สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างง่ายโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อ

SIMPLE ELETRONICS APPLIANCES CONTROL BASED – ON EMG SIGNAL

T110942

นายชิดชัย บุญเรือง
นายธนวุฒิ รุ่งรัศมี
นายอิสรา ศรีไล้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถหมู่.....
เลขทะเบียน 110942
วัน,เดือน,ปี 7 S.A. 2553

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMPLE ELECTRONICS APPLIANCES CONTROL BASED-ON EMG SIGNAL

CHIDCHAI BOONRUENG

TANAWUT RUNGRASMEE

ISARA SRILAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างง่ายโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อ

SIMPLE ELETRONICS APPLIANCES

CONTROL BASED – ON EMG SIGNAL

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชิดชัย บุญเรือง	รหัสนักศึกษา 49010201
	นายธนวุฒิ รุ่งรัศมี	รหัสนักศึกษา 49010352
	นายอิสรา ศรีไล้	รหัสนักศึกษา 49011202
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม	
ปีการศึกษา	2552	

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชัย นิลาศ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างง่ายโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อ
SIMPLE ELETRONICS APPLIANCES
CONTROL BASED – ON EMG SIGNAL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชิดชัย บุญเรือง รหัสนักศึกษา 49010201
นายธนวุฒิ รุ่งรัศมี รหัสนักศึกษา 49010352
นายอิสรา ศรีไล้ รหัสนักศึกษา 49011202

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชัย นิลาศ

ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

โครงงานการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างง่ายโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อ (Simple electronics appliances control based-on EMG signal) เป็นการวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อที่ได้การเกร็งกล้าม โดยกล้ามเนื้อดังกล่าวคือกล้ามเนื้อลาย (Skeleton muscle) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่มีอยู่ทั่วไปตามร่างกายไม่ว่าจะเป็นส่วนแขน ขา หรืออื่น ๆ โดยใช้อิเล็กโทรดแบบ เซอร์เฟส (Surface electrode) ชนิดเปียก เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างร่างกายกับวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดสัญญาณจากกล้ามเนื้อและจากนั้นนำสัญญาณที่วัดได้มาเข้ากระบวนการการจัดการสัญญาณคือ นำไปผ่านวงจรตรวจวัดและเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นทำการศึกษาการนำสัญญาณที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานกับตัวควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้น ในการสร้างและออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้การควบคุมหรือสั่งการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้สัญญาณจากกล้ามเนื้อเป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งในโครงงานนี้เราได้ทำการนำสัญญาณกล้ามเนื้อที่ทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล ไปป้อนให้กับตัวควบคุมแล้วทำการโปรแกรมให้ตัวควบคุมทำการควบคุมรีโมททีวี เพื่อใช้ทำการควบคุมทีวีโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Simple electronics appliances control based – on EMG signal
Authors	Mr. Chidchai Boonrueng
	Mr. Tanawut Rungrasmee
	Mr. Isara Srilai
Thesis Advisor	Assit. Prof. Dr. Phongchai Nilas
Year	2009

ABSTRACT

The simple electronics appliances control based - on EMG signal project that uses catalepsy signal measured the electrical signal. This muscle is "Skeleton muscle" which is the general muscles in our body such as arms, legs, and etc., so the wet Surface electrode which becomes the middle of body and electrical circuit to measure the muscle signal and then this signal will be adapted to the management process. The management process is the process that brings the signal through measuring circuit and changes analog signal to digital signal. After these steps, the signal will be adapted to work with the controller for the basic criteria.

Therefore, the simple electronics appliances control based - on EMG signal project is designed by change the muscle signal to digital signal with the controller to control the television remote for control television by EMG signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถจัดทำขึ้นได้สำเร็จ หากไม่ได้รับการสนับสนุนและการช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานที่มีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และครอบครัวที่ให้กำลังใจและสนับสนุนทางด้านงบประมาณในการจัดทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พงษ์ชัย นิลาศ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและแนวคิดในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ผศ.เชื้อ นกอยู่ และ รศ.สักรียา ชิตวงศ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของสถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลพระมงกุฎ ที่ได้อนุเคราะห์แผ่นอิเล็กโทรดเพื่อมาใช้งานในโครงงานโดยไม่คิดค่าใช่จ่าย ๆ

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและร่วมแสดงความคิดเห็นในการจัดทำโครงงานนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อบทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....3

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสัญญาณกล้ามเนื้อ.....3

2.1.1 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG).....3

2.1.2 การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ.....4

2.1.3 อิเล็กโทรด : ขั้วไฟฟ้าวัดศักย์ไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ.....5

2.1.4 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการขยายสัญญาณทางชีววิทยา.....6

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 7

2.2.1 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer).....7

2.2.2 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrumentation Amplifier).....8

2.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter) 9

2.2.4 วงจรนอตท์ฟิลเตอร์ (Notch Filter).....12

2.2.5 ทฤษฎีดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator).....13

2.2.6 ทรานซิสเตอร์ (Transistor).....15

2.2.6.1 กระแสและแรงดันของทรานซิลเตอร์.....16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.6.2 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์.....18
2.2.7 วงจรโมโนสเตเบิล (MONOSTABLE).....19
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับตัวควบคุม (AVR).....20
2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR.....20
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับโปรแกรม Protel 99 SE.....22
2.4.1 การสร้างสคีเมติค (Schematic).....22
2.4.2 เทคนิคการเขียนลายวงจร (PCB).....28

บทที่ 3 การดำเนินงาน.....32
3.1 การใช้งานอิเล็กโทรด.....32
3.2 การออกแบบวงจร.....33
3.2.1 วงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector).....33
3.2.1.1 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer).....33
3.2.1.2 วงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier).....34
3.2.1.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) 500 Hz.....34
3.2.1.4 วงจรวงจรกำจัดแถบความถี่แคบ (Notch Filter) 50Hz.....37
3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Convertor).....38
3.2.2.1 วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator).....38
3.2.2.2 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator).....39
3.2.2.3 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable).....41
3.2.3 การทำลายวงจรและออกแบบวงจร.....42
3.3 ตัวควบคุม (AVR).....46
3.3.1 แนวคิดการออกแบบโปรแกรม.....46
3.3.2 โปรแกรม (Code).....47

บทที่ 4 การทดลองและสรุปผลการทดลอง.....55
4.1 การทดลองการทำงานของวงจร.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1 การทดลองวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer).....55

4.1.2 การทดลองวงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier).....56

4.1.3 การทดลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) 500 Hz.....58

4.1.4 การทดลองวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ (Notch Pass Filter) 50 Hz.....60

4.1.5 การทดลองวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator).....62

4.1.6 การทดลองวงจรเปรียบเทียบ (Comparator).....64

4.1.7 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable).....65

4.2 การทดสอบนำวงจรมาใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อจริง.....67

4.2.1 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector).....67

4.2.2 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิตอล(Analog signal To Digital signal).....68

4.2.3 การทดลองใช้งานวงจรกับคนหลาย ๆ คน.....69

4.3 การทดลองตัวควบคุม.....73

4.4 การทดลองใช้งานเครื่องจริง.....77

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....83

5.1 สรุปผลงาน.....83

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานและการแก้ไข.....83

5.3 แนวทางในการพัฒนา.....83

บรรณานุกรม.....84

ภาคผนวก.....85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรบัฟเฟอร์ 55
4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรขยายแบบอินสตรูเมน.....57
4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....58
4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรกรองความถี่แบบนอตช์.....60
4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์.....62
4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรเปรียบเทียบ.....64
4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรโมโนสเตเบิล.....65
4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองหาค่าความผิดพลาด.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 3

2.2 ลักษณะของรูปคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกรณีไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ.....4

2.3 ลักษณะของรูปคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกรณีมีการเกร็งกล้ามเนื้อ.....4

2.4 แบบจำลองการวัดของสัญญาณกล้ามเนื้ออย่างง่าย.....5

2.5 ตัวอย่างอิเล็กโทรดแบบเปียก (Wet type Surface electrode).....6

2.6 วงจรบัฟเฟอร์โดยใช้ออปแอมป์.....7

2.7 วงจรขยายความแตกต่างที่เพิ่มวงจรบัฟเฟอร์.....8

2.8 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ที่สมบูรณ์.....9

2.9 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง.....10

2.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter).....10

2.11 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรนอตช์ฟิลเตอร์.....12

2.12 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์(Differentiator).....13

2.13 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier).....14

2.14 วงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ.....14

2.15 ทรานซิสเตอร์.....15

2.16 โครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์.....16

2.17 สัญญาณของทรานซิสเตอร์.....16

2.18 แรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์.....17

2.19 รอยต่อของทรานซิสเตอร์.....18

2.20 ผังวงจรของโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเตอร์.....19

2.21 สัญญาณทริกและสัญญาณเอาท์พุทของโมโนสเตเบิลมัลติที่ทริกซ้ำไม่ได้.....19

2.22 สัญญาณทริกและสัญญาณเอาท์พุทของโมโนสเตเบิลแบบทริกซ้ำได้.....20

2.23 กลุ่มของตัวควบคุมตระกูล AVR.....21

2.24 การเข้าโปรแกรม Protel 99 SE.....22

2.25 หน้าของโปรแกรม Protel 99 SE.....23

2.26 หน้าต่างการออกปบบใหม่ (New Design Database).....23

2.27 แม่แบบเอกสารสคีเมติค (Schematic Document).....24

2.28 หน้าต่างออกแบบสคีเมติค (Schematic Design).....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.29 หน้าต่างการจัดการการออกแบบ (Design Manager).....25

2.30 โครงสร้างส่วนต่างๆของหน้าต่างออกแบบสคีเมติค (Schematic Design).....25

2.31 บล็อกคอมโพเนน (Block Component).....26

2.32 สคีเมติค (Schematic) ที่พร้อมอัพเดตเป็นลายวงจร (Up Date PCB).....27

2.33 ลายวงจร (PCB) ที่ทำการอัพเดต (Update).....28

2.34 ลายวงจรที่เรียบร้อยแล้ว.....28

2.35 ลายวงจรที่ถูกครอบด้วย Keep Out Layer.....29

2.36 ลายวงจรเมื่อทำการ Preview.....29

2.37 การตั้งค่าการแสดงผล.....30

2.38 การตั้งค่าการแสดงผล 2.....30

2.39 การปรับสีเลเยอร์ (Preferences).....31

2.40 ลายวงจรที่ทำเป็นเนกกาทีฟ.....31

3.1 (ก) ตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดที่แขนซ้าย.....32

3.1 (ข) ตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดที่แขนขวา.....32

3.2 ไดอะแกรมแสดงภาพรวมของวงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector).....33

3.3 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่ทำการออกแบบ.....33

3.4 วงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier) ที่ทำการออกแบบ.....34

3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) 500 Hz ที่ทำการออกแบบ.....35

3.6 วงจรกำจัดแถบความถี่แคบ (Notch Filter) 50 Hz ที่ทำการออกแบบ.....37

3.7 ไดอะแกรมแสดงภาพของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Convertor).....38

3.8 วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator) ที่ทำการออกแบบ.....38

3.9 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ที่ทำการออกแบบ.....40

3.10 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable) ที่ทำการออกแบบ.....41

3.11 ลายวงจร (PCB) ของวงจรรวม.....42

3.12 เนกาทีฟของวงจรรวม.....43

3.13 วงจรรวมที่กัดปริ้นเรียบร้อยแล้ว.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ลายวงจร (PCB) ของวงจรแสดงผล (LED)	44
3.15 เนกาทีฟของวงจรแสดงผล (LED)	44
3.16 วงจรแสดงผล (LED) ที่กัดปริ้นเรียบร้อยแล้ว	45
3.17 ภาพรวมของระบบ	46
3.18 รูปแสดงภาพการทำงานของโปรแกรม	46
4.1 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรบัฟเฟอร์	56
4.2 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรขยายแบบอินสตรูเมน	57
4.3 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 500 เฮิรตซ์	59
4.4 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์	61
4.5 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์	62
4.6 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบ	64
4.7 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรโมโนสเตเบิล	66
4.8 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรตรวจวัดสัญญาณ	67
4.9 วัดหลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์และวงจรเปรียบเทียบ	68
4.10 วัดหลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรโมโนสเตเบิล	69
4.11 กรณีศึกษาที่ 1	70
4.12 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรรวมของกรณีศึกษาที่ 1	70
4.13 กรณีศึกษาที่ 2	71
4.14 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรรวมของกรณีศึกษาที่ 2	71
4.15 กรณีศึกษาที่ 3	72
4.16 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรรวมของกรณีศึกษาที่ 3	72
4.17 เมื่อไม่มีการกดสวิตซ์	74
4.18 เมื่อเลือกชุดคำสั่งเพิ่ม/ลดเสียง	74
4.19 เมื่อเลือกชุดคำสั่งเพิ่ม/ลดช่อง	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.20 เมื่อเลือกชุดคำสั่งเปิด/ปิด.....76
4.21 การติดแผ่นอิเล็กโทรดที่แขนเพื่อทำการทดลอง.....77
4.22 ภาพรวมการต่ออุปกรณ์ทั้งหมด.....78
4.23 ทีวีสี ยี่ห้อ SUMSUNG รุ่น CS-29K40ML.....79
4.24 แผงวงจร LED และ LCD ที่ใช้แสดงสถานการณ์เกร็งกล้ามเนื้อ.....79
4.25 จอแสดงผล (LCD) แสดงการทำงานของเครื่อง.....80
4.26 รีโมทแสดงการตอบสนอง.....80
4.27 (ก) ทีวีอยู่ที่ช่องทรู.....81
4.27 (ข) ทีวีอยู่ที่ช่องท้องถิ่น.....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันสภาวะอัตราการเกิดอุบัติเหตุมีเพิ่มขึ้นมาก โดยสาเหตุส่วนใหญ่มักจะเกิดจากความประมาทและการไม่ปฏิบัติตามกฎข้อบังคับที่มีไว้ให้ปฏิบัติตามเพื่อให้เกิดความปลอดภัย โดยสาเหตุที่กล่าวในข้างต้นจะเป็นมูลเหตุที่ทำให้เกิดผู้ป่วยที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้เหมือนตอนปกติ โดยผู้ป่วยเหล่านั้นอาจทำได้แค่เพียงการควบคุมกล้ามเนื้อแต่ไม่สามารถเคลื่อนไหวหรือทำการเคลื่อนที่ตนเองได้ เราจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อของมนุษย์มาใช้ประโยชน์ โดยการวัดสัญญาณที่เกิดจากการเกร็งกล้ามเนื้อแล้วนำสัญญาณดังกล่าวมาใช้ควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้าน เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยสามารถทำการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวได้ซึ่งถือว่าเป็นการลดภาระที่เกิดจากผู้ป่วยได้ ประโยชน์ที่ได้กล่าวมานี้ยังเป็นประโยชน์แก่ผู้พิการตั้งแต่กำเนิดได้อีกด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราจะเน้นการนำสัญญาณที่ได้จากกล้ามเนื้อส่วนแขนมาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างง่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องตรวจจับสัญญาณของกล้ามเนื้อ (EMG) โดยใช้วงจรกรองสัญญาณวงจรขยายสัญญาณและ เซนเซอร์ (Sensor)

2.สร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณกล้ามเนื้อที่วัดได้เป็นคำสั่ง เพื่อควบคุม (เปิด/ปิด) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบ้านอย่างน้อย 1 ชนิด

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาและออกแบบการตรวจวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ (EMG)โดยใช้แอมพลิจูดความต่างศักย์ (Voltage amplitude) เป็นหลักในการตรวจวัดสัญญาณ

2. แปลงสัญญาณที่ได้เป็นคำสั่งอย่างง่าย ๆ ที่สำหรับควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้าน เช่น เปิด/ปิด โทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสัญญาณกล้ามเนื้อและแนวทางในการตรวจวัด
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของวงจรกรองความถี่
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานตัวควบคุม
4. ศึกษาการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99 SE
5. ศึกษาการทำงานของรีโมทควบคุมทีวี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีความรู้ ความเข้าใจและสามารถวางแนวทางพื้นฐานในการจัดทำโครงงานได้ในระดับเบื้องต้นว่าจะมีขั้นตอนในการทำโครงงานอย่างไร
2. มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดสัญญาณจากกล้ามเนื้อเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน
3. สามารถนำเครื่องที่สร้างไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

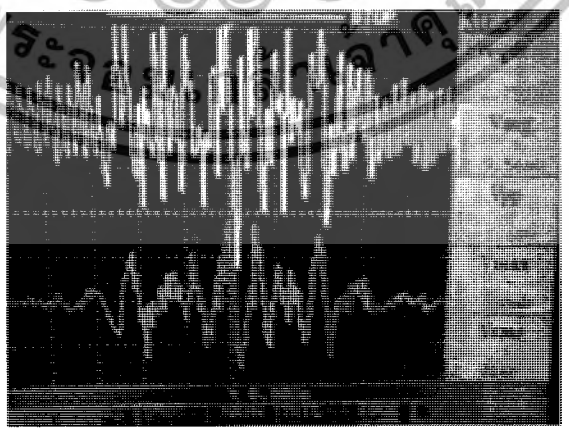
ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เราได้ศึกษาเพื่อนำเอาความรู้ที่ได้ไปใช้ในการทำโครงงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) เช่น ลักษณะของสัญญาณโดยทั่วไป การเกิดสัญญาณ วิธีการตรวจวัดวงจร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีทฤษฎีพื้นฐานของวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในโครงงาน เช่น วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrumentation Amplifier) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter) วงจรนอตท์ฟิลเตอร์ (Notch Filter) เป็นต้น ทฤษฎีพื้นฐานของตัวควบคุม และ ทฤษฎีโปรแกรม Protel 99 SE โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสัญญาณกล้ามเนื้อ

2.1.1 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)

ในร่างกายของคนเรามีกล้ามเนื้อชนิดหนึ่งที่เรียกว่า กล้ามเนื้อลาย (Skeleton muscle) เมื่อกล้ามเนื้อชนิดนี้ทำงาน โดยการยืดหรือหดตัวในขณะเราเกร็งกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแรียกว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อหรือสัญญาณ EMG

โดยลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ นั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณอยู่ในรูปแบบของการสุ่ม โดยมีขนาด 0 – 10 มิลลิโวลต์ (วัดจากยอดแอมพลิจูดสูงสุดถึงยอดแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ) หรือ 0 - 1.5 มิลลิโวลต์ (ค่าเฉลี่ย) และมีความถี่อยู่ในช่วง 0 – 500 เฮิรตซ์ โดยลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 โดยด้านบนเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายแบบอินสตรูเมนและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ส่วนด้านล่างเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรนอตท์ฟิตเตอร์แล้ว



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

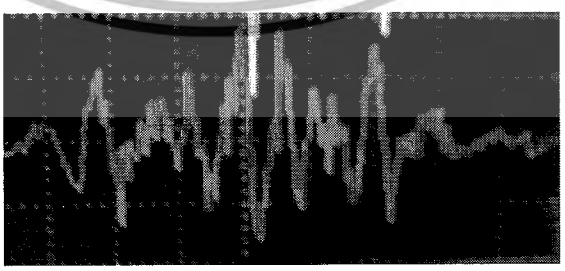
2.1.2 การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

การวัดสัญญาณกล้ามเนื้อคือการวัดกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก โดยในการวัดสัญญาณดังกล่าวจะไม่สามารถทำการวัดได้ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยตรง ดังนั้นในการวัดเราจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเข้าสู่วงจรที่ทำการออกแบบไว้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีชื่อว่าอิเล็กโตรด โดยตัวอิเล็กโตรดจะคุณสมบัติในการแปลงความเข้มข้นของไอออนให้อยู่ในรูปการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เพื่อให้สามารถใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้ โดยเราจะพบรูปแบบของสัญญาณมีลักษณะ ดังนี้คือ

1. สัญญาณกล้ามเนื้อในขณะที่ไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ (Electrical silence) จะเกิดขึ้นเมื่อเราไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ โดยลักษณะของสัญญาณจะมีลักษณะราบเรียบ

รูปที่ 2.2 ลักษณะของรูปคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกรณีไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ

2. สัญญาณกล้ามเนื้อในขณะที่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ (Normal Motor Unit Potential) หรือ (MUP) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเรามีการเกร็งหรือใช้งานกล้ามเนื้อ Normal Motor Unit Potential (MUP) มีความสูงของสัญญาณประมาณ 50-1500 ไมโครโวลต์ โดยใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดค่าของสัญญาณ แต่ค่าดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้บ้างซึ่งลักษณะทั่วไปของ MUP ขึ้นอยู่กับความมากน้อยในการออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อว่าออกแรงมากไปหรือน้อยไปโดยมีลักษณะสัญญาณดังนี้

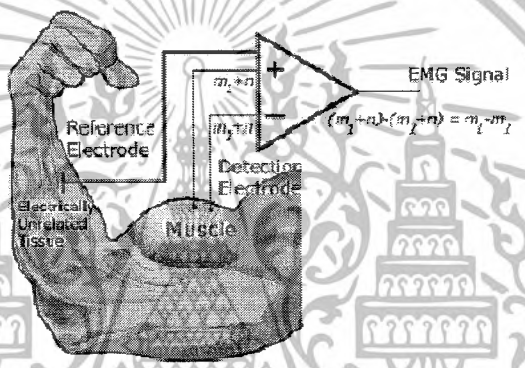


รูปที่ 2.3 ลักษณะของรูปคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกรณีมีการเกร็งกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยออกแรงเบาๆ จะได้ MUP ที่มีขนาดเล็กเป็นระดับไมโครโวลต์ที่ความถี่ต่าง ๆ และเมื่อให้กล้ามเนื้อออกแรงเพิ่มขึ้น ความถี่ของ MUP จะเพิ่มมากขึ้น ในการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ (EMG) เราจะนำอิเล็กโทรดติดไว้กับผิวหนังของผู้ทดลอง ตัวอิเล็กโทรดจะเกิดศักดิ์ไฟฟ้าขึ้นซึ่งในทางปฏิบัติเราจะไม่วัดศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอิเล็กโตรดเพียงตัวเดียว โดยจะเป็นการวัดที่ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโตรดอย่างน้อย 2 ตัวที่ติดไว้ตามยาวบนกล้ามเนื้อเดียวกัน

โดยความสามารถในการวัดของอิเล็กโทรดจะแปรผันตามสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมากเช่น ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโตรไลท์ (Electrolyte) ในตัวอิเล็กโทรดจะขึ้นอยู่สภาวะอุณหภูมิในขณะนั้นจึงต้องมีการเก็บรักษาตัวอิเล็กโทรดที่เหมาะสม และจากรูปที่ 2.4 จะเห็นแบบจำลองการวัดสัญญาณกล้ามเนื้ออย่างง่าย ซึ่งจะใช้วงจรขยายความแตกต่างเป็นตัวขยายสัญญาณ



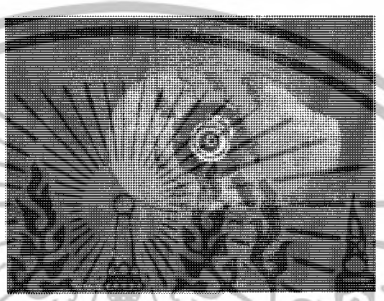
รูปที่ 2.4 แบบจำลองการวัดของสัญญาณกล้ามเนื้ออย่างง่าย

2.1.3 อิเล็กโทรด : ขั้วไฟฟ้าวัดศักย์ไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ

จากการที่สัญญาณกล้ามเนื้อเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มของไอออน ที่มีอยู่ทั้งภายในและภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อ เราจึงไม่สามารถวัดสัญญาณจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้โดยตรง เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถทำงานกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเท่านั้น ดังนั้นในการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อหรือสัญญาณชีวภาพใด ๆ ซึ่งเกิดจากไอออนทั้งบวกและลบ เราจำเป็นต้องใช้อิเล็กโทรดเป็นตัวกลางในการวัด ซึ่งอิเล็กโทรดจะทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายไอออนให้กลายเป็นการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยในโครงงานเราจะใช้อิเล็กโทรดที่มีชื่อว่า เซอร์เฟสอิเล็กโทรด (Surface electrode) ซึ่งอิเล็กโทรดชนิดนี้มีลักษณะเป็นจานแบนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.5 - 1 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต โดยอิเล็กโทรดชนิดนี้สามารถติดเข้ากับผิวหนังของผู้ใช้ได้โดยตรง อีกทั้งยังสามารถที่จะแบ่งย่อยเป็น 2 ชนิดคือแบบแห้งและแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโครงงานนี้เราใช้อิเล็กโทรดแบบเปียก (Wet type Surface electrode) อิเล็กโทรดชนิดนี้จำเป็นต้องใช้สารอิเลคโตรไลทเจล (electrolyte gel) เป็นเส้นทางการนำไอออนจากกล้ามเนื้อของผู้ทดลองมาสู่ตัวโลหะเงินที่อยู่ในแกนกลางของอิเล็กโทรด ซึ่งก่อนใช้อิเล็กโทรดชนิดนี้จำเป็นต้องทำความสะอาดผิวหนังของผู้ทดลอง ให้สะอาดโดยใช้สบู่และบางกรณีอาจจำเป็นต้องโกนขนในบริเวณที่จะติดอิเล็กโทรดเข้ากับร่างกายผู้ทดลอง โดยอิเล็กโทรดชนิดนี้มีจำหน่ายทั้งที่เป็นแบบใช้ครั้งเดียงทิ้งและแบบที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งสำหรับแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งโดยมากผู้ผลิตมักออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่นกาวเพื่อติดเข้ากับผิวหนังให้มาด้วยดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างอิเล็กโทรดแบบเปียก (Wet type Surface electrode)

2.1.4 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการขยายสัญญาณทางชีววิทยา

วงจรขยายสัญญาณที่ใช้ในทางชีววิทยา (Biological Amplifier) นั้นที่มีหลักการเหมือนกับวงจรขยายที่ใช้กันทั่วไปแต่จะแตกต่างกันก็แต่ที่ในรายละเอียดบางส่วน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญบางอย่างเท่านั้น โดยที่ลักษณะของวงจรขยายสัญญาณที่ใช้ในทางชีวะวิทยาควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. มีอัตราการขยายสูง (High Gain) วงจรขยายสัญญาณที่ใช้ในทางชีวะวิทยานั้น ต้องการอัตราการขยายที่สูงเพราะว่าสัญญาณที่ต้องการวัดนั้นมีค่าที่ต่ำมาก ซึ่งอาจมีค่าเพียงไมโครโวลต์หรือมีค่าเป็นมิลลิโวลต์เท่านั้น แต่วงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราการขยายสัญญาณที่สูงนั้นก็ย่อมต้องมีสัญญาณรบกวนมากตามมาด้วยซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้วงจรมีประสิทธิภาพในการขยายสัญญาณไม่ดี ดังนั้นในการแก้ปัญหาเราจึงใช้วงจรขยายสัญญาณที่เราเรียกว่า วงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง (Differential Amplifier) หรือเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบพุช-พูล (Push-Pull Amplifiers)

2. มีอัตราการลดสัญญาณ (Common Mode Rejection Ratio) สูง ความสามารถของวงจรขยายสัญญาณนอกจากในด้านของการขยายสัญญาณแล้ว ยังต้องความสามารถในการลดทอนสัญญาณให้น้อยลงด้วย โดยความสามารถในข้อที่เรียกว่า อัตราการลดสัญญาณ ซึ่งคุณสมบัติเช่นนี้จะมีในวงจรขยายสัญญาณความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีความต้านทานที่ขาเข้าสูงและคาปาซิแตนซ์ที่ขาเข้าต่ำ

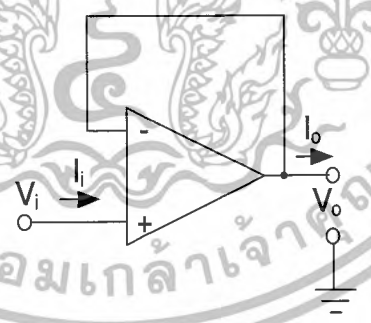
3.1 ความต้านทานที่ขาเข้า (Input impedance) ในทางด้านชีวะวิทยาจะต้องมีความต้านทานที่ขาเข้าสูงเพราะการตรวจวัดสัญญาณที่มีขนาดต่ำ ๆ วงจรจะต้องมีความต้านทานที่ขาเข้าสูงจึงจำเป็นต้องใช้วงจรขยายสัญญาณที่มีความต้านทานสูงด้วยเพื่อที่จะให้แน่ใจว่ากระแส ซึ่งมีเพียงเล็กน้อยจะถูกนำไปขยายได้

3.2 คาปาซิแตนซ์ที่ขาเข้า (Input capacitance) ผลของคาปาซิแตนซ์ที่ขาเข้า ทำให้สัญญาณที่มีความถี่สูงจะถูกลดทอนลง ดังนั้นจึงต้องทำให้คาปาซิแตนซ์ขาเข้าให้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้วงจรจึงจะมีการตอบสนองต่อความถี่ได้ดีขึ้น

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.2.1 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

วงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรตามศักดาสัญญาณ (Voltage Follower) หมายความว่าสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรจะมีค่าแรงดันเท่ากับสัญญาณอินพุต โดยวงจรจะทำหน้าที่ขยายกระแสอินพุตที่มีค่ากระแสต่ำให้ปรากฏที่เอาต์พุตมีค่าของกระแสสูงขึ้น โดยมีระดับแรงดันอินพุตและเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ ($V_i = V_o$) และจากคุณสมบัติของออปแอมป์ ทำให้วงจรบัฟเฟอร์มีความต้านทานอินพุตมีค่าสูงและค่าความต้านทาน เอาต์พุตมีค่าต่ำ โดยลักษณะการเชื่อมต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรบัฟเฟอร์โดยใช้ออปแอมป์

พิจารณาจากวงจรบัฟเฟอร์ในรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อเราพิจารณาคุณสมบัติออปแอมป์ในทางอุดมคตินั่นคือแรงดันขั้วบวกจะมีค่าเท่ากับแรงดันขั้วลบ ดังนั้นเราจะได้แรงดันที่เอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

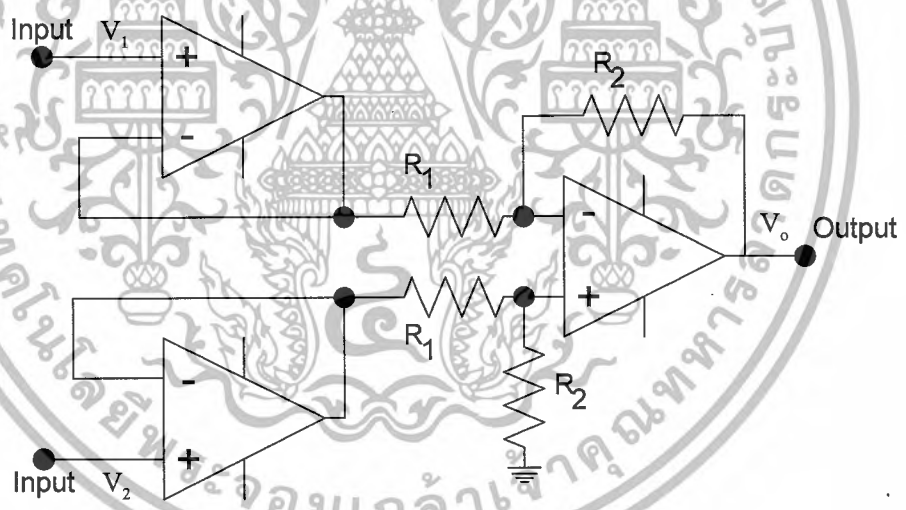
$$V_i = V_o \text{.....(1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาทางด้านกระแสของวงจร โดยจะอาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ ซึ่งมีค่าความต้านทานอินพุตสูงและความต้านทานทางเอาต์พุตมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแส (I_o) จึงมีค่าสูงกว่ากระแส (I_i) มาก

2.2.2 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrumentation Amplifier)

ตามหลักการทางทฤษฎีจะได้ว่าค่าแรงดันเอาต์พุต (V_o) จะขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันอินพุต (V_1) และ แรงดันอินพุต (V_2) ถ้าแรงดันอินพุต (V_1) เท่ากับ (V_2) ค่าแรงดันเอาต์พุต (V_o) จะเท่ากับศูนย์ สัญญาณแรงดันอินพุต (V_1) เท่ากับ (V_2) จะเรียกว่า สัญญาณร่วม โดยค่าความต้านทาน R_1และR_2แต่ละคู่ในวงจรจะต้องมีความใกล้เคียงกันมาก เพื่อที่จะให้อัตราขยายของวงจรต่อสัญญาณร่วมเท่ากับศูนย์ แต่วงจรขยายความแตกต่าง มีค่าความต้านทานอินพุตของวงจรที่ไม่สูงจะเป็นผลทำให้สัญญาณที่ส่งมาจากตัวเซนเซอร์ผิดพลาดได้ เนื่องจากเซนเซอร์จะมีความต้านทานเอาต์พุตที่สูง



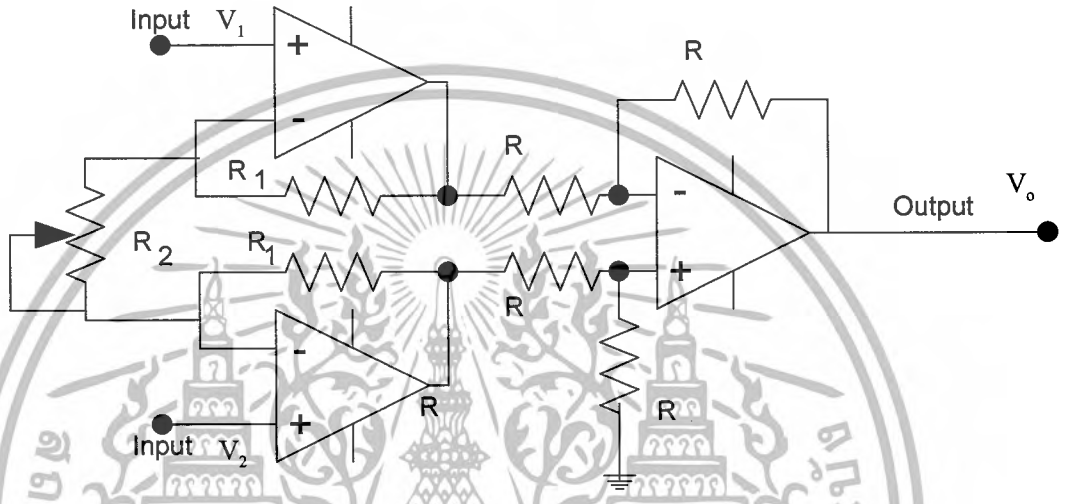
รูปที่ 2.7 วงจรขยายความแตกต่างที่เพิ่มวงจรบัฟเฟอร์

ในรูปที่ 2.7 เป็นวงจรขยายความแตกต่างที่เพิ่มวงจรบัฟเฟอร์เข้ามายังส่วนหน้า วงจรนี้จะเรียกว่า “วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์แบบพื้นฐาน (Basic Instrumentation Amplifier) ” โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและค่าแรงดันเอาต์พุต เช่นเดียวกับสมการของวงจรขยายความแตกต่างแต่วงจรดังกล่าวจะมีปัญหาในการปรับอัตราการขยายผลต่างของวงจร โดยการแปรค่าความต้านทานทั้งสองตัวในวงจร ซึ่งการแปรค่าความต้านทาน R_2 นี้อาจจะมีผลทำให้อัตราขยายร่วมของวงจรมีค่าไม่เป็นศูนย์เนื่องจากความไม่เท่ากันของความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดั้งนั้นจึงได้มีการปรับปรุงวงจรขึ้นใหม่ดังรูปที่ 2.8 ที่ใช้ความต้านทาน R_2 เพียงค่าเดียวในการปรับอัตราการขยายโดยมีค่าอัตราการขยายของวงจรซึ่งหาได้จะรูป 2.8 ดังนี้

$$V_o = (1 + \frac{R_1}{R_2})(V_2 - V_1) \quad \text{.....(2)}$$



รูปที่ 2.8 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ที่สมบูรณ์

2.2.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

ในโครงงานนี้เราจะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง (First - Order Low Pass Filter) ในการกรองสัญญาณเอาท์พุตให้มีค่าความถี่อยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยรูปแบบทั่วไปของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งคือ

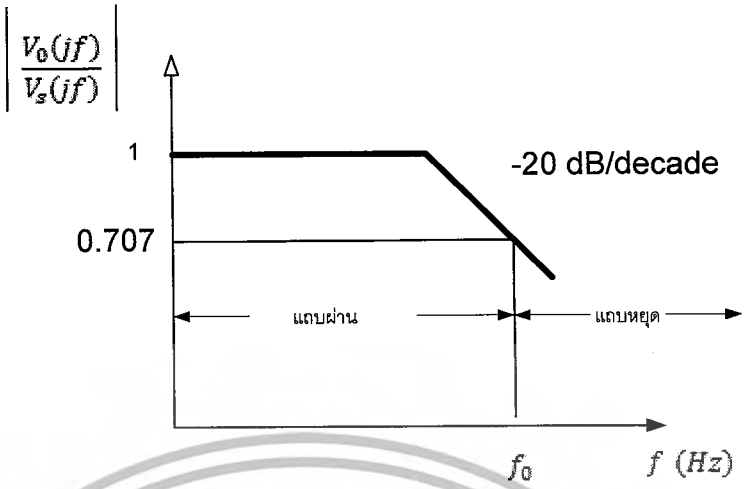
$$H(s) = \frac{K}{s+\omega_0} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ H(s) คือ ฟังก์ถ่ายโอน

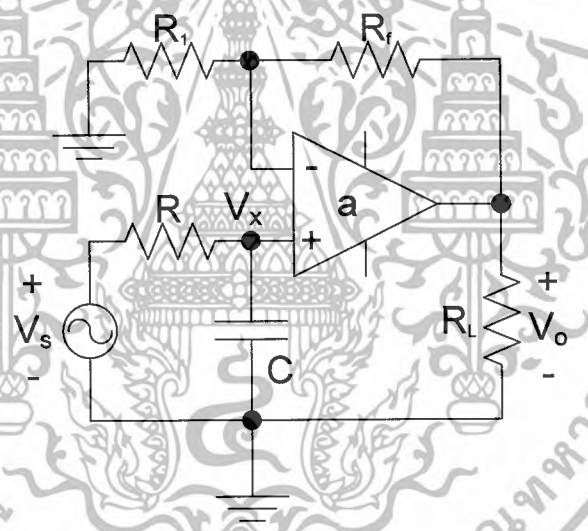
K คือ อัตราการขยายช่วงผ่านแถบความถี่ผ่าน

ω_0 คือ ความถี่ธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง



รูปที่ 2.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

รูปที่ 2.9 ที่แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับหนึ่งและใช้วงจร RC เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังรูปที่ 2.10 ซึ่งถือว่าเป็นวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ เพราะเป็นวงจรกรองความถี่ที่มีการใช้งานอุปกรณ์ออปแอมป์ที่เป็นอุปกรณ์แบบแอกทีฟการ โดยที่ออปแอมป์ทำงานเป็นวงจรขยายไม่กลับสัญญาณ โดยการทำงานจะเป็นการตัดสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าค่าความถี่คัดออฟ (Cutoff Frequency) ที่กำหนดไว้ออกไป ซึ่งมีความต้านทานที่อินพุตสูงแต่ความต้านทานที่เอาต์พุตต่ำ เมื่อใช้หลักการในการแบ่งแรงดันที่จุด X ซึ่งเป็นจุดแบ่งแรงดันเพื่อหาค่าแรงดัน (V_x) ที่ขั้วบวกของออปแอมป์ (เขียนในโดเมน s) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_x(s) = \frac{1/sC}{R+1/sC}V_s(s) = \frac{1}{1+sRC}V_s(s) \quad \text{.....(4)}$$

แรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายไม่กลับสัญญาณคือ

$$V_0(s) = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)V_x(s) = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)\frac{1}{1+sRC}V_s(s) \quad \text{.....(5)}$$

จะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนคือ

$$\frac{V_0(s)}{V_s(s)} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)\frac{1}{1+sRC} = \frac{K}{1+sRC} \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อ

$$K = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

K คืออัตราขยายดีซี

เมื่อแทน $s = j\omega$ ในสมการที่ (6) จะได้

$$\frac{V_o(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{K}{1+j\omega RC} \quad \text{.....(7)}$$

จากสมการที่ (7) จะได้ว่าอัตราขยายลดลงเท่ากับ -20dB/Decade โดยดูจากผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่งในรูปที่ 2.9 ซึ่งการที่ได้อัตรขยายลดลง -20dB/Decade เป็นคุณบัติทั่วไปของวงจรอันดับหนึ่งอยู่แล้วและจะได้ความถี่คัดออฟ f_0 ที่อัตราขยาย 3 dB

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{.....(8)}$$

หรือ

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{RC} \quad \text{.....(9)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 วงจรนอตท์ฟิลเตอร์ (Notch Filter)

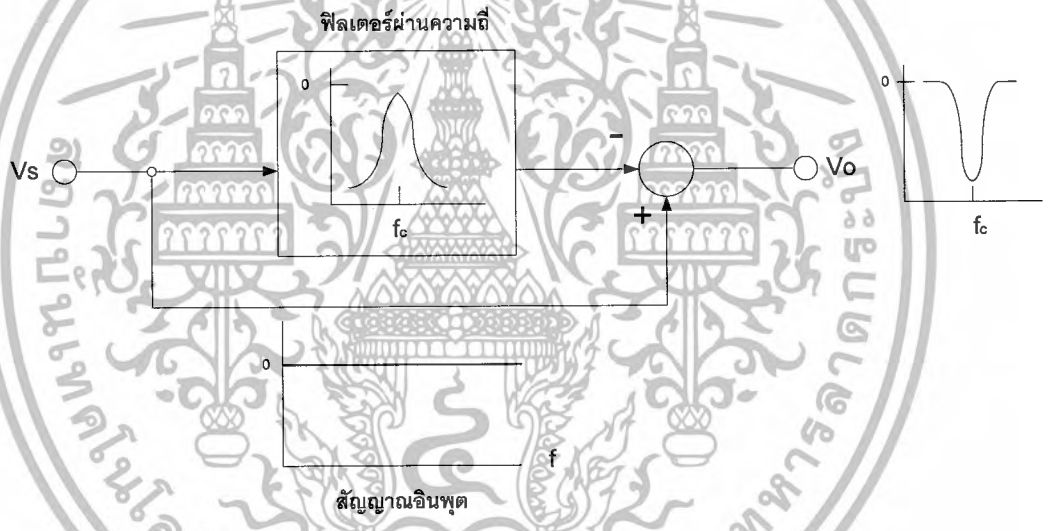
วงจรนอตท์ฟิลเตอร์ (Notch Filter) หรือเรียกงานวงจรกำจัดแถบความถี่ ซึ่งจะทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณในแถบหยุด ที่มีความถี่เท่ากับความถี่คัดออฟและยอมให้สัญญาณที่มีค่าความถี่อื่น ๆ ผ่านได้โดยรูปแบบทั่วไปของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรนอตท์ฟิลเตอร์ คือ

$$H_{BR}(s) = \frac{K_{PB}(s^2+\omega^2{}_c)}{s^2+\frac{\omega_c}{Q}s+\omega^2{}_c} \quad \text{.....(10)}$$

โดยที่ K_{PB} คืออัตราขยายแถบผ่าน

ω_c คือ ความถี่กึ่งกลาง

Q คือ ตัวประกอบคุณภาพ



รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรนอตท์ฟิลเตอร์

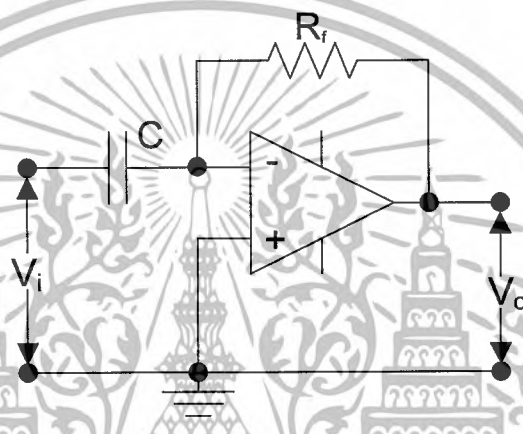
โดยในโครงงานนี้เราจะใช้วงจรนอตท์ฟิลเตอร์แบบกำจัดแถบความถี่แคบ (Narrow-Notch Filter) ซึ่งนิยมใช้ในระบบสื่อสารและเครื่องมือวัดทางการแพทย์เพื่อที่กำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการ เช่น เสียงฮึมจากความถี่สายไฟฟ้ากำลัง 50 เฮิรตซ์ โดยวิธีการสร้างวงจรนอตช์ฟิลเตอร์อย่างง่ายก็คือ ทำการลบสัญญาณเอาต์พุตของฟิลเตอร์ผ่านแถบความถี่ (Band Pass Filter) ด้วยสัญญาณอินพุต ซึ่งมีหลักการดังรูปที่ 2.11 โดยช่วงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรฟิลเตอร์ผ่านแถบ (Band Pass Filter) ที่ตรงกับช่วงของสัญญาณอินพุต ถูกลบออกไปทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุตที่ผ่านวงจรนอตท์ฟิลเตอร์ตามสมการที่ (10) และมีอัตราการขยายเท่ากับ K_{PB} จากสัญญาณเอาท์พุตที่ได้มานั้นจะเห็นว่าวงจรมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่คัดออฟออกไป โดยค่าความถี่คัดออฟของวงจรนอตท์ฟิลเตอร์จะสามารถกำหนดได้แบบเดียวกับความถี่คัดออฟของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

2.2.5 ทฤษฎีดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator)

วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ออปแอมป์ (Differentiator Circuit Op-Amp) คือวงจรที่ใช้ออปแอมป์ในการสร้างเป็นตัว ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator) ดังรูปที่ 2.12 โดยมีตัวเก็บประจุ (C) เป็นอุปกรณ์อินพุต (Element Input) และตัวต้านทาน R_f เป็นอุปกรณ์ป้อนกับ (Feed Back Element)



รูปที่ 2.12 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator)

โดยสมการของแรงดันขาออกคือ

$$V_o = - R_f C (dV_i / dT) \quad \text{.....(11)}$$

จะพบว่า เมื่อใช้ C เป็นอุปกรณ์อินพุต (Element Input) จะมีผลต่อความถี่ของสัญญาณขาเข้า เพราะค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (X_C) นั้นเปลี่ยนแปลงตามความถี่ดังสมการ

$$X_C = 1/ (2\pi f_C) \quad \text{.....(12)}$$

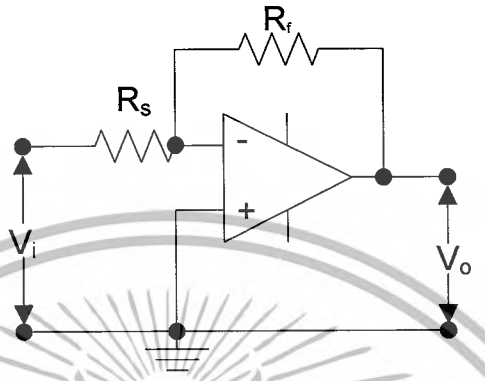
เมื่อ X_C คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บ (Ω)

f_C คือ ความถี่ของสัญญาณขาเข้า (Hz)

C คือ ค่าของตัวเก็บประจุ (F)

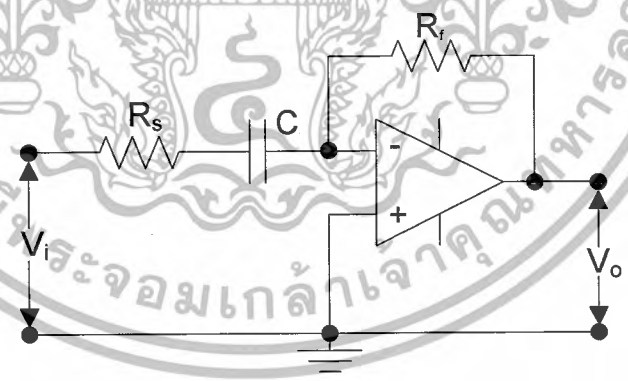
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราพิจารณาวงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ จะเห็นว่า X_C คล้ายกับความต้านทาน R_s ของวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) จึงกล่าวได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (X_C) จะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน R_s ของวงจรขยายแบบกลับเฟส โดยดูได้จากรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (X_C) ไปจะเป็นผลให้สัญญาณขาออก (V_O) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในทางปฏิบัติจึงใช้ความต้านทาน R_S มาต่ออนุกรมกันตัวเก็บประจุ เพื่อจำกัดผลการเปลี่ยนแปลงของความถี่สูงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ

จากรูปที่ 2.14 จะได้วงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ เนื่องจากมีการจำกัดผลการเปลี่ยนแปลงของความถี่สูงเรียบร้อยแล้วจากสมการ $X_C = 1/(2\pi f_C)$ เมื่อเพิ่มค่า R_S เข้าไปในวงจร และใช้คุณสมบัติว่าค่าของ $X_C = R_S$ ที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น จะได้ว่าความถี่ของสัญญาณอินพุตของวงจร (f_C) จึงมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_C = 1/ (2\pi R_S) \text{ .....(13)}$$

ดังนั้นค่าความถี่ของสัญญาณอินพุตของมีค่าไม่เกิน f_C จะทำให้วงจรทำงานเป็นดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ที่ให้เอาท์พุตเป็นค่าคงที่ แต่ถ้าความถี่ของสัญญาณดังกล่าวมีค่ามากกว่า f_C วงจรนี้จะทำงานเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Op amp) ที่ให้เอาท์พุตที่มีเฟสตรงข้ามกับอินพุตและมีอัตราการขยายแรงดัน (Gain) คือ

$$A = -R_f/R_S$$

สรุป ถ้า $f < f_C$ วงจรทำงานเป็น วงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ จะได้ $V_O = - R_fC (dV_i / dT)$

ถ้า $f > f_C$ วงจรทำงานเป็น วงจรขยายแบบกลับเฟส จะได้ $A = -R_f/R_S$

2.2.6 ทรานซิสเตอร์ (TRANSISTORS)

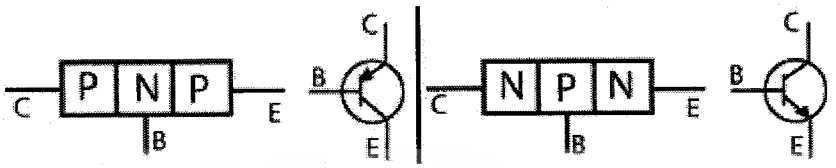
รูปที่ 2.15 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ ซึ่งมีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ PN จำนวน 2 ตำแหน่ง จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าทรานซิสเตอร์รอยต่อไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของทรานซิสเตอร์ (Type of Transistors)

ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภทคือ ทรานซิสเตอร์แบบ NPN และทรานซิสเตอร์แบบ PNP



รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์

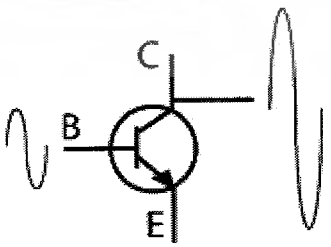
ทรานซิสเตอร์แบบ NPN ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N จำนวน 2 ชิ้น ต่อเชื่อมกับสารกึ่งตัวนำชนิด P จำนวน 1 ชิ้นแสดงสัญลักษณ์เป็นในรูปที่ 2.16 ส่วนทรานซิสเตอร์แบบ PNP ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P จำนวน 2 ชิ้นต่อเชื่อมกับสารกึ่งตัวนำชนิด N จำนวน 1 ชิ้น

2.2.6.1 กระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีขั้ว 3 ขั้ว คือ ขั้วคอลเลคเตอร์ ขั้วเบส และขั้วมิเตอร์ จึงมีกระแสและแรงดันทรานซิสเตอร์หลายค่าดังนี้

กระแสของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยกระแสเบส (Base Current; I_B) กล่าวคือ เมื่อ I_B มีการเปลี่ยนแปลงไปแม้เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้กระแสอิมิเตอร์ (Emitter Current; I_E) และกระแสที่คอลเลคเตอร์ (Collector Current; I_C) เปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากเราจะทำการเลือกบริเวณในการทำงาน (Operating Region) หรือทำการไบอัสที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตำแหน่ง ให้ได้ความเหมาะสมก็จะได้ I_E และ I_C ซึ่งมีขนาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับ I_B



รูปที่ 2.17 สัญญาณของทรานซิสเตอร์

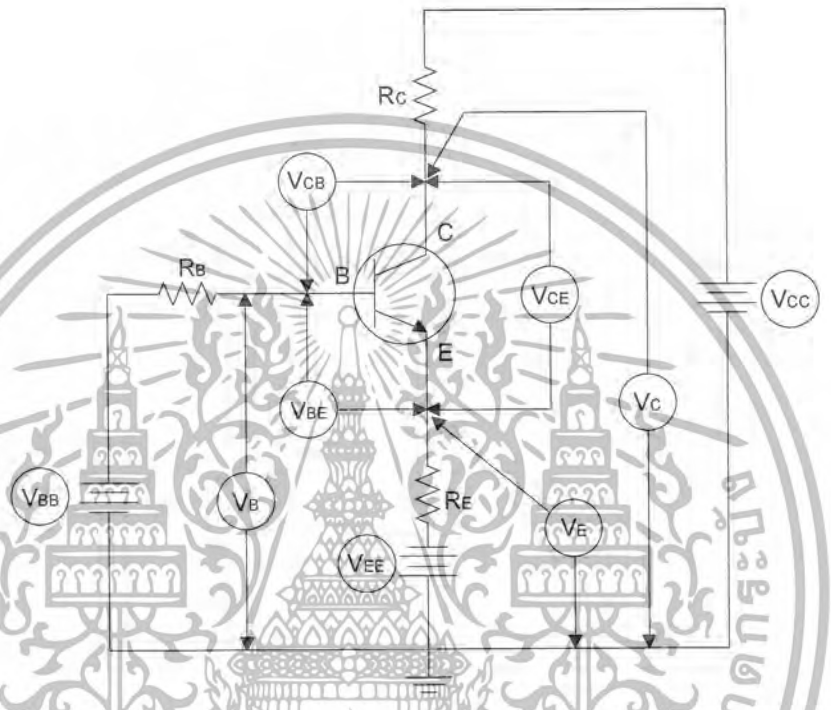
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากรูปที่ 2.17 เมื่อจ่ายสัญญาณกระแส AC ที่ขั้วเบส (I_B) หรือที่อินพุตของทรานซิสเตอร์จะได้รับสัญญาณเอาต์พุตที่ขั้ว E (I_E) และที่ขั้ว C (I_C) มีขนาดเพิ่มขึ้น

แรงดันของทรานซิสเตอร์

ขณะต่อทรานซิสเตอร์เพื่อใช้กับงานจริงมีแรงดันไฟฟ้าหลายประการเกิดขึ้นดังนี้



รูปที่ 2.18 แรงดันไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์

V_{CC}, V_{EE}, และV_{BB} เป็นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

V_C, V_B และ V_E เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากขั้ว C, B และ E

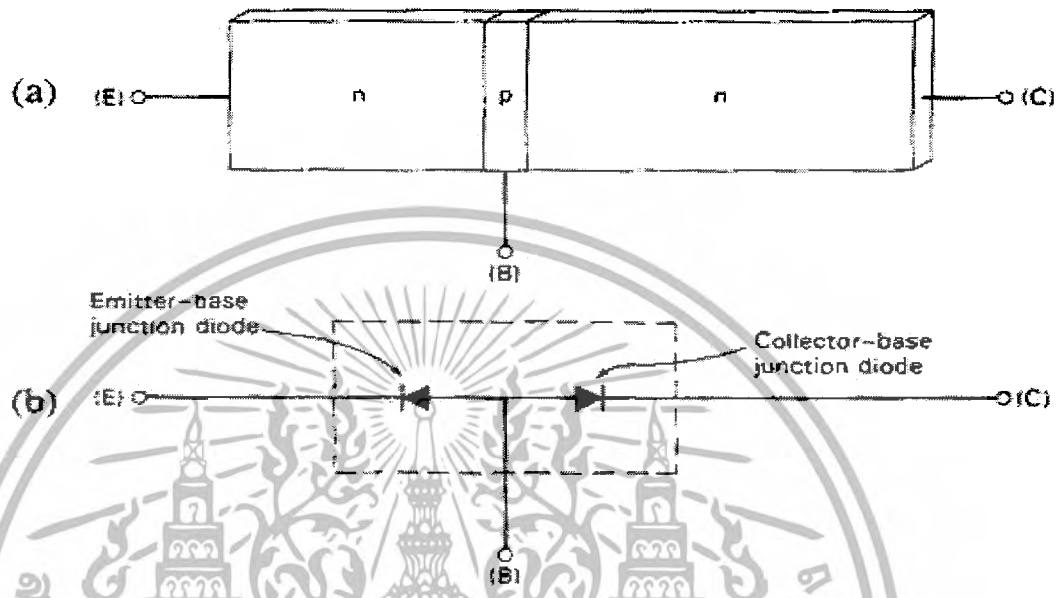
V_{CE}, V_{BE} และV_{CB} เป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างขั้วที่ระบุตามตัวห้อย

110942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.2 โครงสร้างและการทำงานของทรานซิสเตอร์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ชิ้น ที่ทำการต่อเชื่อมติดกัน ดังนั้นจึงมีรอยต่อ PN จำนวน 2 ตำแหน่งดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 รอยต่อของทรานซิสเตอร์

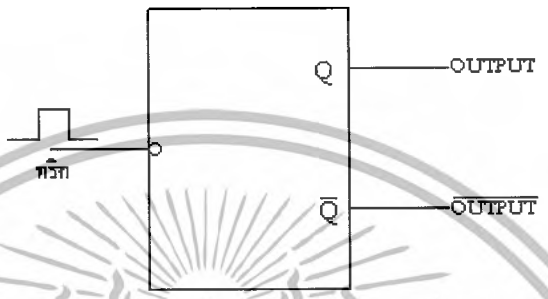
ตำแหน่งที่อิมิตเตอร์กับเบสเชื่อมกันเป็นรอยต่อ PN เรียกว่า รอยต่ออิมิเตอร์-เบส ส่วนตำแหน่งที่คอลเลคเตอร์กับเบสต่อเชื่อมกันเรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส (Collector Base Junction) เขียนแทนได้ด้วยค่าเทียบเคียงของไดโอด เมื่อนำหลักการมาร่วมพิจารณา ทำให้ทราบว่าการที่จะนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานได้นั้นต้องต่อแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำการไบอัสที่รอยต่อหรือไดโอดเทียบเคียงทั้งสอง เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขั้วการต่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานจึงเป็นไปได้ 3 แบบคือ

- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณคัตออฟ (Cut-off Region)
- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณอิ่มตัว (Saturation Region)
- การให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่บริเวณแอกตีฟ (Active Region)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 วงจรโมโนสเตเบิล (MONOSTABLE)

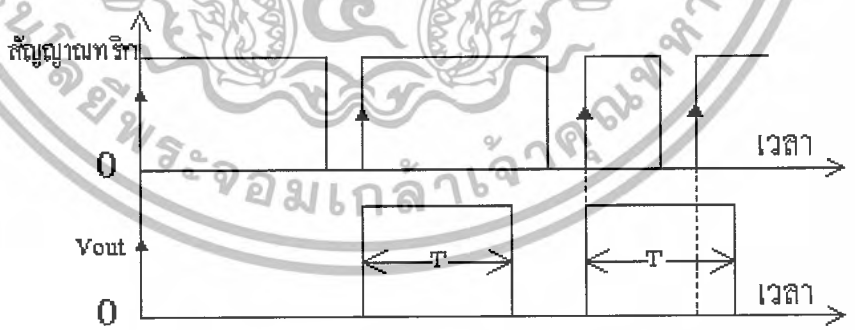
เป็นวงจรสร้างพัลส์ โดยตัววงจรจะมีเอาท์พุทเสถียรอยู่ที่สถานะ "0" หรือ "1" เมื่อทำการทริกวงจร สัญญาณเอาท์พุทของวงจรจะเปลี่ยนจากสถานะที่เสถียรอยู่ไปยังสถานะตรงกันข้ามชั่วขณะแล้วกลับมายังสถานะที่เสถียรเหมือนเดิม โดยความกว้างของพัลส์ที่ไม่เสถียรจะขึ้นอยู่กับค่า RC ที่กำหนดคาบเวลานั้น



รูป 2.20 ผังวงจรของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิลมี 2 ชนิด คือ ชนิดทริกซ้ำได้ และชนิดทริกซ้ำไม่ได้

1. ชนิดทริกซ้ำไม่ได้ (Non-retrigger able) เป็นชนิดที่ให้เอาท์พุทด้วยเวลาคงที่ โดยทุกครั้งที่ทำการทริก (Trig) หากสัญญาณเอาท์พุทยังไม่เสถียร การทริกในครั้งต่อไปจะไม่ทำให้เอาท์พุทของวงจรเปลี่ยนแปลงไปดังในรูปที่ 2.21 ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากมีสัญญาณทริกเข้ามาในช่วงเวลาคงที่ตัวสัญญาณเอาท์พุทของวงจรจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

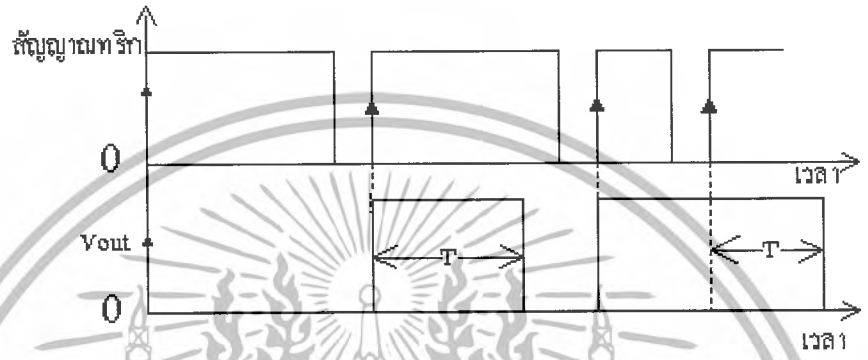


รูปที่ 2.21 สัญญาณทริกและสัญญาณเอาท์พุทของโมโนสเตเบิลที่ทริกซ้ำไม่ได้

โดย T = ความกว้างของพัลส์กำหนดด้วยตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดทริกซ้ำได้ (Retrigger able) เป็นชนิดที่ให้เอาท์พุทด้วยเวลาไม่คงที่ โดยทุกครั้งที่ทำการทริก (Trig) สัญญาณเอาท์พุทจะทำการคงสถานะ 1 ไปเรื่อย ๆ กล่าวคือจะตอบสนองต่อสัญญาณทริกตลอดเวลาโดยดูได้จากรูปที่ 2.22 ที่การทริกครั้งที่ 3 และ 4 จะทำให้สัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรไม่เปลี่ยนสถานะกลับเป็น 0 แต่จะคงสถานะไปเรื่อย ๆ



รูป 2.22 สัญญาณทริกและสัญญาณเอาท์พุทของโมโนสเตเบิลแบบทริกซ้ำได้

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับตัวควบคุม (AVR)

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel โดยจะมีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC (reduced instruction set computer) และใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง ซึ่งจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช์ การโปรแกรมข้อมูลทำได้แบบโดยตรงในขณะทำงาน (In-System programmable) ซึ่งหมายความว่าสามารถโปรแกรมได้ในขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ และในบางเบอร์ยังสามารถกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำสร้างเป็นบูตโหลดเดอร์ คือสามารถระบุตำแหน่งของหน่วยความจำให้เป็นจุดเริ่มต้นในการรันโปรแกรม มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัวยกตัวอย่าง เช่น บอร์ดทดลองของบริษัท ETT รุ่น ET-BASE AVR 128

- หน่วยความจำแบบแฟลช์ 128 กิโลไบท์, แรม 4 กิโลไบท์, อีพรอม 4 กิโลไบท์
- RUN คริสตัลที่ 16MHz มีจำนวนพอร์ตใช้งาน (I/O PORT) จำนวน 53 พอร์ต
- RS232 PORT จำนวน 2 พอร์ต แบบ 4 PIN ETT
- 14 PIN LCD PORT แบบตัวอักษร (CHARACTER TYPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ตแปลงสัญญาณแอนาล็อคเป็นดิจิตอล (A TO D) ขนาด 10 BIT 8 พอร์ต, SPI 1 พอร์ต, I^2C 1 พอร์ต

- TIMERS/COUNTERS 8 BIT, TIMERS/COUNTERS 16 BIT, PWM, WATCHDOG

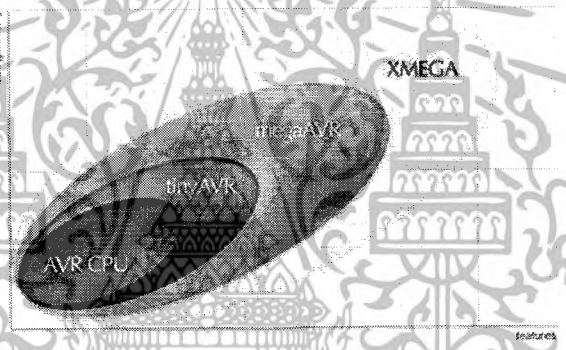
- พอร์ตใช้งาน (I/O PORT) แบบ 10PIN ET จำนวน 6 พอร์ต

- ใช้แหล่งจ่ายไฟตรงขนาด 7 – 12 โวลต์ บนบอร์ดมีไอซีเบอร์ 7805 ทำหน้าที่ปรับแรงดัน

- ขนาดลายวงจร (PCB) 6.2 x 8.1 เซนติเมตร

- สามารถดาวโหลดโปรแกรมเข้าหน่วยความจำภายในแบบแฟลช์ได้โดยตรงด้วยชุด ET-AVR ISP ผ่านทางพอร์ตปรินท์เตอร์ โดยใช้งานกับโปรแกรม PONY PROG2000 ทำงานบน WINDOWS 98/ME/XP/2000

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.23 กลุ่มของตัวควบคุมตระกูล AVR

1. Tiny AVR — ATtiny series เช่นเบอร์ Tiny13 , Tiny2313
   - มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 1 กิโลไบท์ ถึง 8 กิโลไบท์
   - มีจำนวนขาใช้งาน 6 – 32 ขา
   - มีส่วนของอุปกรณ์เสริมที่ค่อนข้างจำกัด

2. MegaAVR — ATmega series เช่นเบอร์ ATmega8 ,ATmega16, ATmega32, ATmega64
   - มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบท์ ถึง 256 กิโลไบท์
   - มีจำนวนขาใช้งาน 28 – 100 ขา
   - มีชุดคำสั่งที่สามารถจัดการกับหน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น
   - มีส่วนของอุปกรณ์เสริมมากในตัวไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. XMEGA — ATxmega series เช่นเบอร์ ATxmega64A1, ATxmega128A1
   - มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 16 กิโลไบท์ถึง 384 กิโลไบท์
   - มีจำนวนขาใช้งาน 44 – 100 ขา
   - มีชุดคำสั่งที่สามารถจัดการกับระบบการรับส่งข้อมูลแบบ DMA

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับโปรแกรม Protel 99 SE

โปรแกรม Protel 99 SE เป็นโปรแกรมที่ไว้เพื่อสร้างแผ่นปรินท์ โดยเป็นโปรแกรมที่มีความน่าเชื่อถือและได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเราสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99 SE เป็นข้อหลัก ๆ ได้ดังนี้

1. เริ่มต้นการใช้งานและการเขียนสคีเมติค (Schematic)
2. เทคนิคการเขียนลายวงจร (PCB) และการทำต้นแบบเนกกาทีฟในโปรแกรม Protel 99 SE

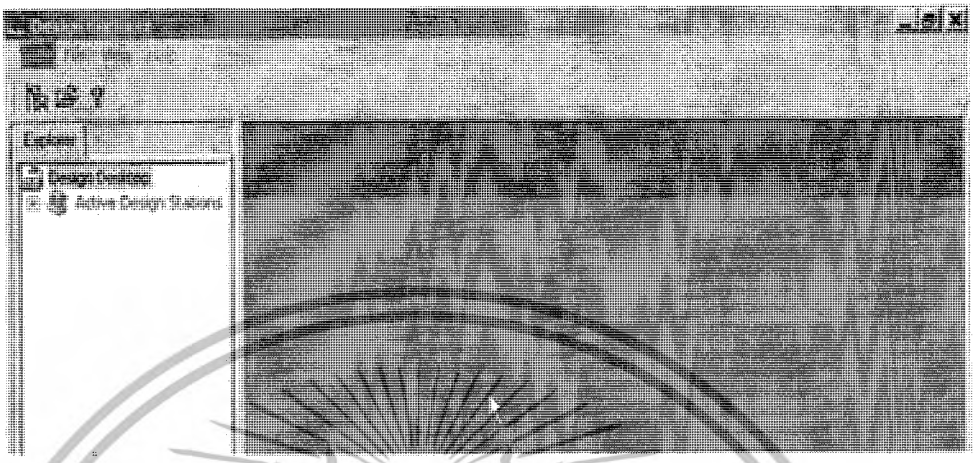
2.4.1 การสร้างสคีเมติค (Schematic)

1. การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม Protel 99 SE ให้คลิ๊กที่แถบ Start จากนั้นไปคลิ๊กที่ Programs แล้วคลิ๊กที่ Protel 99 SE ดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.24 การเข้าโปรแกรม Protel 99 SE

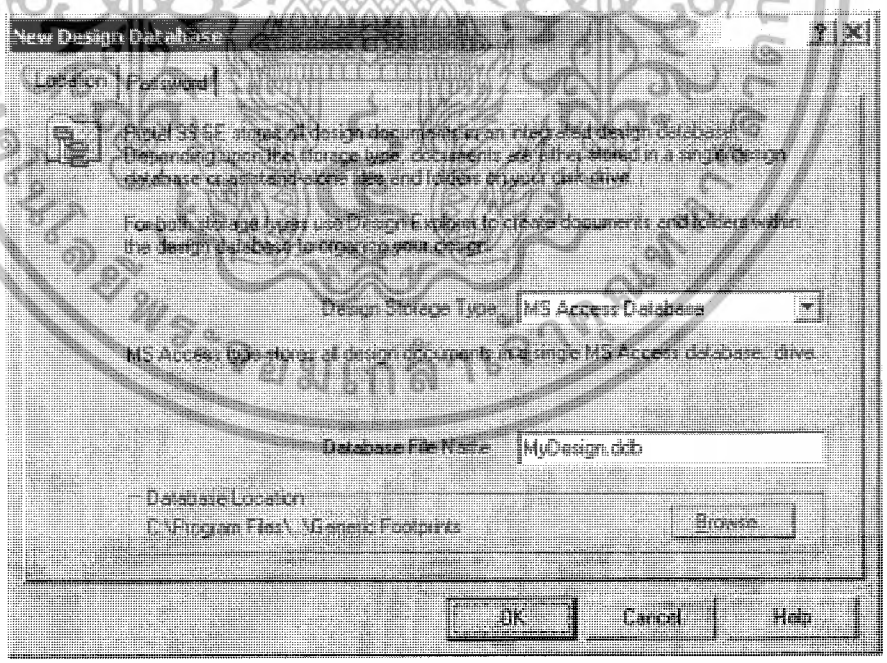
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อทำการเลือกแล้วจะเข้าสู่หน้าจอหลักของ Protel 99 SE จะปรากฏดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.25 หน้าของโปรแกรม Protel99 SE

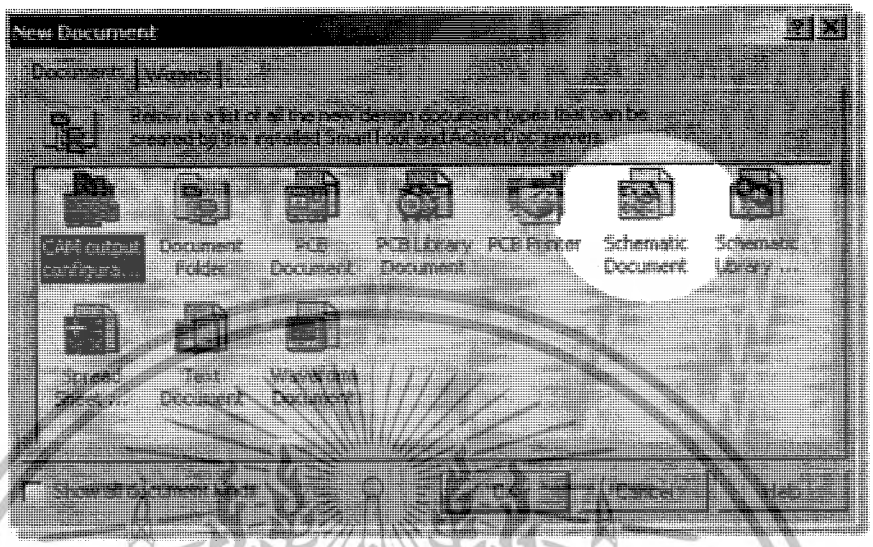
3. ทำการสร้าง Project ขึ้นใหม่โดยเลือก File>> New ปรากฏหน้าต่าง New Design Database



รูปที่ 2.26 หน้าต่างการออกแบบใหม่ (New Design Database)

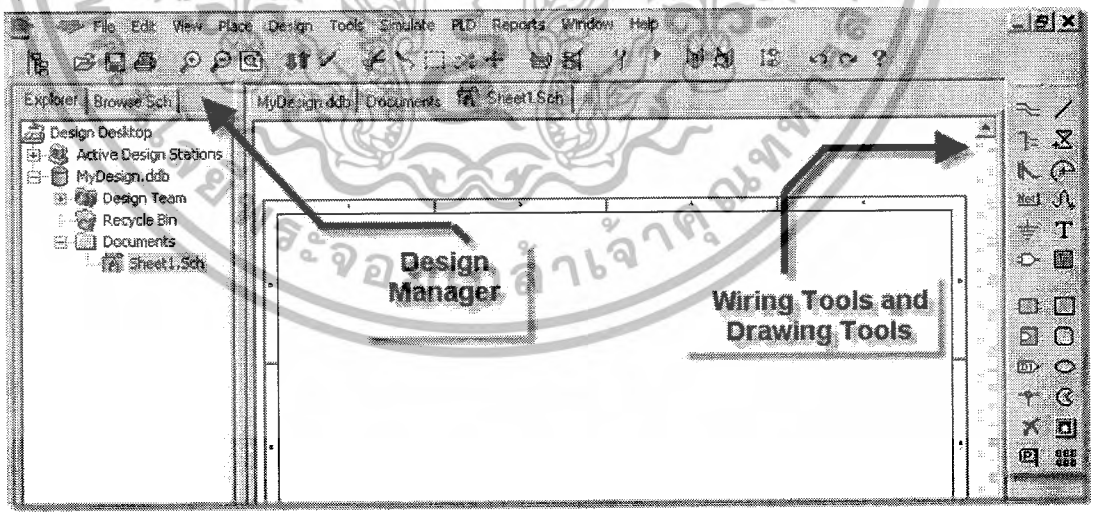
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แล้วใช้คำสั่ง File>>New จะปรากฏแม่แบบเอกสารต่าง ๆ ให้เลือกแม่แบบ Schematic Document



รูปที่ 2.27 แม่แบบเอกสารสคีเมติค (Schematic Document)

5. เมื่อทำการดับเบิลคลิก Schematic Document จะพบกับหน้าต่างออกแบบสคีเมติค (Schematic Design)

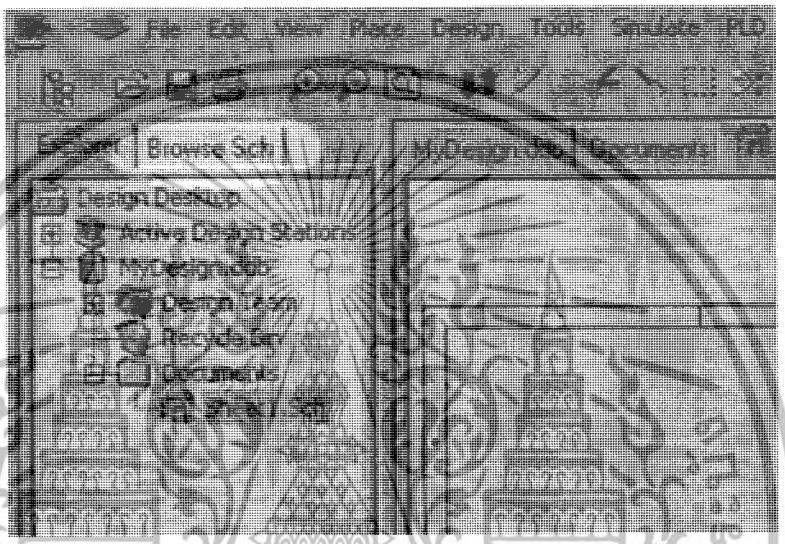


รูปที่ 2.28 หน้าต่างออกแบบสคีเมติค (Schematic Design)

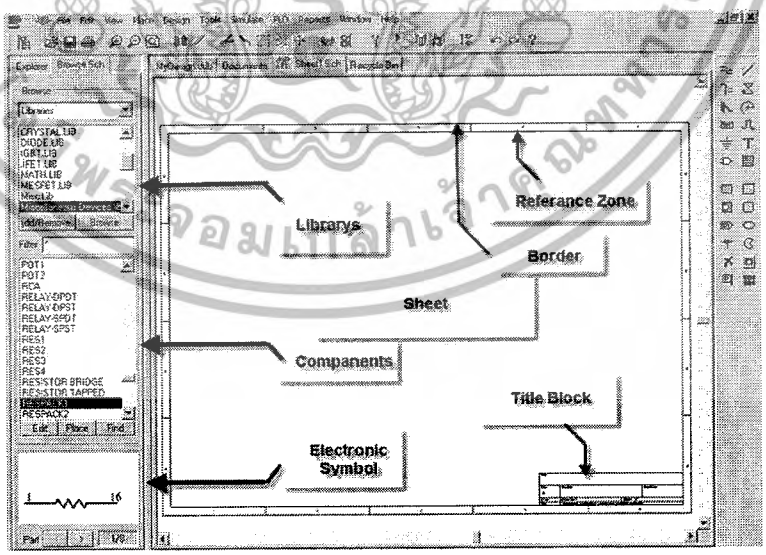
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นหน้าหลักของการสร้างส่วนของสคีเมติค (Schematic) โดยด้านซ้ายมือคือ Design Manager จะเป็นส่วนของ Explorer และ Browse Sc ส่วนทางด้านขวาจะเป็นเครื่องมือที่มีไว้ใช้ร่วมในการสร้าง Schematic คือ Wiring Tools ที่ใช้ในการเชื่อมต่อสายสัญญาณแบบต่าง ๆ และ Drawing Tools ที่ใช้ในการเขียนกราฟิกตกแต่งสคีเมติค (Schematic)

6. ให้ทำการคลิกเลือก Browse Sch ในส่วนของ Design Manager



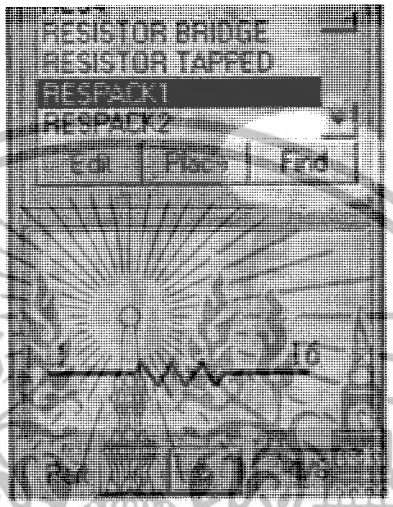
รูปที่ 2.29 หน้าต่างการจัดการการออกแบบ (Design Manager)



รูปที่ 2.30 โครงสร้างส่วนต่างๆของหน้าต่างออกแบบสคีเมติค (Schematic Design)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ในส่วนของไลบรารี (Library) จะเป็นที่เก็บตัวอุปกรณ์ (Components) ต่าง ๆ ไว้สามารถเพิ่ม/ลด (Add/Remove) ได้ซึ่งไลบรารี (Library) จะเป็นที่เก็บอุปกรณ์ (Components) โดยปกติในช่อง Filter เมื่อระบุจะปรากฏชื่อของอุปกรณ์ (Components) ทุกตัวที่อยู่ในไลบรารี (Library) นั้นทั้งหมด ซึ่งถ้าต้องการค้นหาอุปกรณ์ที่อยู่ใน Library อื่น ๆ ที่ไม่ทราบว่าอยู่ที่ไลบรารี (Library) ใด ก็สามารถใช้คำสั่ง Find ด้านล่างของ Block Component เพื่อค้นหา

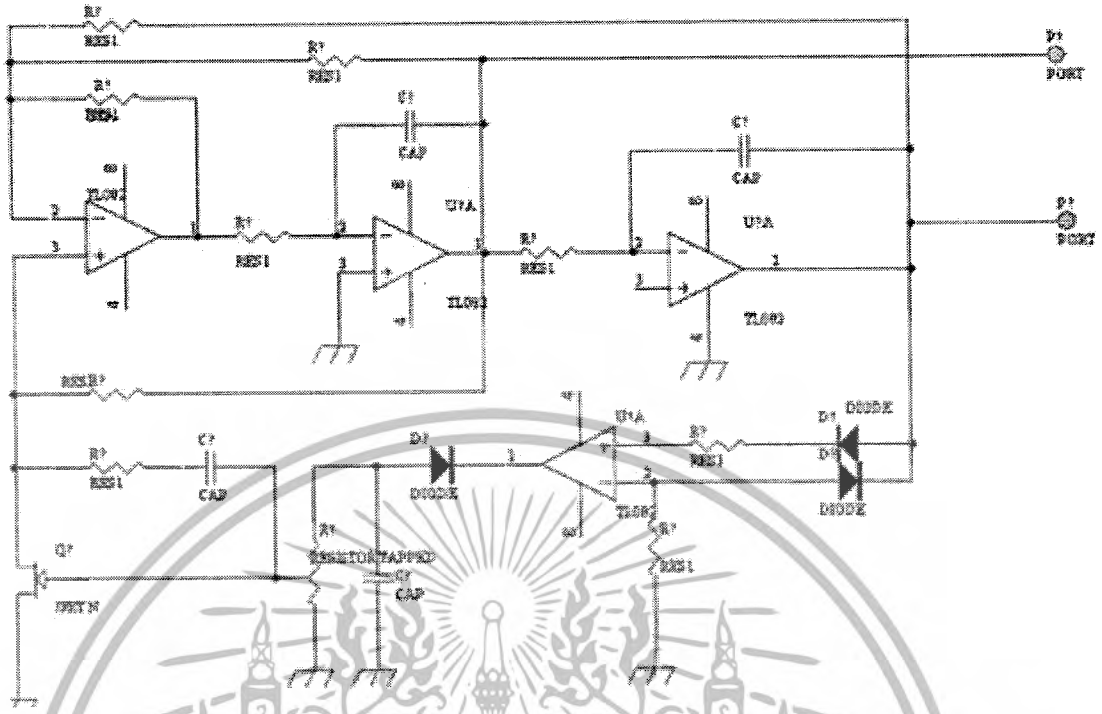


รูปที่ 2.31 บล็อกคอมโพเนน (Block Component)

โปรแกรมจะทำการค้นหาทุกไลบรารี (Library) เมื่อพบอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วให้เลือกเพื่อเพิ่มไลบรารี (Library) ดังกล่าวเข้าไปในไลบรารี (Library) ในส่วนของ Browse sch และในกรณีที่อุปกรณ์บางตัวไม่มีในไลบรารี (Library) เราสามารถสร้างขึ้นเองได้และจัดเก็บไว้ในไลบรารี (Library) ใดก็ได้

8. เมื่อทำการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องใช้ครบหมดแล้ว ก็ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ต้องการ จากนั้นทำการกำหนด Foot print ให้กับอุปกรณ์แต่ละตัวและจากนั้นต้องทำการเปลี่ยนชื่ออุปกรณ์ที่เหมือนกันให้ต่างกัน ไม่เช่นนั้นจะทำการอัพเดตสคีเมติกที่ออกแบบให้เป็นลายวงจร (Up Date PCB) ไม่ได้

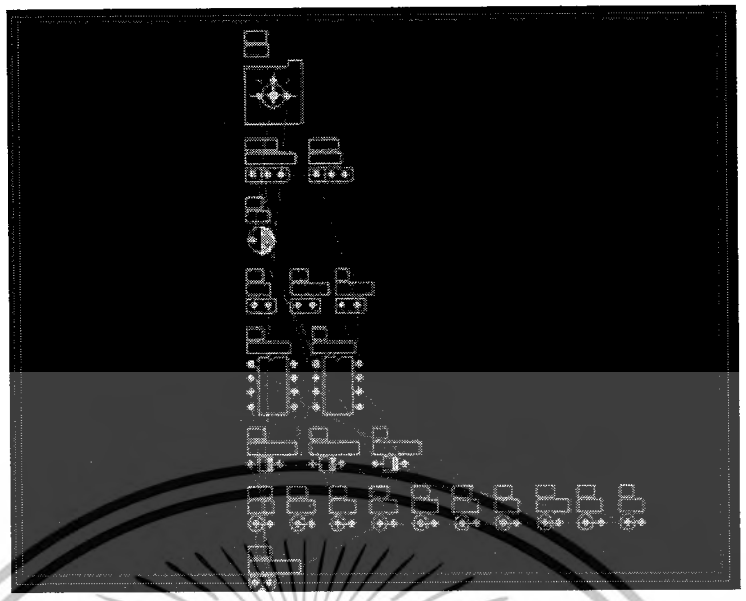
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 สคีเมติค (Schematic) ที่พร้อมอัพเดตเป็นลายวงจร (Up Date PCB)

9. การอัพเดต (Update) แปลงจากสคีเมติค (Schematic) ไปเป็นลายวงจร (PCB) โดยใช้คำสั่ง Design > Update PCB ให้ทำการเลือกที่ Execute โดยโปรแกรมจะทำการสร้างไฟล์ลายวงจร (PCB) ขึ้นมาใหม่เป็น Pcb1.pcb และในหน้าของ PCB1.pcb จะปรากฏ Foot Print ของสคีเมติค (Schematic) แต่ละตัวที่เรากำหนดชื่อ Foot Print ไว้ในการออกแบบสคีเมติค (Schematic) ดังรูปที่ 2.32

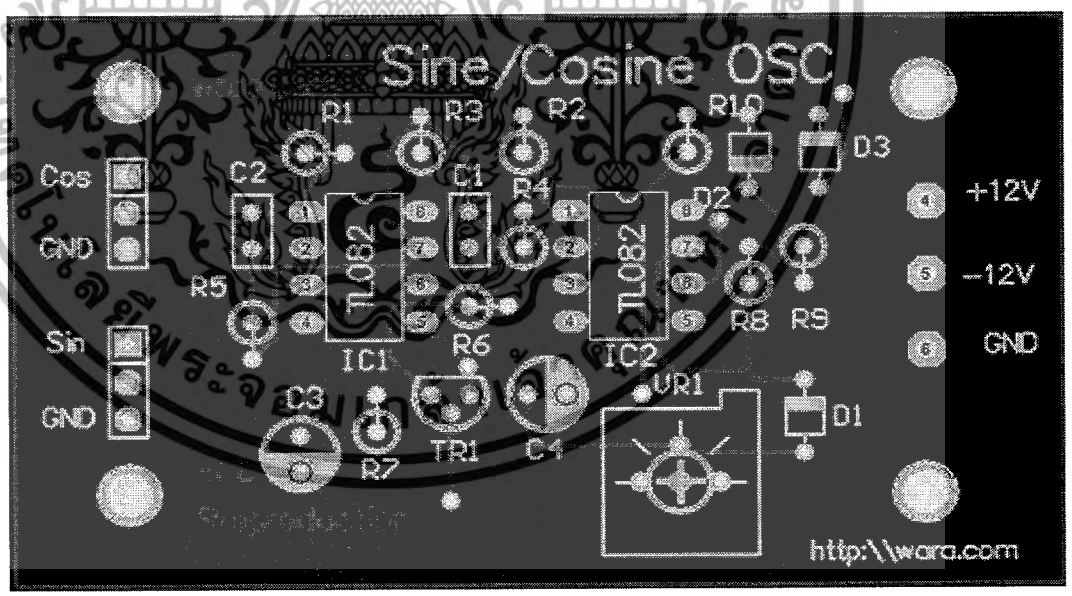
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 ลายวงจร (PCB) ที่ทำการอัพเดต (Update)

2.4.2 เทคนิคการเขียนลายวงจร (PCB) และการทำต้นแบบแนกกาทีฟใน Protel 99 SE

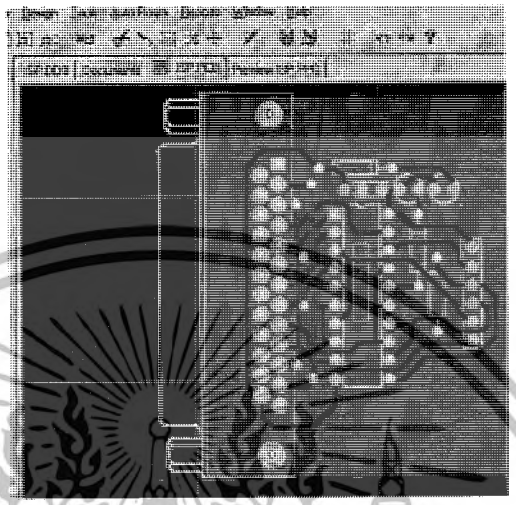
1. จากรูปที่ 2.32 ให้เราทำการออกแบบลายวงจรให้เรียบร้อยดังนี้



รูปที่ 2.34 ลายวงจรที่เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทำต้นแบบเนกกาทีฟในโปรแกรม Protel 99 SE สร้างลายวงจรที่เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม (เป็นการสร้างแบ็คกราวด์) เลือกเลเยอร์ที่ไม่ใช้งานเช่น Keep Out Layer กด P เลือก Fill ลากคร่อมบริเวณที่ทำปริ้นจะได้ดังนี้



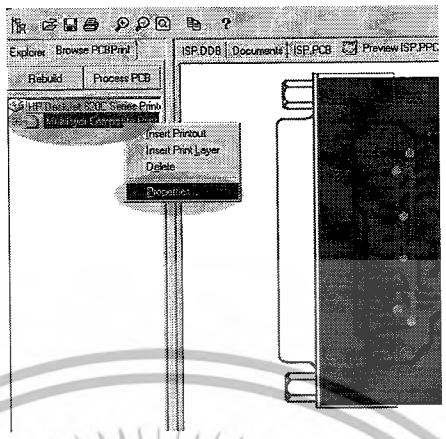
รูปที่ 2.35 ลายวงจรที่ถูกครอบด้วย Keep Out Layer

3. กดปุ่มเครื่องพิมพ์จะได้ Preview ดังรูป (อาจจะได้สีอื่นไม่ต้องตกใจ)

รูปที่ 2.36 ลายวงจรเมื่อทำการ Preview

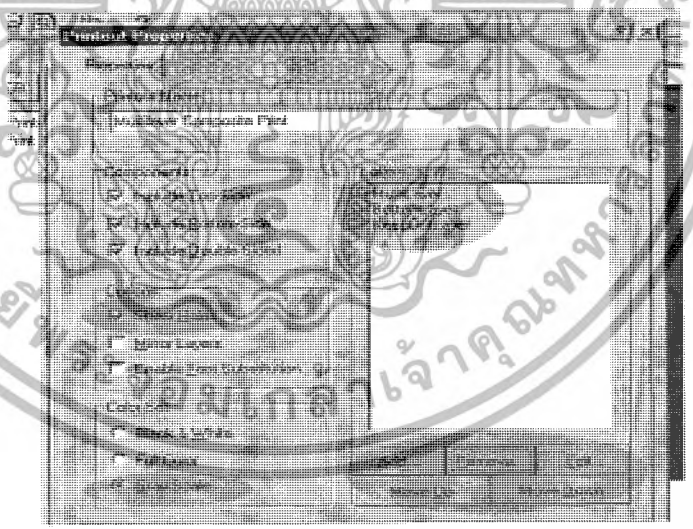
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คลิกขวาบริเวณดังรูปเลือก Properties



รูปที่ 2.37 การตั้งค่าการแสดงผล

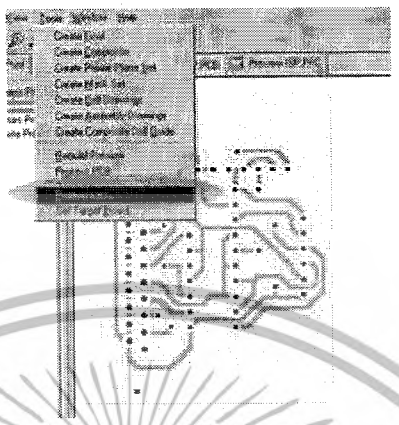
5. เลือก Show Holes และ Gray Scale ดังรูปเลื่อน-เลือก-ลบ เลเยอร์ใ ห้เรียงจากบนลงล่างโดย Multi Layer จะเป็นจุดต่อ เช่น Pad Via,Bottom Layer เป็นเลเยอร์ของลายทองแดงที่ต้องการทำ Keep Out Layer เป็นเลเยอร์ที่เราสร้าง Fill เพื่อเป็นพื้นฉากหลัง



รูปที่ 2.38 การตั้งค่าการแสดงผล 2

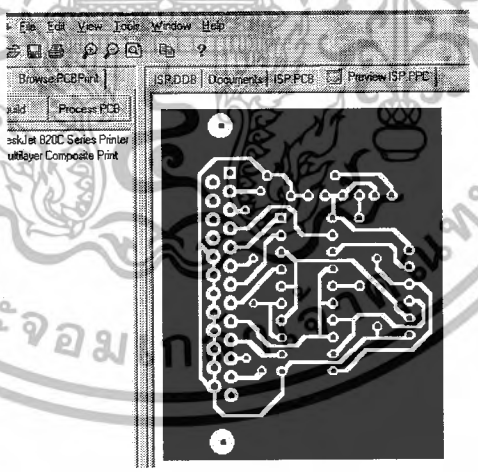
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จะได้ดังรูปโดยการเลือกสีของแต่ละเลเยอร์ทำได้โดยเลือก Tool แล้วก็เลือกที่ Preferences



รูปที่ 2.39 Preferences

7. ในที่นี้ทำในเลเยอร์ Bottom และจุดต่อ Pad และ Via ใน Multi Layer เลือกเป็นสีขาว ในเลเยอร์ Keep Out Layer เลือกเป็นสีดำ ส่วนในของ Pad และ Vai เลือกเป็นสีดำจะได้ต้นแบบที่เป็น เนกกาทีฟตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.40 ลายวงจรที่ทำเป็นเนกกาทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการใช้งานอิเล็กโทรด การออกแบบวงจร และการโปรแกรมตัวควบคุม โดยจะกล่าวถึงวิธีการใช้งานอิเล็กโทรด แนวคิดในการออกแบบและหน้าที่ของวงจรแต่ละวงจร และแนวคิดในการออกแบบโปรแกรมให้กับตัวควบคุมที่ใช้ในโครงงานนี้ทั้งหมดโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การใช้งานอิเล็กโทรด

ตัวอิเล็กโทรดที่เราเลือกใช้เป็นแบบเซอร์เฟสชนิดเปียกของบริษัท 3M สาเหตุที่เลือกใช้เพราะสามารถหาซื้อได้ง่ายและสามารถนำมาใช้งานได้หลายรุ่นโดยในโครงงานนี้เราใช้อยู่ 2 รุ่นคือ รุ่น 2570 – 3 และ รุ่น 2237 ทั้งนี้เพราะตัวคุณสมบัติของอิเล็กโทรดทั้ง 2 รุ่นเหมือนกันหมดจะแตกต่างกันที่รูปร่างและขนาดเท่านั้น โดยก่อนการใช้งานควรจะมีการทำความสะอาดผิวของผู้ใช้งานให้เรียบร้อยโดยมีวิธีการติดตั้งดังนี้

(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 (ก) ตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดที่แขนซ้าย
(ข) ตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดที่แขนขวา

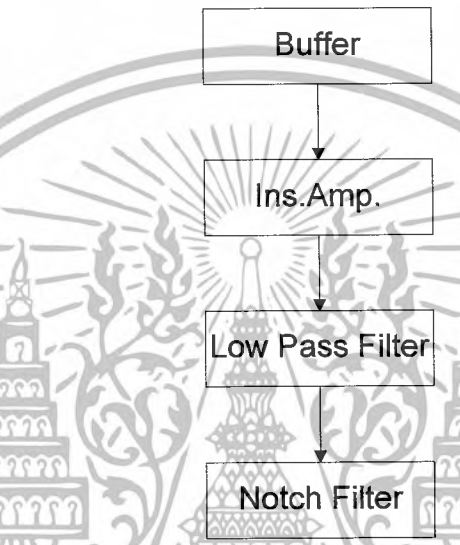
โดยการติดตั้งจะต้องทำการติดตั้งบริเวณกล้ามเนื้อที่เราสามารถควบคุมได้ง่าย โดยในโครงงานนี้เราจะใช้กล้ามเนื้อแขนท่อนบนเพราะเราสามารถทำการควบคุมได้ง่าย โดยสายสีแดงและสายสีน้ำเงินจะต่อเข้ากับอินพุตของวงจรตรวจวัดสัญญาณและสายสีดำจะต่อลงกราว์ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจร

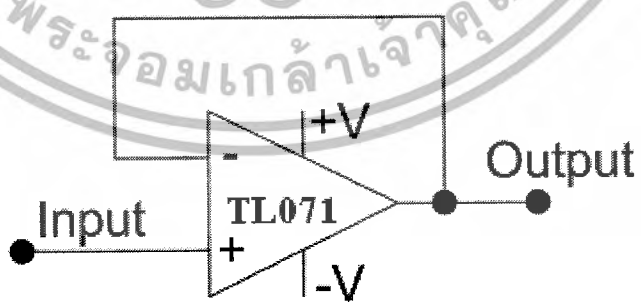
3.2.1 วงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector)

วงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณและยังจะจัดการสัญญาณให้มีความเหมาะสมตามที่เราต้องการเอาไปใช้งาน โดยจะประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ ดังนี้คือ วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) วงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และวงจรกำจัดแถบความถี่แคบ (Notch Filter)



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมแสดงภาพรวมของวงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector)

3.2.1.1 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

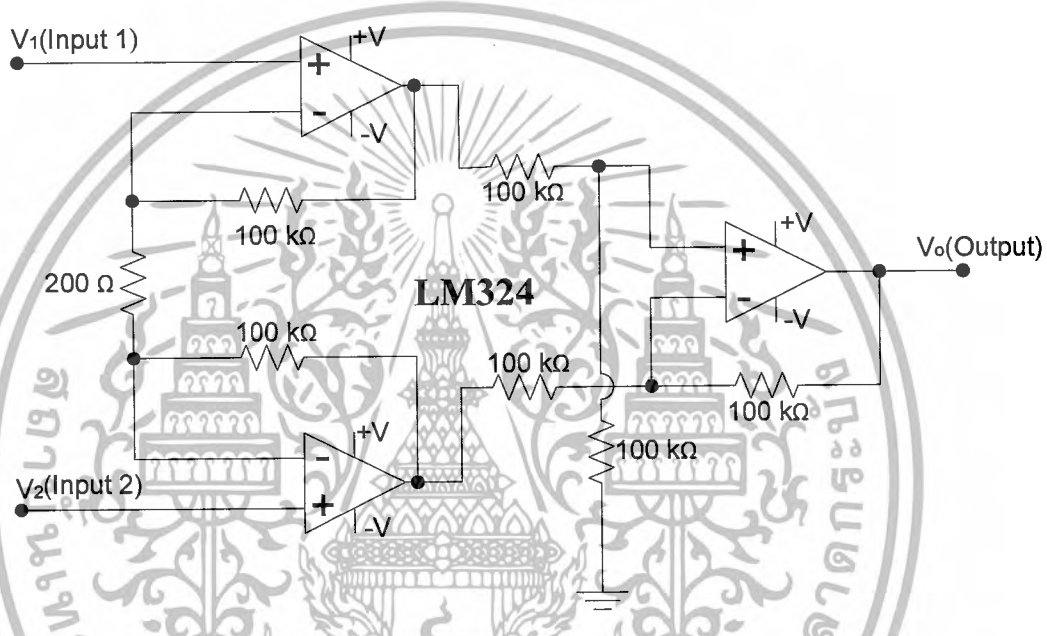


รูปที่ 3.3 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรบัฟเฟอร์อาจกล่าวได้ว่าเป็นวงจรขยาย ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1 จะใช้ในการทวนสัญญาณที่วัดได้จากอิเล็กโทรด โดยสัญญาณที่เข้ามาทางด้านอินพุตจะเป็นสัญญาณในระดับมิลลิโวลต์ซึ่งจะถูกรบกวนได้ง่าย ดังนั้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องของสัญญาณที่ทำการวัดก่อนเข้าวงจรขยายจึงนำเอาวงจรบัฟเฟอร์เข้ามาใช้งาน โดยไฟเลี้ยงของวงจรมีค่า 18 โวลต์ทั้งทางด้านบวก (V+) และทางด้านลบ (V-)

3.2.1.2 วงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier)



รูปที่ 3.4 วงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier) ที่ทำการออกแบบ

ในโครงงานนี้เราจะใช้วงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier) เนื่องจากสัญญาณแรงดันที่ได้จากวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) เป็นสัญญาณที่อยู่ในระดับมิลลิโวลต์ ซึ่งถูกรบกวนได้ง่ายจึงไม่มีความเหมาะสมที่มาใช้งานโดยตรง เราจึงต้องทำการขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งในโครงงานนี้เราออกแบบให้สัญญาณที่จะนำมาใช้งานอยู่ในระดับโวลต์ โดยการที่เราจะขยายสัญญาณจากสัญญาณที่อยู่ในระดับมิลลิโวลต์ให้เป็นสัญญาณในระดับโวลต์อัตราขยายของวงจรจะต้องมีค่าประมาณ 1000 เท่า ซึ่งค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของค่าแรงดันอินพุททั้ง 2 อินพุท (V_1 และ V_2) โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการนี้

$$V_{Out} = [1+ (2R_1/R_2)][V_2 - V_1]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอัตราขยายของวงจรจะสามารถกำหนดได้จากสมการ

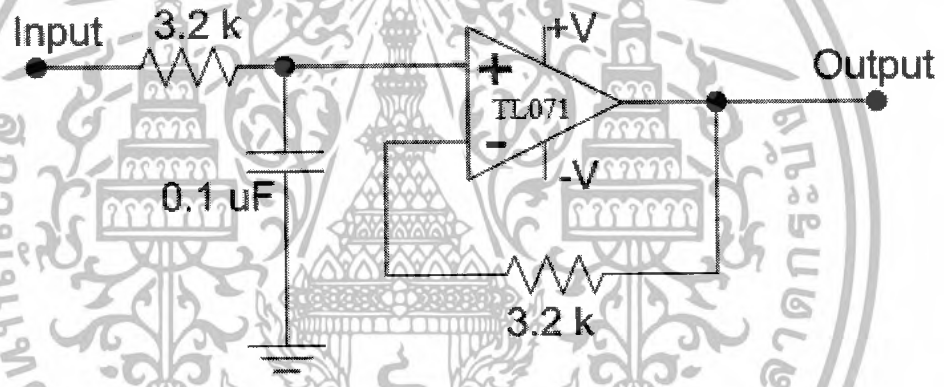
$$G = [1+ (2R_1/R_2)]$$

ในโครงงานนี้เราใช้อัตราการขยายคือ 1001 เท่า โดย

$$G = [1+ (2(100000/200)]$$

$$= 1001$$

3.2.1.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) 500 Hz



รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) 500 Hz ที่ทำการออกแบบ

เป็นวงจรที่ใช้ในการจัดการสัญญาณให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งหลังจากที่สัญญาณกล้ามเนื้อผ่านวงจรขยายแบบอินสตรูเมนมาแล้วเราก็จะได้สัญญาณกล้ามเนื้อที่มีระดับแรงดันเป็นโวลต์เหมาะต่อการใช้งานแล้ว แต่ในทางกลับกันสัญญาณอื่นที่ไม่ใช่สัญญาณกล้ามเนื้อก็จะถูกขยายออกมาด้วยซึ่งถือว่าเป็นสัญญาณที่เราไม่ต้องการ ดังนั้นเราจึงต้องทำการกำจัดสัญญาณดังกล่าวออกไป ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสัญญาณกล้ามเนื้อ (EMG) นี้จะมีลักษณะเป็นสัญญาณในรูปแบบของการสุ่ม โดยมีขนาด 0 – 10 มิลลิโวลต์ (วัดจากยอดแอมพลิจูดสูงสุดถึงยอดแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ) หรือ 0 - 1.5 มิลลิโวลต์ (วัดแบบค่าเฉลี่ย) และมีความถี่อยู่ในช่วง 0 – 500 เฮิรตซ์ ดังนั้นเราจะต้องกำจัดสัญญาณที่มีความถี่มากกว่า 500 เฮิรตซ์ออกไป โดยในโครงงานนี้เราจะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่คัดออฟที่ 500 เฮิรตซ์ เพราะว่าวงจรนี้มีคุณสมบัติที่จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัดออฟผ่านได้เท่านั้น โดยสัญญาณที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงกว่าความถี่คัดออฟจะถูกบล็อกไว้ไม่ให้ผ่านไปได้ ซึ่งการออกแบบความถี่คัดออฟของวงจรสามารถที่จะคำนวนได้จากสมการด้านล่าง

$$f_C = 1/[2\pi RC]$$

เมื่อ

f_C คือค่าความถี่คัดออฟ (Hz)

R คือค่าความต้านทาน (Ω)

C คือตัวเก็บประจุ (F)

ดังนั้น

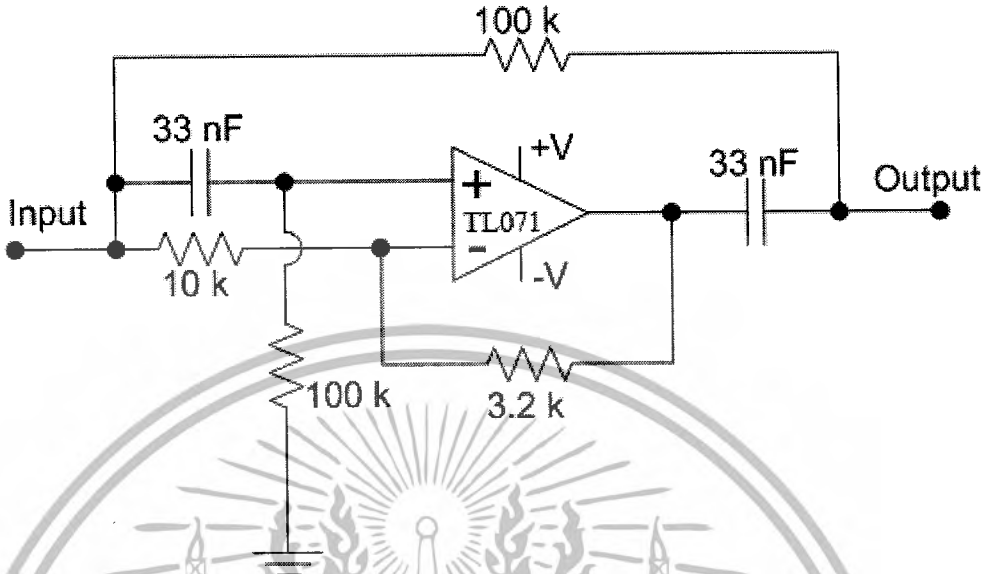
$$f_C = 1/[2\pi(3.3 \times 10^{3})(0.1 \times 10^{-6})]$$

$$= 482.287 \text{ Hz}$$

จากการสมการด้านบน จะเห็นได้ว่าค่าความถี่คัดออฟที่คำนวนออกมาได้มีค่าเท่ากับ 482.287 เฮิรตซ์ ซึ่งต่างจากที่เราต้องการคือ 500 เฮิรตซ์ไม่มากจึงสามารถนำเอาวงจรที่ได้ออกแบบไปใช้งานได้ โดยสาเหตุที่เราไม่สามารถออกแบบให้วงจรมีความถี่คัดออฟที่ 500 เฮิรตซ์ได้ เพราะว่าอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดไม่มีค่าที่ทำให้สามารถออกแบบให้วงจรมีค่าความถี่คัดออฟได้ 500 เฮิรตซ์ โดยไฟเลี้ยงของวงจรมีค่า 18 โวลต์ทั้งทางด้านบวก (V+) และทางด้านลบ (V-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 วงจรวงจรกำจัดแถบความถี่แคบ (Notch Filter) 50Hz



รูปที่ 3.6 วงจรกำจัดแถบความถี่แคบ (Notch Filter) 50 Hz ที่ทำการออกแบบ

หลังจากที่สัญญาณกล้ามเนื้อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) เมื่อทำการวัดสัญญาณดังกล่าวดู จะพบว่าสัญญาณถูกรบกวนโดยสัญญาณที่เกิดจากตัวไฟเลี้ยงที่ต่อให้กับวงจรเพื่อให้วงจรทำงานได้ โดยไฟเลี้ยงดังกล่าวถูกต่อมาจากไฟบ้านที่มีความถี่เท่ากับ 50 เฮิรตซ์ ดังนั้นเราจึงต้องทำการกำจัดสัญญาณดังกล่าวออกไปโดยใช้วงจรวงจรกำจัดแถบความถี่แคบ (Notch Filter) 50 เฮิรตซ์ ซึ่งวงจรนี้จะมีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่เท่ากับความถี่คัดออฟผ่าน ซึ่งหลักในการออกแบบความถี่คัดออฟให้วงจรจะใช้หลักการเดียวกันกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ดังนั้นจะได้ว่า

$$f_c = 1/2\pi(100 \times 10^{3})(33 \times 10^{-9})$$

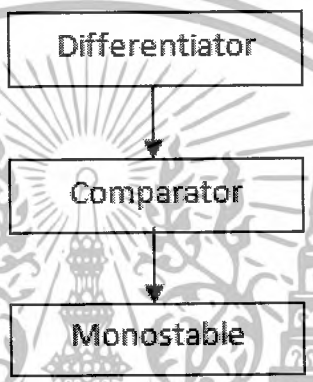
$$= 48.228 \text{ Hz}$$

จากการสมการด้านบน จะเห็นได้ว่าค่าความถี่คัดออฟที่คำนวนออกมาได้มีค่าเท่ากับ 48.228 เฮิรตซ์ ซึ่งต่างจากที่เราต้องการคือ 50 เฮิรตซ์ไม่มากจึงสามารถนำเอาวงจรที่ได้ออกแบบไปใช้งานได้ โดยสาเหตุที่เราไม่สามารถออกแบบให้วงจรมีความถี่คัดออฟที่ 50 เฮิรตซ์ได้ เพราะว่าอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดไม่มีค่าที่ทำให้สามารถออกแบบให้วงจรมีค่าความถี่คัดออฟได้ 50 เฮิรตซ์ โดยไฟเลี้ยงของวงจรมีค่า 18 โวลต์ทั้งทางด้านบวก (V+) และทางด้านลบ (V-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

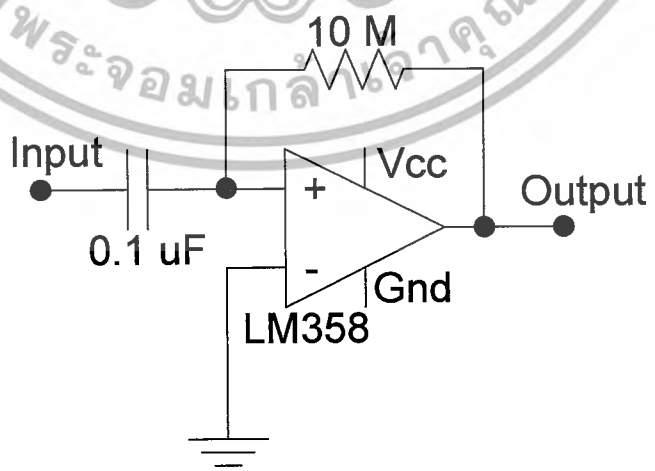
3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Convertor)

วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Convertor) นั้นเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจวัดสัญญาณ ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อที่จะสามารถนำสัญญาณดิจิตอลดังกล่าวไปใช้งานตามที่เราต้องการได้ โดยตัววงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลประกอบด้วยวงจรย่อย ๆ คือ วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator) วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) และวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable)



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมแสดงภาพของวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Convertor)

3.2.2.1 วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator)



รูปที่ 3.8 วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator) ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราได้สัญญาณกล้ามเนื้อมาจากวงจรตรวจวัดที่กล่าวในข้างต้นแล้ว จึงนำมาเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยนำสัญญาณมาเข้าวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ เพื่อปรับค่าระดับแรงดันให้มีเพียง 2 ระดับ ให้มีความเหมาะสมในการที่เราจะนำไปใช้ควบคุมตัวควบคุม ดังนั้นเราจึงนำวงจรนี้มาใช้ในการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณด้านบวกเพียงด้านเดียว เป็นผลให้ สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator) จะกลายเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีระดับแรงดัน 2 ระดับ ตามที่เราต้องการ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาท์พุทกับแรงดันอินพุทของวงจรนี้สามารถที่จะหาได้จาก

$$V_{out}(t) = - RC\ dV_{in}(t)/dt$$

เมื่อ

V_{in} คือแรงดันอินพุต (V)

V_{out} คือแรงดันเอาต์พุต (V)

R คือค่าความต้านทาน (Ω)

C คือตัวเก็บประจุ (F)

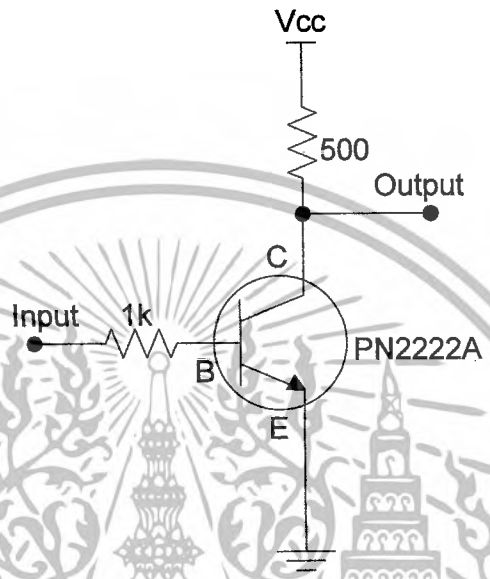
โดยจากสมการดังกล่าวจะให้ความสัมพันธ์ของแรงดันเอาท์พุทที่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าอนุพันธ์ของแรงดันอินพุท โดยมีค่าคงที่ขึ้นอยู่กับค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ซึ่งในโครงงานนี้เราออกแบบให้ค่าคงที่ดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1 ก็เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีความเด่นชัดสำหรับที่จะให้วงจรเปรียบเทียบสามารถที่จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอินพุทได้ง่ายขึ้น

3.2.2.2 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

หลังจากที่ได้สัญญาณที่มี 2 ระดับ ตามที่เราต้องการแล้ว เราก็พบว่าสัญญาณที่ได้มานั้นยังไม่มีความเสถียร เพราะว่าระยะเวลาออนไทม์ (On Time) ของสัญญาณมีค่าไม่แน่นอนบางครั้งน้อยไปบางครั้งมากไป ซึ่งเมื่อนำสัญญาณไปเข้าตัวควบคุมจะทำให้ไม่สามารถควบคุมตัวควบคุมให้ทำงานตามที่เราต้องการได้ จึงต้องทำการแปลงสัญญาณที่ได้ให้มีช่วงเวลาออนไทม์ที่มีค่าคงที่ โดยนำเอาสัญญาณไปผ่านวงจรโมโนสเตเบิลแต่ไอซีที่เราใช้เป็นวงจรโมโนสเตเบิลนั้นจะทำงานกับสัญญาณในช่วงขอบขาลง ดังนั้นเราจึงต้องทำการแปลงสัญญาณที่ผ่านวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ให้เป็นสัญญาณที่กลับเฟสกันกับสัญญาณในตอนแรก เพื่อให้ได้สัญญาณที่ขอบขาลงมาใช้กับวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราจะนำสัญญาณดังกล่าวมาเข้าวงจรวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งวงจรเปรียบเทียบที่เราได้ออกแบบไว้จะทำหน้าที่กลับบิท (Bit) ของสัญญาณที่ผ่านเข้ามา เพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณมีจุดเริ่มต้นเป็นสัญญาณที่ขอบขาลงเสมอ กล่าวคือเมื่อเราทำการเกร็งกล้ามเนื้อก็จะได้สัญญาณในระดับ 0 โวลต์ แทนที่จะเป็น 5 โวลต์ เหมือนตอนแรก



รูปที่ 3.9 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ที่ทำการออกแบบ

มีหลักการทำงานคือเมื่อแรงดันที่ขา B เป็น 0 โวลต์ สัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าเป็น 5 โวลต์ และในทางกลับกันเมื่อมีแรงดันเข้ามาที่ขา B มีค่ามากกว่า 0.7 โวลต์ ทรานซิสเตอร์ก็จะทำงานทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีค่าเป็น 0 โวลต์

โดยค่าความต้านทานที่ขา C และขา B นั้นเราทำการกำหนด โดยใช้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์จาก Data sheet ดังนี้

ใช้กับแรงดันต่ำ ๆ

I_C = 150 mA, I_B = 15mA.

ดังนั้น

กระแสที่ขา C ห้ามเกิน 150 mA จาก I=V/R

I_C = 5/500 = 100 mA

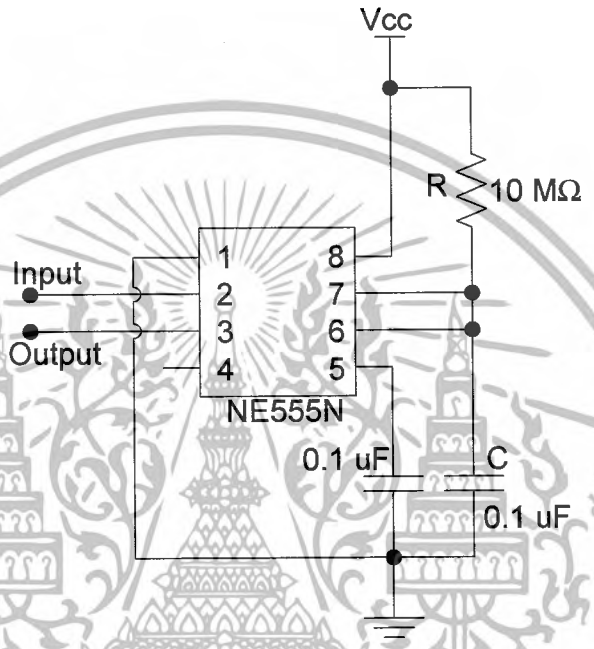
กระแสที่ขา B ห้ามเกิน 15 mA จาก I=V/R

I_B = 3.76/1000 = 3.76 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable)

วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable) ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเวลาออนไทม์ (On Time) คงที่ โดยการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลจะทำงานกับสัญญาณอินพุตในช่วงขอบขาลงเท่านั้น คือเมื่อมีอินพุตเข้ามาที่วงจรโมโนสเตเบิล จะได้สัญญาณเอาท์พุตออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเวลาออนไทม์คงที่



รูปที่ 3.10 วงจรโมโนสเตเบิล (Monostable) ที่ทำการออกแบบ

โดยในโครงงานนี้เราเลือกจะใช้ IC เบอร์ NE555N เพราะสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีคุณสมบัติตามที่เราต้องการใช้งาน โดยช่วง เวลาออนไทม์สามารถกำหนดได้จากค่าตัวต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ ดังนี้

$$T = R \times C$$

เมื่อ

T คือคาบเวลา (s)

R คือค่าความต้านทาน (Ω)

C คือตัวเก็บประจุ (F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$T = (10 \times 10^{6})(0.1 \times 10^{-6})$$

$$= 1 \text{ วินาที}$$

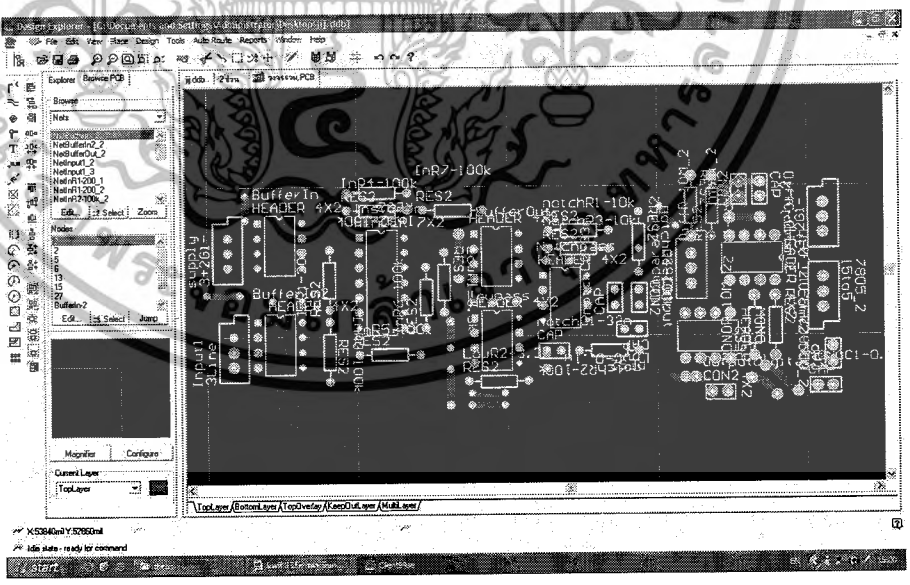
โดยในโครงงานนี้เรากำหนดให้ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นเวลา 1 วินาที (s) คือใช้ค่าความต้านทานเท่ากับ 10 เมกะโอห์ม และค่าตัวเก็บประจุเป็น 0.1 ไมโครฟารัด เพื่อให้ตัวควบคุมสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้อย่างชัดเจน

3.2.3 การทำลายวงจรและออกแบบวงจร

หลังจากที่เราได้ทำการออกแบบวงจรตามหลักการ ที่ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ ขั้นตอนต่อไปเราก็จะทำการเขียนลายวงจรและออกแบบแผ่นวงจรโดยใช้โปรแกรม Protel 99 se ดังนี้

- วงจรการจัดการสัญญาณและวงจรการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลการ

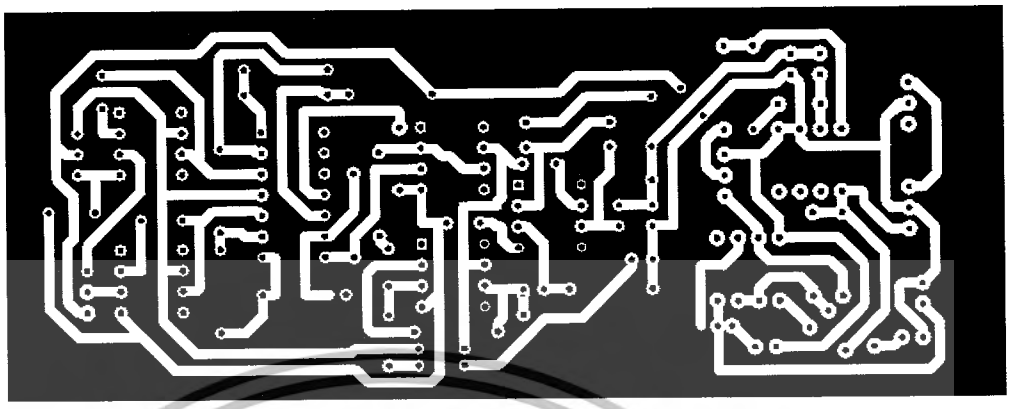
1. ออกแบบลายวงจรจะออกแบบ โดยรวมวงจรทั้ง 2 วงจรให้รวมอยู่บนบอร์ดเดียวกันดัง PCB ดังรูป



รูปที่ 3.11 ลายวงจร (PCB) ของวงจรรวม

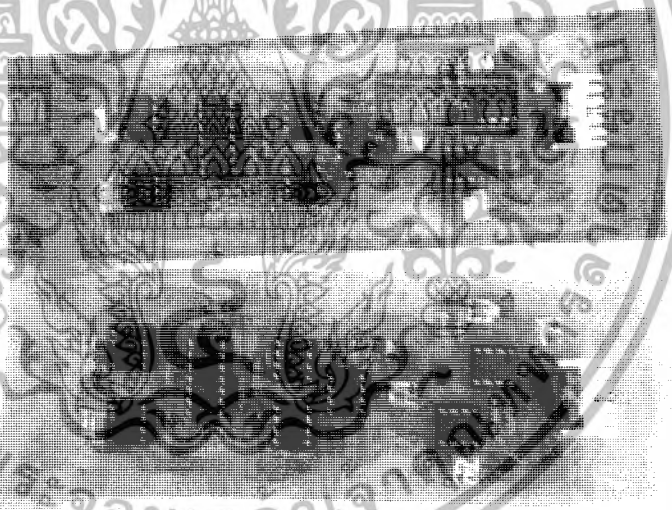
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากนั้นทำให้วงจรกลายเป็นไฟล์แบบเนกาทีฟ



รูปที่ 3.12 เนกาทีฟของวงจรรวม

3 จากนั้นนำไปกัดแผ่นปริ้นก็จะได้วงจรของจริงดังรูป

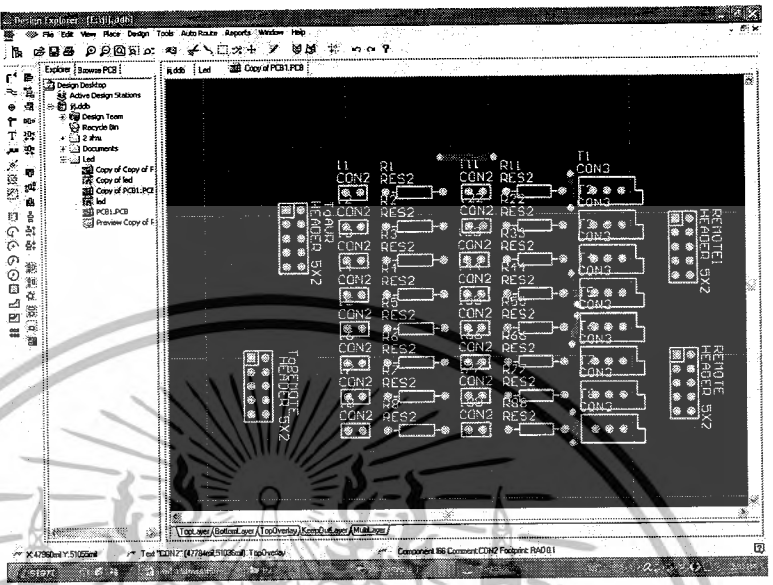


รูปที่ 3.13 วงจรรวมที่กัดแผ่นปริ้นเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

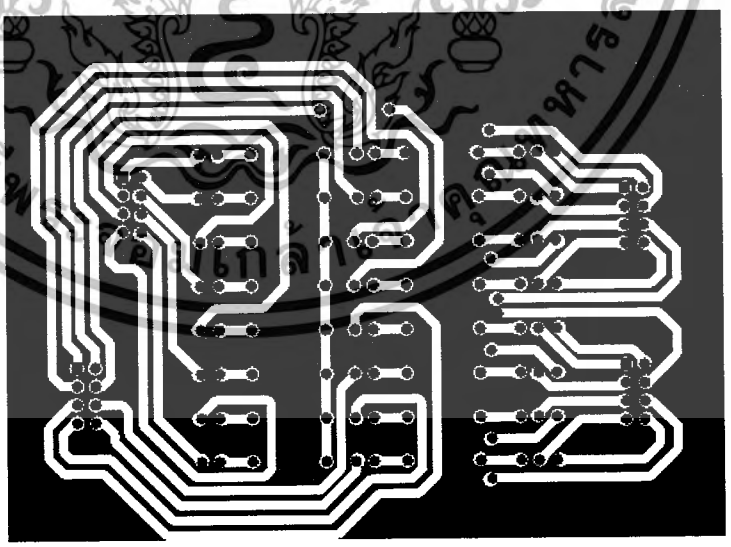
- วงจรแสดงผล (LED)

1 ออกแบบลายวงจรของวงจรแสดงผล (LED)



รูป 3.14 ลายวงจร (PCB) ของวงจรแสดงผล (LED)

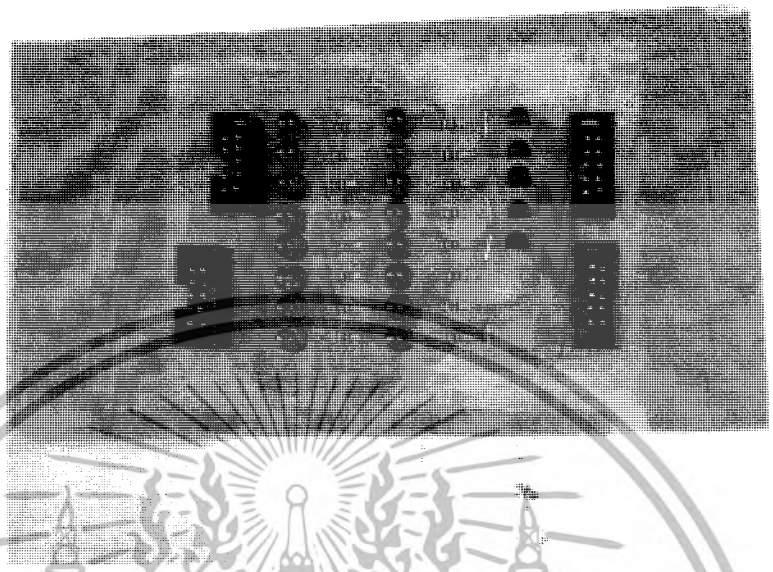
2 จากนั้นทำให้กลายเป็นแบบเนกาทีฟ



รูปที่ 3.15 เนกาทีฟของวงจรแสดงผล (LED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นนำไปกัดปริ้นก็จะได้วงจรของจริงดังรูป



รูปที่ 3.16 วงจรแสดงผล (LED) ที่กัดปริ้นเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

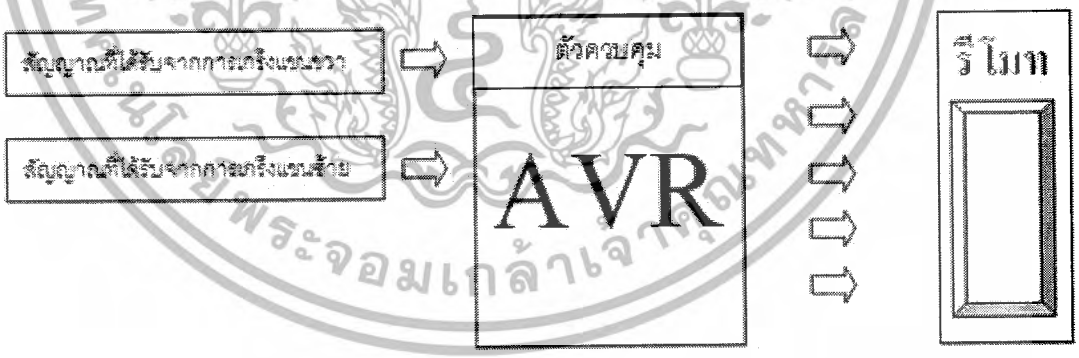
3.3 ตัวควบคุม (AVR)

3.3.1 แนวคิดการออกแบบโปรแกรม

เมื่อเราได้สัญญาณที่อยู่ในรูปแบบดิจิตอลแล้ว เราจะนำสัญญาณดังกล่าวมาทำการป้อนให้กับตัวควบคุมเพื่อที่จะนำไปใช้งาน โดยเราสามารถมองเป็นภาพรวมของระบบทั้งหมดจากรูปที่ 3.17 ซึ่งมีรายละเอียดคือ สัญญาณกล้ามเนื้อจะได้มาจากตัวมนุษย์ส่งต่อไปยังวงจรที่ทำหน้าที่ตรวจวัดและปรับปรุงสัญญาณกล้ามเนื้อที่เป็นสัญญาณแอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลจากนั้นจะส่งต่อสัญญาณไปยังตัวควบคุม โดยสัญญาณกล้ามเนื้อที่เข้ามายังตัวควบคุมจะเป็นตัวสั่งการให้ตัวควบคุมทำงานตามที่เราต้องการ ซึ่งการทำงานของตัวควบคุมคือทำการส่งสัญญาณควบคุมให้กับตัวรีโมททีวีที่ทำหน้าที่ในการควบคุมทีวี

รูปที่ 3.17 ภาพรวมของระบบ

โดยเรามีหลักในการออกแบบโปรแกรมและสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 3.18 รูปแสดงภาพการทำงานของโปรแกรม

สัญญาณอินพุตที่เราได้จากการเกร็งกล้ามเนื้อแขนทั้ง 2 ข้างในรูปที่ 3.18 จะเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรตรวจวัดและวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเรียบร้อยแล้ว โดยจะเป็นสัญญาณแบบพัลส์ที่มีค่าแรงดันอยู่ 2 ระดับคือ 0 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยสัญญาณจะถูกส่งให้กับตัวควบคุมดังรูป เมื่อสัญญาณดังกล่าวถูกส่งเข้ามาที่ตัวควบคุมที่เราได้โปรแกรมให้สัญญาณที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขนซ้ายทำหน้าที่เป็นตัวเลือกคำสั่งและสัญญาณที่ได้จากแขนขวาทำหน้าที่เป็นตัวสั่งให้ตัวควบคุมทำการส่งคำสั่งให้กับรีโมททีวีเพื่อทำการควบคุมทีวีอีกทีหนึ่งโดยมีคำสั่งต่าง ๆ มีดังนี้

คำสั่งที่ 1 ควบคุมการเปิด/ปิดทีวี

คำสั่งที่ 2 ควบคุมการเปลี่ยนช่องขึ้น

คำสั่งที่ 3 ควบคุมการเปลี่ยนช่องลง

คำสั่งที่ 4 ควบคุมการเพิ่มระดับเสียง

คำสั่งที่ 5 ควบคุมการลดระดับเสียง

และยังมีคำสั่งพิเศษอีก 3 คำสั่ง คือ คำสั่งช่อง 3 คำสั่งช่อง 7 คำสั่งช่อง 9

3.3.2 โปรแกรม (Code)

เมื่อเราได้หลักการทำงานจากการออกแบบข้างต้นแล้ว เราก็จะต้องทำการเขียนโปรแกรมให้กับตัวควบคุม โดยโปรแกรมดังกล่าวจะเขียนอ้างอิงกับหลักการทำงานของตัวควบคุมที่เราออกแบบไว้ในข้างต้นที่ได้ทำการออกแบบไว้โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

```
#include<avr/io.h>
#include<util/delay.h>
#include "lcd.h"
#define FCPU 16000000UL
```

เป็นส่วนหัวของโปรแกรมเรียกใช้งานชุดคำสั่งต่างๆ รวมทั้งไลบรารี่ต่าง ๆ ไลบรารี่ต่าง ๆ ถูกเรียกใช้งานเริ่มต้นในส่วนนี้

```
#define sensor_ddr  DDRA
#define sensor    PINA
#define s1        0x01
#define s2        0x02
#define led1_ddrDDRC
#define led1      PORTC
#define led2_ddrDDRB
#define led2      PORTB
```

ส่วนนี้เป็นการประกาศว่า จะใช้หน่วยความจำที่ตำแหน่งไหนและประกาศพอร์ตที่เราจะใช้งานว่าเลือกพอร์ตอะไรและกำหนดชื่อของหน่วยความจำและพอร์ตนั้นๆว่าชื่ออะไร เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

```
int main()                    //ฟังก์ชัน main() ฟังก์ชั่นเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        InitLCD();
        unsigned char step_led1 =0x01;
        unsigned char step_led2=0x00;
        int toggle = 0;

        led1_ddr = 0xff;
        led1     = 0x00;
        led2_ddr = 0xff;
        led2     = 0x00;
        sensor_ddr = 0x00;

while(1)
        {
                if((sensor&s1)==0x01)
                {
                        while((sensor&s1)==0x01);
        if(step_led1==0x00)
                        {
                        step_led1=0x01;
                        }
                        led1=step_led1;
                        step_led2=step_led1;
step_led1switch(step_led1)
        {
```

ส่วนของการประกาศตัวแปรชนิดต่าง ๆ การเรียกใช้งาน และการ กำหนดค่าเริ่มต้น

เป็นการกำหนดว่า จะให้พอร์ตใดเป็นอินพุตและ พอร์ตใดเป็นเอาท์พุต โดยกำหนดให้พอร์ตที่เป็น 1 เป็นเอาท์พุตทั้งหมดและพอร์ตที่เป็น 0 เป็นอินพุต ทั้งหมด ส่วนที่ไม่มีคำว่า ddr หมายถึง การเคลียร์ค่า โดยให้ค่าเริ่มต้น เป็น 0 ทั้งหมด

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาที่ขา 0 ของพอร์ต แล้วเป็นสัญญาณขอบขาขึ้น โปรแกรม จะทำ

การวนลูปจนกว่า จะมีสัญญาณขอบขา ลงเข้ามาที่ขา 0 ของพอร์ต A

ถ้า step_led1 มีค่าเท่ากับ 0 กำหนดให้ step_led1 มีค่าเท่ากับ 1

กำหนดให้พอร์ต C ที่ชื่อ led1 เท่ากับ step_led1 และให้ step_led2 เท่ากับ //เริ่มเงื่อนไขของการทำงาน led1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x01:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Power On/Off");


        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 1 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดที่ 1 ที่อยู่ให้ด้านบนว่า Power On/Off จากนั้นให้ break ; ออกจากลูป

```
case 0x02:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Channel +   ");
        break;
        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 2 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบนแสดงคำว่า Channel + จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x04:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Channel -   ");
        break;
        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 4 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบนแสดงคำว่า Channel - จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x08:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Volume +    ");
        break;
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 8 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบนแสดงคำว่า Volume + จากนั้นให้ออกจากลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
case 0x10:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Volume -    ");
        break;
        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ10 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบนแสดงคำว่า Volume - จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x20:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Channel 3   ");
        break;
        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 20 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบนแสดงแสดงคำว่า Channel 3 จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x40:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Channel 7   ");
        break;
        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 40 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบนแสดงคำว่า Channel 7 จากนั้นให้ออกจากลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x80:
        {
        GotoLCD(0x80);
        LCDString("Channel 9   ");

        break;
        }
```

กรณีที่ step_led1 เท่ากับ 40 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดบน แสดงคำว่า Channel 9 จากนั้นให้ออกจากลูป

```
default: ;                    //กรณีที่ step_led1 ไม่เท่ากับกรณีใดเลย
        }
        step_led1=step_led1<<1;

        }
```

เลื่อนค่า step_led1 ไปทางซ้าย 1 ตำแหน่ง จะมีค่าเท่ากับ step_led1=step_led1*2

```
        if((sensor&s2)==0x02)
        {
        while((sensor&s2)==0x02);
```

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาที่ขา 1 ของ พอร์ต A เป็นสัญญาณขอบขาขึ้น สั่งให้วนลูปจนกว่าจะมีสัญญาณขอบขาลงที่ขา 1

```
led2=step_led2;                  // กำหนดให้พอร์ต B ที่เป็น led2 เท่ากับ step_led2
switch(step_led2)                //เริ่มเงื่อนไขของการทำงาน led1
        {
        case 0x01:
        {
                GotoLCD(0xc0);
                LCDString("Sending Signal 1");


                break;
                }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 1 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal1 จากนั้นให้ออกจากลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x02:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 2 ");



        break;
        }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 2 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal2 จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x04:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 3");

        break;
        }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 4 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal3 จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x08:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 4");


        break;
        }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 8 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal4 จากนั้นให้ออกจากลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x10:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 5");


        break;
        }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 10 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal5 จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x20:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 6");

        break;
        }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 20 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่างแสดงคำว่า Sending Signal6 จากนั้นให้ออกจากลูป

```
case 0x40:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 7");


        break;
        }
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 40 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal7 จากนั้นให้ออกจากลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x80:
        {
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("Sending Signal 8");



        break;
        }

default: ;
        }
        _delay_ms(500);
        led2=0x00;
        GotoLCD(0xc0);
        LCDString("          ");

        }
}
    return 0;

}
```

กรณีที่ step_led2 เท่ากับ 80 กำหนดให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่าง แสดงคำว่า Sending Signal8 จากนั้นให้ออกจากลูป

กรณีที่ step_led2 ไม่เท่ากับกรณีใดเลยให้รอเป็นเวลา 500 มิลลิวินาทีเสร็จแล้ว กำหนดให้พอร์ตที่เป็น led2 เท่ากับ 0 จากนั้นให้แสดงค่าที่จอ LCD ในบรรทัดล่างแสดงผลเป็นจอว่าง

//ไม่ส่งค่าใด ๆ กลับ ใช้เมื่อจบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและสรุปผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำการทดลองต่าง ๆ ที่อยู่ในโครงงานนี้ ซึ่งประกอบด้วยการทดลองที่ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานของวงจรต่าง ๆ และศึกษาการนำวงจรดังกล่าวไปใช้งานโดยมีรายละเอียดดังนี้

- การทดลองคุณสมบัติของวงจรที่นำมาใช้งานว่า มีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ทำการศึกษาหรือไม่
- การทดลองใช้เอาวงจรที่ออกแบบวัดสัญญาณกล้ามเนื้อจริง
- การทดลองใช้งานวงจรกับคนหลาย ๆ คน เพื่อดูว่าวงจรที่ออกแบบสามารถใช้กับบุคคลอื่นได้หรือไม่
- การทดลองโปรแกรมที่เขียนให้กับตัวควบคุมและทดลองใช้งานเครื่อง EMG ว่าสามารถใช้งานได้จริง

4.1 การทดลองการทำงานวงจร

เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าวงจรที่เรานำมาใช้งานเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ โดยจะสามารถแสดงอยู่ในรูปของตารางและกราฟที่วัดผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปได้ดังนี้ดังนี้

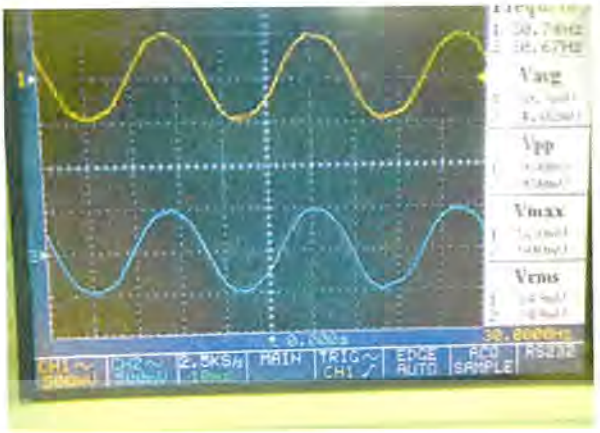
4.1.1 การทดลองวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

เป็นการทดลองวงจรในรูปที่ 3.3 โดยในการทดลองจะป้อนสัญญาณอินพุต (Input) ที่มีแรงดันต่าง ๆ แต่จะให้ค่าความถี่คงที่ โดยจะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สร้างสัญญาณดังกล่าวแล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุตว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ โดยจะแสดงผลการทดลองเป็นตารางและตัวอย่างของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรบัฟเฟอร์ตามลำดับได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรบัฟเฟอร์

สัญญาณอินพุต (โวลต์)	สัญญาณเอาท์พุต (โวลต์)
0.5	0.52
1	1.01
1.5	1.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรบัฟเฟอร์

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตาราง จะเห็นว่าค่าแรงดันของสัญญาณที่ผ่านวงจรบัฟเฟอร์แล้วจะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตก่อนที่จะผ่านวงจรบัฟเฟอร์ โดยรูปที่ 4.1 คือตัวอย่างของสัญญาณทางด้านอินพุตและสัญญาณทางด้านเอาท์พุตของวงจรบัฟเฟอร์ ที่เราทำการป้อนสัญญาณอินพุตที่มีค่าแรงดัน 0.5 โวลต์ และมีความถี่ 30 เฮิรตซ์ จากนั้นทำการวัดสัญญาณทางด้านได้ผลการทดลองออกมาคือสัญญาณทางด้านเอาท์พุตมีค่าแรงดัน 0.52 โวลต์ จึงสรุปได้ว่าวงจรมีคุณสมบัติในการทวนสัญญาณตามที่เราได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.1

หมายเหตุ : สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณอินพุต

สัญญาณด้านบนคือสัญญาณเอาท์พุต

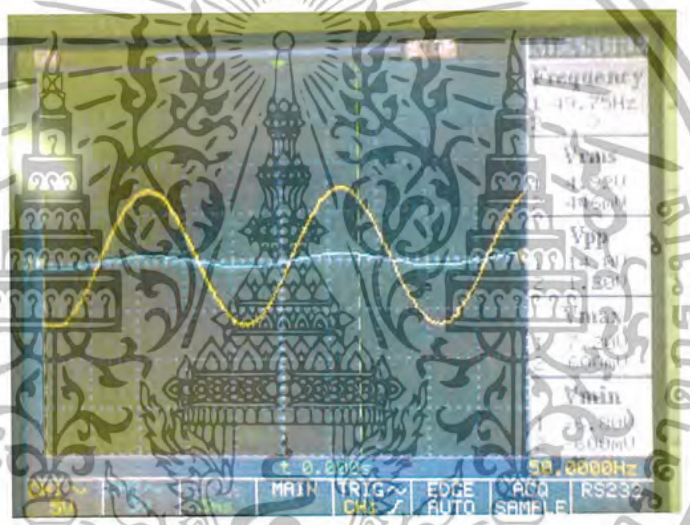
4.1.2 การทดลองวงจรขยายแบบอินสตรูเมน (Instrument Amplifier)

เป็นการทดลองวงจรในรูปที่ 3.4 โดยในการทดลองจะป้อนสัญญาณอินพุตที่มีแรงดันต่าง ๆ แต่จะให้ค่าความถี่คงที่ โดยจะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สร้างสัญญาณดังกล่าวแล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุตว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ โดยในการทดลองจะใช้อัตราขยายเป็น 11 เท่า เนื่องจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไม่สามารถให้กำเนิดสัญญาณที่มีขนาดใกล้เคียงกับสัญญาณกล้ามเนื้อที่เราจะทำการวัดจริงได้กล่าวคือค่าต่ำสุดที่ที่คือ 0.6 โวลต์ หากยังใช้อัตราขยาย 1001 เท่า ในการทดลองจะได้สัญญาณที่มีขนาดแรงดันคือ 600.6 โวลต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นกรณีที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากไปเลี้ยงที่เราป้อนให้กับตัววงจรมีค่าแรงดันแค่ 18 โวลต์ โดยจะแสดงผลการทดลองเป็นตารางและตัวอย่างของ สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรขยายแบบอินสตรูเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรขยายแบบอินสตรูเมน

สัญญาณอินพุต (โวลต์)	สัญญาณเอาท์พุต (โวลต์)
0.6	7.2
0.8	9.0
1.0	11.8
1.2	14.2
1.4	15.6



รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรขยายแบบอินสตรูเมน

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันของสัญญาณเอาท์พุตมีค่ามากขึ้น 11 เท่า จากค่าแรงดันของสัญญาณอินพุตที่เราป้อนให้กับวงจรในตอนแรก โดยรูปที่ 4.2 คือตัวอย่างของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรขยายแบบอินสตรูเมนที่เราทำการป้อนสัญญาณอินพุต ที่มีค่าแรงดัน 0.6 โวลต์ และมีความถี่ 50 เฮิรตซ์ จากนั้นทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาท์พุตได้ผลการทดลองออกมาคือ สัญญาณทางด้านเอาท์พุตมีค่าแรงดัน 7.2 โวลต์ และจากรูปจะเห็นได้ว่าชาเนล (Channel) ที่ 2 ไม่สามารถแสดงค่าความถี่ได้ เนื่องจากเราปรับค่าการแสดงผลโวลต์ต่อช่องของตัวเครื่องเมื่อวัดสูงเกินไป โดยจากรูปจะเห็นว่าค่าการแสดงผลโวลต์ต่อช่องมีค่าเท่ากันที่ 5 โวลต์ต่อช่อง และที่ต้องปรับให้เท่ากัน ก็เพื่อให้เห็นภาพของสัญญาณว่าเมื่อผ่านวงจรขยายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินสตรูเมนแล้วมีผลอย่างไร ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าสัญญาณถูกขยายในอัตราที่ใกล้เคียงกับ 11 เท่า คือ ขยายแรงดันของสัญญาณจาก 0.6 โวลต์ ไปเป็น 7.2 โวลต์ จึงสรุปได้ว่าวงจรมีคุณสมบัติในการขยายสัญญาณตามที่เราได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.2

หมายเหตุ : สัญญาณขนาดเล็กคือสัญญาณอินพุต
สัญญาณขนาดใหญ่คือสัญญาณเอาท์พุต

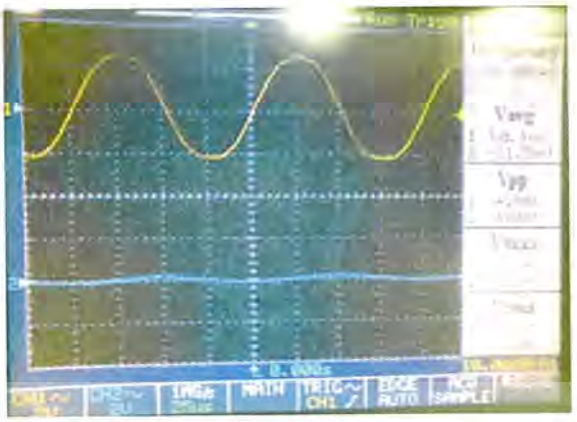
4.1.3 การทดลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) 500 Hz

เป็นการทดลองวงจรในรูปที่ 3.5 ซึ่งในการทดลองนี้เราจะป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ค่าต่าง ๆ และเป็นสัญญาณที่มีระดับแรงดันคงที่คือ 5 โวลต์ โดยจะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในการสร้างสัญญาณดังกล่าว จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาท์พุตว่าเป็นไปตามที่เราทำการออกแบบให้วงจรมีความถี่คัดออฟที่ 500 เฮิรตซ์ หรือไม่โดยแสดงเป็นตารางและตัวอย่างสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 500 เฮิรตซ์ ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

สัญญาณอินพุต (เฮิรตซ์)	สัญญาณอินพุต (โวลต์)
100	5.06
300	4.80
500	3.60
700	2.88
1000	2.24
10000	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 500 เฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

จากตารางบันทึกผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเริ่มให้สัญญาณอินพุตที่มีความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ค่าแรงดันของสัญญาณเอาท์พุตก็จะมีค่าน้อยลง โดยจะเห็นได้จากตารางเมื่อสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามามีความถี่ 500 เฮิรตซ์ จะมีผลทำให้ค่าแรงดันของสัญญาณเอาท์พุตลดลงอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อผ่านสัญญาณอินพุทจุดนี้ไปค่าของสัญญาณเอาท์พุตจะมีค่าลดลง โดยสามารถแสดงตัวอย่างของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 500 เฮิรตซ์ ได้จากรูปที่ 4.3 เมื่อเราป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ เข้าไป โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาท์พุตที่ออกมาหลังจากผ่านวงจรแล้วมีค่าแรงดันอยู่ที่ 0.48 โวลต์ ซึ่งจริง ๆ แล้วจากจุดมุ่งหมายของวงจรที่ได้ออกแบบไว้ค่าแรงดันควรจะมีค่าน้อยในระดับนี้ ตั้งแต่ได้รับสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 500 เฮิรตซ์ โดยที่ไม่เป็นตามนั้นน่าจะเกิดมาจากค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานแต่เมื่อนำวงจรไปใช้งานจริงพบว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการในระดับที่น่าพอใจ จึงสรุปได้ว่าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 500 เฮิรตซ์ มีคุณสมบัติตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.3 โดยในรูปไม่สามารถที่จะแสดงผลความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตได้มีสาเหตุมาจากการตั้งค่าการแสดงผลคือ การปรับค่าโวลต์ต่อช่องของฟังก์ชันการแสดงผลเหมือนในหัวข้อที่ 4.1.2

หมายเหตุ : สัญญาณด้านบนคือสัญญาณอินพุต

สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

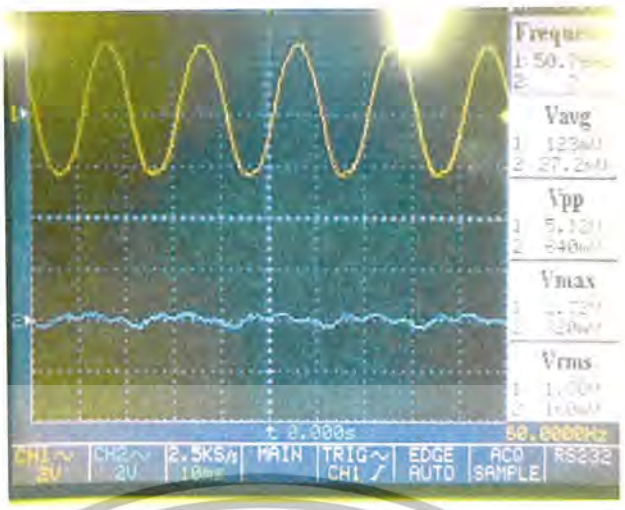
4.1.4 การทดลองวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ (Notch Pass Filter) 50 Hz

เป็นการทดลองวงจรในรูปที่ 3.6 ซึ่งในการทดลองนี้เราจะป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ค่าต่าง ๆ และเป็นสัญญาณที่มีระดับแรงดันคงที่คือ 5โวลต์ โดยจะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในการสร้างสัญญาณดังกล่าว จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาท์พุต ว่าเป็นไปตามที่เราทำการออกแบบให้วงจรมีความถี่คัดออฟที่ 50 เฮิรตซ์ หรือไม่ โดยแสดงเป็นตารางและตัวอย่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์ ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรกรองความถี่แบบนอตท์

สัญญาณอินพุต (เฮิรตซ์)	สัญญาณอินพุต (โวลต์)
20	3.5
30	2.48
40	1.12
50	1.56
60	2.28
70	3.08
80	3.32
90	3.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์

สรุปผลการทดลอง

จากตารางบันทึกผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเราทำการป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ 50 เฮิรตซ์ ที่เป็นความถี่คัดออฟที่เราได้ทำการออกแบบไว้ จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาท์พุตจะมีค่าแรงดันน้อยมากเนื่องจากสัญญาณดังกล่าวถูกบล็อกไว้จะไม่สามารถที่จะผ่านออกมาทางด้านเอาท์พุตได้อย่างเต็มที่ โดยในตารางค่าแรงดันต่ำสุดจะอยู่ที่สัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 40 เฮิรตซ์ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าค่าความถี่คัดออฟของวงจรที่เราออกแบบมีค่าเท่ากับ 48.228 เฮิรตซ์ และอีกสาเหตุก็น่าจะมาจากค่าความผิดพลาดของตัวต้านทานที่มีค่าเท่ากับ ± 5 เปอร์เซ็นต์ โดยในรูปที่ 4.4 สามารถแสดงตัวอย่างของสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตที่ผ่านวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์ โดยในรูปจะเห็นได้ว่าเราป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ ให้กับวงจรเราทำการวัดสัญญาณเอาท์พุต ซึ่งจะเห็นจากรูปได้ว่าสัญญาณที่ผ่านออกมามีขนาดเล็กลงมากเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ จึงสรุปได้ว่าวงจรมีคุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ ตามที่เราได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.4 โดยในรูปไม่สามารถที่จะแสดงผลความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตได้มีสาเหตุมาจากการตั้งค่าการแสดงผลคือ การปรับค่าโวลต์ต่อช่องของฟังก์ชันการแสดงผลเหมือนในหัวข้อที่ 4.1.2

หมายเหตุ : สัญญาณด้านบนคือสัญญาณอินพุต
สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การทดลองวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator)

เป็นการทดลองวงจรในรูปที่ 3.7 โดยให้สัญญาณอินพุต เป็นแรงดันค่าต่าง ๆ แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุตว่าเป็นไปตามการออกแบบของเราหรือไม่ โดยแสดงผลเป็นตารางและตัวอย่างรูปสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ตามลำดับ ได้ดังนี้ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์

อินพุต (โวลต์)	เอาท์พุต (โวลต์)
5 (5.2)	3.76
4 (4.16)	3.76
3 (3.2)	3.76
2 (2.16)	3.76
1 (1.12)	3.76

รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์

หมายเหตุ : เลขที่อยู่ในวงเล็บคือเลขที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคบ
เลขที่อยู่นอกวงเล็บคือเลขที่เราตั้งให้เครื่องกำเนิดสัญญาณสร้างขึ้นมา
กราฟเส้นสีเหลืองที่มีลักษณะเป็นพัลล์สี่เหลี่ยมคือ เอาท์พุต
กราฟเส้นสีฟ้าที่มีลักษณะเป็น สัญญาณไซน์เวฟ คือ อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.5 เมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (Differentiator) ที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว โดยป้อนอินพุตที่ 5 โวลต์ และลดลงทีละ 1 โวลต์ ไปจนถึง 1 โวลต์ จะเห็นว่าเอาท์พุตที่ได้ก็จะมีค่า 3.76 โวลต์ คงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ แต่จะได้สัญญาณเอาท์พุตที่มี 2 ระดับตามที่ได้ทำการออกแบบคือ 0 โวลต์ และ 3.76 โวลต์ โดยวงจรนี้เป็นการเริ่มต้นการแปลงสัญญาณกล้ามเนื้อที่เป็นสัญญาณแอนาลอกเป็น สัญญาณดิจิตอลโดยดูได้จากสัญญาณเอาท์พุตในรูปที่ 4.5 ที่มีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมจึงสรุปได้ว่าวงจรที่ได้ออกแบบไว้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

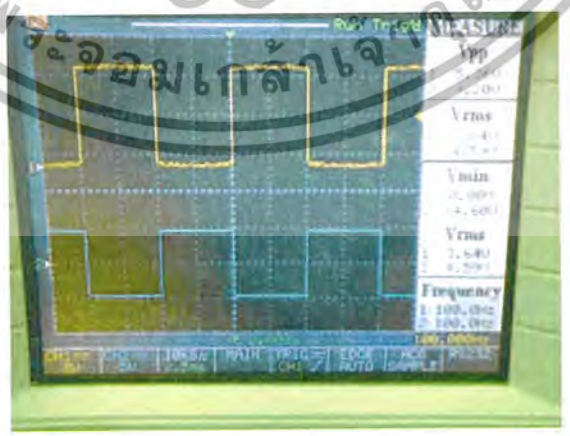
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 การทดลองวงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

เป็นการทดลองวงจรในรูปที่ 3.8 โดยให้สัญญาณอินพุตที่มีค่าแรงต่าง ๆ แล้วจึงทำการวัดสัญญาณเอาท์พุตว่าเป็นไปตามที่เราออกแบบหรือไม่ โดยจะแสดงเป็นตารางและตัวอย่างรูปสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบตามลำดับได้ดังนี้ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรเปรียบเทียบ

อินพุต (โวลต์) ขอบขาขึ้น	เอาท์พุต (โวลต์) ขอบขาขึ้น
0	4.8
0.2	4.9
0.4	4.9
0.6	4.8
0.8	0
1	0



รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : รูปสัญญาณด้านบนคือ สัญญาณอินพุต

รูปสัญญาณด้านล่างที่เป็นสีฟ้าคือ สัญญาณเอาท์พุต

สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.6 เป็นผลการทดลองวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ที่เราออกแบบให้มีจุดเริ่มต้นการทำงานอยู่ที่ 0.707 โวลต์ โดยดูจากตารางบันทึกผลการทดลองแล้ว จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่มีค่าแรงดันตั้งแต่ 0.1 โวลต์ ถึง 0.7 โวลต์ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของสัญญาณเอาท์พุตเกิดขึ้นเลยคือมีค่าแรงดันประมาณ 5 โวลต์ แต่เมื่อเราป้อนสัญญาณอินพุตที่มีค่าแรงดันเท่ากับ 0.8 โวลต์ ซึ่งเลยจุดเริ่มต้นทำงานของทรานซิสเตอร์ไปแล้วนั้น สัญญาณเอาท์พุตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคือเปลี่ยนจากแรงดัน 5 โวลต์ ไปเป็น 0 โวลต์ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าวงจรมีคุณสมบัติตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.6

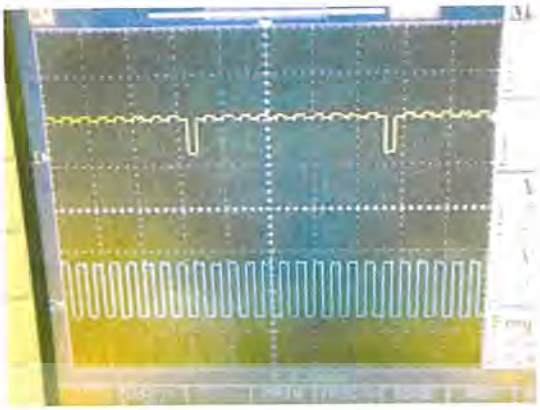
4.1.7 การทดลองวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable)

เป็นวงจรในรูปที่ 3.8 โดยทำการป้อนสัญญาณอินพุตที่แรงดันค่าเท่ากับ 0 โวลต์ และ 5 โวลต์ แล้วทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทว่าเป็นไปตามที่เราออกแบบไว้หรือไม่โดยแสดงเป็นตารางและตัวอย่างรูปสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรโมโนสเตเบิลตามลำดับได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable)

อินพุต (โวลต์)	เอาท์พุต (โวลต์)
0	4.8
5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของวงจรโมโนสเตเบิล

หมายเหตุ : รูปสัญญาณด้านบนคือ สัญญาณเอาท์พุต

รูปสัญญาณด้านล่างที่เป็นสีฟ้าคือ สัญญาณอินพุต

สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.7 เมื่อทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณอินพุตให้แก่วงจรโมโนสเตเบิล โดยป้อนเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีค่าแรงดันขอบขาขึ้น 5 โวลต์ และขอบขาลง 0 โวลต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรโมโนสเตเบิลจะตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตที่อยู่ในช่วงขอบขาลงเท่านั้น ถ้าหากสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณขอบขาขึ้นวงจรจะไม่ทำงานหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุต แต่ในขณะทำการทดลองบางครั้งเห็นจะเห็นว่าที่อินพุตขอบขาขึ้นแล้วเอาท์พุตมีการเปลี่ยนแปลง ก็เพราะว่าหมดช่วงเวลาออนไทม์ (On Time) ที่ได้กำหนดไว้ ในขั้นตอนการออกแบบและจากรูปที่ 4.7 สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณอินพุตที่จ่ายเข้ากับวงจรโมโนสเตเบิล โดยสัญญาณด้านบนคือสัญญาณเอาท์พุต ซึ่งจะเห็นว่ารูปสัญญาณของเอาท์พุตมีสถานะเป็น 5 โวลต์ เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็นขอบขาลงเท่านั้น โดยหลังจากนั้นจะมีสัญญาณอินพุตใดๆ เข้ามา ก็จะไม่มีผลกับเอาท์พุตจนกว่าจะหมดเวลาออนไทม์ของสัญญาณเอาท์พุตและเมื่อหมดเวลาออนไทม์แล้ว วงจรจึงจะมีการตอบสนองอีกครั้ง จึงสรุปได้ว่าวงจรมีคุณสมบัติตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบนำวงจรมาใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อจริง

หลังจากที่เราทำการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 เพื่อทดลองว่าวงจรที่เราออกแบบขึ้นมานั้นมีคุณสมบัติตามที่เราต้องการใช้งานหรือไม่ ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าวงจรทั้งหมดที่ออกแบบมีคุณสมบัติตามที่เราต้องการอยู่ในระดับน่าพอใจ โดยในหัวข้อนี้เราจะนำวงจรทั้งหมดมาใช้ในการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อจริงซึ่งจะแตกต่างกับหัวข้อที่ 4.1 ที่เราทำการวัดสัญญาณที่เกิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยเครื่องมือวัดที่เราใช้คือ เครื่องออสซิลโลสโคป ยี่ห่อ Instek รุ่น GDS – 820C สามารถวัดค่าต่าง ๆ ทั่วไปของสัญญาณ เช่น ค่าแรงดัน ค่าความถี่ เป็นต้น โดยรายละเอียดของสเปกเครื่องจะอยู่ในภาคผนวก

4.2.1 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector)

รูป 4.8 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรตรวจวัดสัญญาณ (Detector)

โดยสัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณกล้ามเนื้อที่ทำการวัด หลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 500 เฮิรตซ์ ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณกล้ามเนื้อที่ทำการวัดหลังจากสัญญาณผ่านวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าก่อนที่สัญญาณกล้ามเนื้อจะจะผ่านวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์ จะมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ของไฟฟ้าในบ้านที่มีค่า 50 เฮิรตซ์ แต่เมื่อนำสัญญาณดังกล่าวมาผ่านวงจรกรองความถี่แบบนอตท์ 50 เฮิรตซ์จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ของไฟฟ้าในบ้านถูกกำจัดออกไป จึงกล่าวได้ว่าวงจรตรวจวัดสัญญาณที่ได้ออกแบบสามารถใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog signal To Digital signal)

เมื่อเราได้สัญญาณกล้ามเนื้อที่เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว เราจะนำสัญญาณดังกล่าวที่เป็นสัญญาณแอนาลอกไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปใช้สั่งงานตัวควบคุมตามแนวทางที่ได้ออกแบบไว้โดยในรูปที่ 4.9 สัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณวัดหลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์และวงจรเปรียบเทียบ โดยสัญญาณด้านบนคือสัญญาณอินพุตที่ได้จากวงจรตรวจวัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณแอนาลอกคือเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องกันและมีค่าแอมพลิจูดได้หลายค่า ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณดิจิตอลและเนื่องจากสัญญาณดังกล่าวมีค่าแอมพลิจูดอยู่เพียง 2 ค่า ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติของสัญญาณดิจิตอล

รูปที่ 4.9 วัดหลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์และวงจรเปรียบเทียบ

แต่สัญญาณดิจิตอลที่ได้จะยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะจากแนวคิดในการออกแบบเราต้องการให้เมื่อมีการเกร็งกล้ามเนื้อ 1 ครั้ง แล้วได้สัญญาณออกมา 1พัลส์ แต่จากรูปจะเห็นว่าเมื่อมีการเกร็งกล้ามเนื้อ 1 ครั้ง จะมีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้นมากกว่า 1 ครั้ง อีกทั้งไม่สามารถกำหนดช่วงเวลาออนไทม์ (On Time) ของสัญญาณได้ ดังนั้นเราจึงต้องนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรโมโนสเตเบิลและเมื่อเราวัดหลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรโมโนสเตเบิลก็จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการเกร็งกล้ามเนื้อ 3 ครั้ง ดังสัญญาณด้านบนจะเกิดสัญญาณพัลส์ตามจำนวนที่เราทำการเกร็งกล้ามเนื้อคือ 3 พัลส์โดยดูได้จากสัญญาณด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 วัดหลังจากที่สัญญาณผ่านวงจรโมโนสเตเบิล

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราจึงกล่าวได้ว่า วงจรทั้งหมดที่เราได้ทำการออกแบบมาสามารถที่จะนำเอาไปใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อที่เป็นสัญญาณแอนาลอกและสามารถแปลงสัญญาณดังกล่าว ไปเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการสั่งงานตัวควบคุมได้

4.2.3 การทดลองใช้งานวงจรกับคนหลาย ๆ คน

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.2 จะเห็นได้ว่าวงจรดังกล่าว สามารถที่จะใช้ในการตรวจวัดและจัดการสัญญาณกล้ามเนื้อให้อยู่ในรูปแบบที่เราต้องการนำมาใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่เรายังไม่สามารถที่จะรู้ได้ว่าวงจรที่ได้ออกแบบขึ้นมาจะนำไปใช้งานกับบุคคลอื่น นอกเหนือจากตัวผู้ทดลองได้หรือไม่ เราจึงต้องมีการทดลองนำวงจรที่เราออกแบบไว้มาใช้ทำการตรวจวัดและจัดการสัญญาณกล้ามเนื้อจริงกับบุคคลอื่นที่ไม่ใช่ตัวผู้ทดลอง โดยในที่นี้ได้อาสาสมัครมาเป็นกรณีศึกษาด้วยกัน 3 คน โดยในการทดลองเราจะให้กรณีศึกษาทั้ง 3 คนทำการเกร็งกล้ามเนื้อแล้วดูว่าวงจรที่เราออกแบบสามารถที่จะตรวจวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ แล้วทำการแปลงสัญญาณกล้ามเนื้อที่เป็นสัญญาณแอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เหมือนกับผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.2 ได้หรือไม่ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 1 ขณะทำการเกร็งกล้ามเนื้อในการทดลอง

รูปที่ 4.11 กรณีศึกษาที่ 1

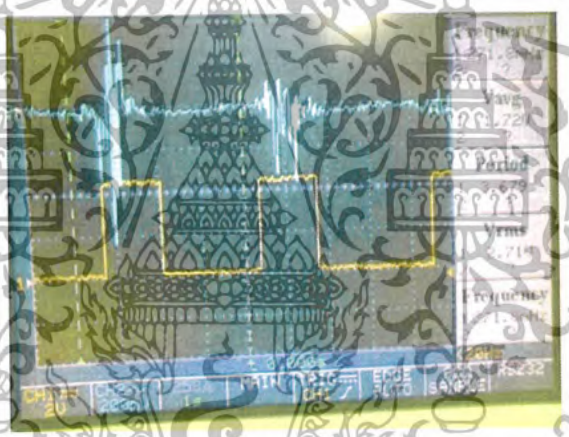
รูปที่ 4.12 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรรวมของกรณีศึกษาที่ 1

หมายเหตุ : สัญญาณด้านบนคือสัญญาณที่ทำการวัดหลังจากผ่านวงจรตรวจวัด
สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณที่ทำการวัดหลังจากผ่านวงจรแปลงสัญญาณ
แอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 2 ขณะทำการเกร็งกล้ามเนื้อในการทดลอง

รูปที่ 4.13 กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.14 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรรวมของกรณีศึกษาที่ 2

หมายเหตุ : สัญญาณด้านบนคือสัญญาณที่ทำการวัดหลังจากผ่านวงจรตรวจวัด
สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณที่ทำการวัดหลังจากผ่านวงจรแปลงสัญญาณ
แอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 3 ขณะทำการเกร็งกล้ามเนื้อในการทดลอง

รูปที่ 4.15 กรณีศึกษาที่ 3

รูปที่ 4.16 สัญญาณกล้ามเนื้อที่ผ่านวงจรรวมของกรณีศึกษาที่ 3

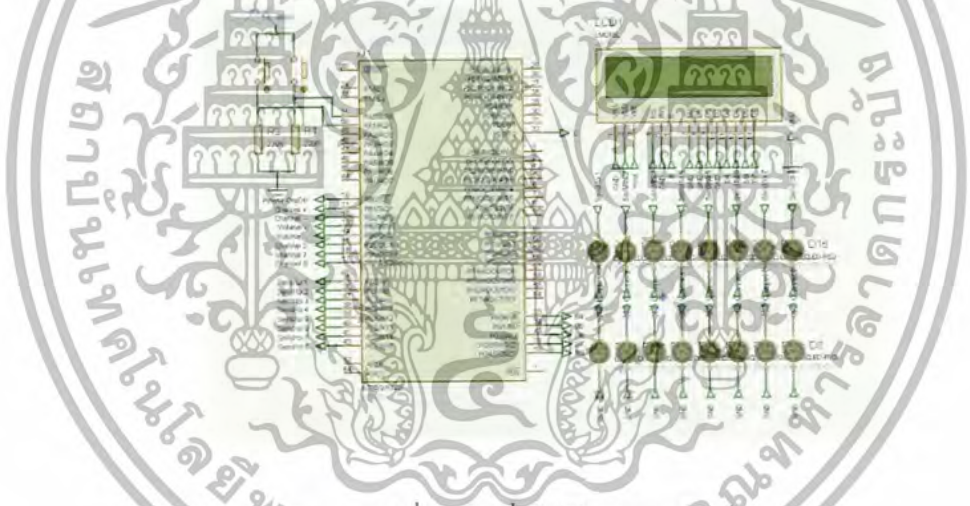
หมายเหตุ : สัญญาณด้านบนคือสัญญาณที่ทำการวัดหลังจากผ่านวงจรตรวจวัด
สัญญาณด้านล่างคือสัญญาณที่ทำการวัดหลังจากผ่านวงจรแปลงสัญญาณ
แอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองตัวควบคุม

การทดลองในส่วนของตัวควบคุม เราออกแบบให้เป็นการทดลองโดยใช้โปรแกรม Proteuse จำลองการทดลองขึ้นมา โดยสาเหตุที่เราไม่ใช้ตัวควบคุมจริงทำการทดลองก็เนื่องด้วยจำนวนการเขียนและการลบโปรแกรมของตัวควบคุมถูกจำกัดเอาไว้โดยบริษัทที่ผลิต ซึ่งเราไม่รู้เลยว่าตัวควบคุมของเราผ่านการเขียนและการลบโปรแกรมมากี่ครั้งแล้ว เนื่องจากตัวควบคุมของเราได้รับความอนุเคราะห์มาจากชุมนุมโรบอท โดยจากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่แล้วชุดคำสั่งที่ทางเราได้ออกแบบไว้มีอยู่ 5 คำสั่ง ก็คือ เปิด/ปิด เพิ่มช่อง/ลดช่อง เพิ่มเสียง/ลดเสียง และยังมีพอร์ตคำสั่งเหลืออยู่อีก 3 คำสั่ง เราจึงเอามาใช้เป็นฟังชั่นเสริมเพื่อใช้เลือกช่องหลัก ๆ คือ ช่อง 3 5 7 โดยสามารถ แสดงผลการทดลองได้ดังนี้

สถานะที่ 1 เมื่อไม่มีการกดสวิตซ์เปรียบได้กลับไม่มีการเกร็งกล้ามเนื้อ โดยจะเห็นได้ว่าที่หน้าจอแสดงผล (LCD) และหลอดแอลอีดี (LED) จะไม่มีการแสดงผลใดๆดังรูปที่ 4.17

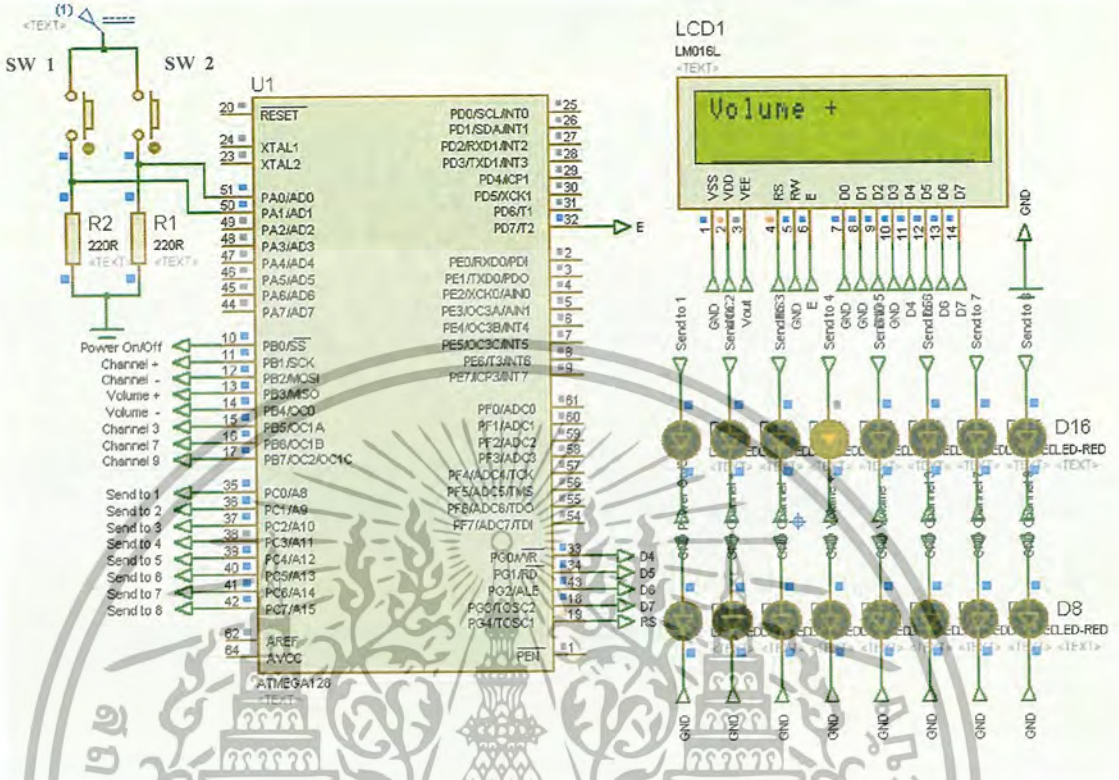


รูปที่ 4.17 เมื่อไม่มีการกดสวิตซ์

สถานะที่ 2 เมื่อมีการกดสวิตซ์ตัวที่ทำหน้าที่เลือกชุดคำสั่งจะเปรียบได้กับกรณีที่เรามีการเกร็งกล้ามเนื้อแขนของแขนที่ทำหน้าที่เลือกชุดคำสั่งโดยสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อทำการเลือกชุดคำสั่งเพิ่มเสียง/ลดเสียง



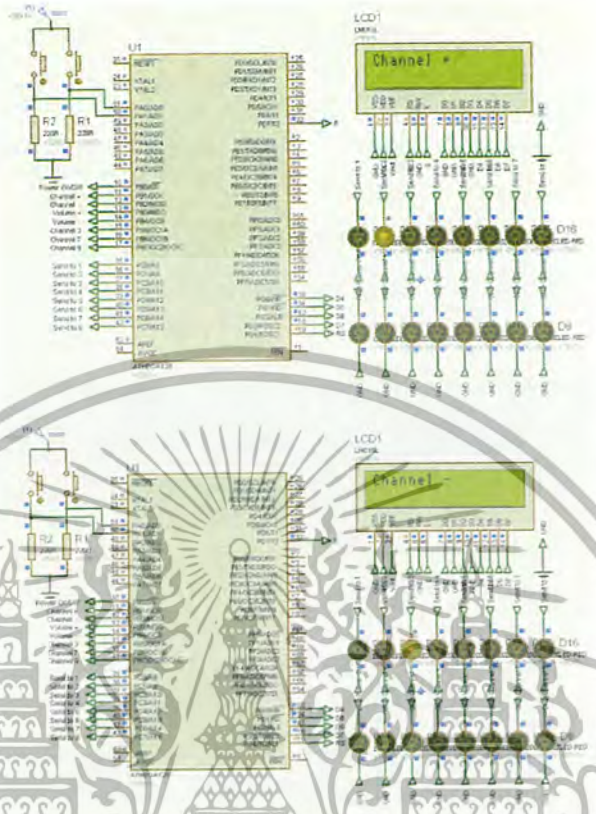
รูปที่ 4.18 เมื่อเลือกชุดคำสั่งเพิ่ม/ลดเสียง

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดสวิตซ์เลือกชุดคำสั่งเพิ่มเสียงตัวหน้าจอแสดงผล (LCD) จะแสดงผลคำว่า Volume + และหลอดแอลอีดี (LED) แถวบนตัวที่ 4 โดยนับจากทางด้านซ้ายมือก็จะติดขึ้น ซึ่งตำแหน่งของหลอดแอลอีดี (LED) ที่แสดงผลนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ต่อเชื่อมกับพอร์ตของตัวควบคุมที่เรากำหนดในที่นี้คือพอร์ต PB3 ให้เป็นพอร์ตของชุดคำสั่งเพิ่มเสียงและเมื่อเราเลือกชุดคำสั่งลดเสียงตัวหน้าจอแสดงผล (LCD) จะแสดงผลคำว่า Volume - ลอดแอลอีดี (LED) แถวบนตัวที่ 5 ก็จะติดขึ้น และตำแหน่งพอร์ตของตัวควบคุมที่เรากำหนดในที่นี้คือพอร์ต PB4

หมายเหตุ : SW 1 คือ สวิตซ์เลือกชุดคำสั่ง
SW 2 คือ สวิตซ์ที่ใช้ในการสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดคำสั่งเพิ่ม/ลดช่อง

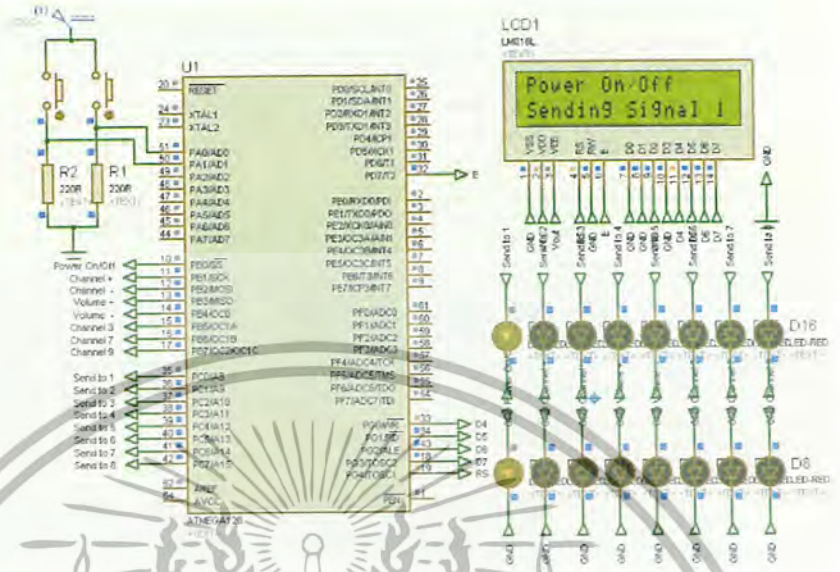


รูปที่ 4.19 เมื่อเลือกชุดคำสั่งเพิ่ม/ลดช่อง

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดสวิตซ์เลือกชุดคำสั่งเพิ่มช่องตัวหน้าจอแสดงผล (LCD) จะแสดงผลคำว่า Channel + และหลอดแอลอีดี (LED) แถวบนตัวที่ 2 ก็จะติดขึ้น โดยหลอดแอลอีดี (LED) ที่แสดงผลนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ต่อเชื่อมกับพอร์ตของตัวควบคุมที่เรากำหนดให้เป็นพอร์ตของชุดคำสั่งเพิ่มช่องในที่นี้คือพอร์ต PB1 ต่อมาเราก็ทำการเลือกชุดคำสั่งลดช่องตัวหน้าจอแสดงผล (LCD) ก็จะแสดงผลคำว่า Channel - และหลอดแอลอีดี (LED) แถวบนตัวที่ 2 ก็จะติดขึ้นโดยตำแหน่งของหลอดแอลอีดี (LED) จะเป็นตำแหน่งที่ต่อเชื่อมกับพอร์ตของตัวควบคุมที่เรากำหนดให้เป็นพอร์ตของชุดคำสั่งลดช่องในที่นี้คือพอร์ต PB2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดคำสั่งเปิด/ปิดเครื่อง



รูปที่ 4.20 เมื่อเลือกชุดคำสั่งเปิด/ปิด

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดสวิตซ์เลือกชุดคำสั่งเปิด/ปิด ตัวหน้าจอแสดงผล (LCD) จะแสดงผลคำว่า Power On/Off และหลอดแอลอีดี (LED) แถวบนก็จะติดขึ้น โดยตำแหน่งของหลอดแอลอีดี (LED) ที่แสดงผลนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ต่อเชื่อมกับพอร์ตของตัวควบคุมที่เรากำหนดให้เป็นพอร์ตของชุดคำสั่งเปิด/ปิดเครื่อง ในที่นี้คือพอร์ต PB0

สถานะที่ 3 เมื่อมีการกดสวิตซ์ตัวที่ทำหน้าที่ส่งชุดคำสั่ง เปรียบได้กับมีการเกร็งกล้ามเนื้อแขนของแขนที่ทำหน้าที่ส่งชุดคำสั่ง โดยขณะที่เราทำการกดสวิตซ์จะเห็นว่าที่หน้าจอแสดงผล (LCD) จะแสดงผลคำว่า Sending Signal ขึ้นมาด้วยนอกเหนือจากชุดคำสั่งปกติ และหลอดแอลอีดี (LED) แถวล่าง ก็จะแสดงผลในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งหลอดแอลอีดี (LED) แถวบนที่ต่อเชื่อมกับพอร์ตของตัวควบคุมที่เรากำหนดให้เป็นพอร์ตของชุดคำสั่งทั้ง 5 คำสั่ง ที่เราได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าในขณะนั้นเราทำการเลือกชุดคำสั่งใดอยู่โดยจากรูปที่ 4.20 เราทำการเลือกชุดคำสั่งเปิด/ปิดเครื่องอยู่ กล่าวคือหลอดแอลอีดี (LED) แถวล่างจะแสดงผลในตำแหน่งเดียวกันกับหลอดแอลอีดี (LED) แถวบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองใช้งานเครื่องจริง

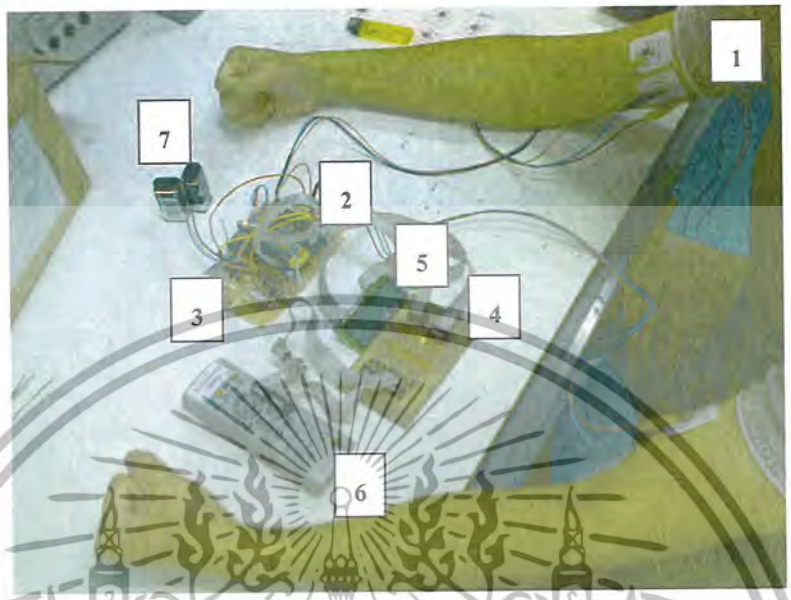
หลังจากที่เราทำการทดลองโปรแกรมตัวควบคุมโดยการทำซิมูเลชั่น (Simulation) เพื่อทดสอบโปรแกรมที่เราได้ทำการออกแบบไว้ว่าสามารถใช้งานได้ตามที่เราต้องการหรือไม่ ก็พบว่าตัวโปรแกรมสามารถที่จะใช้งานได้ ในขั้นต่อมาเราจึงนำโปรแกรมที่ออกแบบไว้เขียนลงบนตัวควบคุมแล้วทำการทดลองใช้งาน เพื่อหาค่าความผิดพลาดในการทำงานของเครื่องว่ามีค่ามากน้อยเพียงใดโดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการติดแผ่นอิเล็กโทรดที่แขนตามจุดที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 โดยการกำหนดให้แขนข้างซ้ายเป็นตัวเลือกโหมดการทำงานหรือชุดคำสั่งและให้แขนข้างขวาเป็นตัวสั่งให้ตัวควบคุมทำการส่งสัญญาณควบคุมการทำงานออกไป

รูปที่ 4.21 การติดแผ่นอิเล็กโทรดที่แขนเพื่อทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.22 โดยทำการเชื่อมต่อตามลำดับหมายเลขที่ปรากฏในรูปดังนี้



รูปที่ 4.22 ภาพรวมการต่ออุปกรณ์ทั้งหมด

โดยในรูปที่ 4.22 จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทั้งหมดที่นำมาใช้งานในโครงงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. แผ่นอิเล็กโทรดและตัวสายไฟที่ใช้ในการเชื่อมต่อ แผ่นอิเล็กโทรดเข้ากับวงจรตรวจวัดสัญญาณกล้ามเนื้อและวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่เราออกแบบไว้

2. วงจรตรวจวัดและวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยในโครงงานนี้จะใช้วงจรดังกล่าว 2 ชุด คือ แขนขวาและแขนซ้ายข้างละชุด

3. ตัวควบคุมที่ใช้ในโครงงาน

4. แผงวงจรหลอดแอลอีดี (LED) ที่ใช้ในการแสดงผลสถานะของชุดคำสั่งและสถานะการส่งสัญญาณจากตัวควบคุมมายังตัวรีโมททีวี

5. จอแสดงผล (LCD) ที่ใช้ในการแสดงผลว่าในขณะนั้นเราทำการเลือกใช้งานชุดคำสั่งใดอยู่

6. ตัวรีโมททีวีที่ดัดแปลงเพื่อให้สามารถรับคำสั่งจากตัวควบคุมได้

7. แบตเตอรี่ที่ใช้ในการให้พลังงานกับตัวควบคุมและวงจรทั้งหมดในโครงงาน โดยจะใช้เป็นแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.22 เรียบร้อยแล้วเราจะทำการทดลอง เอาตัวอุปกรณ์ไปควบคุมทีวี โดยทีวีที่นำมาใช้ในการทดลองคือ ทีวีสี ยี่ห้อ SUMSUNG รุ่น CS-29K40ML ดังรูปที่ 4.23

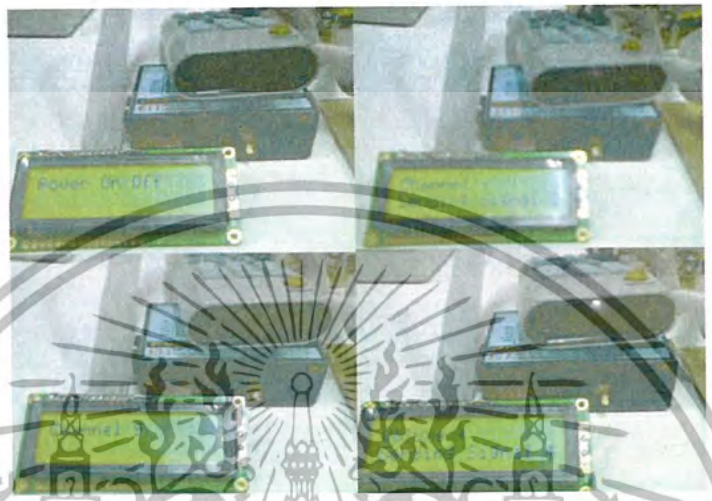
รูปที่ 4.23 ทีวีสี ยี่ห้อ SUMSUNG รุ่น CS-29K40ML

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อเราทำการเกร็งกล้ามเนื้อจะเห็นได้ว่าหลอดแอลอีดี (LED) มีการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่ง โดยเราให้แขนซ้ายใช้ในการเลือกชุดคำสั่งและแขนขวามีทำหน้าที่ในการส่งชุดคำสั่ง ซึ่งหลอดแอลอีดี (LED) ด้านซ้ายแสดงสถานะเมื่อมีการเกร็งแขนซ้าย ส่วนหลอดแอลอีดี (LED) ทางด้านขวาก็ทำงานในลักษณะเดียวกันแต่จะไม่ได้ติดตลอดเวลาเหมือนกับหลอดแอลอีดี (LED) ทางด้านซ้าย แต่จะติดแค่ชั่วขณะที่ทำการเกร็งกล้ามเนื้อที่แขนขวาเพื่อที่จะส่งคำสั่งให้กับรีโมททีวี โดยทิศทางการเปลี่ยนสถานะจะเป็นทิศทางตามลูกศรในรูปที่ 4.24

รูปที่ 4.24 แผงวงจรหลอดแอลอีดีที่ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการเกร็งกล้ามเนื้อ

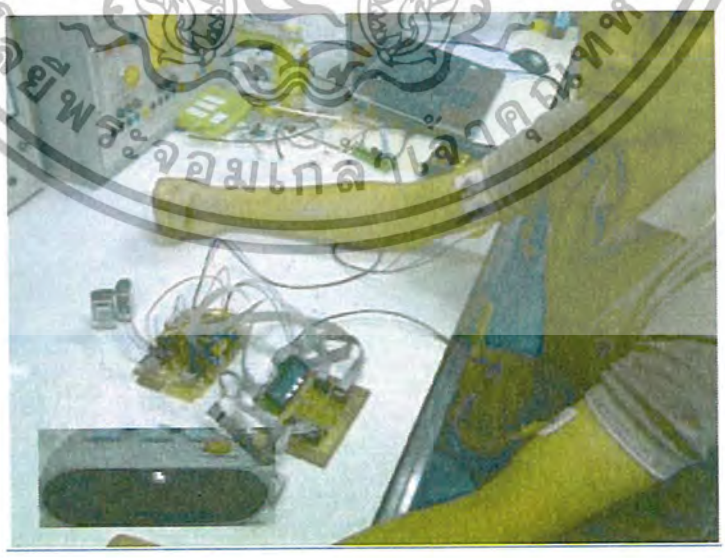
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขณะที่หลอดแอลอีดี (LED) ทางด้านซ้ายแสดงผล ตัวจอแสดงผล (LCD) ก็จะแสดงชุดคำสั่งต่าง ๆ ที่เราได้ทำการออกแบบไว้เช่น Power ON\OFF Channel +\- และในกรณีที่หลอดแอลอีดี (LED) ทางด้านขวาแสดงผล ตัวจอ LCD ก็จะแสดงสถานะการส่งข้อมูลคือ แสดงคำว่า Sending Signal โดยสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังนี้



รูปที่ 4.25 จอแสดงผล (LCD) แสดงการทำงานของเครื่อง

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อมีการเกร็งกล้ามเนื้อที่แขนขวา เพื่อทำการส่งคำสั่งให้กับทีวีจะเห็นได้ว่าหลอดอินฟาเรดของรีโมทที่เราทำการดัดแปลงจะแสดงสถานะการติดดับดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจะสามารถกล่าวได้ว่ารีโมทมีการตอบสนองตามที่เราต้องการ



รูปที่ 4.26 รีโมทแสดงการตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 จะเห็นได้ว่าทีวีแสดงการทำงานตามที่ถูกรีโมทสั่งการ โดยที่แสดงในรูปคือการเปลี่ยนช่องจากช่องทรูไปยังช่องทีวีท้องถิ่น

(ก) (ข)

รูปที่ 4.27 (ก) ทีวีอยู่ที่ช่องทรู
(ข) ทีวีอยู่ที่ช่องท้องถิ่น

สรุปผลการทดลอง

เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่อง EMG โดยวัดจากการทดลองใช้งานเครื่อง 100 ครั้ง เป็นจำนวน 5 รอบ ว่ามีการทำงานที่ผิดพลาดไปกี่ครั้งและมีค่าความผิดพลาดกี่เปอร์เซ็นต์ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองหาค่าความผิดพลาด

รอบที่ทำการทดลอง (100 ครั้ง)	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	ค่าเฉลี่ย
จำนวนครั้งที่เกิดความผิดพลาด	13	12	9	19	12	13
ค่าความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)	0.13	0.12	0.09	0.19	0.12	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางบันทึกผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของเครื่อง มีค่าอยู่ในช่วง 0.09 – 0.19 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.13 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองใช้งานเครื่องทั้งหมด 500 ครั้ง โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหมายถึงกรณีที่เมื่อเราทำการเกร็งกล้ามเนื้อเพื่อควบคุมเครื่อง EMG เครื่องจะไม่รับคำสั่งหรือประมวลผลคำสั่งไม่ตรงกับชุดคำสั่งที่เราต้องการ โดยสาเหตุของความผิดพลาดดังกล่าวมีดังนี้

- เกิดจากสภาวะที่เกิดกล้ามเนื้อเกิดเกร็งขึ้นมาทั้ง ๆ ที่เราไม่ได้สั่งให้ร่างกายของเราเกร็งกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลมาจากการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่เราใช้ในการทำการทดลอง ซึ่งจะเห็นในหลายกรณี เช่น เมื่อเราทำการวิ่งเป็นระยะทางไกลเมื่อหยุดวิ่งบางครั้งเราจะเห็นกล้ามเนื้อของเรามีการกระตุกเกร็งเป็นระยะ
- เกิดจากความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อซึ่งจะทำให้เมื่อทำการเกร็งกล้ามเนื้อแล้วแรงที่ได้จากการเกร็งกล้ามเนื้อมีค่าน้อยเกินกว่าที่วงจรตรวจวัดจะทำการตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงาน

หลังจากการที่เราได้ทำการศึกษาและค้นคว้าวิธีการ ในการตรวจวัดสัญญาณกล้ามเนื้อกันในเทอมที่ 1 ก็ทำให้เรามีความรู้และความเข้าใจในเรื่องดังกล่าว จนสามารถออกแบบวงจรในการตรวจวัดสัญญาณกล้ามเนื้อได้ ต่อมาในเทอมที่ 2 เราก็ศึกษาว่าจะนำสัญญาณกล้ามเนื้อที่เราตรวจวัดได้ในเทอมที่ 1 ไปใช้ประโยชน์อย่างไร ซึ่งก็ทำให้เราสามารถประดิษฐ์เครื่องควบคุมรีโมททีวีโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อสำเร็จตามวัตถุประสงค์และขอบเขตงานที่ได้เสนอไว้ในตอนต้น

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานและการแก้ไข

1. ไม่มีสถานที่ในการปฏิบัติงานที่เพียงพอต่อความต้องการของนักศึกษา แต่ก็ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.เชื้อ นกอยู่ ที่อนุญาตให้ใช้ห้อง LAB เป็นสถานที่ทำงานได้

2. ไม่มีเครื่องมือวัดและเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงาน ซึ่งถือเป็นสาเหตุที่สำคัญมากแต่สุดท้ายก็ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.เชื้อ นกอยู่ และ รศ.สักรียา ชิตวงศ์ ที่ให้อนุญาตให้ยืมใช้เครื่องมือในการทำงานเช่น แหล่งจ่ายไฟ เครื่องกำเนิดสัญญาณ และอื่น ๆ

3. ขาดงบประมาณในการใช้ทำโปรเจค เนื่องจากระยะเวลาในการเสนอบิลมีความกระชั้นชิดเกินไปการแก้ไขคือการออกงบประมาณในการทำโครงงานเอง

4. การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณกล้ามเนื้อทำได้ล้าช้า เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวส่วนใหญ่จะถูกตีพิมพ์เป็นภาษาต่างประเทศและมีศัพท์เฉพาะทางอยู่มาก

5. การทำงานเกิดความขัดแย้งทางความคิด จึงต้องมีการจัดความคิดให้ไปในแนวทางเดียวกันทำให้เกิดความล้าข้าในภาคปฏิบัติงานไปบ้าง

5.3 แนวทางในการพัฒนา

แนวทางในการพัฒนานั้นสามารถที่จะทำการพัฒนาได้หลายรูปแบบ เช่นในส่วนของแมคคานิคก็สามารถที่จะทำให้มีขนาดกะทัดรัดลงได้อีกคือการเปลี่ยนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นแบบเซอร์เฟสให้หมดและในส่วนของโปรแกรมก็ยังสามารถเพิ่มแอปพลิเคชั่นอื่นๆลงไปได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สักรียา ชิตวงศ์. *วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ Electronic engineering*. สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2544

[2] วิศรุต ศรีรัตนะ. *ปฏิบัติการวิศวกรรมการวัดคุม 1*. สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2546

[3] อัมพวัน จุลเสรีวงศ์. *วงจรไฟฟ้า*. แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2550

[4] Adam Siemieski. http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0611/0611120.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL071
TL071A - TL071B

LOW NOISE J-FET SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE e_n = 15nV/√Hz (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/µs (typ)

N
DIP8
(Plastic Package)

D
SO8
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

The TL071, TL071A and TL071B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

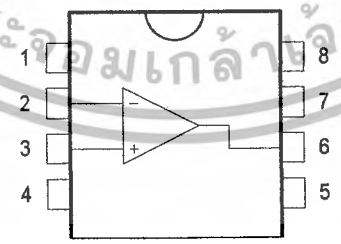
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL071M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL071I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL071C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•
Example : TL071CN			

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

PIN CONNECTIONS (top view)



1 - Offset null 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Offset null 2
6 - Output
7 - V_{CC}^+
8 - N.C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBSOLETE PRODUCT
NO RECOMMENDED REPLACEMENT

CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

Data Sheet | May 2001 | File Number 796.5

Quad, 1MHz, Operational Amplifiers for Commercial, Industrial, and Military Applications

The CA124, CA224, CA324, LM324, and LM2902 consist of four independent, high-gain operational amplifiers on a single monolithic substrate. An on-chip capacitor in each of the amplifiers provides frequency compensation for unity gain. These devices are designed specially to operate from either single or dual supplies, and the differential voltage range is equal to the power-supply voltage. Low power drain and an input common-mode voltage range from 0V to V+ -1.5V (single-supply operation) make these devices suitable for battery operation.

Part Number Information

PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0124E	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CA0124M (124)	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15
CA0124M96 (124)	-55 to 125	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15
CA0224E	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
CA0224M (224)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
CA0324E	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
CA0324M (324)	0 to 70	14 Ld SOIC	M14.15
CA0324M96 (324)	0 to 70	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15
LM324N	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
LM2902N	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
LM2902M (2902)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
LM2902M96 (2902)	-40 to 85	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15

Features

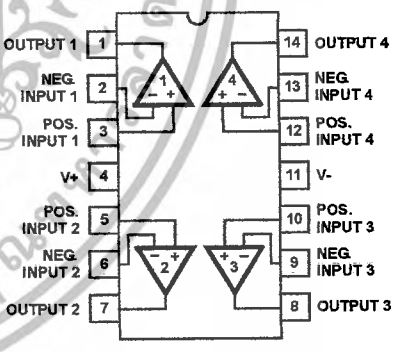
- Operation from Single or Dual Supplies
- Unity-Gain Bandwidth ..... 1MHz (Typ)
- DC Voltage Gain ..... 100dB (Typ)
- Input Bias Current ..... 45nA (Typ)
- Input Offset Voltage ..... 2mV (Typ)
- Input Offset Current
  - CA224, CA324, LM324, LM2902 ..... 5nA (Typ)
  - CA124 ..... 3nA (Typ)
- Replacement for Industry Types 124, 224, 324

Applications

- Summing Amplifiers
- Multivibrators
- Oscillators
- Transducer Amplifiers
- DC Gain Blocks

Pinout

CA124, CA224, CA324, LM2902 (PDIP, SOIC)
LM324 (PDIP)
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.
1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Intersil and Design is a trademark of Intersil Americas Inc. | Copyright © Intersil Americas Inc. 2001

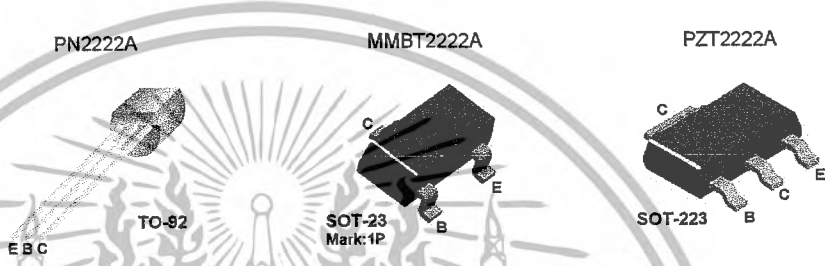
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

February 2009

PN2222A/MMBT2222A/PZT2222A
NPN General Purpose Amplifier

- This device is for use as a medium power amplifier and switch requiring collector currents up to 500mA.
- Sourced from process 19.



Absolute Maximum Ratings * T_a = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Ratings	Units
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	75	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current	1.0	A
T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	- 55 ~ 150	°C

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

NOTES:

1) These rating are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.

2) These are steady limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics T_a = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Max.			Units
		PN2222A	*MMBT2222A	**PZT2222A	
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625 5.0	350 2.8	1,000 8.0	mW mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	°C/W

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

KSP10

VHF/UHF transistor

TO-92
1
1. Base 2. Emitter 3. Collector

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_a=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	3.0	V
P_C	Collector Power Dissipation (T_a=25°C)	350	mW
	Derate above 25°C	2.8	mW/°C
P_C	Collector Power Dissipation (T_C=25°C)	1.0	W
	Derate above 25°C	8.0	W/°C
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	-55~150	°C
Rth(j-c)	Thermal Resistance, Junction to Case	125	°C/W
Rth(j-a)	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	°C/W

Electrical Characteristics T_a=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
BV_{CBO}	Collector-Base Breakdown Voltage	I_C=100μA, I_E=0	30		V
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	I_C=1mA, I_B=0	25		V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	I_E=10μA, I_C=0	3.0		V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	V_{CB}=25V, I_E=0		100	nA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB}=2V, I_C=0		100	nA
h_{FE}	DC Current Gain	V_{CE}=10V, I_C=4mA	60		
V_{CE} (sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C=4mA, I_B=0.4mA		0.5	V
V_{BE} (on)	Base-Emitter On Voltage	V_{CE}=10V, I_C=4mA		0.95	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE}=10V, I_C=4mA, f=100MHz	650		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz		0.7	pF
C_{rb}	Collector Base Feedback Capacitance	V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz	0.35	0.65	pF
$C_{c\cdot rbb'}$	Collector Base Time Constant	V_{CB}=10V, I_C=4mA, f=31.8MHz		9.0	ps

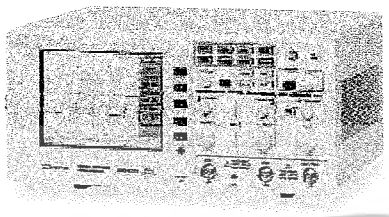
* Pulse Test: PW≤300μs, Duty Cycle≤2%

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

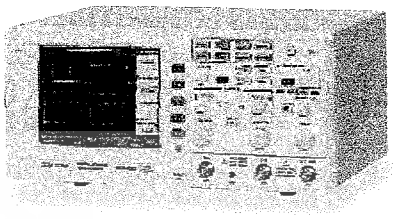
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Equipment Depot
1-800-517-8431
99 Washington Street
Melrose, MA 02176
Fax 781-665-0780
TestEquipmentDepot.com

150MHz/250MHz Digital Storage Oscilloscope



GDS-820S(150MHz)/GDS-840S(250MHz)



GDS-820C(150MHz)/GDS-840C(250MHz)

FEATURES

* 150MHz/250MHz Bandwidth With Either Color or Monochrome LCD Display
* 125k Long Memory and 12 Division Horizontal Display
* 25GS/s Sampling Rate for Repetitive Waveforms
* Advanced Trigger:Pulse Width,TV Line,Event Delay And Time Delay
* Go-NoGo and Auto Setup Sequence
* FFT Function
* Built-In Help Manual, Multi-Language and PC Software
* Standard Interface: USB, RS-232C, Printer Port, Go/NoGo Output
* Option: GPIB Interface

SPECIFICATIONS

		GDS-820S	GDS-820C	GDS-840S	GDS-840C
DISPLAY SYSTEM	Display Device	Mono (320 x 240) 5.7 inch LCD	Color (320 x 240) 5.7 inch LCD	Mono (320 x 240) 5.7 inch LCD	Color (320 x 240) 5.7 inch LCD
	Display Contrast	Adjustable			
	Waveform Display Graticule	8 x 10 divisions (8 x 12 div, when menu off)			
	Display Mode	Dot, Vector, Accumulate			
VERTICAL SYSTEM	Bandwidth	150MHz		250MHz	
	Channels	2			
	Vertical Resolution	8-Bit			
	Vertical Sensitivity	2mV/div ~ 5V/div			
	Vertical Accuracy	± 3%			
	Rise Time	< 2.3ns		< 1.4ns	
	Input Coupling	AC、DC、Ground			
	Input Impedance	1MΩ ±2%, ~ 22pF		1MΩ ±2%, ~ 18pF	
	Polarity	Positive & Negative			
	Maximum Voltage Between Signal & Common at Input BNC	300V (DC+AC peak), CATII			
	Waveform Signal Process	CH1+CH2、CH1-CH2、FFT			
	Offset Range	2mV/div ~ 50mV/div : ± 0.5V;100mV/div ~ 500mV/div : ± 5V; 1V/div ~ 5V/div : ± 50V			
	BW Limit	20MHz (-3dB)			
HORIZONTAL SYSTEM	Time Base Range	1ns/div ~ 10s/div; Roll : 250ms/div~10s/div			
	Time Base Mode	Main、Window、Window Zoom、Roll、X-Y			
	Time Base Accuracy	± 0.01%			
	Delay Range	Pre-trigger : 20 div maximum; Post-trigger : 1000 div			
SIGNAL ACQUISITION SYSTEM	Real-Time Sample Rate	100MS/s maximum on each channel			
	Equivalent Sample Rate	25GS/s E.T. maximum on each channel			
	Record Length	125k/CH			
	Peak Detection	10ns (500ns/div~10s/div)			
	Acquisition Mode	Sample、Peak Detect、Average			
	Average	2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256			
TRIGGER	Trigger Source	CH1, CH2, Line, Ext			
	Mode	Auto Level、Auto、Normal、Single、TV、Time Delay、Event Delay、Edge、Pulse Width			
	Coupling	AC, DC, HF, LF, Noise Reject			
	Sensitivity	DC~30MHz : 0.5div or 5mV 30MHz~150MHz : Approx 1.5div or 15mV		DC~30MHz : 0.5div or 5mV 30MHz~150MHz : 1.5div or 15mV 150MHz~250MHz : 2.0div or 20mV	
X-Y MODE	X-Axis Input / Y-Axis Input	Channel 1 / Channel 2			
	Phase Shift	± 3° at 100kHz			
CURSOR & MEASUREMENT	Auto Voltage Measurement	V_{pp}、V_{amp}、V_{avg}、V_{rms}、V_H、V_L、V_{max}、V_{min}			
	Auto Time Measurement	Freq, Period, Rise Time, Fall Time, Positive Width, Negative Width, Duty Cycle			
	Cursor Measurement	Voltage difference between cursors(ΔV),Time difference between cursors(ΔT), Reciprocal of ΔT in hertz (1/ΔT)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้