

โครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์  
POWERED EXOSKELETON

รุจรวี สินอุดม  
RUJRAWEE SIN-UDOM

วัฒนา พิพิธนิพนธ์  
WATTHANA PHIPHITNIPHON

วิษณุ คำสวาสดี  
WITSANU KAMSAWASD

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ .ศ . 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์

POWERED EXOSKELETON



T144646

โดย

รุจรวี สีนอุดม

วัฒนา พิพิธนิพนธ์

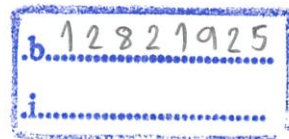
วิชณู คำสวาสดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

ร.พ.  
ร.พ.วิฑู  
2558

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...144646  
วันเดือนปี...29 11 2559



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

ปริญญาานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ปีการศึกษา 2558

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์

Powered Exoskeleton

ผู้จัดทำ นางสาว รุจรวี สีนอุดม รหัสประจำตัว 55011053

นาย วัฒนา พิพิธนิพนธ์ รหัสประจำตัว 55011127

นาย วิษณุ คำสวาสดี รหัสประจำตัว 55011162

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

๗๗-๗๗ 

(ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกิจ)

หัวข้อโครงการ	โครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์		
นักศึกษา	นางสาวรุจรวี	สินอุดม	รหัสนักศึกษา 55011053
	นายวัฒนา	พิพิธนิพนธ์	รหัสนักศึกษา 55011127
	นายวิษณุ	คำสวาสดี	รหัสนักศึกษา 55011162
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ		

## บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษา ออกแบบและพัฒนาโครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์ โครงการนี้ผู้จัดทำได้จัดทำโครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์ขึ้นมา เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการออกแรงกระทำต่อวัตถุของผู้สวมใส่ ซึ่งสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระและเป็นธรรมชาติ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้สวมใส่เป็นหลักโดยชิ้นงานจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนแหล่งจ่ายพลังงาน ส่วนอ่านสัญญาณร่างกาย ส่วนประมวลผล และส่วนปฏิบัติงาน

Project Title	Powered Exoskeleton	
Student	Miss. Rujrawee Sin-udom	Student ID 55011053
	Mr. Watthana Phiphitniphon	Student ID 55011127
	Mr. Witsanu Kumsawasd	Student ID 55011162
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2015	
Project Advisor	Asst. Prof. Dr.Pattarapong Phasukkit	

## ABSTRACT

This project aim to study, design and development of Powered Exoskeleton. This powered exoskeleton was develop to increase wearer capabilities of force an objects which have naturally independent movement base on safety of wearer come first. The complete work-piece was divide into 4 parts: Power supply, Signal detector, Central processing unit and Operations unit.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จสมบูรณ์ไปด้วยดีทั้งนี้ เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมไปถึงแนะแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา คอยห่วงใยและให้กำลังใจตลอดมา หากไม่มีพื้นฐานกำลังใจที่ดีจากพวกท่าน ก็คงไม่มีวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ฉบับนี้ได้

ขอขอบพระคุณ นายสรรัชต์ คำสวัสดิ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำชุดต้นแบบ ซึ่งทำให้การวิจัยผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นางชูใจ สุทธิยะกุล และ นายสินชัย จันทร์แดง ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์บางส่วนซึ่งไม่สามารถจัดหาได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน

ขอขอบคุณนายกนต์ธร พงศ์สุรชีวิน ที่ให้คำปรึกษาด้านการออกแบบวงจรและซอฟต์แวร์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณชุมชนมุขิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์รวมถึงเครื่องใช้ต่างๆในการวิจัย และได้ให้พื้นที่เพื่อใช้สอยในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆและพี่ๆทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัย รวมทั้งช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ ซึ่งมีทั้งประโยชน์และคุณค่าที่พึงมีในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นางสาว รุจรวี สินอุดม

นาย วัฒนา พิพิธนิพนธ์

นาย วิษณุ คำสวัสดิ์

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับของโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	3
2.2 วิธีการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	3
2.3 เครื่องมือการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย.....	4
2.4 สัญญาณอีเอ็มจีปกติ.....	5
2.5 การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	5
2.6 มอเตอร์.....	7
2.7 หลักการทำงานพื้นฐานของ Servo Motor.....	9
2.8 เฟือง.....	10
2.9 Arduino.....	11
2.10 Function Generator.....	12
บทที่ 3 การออกแบบอุปกรณ์.....	14
3.1 การออกแบบโครงการโดยภาพรวม.....	14
3.2 การออกแบบและสร้างภาคขยายและปรับปรุงสัญญาณ.....	14

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2.1 Instrumentation Amplifier .....	15
3.2.2 Amplifier .....	16
3.2.3 High pass filter.....	16
3.2.4 Precision full-wave rectifier .....	17
3.2.5 High pass filter.....	18
3.2.6 Notch filter.....	18
3.2.7 H-bridge .....	19
3.3 การคำนวณ .....	20
3.3.1 การหาค่าอัตราขยายของ AD620.....	20
3.3.2 การคำนวณหาค่าความถี่ของวงจร low pass filter.....	21
3.4 การออกแบบการทดลองวงจร EMG.....	23
3.5 การออกแบบชุดต้นแบบ.....	23
บทที่ 4 ผลการทดสอบ .....	25
4.1 การทดลองที่ 1.....	25
4.2 การทดลองที่ 2.....	27
4.3 การทดลองที่ 3.....	27
4.4 การทดลองที่ 4.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	29
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	31
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	31
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิจัย .....	31
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำวิจัย .....	32
5.5 แนวทางพัฒนาแก้ไข .....	32
เอกสารอ้างอิง .....	33

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก.....	34
ภาคผนวก ก .....	35
ภาคผนวก ข .....	39
ภาคผนวก ค .....	65
ภาคผนวก ง.....	67

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ชนิดศักย์ไฟฟ้าและความถี่ที่ตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้า.....	3
3.1 ค่าเปรียบเทียบระหว่างค่าของตัวต้านทานและอัตราขยาย.....	21

## สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
2.1 โครงสร้างของการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย .....	4
2.2 ลักษณะสัญญาณอีเอ็มจีของ motor unit potential MUP ปกติขณะกล้ามเนื้อหดตัว .....	5
2.3 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ .....	6
2.4 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและ frequency spectrum .....	7
2.5 หลักการทำงานของ Servo motor .....	9
2.6 เฟือง .....	10
2.7 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED .....	11
2.8 บอร์ด Arduino ต่อกับ XBee shield .....	11
2.9 Function Generator .....	12
3.1 หลักการทำงานโดยภาพรวม .....	14
3.2 วงจร EMG sensor .....	15
3.3 วงจร Instrumentation Amplifier .....	15
3.4 โครงสร้างของ AD620 .....	16
3.5 วงจร Amplifier .....	16
3.6 วงจร High pass filter .....	17
3.7 วงจรเรียงกระแสเพียงตรงเต็มลูกคลื่น .....	17
3.8 วงจร Low pass filter .....	18
3.9 กราฟและรูปแบบการต่อวงจร Notch filter .....	18
3.10 ความถี่ต่อการกรองของวงจร Notch filter .....	19
3.11 วงจร H-bridge .....	20
3.12 AD620 .....	20
3.13 ฟังก์ชันการถ่ายโอน .....	22
3.14 ฟังก์ชันของการเกิด $\omega_{CH}$ .....	22
3.15 การติดแผ่นวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ .....	23
3.16 ชุดต้นแบบส่วนแขนประกอบด้วยแผ่นอะคริลิก .....	23
3.17 ชุดต้นแบบส่วนแขนพร้อมวงจร EMG .....	24
3.18 ชุดต้นแบบส่วนแขนในแนวราบ .....	24

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
4.1 ตำแหน่งของการวัดค่าสัญญาณขาออก.....	25
4.2 สัญญาณไฟฟ้าขาออกหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ.....	26
4.3 สัญญาณไฟฟ้าขาออกหลังจากผ่านวงจรเรียงกระแส.....	26
4.4 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อผ่านและยังไม่ผ่านวงจรรองความถี่และวงจรเรียงกระแส .....	27
4.5 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อยืนขึ้นแล้วปล่อยแขนตามแนวตั้ง .....	28
4.6 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อวางแขนไว้บนโต๊ะ.....	28
4.7 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อขยับแขนขึ้นลง 3 ครั้งโดยไม่เกร็ง.....	29
4.8 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อเกร็งแขน.....	29
4.9 สัญญาณไฟฟ้าขาออกของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการแข่งขันรุนแรงขึ้นเป็นลำดับ กลยุทธ์หนึ่งที่ช่วยให้ผู้ประกอบการแข่งขันได้ในตลาดโลก คือ อาศัยความสามารถเชิงเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมเพื่อสนับสนุนโดยเฉพาะด้านการออกแบบ และผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ ซึ่งพบว่าความก้าวหน้าในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์นั้นได้เข้ามามีบทบาททั้งในชีวิตประจำวันและงานอุตสาหกรรม ปัจจุบัน และนับว่ามีการเจริญเติบโตสูง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์หรืออุตสาหกรรมได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของมนุษย์ในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามพบว่าที่ผ่านมายังมิได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร ส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่มีราคาแพง และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย ดังนั้นการคิดเทคโนโลยีขึ้นมาใช้เอง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนได้มีการเจริญเติบโตภายในประเทศอย่างมาก ทำให้มีความต้องการวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์การแพทย์มากขึ้นตามไปด้วย

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงได้จัดทำวิจัยเรื่อง โครงร่างยนต์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์เพื่อช่วยในการหยิบจับหรือยกสิ่งของที่มีน้ำหนักมากจนเกิดความเจ็บของร่างกายได้ และเพื่อช่วยพยุงการเคลื่อนไหวของแขนโดยใช้การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายซึ่งจะเป็นประโยชน์ในสถานการณ์ที่จำเป็นต้องออกแรงกระทำกับวัตถุ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนเพราะสามารถออกแบบและสร้างได้ภายในประเทศ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ควบคุมมอเตอร์
- 1.2.1 เพื่อสร้างอุปกรณ์ในการช่วยทุ่นแรงในการยกสิ่งของ
- 1.2.3 เพื่อสร้างชุดต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาได้ในอนาคต

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ใช้เซอร์โวมอเตอร์ 24 Vdc หมุนได้ 360 องศา 1 ตัวต่อแขน 1 ข้าง
- 1.3.2 ใช้แผ่น sensor electrode ติดทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ กล้ามเนื้อไบเซป 2 จุด คือตรงกึ่งกลางและตรงปลายของกล้ามเนื้อ และที่ใกล้ข้อศอกอีก 1 จุด เพื่อเป็นกราวด์

1.3.3 แขนสามารถขยับขึ้นและลงได้เป็นจำนวน 143 องศา โดยมีการกำหนดความปลอดภัยไว้ที่ชุดต้นแบบ

1.3.4 ชุดต้นแบบสามารถช่วยหุ่นแรงได้ 3-4 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์

1.3.5 สามารถนำไปปรับขนาด เพื่อใช้ตามความเหมาะสมของทุกช่วงวัยในอนาคต แต่ชุดต้นแบบชุดนี้จัดทำขึ้นโดยใช้ขนาดของผู้วิจัยเป็นหลัก

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับของโครงการ

1.4.1 สามารถวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และนำค่าไปใช้ควบคุมมอเตอร์ได้

1.4.2 มีอุปกรณ์ที่ช่วยหุ่นแรงในการยกสิ่งของ

1.4.3 มีชุดต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram (EMG))

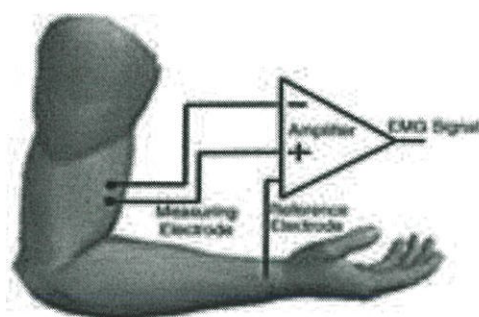
เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า สมอง เส้นประสาท และกล้ามเนื้อเป็นเนื้อเยื่อที่ไวต่อสิ่งเร้า สามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าและส่งผ่านสัญญาณเมื่อถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าดังกล่าวไปตามเส้นประสาทใยกล้ามเนื้อ การตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ หรืออีเอ็มจี เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากเส้นประสาทและกล้ามเนื้อโดยตรง เพื่อใช้ในการวินิจฉัยและพยากรณ์สภาพที่เกิดขึ้นในเส้นประสาทหรือกล้ามเนื้อ ซึ่งคล้ายกับการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และคลื่นไฟฟ้าสมอง แตกต่างเฉพาะขนาดของความถี่ และศักย์ไฟฟ้า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดศักย์ไฟฟ้าและความถี่ที่ตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้า สมอง หัวใจ และกล้ามเนื้อ (ดัดแปลงจาก Goodgold and Eberstein A, 1972)

ชนิดสัญญาณไฟฟ้า	ศักย์ไฟฟ้า(mV)	ความถี่(Hz)
กล้ามเนื้อ (EMG)	0.003-5.0	2-10,000
สมอง (EEG)	0.001-0.10	0.02-100
หัวใจ (ECG)	0.02-3.0	0.1-30

#### 2.2 วิธีการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

วิธีการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย (Electromyography: EMG) ส่วนมากนิยมแบบไม่รุกรานเข้าไปในร่างกาย เป็นวิธีการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าที่เป็น Compound Muscle Action Potential ของใยกล้ามเนื้อลายทั้งหมดในแต่ละ Motor Unit หลายๆ หน่วยในกล้ามเนื้อมัดเดียวกัน และยังประสาทกับกล้ามเนื้อมัดอื่นอีกด้วย การทำงานของกล้ามเนื้อลาย จึงเป็นแบบ Graded Response มี Summation of Contraction และมี Body Mechanics ทำให้กล้ามเนื้อลายทำงานได้อย่างเชิงกล แต่ถ้ากล้ามเนื้อนั้นทำงานหนักติดต่อกันเป็นเวลานานๆ อาจทำให้เกิดอาการล้า (Muscle Fatigue)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย

จากรูปที่ 1 เป็นการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายโดยใช้อิเล็กโทรดชนิด Surface Electrode วางบนมัดกล้ามเนื้อไบเซพ (Bicep) 2 อัน และอีก 1 อันจะวางที่ตำแหน่งข้อมือเพื่อเป็นจุดอ้างอิง เนื่องจากบริเวณนี้มีกล้ามเนื้อน้อยและไม่มีการสร้างสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายเกิดสัญญาณคลื่น EMG ได้เฉพาะขณะที่กล้ามเนื้อลายมีการหดตัว (Muscular Contraction) ในขณะที่พักจะไม่มีคลื่นสัญญาณไฟฟ้า EMG เกิดขึ้น นอกจากการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายสามารถใช้ในการวินิจฉัยโรคโดยดูรูปลักษณะคลื่นสัญญาณไฟฟ้า (Electrodiagnosis) มีโรคกล้ามเนื้อ (Myopathy) เส้นประสาท (Neuropathy) หรือเซลล์ประสาท (Neuronopathy) เกิดขึ้น ดังนั้นการตรวจ EMG ในทางคลินิกมีประโยชน์ในการช่วยวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวกับกล้ามเนื้อ ระบบประสาท และการสั่งการของระบบสมอง ซึ่งในขบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย (Muscle Contraction Process) ที่เกี่ยวกับขบวนการออกแรงกระทำต่อวัตถุ มีอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

- 1) แบบ Isotonic Process เช่น การยกน้ำหนัก
- 2) Isometric Process เช่น ออกแรงดึงเชือก
- 3) Auxotonic Process เช่น การแรงดันกำแพง เป็นต้น

### 2.3 เครื่องมือการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย (EMG Instrumentation)

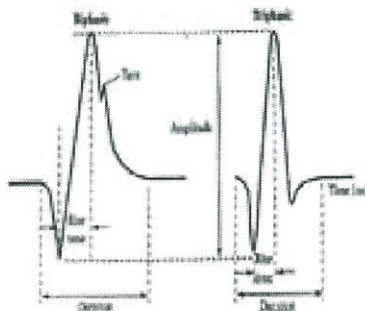
เครื่องมือการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย (EMG Instrumentation) ใช้ Surface Electrode ตรวจจับสัญญาณ EMG เป็นวิธีการที่ไม่รุกรานเข้าไปในร่างกาย (Non-Invasive Method) และถ้า Concentric Needle Electrode ตรวจจับสัญญาณ EMG เป็นวิธีการรุกรานเข้าไปในร่างกาย (Invasive Method) พื้นฐานเครื่องตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย (Principle of EMG Instrument) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

- 1) ระบบตรวจจับสัญญาณ ใช้อิเล็กทรอนิกส์ (Electrode Detector System)
- 2) ระบบขยายสัญญาณทางชีววิทยา (Biomedical Amplifier System)
- 3) ระบบบันทึกและแสดงผล (Display and Recorder System)

ซึ่งระบบต่าง ๆ นั้นมีใช้ในเครื่อง EMG ปัจจุบัน และระบบเครื่องปล่อยไฟฟ้ากระตุ้น (Electric Simulator System) เพิ่มในชุดเครื่อง เพื่อใช้ในการกระตุ้นหาค่าความเร็วการนำพลังประสาทของเส้นประสาทสู่กล้ามเนื้อ (Nerve-Muscle Conduction Velocity: NMCV) และค่าความไวต่อการตอบสนองของกล้ามเนื้อ (Strength-Duration Curve) ในส่วนการตรวจวัดการเปลี่ยนของศักย์ไฟฟ้าระหว่างผนังเซลล์ขณะพัก (Resting Membrane Potential) ของเซลล์กล้ามเนื้อทำได้ ซึ่งมีค่าอยู่ในระหว่าง  $-70$  mV จนถึง  $-90$  mV โดยการใช้ Microelectrode แทรกเข้าไปในเซลล์ของกล้ามเนื้อนั้น เป็นเทคนิคการตรวจวัดและบันทึกศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ (Intracellular Recording) ซึ่งปลายของ Microelectrode เล็กเพียง 1 ไมครอนเล็กกว่าเซลล์ ค่าของศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์วัดได้จากการเทียบค่าของ Microelectrode กับ Electrode ที่วางอยู่ภายนอกเซลล์ (Reference Electrode) ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ค่านั้นก็คือ ค่าของศักย์ไฟฟ้าของผนังเซลล์ (Membrane Potential)

## 2.4 สัญญาณอีเอ็มจีปกติ

ในกล้ามเนื้อที่ปกติ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดจากผู้ถูกวัดออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อจะได้คลื่นไฟฟ้าที่มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะสัญญาณอีเอ็มจีของ motor unit potential MUP ปกติขณะกล้ามเนื้อหดตัว

โดยจากรูปที่ 2.2 นั้น สัญญาณอีเอ็มจีมีลักษณะเป็นคลื่นเฟสสองและสามมีขนาดความสูง 200 ไมโครโวลต์ – 5 มิลลิโวลต์ ความกว้างประมาณ 5 - 15 มิลลิวินาที ความถี่ 5-20 ครั้ง/วินาที (น้อยกว่า 60 ครั้ง/วินาที) (ดัดแปลงจาก Robinson AJ and Snyder-Mackler L, 2008)

## 2.5 การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

Root mean square (RMS) เป็นการหาค่ารากของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ได้ผลลัพธ์เป็นปริมาณสเกลาร์หนึ่งค่า โดยนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $X_n$  คือ ค่าสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อที่จุด  $n$

$N$  คือจำนวนจุดทั้งหมด

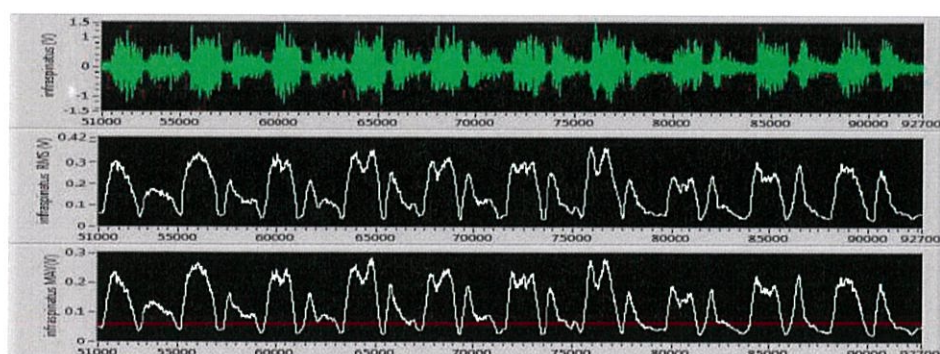
Mean absolute value (MAV) คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณกล่อมเนื้อ คุณสมบัตินี้เป็นปริมาณสเกลาร์ที่เป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อ ในบางงานวิจัยเรียกว่า Integral of value (IAV) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X_n| \quad (2.2)$$

เมื่อ  $X_n$  คือ ค่าสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อที่จุด  $n$

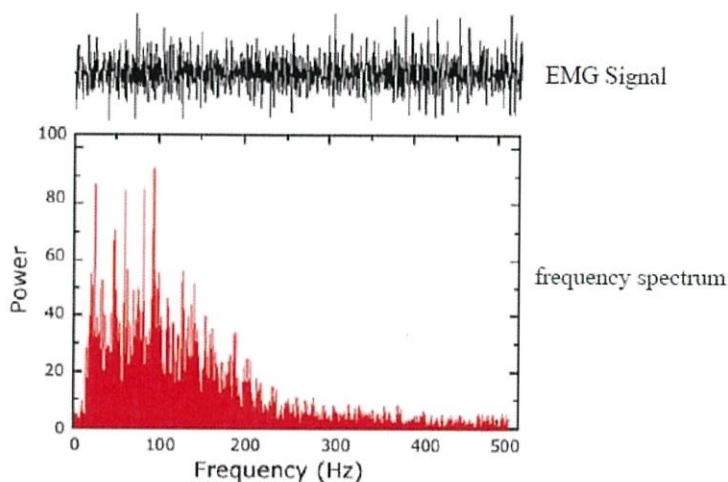
$N$  คือจำนวนจุดทั้งหมด

ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อ สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อหลังจากผ่านกระบวนการวิเคราะห์ RMS และ MAV ตามลำดับ

พิจารณาจากรูปที่ 2 จะเห็นว่าลักษณะสำคัญของ MUP ที่เกิดขึ้นขณะที่ออกแรงใช้กล้ามเนื้อ ลักษณะของ สัญญาณไฟฟ้ามีลักษณะเป็นคลื่นสองหรือสามเฟส (Biphase or Triphasic) มียอดลบนามาก่อน ความถี่ 5-20 Hz มีความสูงของคลื่นประมาณ 200 ไมโครโวลต์ – 5 มิลลิโวลต์ ซึ่ง ความกว้างประมาณ 5-15 มิลลิวินาที โดยที่ขนาดความสูงของคลื่นขึ้นกับขนาดความแรงของการหดตัวของ กล้ามเนื้อ โดยที่ถ้าออกแรงมากขนาดก็จะสูงมาก และจำนวนคลื่นEMG ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.4 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และ frequency spectrum

## 2.6 มอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็ก ในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของ สนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์จุดลาก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้า(ในขณะเบรก)

มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บี้ม เครื่องมือ เครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและบีบปั๊ม

จัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวนៃของเอาต์พุต และอื่น ๆ

อุปกรณ์เช่นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าและลำโพงที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนไหวน แต่ไม่ได้สร้างพลังงานกลที่ใช้งานได้ จะเรียกดูกว่า actuator และ transducer ตามลำดับ คำว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้น ต้องใช้สร้างแรงเชิงเส้น(linear force) หรือ แรงบิด(torque) หรือเรียกอีกอย่างว่า หมุน(rotary) เท่านั้น

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิด ดังนี้

### 2.6.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

- 1.) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส
  - สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split-Phase motor)
  - คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)
  - รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
  - ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)
  - เซ็ดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole motor)
- 2.) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 2 เฟส
- 3.) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส

### 2.6.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- 1.) มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรี่ส์มอเตอร์ (Series Motor)
- 2.) มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)
- 3.) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

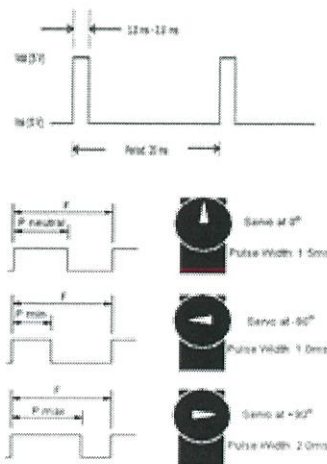
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนสำคัญอย่างหนึ่งในโรงงาน

อุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือ ใช้เป็นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟไฟฟ้า เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

## 2.7 หลักการทำงานพื้นฐานของ Servo Motor

Servo Motor คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่ถูกประกอบรวมกับ ชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC, GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวา ได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ พัลส์วิดมอด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือ จะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา, ให้แรงบิดสูง, กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ (Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีการควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งสามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือทิศทางองศาที่ต้องการได้

Servo Motor สามารถหมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่ Servo Motor นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ  $180^\circ$  หรือครึ่งรอบเท่านั้น หรือบางรุ่นอาจหมุนได้ถึง  $210^\circ$  แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น Servo Motor จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา หรือครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ ( $360^\circ$ ) นั้นก็สามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์ หลักการควบคุมการทำงานของ Servo Motor ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆโดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของ Servo Motor

จากรูปที่ 2.3 สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้ Servo Motor หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์ สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้ Servo Motor หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 90 องศา หรือ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้ Servo Motor หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม +90 องศา หรือ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

## 2.8 เฟือง (Gear)



รูปที่ 2.6 เฟือง

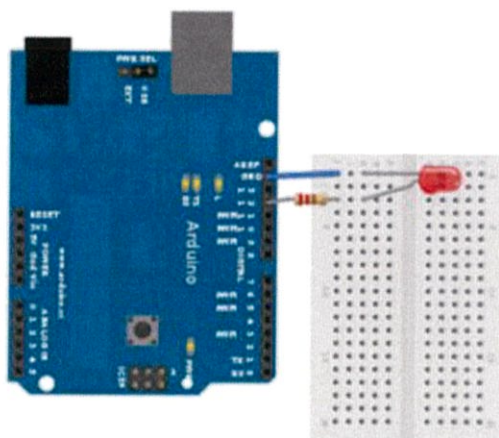
**เฟือง** (อังกฤษ: gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องกลที่มีรูปร่างเป็นจานแบนรูปร่างกลม ตรงขอบมีลักษณะเป็นแฉก (เรียกว่าฟันเฟือง) ซึ่งสามารถนำไปประกบกับเฟืองอีกตัวหนึ่ง ทำให้เมื่อเฟืองตัวแรกหมุน เฟืองตัวที่สองจะหมุนในทิศทางตรงกันข้าม เกิดเป็นระบบส่งกำลังขึ้น โดยความเร็วรอบของเฟืองที่สองจะขึ้นกับอัตราส่วนจำนวนฟันเฟืองของตัวแรกเทียบกับตัวที่สอง ซึ่งอัตราส่วนนี้สามารถปรับให้เกิดเป็นความได้เปรียบเชิงกลได้ จึงถือเป็นเครื่องกลอย่างง่ายชนิดหนึ่ง มีหลายชนิดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม เช่น เฟืองตรง เฟืองหนอน เฟืองดอกจอก แต่ที่นิยมใช้และพบเห็นกันทั่วไปคือเฟืองตรง

ด้วยคุณลักษณะนี้ เฟือง สามารถนำมาใช้ส่งผ่านแรงหมุน ปรับความเร็ว, แรงหมุน และทิศทางการหมุนในเครื่องจักรได้ โดยระบบเฟืองหรือระบบส่งกำลังนี้ มีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบสายพานแต่จะดีกว่าตรงที่ระบบเฟืองจะไม่สูญเสียพลังงานไปกับการยืดหดและการสั่นไถลของสายพาน

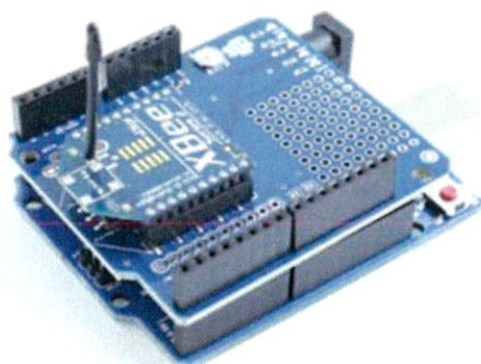
## 2.9 Arduino

**Arduino** เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด **Arduino** ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

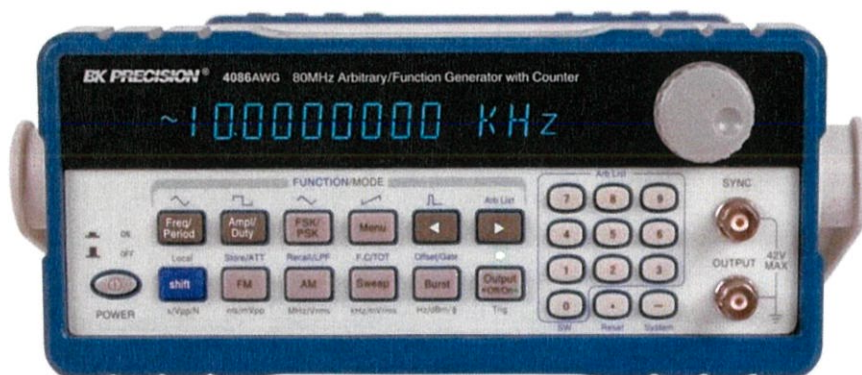


รูปที่ 2.7 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED



รูปที่ 2.8 บอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee shield

## 2.10 Function Generator



รูปที่ 2.9 Function Generator

ฟังก์ชัน เจนเนอเรเตอร์ หรือ เครื่องกำเนิดสัญญาณหลายแบบเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทำงานได้หลายหน้าที่

### 2.10.1 โครงสร้าง ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

จะมีวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สามารถสร้างรูปคลื่นที่แน่นอน แต่ละเครื่องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

- 1.) วงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่กำหนดคาบเวลา (Time period) ให้กับคลื่นหรือเรียกว่า มัลติไวเบรเตอร์ หรือตัวกำเนิดความถี่อิสระแบบต่อเนื่อง เป็นตัวกำเนิดรูปคลื่นแบบต่าง ๆ นั้นเอง
- 2.) ตัวสร้างหรือจัดรูปแบบของคลื่น (Wave shaper)
- 3.) ส่วนโมดูเลเตอร์ ใช้สำหรับสร้างสัญญาณ AM หรือ FM เอาท์พุทบัฟเฟอร์ของภาคขยาย (Output buffer amplifier)

### 2.10.2 การนำไปใช้งาน

สามารถใช้เป็นเครื่องกำเนิดความถี่ที่สามารถสร้างรูปคลื่นเอาท์พุทได้หลายรูปคลื่น สัญญาณที่กำเนิดขึ้นมานี้ต้องสามารถควบคุมได้ ทั้งการปรับแต่งรูปคลื่น ปรับแต่งความแรง และปรับแต่งความถี่ได้ เพื่อใช้เป็นสัญญาณส่งออกไปยังอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ เพื่อการตรวจสอบ ตรวจสอบ ปรับแต่ง หรือวัดเปรียบเทียบค่า โดยถือว่า สัญญาณที่กำเนิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นสัญญาณมาตรฐานหรือสัญญาณอ้างอิง ในการนำไปใช้งานเครื่อง

กำเนิดสัญญาณไม่ว่า จะเป็นชนิดใดก็ตามควรต้องมีคุณสมบัติในการทำงานและการใช้งานที่เหมือนกัน ดังนี้

- 1.) ความถี่ที่ถูกผลิตขึ้นมาต้องมีความคงที่ และสามารถอ่านค่าออกมาได้
- 2.) สัญญาณที่กำเนิดขึ้นมาต้องไม่ผิดเพี้ยน และไม่มีสัญญาณรบกวน
- 3.) สามารถควบคุมความแรงของสัญญาณที่ผลิตขึ้นมาได้ ตั้งแต่ความแรงค่าต่ำๆ

จนถึงความแรงค่าสูง ๆ

### 2.10.3 การเลือกรูปสัญญาณ

สามารถผลิตรูปคลื่นสัญญาณเอ้าท์พุทได้หลายชนิดเช่น รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular wave) รูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw tooth Wave) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) และรูปคลื่นพัลส์ (Pulse Wave) เป็นต้น

### 2.10.4 การปรับความถี่

มีย่านความถี่ใช้งานเริ่มตั้งแต่เศษส่วนของเฮริทซ์ (Hz) ไปจนถึงหลายร้อยกิโลเฮริทซ์ (KHz) ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์โดยทั่วไป มีเอ้าท์พุทในย่าน 10 เท่า จากค่าต่ำสุด 0.2 Hz ถึงค่าสูงสุด 2 MHz

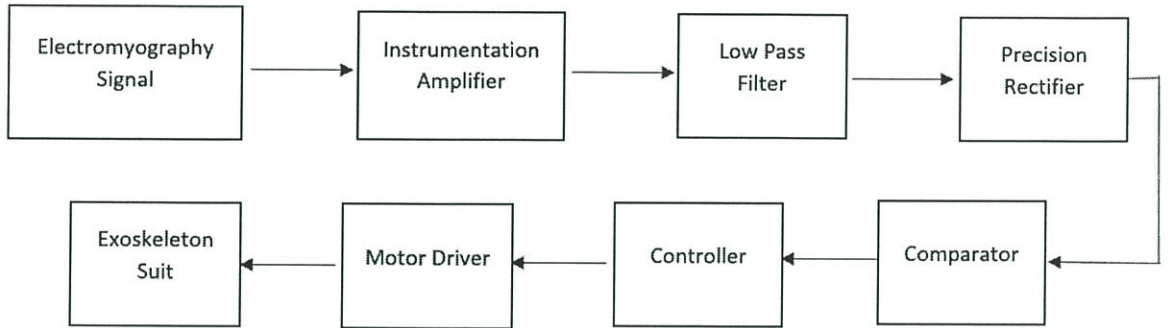
### 2.10.5 การปรับแต่งความแรงของสัญญาณ

ขนาดของสัญญาณด้านเอ้าท์พุทโดยทั่วไปมีค่าพีคทูพีค (Peak to peak) เป็น 0–20 V และ 0–2 V การควบคุมขนาด สัญญาณ มักทำที่ 0–20 V โดยใช้ปุ่มการลดทอน (Attenuation) 20 dB เปลี่ยนเอ้าท์พุทเป็น 0 – 20 V การเลือกความถี่ที่มีความถูกต้องประมาณ  $\pm 20\%$  ของค่าเต็มสเกลที่ย่านใดๆ

## บทที่ 3

# การออกแบบอุปกรณ์

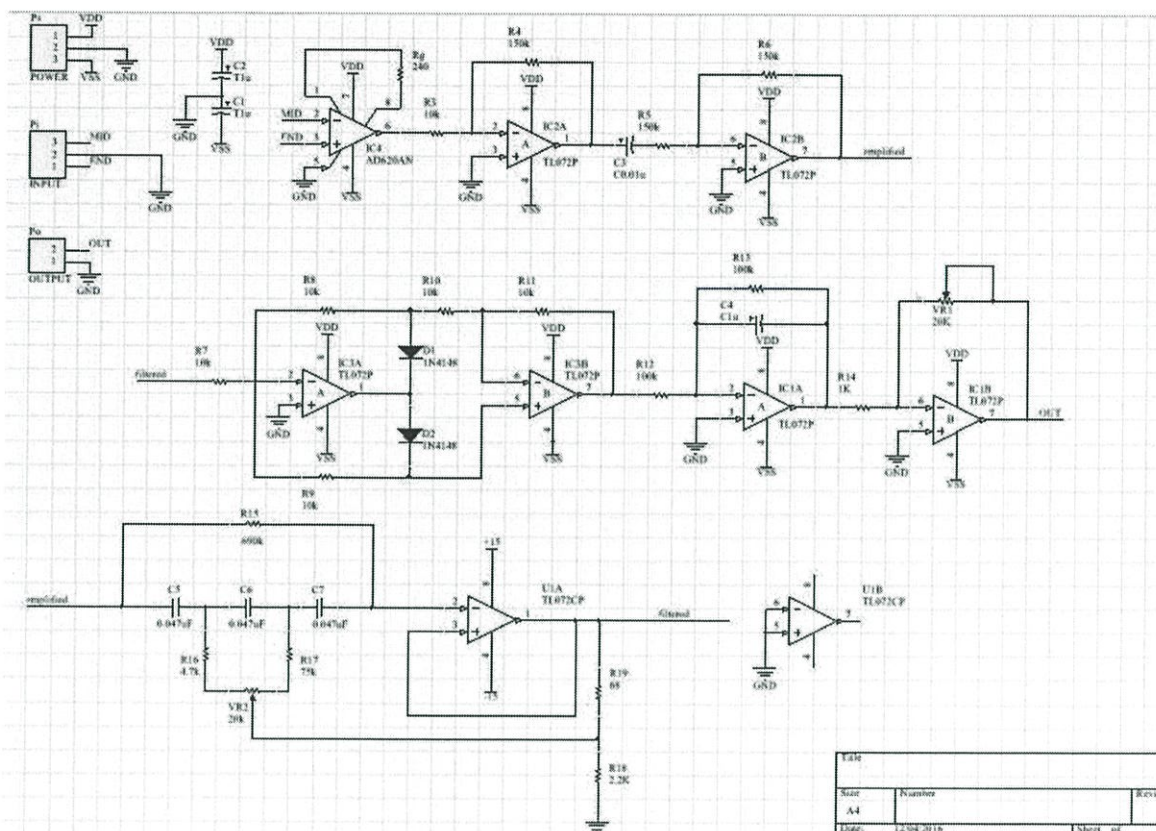
### 3.1 การออกแบบโครงงานโดยภาพรวม



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานโดยภาพรวม

### 3.2 การออกแบบและสร้างภาคขยายและปรับปรุงสัญญาณ

ภาคขยายและปรับปรุงสัญญาณจะรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลายจากภาคอินพุตแล้วนำมาขยายโดยใช้ EMG sensor สัญญาณที่ได้จากวงจร EMG sensor จะถูกส่งไปยังภาคปรับปรุงสัญญาณ ซึ่งสามารถออกแบบวงจร EMG sensor ได้ดังรูปที่ 3.1

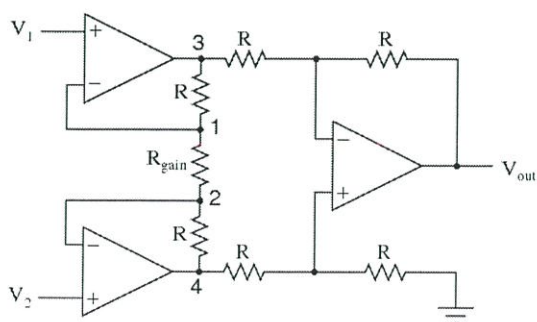


รูปที่ 3.2 วงจร EMG sensor

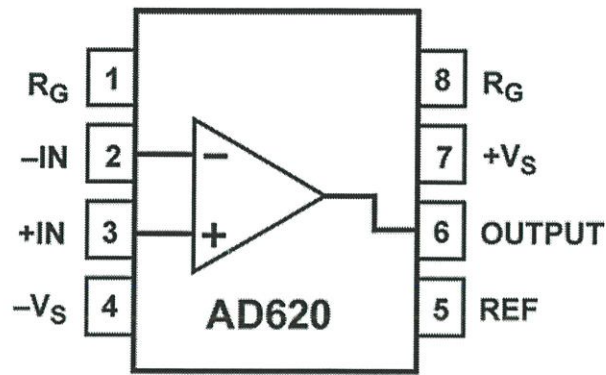
โดยวงจร EMG sensor ประกอบไปด้วย Instrumentation Amplifier, Amplifier, High pass filter, Precision full-wave rectifier และ Low pass filter

### 3.2.1 Instrumentation Amplifier

วงจร Instrumentation Amplifier เป็นวงจรที่ออกแบบ เพื่อต้องการขยายขนาดของแรงดันไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อหลายที่ได้จากอิเล็กโทรดให้มีขนาดของสัญญาณสูงขึ้น โดยจะเลือกใช้เบอร์ AD620 ดังรูปที่ 3.2 และเลือกอัตราขยายที่ 200 เท่า



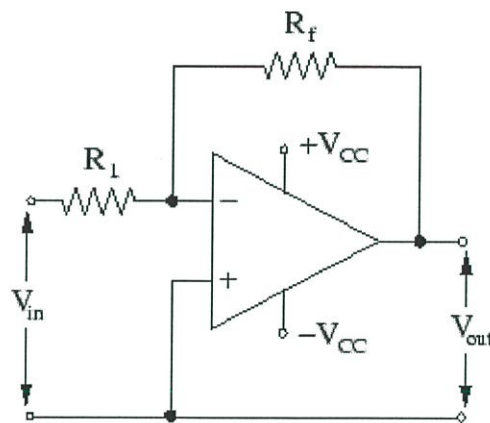
รูปที่ 3.3 วงจร Instrumentation Amplifier



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของ AD620

### 3.2.3 Amplifier

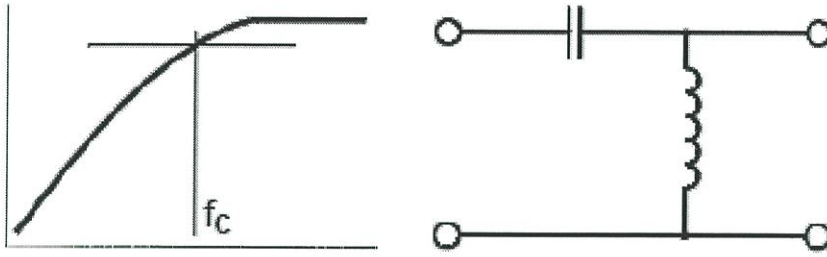
วงจรขยายสัญญาณ หรือเรียกสั้นๆว่า Amp เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดหรือกำลังของสัญญาณโดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุตแต่มีขนาดใหญ่กว่าโดยมีอุปกรณ์ ดังรูป



รูป 3.5 วงจร Amplifier

### 3.2.3 High pass filter

high pass filter (ความถี่สูงกว่าผ่านได้) บางครั้งอาจจะเรียกว่าวงจร Low-cut filter สำหรับ ความถี่วิทยุ และ bass-cut filter สำหรับวงจรขยายเสียง

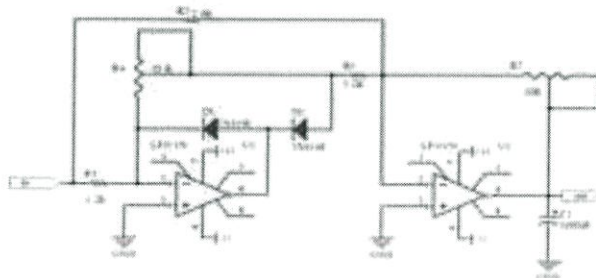


รูปที่ 3.6 วงจร High pass filter

วงจรมีจะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่ากำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าจะโดนจับลงกราวด์ จากรูปจะเห็นว่า C ต่ออนุกรมกับวงจร ส่วน L ต่อขนานกับวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำกว่าเข้ามา C จะมีค่า  $XC$  สูง ทำให้สัญญาณผ่านไปได้ก็น้อย ส่วน L จะมีค่า  $XL$  น้อย ทำให้สัญญาณที่ผ่านมาจาก C ลงกราวด์ได้หมด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น C จะมีค่า  $XC$  ลดลง สัญญาณจะผ่านได้มากขึ้น ส่วน L จะมีค่า  $XL$  มากขึ้น สัญญาณก็จะลงกราวด์น้อยลง สัญญาณที่ออกไปยัง Output ก็มากขึ้น จนถึงระดับความแรงของสัญญาณประมาณ 70.7% ของความแรงสูงสุด ระดับนี้เองที่เราเรียกว่า ช่วงความถี่ Cut off เมื่อความถี่สูงกว่า ความถี่ นี้ C จะยอมให้สัญญาณผ่านได้สะดวกและค่า  $XL$  จะต้านสัญญาณไม่ให้ลงกราวด์ ความถี่จึงผ่านไปที่จุด Output ได้ทั้งหมด

### 3.2.4 Precision full-wave rectifier

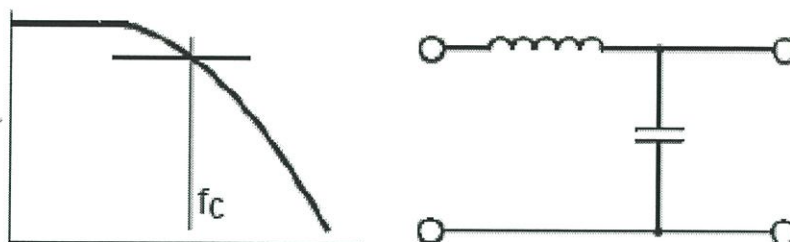
วงจรเรียงกระแสที่เที่ยงตรงเต็มลูกคลื่นออกแบบเพื่อเรียงกระแสของสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรกรองความถี่ซึ่งเป็นกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในภาคควบคุมมอเตอร์ โดยใช้ Diode ที่เป็นแบบ High Conductance และใช้ออปแอมป์เบอร์ LM351N ต่อเพิ่มเข้าไปเพื่อให้เกิดความเที่ยงตรง แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.7 วงจรเรียงกระแสที่เที่ยงตรงเต็มลูกคลื่น

### 3.2.5 Low pass filter

บางครั้งอาจจะเรียกว่าวงจร high-cut filter สำหรับ ความถี่วิทยุ และ treble cut filter สำหรับวงจรขยายเสียง

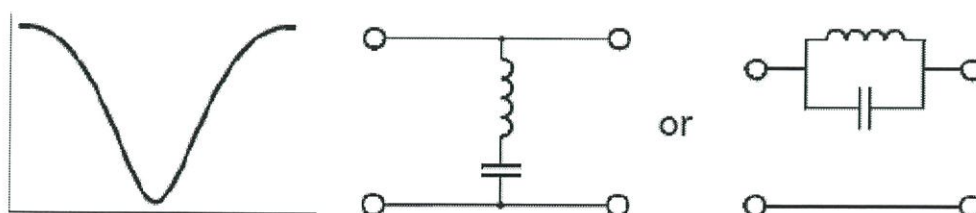


รูปที่ 3.8 วงจร Low pass filter

วงจร low pass filter มีลักษณะการต่อคือ ใช้ L อนุกรมกับวงจร และ C ขนานกับวงจร คุณสมบัติของวงจรก็คือ เมื่อเราป้อนความถี่ ต่ำเข้าวงจร L จะมีค่า  $X_L$  ต่ำ C จะมีค่า  $X_C$  สูง ทำให้ความถี่ ต่ำผ่าน L ได้สะดวก ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า  $X_L$  จะมากขึ้น ค่า  $X_C$  จะลดลง ทำให้ความถี่ผ่าน ขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไป ได้ก็จะถูก C ดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้น้อยมาก

### 3.2.6 Notch Filter

band stop (หรือ notch) filter (ช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านไม่ได้)

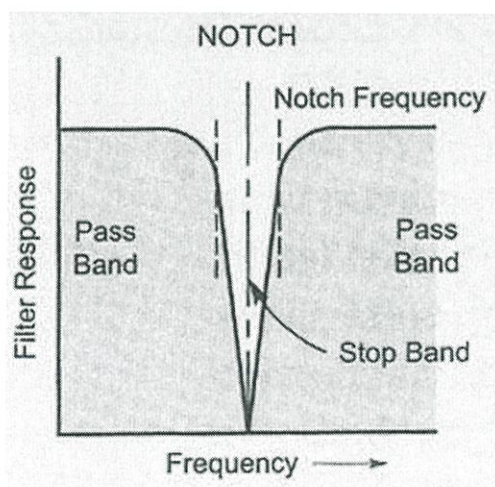


รูปที่ 3.9 กราฟและรูปแบบการต่อวงจร Notch Filter

วงจรกรองความถี่แบบ band stop filter จะยอมให้ความถี่อื่น ๆ ผ่านไปได้สะดวก แต่สำหรับความถี่ Resonance (ความถี่ที่จะกำจัด) จะโดนดึงลงกราวด์

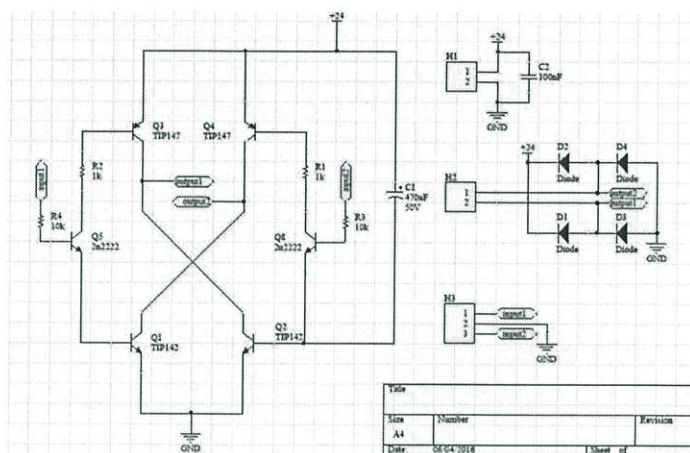
ในรูปวงจรด้านซ้าย เราจะใช้วงจร วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรมต่อลงกราวด์ คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานต่ำที่ความถี่เรโซแนนท์ ทำให้สัญญาณผ่านลงกราวด์ได้ง่ายจึงไม่มีสัญญาณออกทาง Output แต่สำหรับความถี่อื่น ๆ ทั้งสูงกว่าและต่ำกว่าวงจรจะมีความต้านทานสูง สัญญาณจะไม่ถูกดึงลงกราวด์ สามารถผ่านวงจรนี้ไปได้อย่างสบาย

ในรูปวงจรด้านขวา เราจะใช้ วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน แต่มาต่ออนุกรมกับวงจร คุณสมบัติของวงจรนี้คือ ความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนท์ สัญญาณจึงไม่สามารถผ่านไป ได้ แต่พอความถี่อื่น ๆ จะมีความต้านทานต่ำ สัญญาณสามารถผ่านไปได้



รูปที่ 3.10 ความถี่ต่อการกรองของวงจร Notch Filter

### 3.2.7 H-Bridge

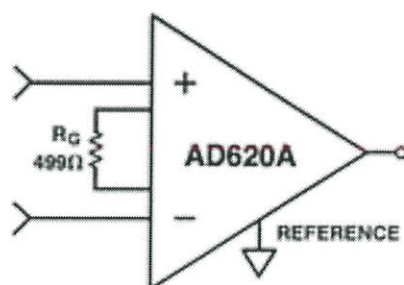


รูปที่ 3.11 วงจร H-bridge

หากต้องการให้ Motor หมุนตามเข็มนาฬิกาสามารถทำได้โดยให้ A เป็น 1 และ B เป็น 0 และหากต้องการให้หมุนกลับทิศทางก็ใช้ B เป็น 1 และ A เป็น 0 ส่วนที่ A และ B เป็น 1 หรือเป็น 0 ทั้งคู่จะไม่มีมอเตอร์เกิดขึ้น Transistor ทั้ง 4 ตัวจะทำหน้าที่เป็น Switch เปิดปิดสลับ ไปมา ในการควบคุมความเร็วของ DC นิยมใช้การจ่ายสัญญาณ เป็น PWM โดยหากต้องการให้หมุนเร็วก็จะจ่ายที่ Pulse ที่ความถี่สูง และหากต้องการให้หมุนช้าก็จะจ่าย Pulse ความถี่ ต่ำ อย่างไรก็ตามการควบคุมความเร็วให้คงที่ทำได้ค่อนข้างยากนอกเว้นแต่จะใช้ระบบ ควบคุมที่มีการป้อนกลับเข้ามาช่วย (Feedback control)

## 3.3 การคำนวณ

### 3.3.1 การหาค่าอัตราขยายของ AD620



รูปที่ 3.12 AD620

$$G = \frac{49.4k}{R_G} + 1 \quad (3.1)$$

$$= \frac{49.4k}{1k} + 1$$

$$G \approx 50 \text{ m}$$

โดยมีตารางเปรียบเทียบระหว่างค่าของตัวต้านทานและอัตราขยายดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าเปรียบเทียบระหว่างค่าของตัวต้านทานและอัตราขยาย

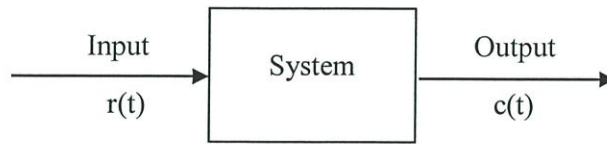
1% Std Table Value of $R_G$ ( $\Omega$ )	Calculated Gain	1% Std Table Value of $R_G$ ( $\Omega$ )	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1003.0

### 3.3.2 การคำนวณหาค่าความถี่ของวงจร low pass filter

$$H(g) = \frac{V_2}{V_i} \quad (3.2)$$

$$= \frac{-10}{s+10}$$

จากนิยามของฟังก์ชันการถ่ายโอน



รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันการถ่ายโอน

$$H(s) = \frac{K\omega_{CH}}{S+\omega_{CH}} \quad (3.3)$$

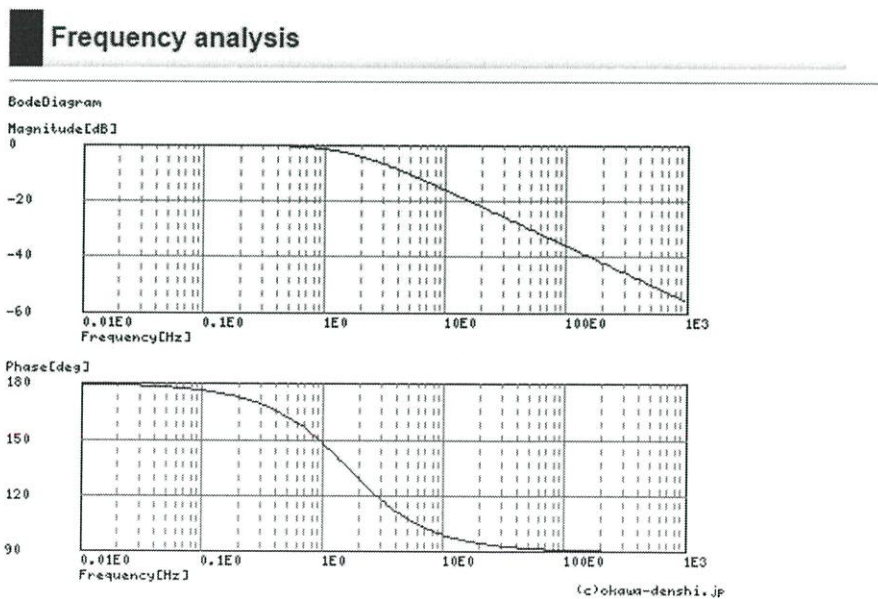
$$= \frac{-10}{S+10}$$

$$\therefore K = -1$$

$$\omega_{CH} = 10 \text{ Hz}$$

K คือ ค่าอัตราขยาย

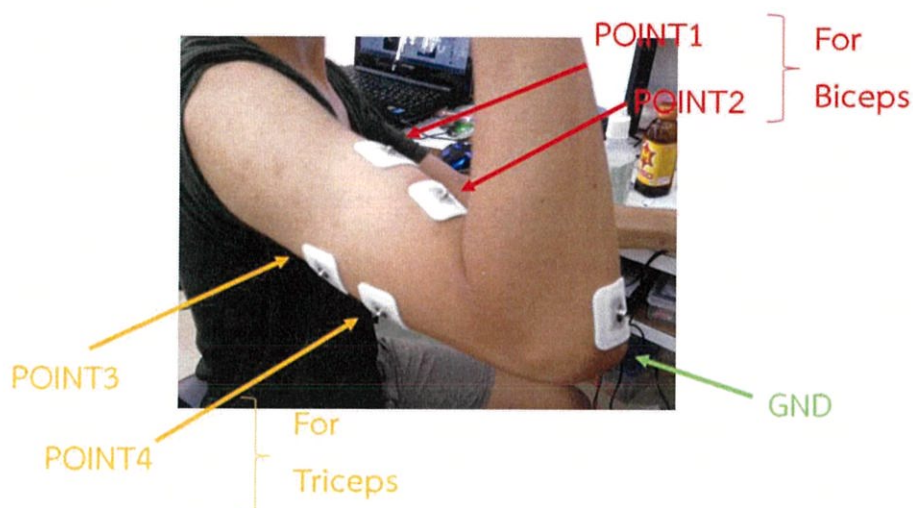
$\omega_{CH}$  คือ ค่าความถี่สูงคัทออฟ



รูปที่ 3.14 ฟังก์ชันของการเกิด  $\omega_{CH}$

### 3.4 การออกแบบการทดลองวงจร EMG

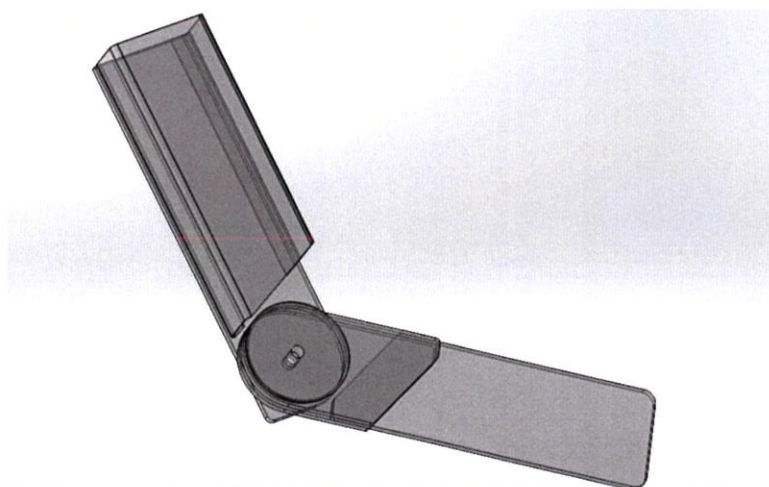
ผู้วิจัยทำการติดแผ่นวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อไว้ที่แขน เป็นจำนวน 5 จุด เพื่อทำการทดลองวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้งานจริงจากวงจร EMG ดังนี้



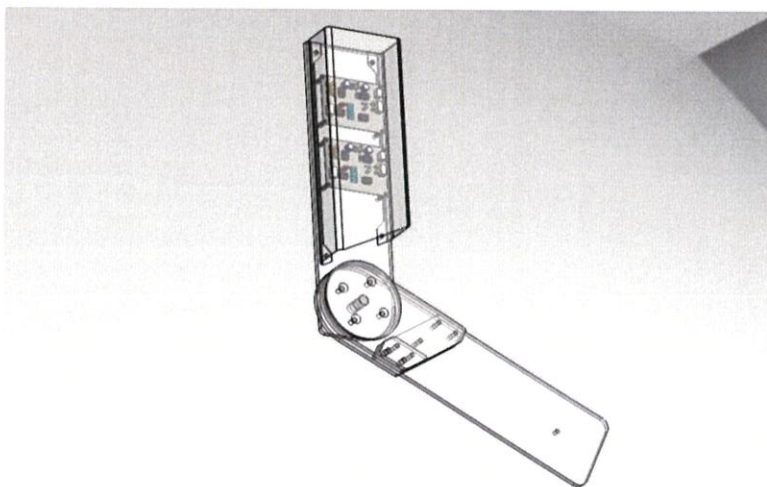
รูปที่ 3.15 การติดแผ่นวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

### 3.5 การออกแบบชุดต้นแบบ

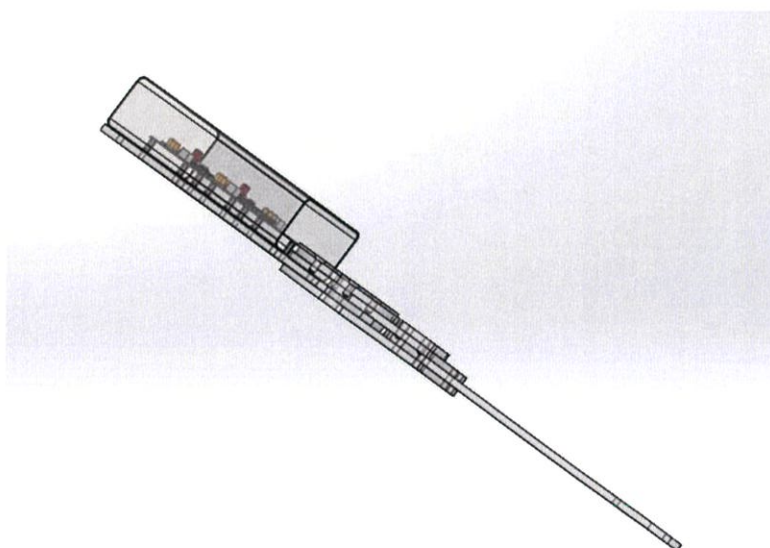
ผู้วิจัยจัดทำชุดต้นแบบด้วยการใช้แผ่นอะคริลิก เนื่องจากเป็นวัสดุที่สะดวกต่อการตัด ดัดงอ โดยใช้ความร้อน และง่ายต่อการปรับแต่ง โดยมีความแข็งแรงทนทานในการใช้งาน



รูปที่ 3.16 ชุดต้นแบบส่วนแขนประกอบด้วยแผ่นอะคริลิก



รูปที่ 3.17 ชุดต้นแบบส่วนแขนพร้อมวงจร EMG



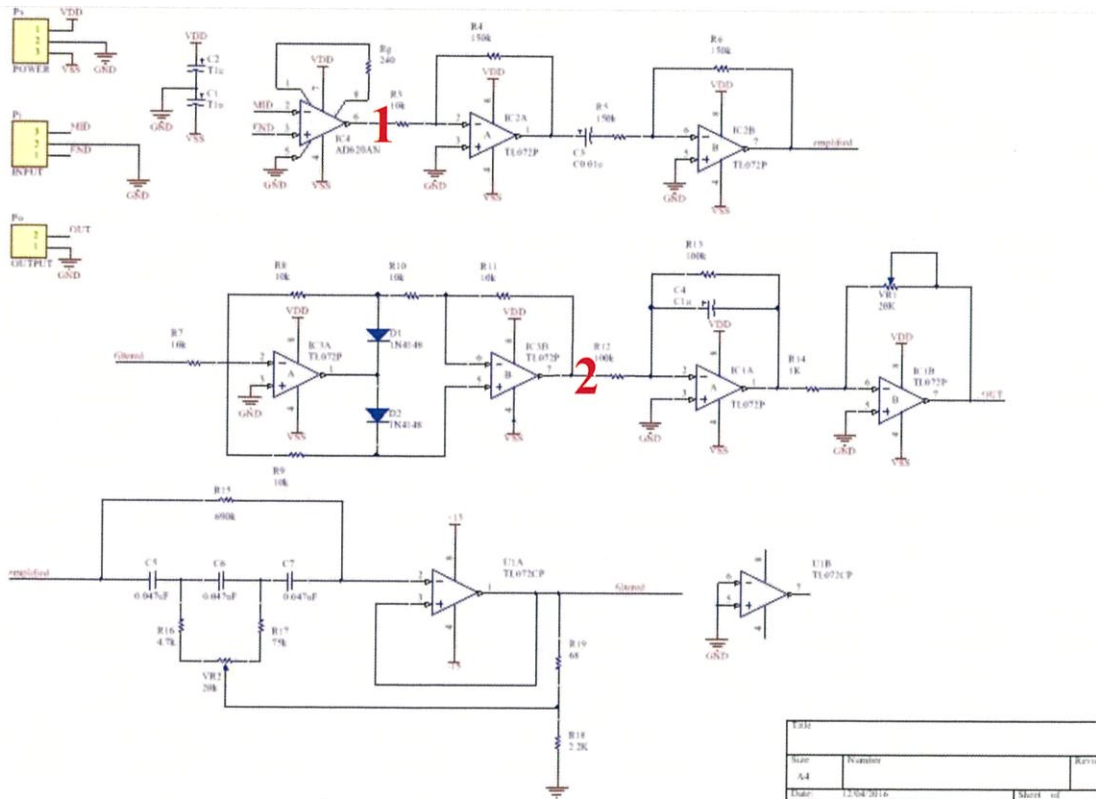
รูปที่ 3.18 ชุดต้นแบบส่วนแขนในแนวราบ

# บทที่ 4

## ผลการทดสอบ

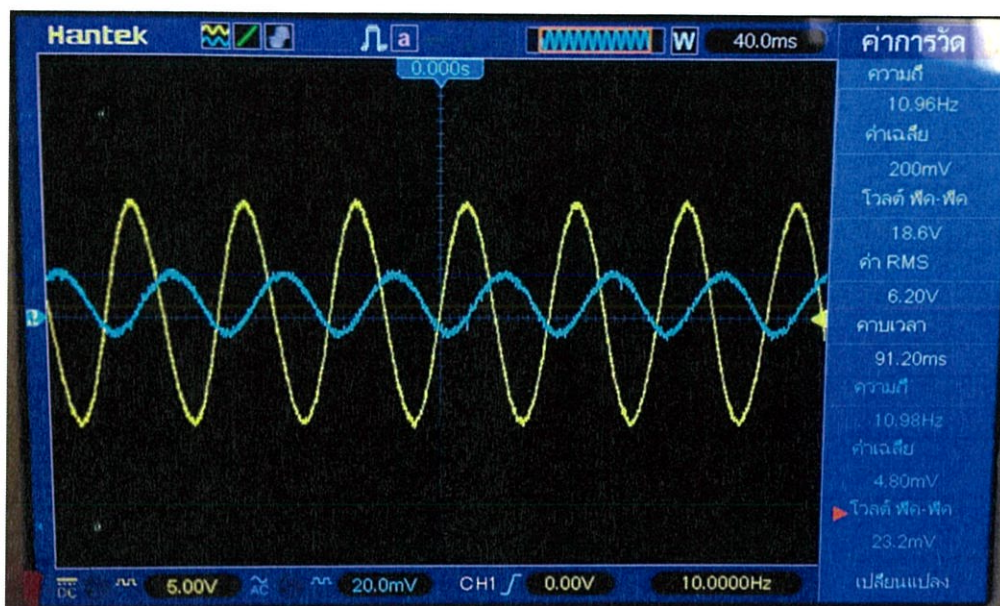
### 4.1 การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 ทดลองวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านวงจร 2 จุดโดยใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

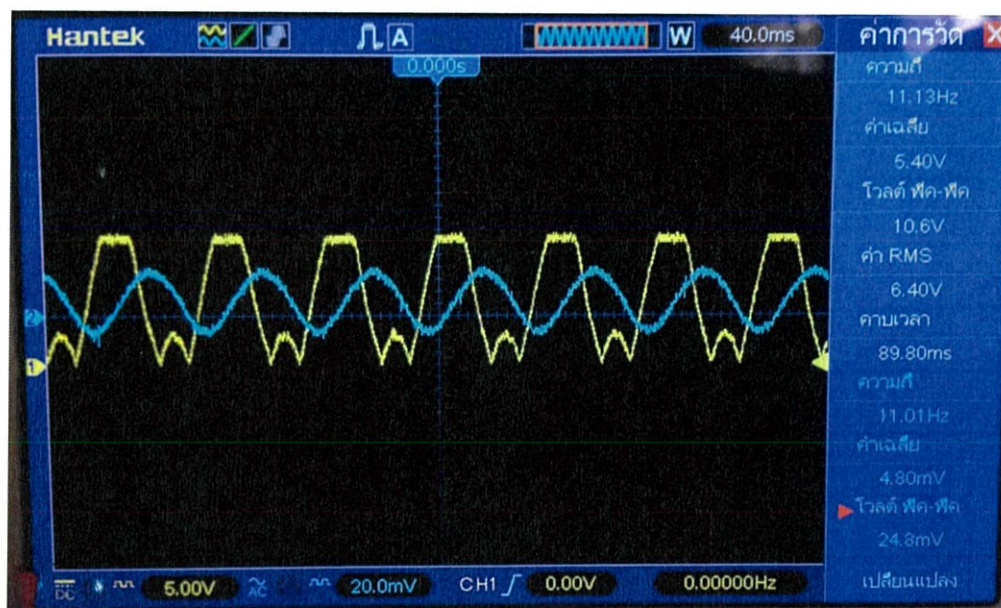


รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของการวัดค่าสัญญาณขาออก

โดยในจุดที่ 1 คือการวัดค่าสัญญาณขาออก หลังจากสัญญาณผ่านวงจร Instrumentation Amplifier และ จุดที่ 2 คือการวัดค่าสัญญาณขาออก หลังจากสัญญาณผ่านวงจร Instrumentation Amplifier, Low pass filter และ Precision rectifier ตามลำดับ โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ เส้นสีฟ้าแสดงสัญญาณขาเข้า และเส้นสีเหลืองแสดงสัญญาณขาออก



รูปที่ 4.2 สัญญาณไฟฟ้าขาออกหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.3 สัญญาณไฟฟ้าขาออกหลังจากผ่านวงจรเรียงกระแส

## 4.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ทดลอง ทดสอบวงจรขยายสัญญาณ โดยการติดแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ไม้ที่กลางมัด กล้ามเนื้อต้นแขน 1 จุด ปลายกล้ามเนื้อ 1 จุดเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และที่ข้อศอก 1 จุดเพื่อ เป็นจุดอ้างอิง โดยเส้นสีฟ้า คือสัญญาณไฟฟ้ามัดกล้ามเนื้อที่วัดค่าแล้วผ่านวงจรขยายเพื่อให้สามารถวัด ค่าสัญญาณได้ และเส้นสีเหลือง คือสัญญาณไฟฟ้ามัดกล้ามเนื้อหลังจากผ่านวงจรขยาย วงจรกรอง ความถี่ และวงจรเรียงกระแส



รูปที่ 4.4 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อผ่านและยังไม่ผ่านวงจรกรองความถี่และวงจรเรียงกระแส

## 4.3 การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ทดลองการใช้งานจริงของวงจร โดยการขยับแขนในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิด ความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้ามัดกล้ามเนื้อ โดยเส้นสีฟ้า คือสัญญาณไฟฟ้ามัดกล้ามเนื้อที่วัดค่าแล้ว ผ่านวงจรขยายเพื่อให้สามารถวัดค่าสัญญาณได้ และเส้นสีเหลือง คือสัญญาณไฟฟ้ามัดกล้ามเนื้อหลังจาก ผ่านวงจรขยาย วงจรกรองความถี่ และวงจรเรียงกระแส



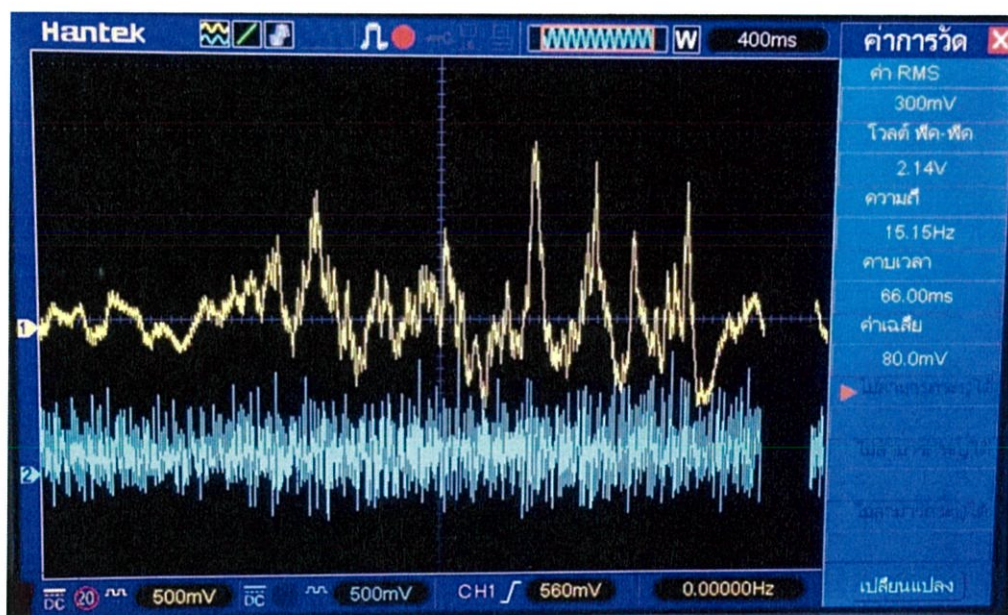
รูปที่ 4.5 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อเย็นขึ้นแล้วปล่อยแขนตามแนวดิ่ง



รูปที่ 4.6 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อวางแขนไว้บนโต๊ะ



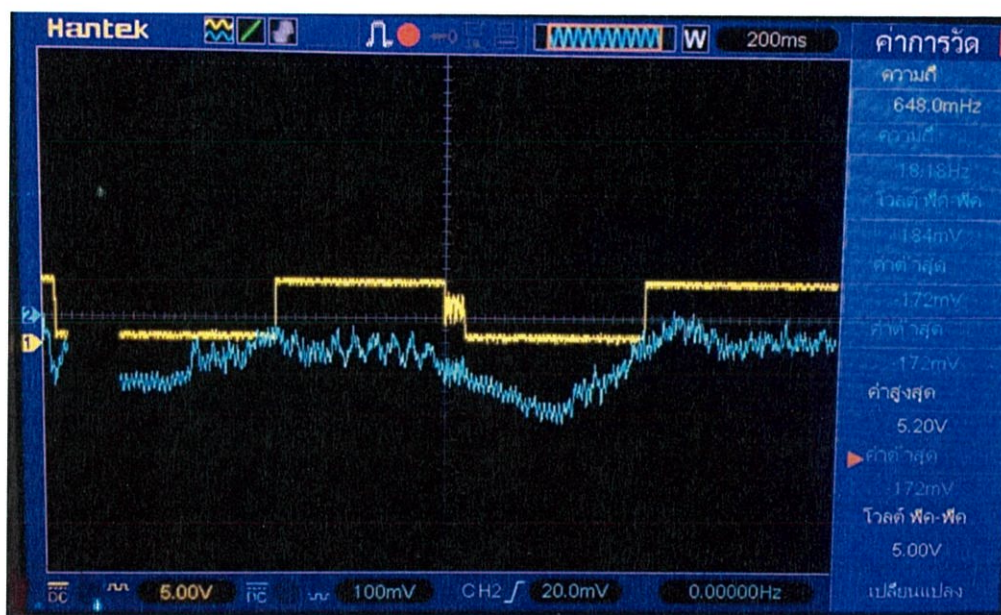
รูปที่ 4.7 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อขยับแขนขึ้นลง 3 ครั้งโดยไม่เกร็ง



รูปที่ 4.8 สัญญาณไฟฟ้าขาออกเมื่อเกร็งแขน

#### 4.4 การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4 ทดลองวัดค่าสัญญาณขาออกหลังจากผ่านวงจร comparator ที่ จะเปรียบเทียบค่าสัญญาณให้เป็นพัลส์ เพื่อนำค่าพัลส์ที่ได้ไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์ โดยใช้สโคปวัดที่สัญญาณขาเข้า 1 จุด และสัญญาณขาออกที่วงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณ 1 จุด โดยสีฟ้าคือค่าสัญญาณขาเข้า และสีเหลืองคือค่าสัญญาณขาออก



รูปที่ 4.9 สัญญาณไฟฟ้าขาออกของวงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณ

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการเรื่องโครงร่างยนต์เพิ่มเพิ่มขีดความสามารถร่างกายมนุษย์นี้ มีจุดประสงค์เพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ควบคุมมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ในการช่วยฟื้นฟูแรงในการยกสิ่งของ อีกทั้งยังเป็นชุดต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาได้ในอนาคตอีกด้วย

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่า การใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อควบคุมและสั่งการมอเตอร์ให้แขนของชุดต้นแบบขยับเพื่อช่วยฟื้นฟูการออกแรงแขนของคน สามารถทำได้จริง และกลไกของระบบชุดนั้นจะเป็นที่จะต้องมีการออกแบบที่ละเอียดถี่ถ้วนโดยเน้นความปลอดภัยของผู้สวมใส่เป็นหลัก เนื่องจากหากไม่มีการติดตั้งความปลอดภัยที่ชุด อาจเกิดอาการบาดเจ็บของแขนได้ และทางผู้วิจัยได้เลือกใช้แผ่นอะคริลิก เพราะมีน้ำหนักเบา และสามารถปรับแต่งให้ตัดโค้งได้โดยการใช้ความร้อนสูง หากแต่ยังคงมีความแข็งแรงทนทาน

### 5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิจัย จะเห็นว่าการใช้ชุดต้นแบบเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแขนหรือเป็นการฟื้นฟูแรงนั้นสามารถทำได้จริง หากแต่จะมีความห่วงของการประมวลผลและระบบสั่งการ ทำให้แขนกลขยับขึ้นได้ช้ากว่าแขนจริง ทำให้ต้องมีการออกแรงกล้ามเนื้อแขนบางส่วนเพิ่มอยู่บ้าง จึงยังไม่สามารถช่วยฟื้นฟูน้ำหนักตามที่ต้องการได้

### 5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิจัย

5.3.1 ชุดต้นแบบสามารถฟื้นฟูแรงได้จริง

5.3.2 ได้ประสบการณ์การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีระบบ แบบแผน

5.3.3 ฝึกการตั้งสมมติฐานและพยายามแก้ไขปัญห เฉพาะหน้า

5.3.4 สามารถใช้โปรแกรมที่ไม่เคยใช้ได้ และใช้โปรแกรมที่เคยใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มากขึ้น

## 5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำวิจัย

- 5.4.1 การสั่งซื้ออุปกรณ์ของวงจรขยายสัญญาณได้รับของล่าช้า
- 5.4.2 การยึบบนพื้นด้วยเท้าเปล่าทำให้มีสัญญาณรบกวนมาก
- 5.4.3 วงจร EMG ต้องเลือกใช้ค่าตัวต้านทานอย่างเหมาะสม
- 5.4.4 แรงบิดของมอเตอร์มีค่าน้อยจึงทำให้หุ่นแรงได้ไม่มากนัก
- 5.4.5 งานวิจัยนี้ไม่เหมาะกับผู้ป่วยโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงเนื่องจากจำเป็นต้องใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการสั่งการ

## 5.5 แนวทางพัฒนาแก้ไข

- 5.5.1 หากมีงบประมาณที่สูงขึ้นก็จะสามารถหาซื้อมอเตอร์ที่มีแรงบิดและมีประสิทธิภาพสูงทำให้สามารถพัฒนาชุดต้นแบบให้หุ่นแรงได้มากขึ้น
- 5.5.2 ควรปรับแก้วงจรในส่วนของการกรองสัญญาณรบกวน เพื่อให้ชุดสามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่หลากหลายมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

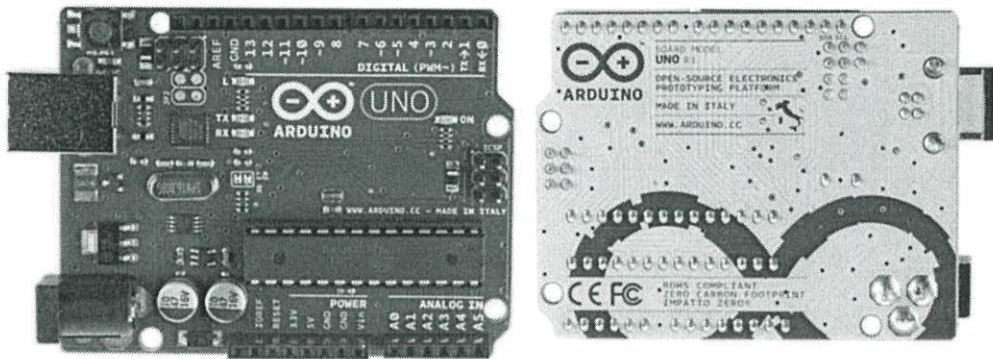
- [1] โอบาส ศิริครรชิตถาวร, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุลและชัยวัฒน์ ลีมพรจิตรวีไล. เรียนรู้ระบบควบคุมอย่างง่ายด้วยโปรแกรมภาษา C กับ Arduino และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ POP 168. กรุงเทพมหานคร: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2537.
- [2] Sunton Wongsiri and Sathaporn Laksanachareon, “Design of An Intelligent Prosthetic Arm”, International Symposium on Biomedical Engineering 2004 (ISBME2004), Bangkok, Thailand, November 16-18, 2004
- [3] Hannaford B and Winters J M (1190) Actuator properties an movement control: biological and technological models. In: Multiple muscle systems, Winters, J, Woo W (eds). Springer-Verlag, New York
- [4] Richard Valentine, “Motor Control Electronics Handbook”, McGrew-Hill Companies
- [5] PITTMAN Ametek Precision Motion Control. (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2559. สืบค้นจาก: <http://www.pittman-motors.com/>
- [6] การตรวจประสาท-กล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า. (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2558. สืบค้นจาก: [ams.kku.ac.th/aalearn/resource/edoc/es54](http://ams.kku.ac.th/aalearn/resource/edoc/es54) [ 20 ธันวาคม 2554]
- [7] การเกิดศักย์ไฟฟ้าในเยื่อเซลล์. (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2558. สืบค้นจาก: <http://dek-d.com/board/view.php?id=1356571>[13 สิงหาคม 2554]
- [8] เซอร์โวมอเตอร์. (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2558. สืบค้นจาก: [www.elecnet.chandra.ac.th/research/project](http://www.elecnet.chandra.ac.th/research/project) [22 มกราคม 2555 ]
- [9] ธวัช แก้วกันท์. ความรู้พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์1. มหาวิทยาลัยรังสิต.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

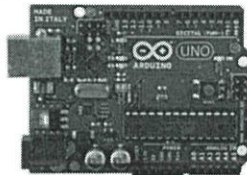
### อุปกรณ์

#### Arduino Uno

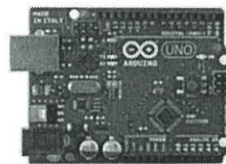


Arduino Uno R3 Front

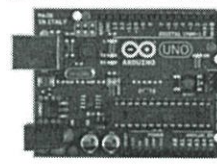
Arduino Uno R3 Back



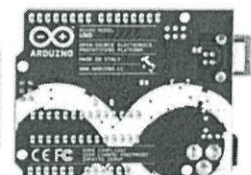
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

#### Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

#### Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

**Note:** The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

### **USB Overcurrent Protection**

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

### **Physical Characteristics**

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

## ภาคผนวก ข

## องค์ประกอบของวงจร

Low Cost Low Power  
Instrumentation Amplifier

AD620

## FEATURES

## Easy to use

- Gain set with one external resistor  
(Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range ( $\pm 2.3$  V to  $\pm 18$  V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current
- Excellent dc performance (B grade)
  - 50  $\mu$ V max, input offset voltage
  - 0.6  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift
  - 1.0 nA max, input bias current
  - 100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)

## Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28  $\mu$ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

## Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth (G = 100)
- 15  $\mu$ s settling time to 0.01%

## APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

## CONNECTION DIAGRAM

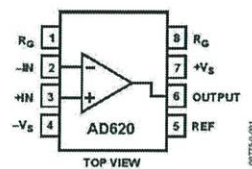


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

## PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50  $\mu$ V max, and offset drift of 0.6  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  at 1 kHz, 0.28  $\mu$ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$  input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15  $\mu$ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

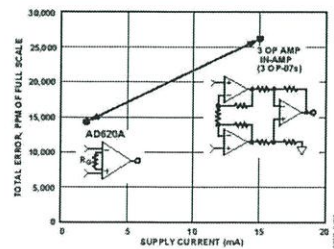


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

## Rev. H

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 www.analog.com  
Fax: 781.326.8703 © 2003–2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

## IMPORTANT LINKS for the **AD620\***

Last content update 01/08/2014 09:49 am

Looking for a high performance in-amp with lower noise, wider bandwidth, and fast settling time? Consider the **AD8421**

Looking for a high performance in-amp with lower power and a rail-to-rail output? Consider the **AD8422**.

### DOCUMENTATION

AD620: Military Data Sheet

**AN-282:** Fundamentals of Sampled Data Systems

**AN-244:** A User's Guide to I.C. Instrumentation Amplifiers

**AN-245:** Instrumentation Amplifiers Solve Unusual Design Problems

**AN-671:** Reducing RFI Rectification Errors in In-Amp Circuits

**AN-589:** Ways to Optimize the Performance of a Difference Amplifier

A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers (3rd Edition)

**UG-261:** Evaluation Boards for the AD62x, AD822x and AD842x Series

ECG Front-End Design is Simplified with MicroConverter

Low-Power, Low-Voltage IC Choices for ECG System Requirements

Ask The Applications Engineer-10

Auto-Zero Amplifiers

High-performance Adder Uses Instrumentation Amplifiers

Protecting Instrumentation Amplifiers

Input Filter Prevents Instrumentation-amp RF-Rectification Errors

The AD8221 - Setting a New Industry Standard for Instrumentation Amplifiers

ADI Warns Against Misuse of COTS Integrated Circuits

Space Qualified Parts List

Applying Instrumentation Amplifiers Effectively: The Importance of an Input Ground Return

Leading Inside Advertorials: Applying Instrumentation Amplifiers Effectively--The Importance of an Input Ground Return

### DESIGN TOOLS, MODELS, DRIVERS & SOFTWARE

In-Amp Error Calculator

These tools will help estimate error contributions in your instrumentation amplifier circuit. It uses input parameters such as temperature, gain, voltage input, and source impedance to determine the errors that can contribute to your overall design.

In-Amp Common Mode Calculator

AD620 SPICE Macro-Model

AD620A SPICE Macro-Model

AD620B SPICE Macro-Model

AD620S SPICE Macro-Model

AD620 SABER Macro-Model Conv, 10/00

### EVALUATION KITS & SYMBOLS & FOOTPRINTS

View the Evaluation Boards and Kits page for documentation and purchasing

Symbols and Footprints

### PRODUCT RECOMMENDATIONS & REFERENCE DESIGNS

**CN-0146:** Low Cost Programmable Gain Instrumentation Amplifier Circuit Using the ADG1611 Quad SPST Switch and AD620 Instrumentation Amplifier

### DESIGN COLLABORATION COMMUNITY



Collaborate Online with the ADI support team and other designers about select ADI products.

Follow us on Twitter: [www.twitter.com/ADI\\_News](http://www.twitter.com/ADI_News)

Like us on Facebook: [www.facebook.com/AnalogDevicesInc](http://www.facebook.com/AnalogDevicesInc)

### DESIGN SUPPORT

Submit your support request here:

[Linear and Data Converters](#)  
[Embedded Processing and DSP](#)

Telephone our Customer Interaction Centers toll free:

Americas: 1-800-262-5643  
Europe: 00800-266-822-82  
China: 4006-100-006  
India: 1800-419-0108  
Russia: 8-800-555-45-90

[Quality and Reliability](#)  
[Lead\(Pb\)-Free Data](#)

### SAMPLE & BUY

**AD620**

- View Price & Packaging
- Request Evaluation Board
- Request Samples Check Inventory & Purchase

[Find Local Distributors](#)

\* This page was dynamically generated by Analog Devices, Inc. and inserted into this data sheet.  
Note: Dynamic changes to the content on this page (labeled 'Important Links') does not constitute a change to the revision number of the product data sheet.  
This content may be frequently modified.



## AD620

### TABLE OF CONTENTS

Specifications .....	3	RF Interference.....	15
Absolute Maximum Ratings .....	5	Common-Mode Rejection.....	16
ESD Caution .....	5	Grounding.....	16
Typical Performance Characteristics .....	6	Ground Returns for Input Bias Currents.....	17
Theory of Operation.....	12	AD620ACHIPS Information .....	18
Gain Selection.....	15	Outline Dimensions.....	19
Input and Output Offset Voltage .....	15	Ordering Guide .....	20
Reference Terminal.....	15		
Input Protection .....	15		
<b>REVISION HISTORY</b>			
<b>7/11—Rev. G to Rev. H</b>		Changes to Input Protection section .....	15
Deleted Figure 3.....	1	Deleted Figure 9 .....	15
Added Table 1 .....	1	Changes to RF Interference section.....	15
Moved Figure 2.....	1	Edit to Ground Returns for Input Bias Currents section.....	17
Added ESD Input Diodes to Simplified Schematic .....	12	Added AD620CHIPS to Ordering Guide .....	19
Changes to Input Protection Section.....	15		
Added Figure 41; Renumbered Sequentially.....	15	<b>7/03—Data Sheet Changed from Rev. E to Rev. F</b>	
Changes to AD620ACHIPS Information Section .....	18	Edit to FEATURES.....	1
Updated Ordering Guide .....	20	Changes to SPECIFICATIONS.....	2
		Removed AD620CHIPS from ORDERING GUIDE.....	4
		Removed METALLIZATION PHOTOGRAPH.....	4
<b>12/04—Rev. F to Rev. G</b>		Replaced TPCs 1–3.....	5
Updated Format.....	Universal	Replaced TPC 12.....	6
Change to Features.....	1	Replaced TPC 30.....	9
Change to Product Description.....	1	Replaced TPCs 31 and 32.....	10
Changes to Specifications.....	3	Replaced Figure 4.....	10
Added Metallization Photograph.....	4	Changes to Table I.....	11
Replaced Figure 4-Figure 6 .....	6	Changes to Figures 6 and 7 .....	12
Replaced Figure 15.....	7	Changes to Figure 8 .....	13
Replaced Figure 33.....	10	Edited INPUT PROTECTION section .....	13
Replaced Figure 34 and Figure 35.....	10	Added new Figure 9.....	13
Replaced Figure 37.....	10	Changes to RF INTERFACE section .....	14
Changes to Table 3 .....	13	Edit to GROUND RETURNS FOR INPUT BIAS CURRENTS section .....	15
Changes to Figure 41 and Figure 42 .....	14	Updated OUTLINE DIMENSIONS.....	16
Changes to Figure 43 .....	15		
Change to Figure 44 .....	17		

## SPECIFICATIONS

Typical @ 25°C,  $V_S = \pm 15$  V, and  $R_L = 2$  k $\Omega$ , unless otherwise noted.

Table 2.

Parameter	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S <sup>1</sup>			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>											
Gain Range	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$	1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error <sup>2</sup>	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
<b>Nonlinearity</b>											
G = 1–1000	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V										
G = 1–100	$R_L = 10$ k $\Omega$		10	40		10	40		10	40	ppm
Gain vs. Temperature	$R_L = 2$ k $\Omega$		10	95		10	95		10	95	ppm
	G = 1			10			10			10	ppm/°C
	Gain > 1 <sup>2</sup>			-50			-50			-50	ppm/°C
<b>VOLTAGE OFFSET</b>											
(Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$ )											
Input Offset, $V_{OSI}$	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V		30	125		15	50		30	125	$\mu$ V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V			185			85			225	$\mu$ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	$\mu$ V/°C
Output Offset, $V_{OSO}$	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	$\mu$ V
Overtemperature	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	$\mu$ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 15$ V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	$\mu$ V/°C
<b>Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)</b>											
	$V_S = \pm 2.3$ V to $\pm 18$ V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
<b>INPUT CURRENT</b>											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Overtemperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Overtemperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
<b>INPUT</b>											
Input Impedance											
Differential			10  2			10  2			10  2		G $\Omega$ _pF
Common-Mode			10  2			10  2			10  2		G $\Omega$ _pF
Input Voltage Range <sup>3</sup>	$V_S = \pm 2.3$ V to $\pm 5$ V	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	V
Overtemperature		$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	V
	$V_S = \pm 5$ V to $\pm 18$ V	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	V
Overtemperature		$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.1$		$+V_S + 2.1$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.4$	V

AD620											
Parameter	Conditions	AD620A			AD620B			AD6205 <sup>1</sup>			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Common-Mode Rejection											
Ratio DC to 60 Hz with 1 k $\Omega$ Source Imbalance	$V_{CM} = 0\text{ V to } \pm 10\text{ V}$										
G = 1		73	90		80	90		73	90		dB
G = 10		93	110		100	110		93	110		dB
G = 100		110	130		120	130		110	130		dB
G = 1000		110	130		120	130		110	130		dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 2.3\text{ V}$ to $\pm 5\text{ V}$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	V
Overtemperature		$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.3$	V
Overtemperature Short Circuit Current	$V_S = \pm 5\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	V
		$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.5$	V
			$\pm 18$			$\pm 18$			$\pm 18$		mA
DYNAMIC RESPONSE											
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step										
G = 1			1000			1000			1000		kHz
G = 10			800			800			800		kHz
G = 100			120			120			120		kHz
G = 1000			12			12			12		kHz
Slew Rate		0.75	1.2		0.75	1.2		0.75	1.2		V/ $\mu$ s
Settling Time to 0.01%											
G = 1-100			15			15			15		$\mu$ s
G = 1000			150			150			150		$\mu$ s
NOISE											
Voltage Noise, 1 kHz	$Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$										
Input, Voltage Noise, $e_{ni}$		9	13		9	13		9	13		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Output, Voltage Noise, $e_{no}$		72	100		72	100		72	100		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz											
G = 1		3.0			3.0	6.0		3.0	6.0		$\mu$ V p-p
G = 10		0.55			0.55	0.8		0.55	0.8		$\mu$ V p-p
G = 100-1000		0.28			0.28	0.4		0.28	0.4		$\mu$ V p-p
Current Noise	$f = 1\text{ kHz}$	100			100			100			fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
0.1 Hz to 10 Hz		10			10			10			pA p-p
REFERENCE INPUT											
$R_{IN}$	$V_{IN+}, V_{REF} = 0$	20			20			20			k $\Omega$
$I_{IN}$		50	60		50	60		50	60		$\mu$ A
Voltage Range		$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.6$	V
Gain to Output		$1 \pm 0.0001$			$1 \pm 0.0001$			$1 \pm 0.0001$			
POWER SUPPLY											
Operating Range <sup>4</sup>	$V_S = \pm 2.3\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$	$\pm 2.3$		$\pm 18$	$\pm 2.3$		$\pm 18$	$\pm 2.3$		$\pm 18$	V
Quiescent Current			0.9	1.3		0.9	1.3		0.9	1.3	mA
Overtemperature			1.1	1.6		1.1	1.6		1.1	1.6	mA
TEMPERATURE RANGE											
For Specified Performance		$-40\text{ to }+85$			$-40\text{ to }+85$			$-55\text{ to }+125$			$^{\circ}\text{C}$

<sup>1</sup> See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.<sup>2</sup> Does not include effects of external resistor  $R_C$ .<sup>3</sup> One input grounded.  $G = 1$ .<sup>4</sup> This is defined as the same supply range that is used to specify PSR.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Rating
Supply Voltage	$\pm 18$ V
Internal Power Dissipation <sup>1</sup>	650 mW
Input Voltage (Common-Mode)	$\pm V_S$
Differential Input Voltage	25 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range (Q)	-65°C to +150°C
Storage Temperature Range (N, R)	-65°C to +125°C
Operating Temperature Range	
AD620 (A, B)	-40°C to +85°C
AD620 (S)	-55°C to +125°C
Lead Temperature Range (Soldering 10 seconds)	300°C

<sup>1</sup> Specification is for device in free air:  
 8-Lead Plastic Package:  $\theta_{JA} = 95^\circ\text{C}$   
 8-Lead CERDIP Package:  $\theta_{JA} = 110^\circ\text{C}$   
 8-Lead SOIC Package:  $\theta_{JA} = 155^\circ\text{C}$

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

### ESD CAUTION



**ESD (electrostatic discharge) sensitive device.** Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

## AD620

## THEORY OF OPERATION

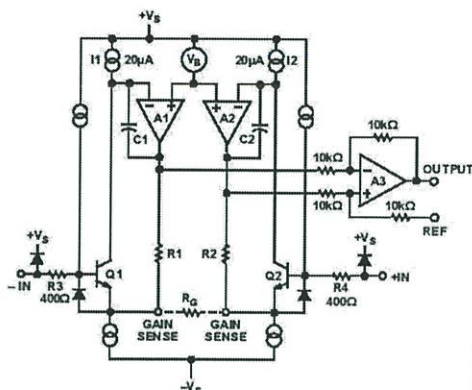


Figure 36. Simplified Schematic of AD620

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain *accurately* (to 0.15% at  $G = 100$ ) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus ensuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 36), yet offer  $10\times$  lower input bias current thanks to SuperBeta processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1 and Q2, thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor  $R_G$ . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by  $G = (R1 + R2)/R_G + 1$ . The unity-gain subtractor, A3, removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of  $R_G$  also determines the transconductance of the preamp stage. As  $R_G$  is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by C1 and C2 and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of  $9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of  $24.7\text{ k}\Omega$ , allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49.4\text{ k}\Omega}{G - 1}$$

#### Make vs. Buy: a Typical Bridge Application Error Budget

The AD620 offers improved performance over "homebrew" three op amp IA designs, along with smaller size, fewer components, and  $10\times$  lower supply current. In the typical application, shown in Figure 37, a gain of 100 is required to amplify a bridge output of 20 mV full-scale over the industrial temperature range of  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . Table 4 shows how to calculate the effect various error sources have on circuit accuracy.

AD620

Regardless of the system in which it is being used, the AD620 provides greater accuracy at low power and price. In simple systems, absolute accuracy and drift errors are by far the most significant contributors to error. In more complex systems with an intelligent processor, an autogain/autozero cycle removes all absolute accuracy and drift errors, leaving only the resolution errors of gain, nonlinearity, and noise, thus allowing full 14-bit accuracy.

Note that for the homebrew circuit, the OP07 specifications for input voltage offset and noise have been multiplied by  $\sqrt{2}$ . This is because a three op amp type in-amp has two op amps at its inputs, both contributing to the overall input error.

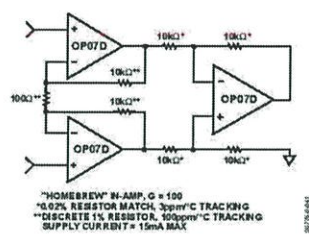
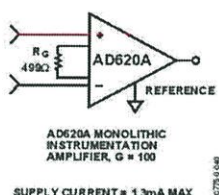
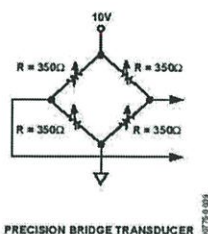


Figure 37. Make vs. Buy

Table 4. Make vs. Buy Error Budget

Error Source	AD620 Circuit Calculation	"Homebrew" Circuit Calculation	Error, ppm of Full Scale	
			AD620	Homebrew
<b>ABSOLUTE ACCURACY at T<sub>A</sub> = 25°C</b>				
Input Offset Voltage, $\mu\text{V}$	125 $\mu\text{V}/20\text{ mV}$	(150 $\mu\text{V} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	6,250	10,607
Output Offset Voltage, $\mu\text{V}$	1000 $\mu\text{V}/100\text{ mV}/20\text{ mV}$	((150 $\mu\text{V} \times 2)/100)/20\text{ mV}$	500	150
Input Offset Current, nA	2 nA $\times 350\ \Omega/20\text{ mV}$	(6 nA $\times 350\ \Omega)/20\text{ mV}$	18	53
CMR, dB	110 dB(3.16 ppm) $\times 5\text{ V}/20\text{ mV}$	(0.02% Match $\times 5\text{ V})/20\text{ mV}/100$	791	500
Total Absolute Error			7,559	11,310
<b>DRIFT TO 85°C</b>				
Gain Drift, ppm/°C	(50 ppm + 10 ppm) $\times 60^\circ\text{C}$	100 ppm/°C Track $\times 60^\circ\text{C}$	3,600	6,000
Input Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/20\text{ mV}$	(2.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times \sqrt{2} \times 60^\circ\text{C})/20\text{ mV}$	3,000	10,607
Output Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/100\text{ mV}/20\text{ mV}$	(2.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 2 \times 60^\circ\text{C})/100\text{ mV}/20\text{ mV}$	450	150
Total Drift Error			7,050	16,757
<b>RESOLUTION</b>				
Gain Nonlinearity, ppm of Full Scale	40 ppm	40 ppm	40	40
Typ 0.1 Hz to 10 Hz Voltage Noise, $\mu\text{V p-p}$	0.28 $\mu\text{V p-p}/20\text{ mV}$	(0.38 $\mu\text{V p-p} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	14	27
Total Resolution Error			54	67
Grand Total Error			14,663	28,134

G = 100, V<sub>S</sub> =  $\pm 15\text{ V}$ .  
(All errors are min/max and referred to input.)

## AD620

**Precision V-I Converter**

The AD620, along with another op amp and two resistors, makes a precision current source (Figure 40). The op amp buffers the reference terminal to maintain good CMR. The output voltage,  $V_x$ , of the AD620 appears across  $R_1$ , which converts it to a current. This current, less only the input bias current of the op amp, then flows out to the load.

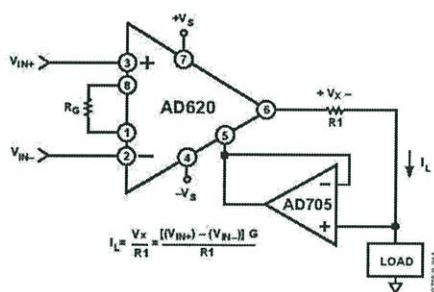


Figure 40. Precision Voltage-to-Current Converter (Operates on 1.8 mA,  $\pm 3$  V)

**GAIN SELECTION**

The AD620 gain is resistor-programmed by  $R_G$ , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1% to 1% resistors. Table 5 shows required values of  $R_G$  for various gains. Note that for  $G = 1$ , the  $R_G$  pins are unconnected ( $R_G = \infty$ ). For any arbitrary gain,  $R_G$  can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error, avoid high parasitic resistance in series with  $R_G$ ; to minimize gain drift,  $R_G$  should have a low TC—less than 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ —for the best performance.

Table 5. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of $R_G(\Omega)$	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003.0

**INPUT AND OUTPUT OFFSET VOLTAGE**

The low errors of the AD620 are attributed to two sources, input and output errors. The output error is divided by  $G$  when referred to the input. In practice, the input errors dominate at high gains, and the output errors dominate at low gains. The total  $V_{os}$  for a given gain is calculated as

$$\text{Total Error RTI} = \text{input error} + (\text{output error}/G)$$

$$\text{Total Error RTO} = (\text{input error} \times G) + \text{output error}$$

**REFERENCE TERMINAL**

The reference terminal potential defines the zero output voltage and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output, with an allowable range of 2 V within the supply voltages. Parasitic resistance should be kept to a minimum for optimum CMR.

**INPUT PROTECTION**

The AD620 safely withstands an input current of  $\pm 60$  mA for several hours at room temperature. This is true for all gains and power on and off, which is useful if the signal source and amplifier are powered separately. For longer time periods, the input current should not exceed 6 mA.

For input voltages beyond the supplies, a protection resistor should be placed in series with each input to limit the current to 6 mA. These can be the same resistors as those used in the RFI filter. High values of resistance can impact the noise and AC CMRR performance of the system. Low leakage diodes (such as the BAV199) can be placed at the inputs to reduce the required protection resistance.

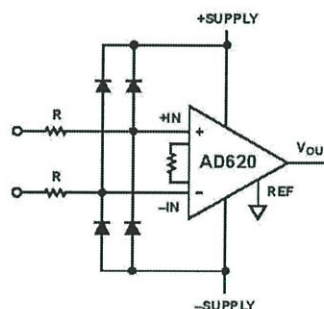
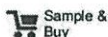


Figure 41. Diode Protection for Voltages Beyond Supply

**RF INTERFERENCE**

All instrumentation amplifiers rectify small out of band signals. The disturbance may appear as a small dc voltage offset. High frequency signals can be filtered with a low pass R-C network placed at the input of the instrumentation amplifier. Figure 42 demonstrates such a configuration. The filter limits the input



TL071, TL071A, TL071B  
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B

SLOS080M – SEPTEMBER 1978 – REVISED JUNE 2015

## TL07xx Low-Noise JFET-Input Operational Amplifiers

### 1 Features

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion: 0.003% Typical
- Low Noise  
 $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  Typ at  $f = 1 \text{ kHz}$
- High-Input Impedance: JFET Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate:  $13 \text{ V}/\mu\text{s}$  Typical
- Common-Mode Input Voltage Range Includes  $V_{CC+}$

### 2 Applications

- Motor Integrated Systems: UPS
- Drives and Control Solutions: AC Inverter and VF Drives
- Renewables: Solar Inverters
- Pro Audio Mixers
- DLP Front Projection System
- Oscilloscopes

### 3 Description

The TL07xx JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

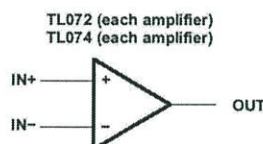
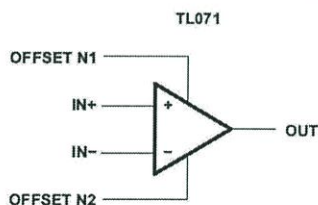
The devices feature high slew rates, low-input bias and offset currents, and low offset-voltage temperature coefficient. The low harmonic distortion and low noise make the TL07xseries ideally suited for high-fidelity and audio pre-amplifier applications. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL07x family.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TL07xxD	SOIC (14)	8.65 mm × 3.91 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
TL07xxFK	LCCC (20)	8.89 mm × 8.89 mm
TL07xxJG	PDIP (8)	9.59 mm × 6.67 mm
TL074xJ	CDIP (14)	19.56 mm × 6.92 mm
TL07xxP	PDIP (8)	9.59 mm × 6.35 mm
TL07xxPS	SO (8)	6.20 mm × 5.30 mm
TL074xN	PDIP (14)	19.3 mm × 6.35 mm
TL074xNS	SO (14)	10.30 mm × 5.30 mm
TL07xxPW	TSSOP (8)	4.40 mm × 3.00 mm
TL074xPW	TSSOP (14)	5.00 mm × 4.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

### Logic Symbols



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

## Table of Contents

<b>1 Features</b> .....	1	8.3 Feature Description.....	14
<b>2 Applications</b> .....	1	8.4 Device Functional Modes.....	14
<b>3 Description</b> .....	1	<b>9 Application and Implementation</b> .....	15
<b>4 Revision History</b> .....	2	9.1 Application Information.....	15
<b>5 Pin Configuration and Functions</b> .....	3	9.2 Typical Application.....	15
<b>6 Specifications</b> .....	5	9.3 System Examples.....	16
6.1 Absolute Maximum Ratings.....	5	<b>10 Power Supply Recommendations</b> .....	17
6.2 ESD Ratings.....	5	<b>11 Layout</b> .....	17
6.3 Recommended Operating Conditions.....	5	11.1 Layout Guidelines.....	17
6.4 Thermal Information.....	5	11.2 Layout Example.....	18
6.5 Electrical Characteristics, TL07xC, TL07xAC, TL07xBC, TL07xI.....	6	<b>12 Device and Documentation Support</b> .....	19
6.6 Electrical Characteristics, TL07xM.....	7	12.1 Documentation Support.....	19
6.7 Switching Characteristics.....	7	12.2 Related Links.....	19
6.8 Typical Characteristics.....	8	12.3 Community Resources.....	19
<b>7 Parameter Measurement Information</b> .....	12	12.4 Trademarks.....	19
<b>8 Detailed Description</b> .....	13	12.5 Electrostatic Discharge Caution.....	19
8.1 Overview.....	13	12.6 Glossary.....	19
8.2 Functional Block Diagram.....	13	<b>13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information</b> .....	19

## 4 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

### Changes from Revision L (February 2014) to Revision M

	Page
• Added <i>Device Information</i> table, <i>Pin Configuration and Functions</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section.....	1
• Moved <i>Typical Characteristics</i> into <i>Specifications</i> section.....	8

### Changes from Revision K (January 2014) to Revision L

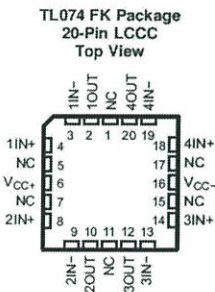
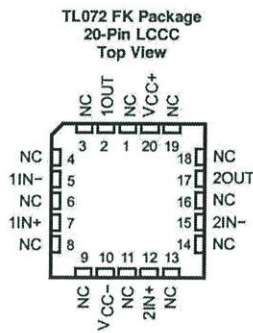
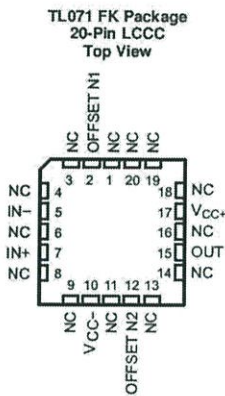
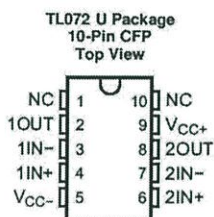
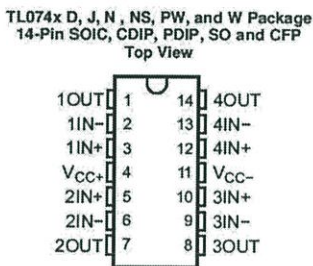
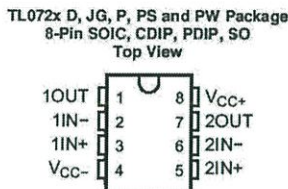
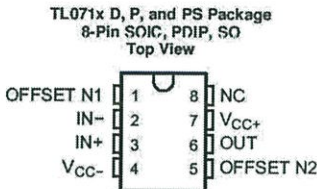
	Page
• Moved $T_{sig}$ to <i>Handling Ratings</i> table.....	5
• Added missing <i>Electric Characteristics</i> table.....	6
• Added <i>Device and Documentation Support</i> section.....	19
• Added <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section.....	19

### Changes from Revision J (March 2005) to Revision K

	Page
• Updated document to new TI datasheet format - no specification changes.....	1
• Added ESD warning.....	19



5 Pin Configuration and Functions



TL071, TL071A, TL071B  
 TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B



SLOS080M – SEPTEMBER 1978 – REVISED JUNE 2015

www.ti.com

Pin Functions

NAME	PIN							I/O	DESCRIPTION
	TL071		TL072			TL074			
	SOIC, PDIP, SO	LCCC	SOIC, CDIP, PDIP, SO	CFP	LCCC	SOIC, CDIP, PDIP, SO, CFP	LCCC		
1IN-	—	—	2	3	5	2	3	I	Inverting input
1IN+	—	—	3	4	7	3	4	I	Non-Inverting input
1OUT	—	—	1	2	2	1	2	O	Output
2IN-	—	—	6	7	15	6	9	I	Inverting input
2IN+	—	—	5	6	12	5	8	I	Non-Inverting input
2OUT	—	—	7	8	17	7	10	O	Output
3IN-	—	—	—	—	—	9	13	I	Inverting input
3IN+	—	—	—	—	—	10	14	I	Non-Inverting input
3OUT	—	—	—	—	—	8	12	O	Output
4IN-	—	—	—	—	—	13	19	I	Inverting input
4IN+	—	—	—	—	—	12	18	I	Non-Inverting input
4OUT	—	—	—	—	—	14	20	O	Output
IN-	2	5	—	—	—	—	—	I	Inverting input
IN+	3	7	—	—	—	—	—	I	Non-Inverting input
NC <sup>(1)</sup>	8	1	—	1	1	—	1	—	Do not connect
		3			—				
		4			—				
		6			—				
		8			—				
		9		9					
		11		11	5				
		13		13	7				
		14		14	11				
		16		16	15				
		18		18	17				
19	19								
20	19								
OFFSET N1	1	2	—	—	—	—	—	—	Input offset adjustment
OFFSET N2	5	12	—	—	—	—	—	—	Input offset adjustment
OUT	6	15	—	—	—	—	—	O	Output
V <sub>CC-</sub>	4	10	4	5	10	11	16	—	Power supply
V <sub>CC+</sub>	7	17	8	9	20	4	6	—	Power supply

(1) NC – No internal connection



## 6 Specifications

### 6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) <sup>(1)</sup>

		MIN	MAX	UNIT
$V_{CC+} - V_{CC-}$	Supply voltage <sup>(2)</sup>	-18	18	V
$V_{ID}$	Differential input voltage <sup>(3)</sup>	-30	30	V
$V_I$	Input voltage <sup>(2)(4)</sup>	-15	15	V
	Duration of output short circuit <sup>(5)</sup>	Unlimited		
$T_J$	Operating Virtual Junction Temperature		150	°C
	Case temperature for 60 seconds - FK package		260	°C
	Lead temperature 1.8 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		300	°C
$T_{stg}$	Storage temperature	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between  $V_{CC+}$  and  $V_{CC-}$ .
- (3) Differential voltages are at  $IN+$ , with respect to  $IN-$ .
- (4) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
- (5) The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

### 6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	±2000
		Charged-device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101 <sup>(2)</sup>	±1000

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
$V_{CC+}$	Supply voltage	5	15	V
$V_{CC-}$	Supply voltage	-5	-15	V
$V_{CM}$	Common-mode voltage	$V_{CC-} + 4$ $V_{CC+} - 4$		V
$T_A$	Operating free-air temperature	TL07xM	-55	125
		TL08xQ	-40	125
		TL07xI	-40	85
		TL07xA, TL07xB, TL07xC	0	70

### 6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>	TL071/TL072/TL074										UNIT		
	D (SOIC)		FK (LCCC)	J (CDIP)		N (PDIP)		NS (SO)		PW (TSSOP)			
	8 PINS	14 PINS	20 PINS	8 PINS	14 PINS	8 PINS	14 PINS	8 PINS	14 PINS	8 PINS		14 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	97	86	—	—	—	85	80	95	76	150	113	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	—	—	5.61	15.05	14.5	—	—	—	—	—	—	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.



**TL071, TL071A, TL071B**  
**TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B**

SLOS080M—SEPTEMBER 1978—REVISED JUNE 2015

www.ti.com

### 6.5 Electrical Characteristics, TL07xC, TL07xAC, TL07xBC, TL07xI

$V_{CC} \pm = \pm 15$  V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	T <sub>A</sub> <sup>(2)</sup>	TL071C, TL072C, TL074C			TL071AC, TL072AC, TL074AC			TL071BC, TL072BC, TL074BC			TL071I, TL072I, TL074I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V <sub>IO</sub>	Input offset voltage V <sub>O</sub> = 0, R <sub>C</sub> = 50 Ω	25°C		3	10		3	6		2	3		3	6	mV
		Full range			13		7.5		5		8				
<sup>a</sup> V <sub>IO</sub>	Temperature coefficient of input offset voltage V <sub>O</sub> = 0, R <sub>C</sub> = 50 Ω	Full range		18		18		18		18		18		18	μV/°C
I <sub>O</sub>	Input offset current V <sub>O</sub> = 0	25°C		5	100		5	100		5	100		5	100	pA
		Full range			10		2		2		2				
I <sub>BI</sub>	Input bias current <sup>(3)</sup> V <sub>O</sub> = 0	25°C		65	200		65	200		65	200		65	200	pA
		Full range			7		7		7		7				
V <sub>CMR</sub>	Common-mode input voltage range	25°C	±11	-12 to 15		±11	-12 to 15		±11	-12 to 15		±11	-12 to 15	V	
V <sub>OM</sub>	Maximum peak output voltage swing R <sub>L</sub> = 10 kΩ R <sub>L</sub> ≥ 10 kΩ R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	25°C	±12	±13.5		±12	±13.5		±12	±13.5		±12	±13.5	V	
		Full range		±10		±10		±10		±10		±10			
A <sub>VD</sub>	Large-signal differential voltage amplification V <sub>O</sub> = ±10 V, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	25°C	25	200		50	200		50	200		50	200	V/mV	
		Full range		15		25		25		25					
B <sub>1</sub>	Unity-gain bandwidth	25°C		3		3		3		3		3	MHz		
r <sub>i</sub>	Input resistance	25°C		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>	Ω		
CMRR	Common-mode rejection ratio V <sub>IC</sub> = V <sub>ICR</sub> min, V <sub>O</sub> = 0, R <sub>S</sub> = 50 Ω	25°C	70	100		75	100		75	100		75	100	dB	
k <sub>SVR</sub>	Supply-voltage rejection ratio (ΔV <sub>CC</sub> /ΔV <sub>IC</sub> ) V <sub>O</sub> = 0, R <sub>S</sub> = 50 Ω	25°C	70	100		80	100		80	100		80	100	dB	
I <sub>CC</sub>	Supply current (each amplifier) V <sub>O</sub> = 0, No load	25°C		1.4	2.5		1.4	2.5		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
V <sub>O1</sub> /V <sub>O2</sub>	Crosstalk attenuation A <sub>VD</sub> = 100	25°C		120		120		120		120		120		120	dB

- (1) All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified.
- (2) Full range is T<sub>A</sub> = 0°C to 70°C for TL07\_C, TL07\_AC, TL07\_BC and is T<sub>A</sub> = -40°C to 85°C for TL07\_I.
- (3) Input bias currents of an FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 1. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



## 6.6 Electrical Characteristics, TL07xM

$V_{CC\pm} = \pm 15$  V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>(1)</sup>	$T_A$ <sup>(2)</sup>	TL071M, TL072M			TL074M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_O = 0$ , $R_S = 50 \Omega$	25°C		3	6		3	9	mV
		Full range			9			15	
$\theta_{VIO}$ Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0$ , $R_S = 50 \Omega$	Full range		18			18		$\mu V/^\circ C$
$I_{IO}$ Input offset current	$V_O = 0$	25°C		5	100		5	100	pA
		Full range			20			20	
$I_{IB}$ Input bias current	$V_O = 0$	25°C		65	200		65	200	pA
		Full range			50			20	
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range		25°C	$\pm 11$	-12 to 15		$\pm 11$	-12 to 15		V
$V_{OM}$ Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10$ k $\Omega$ $R_L \geq 10$ k $\Omega$ $R_L \geq 2$ k $\Omega$	25°C	$\pm 12$	$\pm 13.5$		$\pm 12$	$\pm 13.5$		V
		Full range	$\pm 12$			$\pm 12$			
		Full range	$\pm 10$			$\pm 10$			
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10$ V, $R_L \geq 2$ k $\Omega$	25°C	35	200		35	200		V/mV
		Full range	15			15			
$B_1$ Unity-gain bandwidth				3			3		MHz
$r_i$ Input resistance				$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_O = V_{ICRmin}$ , $V_O = 0$ , $R_S = 50 \Omega$	25°C	80	86		80	86		dB
$k_{SVR}$ Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{CC\pm} / \Delta V_{IO}$ )	$V_{CC} = \pm 9$ V to $\pm 15$ V, $V_O = 0$ , $R_S = 50 \Omega$	25°C	80	86		80	86		dB
$I_{CC}$ Supply current (each amplifier)	$V_O = 0$ , No load	25°C		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
$V_{OI}/V_{OC}$ Crosstalk attenuation	$A_{VD} = 100$	25°C		120			120		dB

- (1) Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 1. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.
- (2) All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified. Full range is  $T_A = -55^\circ C$  to  $125^\circ C$ .

## 6.7 Switching Characteristics

$V_{CC\pm} = \pm 15$  V,  $T_A = 25^\circ C$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL07xM			TL07xC, TL07xAC, TL07xBC, TL07xI			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10$ V, $C_L = 100$ pF, $R_L = 2$ k $\Omega$ , See Figure 20	5	13		8	13		V/ $\mu s$
$t_r$ Rise-time overshoot factor	$V_I = 20$ V, $C_L = 100$ pF, $R_L = 2$ k $\Omega$ , See Figure 20		0.1			0.1		$\mu s$
			20%			20%		
$V_n$ Equivalent input noise voltage	$R_S = 20 \Omega$	$f = 1$ kHz		18		18		nV/ $\sqrt{Hz}$
		$f = 10$ Hz to 10 kHz		4		4		$\mu V$
$I_n$ Equivalent input noise current	$R_S = 20 \Omega$ , $f = 1$ kHz		0.01			0.01		pA/ $\sqrt{Hz}$
THD Total harmonic distortion	$V_{I rms} = 6$ V, $R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $f = 1$ kHz, $A_{VD} = 1$ , $R_S \leq 1$ k $\Omega$ ,		0.003%			0.003%		

TL071, TL071A, TL071B  
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B

SLOS080M – SEPTEMBER 1978 – REVISED JUNE 2015

www.ti.com

## Typical Application (continued)

### 9.2.3 Application Curve

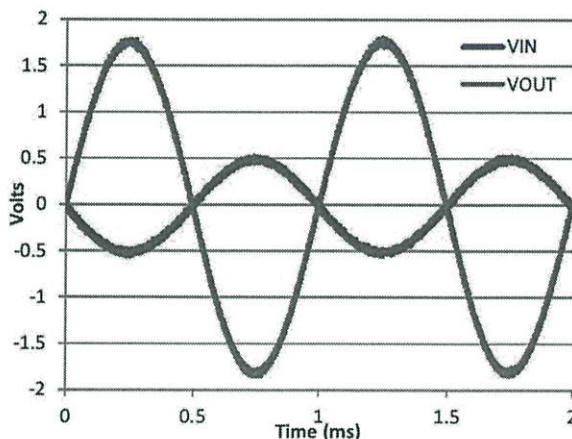


Figure 24. Input and Output Voltages of the Inverting Amplifier

### 9.3 System Examples

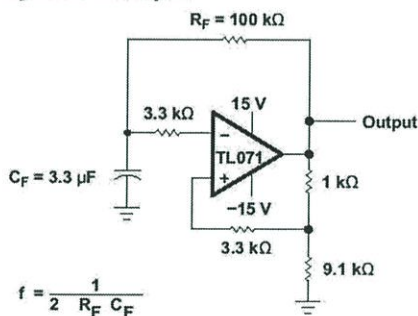


Figure 25. 0.5-Hz Square-Wave Oscillator

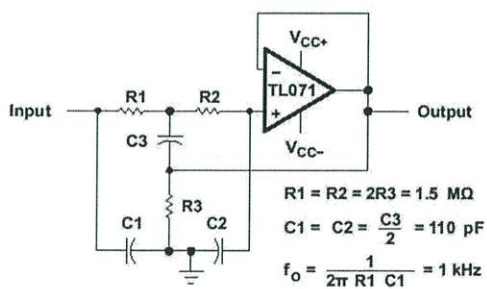


Figure 26. High-Q Notch Filter



www.ti.com

TL071, TL071A, TL071B  
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B  
SLOS080M – SEPTEMBER 1978 – REVISED JUNE 2015

## System Examples (continued)

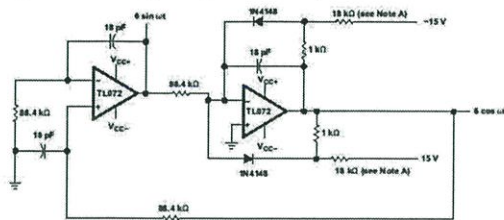


Figure 27. 100-kHz Quadrature Oscillator

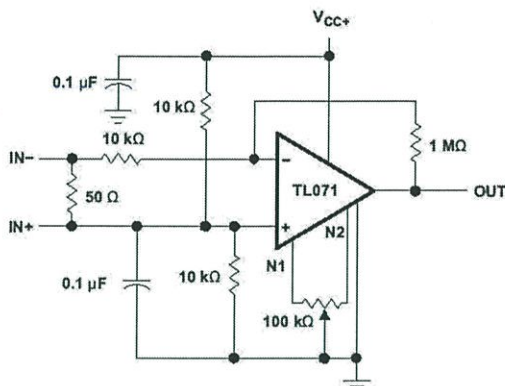


Figure 28. AC Amplifier

## 10 Power Supply Recommendations

### CAUTION

Supply voltages larger than 36 V for a single-supply or outside the range of  $\pm 18$  V for a dual-supply can permanently damage the device (see the *Absolute Maximum Ratings*).

Place 0.1- $\mu$ F bypass capacitors close to the power-supply pins to reduce errors coupling in from noisy or high-impedance power supplies. For more detailed information on bypass capacitor placement, refer to the *Layout*.

## 11 Layout

### 11.1 Layout Guidelines

For best operational performance of the device, use good PCB layout practices, including:

- Noise can propagate into analog circuitry through the power pins of the circuit as a whole, as well as the operational amplifier. Bypass capacitors are used to reduce the coupled noise by providing low impedance power sources local to the analog circuitry.
  - Connect low-ESR, 0.1- $\mu$ F ceramic bypass capacitors between each supply pin and ground, placed as close to the device as possible. A single bypass capacitor from  $V+$  to ground is applicable for single supply applications.
- Separate grounding for analog and digital portions of circuitry is one of the simplest and most-effective methods of noise suppression. One or more layers on multilayer PCBs are usually devoted to ground planes. A ground plane helps distribute heat and reduces EMI noise pickup. Make sure to physically separate digital and analog grounds, paying attention to the flow of the ground current. For more detailed information, refer to *Circuit Board Layout Techniques*, (SLOA089).
- To reduce parasitic coupling, run the input traces as far away from the supply or output traces as possible. If it is not possible to keep them separate, it is much better to cross the sensitive trace perpendicular as opposed to in parallel with the noisy trace.
- Place the external components as close to the device as possible. Keeping RF and RG close to the inverting input minimizes parasitic capacitance, as shown in *Layout Example*.
- Keep the length of input traces as short as possible. Always remember that the input traces are the most sensitive part of the circuit.
- Consider a driven, low-impedance guard ring around the critical traces. A guard ring can significantly reduce

## Layout Guidelines (continued)

leakage currents from nearby traces that are at different potentials.

### 11.2 Layout Example

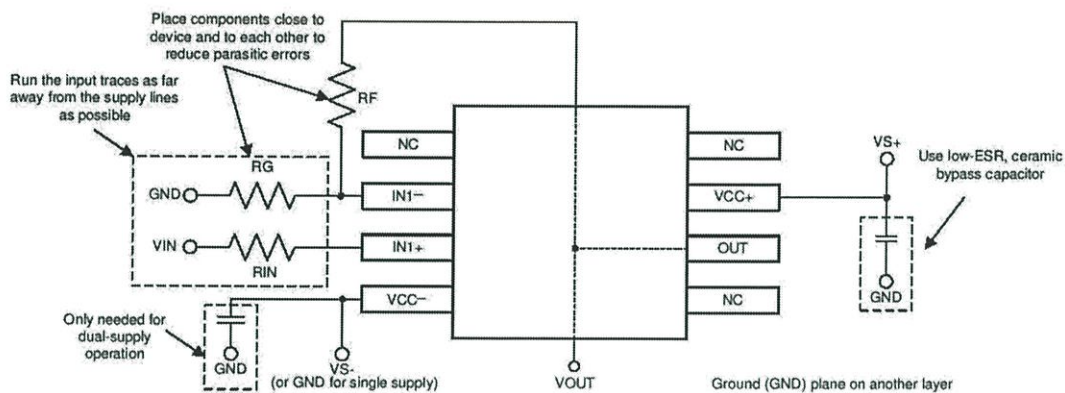


Figure 29. Operational Amplifier Board Layout for Noninverting Configuration

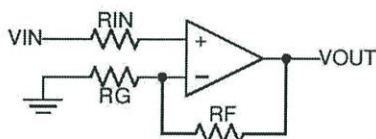


Figure 30. Operational Amplifier Schematic for Noninverting Configuration

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (8)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4,5)	Samples
TL071IPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	TL071IP	<a href="#">Samples</a>
TL071MFKB	OBSOLETE	LCCC	FK	20		TBD	CaI TI	CaI TI	-55 to 125		
TL071MJG	OBSOLETE	CDIP	JG	8		TBD	CaI TI	CaI TI	-55 to 125		
TL071MJGB	OBSOLETE	CDIP	JG	8		TBD	CaI TI	CaI TI	-55 to 125		
TL072ACD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072AC	<a href="#">Samples</a>
TL072ACDE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072AC	<a href="#">Samples</a>
TL072ACDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072AC	<a href="#">Samples</a>
TL072ACDRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072AC	<a href="#">Samples</a>
TL072ACDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072AC	<a href="#">Samples</a>
TL072ACJG	OBSOLETE	CDIP	JG	8		TBD	CaI TI	CaI TI	0 to 70		
TL072ACP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	TL072ACP	<a href="#">Samples</a>
TL072ACPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	TL072ACP	<a href="#">Samples</a>
TL072ACPSR	OBSOLETE	SO	PS	8		TBD	CaI TI	CaI TI	0 to 70		
TL072ACPSRE4	OBSOLETE	SO	PS	8		TBD	CaI TI	CaI TI	0 to 70		
TL072ACPSRG4	OBSOLETE	SO	PS	8		TBD	CaI TI	CaI TI	0 to 70		
TL072BCD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072BC	<a href="#">Samples</a>
TL072BCDE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072BC	<a href="#">Samples</a>
TL072BCDG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072BC	<a href="#">Samples</a>
TL072BCDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072BC	<a href="#">Samples</a>
TL072BCDRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072BC	<a href="#">Samples</a>
TL072BCDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	072BC	<a href="#">Samples</a>

Addendum-Page 3

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (8)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4,5)	Samples
TL072BCP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	TL072BCP	<a href="#">Samples</a>
TL072CPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	TL072BCP	<a href="#">Samples</a>
TL072CD	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL072C	<a href="#">Samples</a>
TL072CDE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL072C	<a href="#">Samples</a>
TL072CDG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL072C	<a href="#">Samples</a>
TL072CDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL072C	<a href="#">Samples</a>
TL072CDRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL072C	<a href="#">Samples</a>
TL072CDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL072C	<a href="#">Samples</a>
TL072CP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	TL072CP	<a href="#">Samples</a>
TL072CPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	0 to 70	TL072CP	<a href="#">Samples</a>
TL072CPSLE	OBSOLETE	SO	PS	8		TBD	CaI TI	CaI TI	0 to 70		
TL072CPSR	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T072	<a href="#">Samples</a>
TL072CPSRE4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T072	<a href="#">Samples</a>
TL072CPSRG4	ACTIVE	SO	PS	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T072	<a href="#">Samples</a>
TL072CPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T072	<a href="#">Samples</a>
TL072CPWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T072	<a href="#">Samples</a>
TL072CPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	8	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T072	<a href="#">Samples</a>
TL072ID	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL072I	<a href="#">Samples</a>

Addendum-Page 4

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (8)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4,5)	Samples
TL072IDE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL072I	<a href="#">Samples</a>
TL072IDG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL072I	<a href="#">Samples</a>
TL072IDR	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL072I	<a href="#">Samples</a>
TL072IDRE4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL072I	<a href="#">Samples</a>
TL072IDRG4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL072I	<a href="#">Samples</a>
TL072IP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	TL072IP	<a href="#">Samples</a>
TL072IPE4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	TL072IP	<a href="#">Samples</a>
TL072MFKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type	-55 to 125	81023052A TL072MFKB	<a href="#">Samples</a>
TL072MJG	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	TL072MJG	<a href="#">Samples</a>
TL072MJGB	ACTIVE	CDIP	JG	8	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	8102305PA TL072M	<a href="#">Samples</a>
TL072MUB	ACTIVE	CFP	U	10	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	8102305HA TL072M	<a href="#">Samples</a>
TL074ACD	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL074AC	<a href="#">Samples</a>
TL074ACDE4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL074AC	<a href="#">Samples</a>
TL074ACDG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL074AC	<a href="#">Samples</a>
TL074ACDR	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL074AC	<a href="#">Samples</a>
TL074ACDRE4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL074AC	<a href="#">Samples</a>
TL074ACDRG4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL074AC	<a href="#">Samples</a>
TL074ACJ	OBSOLETE	CDIP	J	14		TBD	Call TI	Call TI	0 to 70		

Addendum-Page 5

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (8)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4,5)	Samples
TL074MFKB	ACTIVE	LCCC	FK	20	1	TBD	POST-PLATE	N / A for Pkg Type	-55 to 125	81023062A TL074MFKB	<a href="#">Samples</a>
TL074MJ	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	TL074MJ	<a href="#">Samples</a>
TL074MJB	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	8102306CA TL074MJB	<a href="#">Samples</a>
TL074MWB	ACTIVE	CFP	W	14	1	TBD	A42	N / A for Pkg Type	-55 to 125	8102306DA TL074MWB	<a href="#">Samples</a>
TL081-W	ACTIVE	WAFERSALE	YS	0		TBD	Call TI	Call TI			<a href="#">Samples</a>

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

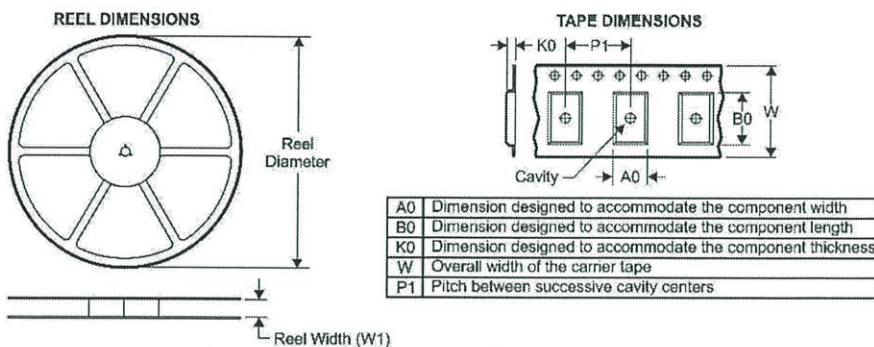
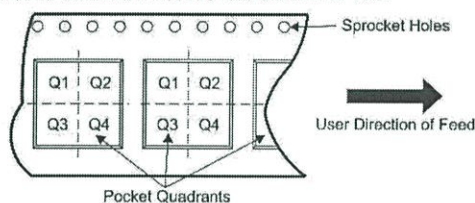
(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(8) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Addendum-Page 8

**TAPE AND REEL INFORMATION**

**QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TL071ACDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL071BCDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL071CDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL071CDDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL071CPSR	SO	PS	8	2000	330.0	16.4	8.2	6.6	2.5	12.0	16.0	Q1
TL071IDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL072ACDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL072BCDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL072CDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL072CDDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL072CPWR	TSSOP	PW	8	2000	330.0	12.4	7.0	3.6	1.6	8.0	12.0	Q1
TL072IDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL072IDR	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
TL074ACDR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
TL074ACNSR	SO	NS	14	2000	330.0	16.4	8.2	10.5	2.5	12.0	16.0	Q1
TL074BCDR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
TL074CDR	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1
TL074CDRG4	SOIC	D	14	2500	330.0	16.4	6.5	9.0	2.1	8.0	16.0	Q1



## PACKAGE MATERIALS INFORMATION

www.ti.com

24-Jan-2015

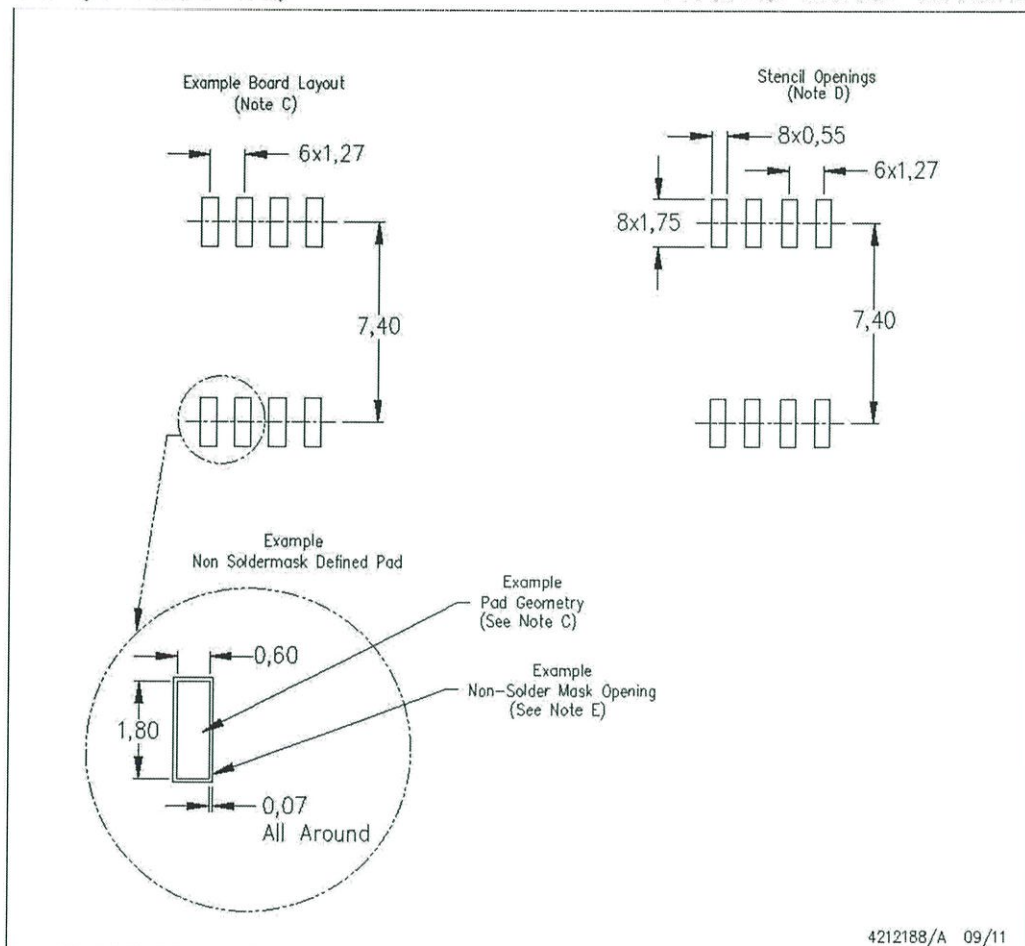
---

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TL074BCDR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
TL074CDR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
TL074CDRG4	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6
TL074CPWR	TSSOP	PW	14	2000	367.0	367.0	35.0
TL074IDR	SOIC	D	14	2500	333.2	345.9	28.6

## LAND PATTERN DATA

PS (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



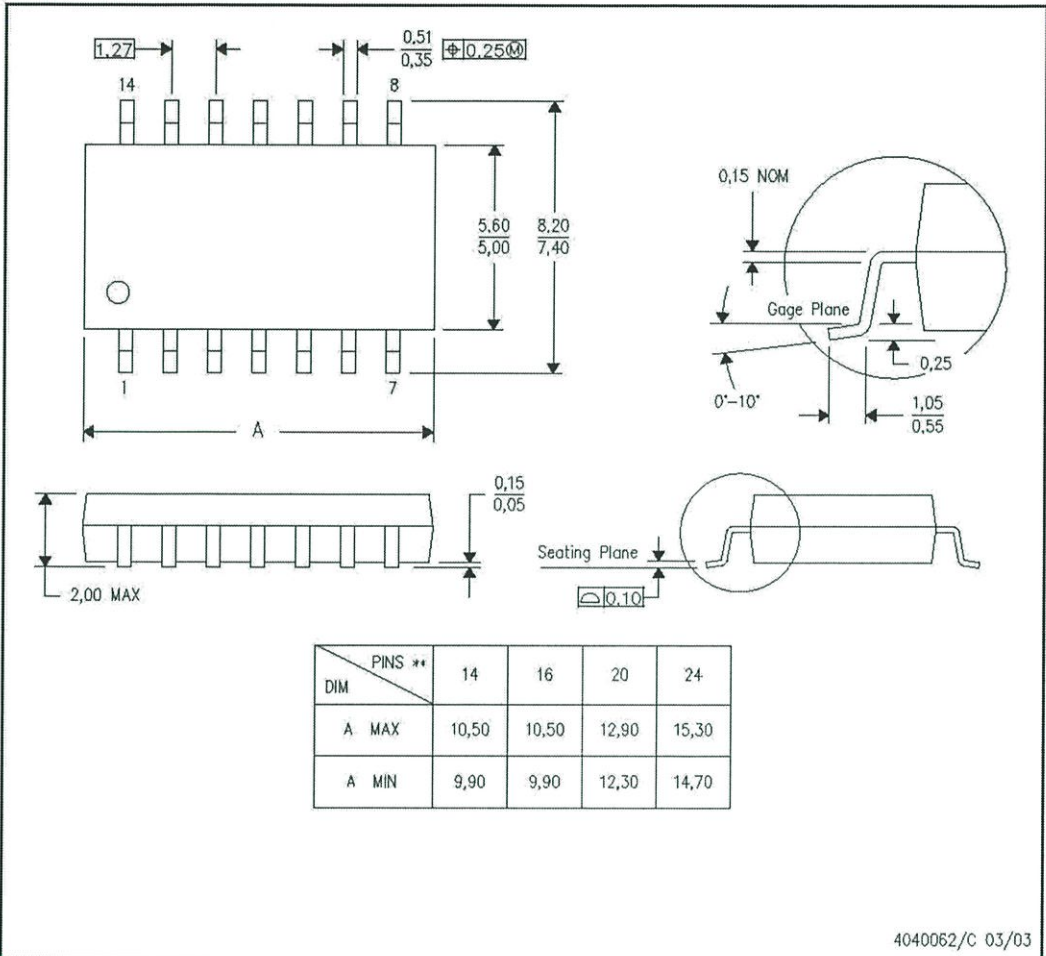
- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
  - Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
  - Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

## MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G\*\*)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14-PINS SHOWN



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JE3D40, latest issue, and to discontinue any product or service per JE3D48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

### Products

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

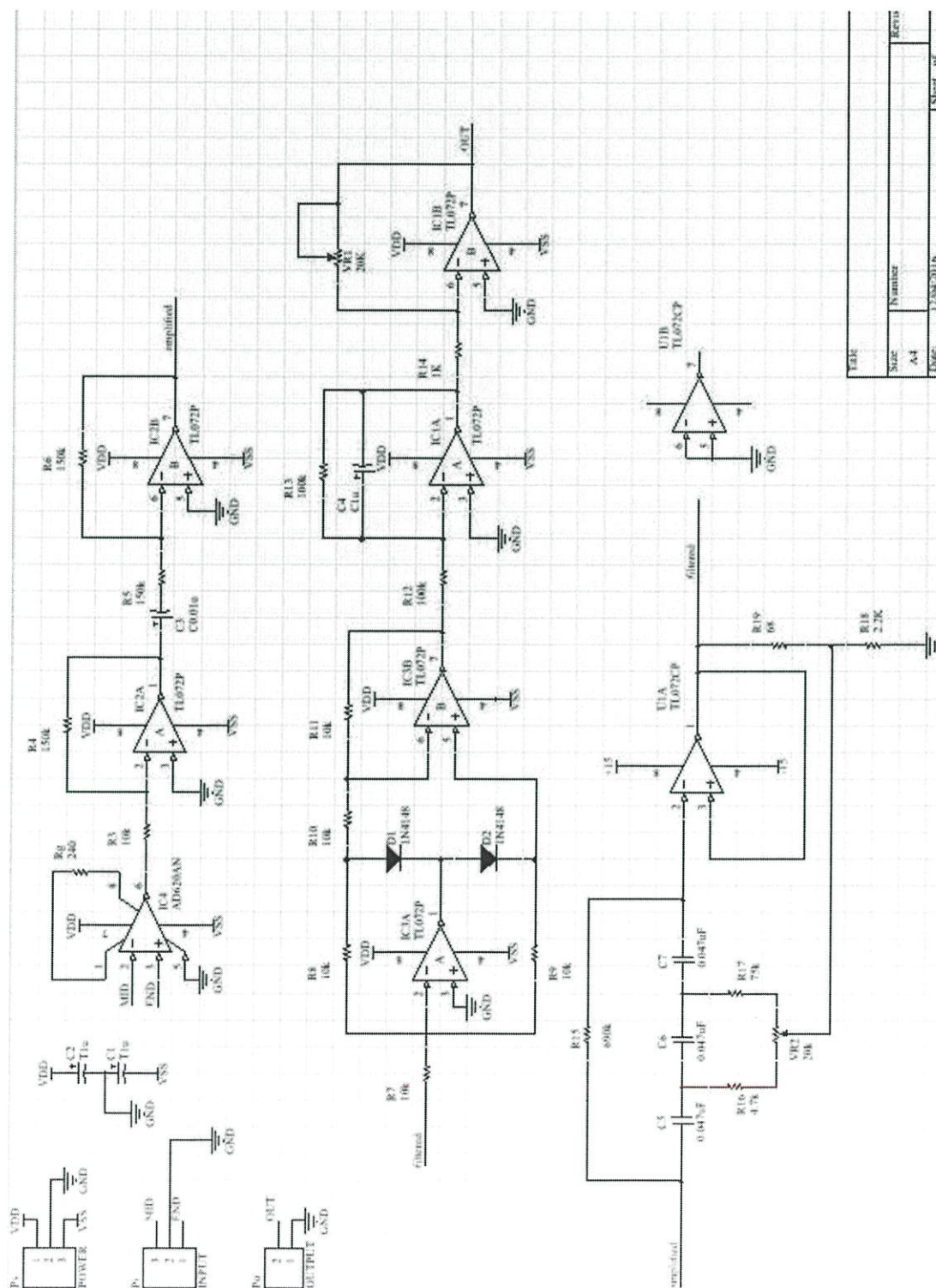
### Applications

Automotive and Transportation	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Communications and Telecom	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
Computers and Peripherals	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
Consumer Electronics	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
Energy and Lighting	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
Industrial	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Space, Avionics and Defense	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
Video and Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
<b>TI E2E Community</b>	<a href="http://e2e.ti.com">e2e.ti.com</a>

## ภาคผนวก ค

## วงจร

วงจร EMG





## ภาคผนวก ง

## โค้ด

```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  pinMode(CHA, INPUT);  
  pinMode(CHB, INPUT);  
  pinMode(M1, OUTPUT);  
  pinMode(M2, OUTPUT);  
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(CHA), flagUp, RISING);  
}  
  
void flagUp(){  
  flagStep = 1;  
  if (digitalRead(CHA) == digitalRead(CHB)) {  
    stepCount++;  
  }  
  if (digitalRead(CHA) == !digitalRead(CHB)) {  
    stepCount--;  
  }  
}
```

```

void UP() {
  while(1) {
    digitalWrite(M1,HIGH);
    digitalWrite(M2,LOW);
    if(stepCount>=2850) break;
  }
  digitalWrite(M1,LOW);
  digitalWrite(M2,LOW);
}

void DOWN() {
  while(1) {
    digitalWrite(M1,LOW);
    digitalWrite(M2,HIGH);
    if(stepCount<=0) break;
  }
  digitalWrite(M1,LOW);
  digitalWrite(M2,LOW);
}

void mBreak() {
  digitalWrite(M1,LOW);
  digitalWrite(M2,LOW);
}

void mBicep() {
  if(!digitalRead(Tricep))
    UP();
  else if (digitalRead(Tricep))
    mBreak();
}

void mTricep() {
  if(!digitalRead(Bicep))
    DOWN();
  else if (digitalRead(Bicep))
    mBreak();
}

```