	Output voltage high	$R_L\leq 10k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	27	28		V
V_{OL}	Output voltage low	$R_L\leq 10k\Omega$, over temp.		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	$R_L=\infty$, $V_{CC}=30V$, over temp.		1.5	3	mA
		$R_L=\infty$, over temp.		0.7	1.2	
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$	25	100		V/mV
		$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$, over temp.	15			V/mV
	Amplifier-to-amplifier coupling ⁵	$f=1kHz$ to $20kHz$, input referred		-120		dB
PSRR	Power supply rejection ratio	$R_S\leq 0\Omega$	65	100		dB
I_{OUT}	Output current source	$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$	20	40		mA
		$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	10	20		
	Output current sink	$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$	10	20		mA
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	5	8		
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_O=200mV$	12	50		
I_{SC}	Short-circuit current ⁴		10	40	60	mA
V_{DIFF}	Differential input voltage ³				V_{CC}	V
GBW	Unity gain bandwidth			1		MHz
SR	Slew rate			0.3		V/ μs
V_{NOISE}	Input noise voltage	$f=1kHz$		40		nV/ \sqrt{Hz}

NOTES:

- $V_O \approx 1.4V_{DC}$, $R_S=0\Omega$ with V_{CC} from 5V to 30V and over full input common-mode range ($0V_{DC}+$ to $V_{CC}-1.5V$).
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC}-1.5$, but either or both inputs can go to +32V without damage.
- Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . At values of supply voltage in excess of +15V_{DC}, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of coupling increases at higher frequencies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า